



# ارائه‌ی مدلی برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه‌ی کارون یک

سید حسن علوی‌نیا<sup>۱</sup>، سید جواد ساداتی‌نژاد<sup>۲</sup>، خدایار عبداللهی<sup>۳</sup>

## چکیده

افزایش یا کاهش میزان بارندگی نسبت به شرایط میانگین بلندمدت، باعث وقوع دو پدیده‌ی مهم حدی یعنی سیل و خشکسالی می‌شود. خشکسالی از جمله وقایع اقلیمی است که در پهنه‌ی وسیعی از کشور ایران خود را به اشکال متفاوتی نشان می‌دهند و زندگی طبیعی ساکنین این مناطق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پیش‌بینی واقعه‌ی خشکسالی هرچند با درصدی از خطا همراه باشد. می‌تواند تا حد زیادی از تأثیرات مهلک و کشنده بکاهد، نظر به اینکه از بین انواع خشکسالی‌ها، خشکسالی هواشناسی اولین نوع آن است که پدیدار می‌شود؛ با آنالیز داده‌های حاصل از آن می‌توان انواع خشکسالی را پیش‌بینی کرد. در این مطالعه، با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری حوضه‌ی آبخیز «کارون یک» و با بهره‌گیری از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی آبهای سطحی (SWSI) که به ترتیب برای بررسی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی کاربرد دارند، یک مدل تجربی برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه‌ی مورد نظر ارائه گردید. این مدل تجربی می‌تواند با  $R^2=0/92$  و  $RSME=0/16$  مدل مناسبی برای این حوضه‌ی آبخیز قلمداد گردد.

## کلمات کلیدی:

خشکسالی، شاخص SPI، شاخص SWSI، مدل تجربی، «کارون یک»

۱. دانش آموخته کارشناسی مهندسی آبخیزداری

۲. استادیار دانشگاه کاشان

۳. عضو هیأت علمی دانشگاه شهرکرد

## مقدمه

کشور ایران در منطقه‌ی خاورمیانه واقع شده است و از نظر بارندگی جزء مناطق کم بارش محسوب می‌شود. ارتفاع میانگین بارندگی سالانه‌ی ایران ۲۴۰ میلی‌متر یا به‌طور حجمی ۴۱۰ میلیارد مترمکعب است. این میزان یک‌سوم متوسط جهان و یک‌سوم متوسط آسیا می‌باشد. به دلیل قَلّت نزولات جوی، قسمت‌های وسیعی از ایران در قلمرو آب و هوای خشک جهان قرار می‌گیرد (۴). با توجه به وجود نوسانات شدید در بارش‌های مناطق مختلف کشور، خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که در شرایط نوسان منفی و به عبارتی کاهش بارش‌های جوی نسبت به میانگین دراز مدت رخ داده و اثرات زیانباری را بر بخش کشاورزی و اقتصاد آن نواحی تحمیل می‌نماید. خشکسالی پدیده‌ای است که به‌صورت نامرئی و بسیار بطئی؛ بی‌سر و صدا و بدون هیاهو خود را نشان می‌دهد؛ به همین دلیل به آن بلای خزنده می‌گویند. ممکن است هفته‌ها و یا ماه‌ها طول بکشد تا خشکسالی تشخیص داده شود.

ارتباط خشکسالی با هواشناسی امری بدیهی است، اما خشکسالی یک پدیده‌ی مطلق نبوده بلکه کمبود نسبی رطوبت می‌باشد. خشکسالی را باید در ارتباط با هدف مورد مطالعه؛ بررسی کرد. تعریف واژه خشکسالی به‌دلیل متغیرهای مختلفی که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در وقوع آن دخالت دارند، مشکل است.

بارون نقل می‌کند بیش از ۱۵۰ تعریف از خشکسالی ارائه شده است (۶). یکی از جامع‌ترین و کامل‌ترین تعاریف توسط پالمر ارائه شده است. به نظر وی، خشکسالی را می‌توان عبارت از کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت در یک دوره‌ی زمانی خاص (معمولاً یک سال) دانست (۸). در تعریف مذکور واژه مستمر به تداوم حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف نمایه از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود. شناسایی رخداد خشکسالی خود به تنهایی یافته‌ای با اهمیت است که به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. پرواضح است که شناخت ابعاد مختلف رخداد خشکسالی، در ترسیم راه‌حل‌های مقتضی در مقابله با این مسئله بسیار اساسی و کارگشا تلقی می‌شود.

ویلهایت و گلانتز خشکسالی‌ها را به چهار دسته‌ی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی - اجتماعی طبقه‌بندی می‌کنند. خشکسالی هواشناسی، اولین نوع از انواع خشکسالی‌ها است که به‌دلیل کمبود یا کاهش میزان بارندگی در طی دوره‌ای از زمان، نسبت به شرایط میانگین درازمدت به‌وقوع می‌پیوندد (۱۰). در ادامه‌ی رخداد خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی که از مهمترین انواع خشکسالی‌ها است اتفاق می‌افتد و باعث افت سطح آب رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به پایین‌تر از میانگین بلندمدت می‌شود. خشکسالی هیدرولوژیکی و نبود آب برای کشاورزی، باعث کاهش سطح زیرکشت و محصول می‌گردد و زندگی

جوامع مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طبیعی است که پیش‌بینی زمان وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی می‌تواند مدیریت ریسک را جایگزین مدیریت بحران نموده و تا حد زیادی از اثرات مخرب و کشنده‌ی آن بکاهد.

نظر به اینکه خشکسالی هیدرولوژیکی دومین نوع خشکسالی است و در امتداد خشکسالی هواشناسی پدیدار می‌شود، با استفاده از داده‌ها و اطلاعات خشکسالی هواشناسی می‌توان تا حدود زیادی وقوع آن را پیش‌بینی کرد و نسبت به بهبود شرایط و مدیریت واقعه‌ی پیش‌رو برنامه‌ریزی جامع و کاملی داشت.

بسیاری از محققین جهان با بررسی مناطق متفاوت، سعی در ارائه‌ی رابطه‌های فیزیکی در این باره داشته و استفاده از این روابط را در شرایط و مناطق تحت مطالعه پیشنهاد داده‌اند. بر اساس پژوهشی که در استان خراسان جهت تعیین درجات خشکسالی انجام شد، از شاخص درصد از میانگین برای خشکسالی‌های سالانه و شاخص استاندارد شده‌ی بارش، برای خشکسالی‌های ماهانه و از زنجیره مارکوف جهت پیش‌بینی خشکسالی استفاده گردیده است. نتایج حاصل از بررسی شاخص استاندارد شده‌ی بارش، در مقیاس کوتاه مدت سه ماهه در ۳۰ سال گذشته نشان می‌دهد که تقریباً در تمام ایستگاه‌ها وضعیت ترسالی ملایم بیشترین درصد وقوع را داشته است و خشکسالی‌های ملایم در رده بعدی قرار دارند.

نتایج حاصل از پیش‌بینی سالانه برای سال ۲۰۰۸، احتمال وقوع بیشتر وضعیت نرمال آب و هوایی را در اکثر ایستگاه‌های استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. نتایج پیش‌بینی ماهانه نیز در برخی ایستگاه‌ها بیانگر خشکسالی ملایم و در برخی دیگر ترسالی ملایم است (۵).

طی تحقیق دیگری که در آذربایجان شرقی صورت گرفت، تجزیه و تحلیل مدل بارش نسبت به تعیین خشکسالی و همچنین تعیین سال‌های مرطوب استفاده گردید. نتایج وقوع پدیده‌ی خشکسالی این پدیده را با شدت‌های مختلف در تمام ایستگاه‌ها نشان داد. در این بررسی شاخص بارش استاندارد شده به عنوان یک مدل بهتر و دقیق‌تر در مقایسه با سایر مدل‌ها، از قبیل مدل Nitzche و بارش قابل اعتماد استفاده شده در این تحقیق به رسمیت شناخته شد (۷).

در مطالعه‌ای دیگر ضمن بررسی و تحلیل خشکسالی (شاخص‌های فراوانی، شدت و تداوم)، وقوع مجدد آن برای سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غربی ایران پیش‌بینی شده است. بدین منظور، ابتدا بارش‌های سالانه طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ به کمک شاخص BMI به نمره‌های استاندارد تبدیل شد. سپس شدت دوره‌های تر و خشک و در قالب نمایه تجربی PDRI هر کدام در دو طبقه تعریف شدند؛ در مرحله‌ی بعد، جهت پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش سری‌های زمانی به کمک مدل‌های خانواده SARIMA بارش‌های ماهانه با استفاده از نرم افزار آماری SPSS مدل‌سازی شد و بر اساس مناسب‌ترین مدل، برای ۲۴ ماه آینده (تا سال ۲۰۰۷)

پیش‌بینی صورت گرفت. در پایان، بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده، درجه شدت خشکسالی یا ترسالی تعیین گردید. نتایج تحقیق نشان داد که، میزان بارش سالانه‌ی سطح حوضه‌ی آبریز مذکور در سال‌های ۷-۲۰۰۶ نرمال بوده و روند آن صعودی خواهد بود؛ از طرفی، عمده‌ی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های آن، مقطعی بوده و تداوم کمتر از یک سال داشته است (۱).

در پژوهشی دیگر، پایش و پیش‌بینی خشکسالی استان سیستان و بلوچستان، با استفاده از الگویی که بر اساس شاخص SPI و درصد از نرمال و زنجیره مارکوف تهیه شده، انجام پذیرفت. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به خشکسالی‌های میان مدت و کوتاه مدت حساس است و بیشتر خشکسالی‌هایی که در این منطقه اتفاق افتاده است، خشکسالی ملایم و متوسط است و احتمال وقوع پدیده خشکسالی در مناطق مرکزی استان بیشتر است (۳).

در مطالعه دیگری در Nebraska، با استفاده از دو ورودی نوسان جنوبی النینو (ENSO) و الگوهای گردش جوی بزرگ مقیاس (CPS) و کاربرد روش فازی، مدلی برای پیش‌بینی خشکسالی منطقه‌ای مشخص شده توسط شاخص پالمر بدست آمد (۹). طبیعی است استفاده از این روابط در مناطق دیگر نیازمند واسنجی مدل با شرایط حاکم بر همان منطقه را دارد. مدل، شکل ساده شده‌ای از پدیده‌ها و رخداد‌های طبیعی است که ساده یا پیچیده بودن آن بستگی به هدف مدل دارد؛ براین اساس مرحله‌ی اول در مدل‌سازی مشخص کردن هدف است که بایستی به‌صورت روشن بیان شود؛ به بیان دیگر ابتدا لازم است روابط بهینه‌ی عوامل دخیل در بروز یک فرایند طبیعی تشخیص داده شده و سپس نسبت به ارائه‌ی مدل در چهارچوب قوانین فیزیکی و روابط ریاضی اقدام گردد (۲). در این تحقیق هدف آن است که پس از جمع‌آوری اطلاعات بارش و هیدرومتری ایستگاه‌های منتخب و تجزیه و تحلیل آن‌ها که شامل تشخیص SPI و SWSI منطقه می‌باشد، یک مدل تجربی مناسب برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه‌ی کارون یک ارائه گردد.

## مواد و روشها

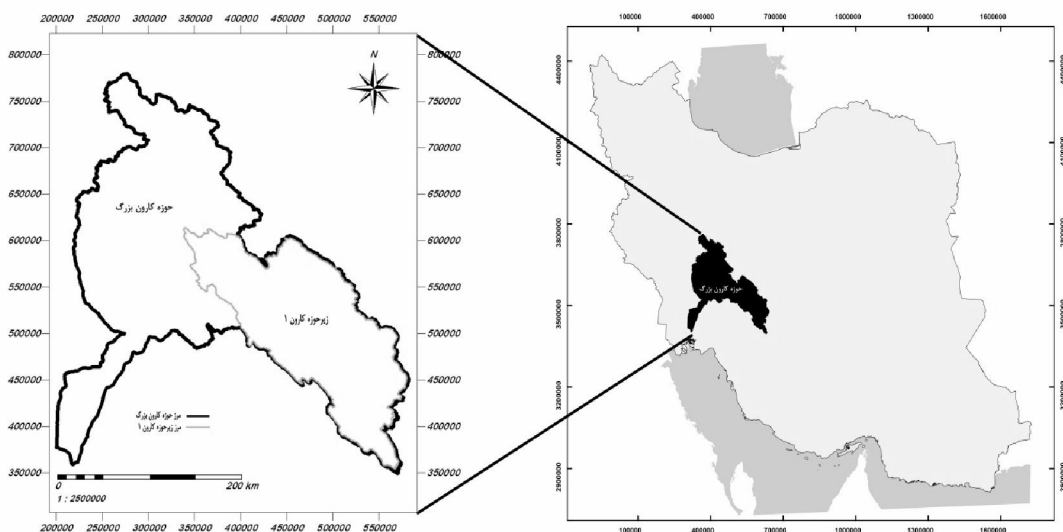
### منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز کارون یک، بخشی از حوضه‌ی آبخیز کارون بزرگ و تقریباً قسمت اعظمی از سرشاخه‌های رود کارون را تشکیل می‌دهد که از نقطه‌نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده‌ی عرض‌های شمالی  $30^{\circ}16'34''/71''$  تا  $32^{\circ}38'33''/01''$  و طول‌های شرقی  $49^{\circ}22'56''/95''$  تا  $52^{\circ}00'59''/37''$  واقع شده است. (شکل ۱). حوضه‌ی آبخیز کارون یک؛ با مساحتی بالغ بر ۲۷۰۷۲۰۰ هکتار (تا محل سد شهید عباسپور) یکی از

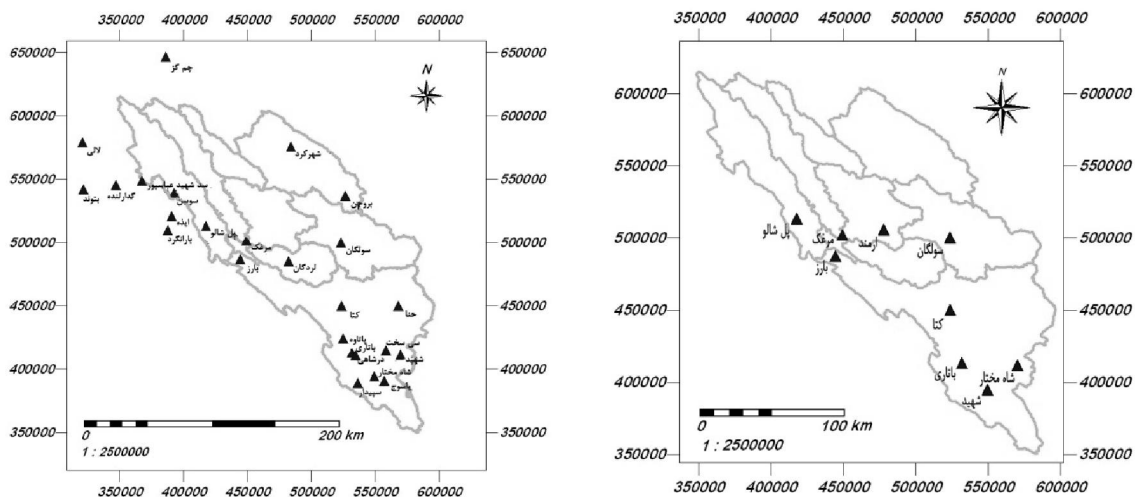
حوضه‌های بزرگ آبریز خلیج فارس است که به ترتیب استان‌های چهارمحال و بختیاری (۵۴/۰۲ درصد)، اصفهان (۱۹/۵۳ درصد)، کهگیلویه و بویراحمد (۱۶/۰۹ درصد)، خوزستان (۹/۳۶ درصد) و فارس (یک درصد) از سطح حوضه را در بر می‌گیرد.

### داده‌های مورد استفاده

به دلیل اینکه مطالعه‌ی خشکسالی‌ها نیازمند بررسی داده‌های طولانی مدت است؛ پس از انتخاب ایستگاه‌های مناسب، که شامل ۲۵ ایستگاه باران‌سنجی (جدول ۱) و نه ایستگاه هیدرومتری می‌باشد (جدول ۲) بازسازی نواقص آماری محدودی صورت گرفت که در نهایت یک دوره‌ی آماری ۳۴ ساله، از سال آبی ۵۱-۵۰ تا ۸۴-۸۳ انتخاب گردید. شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد استفاده در حوضه‌ی آبخیز «کارون یک» را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه‌ی آبخیز در کشور



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد استفاده در حوضه‌ی آبخیز کارون یک

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی حوضه‌ی «کارون یک»

| نام ایستگاه     | ارتفاع از دریا (متر) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|-----------------|----------------------|---------------|---------------|
| بارانگرد        | ۸۲۵                  | ۳۸۷۸۸۱        | ۳۵۰۹۶۴۰       |
| بارز            | ۸۱۵                  | ۴۴۴۶۱۳        | ۳۴۸۷۰۱۱       |
| باتاری          | ۱۵۲۰                 | ۵۳۱۸۷۱        | ۴۳۱۳۰۲۶       |
| بتوند           | ۱۴۰                  | ۳۲۲۰۹۴        | ۳۵۴۱۹۸۵       |
| بروجن           | ۲۱۴۰                 | ۵۲۶۷۷۲        | ۳۵۳۶۷۷۶       |
| چم گز           | ۳۸۰                  | ۳۸۶۲۷۶        | ۳۶۴۶۴۰۱       |
| دره شاهی        | ۱۵۷۰                 | ۵۳۵۰۶۵        | ۳۴۱۱۱۱۹       |
| گدارلنده        | ۲۶۰                  | ۳۴۷۳۴۳        | ۳۵۴۵۲۷۳       |
| حنا             | ۲۳۰۰                 | ۵۶۸۲۸۶        | ۳۴۵۰۱۴۱       |
| ایذه            | ۷۶۴                  | ۳۹۱۱۵۷        | ۳۵۲۰۶۹۱       |
| کنا             | ۱۶۰۰                 | ۵۲۳۸۲۰        | ۳۴۴۹۹۴۷       |
| لالی            | ۳۹                   | ۳۲۱۱۷۳        | ۳۵۷۸۹۷۰       |
| لردجان          | ۱۵۸۰                 | ۴۸۲۵۸۹        | ۳۴۸۵۰۳۱       |
| مرغک            | ۸۶۰                  | ۴۴۹۴۳۳        | ۳۵۰۱۷۶۵       |
| پتاوه           | ۱۵۴۰                 | ۵۲۵۴۷۰        | ۳۴۲۴۰۹۱       |
| پل شالو         | ۷۰۰                  | ۴۱۷۹۱۵        | ۳۵۱۳۰۵۲       |
| سد شهید عباسپور | ۸۲۰                  | ۳۶۷۸۵۲        | ۳۵۴۸۶۸۲       |
| سپیدار          | ۲۱۰۰                 | ۵۳۶۷۳۴        | ۳۳۸۹۰۳۰       |
| شهید            | ۲۲۲۰                 | ۵۷۰۱۳۰        | ۳۴۱۱۳۶۱       |
| شاه‌مختار       | ۱۷۳۰                 | ۵۴۹۴۸۶        | ۳۳۹۴۶۲۲       |
| شهرکرد          | ۲۰۵۰                 | ۴۸۴۳۱۱        | ۳۵۷۵۵۴۹       |
| سی سخت          | ۲۱۴۰                 | ۵۵۸۹۵۳        | ۳۴۱۴۹۸۸       |
| سولگان          | ۲۱۵۰                 | ۵۲۳۷۰۷        | ۳۴۹۹۸۱۲۲      |
| سوسن            | ۶۰۰                  | ۳۹۲۹۲۸        | ۳۵۳۹۱۴۹       |
| یاسوج           | ۱۸۲۱                 | ۵۵۷۴۸۸        | ۳۳۹۰۹۶۸       |

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌ی کارون یک

| ایستگاه   | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | مساحت (کیلومتر مربع) | ارتفاع (متر) |
|-----------|---------------|---------------|----------------------|--------------|
| ارمند     | ۴۷۷۸۸۵        | ۳۵۰۵۳۶۰/۱     | ۹۹۰۰                 | ۱۰۵۰         |
| بارز      | ۴۴۴۶۱۳/۵      | ۳۴۸۷۰۱۱/۳     | ۸۹۰۰                 | ۸۱۵          |
| باتاری    | ۵۳۱۸۷۱/۸      | ۳۴۱۳۰۲۵/۹     | ۸۵۵                  | ۱۵۲۰         |
| کتا       | ۵۲۳۸۲۰/۸      | ۳۴۴۹۹۴۷/۱     | ۳۰۵۹                 | ۱۶۰۰         |
| مرغک      | ۴۴۹۴۳۳/۱      | ۳۵۰۱۷۶۵/۴     | ۲۳۵۵                 | ۸۶۰          |
| پل شالو   | ۴۱۷۹۱۶        | ۳۵۱۳۰۵۲/۳     | ۲۳۴۰۰                | ۷۰۰          |
| شهید      | ۵۷۰۱۳۰/۸      | ۳۴۱۱۳۶۱/۴     | ۲۰۰                  | ۲۲۲۰         |
| شاه مختار | ۵۴۹۴۸۶/۷      | ۳۳۹۴۶۲۲       | ۱۱۸۷                 | ۱۷۳۰         |
| سولگان    | ۵۲۳۷۰۷/۴      | ۳۴۹۹۸۲۱/۸     | ۱۹۹۲                 | ۲۱۵۰         |

## روش تحقیق

به منظور پایش و آنالیز خشکسالی، هواشناسی منطقه، شاخص بارش استاندارد شده ( $SPI^1$ ) برای ۱۲۵ ایستگاه باران-سنجی منتخب محاسبه گردید، همچنین با استفاده از شاخص ذخیره‌ی آب‌های سطحی ( $SWSI^2$ ) که برای نه ایستگاه هیدرومتری محاسبه شد، وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی منطقه مشخص گردید؛ از این مقادیر به‌عنوان معیار، جهت انجام مراحل بعد (ساخت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل تهیه شده) استفاده خواهد شد. همان‌طور که ذکر شد خشکسالی هیدرولوژیکی در ادامه‌ی خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد و همبستگی بسیار بالایی با خشکسالی هواشناسی سال جاری دارد. همچنین مسلم است که دبی جریان‌یافته در رودخانه‌ها در یک سال تابعی از دبی سال قبل، بارش سال قبل و همچنین بارش در همان سال می‌باشد.

$$SWSI = f(SWSI_{j-1}, SPI_{j-1}, SPI_j) \quad (1)$$

$SWSI_j$  - شاخص خشکسالی آب‌های سطحی سال جاری

$SWSI_{j-1}$  - شاخص خشکسالی آب‌های سطحی سال قبل

$SPI_j$  - شاخص بارش استاندارد شده‌ی سال جاری

$SPI_{j-1}$  - شاخص بارش استاندارد شده‌ی سال قبل

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان با استفاده از شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی سال قبل و شاخص خشکسالی هواشناسی سال قبل و سال جاری، خشکسالی هیدرولوژیکی همان سال را پیش‌بینی کرد.

جهت ارائه‌ی مدل پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی، ناگزیر از انتخاب تصادفی تعدادی از وقایع به‌عنوان معیار ساخت و واسنجی مدل و تعدادی برای معیار صحت‌سنجی مدل تولید شده هستیم. برای تولید مدل از روش  $\frac{2}{3}$  به  $\frac{1}{3}$  استفاده گردید. بدین معنی که مدل فیزیکی با  $\frac{2}{3}$  داده‌ها تولید می‌شود و با  $\frac{1}{3}$  داده‌های باقی‌مانده مورد آزمون قرار می‌گیرد. انتخاب داده‌های باقی‌مانده بستگی به هدف دارد. بدین منظور تعداد ۲۵ واقعه تصادفی شاخص ذخیره‌ی آبهای سطحی و شاخص بارش استاندارد شده‌ی محاسبه شده، جهت ساخت (جدول ۳) و نه واقعه شاخص ذخیره‌ی آبهای سطحی و شاخص بارش استاندارد شده‌ی محاسبه شده جهت مقایسه (جدول ۴) انتخاب شدند.

جدول ۳- ۲۵ واقعه‌ی تصادفی شاخص ذخیره‌ی آبهای سطحی محاسبه شده‌ی مورد استفاده برای ساخت مدل

| SPI   | SWSI  | سال   | SPI   | SWSI  | سال   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -۱/۱۷ | -۰/۵۴ | ۶۷-۶۸ | ۰/۲۵  | ۰/۶۴  | ۵۰-۵۱ |
| -۰/۲  | -۰/۴۸ | ۶۸-۶۹ | -۱/۴۷ | -۰/۹۳ | ۵۱-۵۲ |
| ۱/۲۱  | ۱/۴۷  | ۷۰-۷۱ | -۰/۵۱ | -۰/۵۳ | ۵۲-۵۳ |
| ۲/۰۹  | ۲/۳۳  | ۷۱-۷۲ | ۱/۷۲  | ۲/۰۴  | ۵۴-۵۵ |
| -۱/۳۷ | -۱    | ۷۲-۷۳ | ۰/۳   | ۰/۷۸  | ۵۶-۵۷ |
| ۱/۴۱  | ۰/۸۵  | ۷۳-۷۴ | -۰/۳۳ | -۰/۲۳ | ۵۷-۵۸ |
| -۰/۹۶ | -۰/۹۹ | ۷۵-۷۶ | ۰/۹۴  | ۱/۳۷  | ۵۸-۵۹ |
| ۰/۸۹  | ۰/۶۸  | ۷۶-۷۷ | ۰/۰۶  | -۰/۱۲ | ۶۰-۶۱ |
| -۱/۰۷ | -۰/۷۵ | ۷۷-۷۸ | ۰/۳۵  | ۰/۱۵  | ۶۱-۶۲ |
| -۱/۲۷ | -۲/۱۸ | ۷۹-۸۰ | -۱/۱۹ | -۱/۰۳ | ۶۲-۶۳ |
| ۱/۶۶  | ۰/۸۸  | ۸۰-۸۱ | -۰/۷۹ | -۰/۹۳ | ۶۳-۶۴ |
| -۰/۰۸ | ۰/۰۷  | ۸۱-۸۲ | ۰/۳۹  | -۰/۰۲ | ۶۴-۶۵ |
|       |       |       | ۰/۴۳  | ۰/۵۸  | ۶۶-۶۷ |

جدول ۴- ۹ واقعه SWSI محاسبه شده برای مقایسه‌ی مدل تهیه شده

| SPI   | SWSI  | سال   | SPI   | SWSI  | سال   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ۰/۷   | ۰/۴۳  | ۷۴-۷۵ | ۰/۱۴  | -۰/۱۷ | ۵۳-۵۴ |
| -۱/۷۸ | -۱/۹۲ | ۷۸-۷۹ | -۱/۲۲ | -۰/۷۲ | ۵۵-۵۶ |
| ۰/۳۲  | -۰/۱۷ | ۸۲-۸۳ | -۰/۱۸ | ۰/۱۵  | ۵۹-۶۰ |
| ۰/۲۴  | ۰/۴۳  | ۸۳-۸۴ | ۱     | ۱/۱   | ۶۵-۶۶ |
|       |       |       | -۰/۵۱ | -۰/۴۴ | ۶۹-۷۰ |



## بحث و نتیجه‌گیری

برای تهیه‌ی مدل، رابطه بین  $SWSI_j$  مشاهداتی برای هر سال یا تک تک پارامترهای تابع ( $SWSI_{j-1}$  و  $SPI_{j-1}$  و  $SPI_j$ ) مورد بررسی قرار گرفت که نهایتاً بر اساس پیش‌بینی قبلی مشخص گردید که خشکسالی هیدرولوژیکی هر سال بیشترین همبستگی و ارتباط را با خشکسالی هواشناسی همان سال با  $R^2 = 0/97$  دارد.

برای بررسی بیشتر مدل از داده‌های سال‌های پیش‌تر هم استفاده گردید. ورود یا عدم ورود  $SWSI_{j-2}$  تاثیر چندانی بر بهبود مدل نداشت و با ضریب منفی  $0/0016$  وارد معادله شد و به دلیل سادگی حذف گردید. این بدان معنی است که خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه‌ی مورد مطالعه بیشتر متأثر از وضعیت هیدرومتئورولوژیکی سال جاری و سال قبل است.

با نگرش به موارد ذکر شده می‌توان ضمن استفاده از نمایه خشکسالی هیدرولوژیکی سال قبل و نمایه خشکسالی هواشناسی سال قبل و همان سال، خشکسالی هیدرولوژیکی سال جاری را پیش‌بینی کرد.

## نتایج

پس از بررسی‌های فراوانی که در رابطه با حوضه‌ی «کارون یک» صورت گرفت مدل زیر که یک مدل تجربی می‌باشد و با استفاده از ۲۵ واقعه تولید و نه واقعه دیگر مورد آزمون و صحت سنجی قرار گرفت، برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه‌ی مورد مطالعه پیشنهاد گردید:

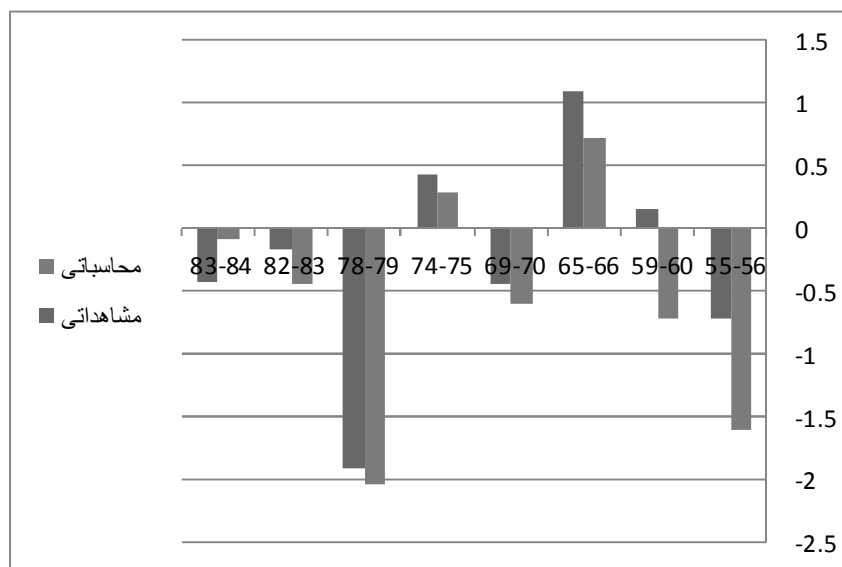
$$SWSI_i = 0/178 SWSI_{i-1} + 0/059 SPI_{i-1} + 1/033 SPI_i - 0/029 \quad (2)$$

این مدل با  $R^2 = 0/92$  و همچنین  $RMSE = 0/16$  به دست آمد که نتایج حاکی از همبستگی بالای  $SWSI$ ‌های محاسباتی با مشاهده‌ای را دارد (شکل ۳). اساس روابط تجربی وجود رابطه‌ی معنی‌دار بین پارامترهای شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌باشد. همچنین جدول ۵ مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای شاخص  $SWSI$  و وضعیت متناظر خشکسالی هیدرولوژیکی آن‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه‌ی آبخیز کارون یک، بیشتر متأثر از وضعیت هیدرومتئورولوژیکی سال جاری و سال قبل است که می‌توان با استفاده از مدل ارائه شده در این حوضه پیش‌بینی مناسبی برای خشکسالی هیدرولوژیکی داشت و تمهیدات لازم را برای مقابله با آن مدنظر قرار داد. لذا استفاده از مدل پیشنهادی برای دستگاه‌های اجرایی واقع در حوضه‌ی مذکور به‌ویژه ستاد حوادث غیرمترقبه استانداری‌های واقع در حوضه توصیه می‌گردد تا با استفاده از آن برای مقابله با خشکسالی‌های بعدی آمادگی لازم را کسب نمایند.

جدول ۵- مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای SWSI و وضعیت متناظر خشکسالی هیدرولوژیکی آن‌ها

| سال   | SWSI محاسباتی<br>(SWSI <sub>j</sub> ) | وضعیت متناظر خشکسالی<br>هیدرولوژیکی محاسباتی | SWSI مشاهده‌ای<br>(SWSI <sub>j-1</sub> ) | وضعیت متناظر خشکسالی<br>هیدرولوژیکی مشاهده‌ای |
|-------|---------------------------------------|--|--|---|
| ۵۳-۵۴ | -                                     | -  | -۰/۱۷                                    | -   |
| ۵۵-۵۶ | -۱/۶۱                                 | خشکی کم                                      | -۰/۷۲                                    | تقریباً نرمال                                 |
| ۵۹-۶۰ | -۰/۷۱                                 | تقریباً نرمال                                | ۰/۱۵                                     | تقریباً نرمال                                 |
| ۶۵-۶۶ | ۰/۷۲                                  | تقریباً نرمال                                | ۱/۱                                      | تری کم  |
| ۶۹-۷۹ | -۰/۶                                  | تقریباً نرمال                                | -۰/۴۴                                    | تقریباً نرمال                                 |
| ۷۴-۷۵ | ۰/۲۸                                  | تقریباً نرمال                                | ۰/۴۳                                     | تقریباً نرمال                                 |
| ۷۸-۷۹ | -۲/۰۵                                 | نسبتاً خشک                                   | -۱/۹۲                                    | خشکی کم                                       |
| ۸۲-۸۳ | -۰/۴۵                                 | تقریباً نرمال                                | -۰/۱۷                                    | تقریباً نرمال                                 |
| ۸۳-۸۴ | -۰/۱                                  | تقریباً نرمال                                | -۰/۴۳                                    | تقریباً نرمال                                 |



شکل ۳- مقایسه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی مشاهده‌ای و محاسباتی توسط مدل پیشنهادی

منابع

۱-حجازی زاده، ز. پروین، ن. (۱۳۸۶). «مدل سازی بارش و پیش بینی آن با استفاده از مدل های SARIMA و پایش خشکسالی به کمک شاخص BMI و نمایه PDRI در حوضه آبریز دریاچه ارومیه». تحقیقات جغرافیایی. شماره ۲۲ (پیاپی ۸۷): ۹۷-۱۲۴.

- ۲- حیدری، م. (۱۳۸۷). بازنگری چند مدل تجربی زمان تمرکز و بررسی کارایی مدل رگرسیون فازی در برآورد زمان تمرکز در حوزه کارون شمالی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
- ۳- علی زاده، ا. انصاری، ح. ارشادی، س. آشگرطوسی، ش. (۱۳۸۷). «پایش و پیش‌بینی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان». جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، پاییز و زمستان ۱۳۸۷. (۱۱): ۱-۱۷.
- ۴- فرج زاده اصل، م. (۱۳۷۴). تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- 5- Alizadeh, A. and SH. Ashgar tosi. (2008), "Develop a model for drought monitoring and forecasting. Study of Khorasan. Ferdosi University of Mashhad," Journal of Water and soil (Agricultural Science and Technology). VOL 22:1. pp. 223-234.
- 6- Baren, M.A. (1985). *Hydrological aspects of droughts*. UNESCO/WMO. London, 1985.
- 7- Ghavidel Rahimi, Y. 2005. "A study of drought and wet year assessment models for stations in east azerbaijan province." Iranian journal of natural resources. vol 58(3): pp. 517-530.
- 8- Palmer, W.C. 1966. "Meteorological Drought," Research Paper. No. 45.
- 9- Pongracz, R. I, Bogardi and L, Duckstein. "Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought Original Research Article." Journal of Hydrology. Vol 224, Issues 3-4, November 1999. pp. 100-114.
- 10- Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon, The role of definitions. Water International. Vol 10(3):pp.111-120.