

بررسی ارتباط بین خشکسالی‌های آب‌شناسی و هواشناسی حوزه آبخیز مهارلو، استان فارس

مه‌دیس امیری^۱ و حمیدرضا پورقاسمی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز و ^۲ استادیار، بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۳۰

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی روند ارتباط بین خشکسالی آب‌شناسی و هواشناسی حوزه آبخیز مهارلو در استان فارس است. در این تحقیق، به منظور ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص استاندارد سطح آب (SWI) و از آمار آب‌های زیرزمینی ۶۰ چاه پی‌زومتری با طول دوره زمانی مشترک ۱۵ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۲) و برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی، از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد و از آمار ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی حوزه آبخیز مهارلو طی یک دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۲) استفاده شد. به منظور پهنه‌بندی خشکسالی‌ها و تهیه نقشه‌های مربوطه، از روش‌های مختلف زمین آمار شامل میان‌یابی عکس مجذور فاصله (IDW) و کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و نتایج مدل‌ها بر اساس معیارهای میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ریشه دوم میانگین مربعات باقی‌مانده (RMSE) ارزیابی شد. شایان ذکر است که برای بررسی روند زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از آزمون من-کندال استفاده شد. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی دارای روند معنی‌دار افزایشی بوده، در حالی که خشکسالی هواشناسی در ابتدا کاهشی و سپس افزایشی بوده، روند خاصی را دنبال نمی‌کند. در سال ۷۸، بیشترین میزان خشکسالی با مقدار SWI ۲/۲۵ و در سال ۸۱، بیشترین میزان ترسالی با مقدار SWI ۲/۶۶- رخ داده است. همچنین، نتایج نشان داد که در قسمت‌های جنوب غرب و مرکز بیشترین ترسالی و در نواحی شمال غربی، بیشترین شدت خشکسالی مشاهده شده است. نتایج خشکسالی هواشناسی نیز بیانگر آن بود که در سال ۷۸ بیشترین شدت ترسالی در ایستگاه کمهر رخ داده است و بیشترین شدت خشکسالی طی سال‌های بعد نیز در ایستگاه کمهر رخ داده است. همچنین، نتایج ارزیابی روش‌های میان‌یابی نشان داد که روش عکس مجذور فاصله با کمینه میزان MAE (۰/۲۶۸۸) و RMSE (۰/۶۲۹) به‌عنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی و نقشه شاخص SPI بر اساس کمینه MAE (۰/۲۶۸۸) و MBE (-۰/۰۰۰۵۱) به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در ارزیابی خشکسالی انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی هواشناسی، شاخص استاندارد شده سطح آب، شاخص بارش استاندارد شده

مقدمه

پدیده خشکسالی یکی از مهمترین بلاهای طبیعی است که بسیاری از کشورها را تحت تأثیر خود قرار داده، باعث بروز مشکلات بسیاری از جمله اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی شده است. به دلیل متغیرهای گوناگون که به صورت مستقیم و غیر مستقیم در پدیده خشکسالی دخالت دارند، تعریف این واژه دشوار بوده، به همین منظور، تا کنون تعریف جامع و قابل قبول برای همه پژوهشگران عنوان نشده است (Beheshtirad, ۲۰۱۵). هواشناسان، خشکسالی را بارش کمتر از حد معمول که منجر به تغییر الگوی آب و هوایی می‌شود، تعریف کرده‌اند (Sabzi Parvae و همکاران، ۲۰۱۰). هیدرولوژیست‌ها بر این باورند که خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که سطح تراز آب‌های سطحی و زیرزمینی از حد معمول خود پایین‌تر رود (Farajzadeh, ۱۹۹۶). خشکسالی یک اختلال موقتی است و با خشکی تفاوت دارد چرا که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی اندک است و حالتی دائمی از اقلیم است، در حالی که خشکسالی در مناطق خشک و مرطوب نیز رخ می‌دهد و حالت طبیعی و نرمال از اقلیم می‌باشد (Sutera و Bordi, ۲۰۰۴). برای ارزیابی خشکسالی تا کنون شاخص‌های متعددی ارائه شده است. نمایه خشکسالی بر مبنای یک یا چند متغیر اقلیمی محاسبه می‌شود. نمایه ذخیره آب سطحی^۱ SWSI بر مبنای متغیرهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژیکی محاسبه می‌شوند (Shafer و Dezman, ۱۹۸۲) که وزن بارندگی در این‌گونه نمایه‌ها بیش از بقیه متغیرها و بیش از ۸۰ درصد در تغییر است (Keyantash و Dracup, ۲۰۰۳). در این میان، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۲ یکی از شاخص‌های ارائه شده در سطح جهانی است که امکان پایش خشکسالی در مقیاس‌های متفاوت زمانی را میسر می‌کند (Shahid و Hazarika, ۲۰۱۰). شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل

خشکسالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (Hayes و همکاران، ۱۹۹۹). یکی دیگر از انواع خشکسالی‌ها، خشکسالی هیدرولوژیکی می‌باشد که ابتدا با کاهش میزان بارندگی شروع و به‌طور عادی با کاهش سطح دریاچه‌ها و منابع ذخیره‌ای مرتبط می‌شود (Liu و همکاران، ۲۰۱۲). این شاخص هیدرولوژیکی به وسیله Nalbantis (۲۰۰۸) ارائه شد و سپس به وسیله Nalbantis و Tsakiris (۲۰۰۹) برای مشخص کردن خشکسالی هیدرولوژیکی توسعه داده شد که کاهش جریان‌ات رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از آشکارترین نشانه‌های این مرحله از خشکسالی هستند (Hao و همکاران، ۲۰۱۵). اما هیچ کدام از شاخص‌های مهم به طور ذاتی برتر از بقیه شاخص‌ها نیستند، بلکه هر کدام از آن‌ها برای کاربرد خاص خود مناسب است (Hadizadeh, ۲۰۱۱). تحقیقات گوناگونی در داخل و خارج ایران در زمینه کاربرد شاخص‌های مختلف خشکسالی و همچنین، روش‌های گوناگونی برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی یک منطقه گزارش شده که می‌توان از بین آن‌ها به روش‌های زمین آماری کرجینگ ساده، کرجینگ معمولی، کوکریجینگ و روش‌های معین مانند عکس مجذور فاصله، تابع شعاعی، درون‌یابی موضعی و درون‌یابی عام اشاره نمود (Shabani, ۲۰۰۸؛ Nikkami و Mahdian, ۲۰۱۵).

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی و مقایسه پهنه بندی مکانی خشکسالی آب‌شناسی و هواشناسی حوزه آبخیز مهارلو در استان فارس طی ۱۵ سال (۱۳۹۲-۱۳۷۸) با استفاده از شاخص‌های SWI و SPI و بررسی تغییرات زمانی خشکسالی‌های حوضه مورد مطالعه با استفاده از آزمون من-کندال طی سال‌های مورد نظر است. همچنین، انتخاب مناسب‌ترین روش از میان روش‌های مختلف میان‌یابی عکس مجذور فاصله و کرجینگ معمولی و ارزیابی روش‌های مذکور با استفاده از معیارهای MAE^۳، RMSE^۴ و MBE^۵ صورت پذیرفت.

^۳ Mean Absolute Error (MAE)

^۴ Root Mean Square Error (RMSE)

^۵ Mean Bias Error (MBE)

^۱ Surface Water Supply Index (SWSI)

^۲ Standardized Precipitation Index (SPI)

در ایستگاه رودک وجود دارد، که دلیل آن کوچک بودن حوضه بالادست آن به موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری دانست. Karimi و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان ارزیابی روش‌های میان‌یابی به‌منظور پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در دشت ساری-نکا نتیجه گرفتند که برای شاخص‌های SPI، شاخص‌های معیار Z^1 و Z^2 روش کریجینگ ساده و برای شاخص درصد بارش نرمال PNPI^۳ روش تابع شعاعی به‌عنوان مناسب‌ترین روش از بین سایر روش‌های میان‌یابی برای هر یک از شاخص‌های مورد بررسی انتخاب شد. Bhuiyan و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلف از جمله SPI و SWI بر اساس اطلاعات سنجنده NOAA-AVHRR و داده‌های زمینی نشان دادند که وجود خشکسالی هواشناسی در یک دوره زمانی خاص، دلیلی بر وقوع خشکسالی هیدرولوژیک نیست. Edossa و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه رودخانه آواش اتیوپی برای تحلیل مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد شده و برای تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک از جریان رودخانه استفاده کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیک به‌طور متوسط با تأخیر هفت ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ داده است. Ezzine و همکاران (۲۰۱۴) با به‌کارگیری شاخص بارش استاندارد شده، شاخص سطح آب استاندارد و شاخص استاندارد پوشش گیاهی (SVI) به بررسی خشکسالی در منطقه نیمه‌خشک مدیترانه پرداختند. نتایج بیانگر همبستگی خوب بین SPI و SWI بوده، همچنین، ارتباط خوبی بین شاخص‌های SVI^۴ و SPI برقرار بود. Mazar و Nawas (۲۰۱۴) به‌منظور پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در پاکستان از داده‌های بارش ۳۴ ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ استفاده کردند. سه روش میان‌یابی شامل فاصله معکوس وزن‌دار، کریجینگ و اسپلاین برای پهنه‌بندی خشکسالی به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که روش

Malekinejad و Soleimani (۲۰۱۱) شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک حوضه چغلون‌دی در استان لرستان را با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI بررسی کردند. نتایج نشان داد، در سال‌های اخیر شدت و تداوم خشکسالی‌ها افزایش یافته، تأخیر زمانی متفاوتی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد. Boroghani و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی با عنوان تحلیل خشکسالی هیدروژئولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار در استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI نشان دادند که خشکسالی اقلیمی و هیدروژئولوژیکی از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند و بیشترین شدت و فراوانی خشکسالی در غرب دشت سبزوار بوده است، در حالی‌که شرق دشت از شرایط نرمال و ترسالی برخوردار بوده، خشکسالی هیدروژئولوژیکی با یک سال تأخیر نسبت به خشکسالی اقلیمی اتفاق افتاده است. Azareh و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه سد کرج پرداختند که نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در سطح یک درصد، قابل توجه است و این ارتباط در محدوده سه ماهه بیشینه است. همچنین، خشکسالی هواشناسی با یک ماه تأخیر بر روی خشکسالی هیدرولوژیک تأثیر می‌گذارد و بالاترین ارتباط مربوط به ایستگاه سیره بود که می‌توان آن را به موقعیت جغرافیایی آن در حوضه سد کرج ربط داد.

Eskandari و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در استان تهران نشان دادند که بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه (استان تهران)، ارتباط معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد و روند خشکسالی تقریباً در مناطق مختلف استان با گذشت زمان افزایش یافته است، به طوری‌که روند تغییرات هر دو شاخص خشکسالی از سمت شمال به جنوب دارای افزایش چشم‌گیری بوده است، همچنین، بررسی‌های مکانی نیز نشان داد که بیشترین همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک

¹ Z-Score Index (ZSI)

² China-Z Index (CZI)

³ Percent of Normal Precipitation Index (PNPI)

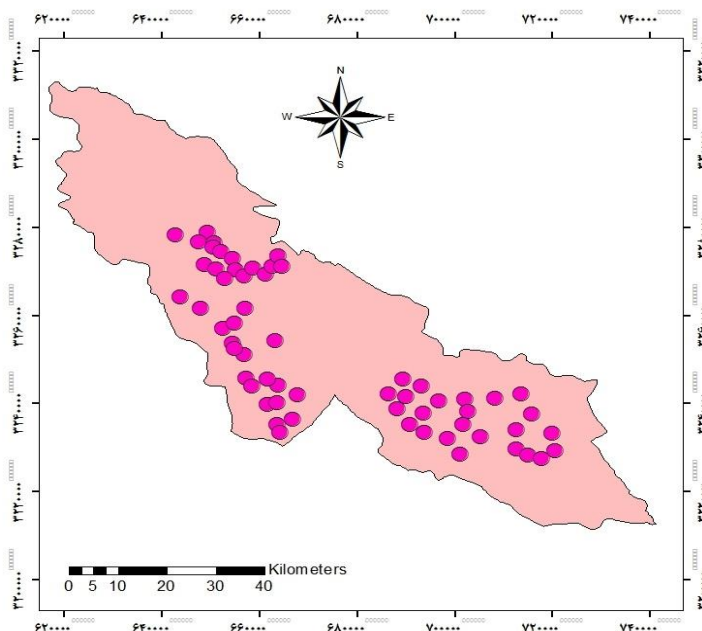
⁴ Standard Vegetation Index (SVI)

اسپلاین الگوی شدت خشکسالی در پاکستان را بهتر نشان داده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز مهارلو در استان فارس با وسعت ۴۲۷۴ کیلومتر مربع، با متوسط ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا در ناحیه جنوب غربی ایران و در میان رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. به لحاظ جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی ۱' ۲۹° تا ۵۸' ۲۹° شمالی و طول‌های جغرافیایی ۱۲' ۵۳° تا ۲۸' ۵۳° شرقی قرار گرفته

است (شکل ۱). در این مطالعه، از آمار ۶۰ چاه پیزومتری با طول دوره زمانی مشترک ۱۵ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۲) و ماه شهریور به‌عنوان ماه شاخص برای تحلیل‌های خشکسالی استفاده شد. شکل ۱، پراکندگی چاه‌های پیزومتری را در حوزه آبخیز مهارلو نشان می‌دهد. همچنین، از آمار بارندگی ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی در حوزه آبخیز مهارلو طی دوره آماری ۱۵ سال (۱۳۷۸-۱۳۹۲) برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی استفاده شد. جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه آبخیز مهارلو را نشان می‌دهد.



شکل ۱- پراکندگی چاه‌های پیزومتری در منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش: در پژوهش حاضر، از آمار سطح و تراز آب زیرزمینی ۶۰ چاه پیزومتری و ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی واقع در حوزه آبخیز مهارلو با طول دوره آماری ۱۵ سال (۱۳۷۸-۱۳۹۲) استفاده شد و به‌منظور تحلیل خشکسالی‌ها، ماه شهریور به‌عنوان ماه شاخص انتخاب شد. سپس برای بررسی روند تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی و تحلیل کمی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از شاخص‌های SPI و SWI و به‌منظور پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های مکانی خشکسالی‌ها از روش‌های میان‌یابی وزن‌دهی معکوس

فاصله (IDW)^۱ و کریجینگ معمولی در محیط GIS^۲ (سامانه اطلاعات جغرافیایی) استفاده شد. در ادامه به‌منظور ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی از معیارهای RMSE، MAE و MBE استفاده شد. اگرچه دو شاخص خشکسالی مذکور به لحاظ تخمین و برآورد شبیه به هم هستند، اما ورودی‌های آن‌ها با هم متفاوت بوده، طبقه‌بندی آن‌ها عکس یکدیگر می‌باشد (Soleimani و Malekinejad، ۲۰۱۱). نهایتاً به‌منظور

^۱ Inverse Distance Weighted (IDW)

^۲ Geographic Information System (GIS)

۲۰۰۹؛ Vittal و همکاران، ۲۰۰۷).

$$SWI = (W_{ij} - W_{im}) / \sigma \quad (1)$$

که در آن، W_{ij} ارتفاع پیزومتر برای ماه یا سال مورد نظر، W_{im} میانگین پیزومتري برای ماه یا سال مورد نظر و σ انحراف معیار است.

بررسی روند خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در تحقیق حاضر از آزمون من-کندال استفاده شد.

شاخص استاندارد شده سطح آب (SWI): این شاخص از تقسیم اختلاف بین سطح آب با میانگین طولانی مدت، به انحراف معیار به دست می‌آید. معادله کلی شاخص SWI به صورت رابطه (۱) است (Khanna).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز مهارلو

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
ارسنجان	۵۳°۱۹'۲۷"	۲۹°۵۵'۲۰"	۱۶۴۸
چوخله	۵۱°۵۳'۳۸"	۳۰°۳۲'۵۴"	۲۰۵۶
گشنگان	۵۲°۵۲'۴۳"	۲۹°۳۰'۰۵"	۱۴۴۰
جمال بیگ	۵۱°۵۷'۱۳"	۳۰°۳۶'۳۶"	۲۰۱۰
شیراز (اداره مرکزی)	۵۲°۳۲'۰۰"	۲۹°۳۷'۵۴"	۱۵۲۲
خسرو شیرین	۵۲°۰۰'۴۳"	۳۰°۵۴'۱۱"	۲۳۴۲
سروستان	۵۳°۱۳'۰۳"	۲۹°۱۶'۳۴"	۱۵۷۰
جهان‌آباد بختگان	۵۳°۵۱'۲۳"	۲۹°۴۲'۱۸"	۱۵۷۷
چمریز	۵۲°۰۶'۰۴"	۳۰°۲۸'۰۲"	۱۸۱۰
آباده طشک	۵۳°۴۳'۵۰"	۲۹°۴۸'۲۶"	۱۶۰۴
دوبنه	۵۲°۴۶'۵۶"	۲۹°۲۵'۱۴"	۱۴۸۹
ده بید	۵۳°۱۱'۴۰"	۳۰°۳۶'۵۴"	۲۳۲۰
قلات شیراز	۵۲°۲۰'۴۲"	۲۹°۵۰'۱۴"	۱۸۸۱
کافتر	۵۲°۴۳'۵۲"	۳۰°۳۲'۰۲"	۲۳۴۲
کمهر	۵۱°۵۲'۳۳"	۳۰°۲۷'۰۰"	۲۳۵۴
خلار	۵۲°۱۴'۲۷"	۲۹°۵۷'۵۴"	۲۰۵۶
مهرآباد رامجرد	۵۲°۴۲'۰۲"	۲۹°۵۸'۲۵"	۱۶۰۶
فنجان	۵۳°۲۹'۱۶"	۳۰°۲۳'۳۲"	۲۳۷۶

شاخص SWI شدت خشکسالی را به پنج طبقه تقسیم‌بندی می‌کند، به طوری که مقادیر مثبت SWI، نشان‌دهنده خشکسالی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده عدم خشکسالی یا شرایط نرمال می‌باشد. جدول ۲، طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص استاندارد شده سطح آب را نشان می‌دهد (Khanna, ۲۰۰۹).

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی با روش SWI

مقادیر SWI	طبقه‌بندی خشکسالی
$SWI < 0$	ترسالی
$0 < SWI < 1$	خشکسالی خفیف
$1/1 < SWI < 1/50$	خشکسالی متوسط
$1/5 < SWI < 2$	نزدیک شدید
$SWI > 2$	خشکسالی بسیار شدید

شاخص بارش استاندارد شده (SPI): در تحقیق حاضر، به منظور پایش خشکسالی هواشناسی از شاخص SPI استفاده شد. نمایه SPI با قرار دادن تفاوت مقادیر بارش از مقادیر میانگین بارندگی برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم بر انحراف معیار بارش محاسبه و در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت قابل محاسبه است. مقدار مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیش از میانگین بوده، مقدار منفی معنای عکس دارد (Shahian و همکاران، ۲۰۰۹). برای طبقه‌بندی خشکسالی در هر ایستگاه، یک سامانه طبقه‌بندی (جدول ۳) معینی را در نظر گرفته که بیان‌گر شدت‌های متفاوتی از خشکسالی در یک منطقه می‌باشد. به منظور محاسبه شاخص

استاندارد شده بارش در بازه زمانی یک ماهه از نرم‌افزار DrinC¹ استفاده شد.

جدول ۳- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس SPI

مقادیر SPI	طبقه‌بندی خشکسالی
$SPI \geq 2$	ترسالی بسیار شدید
$1/5 \leq SPI < 1/99$	ترسالی شدید
$1 \leq SPI < 1/49$	ترسالی متوسط
$-0/99 \leq SPI < -0/49$	نزدیک نرمال
$-1 \leq SPI < -1/49$	خشکسالی متوسط
$-1/5 \leq SPI < -1/99$	خشکسالی شدید
$-2 \geq SPI$	خشکسالی بسیار شدید

روش Kriging: کرجینگ یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد، به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین برآوردکننده خطی نارایب است (Mohammadi, ۲۰۰۶). شرط نارایب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چند جمله‌ای و وزن‌دهی معکوس فاصله نیز اعمال می‌شود، ولی ویژگی کرجینگ آن است که در عین نارایب بودن، واریانس تخمین نیز در کم‌ترین مقدار می‌باشد (Hasaanipak, ۲۰۰۷). در این تحقیق، از روش کرجینگ با مدل گوسین (Ansari و Sefati, ۲۰۱۴؛ Saghafian و همکاران، ۲۰۱۱) استفاده شد. برآورد کننده کرجینگ به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

که در آن، $Z^*(x_i)$ تخمین‌گر مقدار متغیر Z در نقطه x و λ_i وزن آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقطه x_i است. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کرجینگ غیر خطی استفاده نمود یا با استفاده از روش‌های تبدیل داده، توزیع متغیر موردنظر را به توزیع نرمال تبدیل کرد (Hasaanipak, ۲۰۰۷؛ Mohammadi, ۲۰۰۶).

روش ارزیابی دقت مدل‌های زمین‌آماری: معیارهای مختلفی برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده وجود دارد که کاربردی‌ترین آن‌ها عبارت است از: میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) (Mazarei و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق، به منظور ارزیابی مدل‌های زمین‌آماری از سه معیار مذکور استفاده شده است. مقدار این معیارها به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۴) تا (۶) به دست می‌آید.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n Z^*(x_i) - Z(x_i)}{n} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{k=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2} \quad (6)$$

روش‌های میان‌یابی^۲: میان‌یابی فرایند به دست آوردن نقاط مجهول به وسیله نقاط معلوم تعریف می‌شود و داده‌هایی که به عنوان ورودی در میان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از نوع داده‌های نقطه‌ای است (Sanjari, ۲۰۱۱) که در تحقیق حاضر از دو روش میان‌یابی عکس مجذور فاصله و کرجینگ معمولی استفاده شده است.

روش IDW: در این روش، برای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری شده، بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس، این وزن‌ها به وسیله توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده، توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند، دارای وزن یکسانی هستند (Mahdian, ۲۰۰۶؛ Taghizade و همکاران، ۲۰۰۸). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (2)$$

که در آن، λ_i وزن نقطه‌ای i ام، D_i فاصله نقطه i ام تا نقطه مجهول و α معادل توان وزن‌دهی می‌باشد.

¹ Drought indices calculator

² Interpolation to raster

معکوس فاصله و کریجینگ معمولی در شکل ۲ ارائه شده است.

همچنین، نتایج مربوط به خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مهارلو طی دوره آماری ۱۳۷۸-۱۳۹۲ به مدت ۱۵ سال به وسیله ۶۰ چاه پیزومتری با استفاده از شاخص SWI در نرم افزار Excel بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی آن با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله و کریجینگ معمولی برای سال‌های مختلف تهیه شد. نتایج تغییرات مکانی حاصله برای سال‌های ۷۸، ۸۲، ۸۶ و ۹۰ در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج مربوط به بررسی خشکسالی سالانه حوزه مهارلو در ۱۸ ایستگاه و طی دوره آماری ۱۳۷۸-۱۳۹۲ به مدت ۱۵ سال با استفاده از شاخص SPI (شکل‌های ۲ و ۳) به وسیله نرم افزار DrinC بررسی و روند زمانی تغییرات خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از آزمون من-کندال در شکل ۶ برآورد شد.

نتایج بررسی‌های مکانی خشکسالی هواشناسی نشان داد که در سال ۱۳۷۸ بیشترین شدت خشکسالی (۱/۰۴) در ایستگاه قلات (شمال غرب) و بیشترین شدت ترسالی (۲/۲۹) در ایستگاه کمهر رخ داده است. در مقابل، در سال ۱۳۷۹ بیشترین مقدار خشکسالی (۰/۷۷) در ایستگاه کمهر دیده شد و در سال ۱۳۸۰ بیشترین شدت خشکسالی (۰/۵۲) در ایستگاه کمهر رخ داده و روند تغییرات نشان داده که از شمال به سمت جنوب شدت خشکسالی کم و بر شدت ترسالی افزوده می‌شود. در سال ۱۳۸۱ بیشترین شدت خشکسالی مشابه سال ۱۳۸۰ می‌باشد و بیشترین شدت ترسالی در ایستگاه‌های شیراز، سروستان و گشنگان با مقادیر یکسان (۱/۶۵) ملاحظه شد. در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۵، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ بیشترین شدت خشکسالی در ایستگاه کمهر با مقدار ۰/۵۲ مشاهده شد. بیشترین مقدار ترسالی در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ و در ایستگاه‌های آباده، تشک، جمال‌بیگ، جهان‌آباد، چوبخانه، چمریز، ده‌بید، سروستان، شیراز، فنجان، کافت‌ر و گشنگان مشابه بوده، مقدار آن ۱/۶۵ مشاهده شد. همچنین، در سال ۱۳۸۶

که در آن‌ها، $Z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده در نقطه X_i ، $Z(X_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه X_i و N تعداد نقاط می‌باشد.

بررسی روند زمانی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال: این آزمون یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روندهای سری زمانی به‌شمار می‌رود (Kendall، ۱۹۷۵؛ Mann، ۱۹۴۵). روش مذکور به‌طور متداول و گسترده در تحلیل روند سری‌های خشکسالی هیدرولوژی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (Alijani و همکاران، ۲۰۱۱).

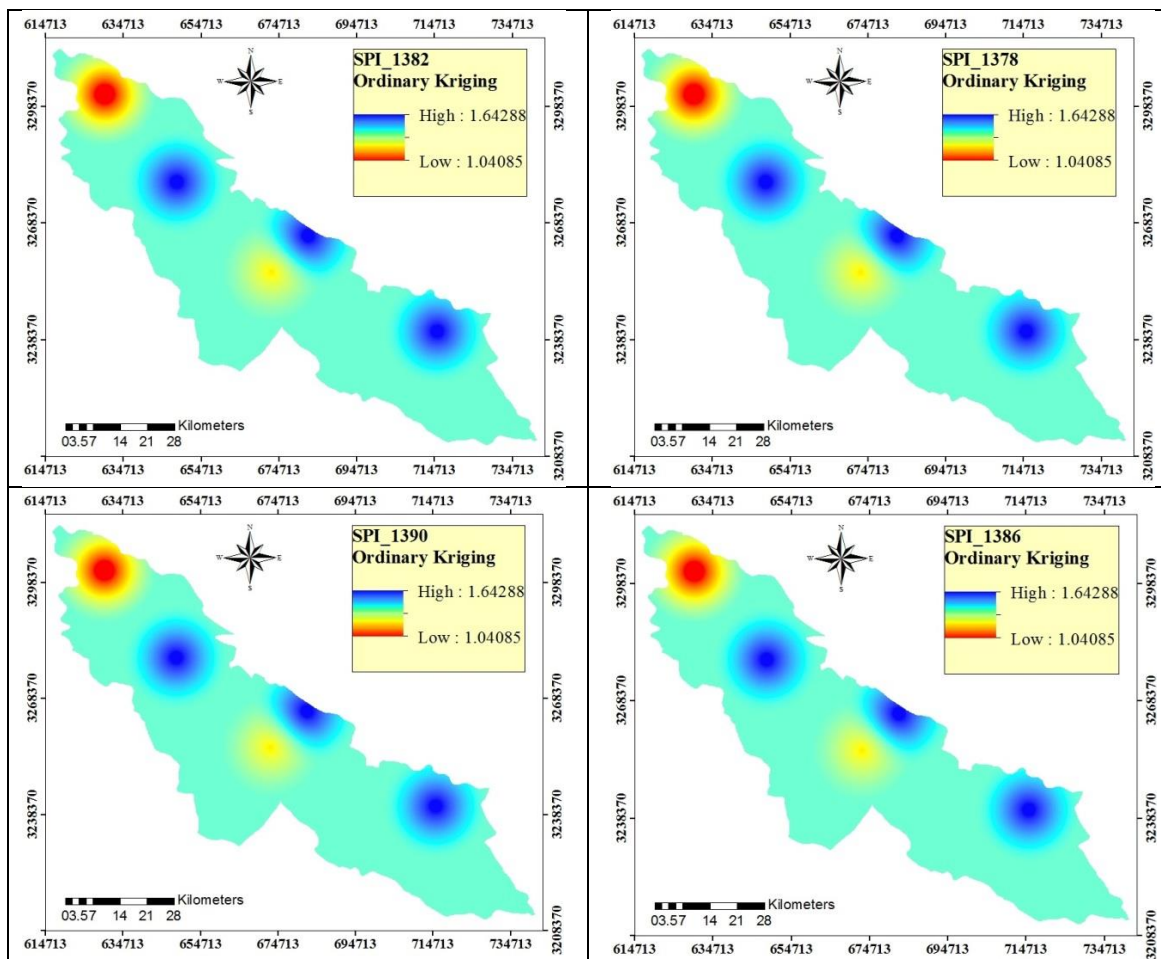
اگر دنباله u و u' بر اساس i به‌صورت نموداری رسم شود، در حالت معنی‌داری روند نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند کرد، به این نقطه برخورد، جهش گفته می‌شود. در حالی که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله u و u' تقریباً به‌صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد. نمودار u نسبت به سال (محور x) رسم شده، برای این که معنی‌داری روند و نقطه جهش آن به‌دست آید، دنباله u' تعریف می‌شود. مراحل به‌دست آوردن u' همانند u است با این تفاوت که سال‌ها، به‌ترتیب نزولی قرار می‌گیرند و مراحل محاسبه u برای u' نیز تکرار می‌شود. در مواقعی که $+1/96 < u < -1/96$ باشد، سری تصادفی است و روند خاصی نمی‌توان برای آن تصور کرد. در حالی که $+1/96 > u > -1/96$ نشان دهنده روند مثبت و $-1/96 < u < -1/96$ نشان دهنده روند منفی می‌باشد (Alijani، ۲۰۰۲).

نتایج و بحث

نتایج پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی منطقه مورد مطالعه و تغییرات مکانی آن‌ها طی دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۷۸ بررسی و برای دوره‌های آماری ۱۳۷۸، ۱۳۸۲، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ با استفاده از روش‌های وزن‌دهی

بیشترین شدت خشکسالی (۱/۰۳) و ترسالی (۲/۱۵) در ایستگاه‌های کمهر و خسروشیرین ملاحظه شد. در سال ۱۳۸۷ بیشترین شدت خشکسالی (۰/۷۲) در کمهر همچنین، فنجان بیشترین شدت ترسالی

بیشترین شدت خشکسالی (۲/۰۹) بوده است. در سال ۱۳۸۸ بیشترین شدت خشکسالی (۱/۱۱) در ایستگاه قلات (شمال غرب) مشاهده شد در حالی که بیشترین ترسالی در ایستگاه مهرآباد رامجرد رخ داده است.



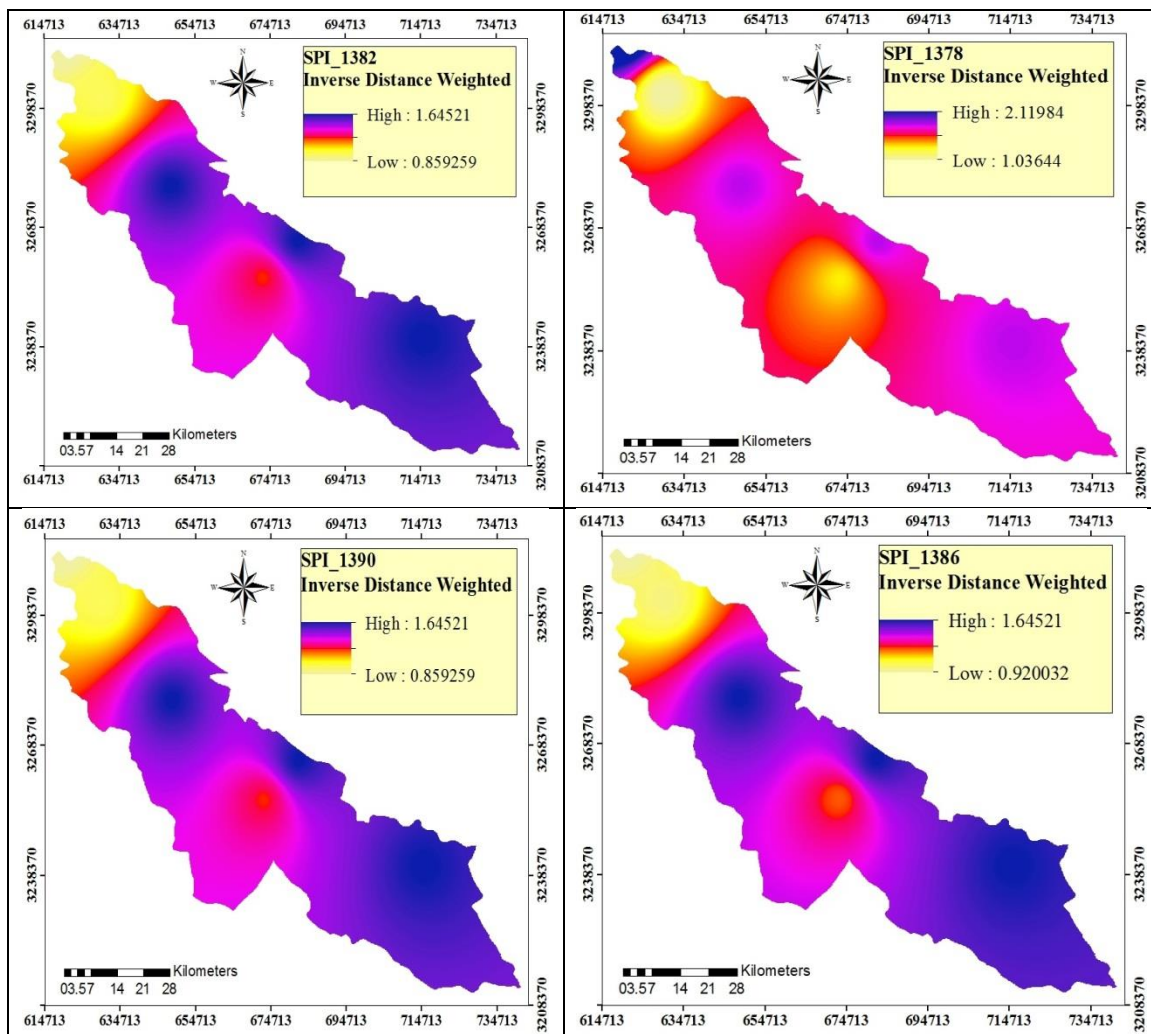
شکل ۲- بررسی تغییرات مکانی خشکسالی هواشناسی سالانه شاخص SPI منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف با استفاده از روش کریجینگ معمولی

همچنین، بررسی‌های مکانی خشکسالی هیدرولوژیکی نشان داد که در سال ۷۸ بیشترین مقدار ترسالی با مقدار SWI ۲/۳۴- و بیشترین مقدار خشکسالی (۱/۳۴) بوده است. در سال ۱۳۷۹، کمترین مقدار SWI ۲/۵۹- و بیشترین میزان خشکسالی ۲/۱۸ است. در حالی که در سال‌های ۸۰، ۸۱، ۸۲ و ۸۳ بیشترین مقدار خشکسالی به ترتیب ۲/۱۵، ۲/۱۰، ۱/۹۳ و ۱/۹۰ بوده است و بیشترین مقدار ترسالی به ترتیب ۲/۶۶، ۲/۵۶- و ۲/۴۳- می‌باشد. در سال ۲/۵۹، ۲/۶۶-، ۲/۵۶- و ۲/۴۳- می‌باشد. در سال ۱۳۸۴ بیشترین مقدار SWI، ۱/۹۶ و کمترین مقدار آن ۲/۲۶- می‌باشد. در سال‌های ۸۵، ۸۶، ۸۷ و ۸۸ بیشترین مقدار ترسالی ۲/۳۲-، ۲/۳۱-، ۲/۳۹- و ۲/۴۴- می‌باشد و بیشترین مقدار خشکسالی به ترتیب ۱/۹۸، ۱/۹۱، ۱/۸۳ و ۱/۱۸ برآورد شد. همچنین، در سال ۸۹ کمترین و بیشترین مقدار SWI به ترتیب برابر ۲/۳۵- و ۱/۶۰ بوده است. متعاقباً در سال‌های ۹۰، ۹۱ و ۹۲ بیشترین مقدار ترسالی به ترتیب ۲/۲۶-، ۲/۲۵- و ۲/۱۷- و بیشترین مقدار خشکسالی ۱/۵۲،

۱/۹۶ و کمترین مقدار SWI، ۱/۹۶ و کمترین مقدار آن ۲/۲۶- می‌باشد. در سال‌های ۸۵، ۸۶، ۸۷ و ۸۸ بیشترین مقدار ترسالی ۲/۳۲-، ۲/۳۱-، ۲/۳۹- و ۲/۴۴- می‌باشد و بیشترین مقدار خشکسالی به ترتیب ۱/۹۸، ۱/۹۱، ۱/۸۳ و ۱/۱۸ برآورد شد. همچنین، در سال ۸۹ کمترین و بیشترین مقدار SWI به ترتیب برابر ۲/۳۵- و ۱/۶۰ بوده است. متعاقباً در سال‌های ۹۰، ۹۱ و ۹۲ بیشترین مقدار ترسالی به ترتیب ۲/۲۶-، ۲/۲۵- و ۲/۱۷- و بیشترین مقدار خشکسالی ۱/۵۲،

همچنین، نتایج مربوط به روند زمانی تغییرات خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۹۲ به مدت ۱۵ سال با استفاده از آزمون من-کندال در شکل ۶ ارائه شده است.

۱/۴۸ و ۱/۴۷ بوده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بررسی‌های مکانی خشکسالی هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه نشان داد که در قسمت‌های شمال غربی حوضه مهارلو خشکسالی و در قسمت‌های مرکزی و جنوب شرقی ترسالی رخ داده است.



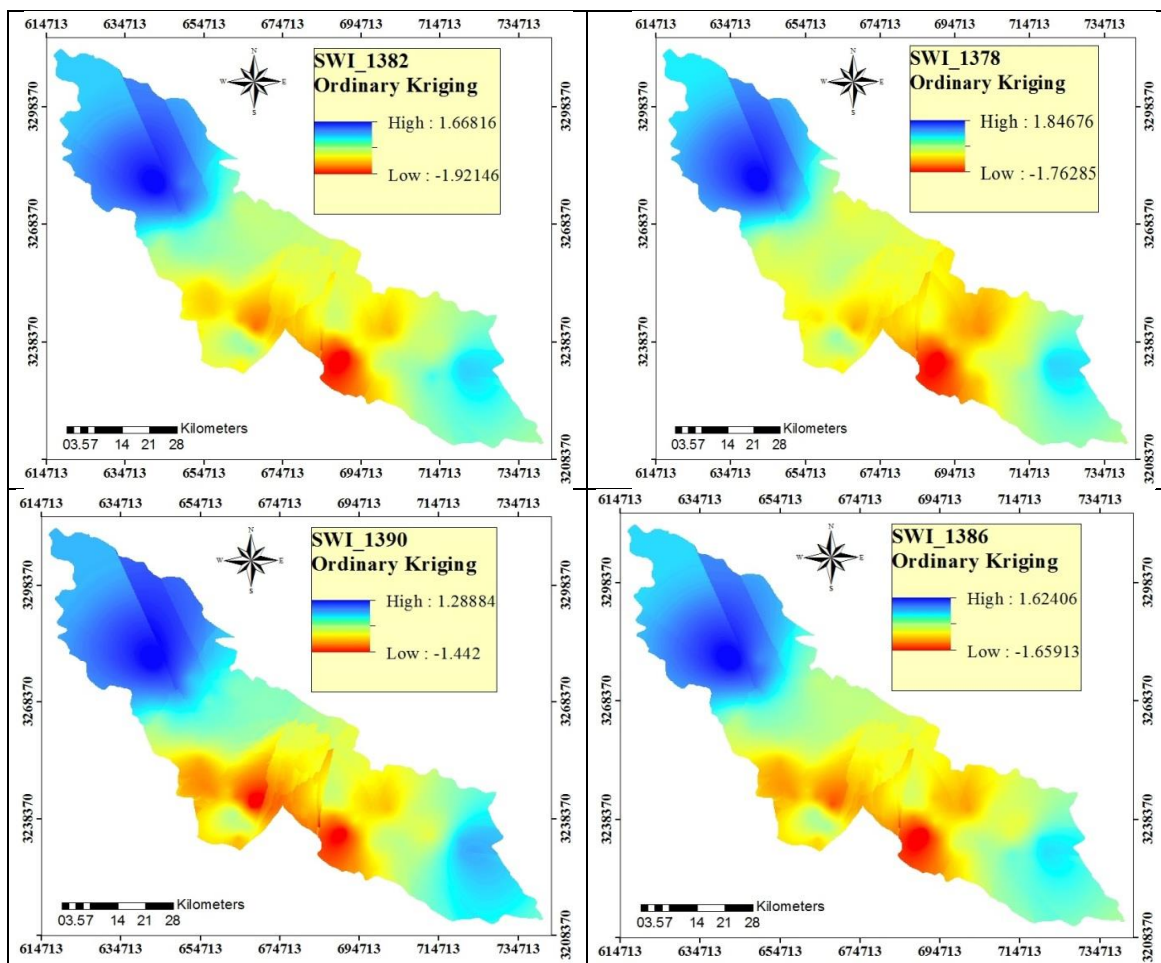
شکل ۳- بررسی تغییرات مکانی خشکسالی هواشناسی سالانه شاخص SPI منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف با استفاده از روش عکس مجذور فاصله

کمترین خشکسالی هیدرولوژیکی و بیشترین ترسالی اتفاق افتاد و در سال ۱۳۷۹ خشکسالی هیدرولوژیکی با مقدار یک و پس از آن در سال ۱۳۸۰ مجدد ترسالی با مقدار ۰/۵ رخ داده، بعد از آن تا سال ۱۳۹۲ افزایش خشکسالی اتفاق افتاده است. به طوری که در سال ۱۳۹۱ بیشترین مقدار خشکسالی با مقدار ۴/۴۳ رخ داده است و در شاخص مقادیر SPI بین

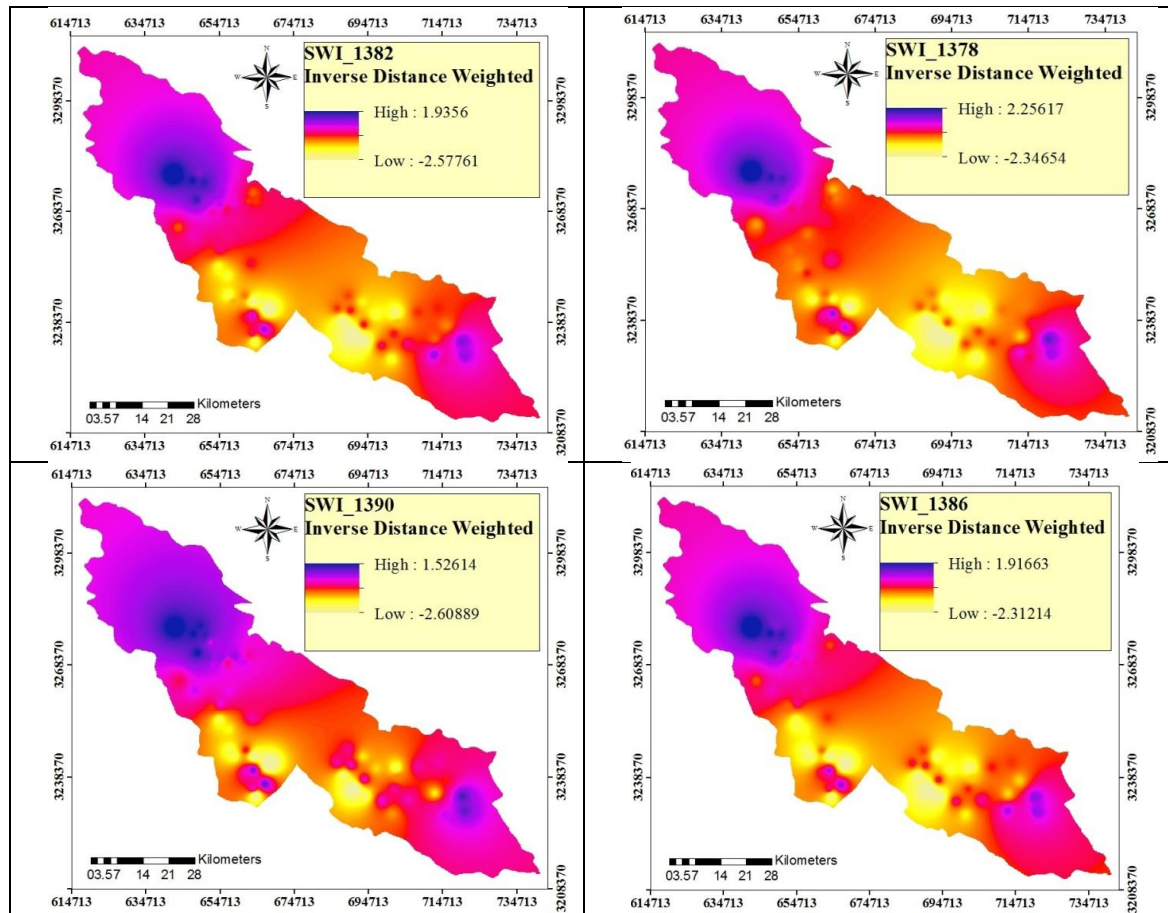
روند تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از آزمون من-کندال حاکی از آن بود که شاخص SWI به دلیل این که بین مقادیر $-1/96 < u < +1/96$ نیست، بنابراین، سری داده‌ها تصادفی نبوده، روند زمانی معنی‌داری طی سال‌های مختلف دارد و از آن جایی که $u > +1/96$ می‌باشد، نشان دهنده روند مثبت و افزایشی است و در سال ۱۳۷۸

ترسالی با مقدار $1/64$ رخ داد و پس از آن مجدداً افزایش خشکسالی مشاهده شده است. از طرف دیگر، نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری IDW و کریجینگ در تهیه نقشه‌های خشکسالی با استفاده از معیارهای RMSE، MAE و MBE در جدول ۴ ارائه شده است.

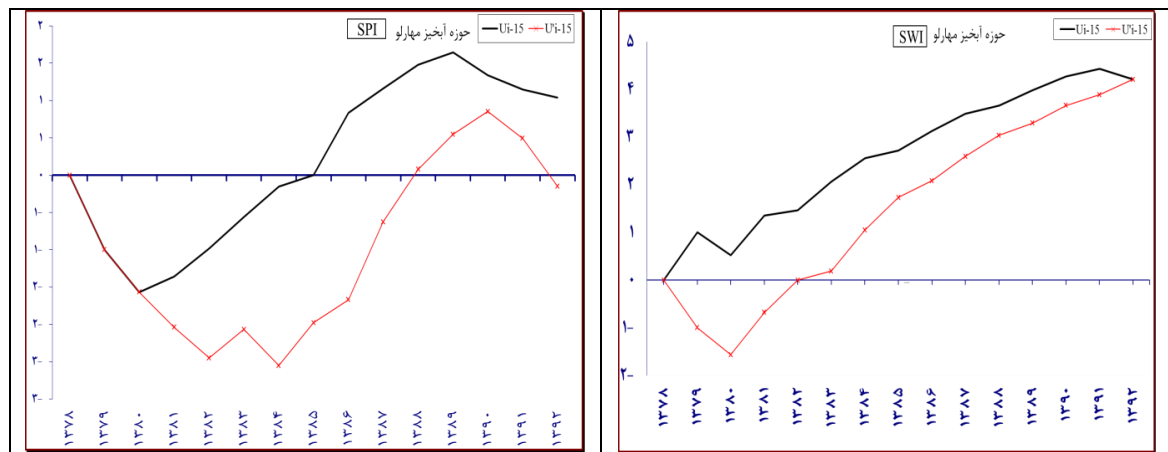
$+1/96 < u < -1/96$ قرار گرفته، بنابراین، سری تصادفی است و هر چند روند خاصی توان برای آن در نظر گرفت، اما از سال ۷۸ تا ۸۰ افزایش خشکسالی هواشناسی دیده شد و در سال ۱۳۸۰ یک خشکسالی هواشناسی شدید با مقدار خشکسالی $-1/5$ رخ داده، از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۸۹ افزایش ترسالی مشاهده شد. به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۹ بیشترین میزان



شکل ۴- بررسی تغییرات مکانی خشکسالی هیدرولوژیکی شاخص SWI منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف با استفاده از روش کریجینگ معمولی



شکل ۵- بررسی تغییرات مکانی خشکسالی هیدرولوژیکی شاخص SWI منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف با استفاده از روش عکس مجذور فاصله



شکل ۶- بررسی روند زمانی خشکسالی هواشناسی (الف) و هیدرولوژیکی (ب) با استفاده از آزمون من-کندال

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش‌های میان‌یابی در مقایسه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه

روش‌های میان‌یابی	شاخص‌های خشکسالی	MAE	MBE	RMSE
معکوس وزنی فاصله	SPI	۰/۲۶۸۸	-۰/۰۰۰۰۵۱	۰/۰۶۳۹
	SWI	۰/۴۸۷۷	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۶۲۹
کریجینگ معمولی	SPI	۰/۲۶۹۱	-۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۶۳۴
	SWI	۰/۵۲۰۷	۰/۰۰۲۱۴	۰/۰۶۷۲

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر طی دو مرحله انجام پذیرفت. در مرحله اول بررسی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به روش‌های میان‌یابی مورد بحث قرار گرفت و در مرحله بعد دقت روش‌های میان‌یابی زمین آماری با هم بررسی شدند که در این زمینه با استفاده از روش اعتبار متقاطع نتایج حاصل از روش‌های IDW و کریجینگ ارزیابی شدند. برای ارزیابی روش‌های مذکور ابتدا میزان خطا با استفاده از معیار MAE برآورد شد و نتایج نشان داد که در روش میان‌یابی عکس مجذور فاصله، کمترین خطا را داشته، روش کریجینگ معمولی، بیشترین خطا را داشته است. سپس، طبق معیار MBE روش میان‌یابی کریجینگ معمولی، کمترین خطا و روش عکس مجذور فاصله، بیشترین خطا را نشان داده است. در نهایت با توجه به معیار RMSE روش میان‌یابی عکس مجذور فاصله، کمترین خطا و روش کریجینگ معمولی، بیشترین خطا را در بر داشته است. سپس برای ارزیابی شاخص‌های SPI و SWI با استفاده از معیار MAE نتایج میزان خطای داده‌های برآورد شده نشان داد که شاخص SPI کمترین خطا را داشته، شاخص SWI بیشترین خطا، سپس معیار MBE، شاخص SPI کمترین خطا و شاخص SWI بیشترین خطا را نشان داده است و در نهایت معیار RMSE شاخص SWI کمترین خطا و شاخص SWI بیشترین خطا را در بر داشته است. به‌طور کلی در هر سه معیار هر چه میزان خطا کمتر باشد، دقت روش‌های میان‌یابی بیشتر است و همچنین، بر اساس کمینه میزان MAE و RMSE، روش عکس مجذور فاصله به‌عنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی و بر اساس کمینه MAE و MBE نقشه شاخص خشکسالی هواشناسی به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در ارزیابی خشکسالی معرفی شد که با نتایج تحقیقاتی Beheshtirad (۲۰۱۵) که به پهنه‌بندی

خشکسالی استان کرمان پرداخته بود و از بین سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و عکس مجذور فاصله بر اساس کمینه RMSE، روش کریجینگ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب کرد (Beheshtirad, ۲۰۱۵)، مغایرت داشت. اما در تحقیقی دیگر Dirks و همکاران (۱۹۹۸) برای برآورد متوسط بارندگی در جزیره نورفولک استرالیا، چهار روش کریجینگ، عکس مجذور فاصله، تیسن و میانگین ایستگاه‌ها را مورد مقایسه قرار دادند و بر اساس کمینه میزان خطا نتیجه گرفتند که روش عکس مجذور فاصله مناسب‌ترین روش بوده است (Dirks و همکاران، ۱۹۹۸). در تحقیق حاضر، برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از شاخص‌های استاندارد شده بارش و سطح آب و تهیه نقشه‌ها به روش‌های عکس مجذور فاصله و کریجینگ انجام شد. بررسی‌های مکانی خشکسالی هواشناسی حاکی از آن است که به‌طور کلی، بیشترین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های شیراز (شمال)، دوبنه (مرکز) و سروستان (جنوب شرقی) و بیشترین شدت ترسالی در ایستگاه‌های قلات شیراز (شمال غرب) و قسمت مرکزی (گشنگان) مشاهده شده است. همچنین، نتایج مکانی خشکسالی هیدرولوژیکی نشان داد که در قسمت‌های جنوب غرب و مرکز بیشترین ترسالی و در نواحی شمال غربی، بیشترین شدت خشکسالی مشاهده شده است. نتایج روند زمانی خشکسالی نشان داد که در سال ۱۳۹۲ بیشترین میزان خشکسالی در دو سال اخیر با مقدار ۱/۰۳ وجود داشته است که با نتایج تحقیق Ghodosi و همکاران (۲۰۱۳) که به مقایسه روش‌های روندزدایی در سری‌های زمانی دما و بارش پرداختند، مطابقت دارد. همچنین، نتایج حاصل با تحقیقات Zhang و همکاران (۲۰۰۰) در کانادا و Domonkos (۲۰۰۳) در کاملاً مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

1. Alijani, B. 2001. Period of climate change (RMTC) in the Meteorological Research Institute. <http://gs.khu.ac.ir/~alijani> (in Persian).
2. Alijani, B., P. Mahmoodi, M. Salighe and A. Rigichahi. 2011. Evaluation of the minimum and maximum annual temperature change in Iran. Geographical Research Quarterly, 102: 101-122 (in Persian).

3. Azareh. A., M.R. Rahdari, E.R. Sardoi and FA. Moghadam. 2014. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj Dam Basin. *European Journal of Experimental Biology*, 4(3): 102-107 (in Persian).
4. Boroghani, M., M. Taei and K.H. Mirnia. 2013. Analysis of hydrological and climatological droughts in Sabzevar Plain using indicators SWI and SPI. *Journal of Research Grassland and Desert of Iran*, 20(4): 744-733 (in Persian).
5. Beheshtirad, M. 2015. Measure method of geostatistical and spatial variations of the standard distribution in Kerman Province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 12: 1-13 (in Persian).
6. Bordi, I. and A. Sutera. 2004. Drought variability and its climatic implications. *Global and Planetary Change*, 40(1-2): 115-127.
7. Bhuiyan, C., R.P. Singh and F.N. Kogan. 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8: 289-302.
8. Domonkos, P. 2003. Recent precipitation trends in Hungary in the context of larger scale climatic changes. *Natural Hazards*, 29: 255-271.
9. Dirks, K.N., I.E. Hay, C.D. Stow and D. Harris. 1998. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of data. *Journal of Hydrology*, 208(3-4): 187-193.
10. Ezzine, H., A. Bouziane and D. Quasar. 2014. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indexes in morocco using open short time series data. *Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information*, 26: 36-48.
11. Edossa, D.C., M.S. Babel and A.D. Guota. 2010. Drought analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management*, 24: 1441-1460.
12. Eskandari, H., G.H. Zahtabian, H. Khosravi and A. Azareh. 2016. Analysis of temporal and spatial between the meteorological and hydrological drought in Tehran. *Journal Geographic Information Studies*, 24(96): 118-114 (in Persian).
13. Farajzadeh, M. 1996. Drought and methods of study. *Journal of Forest and Range*, 29(14): 32-48 (in Persian).
14. Ghodosi, M., S. Morid and M. Delavar. 2013. Comparison of detrending in temporal series of precipitation and temperature. *Meteorological Journal*, 1(2): 45-32 (in Persian).
15. Hadizadeh, M. 2011. Predict and drought frequency analysis of the impact of climate change in South Khorasan. MSc Thesis, Water Resources Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, 184 Pages (in Persian).
16. Hasaanipak, A. 2007. Geostatistics. Tehran University Publications, 2nd edition, 314 pages (in Persian).
17. Hao, C., J. Zhang and F. Yao. 2015. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over south-west China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35: 270-283.
18. Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and O.V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3): 429-437.
19. Hooshmand, A., M. Delghandiz, A. Izadi and K. Ahmad Ali. 2011. Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters (African). *Journal of Agricultural Research*, 6(14): 3402-3408.
20. Kendall, M.G. 1975. Rank correlation methods: Griffin. 4th edition, London, UK.
21. Keyantash, J. and J.A. Dracup. 2003. The Quantification of drought: An evaluation of drought indices. *American Meteorological Society*, 83(8): 1167-1180.
22. Karimi, M., K. Shahedi, K.H. Khosravi and T. Edrisi. 2016. Evaluation of zoning methods within the sphere of drought in the plain Neka-Sari. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7: 23-39 (in Persian).
23. Khanna, M. 2009. Hydrological drought indices. Water Technology Centre Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India, 50 pages.
24. Liu, L., Y. Hong, C.N. Bednarczyk, B. Yong, M.A. Shafer and R. Riley. 2012. Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma. *Water Resources Management*, 26(10): 2761-2779.
25. Mazarei, S., Z. Hosseini and A. Ahmodaresi. 2014. Compare different geostatistical methods in assessing the quality of underground water resources for agricultural use, case study: Behbahan Aquifer. *Journal of Water Management in Arid Lands*, 1(2): 1-11 (in Persian).
26. Malekinejad, H. and M. Soleimani. 2011. Evaluate the severity of meteorological and hydrological droughts in Chgholondy. *Journal of Water Research*, 9: 61-72 (in Persian).

27. Mahdian, M.H. 2006. The use of geostatistics in soil science. Abstracts of Articles, First National Conference on Sustainable Development in Agricultural Sciences and Natural Resources, Tehran University, Tehran (in Persian).
28. Mohammadi, J. 2006. Pedometer, spatial statistics. Volume II, Publishing Eyelids, 453 Pages (in Persian).
29. Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *ECONOMETRICA: Journal of the Econometric Society*, 13(3): 245-259.
30. Mazar, L.W. and M. Nawas. 2014. Precipitation data interpolation for meteorological drought mapping in Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 66(4): 356-361.
31. Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 23(24): 67-77.
32. Nalbantis, I. and G. Tsakiris. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5): 881-897.
33. Nikkami, Davood and Mohammad Hossein Mahdian (2015). Rainfall erosivity mapping in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(4): 364-376 (in Persian).
34. Sabzi Parvae, A., A. Kazemi, S. Maroufi, M. Ghafouri and J. Bazrafshan. 2010. Comparative evaluation of seven meteorological drought indices using cluster analysis. *Science and Technology Environment*, 12: 111-97 (in Persian).
35. Shahian, A., A. Jame, R. Arianfar, M. Haghghat and H. Dehgham. 2009. Captive area threshold drought tension in Fars province using standard precipitation index SPI and GIS. *Water Resources Engineering Journal*, 2: 35-49 (in Persian).
36. Sanjari, S. 2011. Applications guidebook ArcGIS 10. Abed Publishers (in Persian).
37. Shahid, S. and M.K. Hazarika. 2010. Groundwater drought in the north-western districts of Bangladesh. *Water Resources Management*, 24(10): 1989-2006 (in Persian).
38. Sefati, Z. and M.R. Ansari. 2014. GIS-based assessment of geostatistical methods in spatial zoning average annual rainfall in the Bushehr Province. 1st National Conference on the Application of Advanced Models of Spatial Analysis (Remote Sensing and GIS) in Land Use Planning, Islamic Azad University of Yazd, Yazd (in Persian).
39. Shabani, M. 2008. Determination of suitable geostatistic method for changes TDS and pH mapping for groundwaters, case study: Arsanjan Plain. *Journal of Water Engineering*, 1: 46-57 (in Persian).
40. Shafer, B.A. and L.E. Dezman. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. In *Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference*, Fort Collins, CO, Colorado State University, 164-175.
41. Saghafiam, B., H. Razmkhah and B. Ghermez. 2011. Assessment of changes in annual rainfall by using geostatistical methods, case study: Fars Province. *Journal of Engineering Water Resources*, 4: 29-38 (in Persian).
42. Taghizade, R., M. Zareian, S.H. Mahmood, A. Heidari and F. Sarmadi. 2008. Spatial interpolation methods to determine the spatial variability of water quality of groundwater in Rafsanjan. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 5: 70-63 (in Persian).
43. Vittal, K.P.R., A.A. Kar and S. Rao. 2007. Indicators of drought monitoring. A Review, 32 pages.
44. Zhang. X., L.A. Vincent, W.D. Hogg and A. Niitsoo. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmospheric Ocean*, 38: 395-429.

Investigation of the relationship between hydrological and meteorological droughts at Maharloo Watershed, Fars Province

Mahdis Amiri¹ and Hamidreza Pourghasemi^{*2}

¹ Msc Student, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran and ² Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran

Received: 21 July 2017

Accepted: 17 December 2017

Abstract

The current study aims to investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in the Maharloo Watershed, Fars Province. In order to assess the hydrological drought, Standardized Water-Level Index (SWI) was used, calculated from piezometric groundwater level data from 60 observation wells within 15 years (2000-2014). The Standardized Precipitation Index (SPI), calculated from the 15 years of rainfall data from 18 stations was used to assess meteorological drought in the study area. Two geostatistical techniques were employed to create drought zonation maps namely Inverse Distance Weighting (IDW) and simple kriging. Correspondingly, three criteria were chosen to evaluate the results including Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE), and Root-Mean-Square error (RMSE). Furthermore, the Mann-Kendall test was used to assess the temporal trends of hydrological and meteorological droughts. As a result, trends in hydrological drought were increasing in a significant manner, while meteorological drought trend was decreasing at first and increasing afterwards so that it did not follow any particular trend. With regard to the results of hydrological drought assessment, the driest period has been occurred in 2000 with the SWI value of about 2.25, while 2003 had the highest SWI value equals -2.66 as the most significant wet period. Moreover, the most intense drought and wet periods have been occurred respectively in northwestern and southwestern to central parts of the study area. The results of meteorological drought assessment indicated that the Komehr station has had the most intense wet period in 2000, however; it turned to have the most intense drought periods later on. As regards the evaluation of interpolation techniques, the IDW method with the lowest MAE value of 0.2688 and the lowest RMSE value of 0.0629 was chosen as the best interpolation method compared to simple kriging. Also, the drought map obtained from the SPI method with the lowest values of MAE (0.2688) and MBE (-0.000051) found to be the most desirable method to assess the drought behavior in the study area.

Keywords: Hydrological drought, Maharloo Watershed, Meteorological drought, Standardized water-level index, Standardized precipitation index

* Corresponding Author: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir