

## ارزیابی داده‌های بارش پایگاه ملی اسفزاری در برآورد رواناب و پایش خشکسالی منطقه‌ای

محمد رضا عینی<sup>۱</sup>، سامان جوادی<sup>۲\*</sup>، مجید دلاور<sup>۳</sup>، محمد دارند<sup>۴</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس

۴. دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۴/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۷/۱۲)

## چکیده

داده‌های بارش پایگاه‌های واکاوی شده اقلیمی به دلیل شبکه‌بندی منظم و پوشش مکانی و زمانی زیاد در همه نقاط، برای انجام پژوهش‌هایی مانند پیش‌بینی اقلیمی، مدل‌سازی تغییر اقلیم، مدیریت منابع آب و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، به‌خصوص در مناطق بدون داده‌های مشاهداتی، کاربردهای زیادی دارند. از این‌رو، در این پژوهش، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با بهره‌گیری از مدل SWAT و پایش مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و SDI در منطقه دریاچه مهارلو و ارزیابی دقت زمانی- مکانی پایگاه داده ملی اسفزاری در مقایسه با ایستگاه‌های مشاهداتی به‌عنوان مرجع روی این گستره مکانی ارزیابی شد. یافته‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی رواناب روی گستره واکاوی شده بیان‌کننده دقت بسیار زیاد این پایگاه در مقایسه با مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده توسط ایستگاه‌های مشاهداتی است. ضریب تبیین و کارایی نش به‌طور متوسط دقت ۰/۶ را در شبیه‌سازی از خود نشان داده‌اند. دقت پایگاه داده یادشده در فصول سرد و بارانی بسیار بیشتر از فصل گرم سال است. در ماه‌های پربارش ضریب همبستگی حدود ۰/۸۵ و شاخص POD بیش از ۰/۹ را نشان می‌دهد. همچنین، از آنجا که دقت برآورد پایش خشکسالی در این پایگاه طی بازه زمانی واکاوی شده بسیار زیاد است، می‌توان گفت که از این پایگاه داده می‌توان به عنوان یک پایگاه قابل اعتماد و جایگزین در شبیه‌سازی رواناب و خشکسالی برای مناطقی بهره گرفت که سری‌های زمانی بارش همراه با کمبودهای آماری هستند.

کلیدواژه‌گان: پایگاه واکاوی شده، دریاچه مهارلو، شاخص‌های SPI و SDI، مدل SWAT.

## مقدمه

بارش مهم‌ترین سنجۀ جوئی است که کارکردی مهم و اساسی در چرخۀ هیدرولوژی و ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی دارد [۱]. بنابراین، دقت و قابل اطمینان بودن داده‌های مربوط به آن در مقیاس زمانی و مکانی برای شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم، پیش‌بینی سیلاب و مدل‌سازی بارش رواناب اهمیت فراوانی دارد. سیستم‌های سنتی اندازه‌گیری بارش به دلایل مختلفی نظیر، خطای اندازه‌گیری، هزینه زیاد و صعب‌العبور بودن برخی مناطق قابلیت راه‌اندازی در همه مناطق را ندارند [۲]. با وجود این مشکلات و پیشرفت فناوری در دهه‌های اخیر پایگاه‌های جهانی بسیار زیادی برای ارائه اطلاعات مربوط به بارش در جهان توسعه یافته‌اند، از میان این پایگاه‌ها محصولات ماهواره‌ای نظیر TRMM، PERSIANN-CDR و پایگاه‌های واکاوی شده نظیر CRU، CFSR و NCEP دقت و توانایی زیادی در برآورد بارش نشان داده‌اند [۳]. در این میان در کشور ایران برای از میان برداشتن مشکلات یادشده در سال ۱۳۸۴ دانشگاه اصفهان اقدام به ساخت پایگاه اسفزاری<sup>۱</sup> کرده است [۴]. ارزیابی این پایگاه‌ها به‌منظور دقت برآورد بارش آنها در ابعاد مختلفی قابل انجام است. به‌طور مثال، علاوه بر مقایسه آماری این پایگاه‌ها با داده‌های مشاهداتی می‌توان به بررسی عملکرد این پایگاه‌ها برای برآورد رواناب و پایش مکانی خشکسالی هواشناسی اشاره کرد.

در خصوص ارزیابی پایگاه‌های واکاوی شده می‌توان به پژوهش فوکا و همکارانش [۵] اشاره کرد که نتیجه گرفتند داده‌های NCEP CFSR در شبیه‌سازی رواناب در مدل SWAT بهتر از شبکه داده‌های مشاهداتی عمل می‌کنند. همین نتیجه توسط اورباچ و همکارانش [۶] در پورتوریکو برای پایگاه NCEP CFSR ثبت شده است. دیل و سرینیواسان [۷] با بررسی داده‌های NCEP CFSR و مقایسه آنها با شبکه مشاهداتی در مناطق مختلف و وسیعی در حوضۀ آبریز رود نیل، که شبکه جمع‌آوری مشاهداتی آنها تراکم کمی داشتند، به این نتیجه رسیدند که تفاوت چشمگیری بین این داده‌ها وجود ندارد. مونتوریو و همکارانش [۸] در شبیه‌سازی حوضه‌ای در برزیل توسط مدل SWAT به مقایسه و ترکیب محصولات ERA و NCEP SFSR با داده‌های مشاهداتی

پرداختند. در نتیجه، ترکیب این سه پایگاه توانست به‌خوبی دقت شبیه‌سازی را بهبود بخشد. دارند و همکارانش [۹] با بررسی عملکرد بارش ماهواره‌ای TMPA روی ایران، نتیجه گرفتند که این پایگاه داده ماهواره‌ای در غرب ایران و به‌ویژه در رشته‌کوه زاگرس عملکرد قابل قبولی را نشان داده و حتی در دوره‌های پربارش عملکرد بهتری داشته است. حاجی حسینی و همکارانش [۱۰] پایگاه CRU در حوضه‌های مرزی و فرامرزی کشور، که ایستگاه‌های مشاهداتی با تراکم کم موجود هستند، را بررسی و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی کردند و نتیجه گرفتند که این پایگاه تا حد زیادی قابل اعتماد است. مسعودیان و همکارانش [۱۱] با مقایسه پایگاه بارش ملی اسفزاری با پایگاه‌های جهانی GPCP، CMAP و GPCP در سرتاسر ایران، مشخص کردند که همبستگی زیادی بین این پایگاه‌ها در ماه‌های پربارش وجود دارد. در تحقیقی مشابه، دارند و همکارانش [۱۲] با مقایسه نسخه نخست پایگاه اسفزاری با پایگاه‌های GPCP، GPCP،<sup>۳</sup> APHRODITE<sup>۴</sup> مشخص کردند که بین مقادیر بارش پایگاه اسفزاری و مشاهداتی با سایر پایگاه‌های یادشده اختلاف معناداری وجود داشته، به‌طوری که این پایگاه در برآورد بارش به‌خصوص در ماه‌های مرطوب دقت زیادی دارد. در پژوهشی دیگر دارند و زندکریمی [۴] نسبت به ارزیابی دقت بارش پایگاه GPCP با نسخه دوم پایگاه اسفزاری و داده‌های مشاهداتی اقدام کرده‌اند که نتایج نشان داد پایگاه GPCP، به‌خصوص در ماه‌های پربارش در سطح کشور ایران، دقت زیادی دارد.

در ایران رضیئی و همکارانش [۱۳] با استفاده از پایگاه GPCP و NCEP NCAR به بررسی خشکسالی با شاخص SPI<sup>۵</sup> پرداخته‌اند که نتایج به‌دست آمده بیان‌کننده دقت همخوانی بیشتر پایگاه GPCP با ایستگاه مشاهداتی بود. در پژوهشی مشابه کتیرائی بروجردی و همکارانش [۱۴] دقت چهار پایگاه جهانی GPCP، APHRODITE، MERRA و GLDAS در پایش خشکسالی در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ در ایران را ارزیابی کردند. نتایج، ضعف این مدل‌ها را در سواحل دریای خزر و دقت زیادی را در غرب رشته‌کوه زاگرس نشان می‌دهد.

2. Global Precipitation Climatology Center (GPCC)  
3. Global Precipitation Climatology Program (GPCP)  
4. Asian Precipitation Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources (APHRODITE)  
5. Standard Precipitation Index (SPI)

1. دانشگاه اصفهان

واسنجی و اعتبارسنجی مدل به کار گرفته شده‌اند. همچنین، محصولات عمده منطقه نظیر گندم، زیتون و انگور در این شبیه‌سازی وارد مدل شده‌اند. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های اقلیمی، پایگاه اسفزاری و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی در منطقه و شبکه آبراهه‌ای آمده است. در این پژوهش طول دوره آماری استفاده‌شده برای ارزیابی دقت مدل‌های واکاوی‌شده اقلیمی، از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۳ انتخاب شده است. برای مدل‌سازی از سال ۱۹۸۰ تا سال ۱۹۸۳ برای دوره Warm up استفاده و از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۰ برای دوره واسنجی و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ برای اعتبارسنجی استفاده شده است. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی، کاربری اراضی (GLCC<sup>۱</sup>) و خاک (FAO v1.2<sup>۲</sup>) در شکل ۱ آمده است.

#### پایگاه داده ملی اسفزاری (Asfazari)

پایگاه داده ملی اسفزاری توسط دانشگاه اصفهان ایجاد شده است [۱۱]. نسخه نخست این پایگاه داده به کمک داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ ایستگاه همدید (سینوپتیک)، اقلیمی و باران‌سنجی طی دوره زمانی ۱۹۶۱/۳/۲۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ فراهم شده است (شکل ۲-الف). برای انجام درون‌یابی از روش زمین‌آماری کریجینگ استفاده شده است. مقادیر بارش به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر روی ایران برآورد شده‌اند. نسخه دوم این پایگاه داده برپایه داده‌های روزانه ۴۴۲۰ ایستگاه همدید (سینوپتیک)، اقلیمی و باران‌سنجی برای بازه زمانی ۲۰۰۵/۱/۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ به همان روش به‌کارگرفته‌شده در نسخه اول به‌روزرسانی شده است (شکل ۲-ب). به‌بیانی دیگر، مقادیر بارش ۳۲۸۷ روز دیگر به نسخه نخست پایگاه داده اسفزاری اضافه شد و در نهایت ماتریسی با بزرگی ۱۹۲۷۹×۷۱۸۷ به‌دست آمد [۴].

#### ارزیابی دقت داده‌های بارش پایگاه ملی بارش اسفزاری

به‌منظور برآورد دقت این پایگاه بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی، از داده‌های بارش پایگاه مشاهداتی و داده‌های بارش پایگاه ملی اسفزاری، متوسط‌گیری وزنی (تیسسن) انجام شده و سپس با هفت شاخص آماری در ماه‌های مختلف، دقت پایگاه برآورد شد. این هفت شاخص عبارت‌اند از ضریب همبستگی (CC<sup>۳</sup>)، ریشه دوم میانگین

در مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و نیمه‌توزیعی مانند SWAT موقعیت مکانی ایستگاه بارش در کنار دقت آن کارکرد فراوانی در زیادشدن دقت شبیه‌سازی دارد. در حال حاضر، بررسی تفاوت‌های آماری این پایگاه‌ها و چگونگی تأثیرگذاری روی خروجی‌های مدل در شبیه‌سازی‌های مختلف هیدرولوژیکی حائز اهمیت است [۱۵-۱۸]. این پژوهش‌ها در مناطق بدون داده‌های مشاهداتی یا داده‌های مشاهداتی کم از نظر مکانی و طول دوره زمانی برای تخمین یا تدقیق یا تکمیل داده‌های بلندمدت در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی با مدل SWAT بسیار بااهمیت است [۱۹ و ۲۰].

با توجه به بررسی مطالعات انجام‌شده در ایران مشخص شد که از پایگاه اسفزاری در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل SWAT استفاده نشده است. همچنین، در پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از SPI اصلاح‌شده، دقت این پایگاه ملی سنجیده نشده است. از این‌رو، در پژوهش حاضر برای نخستین‌بار ابتدا مدل SWAT برای حوضه دریاچه مهارلو توسط داده‌های مشاهداتی واسنجی و اعتبارسنجی شده است و سپس با تغییردادن داده‌های بارش و استفاده از پایگاه اسفزاری نتایج شبیه‌سازی ارزیابی شده است که از نوآوری اصلی این تحقیق محسوب می‌شود. همچنین، از شاخص SPI اصلاح‌شده و شاخص SDI برای پایش منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و مقایسه نتایج این دو شاخص برای دو پایگاه استفاده شده است.

#### مواد و روش‌ها

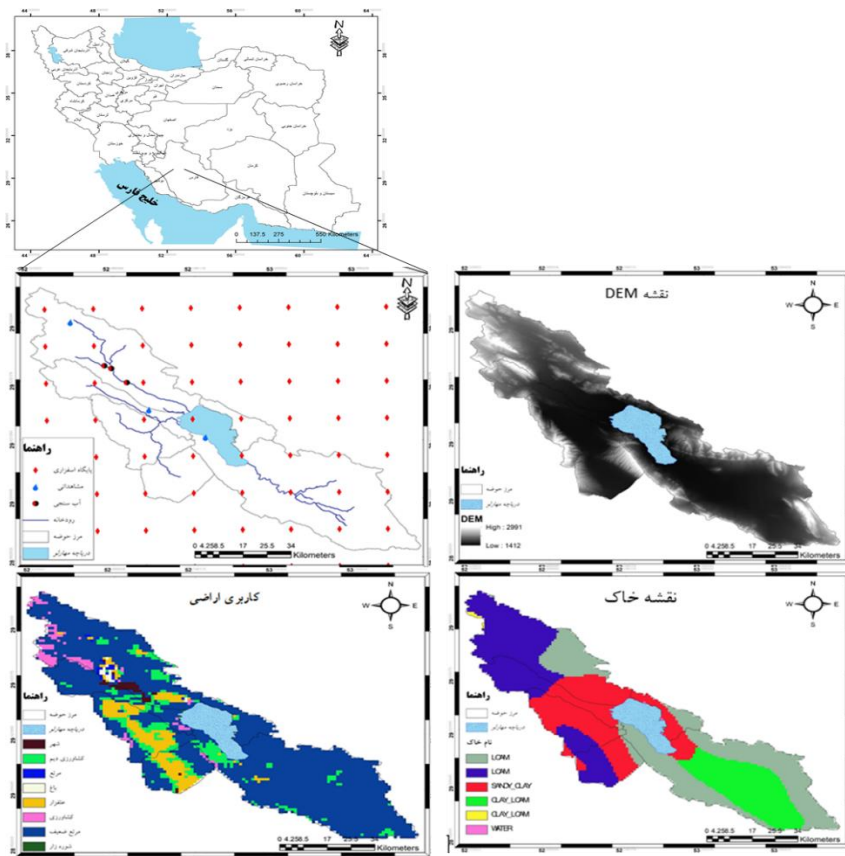
##### منطقه مطالعه‌شده

حوضه درجه ۳ دریاچه مهارلو به وسعت ۴۲۷۰ کیلومترمربع در استان فارس واقع شده است. این محدوده مطالعاتی در حوضه آبریز فلات مرکزی و در تقسیمات حوضه آبریز فرعی دریاچه‌های طشک بختگان و مهارلو قرار دارد. حوضه دریاچه مهارلو بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و یک دقیقه تا ۳۰ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول‌های ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی واقع شده است. متوسط بارش ثبت‌شده در این منطقه برابر با ۳۶۸ میلی‌متر و دمای متوسط این منطقه ۱۷/۴ درجه سلسیوس است. در پژوهش حاضر سه ایستگاه مشاهداتی و آب‌سنجی در این منطقه برای

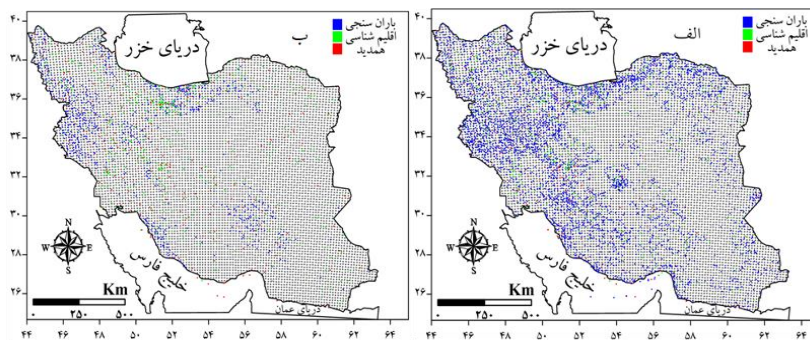
1. [https://lta.cr.usgs.gov/glcc/globdoc2\\_0](https://lta.cr.usgs.gov/glcc/globdoc2_0)

2. <http://www.fao.org/soils-portal/en/>

3. Correlation coefficient



شکل ۱. محدوده مطالعاتی، لایه‌های رقومی استفاده‌شده و شبکه‌بندی پایگاه اسفزاری



شکل ۲. موقعیت مکانی یاخته‌ها و ایستگاه‌های همدید (سینوپتیک)، اقلیمی و باران‌سنجی روی ایران در نسخه نخست پایگاه داده اسفزاری (الف) و نسخه دوم (ب) ([۴], ۱۰۱, ۱۳۹۵)

شوند. CC بیان‌کننده همبستگی خطی بین پایگاه واکاوی‌شده و داده‌های مشاهداتی هستند. RMSE خطای متوسط بین بارش تخمین زده‌شده و مشاهداتی با در نظر گرفتن وزن بیشتر برای خطاهای زیاد را محاسبه می‌کند. BIAS نسبی، خطای سیستماتیک داده‌های بارش را محاسبه می‌کند. سه شاخص طبقه‌بندی FAR, POD و CSI بیان‌کننده تناظر بین بارش رخ داده و تخمین زده‌شده را نشان می‌دهد [۳]. شاخص POD نسبت بارش تخمینی

مربعات خطا (RMSE)<sup>۱</sup>، شاخص اریبی (BIAS)، احتمال تشخیص (POD)<sup>۲</sup>، میزان هشدار اشتباه (FAR)<sup>۳</sup> و شاخص بحرانی موفقیت (CSI)<sup>۴</sup>. هریک از این شاخص‌ها به‌تنهایی بیان‌کننده یک ویژگی خاص از پایگاه ملی اسفزاری هستند که باید در برآورد دقت پایگاه سنجدیده

1. Root mean squared error
2. Probability of detection
3. False alarm ratio
4. Critical success index

بهترین حالت مقدار صفر را خواهد داشت. شاخص CSI در صورتی به حالت بهینه می‌رسد که مقدار آن یک شود، یعنی هر دو پایگاه هم‌زمان بارش‌ها را درست تشخیص داده باشند. در جدول ۱ روابط این شاخص‌ها آمده است.

صحیح به کل بارش‌های ثبت‌شده در ایستگاه مشاهداتی است و مقدار بهینه آن یک است. شاخص FAR نسبت تعداد بارش ثبت‌شده زمینی نادرست به کل بارش‌های ثبت‌شده است که ایستگاه اسفزاری آن را ثبت کرده اما در ایستگاه مشاهداتی بارش ثبت نشده است، این شاخص در

جدول ۱. شاخص‌های آماری استفاده‌شده

شماره	شاخص	واحد	رابطه	مقدار بهینه
۱	ضریب همبستگی	-	$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - M_{avg})^2}}$	۱
۲	ریشه دوم میانگین مربعات خطا	mm	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N}}$	صفر
۳	شاخص اریبی	%	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{N} \times 100$	صفر
۴	احتمال تشخیص	-	$POD = \frac{H}{H + M}$	۱
۵	میزان هشدار اشتباه	-	$FAR = \frac{F}{H + F}$	صفر
۶	شاخص بحرانی موفقیت	-	$CSI = \frac{H}{H + F + M}$	۱

این رابطه  $SW_t$  میزان آب باقی‌مانده در خاک،  $SW_o$  میزان اولیه رطوبت خاک،  $t$  زمان برحسب روز،  $R_{day}$  بارش روزانه برای روز  $i$  ام،  $Q_{surf}$  مجموع رواناب روزانه برای روز  $i$  ام،  $E_a$  تبخیر تعرق به‌دست‌آمده از روش پنمن مانیتیس،  $W_{seep}$  نفوذ آب از پروفیل زیرین خاک برای روز  $i$  ام،  $Q_{gw}$  جریان آب بازگشتی برای روز  $i$  ام.

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (7)$$

برای ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کارایی نش-ساتکلیف (NS) در کنار R-factor و P-factor استفاده می‌شود. کیفیت برآزش با تعیین درصد مربوط به متغیرهای مشاهده‌شده که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرند (P-factor) و همچنین متوسط فاصله بین باندهای بالا و پایین (R-factor) تعیین می‌شود. روابط ۸ و ۹ به ترتیب بیان‌کننده ضریب تبیین و کارایی نش هستند که اجزای این روابط همانند روابط ۱ تا ۶ هستند.

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - M_{avg})^2}} \right]^2 \quad (8)$$

$$NS = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})^2} \right] \quad (9)$$

در روابط یادشده  $N$  فراوانی داده‌ها،  $i$  روز،  $O_i$  مقادیر بارش مربوط به داده‌های مشاهداتی،  $M_i$  مقادیر بارش مربوط به داده‌های پایگاه‌های واکاوی‌شده،  $O_{avg}$  متوسط بارش داده‌های مشاهداتی و  $M_{avg}$  متوسط بارش داده‌های پایگاه‌های واکاوی‌شده و  $H$  فراوانی روزهای همراه با بارش که توسط هر دو پایگاه ثبت شده است،  $M$  فراوانی روزهای همراه با بارش است که مشاهده شده، ولی پایگاه داده اسفزاری ثبت نکرده و  $F$  فراوانی روزهای بارشی است که پایگاه داده اسفزاری ثبت کرده است، ولی روی ایستگاه بارش مشاهده نشده است.

#### مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل SWAT با توجه به گستردگی معادلات حاکم بر آن از قوی‌ترین و پیچیده‌ترین مدل‌های هیدرولوژیکی به حساب می‌آید. در عین حال، این مدل با توجه به انجام پروژه‌های متعدد در سطح بین‌المللی نشان داده است که دقت بسیار زیادی دارد. مدل SWAT از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۱۲ در اداره تحقیقات کشاورزی آمریکا (USDA-ARS<sup>۱</sup>) توسعه یافته است [۲۱]. با استفاده از رابطه ۷ بیان آب‌های سطحی توسط SWAT محاسبه می‌شود. در

1. U.S. Department of Agriculture's Agricultural Research Service

## نتایج و بحث

## ارزیابی داده‌های بارش پایگاه ملی اسفزاری

پس از متوسط‌گیری وزنی با روش تیسن از داده‌های بارش مشاهداتی و پایگاه ملی اسفزاری، داده‌های روزانه هر ماه با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج شاخص‌های آماری در جدول ۳ آمده است. ضریب همبستگی در ماه‌های تابستان، به‌خصوص در ماه سپتامبر، بیان‌کننده همبستگی خطی کم نسبت به سایر ماه‌هاست، کمترین میزان این ضریب با ۰/۰۱ در ماه سپتامبر رخ داده است. ریشه دوم میانگین مربعات خطا در ماه‌های پربارش منطقه خطای بیشتری، به‌خصوص در ماه ژانویه، با مقدار ۵/۱۲ نشان می‌دهد. مقادیر درصد آریبی مثبت نشان‌دهنده برآورد بیشتر بارش توسط پایگاه ملی اسفزاری و مقادیر منفی کم‌برآورد را نشان می‌دهند، در حالت کلی مقادیر درصد آریبی نشان‌دهنده دقت زیاد پایگاه اسفزاری در برآورد مقادیر بارش است. شاخص‌های طبقه‌بندی نشان دادند احتمال تشخیص بارش (POD) در ماه سپتامبر کمترین مقدار را دارد و همچنان در ماه‌های فصل تابستان، دقت پایگاه کمتر از ماه‌های پربارش است. میزان هشدار اشتباه (FAR) در ماه ژانویه، آگوست و سپتامبر نشان داده است که در این ماه‌ها، تعداد بارش ثبت‌شده توسط پایگاه که مشاهده نشده است، بیشتر از سایر ماه‌ها بوده است. در نهایت، مقادیر شاخص بحرانی موفقیت در ماه‌های ژانویه، آگوست و سپتامبر کمترین مقادیر را داشته است و دقت بارش پایگاه اسفزاری در این ماه‌ها کمتر از سایر ماه‌هاست. مقایسه مقادیر ماهانه بارش هر دو پایگاه با یکدیگر مشخص کرد که در ماه‌های پربارش طی ۳۴ سال، متوسط بارش بیش‌برآورد شده است. مجموع بارش سالیانه طی ۳۴ سال، در شکل ۳ به نمایش درآمده است. پایگاه اسفزاری به‌جز سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۲ که کمتر از مقدار مشاهداتی بارش را برآورد کرده است، در سایر سال‌ها نزدیکی زیادی با داده‌های مشاهداتی دارد.

## پیکره‌بندی و آماده‌سازی مدل SWAT

پیکره مدل SWAT با استفاده از نقشه‌های رقومی ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی (شکل ۱) در حوضه یادشده انجام شد. بر این اساس، منطقه مطالعه‌شده به ۲۲ زیرحوضه و ۱۵۹ واحد همگن هیدرولوژیکی تفکیک شد و اطلاعات

## ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

از داده‌های مجموع بارش ماهانه سه ایستگاه مشاهداتی و ۲۰ یاخته پایگاه ملی اسفزاری برای پایش خشکسالی استفاده شده است. خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد دوازده‌ماهه بررسی شده است. شاخص SPI اصلاح اولیه به فرم زیر است که اساس آن احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است [۲۲].

$$SPI = \left( \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \right) \quad (10)$$

$P_i$ : بارش در یک سال معین،  $\bar{P}$ : میانگین بارش دوره معین،  $SD$ : انحراف معیار.

محاسبه شاخص SPI اصلاح‌شده یا SPI<sub>mod</sub>، را کائو و گویندراجو در سال ۲۰۱۰ [۲۳] پیشنهاد کردند که در آن  $X_w$  را با ماه منتهی به آن جمع و به‌صورت  $X_w^{month}$  نشان داده می‌شود که در آن رونویس  $month$  نشان‌دهنده یکی از ماه‌های سال است. با برازش دادن توزیع آماری گاما بر هر گروه به‌طور مجزا،  $SPI^{mod}$  مشابه با SPI متداول از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$SPI_w^{month} = \Phi^{-1} \left( u_w^{month} \right) \quad (11)$$

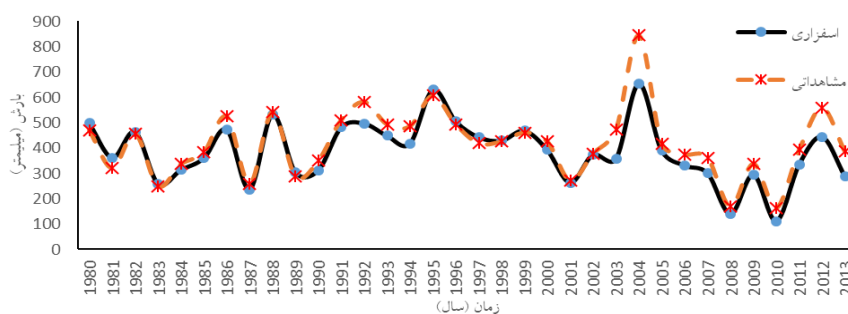
مقادیر SPI مثبت نشان‌دهنده بارش بیشتر از مقدار بارش متوسط و مقادیر SPI منفی بیان‌کننده بارش کمتر از مقدار بارش متوسط است. به‌دلیل نرمال‌بودن SPI، اقلیم‌های خشک و مرطوب را می‌توان به یک روش نشان داد و دوره‌های مرطوب را نیز می‌توان با استفاده از شاخص SPI پایش کرد. در جدول ۲ طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI آمده است. شاخص SDI نیز مانند شاخص SPI قابل محاسبه است. این شاخص برای خشکسالی هیدرولوژیکی به کار می‌رود و دلیل استفاده از آن احتیاج کم به داده‌های ورودی (رواناب) و سادگی و قابل درک بودن ارائه خروجی‌هاست. برای محاسبه این شاخص از سری بلندمدت رواناب در منطقه استفاده شده است [۲۴].

## جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI و SDI

شدت خشکسالی	SPI و SDI
خشکسالی ملایم	۰ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵
خشکسالی خیلی شدید	کمتر از -۲

جدول ۳. نتایج شاخص‌های آماری

ماه میلادی	شاخص آماری					
	CC	RMSE(mm)	BIAS (%)	POD	FAR	CSI
Jan	۰/۸۳	۵/۱۲	-۰/۰۰۰۴۲	۰/۹۰	۰/۷۱	۰/۲۸
Feb	۰/۸۳	۴/۶۷	-۰/۰۰۰۷۸	۰/۹۵	۰/۳۳	۰/۶۵
Mar	۰/۸۱	۰/۸۶	-۰/۰۰۰۸۷	۰/۹۴	۰/۳۱	۰/۶۶
Apr	۰/۸۹	۱/۷۵	-۰/۰۰۰۸۵	۰/۸۷	۰/۴۱	۰/۶۵
May	۰/۸۲	۱/۱۳	-۰/۰۰۲۱۷	۰/۹۴	۰/۴۱	۰/۷۱
Jun	۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۰۰۱۰۲	۰/۶۸	۰/۵۳	۰/۶۵
Jul	۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۰۰۱۰۲	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۵۳
Aug	۰/۵۸	۰/۵۵	-۰/۰۰۲۳۹	۰/۷۴	۰/۵۱	۰/۳۲
Sep	۰/۰۱	۰/۱۳	-۰/۰۰۲۱۵۷	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۴۱
Oct	۰/۶۸	۰/۹۷	-۰/۰۰۱۹۳	۰/۹۷	۰/۲۴	۰/۸۹
Nov	۰/۸۵	۲/۴۱	-۰/۰۰۰۹۵	۰/۹۱	۰/۳۵	۰/۷۸
Dec	۰/۸۶	۴/۸۹	-۰/۰۰۰۹۲	۰/۹۴	۰/۲۴	۰/۸۱



شکل ۳. سری زمانی بارش مشاهداتی و برآوردشده پایگاه اسفزاری

همچنین ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۲ برای دوره واسنجی و ۰/۷۸ دوره اعتبارسنجی بود.

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی توسط پایگاه بارش اسفزاری مشخص کرد که بهترین نتیجه در ایستگاه چنارسوخته خشک دیده شد و بسیار نزدیک به نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی بود، بیشترین مقدار ضریب تبیین و کارایی نش-ساتکلیف در ایستگاه چنارسوخته خشک با ۰/۶۹ دیده شده است. کمترین مقادیر شاخص‌های آماری در ایستگاه باغ صفا بوده است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که با توجه به نتایج مشخص‌شده، پایگاه اسفزاری توانسته است برآورد خوبی از رواناب داشته باشد. یادآوری این نکته شایسته است که مدل ابتدا با داده‌های مشاهداتی واسنجی شد و سپس با تغییر دادن ورودی‌های بارش مدل و ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترهای واسنجی‌شده، بدون واسنجی مجدد برای پایگاه اسفزاری استفاده شد. در جدول ۵ برخی پارامترهای حساس مدل آمده است.

اقلیمی و مدیریتی مناطق کشاورزی به مدل معرفی شد. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت نتایج مدل با استفاده از الگوریتم <sup>1</sup>SUF2 در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد. در روش SUF2، عدم قطعیت پارامترها دربرگیرنده همه منابع عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای موجود در بحث مدل‌سازی است. خلاصه نتایج دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۴ ارائه شده است. در شکل‌های ۴ و ۵ سری زمانی رواناب شبیه‌سازی‌شده توسط هر دو پایگاه بارش آمده است.

واسنجی و اعتبارسنجی برای پایگاه اقلیمی مشاهداتی مشخص کرد که پارامترهای مربوط به جریانات پایه و رواناب سطحی حساسیت زیادی دارند. مدل توانست برای سه ایستگاه آب‌سنجی مقادیر ضریب تبیین را بیش از ۰/۶ برای دوره واسنجی و بیش از ۰/۶۵ برای دوره اعتبارسنجی نشان دهد. بهترین نتیجه مربوط به ایستگاه چنارسوخته خشک با مقدار ۰/۷۲ در واسنجی و ۰/۸۱ در دوره اعتبارسنجی و

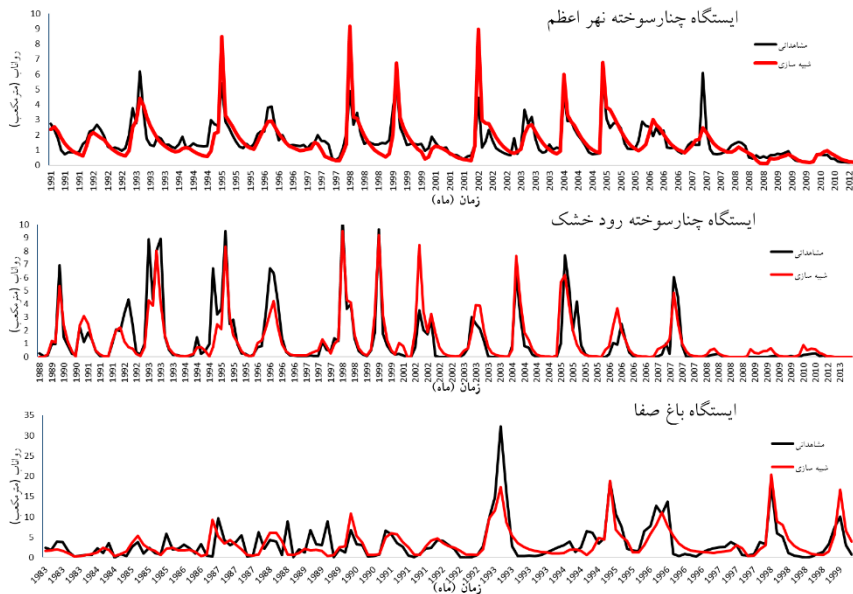
1. Sequential Uncertainty Fitting

جدول ۴. نتایج شاخص‌های آماری مدل SWAT

ایستگاه	دوره	R2		NS	
		مشاهداتی	اسفزاری	مشاهداتی	اسفزاری
چنار سوخته اعظم	واسنجی	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۵۱
	اعتبارسنجی	۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۶	۰/۴۴
چنار سوخته خشک	واسنجی	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۶۹
	اعتبارسنجی	۰/۸۱	۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۵۷
باغ صفا	واسنجی	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۴۵
	اعتبارسنجی	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۵۴

جدول ۵. برخی پارامترهای حساس و دامنه مقادیر نهایی آنها

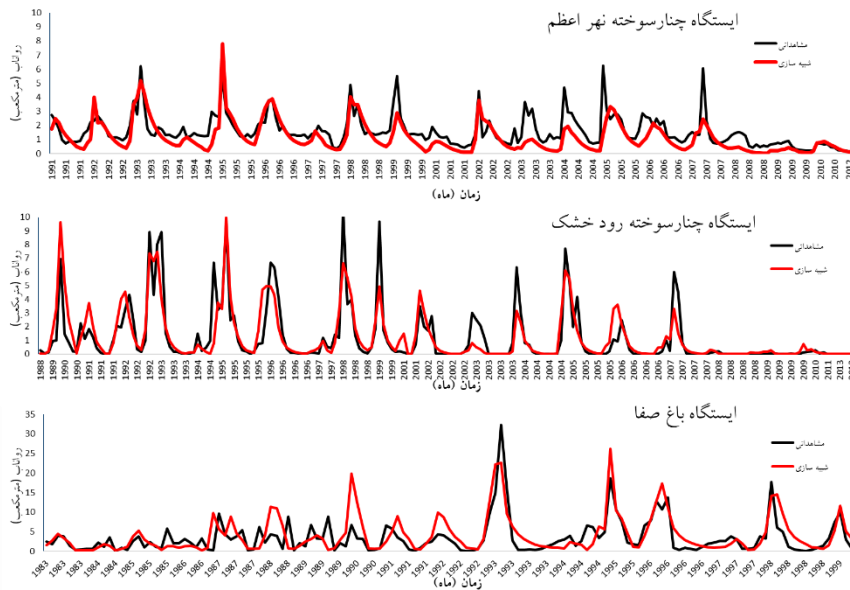
پارامتر	توضیحات	واحد	روش جایگزینی <sup>۱</sup>	دامنه تغییرات
SHALLST.gw	عمق اولیه لایه زیرسطحی	mm	v	[۱۲۷ -۳]
GW_DELAY.gw	زمان تأخیر نفوذ به آب زیرزمینی	day	v	[۲۰ -۱۰]
GW_REVP.gw	ضریب مربوط به تبخیر از لایه بالایی سطح ایستابی	-	v	[۰/۰۱۶ -۰/۱۵]
PLAPS.sub	ضریب مربوط به باندهای ارتفاعی (بارش)	-	v	[۸ -۱]
TLAPS.sub	ضریب مربوط به باندهای ارتفاعی (دما)	-	v	[۱۰ -۷]
CN2.mgt	شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی	-	r	[۰/۳۸ -۰/۱۰]
HRU_SLP.hru	متوسط تندى شیب	m.m	v	[۰/۸۴ -۰/۷۵]
LAT_TTIME.hru	زمان تأخیر آب سطحی	day	v	[۳۲ -۲۲]
SOL_BD.sol	چگالی ظاهری خاک در لایه سطحی	-	r	[۰/۵ -۰/۱۹]
ALPHA_BF.gw	ضریب پاسخ جریان پایه برای آب زیرزمینی	-	v	[۰/۶۳ -۰/۴۶]
SOL_AWC.sol	ظرفیت آب قابل دسترس	-	r	[-۰/۳ -۰/۵]



شکل ۴. سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده برای داده‌های مشاهده‌ای بارش

1. v = Replace, r =Relative





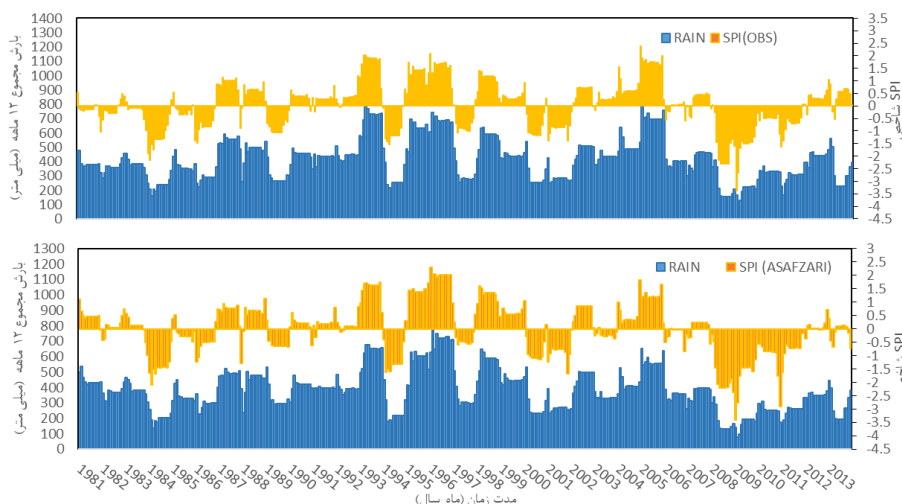
شکل ۵. سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده برای داده‌های بارش پایگاه اسفزاری

مشاهداتی یک دوره بیشتر است. بیشترین مقدار کمبود توسط پایگاه مشاهداتی ۳/۳۷- و توسط پایگاه ملی اسفزاری ۳/۴- محاسبه شده است. در جدول ۶ اطلاعات بیشتری از دوام خشکسالی در منطقه آمده است. شکل ۶ سری زمانی خشکسالی دوازده‌ماهه در کنار مجموع بارش دوازده‌ماهه آمده است. در هر دو پایگاه مشخص است که مدت و شدت خشکسالی در سال‌های اخیر بیشتر شده است.

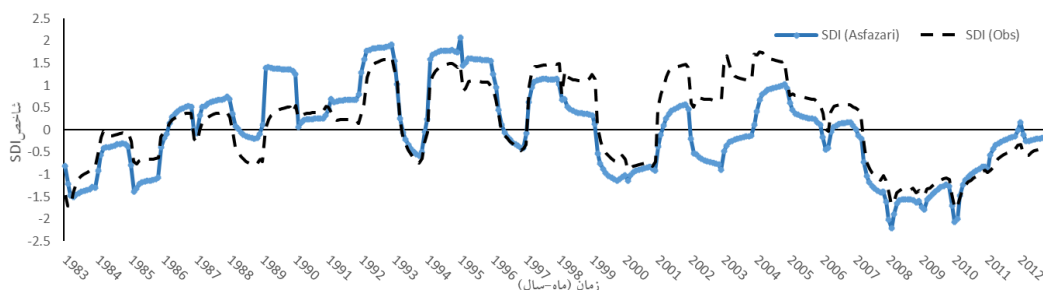
**پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی**  
در بررسی خشکسالی هواشناسی منطقه‌ای با شاخص SPI اصلاح‌شده، ابتدا شاخص SPI اصلاح‌شده برای همه ایستگاه‌های مشاهداتی و یاخته‌های بارش پایگاه ملی اسفزاری محاسبه شد و سپس از آنها متوسط‌گیری وزنی شد. به این منظور به گزارش خشکسالی‌هایی که بیش از نه ماه به طول انجامیده توجه شده است. همان طور که در جدول ۶ مشخص است، تعداد خشکسالی مشاهده‌شده در منطقه توسط پایگاه

جدول ۶. ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی محاسبه‌شده توسط دو پایگاه اقلیمی

دوره خشکسالی			پایگاه مشاهداتی		
شروع	پایان	مدت (ماه)	بیشترین کمبود	مجموع شدت	متوسط
۱۹۸۱/۰۲	۱۹۸۲/۰۹	۲۰	-۱/۰۲	-۴/۹۲	-۰/۲۴
۱۹۸۳/۰۳	۱۹۸۶/۱۱	۴۵	-۲/۱۷	-۲۹/۲	-۰/۶۴
۱۹۸۹/۰۲	۱۹۹۰/۰۱	۱۲	-۱/۰۶	-۹/۹۷	-۰/۸۳
۱۹۹۴/۰۱	۱۹۹۴/۱۱	۱۱	-۱/۵۲	-۱۱	-۱
۱۹۹۷/۰۲	۱۹۹۷/۱۲	۱۰	-۱/۰۵	-۸/۵	-۰/۸
۲۰۰۰/۰۲	۲۰۰۲/۰۱	۲۴	-۱/۳۹	-۲۰/۶	-۰/۸۵
۲۰۰۸/۰۲	۲۰۱۱/۱۰	۴۵	-۳/۳۷	-۵۳/۲	-۱/۱۸
دوره خشکسالی			پایگاه اسفزاری		
۱۹۸۳/۱۲	۱۹۸۶/۱۰	۳۵	-۲/۱۱	-۲۷	-۰/۷۲
۱۹۸۹/۰۲	۱۹۸۹/۱۲	۱۱	-۰/۶۶	-۶/۵	-۰/۵۹
۱۹۹۴/۰۱	۱۹۹۴/۱۰	۱۱	-۱/۶	-۱۳/۶	-۱/۲۳
۱۹۹۷/۰۲	۱۹۹۷/۱۲	۱۰	-۰/۵۹	-۴/۵	-۰/۴۵
۲۰۰۰/۰۲	۲۰۰۲/۰۱	۲۴	-۱/۶۷	-۲۰/۳	-۰/۸۴
۲۰۰۷/۱۲	۲۰۱۲/۰۱	۵۰	-۳/۴	-۶۳/۱	-۱/۲۶



شکل ۶. سری زمانی متوسط خشکسالی هواشناسی و مجموع بارش دوازده ماهه برای هر دو پایگاه

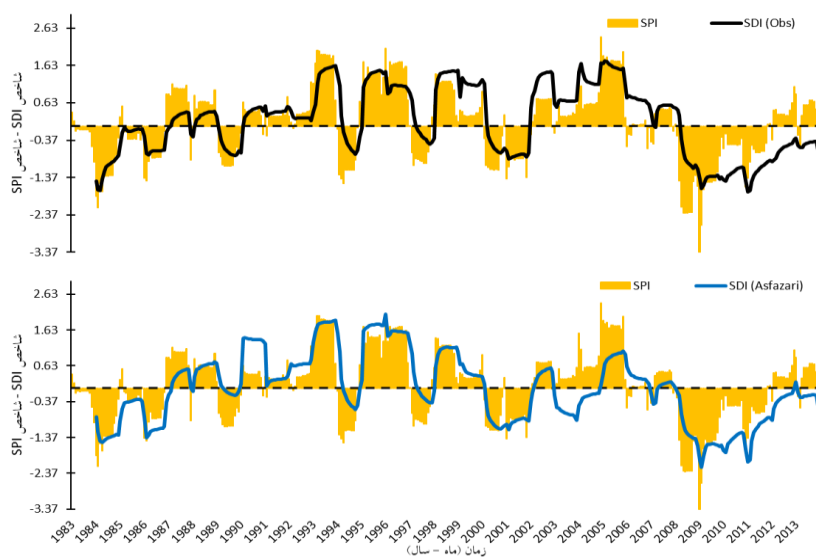


شکل ۷. سری زمانی متوسط خشکسالی هیدرولوژیکی، مدل شده توسط هر دو پایگاه

همبستگی زیادی با یکدیگر دارند. البته، خشکسالی هیدرولوژیکی با یک سال تأخیر نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ داده است. دلیل این امر می‌تواند ذوب برف و تأخیر در جاری شدن رواناب و زمان تأخیر حوضه باشد. شاخص SDI در سال‌هایی که خشکسالی هواشناسی شدت بیشتری داشته است، با ادامه روند و طولانی‌تر شدن خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی شدیدتری را نشان می‌دهد، این امر در سال‌های پایانی مطالعه بیشتر مشهود است. همچنین، در سال‌های پایانی با برطرف شدن شرایط خشکسالی هواشناسی و بازگشت به شرایط نرمال، همچنان خشکسالی هیدرولوژیکی وجود دارد. با توجه به ارزیابی SDI که مستقیم از رواناب شبیه‌سازی شده منتج شده است، مشخص شد که هر دو مقدار شبیه‌سازی شده، همخوانی خوبی با یکدیگر و نیز با شاخص خشکسالی هواشناسی دارند و این ارزیابی نیز نشان داد می‌توان به پایگاه ملی اسفزاری در شبیه‌سازی رواناب اعتماد کرد.

در شکل ۷ تغییرات خشکسالی هیدرولوژیکی توسط شاخص SDI آمده است. در محاسبات این شاخص خشکسالی از مقادیر رواناب مدل شده توسط پایگاه مشاهداتی و پایگاه اسفزاری استفاده شده است. این مقادیر نتیجه متوسط‌گیری وزنی از مساحت زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری یاد شده است. با ارزیابی شاخص SDI مشخص شد که این دو شاخص طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ تفاوت زیادی با یکدیگر داشته‌اند. این امر به دلیل کمتر برآورد شدن رواناب طی این مدت است که در ادامه و در شکل ۸ نشان داده شده است. شاخص SDI محاسبه شده توسط پایگاه اسفزاری طی این مدت به خلاف پایگاه مشاهداتی، کمبود جریان رودخانه را نشان می‌دهد. در ادامه، در خصوص تناسب شاخص SDI و SPI بحث شده است.

**بررسی هم‌زمان خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی**  
 ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در کنار یکدیگر نشان داد شاخص SDI و SPI دوازده‌ماهه



شکل ۸. شاخص‌های SPI و SDI دوازده‌ماهه

مکانی مطالعه‌شده نسبت به دوره قبل از آن به نسبت افزایش یافته است. در نهایت، می‌توان تأکید کرد که مقایسه‌های آماری، شبیه‌سازی رواناب و شاخص‌های خشکسالی همگی بیان‌کننده دقت زیاد بارش پایگاه اسفزاری در این منطقه بوده است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که پایش زمانی- مکانی خشکسالی و رواناب در سایر مناطق ایران زمین در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده ارزیابی شود تا در صورت قابل اعتماد بودن و کارایی لازم این پایگاه، بتوان از مقادیر برآوردشده این پایگاه داده برای مناطقی بهره گرفت که سری زمانی مقادیر ثبت‌شده بارش خلأهای آماری دارند و یا مناطقی که به هر دلیلی با نبود داده بارش مواجه‌اند. همچنین، برای بررسی‌های بیشتر لازم است دقت این پایگاه داده در مقایسه با سایر پایگاه‌های جهانی و منطقه‌ای بارش واکاوی و ارزیابی بیشتری شود.

#### منابع

- [1]. Sorooshian S, AghaKouchak A, Arkin P, Eylander J, Foufoula-Georgiou E, Harmon R, et al. Advancing the Remote Sensing of Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2011;92(10):1271-2.
- [2]. Miao C, Ashouri H, Hsu K-L, Sorooshian S, Duan Q. Evaluation of the PERSIANN-CDR Daily Rainfall Estimates in Capturing the Behavior of Extreme Precipitation Events over China. *Journal of Hydrometeorology*. 2015;16(3):1387-96.

نتایج دیگر پژوهش‌های انجام‌شده با پایگاه‌های اقلیمی واکاوی‌شده جهانی نشان داده‌اند در شبیه‌سازی با مدل SWAT این پایگاه‌ها می‌توانند با دقتی نزدیک به داده‌های مشاهداتی اقلیمی رواناب را شبیه‌سازی کنند [۱۵-۱۸]. پایش مکانی خشکسالی در ایران که توسط کتیرایی بروجردی و همکارانش [۱۴] و رضیئی و همکارانش [۱۳] برای پایگاه‌های واکاوی‌شده و ماهواره‌ای انجام داده بودند در مناطق مرکزی ایران نتایج مشابه با این پژوهش را گزارش کرده‌اند که می‌توان از این پایگاه‌ها در پایش منطقه‌ای خشکسالی استفاده کرد.

#### خلاصه و جمع‌بندی

در پژوهش حاضر با ارزیابی داده‌های بارش پایگاه ملی اسفزاری در خصوص میزان برآورد بارش مشخص شد که این پایگاه در فصل سرد که حدود ۹۰ درصد بارش در این منطقه به‌وقوع می‌پیوندد؛ می‌تواند با اطمینان زیاد استفاده شود و یا در حوضه‌هایی که کمبود ایستگاه دارند یا از نظر زمانی دوره‌ای کوتاه دارند می‌توان از این پایگاه استفاده کرد. شبیه‌سازی رواناب با استفاده از این پایگاه با در نظر گرفتن ضریب تبیین و کارایی نش- ساتکلیف متوسط ۰/۶ را نشان داد.

برپایه یافته‌های این پژوهش طی سال‌های اخیر (از سال ۲۰۰۵ به بعد)، دقت پایگاه واکاوی‌شده در برآورد رواناب و پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی روی گستره

- [14]. Katirai-Boroujerdy P-S, Nasrollahi N, Hsu K-I, Sorooshian S. Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*. 2016;123(1):387-98.
- [15]. Adjei KA, Ren L, Appiah-Adjei EK, Odai SN. Application of satellite-derived rainfall for hydrological modelling in the data-scarce Black Volta trans-boundary basin. *Hydrology Research*. 2015;46(5):777-91.
- [16]. Fekete BM, Vörösmarty CJ, Roads JO, Willmott CJ. Uncertainties in Precipitation and Their Impacts on Runoff Estimates. *Journal of Climate*. 2004;17(2):294-304.
- [17]. Piani C, Weedon GP, Best M, Gomes SM, Viterbo P, Hagemann S, et al. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*. 2010;395(3):199-215.
- [18]. Seyyedi H, Anagnostou EN, Beighley E, McCollum J. Satellite-driven downscaling of global reanalysis precipitation products for hydrological applications. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2014;18(12):5077-91.
- [19]. Thiemi V, Rojas R, Zambrano-Bigiarini M, De Roo A. Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. *Journal of Hydrology*. 2013;499:324-38.
- [20]. Casse C, Gosset M, Peugeot C, Pedinotti V, Boone A, Tanimoun BA, et al. Potential of satellite rainfall products to predict Niger River flood events in Niamey. *Atmospheric Research*. 2015;163:162-76.
- [21]. Neitsch, SL, Arnold JG, Kiniry JR, Srinivasan R, Williams JR. *Soil and Water Assessment Tool, User Manual, Version 2012*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, Tex; 2011.
- [22]. Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J. Drought monitoring with multiple timescales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. 1993;179-184.
- [23]. Kao S-C, Govindaraju RS. A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*. 2010;380(1):121-34.
- [24]. Eghtedari M., Bazrafashan J., Shafiee M., Hejabi S. Prediction of Streamflow Drought Using SPI and Markov Chain in Kharkkeh's Basin. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2016;23(2):130-115. [Persian]
- [3]. Zhu Q, Xuan W, Liu L, Xu Y-P. Evaluation and hydrological application of precipitation estimates derived from PERSIANN-CDR, TRMM 3B42V7, and NCEP-CFSR over humid regions in China. *Hydrol Processes*. 2016;30(17):3061-83.
- [4]. Darand M, Zand Karimi S. Evaluation of the accuracy of the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) data over Iran. *Journal of Iran Geophysical*. 2016;11(3):95-103. [Persian]
- [5]. Fuka DR, Walter MT, MacAlister C, Degaetano AT, Steenhuis TS, Easton ZM. Using the Climate Forecast System Reanalysis as weather input data for watershed models. *Hydrol Processes*. 2014;28(22):5613-23.
- [6]. Auerbach DA, Easton ZM, Walter MT, Flecker AS, Fuka DR. Evaluating weather observations and the Climate Forecast System Reanalysis as inputs for hydrologic modelling in the tropics. *Hydrol Processes*. 2016;30(19):3466-77.
- [7]. Dile YT, Srinivasan R. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: an application in the Blue Nile River Basin. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 2014;50(5):1226-41.
- [8]. Monteiro JAF, Strauch M, Srinivasan R, Abbaspour K, Gücker B. Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. *Hydrol Processes*. 2016;30(9):1419-30.
- [9]. Darand M, Amanollahi J, Zandkarimi S. Evaluation of the performance of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) estimation over Iran. *Atmospheric Research*. 2017;190:121-7.
- [10]. HajiHosseini H, HajiHosseini MR, Morid S, Delavar M. Assessment of changes in hydro-meteorological variables upstream of Helmand Basin during the last century using CRU data and SWAT model. *Iran-water resources research* 2013;1(2):38-52. [Persian]
- [11]. Masoudian A, Keykhosravi M, RayatPisheh, F. Introduction and evaluation Asfzari database with GPCC, GPCP, CMAP. *Geographical Research* 2015; 2(1):19:73-88. [Persian]
- [12]. Darand M, Zerafati O, Kefayatmotlagh R, Samandar R. Comparison between global and regional precipitation data bases with base station Asfzari precipitation Iran. *Geographical Research*. 2015;3(1) 30:2. [Persian]
- [13]. Razi T, Bordi I, Pereira LS. An Application of GPCC and NCEP/NCAR Datasets for Drought Variability Analysis in Iran. *Water Resources Management*. 2011;25(4):1075-86.