

پایش ماهواره‌ای توزیع زمانی- مکانی آب بارش‌شو در جو ایران با استفاده از داده‌های Aqua/AIRS

کوهزاد رئیس‌پور^{*۱}

^۱ استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۳)

چکیده

آب بارش‌شو یکی از فراسنج‌های مهم در مطالعات هواشناسی و فیزیک ابر است که نقش مهمی در پیش‌بینی هوا و بارش دارد. در این مطالعه از داده‌های آب بارش‌شو سنجنده AIRS مستقر بر ماهواره Aqua، با گام‌های زمانی ماهانه و مکانی $1^\circ \times 1^\circ$ برای دوره آماری سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۲۳ استفاده شد. پس از کنترل کیفی و پیش‌پردازش داده‌های استخراج‌شده، از نرم‌افزارهای تخصصی مانند ArcGIS، ENVI و Grads برای ساخت لایه‌های شبکه‌ای، برداری و جداول اطلاعاتی بر اساس مرز جغرافیایی کشور ایران استفاده شد. داده‌ها رقومی بودند و مقدار عددی آنها برابر میزان آب بارش‌شو بر حسب میلی‌متر (mm) به ازای هر پیکسل یا یاخته بود که برای مشاهدات سالانه، فصلی و سالانه برآورد شد. بر اساس نتایج، میانگین آب بارش‌شو در جو ایران 13 mm است که در مقایسه با میانگین آب بارش‌شو جو جهانی (22 mm)، کم بودن مقدار آب بارش‌شو را در جو ایران نشان می‌دهد. از سوی دیگر، میزان آب بارش‌شو در جو ایران توزیع زمانی و مکانی همگنی ندارد به‌طوری‌که در میان ماه‌های بررسی‌شده، بیشترین میزان مربوط به ماه ژولای و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه است. در میان فصول، بیشترین مقدار آب بارش‌شو در فصل تابستان و کمترین میزان آن در فصل زمستان برآورد شد. به لحاظ مکانی نیز کمترین میزان آب بارش‌شو بر فراز سلسله جبال زاگرس و بیشترین میزان آن در نواحی ساحلی جنوب و شمال متمرکز است. رفتار آب بارش‌شو جو ایران در طول سری زمانی حاکی از افزایشی بودن روند آن است. روند افزایشی آب بارش‌شو می‌تواند بازخورد افزایش دما در پهنه ایران تلقی شود و بررسی آن از منظر تغییر اقلیم نیز اهمیت دارد.

واژه‌های کلیدی: آب بارش‌شو، سنجنده AIRS، توزیع زمانی- مکانی، جو ایران

۱ مقدمه

آب بارش شو (Preceipitable Water) یا به اختصار، PW، یکی از کمیت‌های مهم هواشناسی است که امروزه دانشمندان فیزیک جو توجه ویژه‌ای به آن دارند. کل بخار آب موجود در ستونی قائم از جو با سطح مقطع واحد در بین دو تراز مشخص، آب بارش شو نامیده می‌شود که معمولاً بر مبنای ارتفاع مقدار آبی است که در صورت تبدیل تمام بخار به مایع، بتوان آن را در ظرفی با همان سطح مقطع جمع‌آوری کرد (الشواف و همکاران، ۲۰۱۷). این فراسنج در ستونی از جو (مباشری و همکاران، ۱۳۸۹؛ عساکره و همکاران، ۲۰۱۵ و زهانگ و همکاران، ۲۰۱۰) از سطح زمین تا پایان تروپوسفر ادامه می‌یابد و پتانسیل تبدیل به بارش را دارد (کریستین و همکاران، ۲۰۰۸؛ مغربی و همکاران، ۲۰۱۲ و فوجیتا و همکاران، ۲۰۱۷). آب بارش شو بخش مهمی از چرخه آب در جو است (لیو، ۲۰۰۸ و کومار، ۲۰۱۵) که متغیری مهم در مطالعات چرخه آب و آب‌وهواشناختی (جید و همکاران، ۲۰۰۸ و هوسمان و همکاران، ۲۰۱۷) و نیز پارامتری اساسی برای شناخت رفتار بخار آب جو و فرایندهای مرتبط با آن است (اوجو و همکاران، ۲۰۰۶ و بیندر و همکاران، ۲۰۰۸)؛ ازاین‌رو، آب بارش شو در بررسی تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت رطوبت جو مورد توجه است (هاس و همکاران، ۲۰۰۳ و نیلسون و همکاران، ۲۰۰۸). تخمین دقیق مقدار آب بارش شو می‌تواند تأثیر زیادی در پیش‌بینی وضعیت جو و برآورد میزان بارش و رواناب داشته باشد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳ و رسولی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین آب بارش شو یکی از پارامترهای مهم در محاسبات مربوط به مخازن سدها و پیش‌بینی وقوع سیلاب است (نجفی، ۱۳۸۳ و قاسمی، ۱۳۹۱). البته مقدار آب بارش شو به مفهوم نزولات جوی نیست؛ چون میزان بارش به متغیرهای متعدد دیگری از قبیل تراکم و نوع هواویزها، نمایه دما و فشار جو، رطوبت

نسبی، جهت و سرعت باد و ... بستگی دارد (محمدی‌ها و همکاران، ۱۳۹۳). بخار آب یکی از مهم‌ترین اجزای جو زمین است که اندازه‌گیری دقیق و گسترده آن در جو، کاربرد زیادی در مدل‌های انتقال تابش جوی و پیش‌بینی هوا (بیات و مشهدی‌زاده، ۱۳۹۸ و جندت و همکاران، ۲۰۰۴)، برآورد آب بارش شو کلی، پیش‌بینی میزان بارش (برترتون و همکاران، ۲۰۰۴؛ بینیت و جاب، ۲۰۱۲ و فوجیتا و همکاران، ۲۰۱۲) و بارش سنگین و پیش‌بینی وقوع سیلاب (ویلسبی و همکاران، ۲۰۰۸؛ سان و همکاران، ۲۰۱۰؛ لوریاکس و همکاران، ۲۰۱۳ و فوجیب و همکاران، ۲۰۱۶) دارد. ردیابی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی (شروود و همکاران، ۲۰۰۱؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ بینگستون و همکاران، ۲۰۰۴ و لی و همکاران، ۲۰۰۷) و تشکیل ابر و توانایی بارورسازی ابرها (لندرینگ و ون میجگارد، ۲۰۱۰ و متکی و کندو، ۲۰۱۳) از دیگر توانایی‌های آب بارش شو است. محاسبه دقیق آب بارش شو مستلزم آگاهی دقیق از مقدار بخار آب موجود در جو است. حجم بخار آب جو خود تحت تأثیر عوامل دیگری از قبیل غلظت جو، دما، جهت و سرعت باد، عوامل محلی و از همه مهم‌تر میزان وزش و همگرایی رطوبت تغییر می‌کند (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳). برهمین اساس، بررسی میزان آب بارش شو و تغییرات آن از جنبه‌های مختلف اهمیت دارد. پژوهشگران زیادی در جهان، ویژگی‌های آب بارش شو را مطالعه کرده‌اند که از جمله این مطالعات در جهان می‌توان به بولسینگا (۱۹۶۵)، الگیرد و جارلمارک (۱۹۹۸)، بوک و همکاران (۲۰۰۵)، هیس و همکاران (۲۰۰۹)، کامپانی و همکاران (۲۰۱۰)، لو و همکاران (۲۰۱۱)، چانگ‌گون و همکاران (۲۰۱۲)، شریفی و همکاران (۲۰۱۵)، بنویدز و همکاران (۲۰۱۵)، وان‌درانت و تواینبرگ (۲۰۱۷) و فالای و همکاران (۲۰۱۸) و در ایران به مطالعات صادقی حسینی و همکاران (۱۳۸۴)، مباشری و همکاران (۱۳۸۹)، عساکره و

همکاران (۱۳۹۳) و عساکره و دوستکامیان (۱۳۹۴) اشاره کرد. مطالعات یادشده، اغلب درباره میزان، تکوین، ساختار، تغییرات و نقش عوامل جغرافیایی در توزیع آب بارش‌شو بوده است؛ از این رو، به نظر می‌رسد میزان آب بارش‌شو، حاوی الگوهای متنوعی باشد که تغییرات فراسنج‌های دیگری از قبیل ابرناکی، میزان بارش، دما، تابش، اثر گلخانه‌ای و ... را به وجود می‌آورد (نینگ و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی داده‌های به کاررفته در اغلب این مطالعات، بیانگر استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های بازکاوی مجدد پایگاه‌هایی از قبیل NCEP/NCAR ، ECMWF و ... است که با توجه به تغییرپذیری زیاد میزان آب بارش‌شو در مکان و زمان، پایش آن در مقیاس‌های منطقه‌ای دشوار است. به همین دلیل هنگامی که پوشش مکانی وسیعی جهت واکاوی فراسنج آب بارش‌شو مورد نیاز باشد، توزیع نامساوی ابزارهای سنجش بخار آب (ایستگاه‌های هواشناسی، رادارها، لیدارها و سوندارها) و فاصله بسیار زیاد آنها به خصوص در نواحی بیابانی یکی از مشکلات اساسی است (لی و همکاران، ۲۰۱۸). از سوی دیگر، میزان آب بارش‌شو در میان دیگر فراسنج‌های هواشناسی، به علت نوسان زیاد زمانی- مکانی، یکی از مشکل‌ترین فراسنج‌ها از نظر اندازه‌گیری است (کانمارو و ماسوناگا، ۲۰۱۳). پایش آب بارش‌شو با داده‌های ماهواره‌ای، که دربرگیرنده پوشش زمانی و مکانی متفاوت است، ابزار مناسبی برای غلبه بر محدودیت‌های گفته‌شده است (بویس و همکاران، ۱۹۹۲؛ آدیمی و جورگ، ۲۰۱۲؛ دیسدریچ و همکاران، ۲۰۱۶؛ واکرومارتینز و همکاران، ۲۰۱۷ و کامپوس آریاس، ۲۰۱۹)؛ از این رو، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی و زمانی زیاد توصیه شده است. در چند دهه اخیر، داده‌های سنجش از دور آب بارش‌شو و شگردهای مبتنی بر روش‌های دورکاوی مورد توجه دانشمندان علوم مختلف جوئی قرار گرفته و با توسعه ماهواره‌های

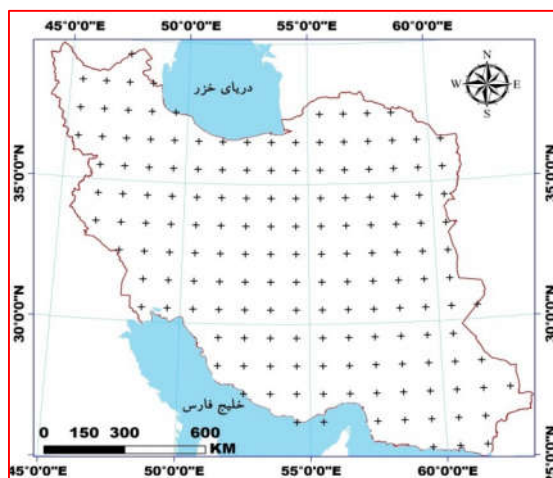
هواشناسی، شناخت ویژگی‌های آب بارش‌شو و تخمین میزان آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف امکان‌پذیر شده است (گائو و کافمن، ۲۰۰۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ یو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گویی و همکاران، ۲۰۱۷ و واکرومارتینز و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان، در پژوهش‌های متعددی از داده‌های ماهواره مبنای سنجنده AIRS مستقر بر ماهواره Aqua استفاده شده است که می‌توان به مطالعه بدکا و همکاران (۲۰۱۰)، هاگان و همکاران (۲۰۰۴)، راجا و همکاران (۲۰۰۸)، پراساد و سینگ (۲۰۰۹)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) و جیانگ و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد. گام‌های زمانی- مکانی مناسب و جهانی بودن داده‌های سنجنده AIRS، آن را در ردیف یکی از پرکاربردترین سنجنده‌ها در زمینه تخمین متغیرهای محیطی از جمله آب بارش‌شو قرار داده است. به نظر می‌رسد توزیع آب بارش‌شو در کشور ایران به دلیل موقعیت و ویژگی‌های خاص جغرافیایی رفتار ویژه‌ای داشته باشد. علی‌رغم مطالعات متعدد انجام‌شده در زمینه شناخت ویژگی‌ها و توزیع زمانی- مکانی میزان آب بارش‌شو در ایران، تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است که مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای باشد و به واکاوی زمانی- مکانی آب بارش‌شو در کل گستره آن پرداخته باشد؛ بنابراین، هدف از انجام پژوهش، واکاوی توزیع زمانی- مکانی میزان آب بارش‌شو در گستره ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ با استفاده از داده‌های ماهواره مبنای AIRS است.

۲ روش‌شناسی

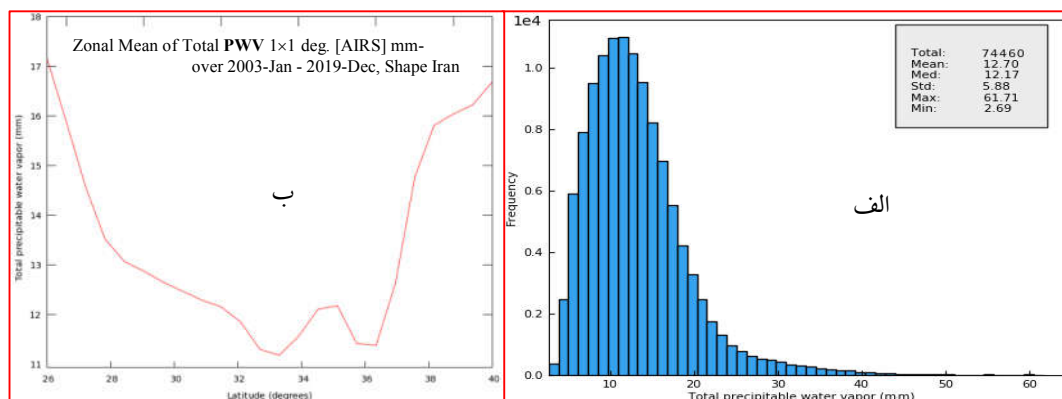
ماهواره آکوا (Aqua) یکی از ماهواره‌های علمی- تحقیقاتی چندملیتی ناسا است که درباره چرخه‌های آب زمین، از جمله تبخیر از سطح اقیانوس‌ها، بخار آب در جو، ابرها، بارش، رطوبت خاک، یخ و برف و دیگر متغیرهای

https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS3STM_00
 6 می‌توان آن را دریافت کرد. داده‌های مورد نیاز با قالب NetCDF استخراج و پس از کنترل کیفی و پیش‌پردازش، با نرم‌افزارهای تخصصی ENVI، ArcGIS و Grads پردازش شد. قالب NetCDF یا NC، قالبی از داده‌ها برای نگهداری داده‌های چندبُعدی است که با استفاده از امکاناتی که نرم‌افزارهای مورد استفاده در اختیار کاربر قرار می‌دهد، برای ساخت لایه‌های شبکه‌ای، برداری و جداول اطلاعاتی به کار گرفته می‌شود. داده‌های مورد استفاده رقومی هستند و مقدار عددی آنها، میزان آب بارش شو بر حسب میلی‌متر (mm) به ازای هر پیکسل یا یاخته است. داده‌ها با انتقال به محیط نرم‌افزارهای مذکور و اعمال الگوریتم‌های لازم، به داده‌های رستری تبدیل و خروجی‌های لازم بر اساس مرز جغرافیایی کشور ایران استخراج شد. به‌طور کلی، خروجی‌ها نتیجه اعمال محاسبات روی دو ماتریس شامل ماتریس ماهانه به ابعاد 165×204 و ماتریس فصلی به ابعاد 165×68 است. عدد ۲۰۴ معرف تعداد مشاهدات در ماه‌های پیاپی از ۱۷ سال مورد مطالعه (12×17)، ۱۶۵ معرف تعداد نقاط

محیطی به تولید داده می‌پردازد. نام ماهواره از واژه لاتین آکوا به معنای آب گرفته شده است. این ماهواره دومین ماهواره از سامانه دیده‌بانی زمین (EOS) است که پس از ماهواره Terra در چهارم می سال ۲۰۰۲ به فضا پرتاب شد. سنجنده AIRS یکی از شش سنجنده ماهواره Aqua (MODIS, AIRA, AMSU, CERES, AMSR-E, HSB) است که با هدف کمک به پژوهشگران تغییر اقلیم و بهبود پیش‌بینی وضعیت هوا ساخته شد. این سنجنده از بازه طیفی بسیار گسترده‌ای برخوردار است که قدرت تفکیک آن ده‌ها برابر بیشتر از ابزارهای مشابه قبل از خود است. قدرت تفکیک افقی این سنجنده در برخی از باندهای طیفی برابر با $13/5$ کیلومتر در نقطه پاسوی و قدرت تفکیک عمودی یا قائم آن ۱ کیلومتر است. فراسنج‌های مشاهداتی این سنجنده در راستای دید ماهواره و در دو عبور بالارو (ascending) و پایین‌رو (descending) دریافت می‌شود. در این تحقیق نیز از فراورده‌های آماده آب بارش شو این سنجنده (AIRS/Aqua L3 Monthly Standard Physical Retrieval [AIRS-only] V006) استفاده شد که از وبگاه



شکل ۱. پراکنش نقاط شبکه‌بندی‌شده سنجنده AIRS با قدرت تفکیک مکانی $1^\circ \times 1^\circ$ در گستره ایران.



شکل ۲. توصیف آماری توزیع آب بارش‌شو در اتمسفر ایران (الف) و توزیع مداری میانگین آب بارش‌شو در اتمسفر ایران (ب) طی دوره آماری ۲۰۱۹-۲۰۰۰.

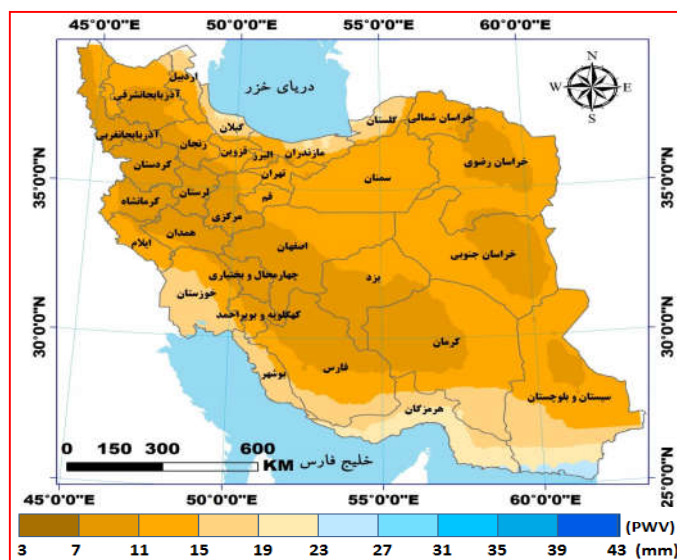
شبکه‌بندی‌شده سنجنده AIRS با قدرت تفکیک مکانی $1^\circ \times 1^\circ$ در پهنه ایران و ۶۸ معرف تعداد مشاهدات در فصول پیاپی (۴×۱۷) است (شکل ۱). به عبارتی دیگر، میانگین ماهانه از میانگین مقدار آب بارش‌شو روزانه متعلق به هر ماه و میانگین فصلی از میانگین سه ماه مربوط به هر فصل برای کل گستره ایران منتج شد. به لحاظ مکانی نیز، مقادیر هر یاخته بیانگر شرایط میانگین میزان آب بارش‌شو مربوط به هر سری زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) در طول دوره آماری است که جهت درک هرچه بهتر رفتار زمانی- مکانی فراسنج آب بارش‌شو در جو ایران زمین، نتایج در قالب نقشه و نمودار ارائه می‌شود. واکاوی، تفسیر و استنباط‌های استدلالی یافته‌ها برای دست‌یابی به هدف پژوهش (بررسی زمانی- مکانی میزان آب بارش‌شو در وردسپهر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹) در گام نهایی این مطالعه انجام می‌شود.

۳ نتایج

۳-۱ تحلیل بلندمدت

برخی از پارامترهای آماری (توصیفی) آب بارش‌شو در گستره جغرافیایی کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ بر اساس فراورده‌های سنجنده AIRS در شکل ۲

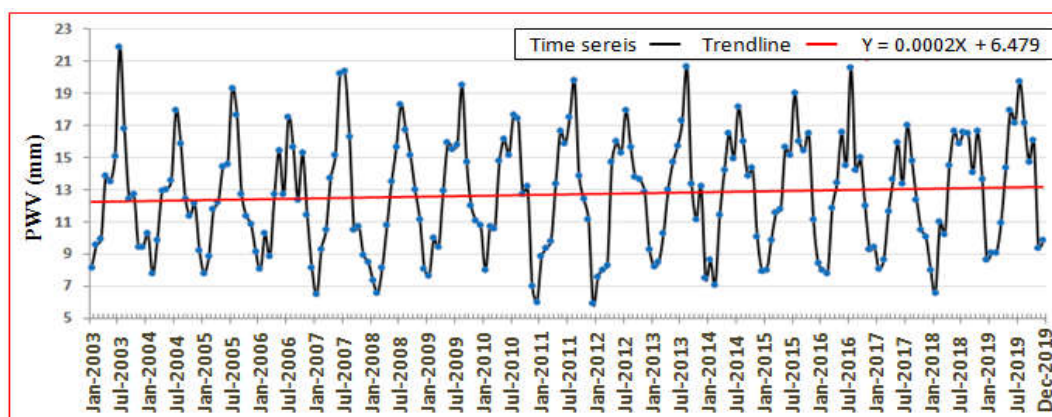
آمده است. بر اساس بافت‌نگار شکل ۲-الف، میانگین آب بارش‌شو حدود ۱۳ mm، میانه آب بارش‌شو حدود ۱۲ mm، بیشینه آب بارش‌شو حدود ۶۲ mm و کمینه آب بارش‌شو حدود ۳ mm است. مقایسه میانگین آب بارش‌شو در جو ایران با میانگین آب بارش‌شو در جو جهانی، که حدود ۲۲ mm است (چن و لیو، ۲۰۱۶)، به‌خوبی کم بودن مقدار آب بارش‌شو در جو ایران را تبیین می‌کند. از سوی دیگر، همین میزان آب بارش‌شو در جو ایران توزیع مکانی همگنی ندارد؛ کمترین میزان آن بر فراز سلسله جبال زاگرس، بخش‌هایی از شمال شرق و شرق ایران (استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان) و در اولویت بعدی، در نواحی بیابانی ایران مرکزی و بیشترین میزان آن در ناحیه ساحلی جنوب و شمال متمرکز است (شکل ۳). میانگین مداری میزان آب بارش‌شو در گستره ایران در شکل ۲-ب ترسیم شده است. همان‌طور که در این نمودار مشخص است، میزان آب بارش‌شو در کرانه‌های ساحلی جنوب بیشترین مقدار است و با دور شدن از کرانه‌های ساحلی و پیشروی به درون خشکی‌ها از محتوای رطوبتی جو کاسته می‌شود به‌طوری‌که در حد فاصل مدارهای 32° تا 37° شمالی به کمترین میزان خود می‌رسد. البته در این محدوده، افزایشی



شکل ۳. توزیع مکانی میانگین آب بارش شو در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۱۹-۲۰۰۳.

نسبی در حد فاصل مدارهای 34° تا 36° درجه مشهود است که دلیل آن، قرارگیری این بخش از ایران در مسیر ورود سیکلون‌های مرطوب مدیترانه‌ای به ایران است که در اغلب ایام سال (به استثنای فصل تابستان) در بستر بادهای غربی به ایران وارد می‌شوند. در نواحی ساحلی شمال، مجدداً به میزان آب بارش شو جو افزوده می‌شود. دلیل تمرکز بیشترین میزان آب بارش شو در جو حاکم بر نواحی ساحلی جنوب و شمال، دسترسی به منابع رطوبتی خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر است. با نگاهی دقیق‌تر می‌توان دریافت که توزیع مکانی میانگین آب بارش شو در لایه‌های مجاور سطح زمین جو ایران، به شدت متأثر از توپوگرافی زمین (ناهمواری و ارتفاع) است؛ زیرا به دلیل فاصله گرفتن از توده‌های رطوبتی و همچنین کاهش دمای هوا که خود می‌تواند عاملی برای کاهش گنجایش رطوبتی و همچنین کاهش ضخامت ستون هوا باشد، میزان آب بارش شو با افزایش ارتفاع از سطح زمین کاهش می‌یابد و بنابراین، میزان آن بر فراز ارتفاعات، ناچیز است و به کمترین مقدار خود می‌رسد. از سویی

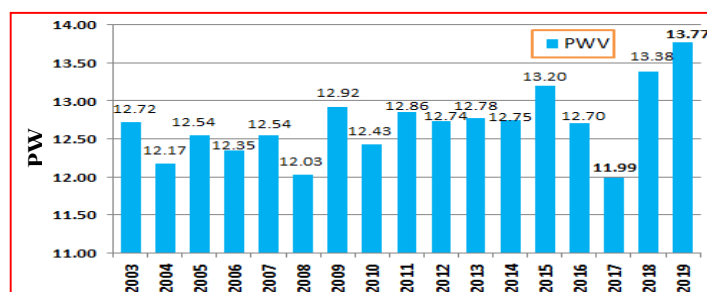
دیگر، تأثیرپذیری آب بارش شو از متغیرهای متعدد محیطی، ارائه الگوی مکانی به نسبت پایدار را از توزیع مکانی آن غیرممکن می‌کند؛ برای مثال، میانگین آب بارش شو در ستون هوای حاکم بر نواحی ساحلی دریای خزر، علی‌رغم مختصات مکانی آن، در عرض‌های جغرافیایی بالا حدود ۲۰ میلی‌متر و در جو سواحل جنوبی ایران (عرض‌های جغرافیایی پایین) به دلیل گرمای هوا، تا ۳۰ میلی‌متر نیز افزایش می‌یابد. این ویژگی به‌خوبی بیانگر تأثیر پهنه‌های آبی در توزیع و مقدار آب بارش شو است. علاوه‌براین، با وجود دوری از منابع رطوبتی، میانگین آب بارش شو در جو نواحی مرکزی ایران از ناحیه مرتفع زاگرس بیشتر است. عساکره و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعات خود به این ویژگی اذعان داشته‌اند. چنین پراکنشی از توزیع آب بارش شو در جو ایران در مقایسه با میانگین بارش سالانه ارتفاعات زاگرس (حدود ۵۰۰ میلی‌متر) و ایران مرکزی (کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر) بیانگر نبود ارتباط معنادار میان میزان بارندگی و آب بارش شو



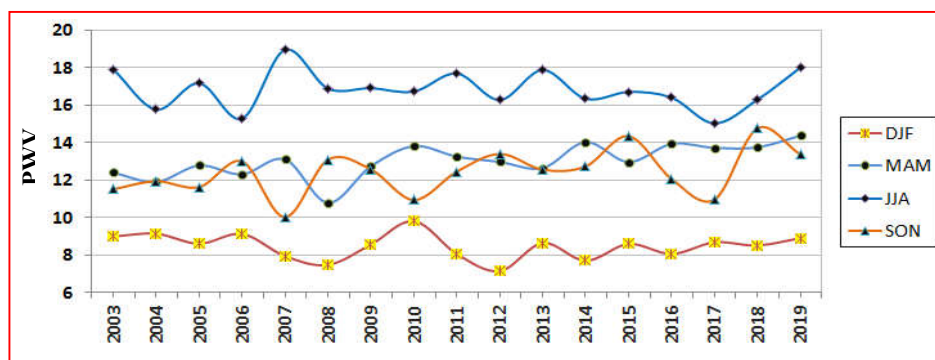
شکل ۴. نمودار سری زمانی میانگین ماهانه آب بارش‌شو در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹.

دوره یعنی سال ۲۰۱۹ میلادی (۱۳۹۸ شمسی) استمرار داشت. به نظرمی‌رسد این روند افزایشی به‌خصوص در دهه دوم دوره آماری می‌تواند در پاسخ به افزایش دمای عمومی کره زمین و به پیروی از آن، افزایش دمای رخ داده باشد؛ بنابراین، می‌توان آن را نمایه تغییر اقلیم در ایران دانست، زیرا افزایش دما خود می‌تواند به افزایش تبخیر و تعرق (افزایش بخار آب) کمک کند و به تمرکز بیشتر آب بارش‌شو در جو بینجامد. البته مقادیر سالانه افت‌وخیزهایی دارند که در میان سال‌های مورد مطالعه، بیشترین میزان مربوط به سال ۲۰۱۹ (۱۴ mm) و کمترین میزان آن در سال ۲۰۱۷ (۱۲ mm) برآورد شد (شکل ۵).

جو است. دلیل بیشتر بودن میانگین آب بارش‌شو در ایران مرکزی، در وهله اول، بیشتر بودن دمای حاکم بر این نواحی نسبت به ارتفاعات زاگرس و در وهله دوم، ضخامت بیشتر ستون جو در مقایسه با جو حاکم بر ارتفاعات زاگرس است. همچنین، سری زمانی مبتنی بر داده‌های آب بارش‌شو سنجنده AIRS در جو ایران (۲۰۰۳-۲۰۱۹) حاکی از افزایشی بودن روند آب بارش‌شو است به گونه‌ای که میانگین آب بارش‌شو در دوره آماری حدود ۱ mm افزایش یافته است (شکل ۴). روند افزایشی میزان آب بارش‌شو در جو ایران به‌وضوح از سال ۲۰۱۱ میلادی (۱۳۸۹ شمسی) آغاز شد و تا انتهای



شکل ۵. نمودار میانگین سالانه آب بارش‌شو در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹.

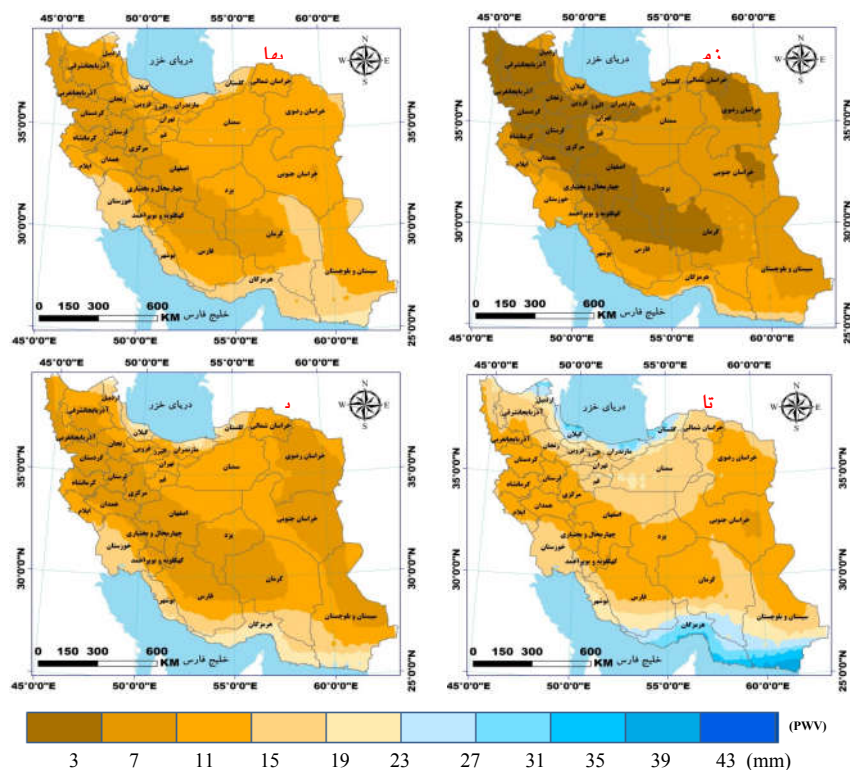


شکل ۶. سری زمانی میانگین فصلی آب بارش شو در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹.

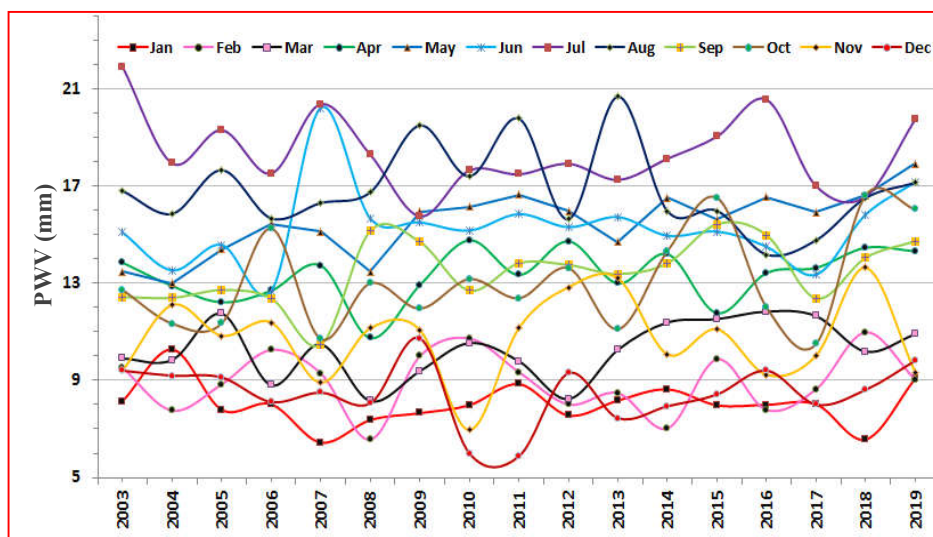
۲-۳ تحلیل فصلی

شکل ۶ به همراه نقشه شکل ۷، توزیع آماری و پراکنش مکانی میانگین آب بارش شو را برای فصول چهارگانه زمستان (DJF)، بهار (MAM)، تابستان (JJA) و پاییز (SON) نشان می‌دهد. تحلیل حاصله بیانگر بیشترین میزان

آب بارش شو جو در فصل تابستان حدود ۱۷ mm و کمترین میزان آن در فصل زمستان حدود ۸ mm است (شکل ۶). میانگین آب بارش شو در فصول بهار و پاییز به ترتیب حدود ۱۳ mm و ۱۲ mm برآورد شد. افزایش دمای هوا و در نتیجه، افزایش ضخامت جو، پتانسیل لازم را



شکل ۷. توزیع مکانی میانگین آب بارش شو فصلی در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹.



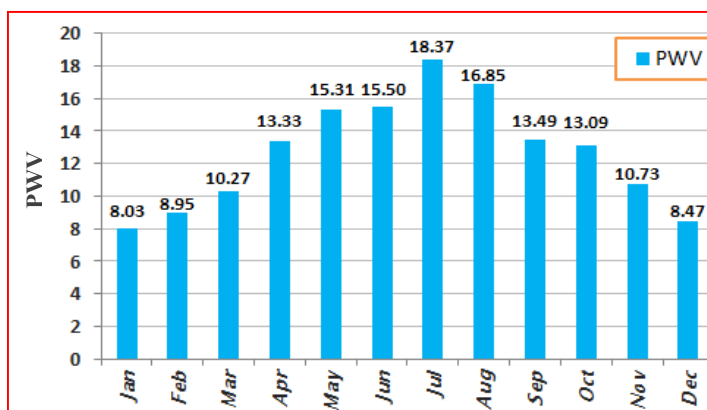
شکل ۸. سری زمانی میانگین ماهانه آب بارش‌شو در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹.

می‌تواند به تشکیل ابر و در صورت فراهم بودن دیگر شرایط، به رخداد بارش منجر شود.

۳-۳ تحلیل ماهانه

میانگین ماهانه آب بارش‌شو در جو ایران طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۹) در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ترسیم شده است. براین اساس، بیشترین میزان آب بارش‌شو در جو ایران مربوط به ماه‌های گرم (ژولای، آگوست، ژوئن و می) و کمترین میزان آن مربوط به ماه‌های سرد (ژانویه، دسامبر، فوریه، مارس و نوامبر) است (شکل ۸). البته در میان کل ماه‌های مورد مطالعه (۲۰۴ ماه)، بیشترین میزان آب بارش‌شو به ترتیب مربوط به ماه‌های ژولای ۲۰۰۳ (۲۲ mm)، آگوست ۲۰۱۳ (۲۱ mm) و ژولای ۲۰۱۶ (۲۱ mm) و کمترین میزان آن مربوط به ماه‌های دسامبر ۲۰۱۱، دسامبر ۲۰۱۰ و ژانویه ۲۰۰۷ در حدود ۶ mm است. با شروع فصل گرم (آوریل) و متناسب با افزایش دما، روند افزایشی آب بارش‌شو در جو ایران آغاز می‌شود و در ماه ژولای (تیر و مرداد) به اوج خود

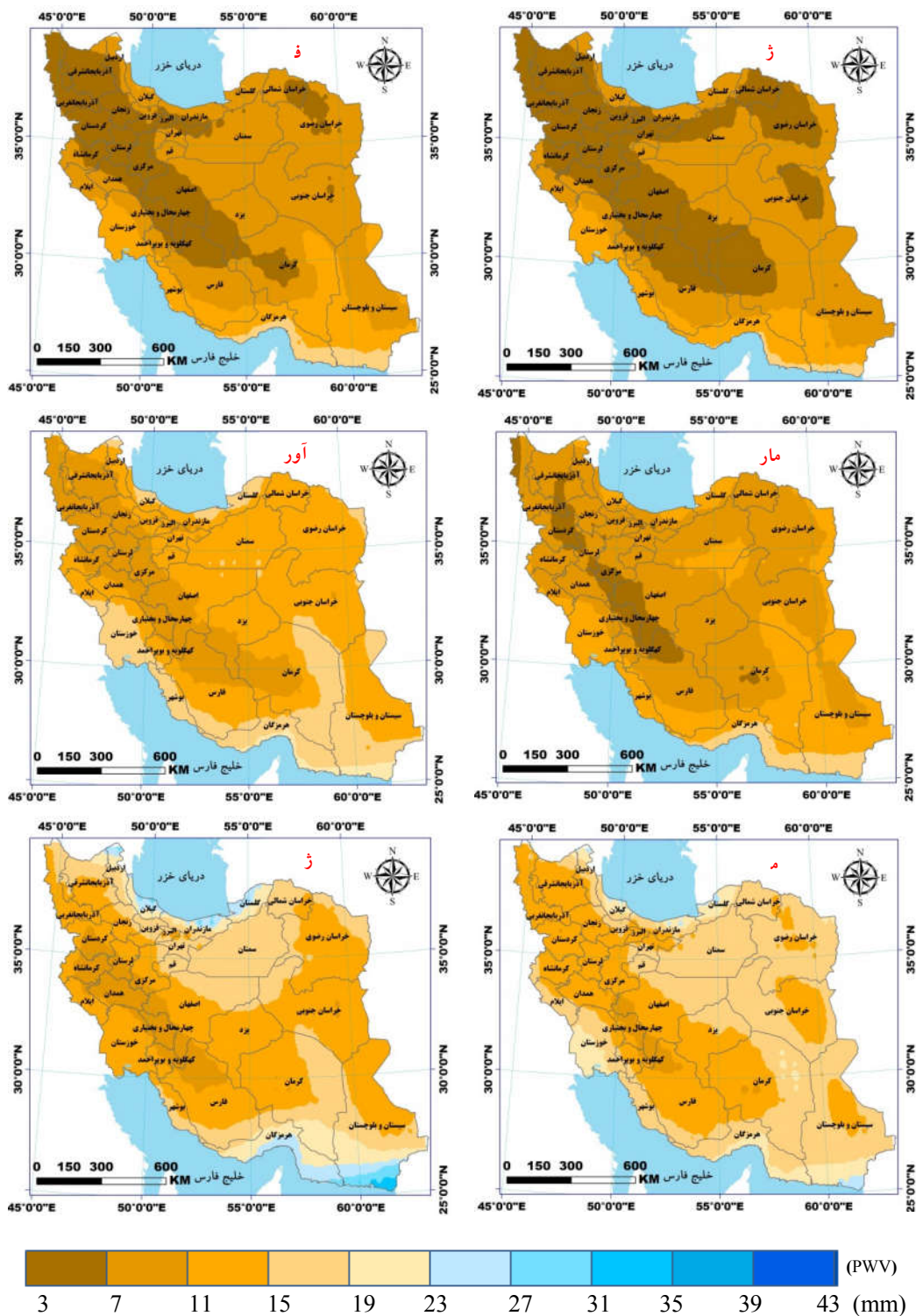
برای تبخیر بیشتر و گنجایش بیشتر رطوبت جو فراهم می‌کند. فراهم بودن چنین شرایطی در دوره گرم سال (تابستان و بهار) افزایش میزان آب بارش‌شو را در جو ایران به دنبال دارد. پراکنش مکانی آب بارش‌شو در تمامی فصول، حاکی از انطباق کمینه آب بارش‌شو در جو حاکم بر ارتفاعات زاگرس و پس از آن، بر بخش‌هایی از نواحی شمال شرقی و شرق ایران است. همچنین سواحل جنوبی ایران و سواحل دریای خزر از بیشینه آب بارش‌شو جو برخوردار هستند (شکل ۷). پراکنش بیشینه آب بارش‌شو جو ایران در فصل تابستان و کمینه آن در فصل زمستان، در مقایسه با توزیع بیشینه بارش ایران در فصل زمستان و توزیع کمینه در تابستان، توجه به این نکته را لازم می‌سازد که برای ایجاد بارش، رطوبت به تنهایی کافی نیست. به همین دلیل ممکن است منطقه‌ای بسیار مرطوب و در عین حال کم‌بارش (کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان) یا منطقه‌ای بسیار خشک و در عین حال پر بارش (ارتفاعات زاگرس) باشد؛ بنابراین، رطوبت موجود در جو در صورت مهیا بودن شرایط صعود،



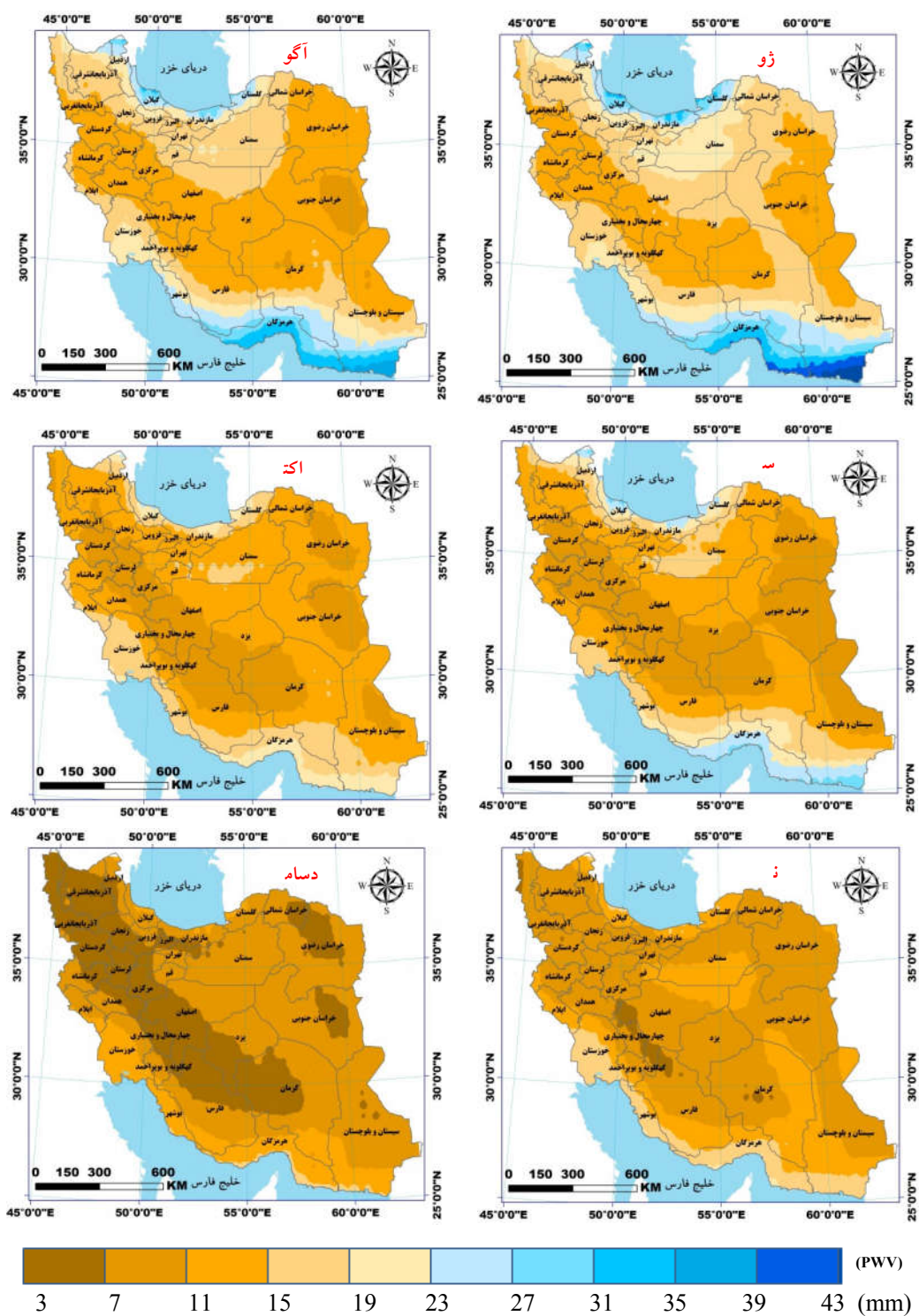
شکل ۹. نمودار میانگین ماهانه آب بارش شو در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۹.

میزان آب بارش شو ماهانه (مانند توزیع فصلی)، عوامل دیگری اثرگذار هستند که از بین آنها می توان به ناهموازی زمین و شرایط جغرافیایی اشاره کرد. بر همین اساس، بسته به شرایط جغرافیایی و وضعیت ناهموازی زمین، پراکنش مکانی آب بارش شو در جو ایران متفاوت است؛ لذا در نقشه های ماهانه مربوط به میزان آب بارش شو در گستره جو ایران، پهنه های متفاوتی به لحاظ میزان آب بارش شو مشاهده می شود (شکل ۱۰). از جمله پهنه های با مقادیر بسیار کم آب بارش شو، می توان به پهنه کمینه حاکم بر ارتفاعات زاگرس و پس از آن به نواحی بیابانی واقع در شمال شرق، شرق و نواحی مرکزی اشاره کرد. کم بودن میزان آب بارش شو در ستون جو حاکم بر رشته کوه زاگرس به دلایلی از قبیل کاهش ضخامت جو (به دلیل وجود ارتفاعات) و دوری از منابع رطوبتی است. در نواحی بیابانی واقع در نواحی شمال شرق، شرق و مرکزی ایران نیز به علت دور بودن از کانون های رطوبتی شرایط لازم برای تغذیه بخار آب جو ندارد و این نواحی از ایران نیز در ردیف نواحی با میزان کم آب بارش قلمداد می شوند؛ بنابراین پراکنش مکانی آب بارش شو در جو ایران همانند دیگر متغیرهای اقلیمی، یکپارچگی جغرافیایی و توزیع همگنی ندارد.

می رسد. سپس از ماه سپتامبر به بعد، مجدداً روند کاهشی به خود می گیرد و در فصل زمستان به کمترین میزان خود می رسد (شکل ۹). به نظر می رسد افزایش تدریجی آب بارش شو در ماه های مربوط به فصل انتقالی بهار و به اوج رسیدن آن در در ماه های مربوط به فصل تابستان، در وهله اول به معنای افزایش دما است که خود افزایش تبخیر را به دنبال دارد و در وهله دوم به دلیل افزایش ضخامت جو و گنجایش ظرفیت رطوبتی آن است؛ زیرا در این دوره از سال، به دلیل حاکمیت دمای زیاد بر کل گستره ایران، شرایط محیطی برای افزایش بخار آب برای تأمین آب بارش شو جو مهیاتر است. به همین دلیل، شکل گیری پهنه هایی با بیشینه آب بارش شو در کرانه های ساحلی شمال و جنوب، نشان دهنده دمای زیاد و وجود منابع رطوبتی چشمگیر خلیج فارس و دریای عمان در جنوب و دریای خزر در شمال است. مهیا بودن چنین شرایطی، سبب داشتن بیشترین میزان آب بارش شو در جو این نواحی از گستره ایران شده است. البته در این میان، بیشتر بودن میزان آب بارش شو در جو نواحی جنوبی ایران (کرانه های خلیج فارس و دریای عمان) در مقایسه با جو ناحیه شمالی ایران (کرانه دریای خزر) بیانگر زیادتر بودن دمای مناطق جنوبی به علت استقرار این نواحی در عرض های جغرافیایی کم است. البته در پراکنش مکانی



شکل ۱۰. توزیع مکانی میانگین آب بارش شو ماهانه در اتمسفر ایران طی دوره آماری ۲۰۱۹-۲۰۲۳.



- ادامه شکل ۱۰.

۴ نتیجه‌گیری

بررسی میزان آب بارش شو می‌تواند نقش مهمی در شناسایی توانمندی‌های آب کشور ایران داشته باشد. برای نیل به هدف، داده‌های ماهواره‌ای آب بارش شو با استفاده از داده‌های سنجنده AIRS طی یک بازه زمانی ۱۷ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۳) بررسی شد. نتایج نشان داد که تفاوت‌های زمانی و مکانی زیادی در میزان آب بارش شو در جو واقع در محدوده اقلیمی ایران وجود دارد. در این میان، بیشترین میزان آب بارش شو مربوط به دوره گرم سال (ماه‌ها و فصول گرم) و کمترین میزان آن مربوط به دوره سرد سال است. در میان ماه‌های مورد مطالعه، بیشترین میزان برآوردشده آب بارش شو در جو ایران مربوط به ماه ژولای و کمترین آن مربوط به ماه ژانویه است. در میان فصول نیز بیشترین (کمترین) میزان آب بارش شو مربوط به فصول تابستان (زمستان) بوده است. از سوی دیگر، کم بودن میزان آب بارش شوی برآوردشده در جو ایران، حاکی از حاکمیت جو خشک (در مقایسه با میانگین جهانی) در بازه‌های زمانی و گستره‌های مکانی است. در این میان، عوامل محلی از جمله دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی، نقش مهمی در توزیع آب بارش شو در جو حاکم بر پهنه ایران زمین دارد. بر اساس مشاهدات، تمرکز آب بارش شو در جو منطبق بر ارتفاعات (به‌خصوص ارتفاعات زاگرس) بسیار کم است و در مقابل، کرانه‌های ساحلی خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر به دلیل برخورداری از منابع عظیم تغذیه رطوبت، در ردیف نواحی با بیشترین میزان آب بارش شو در ایران قرار دارند. با وجود این، میزان آب بارش شو در جو ایران بیش از آنکه با عرض جغرافیایی (بر خلاف توزیع جهانی) ارتباط داشته باشد، تابع توپوگرافی و دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی است. دلیل این تبعیت‌ناپذیری آب بارش شو جو ایران از عرض جغرافیایی، وجود منبع عظیم رطوبتی دریای خزر در شمال است که نظم تأثیر عرض جغرافیایی

بر آب بارش شو را برهم‌زده است. البته تمرکز میزان آب بارش شو در کرانه‌های شمالی و جنوبی ایران متفاوت است. در کرانه‌های جنوبی، به دلیل گرمای هوا، گنجایش رطوبتی جو بیشتر است، در حالی که در ناحیه ساحلی شمال به دلیل دمای کمتر، گنجایش رطوبتی جو کمتر است. از سوی دیگر، نقش ارتفاعات را در این میان نباید نادیده گرفت؛ زیرا فاصله بسیار اندک سواحل خزر با سد کوهستانی البرز مانع از نفوذ رطوبت ساحلی به اعماق خشکی‌ها می‌شود و به همین دلیل، شعاع نفوذ رطوبتی دریای خزر ناچیز و محدود به باریکه ساحلی این دریا است. در مقابل، شرایط به‌نسبت هموار زمین و نبود ارتفاعات زیاد در کرانه‌های جنوبی ایران، اجازه نفوذ رطوبت را تا فاصله زیادی از ساحل می‌دهد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۴)؛ بنابراین، گسیل رطوبتی خلیج فارس و دریای عمان به درون نواحی خشک پیرامونی خود بسیار بیشتر از دریای خزر است. علاوه‌براین، سری زمانی آب بارش شو در جو ایران (۲۰۱۹-۲۰۰۳) حاکی از افزایشی بودن روند آن است. روند افزایشی میزان آب بارش شو در جو ایران که به‌طور بارزی از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۱۹ استمرار داشت، می‌تواند نوعی بازخورد افزایش دما در پهنه ایران باشد و بررسی رفتار آن از منظر تغییر اقلیم شایسته توجه است.

منابع

- بیات، ع.، مشهدی زاده، س.، ۱۳۹۸، تحلیل همبستگی مکانی و زمانی بین بخار آب بارش شو سنجنده AIRS و داده‌های ۹۲ ایستگاه سینوپتیک ایران: نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۳۵)، ۱۹-۳۲.
- دهقانی، ط.، سلیقه، م.، علیجانی، ب.، ۱۳۹۷، اثر تغییر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمال خلیج فارس: نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۴۹)، ۷۵-۹۱.

- رسولی، ع. ا.، جهانبخش، س.، قاسمی، ا. ر.، ۱۳۹۳، بررسی ارتباط بین پارامترهای مهم ابر و بارش روزانه در ایران: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱)، ۲۳-۴۲.
- صادقی حسینی، س. ع.، حجام، س.، تفنگ ساز، پ.، ۱۳۸۴، ارتباط آب بارش شو ابر و بارندگی دیدبانی- شده در منطقه تهران: مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۱(۲)، ۲۱-۱۳.
- عساکره، ح.، دوستکامیان، م.، ۱۳۹۴، بررسی نقش عوامل مکانی بر توزیع پراکندگی بیشینه‌های آب بارش شو جو ایران: مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۵(۳۲)، ۷-۲۴.
- عساکره، ح.، دوستکامیان، م.، قائمی، ه.، ۱۳۹۳، تحلیل تغییرات ناهنجاری‌ها و چرخه‌های آب بارش شو جو ایران: فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۴)، ۴۴۴-۴۳۵.
- قاسمی، ا. ر.، ۱۳۹۱، مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی پوشش ابری، با تأکید بر روزهای بارش در ایران: رساله دکتری رشته جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز.
- مباشری، م. ر.، پورباقر کردی، س. م.، فرج زاده اصل، م.، صادقی نائینی، ع.، ۱۳۸۹، برآورد آب بارش کلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های رادیوساوند (منطقه مورد مطالعه: ناحیه تهران): مدرس علوم انسانی، ۶۵(۲)، ۱۰۷-۱۲۶.
- محمدی‌ها، ا.، معماریان، م. ح.، آزادی، م.، ریحانی پروری، م.، ۱۳۹۳، بررسی پیش‌بینی‌های مدل WRF برای آب بارش شو و ارتباط آن با برآورد بارش به کمک داده‌های رادار تهران: مجله ژئوفیزیک ایران، ۳(۲۲)، ۱-۱۳.
- نجفی، د.، ۱۳۸۳، محاسبه آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته و حداکثر آب بارش شو ایستگاه اصفهان: دومین کنفرانس دانشجویی منابع آب و خاک، دانشگاه شیراز.
- Adeyemi, B., and Joerg, S., 2012, Analysis of water vapor over Nigeria using radiosonde and satellite data: *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **51**(10), 1855-1866.
- Alshawaf, F., Balidakis, K., Dick, G., Heise, S., and Wickert, J., 2017, Estimating trends in atmospheric water vapour and temperature time series over Germany: *Journal of Atmosphere*, **10**, 3117-3132.
- Asakereh, H., Doostkamian, M., and Sadrafshary, S., 2015, Anomalies and cycles of precipitable water over Iran in recent decades: *Arabian Journal of Geosciences*, **8**(11), 9569-9576.
- Bedka, S., Knuteson, R., Revercomb, H., Tobin, D., and 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**(17), 241-256.
- Bender, M., Dick, G., Wickert, J., Schmidt, T., Song, S., Gendt, G., Ge, M., and Rothacher, M., 2008, Validation of GPS slant delays using water vapour radiometers and weather models: *Meteorologische Zeitschrift*, **17**(7), 807-812.
- Benevides, P., Catalao, J., and Miranda, P. M. A., 2015, On the inclusion of GPS precipitable water vapor in the nowcasting of rainfall: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **15**(21), 2605-2616.
- Bengtsson, L., Hagemann, S., and Hodges, K. I., 2004, Can climate trends be calculated from reanalysis data?: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **109**, D11, <https://doi.org/10.1029/2004JD004536>.
- Bennitt, G. V., and Jupp, A., 2012, Operational assimilation of GPS zenith total delay observations into the met office numerical weather prediction models: *Monthly Weather Review*, **140**, 2706-2719.
- Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A., and Ware, R. H., 1992, GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **97**(8), 15787-15801.

- Bock, O., Keil, C., Richard, E., Flamant, C., and Bouin, M. N., 2005, Validation of precipitable water from ECMWF model analyses with GPS and radiosonde data during the MAP SOP: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, **131**, 3013–3036.
- Bolsenga, S. J., 1965, The relationship between total atmospheric water vapor and surface dew point on a mean daily and hourly basis: Journal of Applied Meteorology, **4**, 430–432.
- Bretherton, H. S., Matthew, E. P., and Larissa, E. B., 2004, Relationships between Water Vapor Path and Precipitation over the Tropical Oceans: Journal of Climate, **17**, 1517–1528.
- Campmany, E., Bech, J., Rodríguez-Marcos, J., Sola, Y., and Lorente, J., 2010, A comparison of total precipitable water measurements from radiosonde and sunphotometers: Atmospheric Research, **97**, 385–392.
- Campos-Arias, P., Esquivel-Hernández, G., Valverde-Calderon, J. F., Rodríguez-Rosales, S., Moya-Zamora, J., Sanchez-Murillo, R., and Boll, J., 2019, GPS Precipitable Water Vapor estimations over Costa Rica: A Comparison against atmospheric sounding and Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS): Climate, **7**, 63–76.
- Chang-Geun, P., Kyoung-Min, R., and Jungho, C., 2012, Radiosonde sensors bias in precipitable water vapor from comparisons with global positioning system measurements: Journal of Astronomy and Space Sciences, **29**(3), 295–303.
- Chen, B., and 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**(11), 442–462.
- Diedrich, H., Wittchen, F., Preusker, R., and Fischer, J., 2016, Representativeness of total column water vapour retrievals from instruments on polar orbiting satellites: Atmospheric Chemistry and Physics, **16**, 8331–8339.
- Elgered, G., and Jarlemark, P. O., 1998, Ground-based microwave radiometry and long-term observations of atmospheric water vapor: Radio Science, **33**(7), 707–717.
- Falaiye, O. A., Abimbola, O. J., Pinker, R. T., and Willoughby, A. A., 2018, Multi-technique analysis of precipitable water vapor estimates in the sub-Sahel West Africa: Heliyon, **4**, 756.
- Fujibe, F., 2016, Annual variation of extreme precipitation intensity in Japan: Assessment of the validity of Clausius-Clapeyron scaling in seasonal change: Scientific Online Letters on Atmosphere, **12**, 106–110.
- Fujita, M., and Sato, T., 2017, Observed behaviours of precipitable water vapour and precipitation intensity in response to upper air profiles estimated from surface air temperature: Scientific Reports, **7**(3-4), 4233.
- Fujita, M., Wada, A., Iwabuchi, T., and Rocken, C., 2012, GPS precipitable water vapor dataset for climate science: Proceedings of the 25th international technical meeting of the satellite division of the Institute of Navigation, **19**, 3454–3458.
- Gao, B. C., and Kaufman, Y. J., 2003, Water vapor retrievals using moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels: Journal of Geophysical Research: Atmospheres, **108**, 1007–1021.
- Gendt, G., Dick, G., Reigber, C., Tomassini, M., Liu, Y., and Ramatschi, M., 2004, Near real time GPS water vapor monitoring for numerical weather prediction in Germany: Journal of Meteorological Society of Japan, **82**, 361–370.
- Gui, K., Che, H., Chen, Q., Zeng, Z., Liu, H., Wang, Y., Zheng, Y., Sun, T., Liao, T., and Wang, H., 2017, Evaluation of radiosonde, MODIS-NIR-Clear, and AERONET precipitable water vapor using IGS ground-based GPS measurements over China: Atmospheric Research, **197**, 461–473.
- Haas, R., Elgered, G., Gradinarsky, L., and Johansson, J. M., 2003, Assessing long term trends in the atmospheric water vapor content by combining data from VLBI, GPS, radiosondes and microwave radiometry: Proceedings of the 16th working meeting on European VLBI for geodesy and astrometry, edited by: Schwegmann, W. and Thorandt, V., Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 9–10 May 2003, Frankfurt/Leipzig, Germany, **14**, 279–288.
- Hagan, D. E., Webster, C. R., Farmer, C. B., May, R. D., Herman, R. L., Weinstock, E. M., and Newman, P. A., 2004, Validating AIRS upper atmosphere water vapor retrievals using aircraft and balloon in situ measurements: Geophysical Research Letters, **31**(21), 217–242.
- Hausmann, P., Sussmann, R., Trickl, T., and 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**, 7635–7651.
- Heise, S., Dick, G., Gendt, G., Schmidt, T., and Wickert, J., 2009, Integrated water vapor from IGS ground-based GPS observations: initial results from a global 5-min data set: *Annals of Geophysics*, **27**, 2851–2859.
- Jade, S., and Vijayan, M., 2008, GPS-based atmospheric precipitable water vapor estimation using meteorological parameters interpolated from NCEP global reanalysis data: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **113**(10), 1029.
- Jiang, J., Zhou, T., and Zhang, W., 2019, Evaluation of satellite and reanalysis precipitable water vapor data sets against radiosonde observations in Central Asia: *Earth and Space Science*, **10**, 1029.
- Kanamaru, K., and Masunaga, H. A., 2013, satellite study of the relationship between sea surface temperature and column water vapor over tropical and subtropical oceans: *Journal of Climate*, **26**, 4204–4218.
- Kristin, K., Brin, G., 2008, Global positioning system (GPS) perceptible water in forecasting lightning at spaceport Canaveral: *Weather Forecasting*, **23**, 219 – 232.
- Kumar, S., Allan, R. P., Zwiers, F., Lawrence, D. M., and Dirmeyer, P. A., 2015, Revisiting trends in wetness and dryness in the presence of internal climate variability and water limitations over land: *Geophysical Research Letters*, **42**, 10867–10875.
- Lee, M. I., Schubert, S. D., Suarez, M. J., Held, I. M., Lau, N. C., Plushy, J. J., Kumar, A., Kim, H. K., and Schema, J. K. E., 2007, An analysis of the warm-season diurnal cycle over the continental United States and northern Mexico in general circulation models: *Journal of Hydrometeorology*, **8**(3), 344–366.
- Lenderink, G., and van Meijgaard, E. V., 2010, Linking increases in hourly precipitation extremes to atmospheric temperature and moisture changes: *Environmental Research Letters*, **5**, 025208.
- Li, X., Tan, H., Dick, G., Wickert, J., and Schuh, H., 2018, Real-time sensing of precipitable water vapor from BeiDou observations: Hongkong and CMONOC networks: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **123**, 212–221.
- Loriaux, J. M., Lenderink, G., Roode, S. R. D., and Siebesma, A. P., 2013, Understanding convective xtreme precipitation scaling using observations and an entraining plume model: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **70**, 3641–3655.
- Lu, N., Qin, J., Yang, K., Gao, Y., Xu, X., and Koike, T., 2011, On the use of GPS measurements for moderate resolution imaging spectrometer precipitable water vapor evaluation over southern Tibet: *Journal of Geophysical Research*, **16**(D23), 1–7.
- Luo, X., Mayer, M., and Heck, B., 2008, Extended neutrospheric modeling for the GNSS-based determination of high-resolution atmospheric water vapor fields: *Boletim de Ciencias Geodesicas.*, **14**, 149–170.
- Maghrabi, A., and Al Dajani, H. M., 2012, Estimation of precipitable water vapour using vapour pressure and air temperature in an arid region in central Saudi Arabia: *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, **14**, 1–8.
- Moteki, N., and Kondo, Y., 2013, A new theoretical method for calculating temperature and water vapor saturation ratio in an expansion cloud chamber: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **118**, 6627–6633.
- Nilsson, T., and Elgered, G., 2008, Long-term trends in the atmospheric water vapor content estimated from groundbased GPS data: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **113**, D19101.
- Ning, T., Wickert, J., Deng, Z., Heise, S., Dick, G., Vey, S., and Schone, T., 2016, Homogenized time series of the atmospheric water vapor content obtained from the GNSS reprocessed data: *Journal of Climate*, **29**, 2443–2456, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0158.1>.
- Ojo, O., 2006, The distribution of mean monthly precipitable water vapor and annual precipitation efficiency in Nigeria: *Theoretical and Applied Climatology*, **18**, 221–238.
- Prasad, A. K., and 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).
- Raja, M. R. V., Gutman, S. I., Yoe, J. G., McMillin, L. M., and 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.
- Sharifi, M. A., Khaniani, A. S., and Joghataei, M., 2015, Comparison of GPS precipitable water vapor and meteorological parameters during rainfalls in Tehran: Meteorology and Atmospheric Physics, **127**(6), 701-710.
- Sherwood, S. C., Roca, R., Weckwerth, T. M., and Andronova, N. G., 2010, Tropospheric water vapor, convection, and climate: Reviews of Geophysics, **48**(15), 2001.
- Sun, L., Shen, B., and Sui, B., 2010, A study on water vapor transport and budget of heavy rain in northeast China: Advances in Atmospheric Sciences, **27**(6), 1399-1414.
- van der Ent, R. J., and Tuinenburg, O. A., 2017, The residence time of water in the atmosphere revisited: Hydrology and Earth System Sciences, **21**, 779-790.
- Vaquero-Martínez, J., Antón, M., Ortiz de Galisteo, J., Cachorro, V., Costa, M., Román, R., and Bennouna, Y., 2017, Validation of MODIS integrated water vapor product against reference GPS data at the Iberian Peninsula: International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, **63**, 214-221.
- Vaquero-Martínez, J., Anton, M., Ortiz de Galisteo, J. P., Cachorro, V. E., Alvarez-Zapatero, P., Roman, R., Loyola, D., Costa, M. J., Wang, H., and Gonzalez Abad, G., 2018, Inter-comparison of integrated water vapor from satellite instruments using reference GPS data at the Iberian Peninsula: Remote Sensing Of Environment, **204**, 729-740.
- Wang, H., Wei, M., Li, G., Zhou, S., and Zeng, Q., 2013, Analysis of precipitable water vapor from GPS measurements in Chengdu region: Distribution and evolution characteristics in autumn: Advances in Space Research, **52**, 656-667.
- Willoughby, A. A., Adimula, I. A., Aro, T. O., and Owolabi, I. E., 2008, Analysis of radiosonde data on tropospheric water vapor in Nigeria: Journal of Physics, **20**(2), 299-308.
- You, Q., Jiang, Z., Bao, Y., Pepin, N., and Fraedrich, K., 2016, Trends in upper tropospheric water vapour over the Tibetan Plateau from remote sensing: International Journal of Climatology, **36**, 4862.
- Zehang, J., Shi chuch, X., Lu, Q., Xie, Z., 2010, Evaluation of total perceptible water over east Asia from FY-3A/VIRR infrared radiances: Atmospheric and Oceanic Letters, **3**, 93 - 99.
- Zhang, X., Li, M., and Sun, T., 2013, Spatiotemporal variation of water vapor in upper troposphere over Central Asia based on AIRS satellite retrieval (in Chinese): Arid Zone Research, **30**(6), 951-957.
- Zhang, Y., Wang, D., Zhai, P., and Gu, G., 2012, Applicability of AIRS monthly mean atmospheric water vapor profiles over the Tibetan Plateau region: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, **29**(11), 1617-1628.

Monitoring of Temporal-Spatial Distribution of Preceptible Water (PW) in Iranian Atmosphere Using Aqua/AIRS Data

Raispour Koohzad ^{1*}

¹ Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received: 03 May 2020, Accepted: 24 July 2020)

Summary

Preceptible Water (PW) which is one of the most important variables studied in meteorology and cloud physics, plays an important role in predicting air and rainfall. In this study, AIRS's sensor Aqua satellite PW data were used with monthly and spatial time steps of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ for the statistical period of 2003-2019. The AIRS sensor is one of the six Aqua satellite sensors designed to help researchers to investigate change of climate and improve air forecasting. The sensor has a very wide range of resolution, which is tens of times more powerful than similar devices before it. The extracted data, after qualitative control and pre-processing, were used by specialized softwares such as ENVI, ArcGIS and Grads to build raster, vector and information tables based on the geographical boundary of Iran. The data used are numerical and their numerical values are the amount of PW in millimeters (mm) per pixel or cell that was estimated for annual, seasonal and monthly observations. The average PW in the atmosphere of Iran is 13 mm, which is lower than the average PW of the global atmosphere (22 mm). On the other hand, the amount of PW in the atmosphere of Iran does not have a homogeneous time and space distribution. So, among the studied months, the highest amount is related to July and the lowest amount is related to January. Among the seasons, the highest (lowest) amount of PW was estimated in summer (winter). Meanwhile, local factors such as remoteness and proximity to moisture sources, play an important role in the distribution of PW in the atmosphere prevailing in Iran. According to the observations, the prevailed atmosphere over the heights (especially the Zagros mountains) has very low PW concentration, in contrast to the coastal shores of the Persian Gulf, Oman Sea and Caspian Sea. It is because of having huge sources of moisture nutrition in the regions with the highest rainfall in Iran. However, the amount of PW in the atmosphere of Iran is more dependent on topography, distance, and proximity to moisture sources than on latitude (as opposed to global distribution). On the other hand, the PW behavior of the atmosphere of Iran over time, indicates that its trend is increasing. In addition to being a form of feedback on rising temperatures across Iran, the increasing trend of PW is also important in terms of climate change.

Keywords: Preceptible Water, AIRS sensor, temporal-spatial distribution, atmosphere of Iran s

*Corresponding author:

Raispour@znu.ac.ir