مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره دهم، زمستان ۱۳۹۵
تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۹/۳۰
صفحات: ۴۲-۲۵

آشکارسازی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی جنوب شرق دریاچه ارومیه

بهروز ساری صراف[۱]، عبدالرضا واعظی هیر[۲]، اکرم والائی*[۳]، وحیده ابطحی[۴]

چکیده

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که در مقایسه با سایر پدیده‌ها، هم از نظر شدت و فراوانی وقوع و هم از نظر وسعت فضایی و میزان خساراتی که به بار می‌آورد، از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این پژوهش دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک، با استفاده از شاخص SPI و SDI در حوضه‌های صوفی‌چای و مردق‌چای، در جنوب شرق دریاچه ارومیه، بررسی شد و تاخیر زمانی بین وقوع دو خشکسالی مشخص شد. بدین منظور از داده‌های ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۷ ایستگاه هیدرومتری استفاده گردید. گستره و پهنه خشکسالی‌ها در محیط ArcGIS بر اساس کمترین خطای میانگین مربعات، به روش کریجینگ و IDW ترسیم و روند خشکسالی‌ها با آزمون‌های من‌کندال کلاسیک و اصلاح شده بررسی شد. نتایج نشان داد که وقوع دو دوره خشکسالی هواشناسی طولانی مدت و شدید، منجر به وقوع همزمان خشکسالی هیدرولوژیک در این حوضه‌ها شده است. بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در سطح ۹۹ درصد ارتباط معنی‌دار وجود دارد که این ارتباط به صورت همزمان و سپس با یک ماه تاخیر قوی‌تر است. بر اساس نقشه های پهنه بندی خشکسالی، شمال غرب منطقه مورد مطالعه پتانسیل بیشتری از نظر فراوانی و شدت وقوع خشکسالی هواشناسی دارد که در مدیریت منابع آب حائز اهمیت است

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، شاخص SDI، حوضه صوفی‌چای، حوضه مردق‌چای

۱- استاد آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز sarisarraf@tabrizu.ac.ir
۲- دانشیار زمین شناسی، دانشگاه تبریز r.vaezi@tabrizu.ac.ir
۳- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز valaei3@yahoo.com
۴- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز vahideh.abtahi@gmail.com

مقدمه

تغییرات آب و هوایی یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است. این تغییرات تأثیرات مهمی بر رژیم‌های هیدرولوژیکی محلی و منطقه‌ای خواهد داشت (دیبیک و کوالیبلی، ۲۰۰۵). از پیامدهای تغییر آب و هوا در مناطق خشک و نیمه خشک که بر کشور ما نیز تأثیر بسزایی داشته، وقوع خشکسالی‌های شدید و پیاپی است که سبب کاهش منابع آب موجود برای مصارف مختلف شده است. خشکسالی را از دیدگاه‌های مختلف به انواع مختلف خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی و اجتماعی می‌توان دسته‌بندی کرد (صمدی بروجنی و ابراهیمی، ۱۳۸۹). دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه دائمی کشور و دومین دریاچه آب شور در جهان می‌باشد ولی اکنون با مسائل و تهدیدات بسیاری روبروست. در طی چند سال اخیر آب این دریاچه به شدت کاهش یافته است. با توجه به اینکه این دریاچه تخلیه‌گاه و مقصد نهایی مجموعه‌ای از رودخانه‌های شمال غرب کشور می‌باشد، کاهش دبی ورودی به دریاچه سهم عمده‌ای را در کاهش سطح آب دریاچه داشته است. هدف از این تحقیق مطالعه و بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی و وجود یا عدم وجود روند رژیم های بارش و دبی و همچنین تعیین تاخیر زمانی احتمالی وقوع این دو نوع خشکسالی برای مدیریت منابع آب در حوضه صوفی‌چای و مردق‌چای است که از مهمترین زیرحوضه‌های جنوب شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد.

سلینجر[1] و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی افت کنونی سطح آب دریاچه میشیگان و هیورون پرداخته‌اند. آنان معتقدند که افت ناگهانی آب این دریاچه ها با بعضی از عناصر تغییرات آب و هوایی مرتبط است. لاکروز و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تغییرات آب و هوایی بر روی منابع آبی موجود در سرچشمه حوضه رودخانه تاگوس در مرکز اسپانیا را با استفاده از شاخص‌هایSPI[2] و SPEI[3] ارزیابی نمودند. یو و شن[4] (۲۰۱۰)، به بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر روی تغییرات آب چهار دریاچه در چین شمالی پرداخته‌اند. شبیه‌سازی مدل مونت کارلو نشان می‌دهد که سطح دریاچه در محل‌هایی با افزایش بارش، افزایش خواهد یافت. چانگ و جانگ (۲۰۱۱) با بررسی تاثیر تغییرات آب و هوایی بر روی خشکسالی‌های حوضه رودخانه ویلیامت، با استفاده از روش SPI و SRI[5] به این نتیجه رسیدند که فراوانی و شدت خشکسالی‌های کوتاه مدت هواشناسی در دره‌ی ویلیام افزایش یافته است. تباری و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی شمال غرب ایران با استفاده از روش SDI[6] نشان دادند که بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی، در طی ۱۲ سال اخیر مورد مطالعه (۲۰۰۸-۱۹۹۷) رخ داده است.

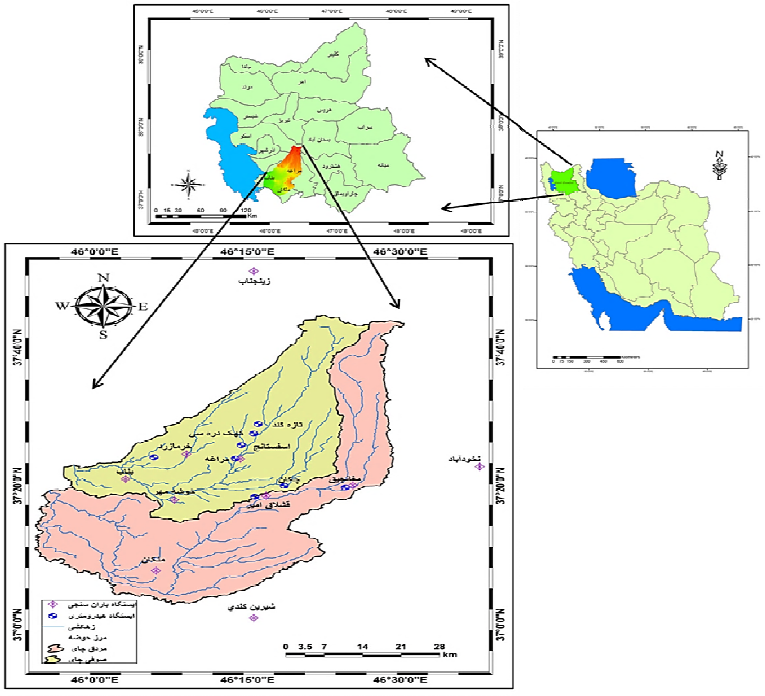
ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) خشکسالی‌های حوضه چغلوندی را با شاخص‌های SPI و SWI بررسی کردند. نتایج نشانگر افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی متفاوت ۱ تا ۲ ساله بین وقوع خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک است که دلیل این مسأله می تواند تغییر رژیم بارش و افزایش برداشت از

[1] - Sellinger
[2] - The Standardized Precipitation Index
[3] - The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
[4] - Yu and Shen
[5] –Standardized Runoff Index
[6] - Stream flow Drought Index

منابع سطحی در بالادست حوضه باشد. مفیدی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) با پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه اترک با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI نشان دادند که همبستگی معنی‌داری بین زمان وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در این حوضه وجود دارد که این همبستگی به صورت همزمان و یا با یک ماه تاخیر، قوی-تر می‌باشد. از دیگر مطالعات مربوط به خشکسالی‌ها می‌توان به مطالعات باعقیده و همکاران (۱۳۹۰)، نگارش و کریمی (۱۳۹۰)، بنی‌مهد و خلیلی (۱۳۹۰)، مفیدی پور و همکاران (۱۳۹۱) و میرموسوی و کریمی (۱۳۹۲) اشاره نمود که از شاخص SPI استفاده نموده‌اند. بنا به مطالعات صورت گرفته، در رابطه با بررسی خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی و تاثیر خشکسالی‌های هواشناسی بر روی خشکسالی هیدرولوژیکی تحقیقات بسیار اندکی به خصوص در مورد دریاچه ارومیه صورت گرفته است. بنابراین تحقیق حاضر تلاشی است تا خلأهای مطالعاتی در این رابطه را مورد بررسی قرار دهد.

داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه شامل حوضه صوفی‌چای با مساحت ۱۰۰۸/۵ کیلومتر مربع، بین ′۰۸-°۳۷ تا ′۴۴ -°۳۸ عرض شمالی و ′ ۰۳-°۴۶ تا ′۳۰-°۴۶ طول شرقی و حوضه مردق‌چای با مساحت ۱۲۰۹/۱ کیلومتر مربع، بین ´۰۵-°۳۷ تا ´۴۴-°۳۷ عرض شمالی و ´۰۵-°۴۶ تا ´۳۰-°۴۶ طول شرقی قرار گرفته است که هر دو حوضه از دامنه‌های جنوبی کوه سهند سرچشمه می‌گیرند و رودخانه‌های شاخص جنوب شرق دریاچه ارومیه در این حوضه‌ها قرار دارند.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش ایستگاههای باران سنجی و هیدرومتری

در این تحقیق از آمار بارندگی ۱۰ ایستگاه باران سنجی طی سال‌های زراعی (۵۱-۱۳۵۰ تا ۸۹-۱۳۸۸) و ۷ ایستگاه هیدرومتری در دو حوضه مذکور از سال زراعی (۵۱-۱۳۵۰ تا ۹۰-۱۳۸۹) استفاده گردید.

در ابتدا جهت بازسازی داده‌ها از روش رگرسیون خطی و جهت بررسی همگنی داده‌ها از آزمون توالی[1] بهره گرفته شده است. جهت تحلیل روند تغییرات عناصر اقلیمی از آزمون من کندال کلاسیک و اصلاح شده[2] و برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک، به ترتیب از شاخص‌های خشکسالی SPI و SDI استفاده شد. در نهایت رابطه بین خشکسالی‌ها با آزمون همبستگی پیرسون در تاخیرهای مختلف، مورد آزمون قرار گرفت. در این تحقیق نمایه‌های خشکسالی توسط نرم افزار DIP و آزمون‌های آماری با نرم‌افزارهای SPSS ، Minitab و Xlstat و پهنه بندی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در محیط ArcGIS انجام یافته است.

آزمون روند

چنانچه سری زمانی داده‌های هیدرولوژی و هواشناسی به طور یکنواخت سیر صعودی یا نزولی داشته باشند؛ نشان‌دهنده وجود روند در داده‌های مذکور است (امیدوار و خسروی، ۱۳۸۹). به طور معمول، پایایی یا عدم پایایی خشکسالی‌ها با آزمون من کندال بررسی می شود. در مطالعه حاضر هر سری زمانی قبل از تحلیل روند، از نظر معنی‌داری ضریب خودهمبستگی مرتبه kام، تست می‌شود به طوری که اگر r_k معنی‌دار شود از روش من کندال اصلاح شده و در غیر اینصورت از روش من کندال مرسوم برای آزمون روند استفاده می‌شود.

آزمون من کندال مرسوم

این روش برای اولین بار توسط «من» در سال ۱۹۴۵ استفاده شد و «کندال» در سال ۱۹۷۵ توزیع آماری ناپارامتری این آزمون را بدست آورد. در این روش هر داده (x_i) به ترتیب زمان وقوع، با تمام داده‌های بعد از خود (x_j) مقایسه می‌شود. مراحل انجام این آزمون به ترتیب زیر است (بردی شیخ و همکاران، ۱۳۹۰):

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(x_i - x_j) \qquad (۱)$$

تابع علامت نیز بر اساس فرمول ۲ قابل محاسبه می‌باشد:

$$sign(x_i - x_j) = \begin{bmatrix} 1 & if & x_i > x_j \\ 0 & if & x_i = x_j \\ -1 & if & x_i < x_j \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

[1] - Run Test

[2]- modified Mann–Kendall

برای متغیرهای تصادفی مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چندین داده با مقادیر عددی مساوی) میانگین و واریانس پارامتر من-کندال (s) به صورت زیر است:

$$\mathrm{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \qquad (۳)$$

که در آن، n: تعداد داده‌های سری مشاهدات است. اگر در سری مشاهدات داده‌های تکراری وجود داشته باشد، مقدار واریانس از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$var(s) = \frac{n(n \quad 1)(2n \mid 5) \quad \sum_{i=1}^{m} t(t \quad 1)(2t \mid 5)}{18} \qquad (۴)$$

به طوری که m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد، s از توزیع نرمال پیروی خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (z_s) به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$z_s = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & \text{if} \quad s > 0 \\ 0 & \text{if} \quad s = 0 \\ \dfrac{s+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} & \text{if} \quad s < 0 \end{cases} \qquad (۵)$$

بنابراین در یک آزمون دو طرفه برای تشخیص روند در سطح اعتمادα، می توان فرض صفر (نبود روند در سری مشاهدات) را رد کرد تنها اگر مقدار z_s بزرگ‌تر یا مساوی z جدول باشد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷).

آزمون من کندال اصلاح شده (MMK)

اثرات همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار در این آزمون از سری زمانی حذف می‌شود. برای این کار، ابتدا واریانس اصلاح شده $V(S)^*$ با رابطه ۶ محاسبه می‌شود (میر عباسی، ۱۳۸۹):

$$V(S)^* = Var(S)\frac{n}{n^*} \qquad (۶)$$

که $\frac{n}{n^*}$ از رابطه ۷ بدست می‌آید:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n \quad 1)(n \quad 2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) r_i \qquad (۷)$$

که در آن r_i، ضرایب خودهمبستگی با تأخیر i و Var(S) از رابطه ۴ تخمین زده می‌شود.

شاخص بارش استاندار شده(SPI)

این شاخص مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی و همچنین ترسالی به ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۶). مقادیر مثبت آن بیانگر بارش بیشتر از مقدار متوسط و مقادیر منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط بارش می‌باشد (ساری،۱۳۹۰). در ابتدا سری‌های زمانی اقلیمی بارندگی با توزیع گاما برازش داده شد و سپس با انتقال هم احتمال توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال، مقادیر SPI حاصل شد. تابع چگالی احتمال گاما به صورت زیر نوشته می شود (Edwards and Mckee, 1997):

$$G(X)=\frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}x^{\alpha-1}e^{-x/\beta} \qquad x>0 \tag{۸}$$

در اینجا α پارامتر شکل؛ β پارامتر مقیاس؛ X مقدار بارش بر حسب میلی‌متر و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. برای برآورد پارامترهای α و β استفاده از بیشینه درست نمایی را پیشنهاد کرده‌اند که به شکل رابطه‌های ۹ و ۱۰ تعریف می-شوند:

$$\hat{\alpha}=\frac{1}{4A}\left[1+\sqrt{1+\frac{4A}{3}}\right] \tag{۹}$$

$$\hat{\beta}=\frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \tag{۱۰}$$

که در آن مقدار A از رابطه ۱۱ بدست می آید که در آن n، تعداد مشاهداتی که در آن بارندگی روی داده و $\bar{x}$، میانگین بارندگی بازه زمانی مورد مطالعه (ماهانه، سه ماهه و...) می باشد.

$$A=\ln(\bar{x})-\frac{\sum\ln(x)}{n} \tag{۱۱}$$

حال با استفاده از پارامترهای برآورد شده در رابطه‌های بالا و با فرض $t=x/\hat{\beta}$، می‌توان احتمال تجمعی بارندگی در مقیاس مورد نظر برای هر ایستگاه را به شکل تابع گامای ناقص با رابطه زیر بدست آورد:

$$G(x)=\frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})}\int_{0}^{x}t^{\hat{\alpha}-1}e^{-t}dt \tag{۱۲}$$

تابع احتمال تجمعی که در برگیرنده مقادیر صفر هم باشد به صورت رابطه ۱۳ تعریف می‌شود:

$$H(x)=q+(1-q)G(X) \tag{۱۳}$$

در این رابطه q، برابر با احتمال مقادیر بارندگی صفر است. در صورتی که M تعداد مقادیر صفر در یک سری زمانی بارش باشد، Q را می توان از طریق رابطه زیر برآورد نمود:

$$q=\frac{m}{n} \tag{۱۴}$$

H(x) با استفاده از رابطه ۱۵ و ۱۶ به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک انتقال داده می‌شود که این مقدار همان شاخص SPI است.

$$Z=SPI=-\left[t-\frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3}\right] \qquad 0<H(x)\leq 0.5 \tag{۱۵}$$

$$Z = SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \qquad 0.5 < H(x) < 1 \qquad (۱۶)$$

در اینجا

$$t = \sqrt{ln\left[\frac{1}{(H(x))^2}\right]} \qquad 0 < H(x) \leq 0.5 \qquad (۱۷)$$

$$t = \sqrt{ln\left[\frac{1}{(1 \quad H(x))^2}\right]} \qquad 0.5 < H(x) < 1.0 \qquad (۱۸)$$

و ضرایب مربوط برابر با

$$c_0 = 2.515517 \qquad c_1 = 0.802853 \qquad c_2 = 0.010328 \qquad (۱۹)$$

$$d_1 = 1.432788 \qquad d_2 = 0.189269 \qquad d_3 = 0.001308 \qquad (۲۰)$$

بدین ترتیب SPI نمره Z و یا مقدار انحرافات استاندارد بالاتر و پایین‌تر از میانگین را نشان می دهد.

شاخص خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI)

شاخص خشکسالی SDI، مشابه نمایه SPI می‌باشد؛ با این تفاوت که در آن به جای متغیر بارش از مقادیر جریان رودخانه استفاده شده است (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). در جدول ۱ مقادیر SPI و SDI و شدت‌های مختلف خشکسالی ارائه شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی مقادیر SPI و SDI

مقدار SPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵)	وضعیت خشکسالی	مقدار SDI (مفیدی‌پور و همکاران،۱۳۹۱)	وضعیت خشکسالی
SPI ≥ +۲	ترسالی بسیار شدید	SDI ≥۰	فاقد خشکسالی
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید	۱- تا ۰	خشکسالی ملایم
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم	۱/۵- تا ۱-	خشکسالی متوسط
۰/۹۹ – تا ۰/۹۹	نزدیک نرمال	۲- تا ۱/۵-	خشکسالی شدید
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی ملایم	SDI <-۲	خشکسالی خیلی شدید
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید		
SPI ≤ -۲	خشکسالی بسیار شدید		

در این مطالعه برای ارزیابی و پایش خشکسالی‌های کوتاه مدت، از SPI و SDI ۳ ماهه و برای پایش دوره‌های بلند مدت از SPI و SDI ۱۲ ماهه استفاده شده است. جهت بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر جریان‌های سطحی ابتدا

به جستجوی نظم زمانی کمبود آب و در واقع تأخیر زمانی در ایستگاه‌های هیدرومتری پرداخته شد. بدین منظور ارتباط مقادیر SPI با SDI در بازه زمانی ۳ و ۱۲ ماهه، به طور همزمان و در تأخیرهای ۱ تا ۶ ماهه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تعیین روند خشکسالی‌ها با آزمونهای من کندال کلاسیک و اصلاح شده

از آزمون من کندال که متداول ترین آزمون ناپارامتری بررسی روند داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی است، در مقیاس ماهانه و سالانه برای متغیرهای بارش و دبی متوسط حوضه‌های مورد مطالعه استفاده شد. مقادیر آماره من کندال برای سری داده‌های دبی متوسط (جدول۲) نشان می‌دهند که در مقیاس ماهانه در سطح ۹۵ درصد، در حوضه صوفی‌چای ۷۲/۲۲٪ و حوضه مردق‌چای ۷۵٪ داده‌ها و در سطح ۹۹ درصد نیز، حوضه صوفی‌چای با ۴۵/۸۳ درصد و حوضه مردق‌چای با ۶۲/۵ درصد روند کاهشی معنی‌دار را نشان می‌دهند. بطور کلی در دو حوضه، تمامی روندهای معنی‌دار به صورت کاهشی می‌باشند که در این بین بیشترین میزان روند نزولی در ماه‌های گرم سال رخ داده است. در مقیاس سالانه نیز در سطح ۹۵ درصد، در هر دو حوضه مورد مطالعه۵۰٪ داده‌ها روند نزولی معنی‌دار را نشان می‌دهند؛ در حالی که در سطح ۹۹ درصد، در حوضه مردق‌چای ، ۵۰٪ داده‌ها روند معنی‌دار کاهشی داشته است و در حوضه صوفی‌چای تمامی داده‌ها فاقد روند ارزیابی می‌شوند. بنابراین در مقیاس ماهانه و سالانه هیچ ایستگاهی روند صعودی معنی‌داری را تجربه نکرده است.

جدول ۲: مقادیر آماره من کندال (z) پس از حذف اثر ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار برای سری داده‌های دبی متوسط

ایستگاه زمان	اسفستانچ	تازه‌کند	چکان	خرمازرد	قشلاق‌امیر	کهلیک‌دره سی	مراغه	مغانجیق
مهر	-۳/۲۹★★	-۲/۱۸★	-۲/۲۹★	-۲/۱۸★	-۱/۷۸	-۳/۶۵★★	-۱/۳۵	-۴/۱۹★★
آبان	-۲/۰۳★	-۲/۷۷★★	-۳/۷۹★★	-۲/۵۸★★	-۳/۷۷★★	-۳/۸۴★★	-۱/۶۷	-۱/۴۱
آذر	-۳/۰۴★★	-۱/۵۳	-۱/۴۳	-۲/۹۲★★	-۲/۸۸★★	-۲/۹۰★★	-۳/۱۱★★	-۰/۸۹
دی	-۲/۵۷★	-۲/۳۴★	۰/۱۱	-۲/۰۱★	-۱/۳۰	-۲/۸۸★★	-۳/۰۸★★	-۴/۶۷★★
بهمن	-۳/۱۲★★	-۱/۵۴	۱/۰۶	-۳/۰۶★★	-۳/۳۴★★	-۲/۹۳★★	-۰/۴۱	-۰/۸۶
اسفند	-۱/۸۶	۱/۵۱	۰/۲۳	-۱/۴۱	-۳/۴۰★★	-۱/۹۸★	-۲/۰۴★	۰/۳۱
فروردین	-۲/۶۴★★	-۱/۹۰	-۱/۰۶	-۲/۴۸★	-۲/۰۷★	-۲/۹۷★★	-۲/۵۷★	-۵/۲۹★★
اردیبهشت	-۲/۲۸★	-۱/۰۲	-۱/۶۲	-۰/۷۶	-۲/۰۹★	-۲/۰۵★	-۲/۱۸★	-۳/۱۸★★
خرداد	-۲/۸۸★★	-۲/۹۶★★	-۲/۳۲★	-۲/۵۰★	-۲/۷۶★★	-۲/۰۶★	-۳/۰۹★★	-۷/۹۵★★
تیر	-۶/۵۶★★	-۲/۷۷★★	-۴/۲۱★★	-۲/۱۶★	-۲/۶۸★★	-۴/۰۹★★	-۴/۰۴★★	-۲/۳۰★
مرداد	-۱۰/۱۱★★	-۳/۱۰★★	-۴/۷۹★★	-۲/۶۶★★	-۷/۰۰★★	-۰/۵۸	-۵/۶۹★★	-۴/۷۹★★
شهریور	-۰/۲۶	-۳/۷۴★★	-۴/۲۵★★	-۳/۶۵★★	-۲/۵۹★★	-۱/۶۰	-۲/۲۱★	-۳/۱۹★★
سال	-۲/۲۲★	-۱/۸۸	-۱/۵۲	-۲/۱۱★	-۱/۶۳	-۲/۵۷★	-۰/۶۱	-۴/۴۳★★

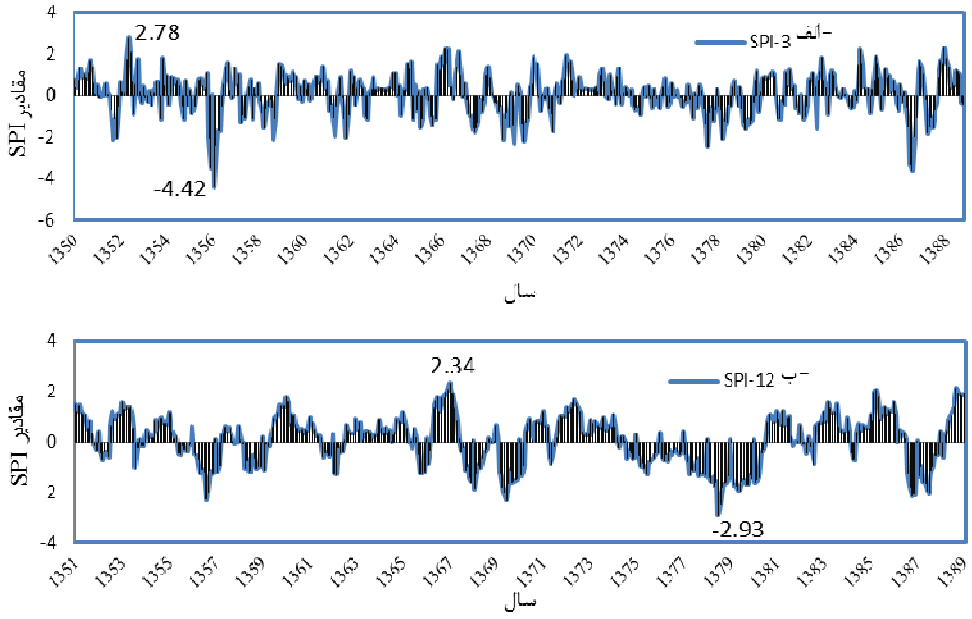
★: معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

★★: معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

نتایج این آزمون برای سری‌های بارش ماهانه نشان می‌دهند که درصد زیادی از داده‌ها فاقد روند معنی‌دار می‌باشند و در سری‌هایی هم که معنی‌دار می‌باشند، روندهای متفاوت صعودی و نزولی در ایستگاه‌ها دیده می‌شود. در سری داده‌های سالانه نیز، هیچ کدام از داده‌ها معنی‌دار نیستند. بنابراین با توجه به ناکافی بودن تعداد سری‌های دارای روند معنی‌دار نسبت به سری‌های فاقد روند، نمی‌توان روند مشخصی را بر بارندگی منطقه نسبت داد و بارش منطقه مورد مطالعه دارای نوسانات کاهشی و افزایشی در طول سری زمانی مورد مطالعه بوده است.

وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی حوضه صوفی‌چای ومردق‌چای

شاخص SPI جهت بررسی خشکسالی‌های کوتاه مدت و بلند مدت، برای حوضه‌های مورد مطالعه در بازه‌های زمانی ۳ و ۱۲ماهه محاسبه شد. به عنوان نمونه در ایستگاه مراغه (شکل۲) بر طبق مقادیر SPI در بازه زمانی سه ماهه خشکسالی‌های روی داده ۱۹۷ مورد می‌باشد و شدیدترین خشکسالی کوتاه‌مدت در این ایستگاه با مقدار ۴/۴۲- در دی ماه ۱۳۵۶ مشاهده شده و تا ۴ ماه تداوم داشته است. طولانی‌ترین تداوم خشکسالی نیز، مربوط به دی ۱۳۶۷ می‌باشد که ۱۰ ماه ادامه داشته است.



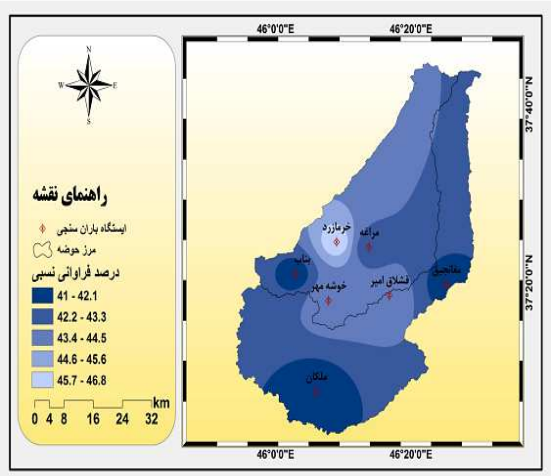
شکل ۲: نمودار وضعیت ترسالی‌ها و خشکسالی‌های هواشناسی ایستگاه مراغه در بازه‌های زمانی الف)۳ ماهه و ب) ۱۲ ماهه

فراوانی خشکسالی‌های هواشناسی با استفاده از شاخص SPI در مقیاس ۳ و ۱۲ در جدول ۳ و گستره فراوانی نسبی خشکسالی‌ها به صورت درصد نیز در اشکال ۳ و ۴ ارائه گردیده است. در هر دو مقیاس زمانی بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی در شمال غرب و سپس مرکز منطقه مورد مطالعه می‌باشد. جنوب منطقه نیز دارای کمترین فراوانی وقوع

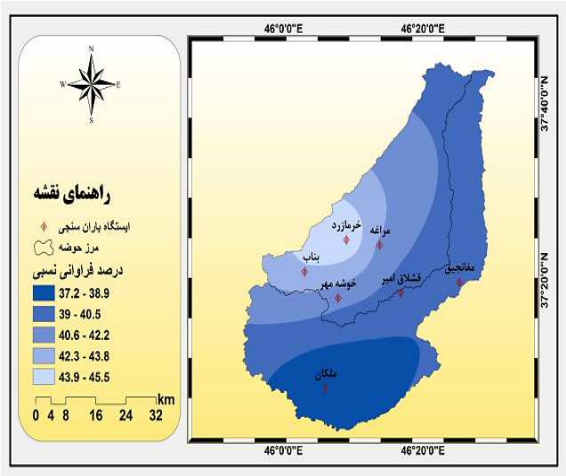
خشکسالی می‌باشد. بر این اساس شمال غرب منطقه، بویژه ایستگاه خرمازرد و بناب که پست‌ترین ناحیه منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شوند، از نظر وقوع خشکسالی فراوانی بیشتری را نشان می‌دهند.

جدول۳: فراوانی خشکسالی‌های هواشناسی روی داده در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه

ایستگاه	فراوانی مطلق		درصد فراوانی نسبی	
	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه
بناب	۱۹۳	۱۹۹	۴۱/۴۲	۴۳/۵۴
خرمازرد	۲۱۸	۲۰۸	۴۶/۷۸	۴۵/۵۱
خوشه مهر	۲۰۷	۱۸۸	۴۴/۴۲	۴۱/۱۴
زینجناب	۲۰۵	۲۰۸	۴۳/۹۹	۴۵/۵۱
شیرین‌کندی	۲۲۳	۲۳۹	۴۷/۸۵	۵۲/۳۰
قشلاق‌امیر	۲۰۶	۱۸۱	۴۴/۲۱	۳۹/۶۱
مراغه	۱۹۷	۱۹۱	۴۲/۲۷	۴۱/۷۹
مغانجیق	۱۹۳	۱۷۹	۴۱/۴۲	۳۹/۱۷
ملکان	۱۹۱	۱۷۰	۴۰/۹۹	۳۷/۲۰
نخودآباد	۲۱۱	۱۸۸	۴۵/۲۸	۴۱/۱۴



شکل ۳: گستره درصد فراوانی نسبی خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی ۳ ماهه



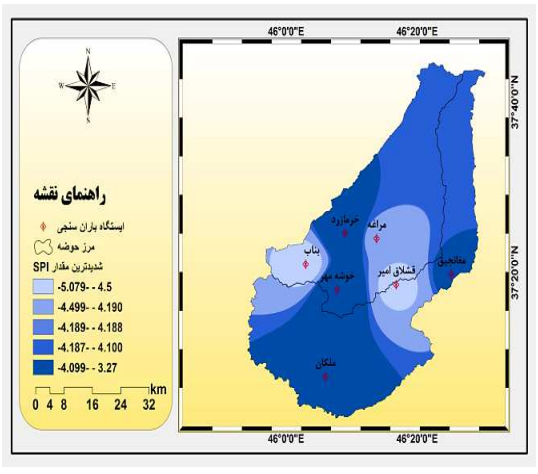
شکل ۴: گستره درصد فراوانی نسبی خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

شدیدترین خشکسالی‌های هواشناسی روی داده در منطقه بر اساس شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه، در جدول ۴ و گستره شدیدترین مقدار مشاهده شده نیز در اشکال ۵ و ۶ ارائه گردیده است. شدیدترین خشکسالی هواشناسی در مقیاس ۳ ماهه در ایستگاه بناب و در سال ۱۳۶۴ اتفاق افتاده است؛ اما در بررسی کلی شدیدترین

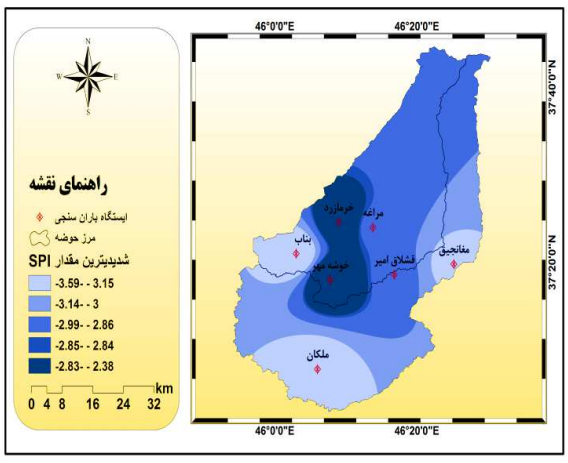
خشکسالی‌های روی داده در منطقه در سال ۱۳۸۷ می‌باشد که از دی ماه سال قبل از آن آغاز شده و ۷ ماه ادامه داشته است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نیز، ایستگاه بناب در سال ۱۳۶۴ دارای کمترین مقدار SPI بوده است. در این مقیاس نیز، شدیدترین خشکسالی در منطقه بطورکلی در سال ۱۳۸۷ روی داده که از آبان سال ۱۳۸۶ آغاز شده و حدود ۹ ماه تداوم داشته است. در مقیاس زمانی ۳ ماهه، شمال غرب و جنوب منطقه شدیدترین خشکسالی‌ها را تجربه کرده‌اند؛ درحالی‌که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، شمال غرب و شمال منطقه دارای شدیدترین مقدار می‌باشد اما در هر دو مقیاس زمانی، شمال غرب منطقه به صورت مشترک شدیدترین خشکسالی‌ها را نشان می‌دهند.

جدول۴: شدیدترین مقدار مشاهده شده SPI در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه

ایستگاه	مقادیر SPI		شدیدترین زمان		زمان شروع		تداوم(ماه)	
	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه
بناب	-۵/۰۸	-۳/۵۹	فروردین ۱۳۶۴	تیر ۱۳۶۴	دی ۱۳۶۳	آذر ۱۳۶۳	۷	۸
خرمازرد	-۳/۴۳	-۲/۵۷	خرداد ۱۳۸۷	خرداد ۱۳۸۷	دی ۱۳۸۶	آبان ۱۳۸۶	۷	۹
خوشه مهر	-۳/۲۷	-۲/۳۸	خرداد ۱۳۸۷	مهر ۱۳۶۸	دی ۱۳۸۶	مهر ۱۳۶۸	۸	۱۰
زینجناب	-۳/۰۵	-۲/۳۸	مهر ۱۳۸۳	آبان ۱۳۶۹	مهر ۱۳۸۳	مهر ۱۳۶۹	۱	۱۰
شیرین‌کندی	-۳/۶	-۳	تیر ۱۳۷۸	دی ۱۳۷۸	دی ۱۳۷۷	مهر ۱۳۷۸	۱۰	۱۰
قشلاق‌امیر	-۴/۸۷	-۲/۹۲	دی ۱۳۵۱	اردیبهشت ۱۳۸۷	دی ۱۳۵۱	آبان ۱۳۸۶	۱۰	۹
مراغه	-۴/۴۲	-۲/۹۳	دی ۱۳۵۶	اسفند ۱۳۷۸	دی ۱۳۵۶	مهر ۱۳۷۸	۴	۱۰
مغانجیق	-۳/۹۳	-۳/۳	تیر ۱۳۷۸	خرداد ۱۳۸۷	فروردین ۱۳۷۸	آبان ۱۳۸۶	۷	۹
ملکان	-۳/۸۵	-۳/۴۴	اسفند ۱۳۷۹	اسفند ۱۳۷۹	دی ۱۳۷۹	مهر ۱۳۷۹	۱۰	۱۰
نخودآباد	-۳/۴۲	-۲/۶۸	خرداد ۱۳۸۷	فروردین ۱۳۷۹	دی ۱۳۸۶	مهر ۱۳۷۸	۷	۱۰



شکل ۵: گستره شدیدترین خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی ۳ ماهه

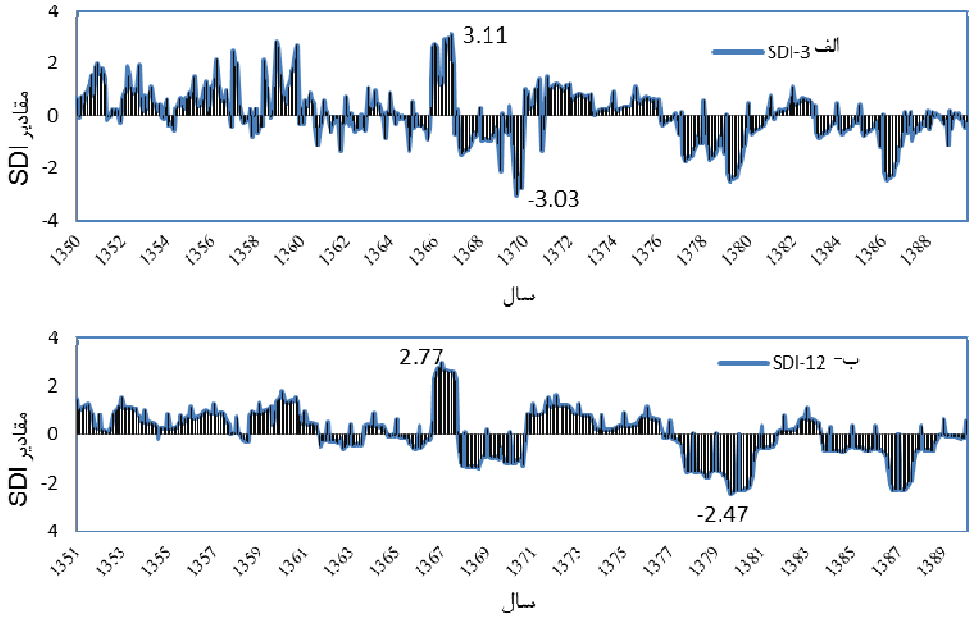


شکل ۶: گستره شدیدترین خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

مقادیر بدست آمده از شاخص SPI نشان می‌دهد که بطور مشترک دوره طولانی مدت خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد بحث در سال‌های ۷۹-۱۳۷۶ و ۸۹-۱۳۸۶ بوده است که شدیدترین خشکسالی‌های روی داده در منطقه نیز در همین دو بازه زمانی قرار گرفته است.

وضعیت خشکسالی‌های هیدرولوژیکی آب‌های سطحی

مقادیر بدست آمده از شاخص SDI به عنوان نمونه در ایستگاه مراغه (شکل ۷) نشان می‌دهد که از مجموع ۴۷۸ ماه مورد مطالعه در بازه زمانی ۳ ماهه، ۲۱۸ ماه با خشکسالی هیدرولوژیکی مواجه بوده است که در مردادماه ۱۳۷۰ آب سطحی به شدت کاهش یافته است و مقدار SDI آن به ۳/۰۳- رسیده و تا ۶ ماه به طول انجامیده است. در مقیاس ۱۲ ماهه نیز، از مجموع ۴۶۹ ماه، تعداد خشکسالی‌های آب سطحی ۲۱۸ ماه می‌باشد. شدیدترین خشکسالی مشاهده شده، در اردیبهشت ۱۳۸۰ با مقدار ۲/۴۷-، از مهرماه ۱۳۷۰ شروع شده و ۱۲ ماه تداوم یافته است. طولانی‌ترین خشکسالی هیدرولوژیکی در این ایستگاه در هر دو بازه زمانی، در سال‌های ۸۲-۷۷ روی داده است.



شکل ۷: نمودار وضعیت ترسالی‌ها و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی ایستگاه مراغه در بازه‌های زمانی الف)۳ ماهه و ب) ۱۲ ماهه

خصوصیات خشکسالی‌های هیدرولوژیکی برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه، مورد بررسی قرار گرفته و در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

از نظر فراوانی وقوع، ایستگاه کهلیک دره‌سی بیشترین مقدار و از نظر شدیدترین خشکسالی روی داده نیز ایستگاه چکان، کمترین مقدار SDI را در هر دو مقیاس زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهند. در رابطه با طولانی‌ترین تداوم

خشکسالی هیدرولوژیکی نیز، دو دوره خشکسالی در طی سال‌های ۸۰-۱۳۷۷ و ۹۰-۱۳۸۶ روی داده است که شدیدترین خشکسالی‌های هیدرولوژیکی نیز در همین دو بازه زمانی بوده است.

جدول۵: فراوانی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه

ایستگاه	فراوانی مطلق		درصد فراوانی نسبی	
	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه
اسفستانج	۲۳۳	۲۱۹	۴۸/۷۴	۴۶/۷۰
تازه کند	۲۱۶	۲۲۰	۴۵/۱۹	۴۶/۹۱
چکان	۲۲۵	۲۱۵	۴۷/۰۷	۴۵/۸۵
خرمازرد	۲۱۲	۲۰۸	۴۴/۳۵	۴۴/۳۵
قشلاق امیر	۱۹۳	۱۸۱	۴۰/۳۸	۳۸/۵۹
کهلیک دره سی	۲۶۴	۲۳۸	۵۵/۲۳	۵۰/۷۵
مراغه	۲۱۸	۲۰۵	۴۵/۶۱	۴۳/۷۱
مغانجیق	۲۴۴	۲۱۹	۵۱/۰۵	۴۶/۷۰

جدول۶: شدیدترین مقدار مشاهده شده SDI در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه

ایستگاه	مقادیر SDI		شدیدترین زمان		زمان شروع		تداوم(ماه)	
	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه	۳ ماهه	۱۲ ماهه
اسفستانج	-۲/۵۸	-۱/۹۲	اسفند ۱۳۸۹	اسفند ۱۳۸۹	دی ۱۳۸۹	مهر ۱۳۸۹	۸	۱۲
تازه کند	-۲/۴۱	-۲/۵	اسفند ۱۳۷۱	فروردین ۱۳۸۸	بهمن ۱۳۷۱	مهر ۱۳۸۷	۲	۱۲
ادامه جدول ۶								
چکان	-۳/۶۹	-۲/۶۳	دی ۱۳۸۹	بهمن ۱۳۸۷	دی ۱۳۸۹	مهر ۱۳۸۷	۳	۱۰
خرمازرد	-۲/۷۵	-۲/۸	اردیبهشت ۱۳۸۰	اردیبهشت ۱۳۸۰	دی ۱۳۷۹	مهر ۱۳۷۹	۱۰	۱۲
قشلاق امیر	-۲/۸۷	-۲/۵۴	دی ۱۳۸۹	فروردین ۱۳۸۸	دی ۱۳۸۹	مهر ۱۳۸۸	۳	۱۲
کهلیک‌دره‌سی	-۲/۴۶	-۱/۳۷	اسفند ۱۳۶۹	دی ۱۳۸۰	دی ۱۳۶۹	مهر ۱۳۸۰	۱۰	۱۲
مراغه	-۳/۰۳	-۲/۴۷	مرداد ۱۳۷۰	اردیبهشت ۱۳۸۰	اردیبهشت ۱۳۷۰	مهر ۱۳۷۹	۶	۱۲
مغانجیق	-۲/۸۶	-۲/۴۳	اسفند ۱۳۶۹	بهمن ۱۳۸۷	دی ۱۳۶۹	مهر ۱۳۸۷	۸	۱۲

اثرات خشکسالی هواشناسی بر روی خشکسالی هیدرولوژیکی

به منظور بررسی تأثیر خشکسالی‌های هواشناسی بر روی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی، ماتریس همبستگی بین SPI وSDI بصورت همزمان و تا ۶ ماه تاخیر محاسبه شده است که در جداول ۱۰-۷ به صورت همزمان و تاخیر یک ماهه بعنوان نمونه ارائه شده است.

جدول۷: ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در بازه زمانی ۳ ماهه به صورت همزمان

ایستگاه	چکان	اسفستانج	قشلاق‌امیر	کهلیک دره‌سی	خرمازرد	مراغه	مغانجیق	تازه کند
بناب	۰/۳۳**	۰/۳۰**	۰/۳۱**	۰/۱۷**	۰/۲۱**	۰/۳۳**	۰/۲۷**	۰/۱۸**
خرمازرد	۰/۲۹**	۰/۳۵**	۰/۴۱**	۰/۲۲**	۰/۳۳**	۰/۴۱**	۰/۳۳**	۰/۳۱**
خوشه مهر	۰/۳۳**	۰/۳۴**	۰/۳۴**	۰/۲۳**	۰/۲۶**	۰/۳۹**	۰/۳۷**	۰/۱۸**
زینجناب	۰/۲۴**	۰/۲۷**	۰/۲۰**	۰/۱۶**	۰/۱۵**	۰/۲۳**	۰/۲۳**	۰/۱۸**
شیرین‌کندی	۰/۲۹**	۰/۳۲**	۰/۳۲**	۰/۲۱**	۰/۲۹**	۰/۳۹**	۰/۲۸**	۰/۱۹**
قشلاق‌امیر	۰/۳۰**	۰/۳۰**	۰/۳۷**	۰/۲۶**	۰/۲۴**	۰/۳۳**	۰/۳۳**	۰/۲۰**
مراغه	۰/۳۵**	۰/۳۳**	۰/۳۲**	۰/۲۱**	۰/۲۱**	۰/۳۹**	۰/۲۷**	۰/۲۱**
مغانجیق	۰/۴۲**	۰/۳۸**	۰/۳۸**	۰/۲۲**	۰/۳۰**	۰/۴۰**	۰/۳۰**	۰/۲۰**
ملکان	۰/۲۶**	۰/۳۷**	۰/۴۸**	۰/۳۳**	۰/۴۰**	۰/۵۳**	۰/۴۰**	۰/۲۷**
نخودآباد	۰/۴۰**	۰/۳۷**	۰/۳۹**	۰/۲۶**	۰/۲۶**	۰/۴۲**	۰/۳۴**	۰/۲۵**

**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

جدول۸: ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در بازه زمانی ۳ ماهه با تأخیر یک ماهه

ایستگاه	چکان	اسفستانج	قشلاق‌امیر	کهلیک‌دره‌سی	خرمازرد	مراغه	مغانجیق	تازه کند
بناب	۰/۲۵**	۰/۲۲**	۰/۲۵**	۰/۱۰*	۰/۱۴**	۰/۲۵**	۰/۲۱**	۰/۱۱*
خرمازرد	۰/۱۸**	۰/۲۹**	۰/۳۶**	۰/۲۰**	۰/۲۷**	۰/۳۵**	۰/۲۶**	۰/۲۵**
خوشه مهر	۰/۲۲**	۰/۲۴**	۰/۲۶**	۰/۱۵**	۰/۲۰**	۰/۳۳**	۰/۳۰**	۰/۱۴**
زینجناب	۰/۱۷**	۰/۱۸**	۰/۱۴**	۰/۶*	۰/۱۰*	۰/۱۶**	۰/۱۲**	۰/۱۳**
شیرین‌کندی	۰/۲۲**	۰/۲۲**	۰/۲۷**	۰/۱۴**	۰/۲۲**	۰/۲۹**	۰/۲۵**	۰/۱۴**
قشلاق امیر	۰/۲۱**	۰/۱۹**	۰/۳۰**	۰/۲۰**	۰/۱۸**	۰/۲۸**	۰/۲۶**	۰/۱۵**
مراغه	۰/۲۸**	۰/۲۵**	۰/۲۷**	۰/۱۸**	۰/۱۷**	۰/۳۰**	۰/۲۲**	۰/۱۷**
مغانجیق	۰/۳۳**	۰/۲۸**	۰/۳۱**	۰/۱۴**	۰/۲۲**	۰/۳۱**	۰/۲۴**	۰/۱۳**
ملکان	۰/۱۶**	۰/۲۹**	۰/۴۲**	۰/۲۶**	۰/۳۱**	۰/۴۳**	۰/۳۳**	۰/۲۳**
نخودآباد	۰/۳۱**	۰/۳۰**	۰/۳۳**	۰/۲۳**	۰/۲۳**	۰/۳۳**	۰/۳۱**	۰/۱۹**

**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

* :معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

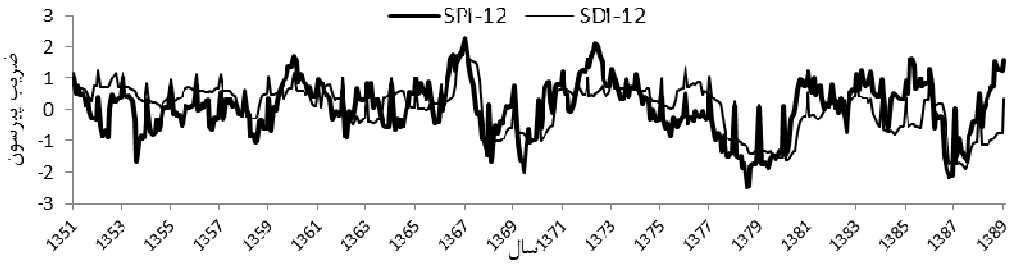
جدول ۹: ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در بازه زمانی ۱۲ ماهه به صورت همزمان

ایستگاه	چکان	اسفستانج	قشلاق‌امیر	کهلیک‌دره‌سی	خرمازرد	مراغه	مغانجیق	تازه کند
بناب	۰/۳۸**	۰/۲۶**	۰/۴۵**	۰/۲۶**	۰/۴۳**	۰/۵۰**	۰/۳۷**	۰/۲۵**
خرمازرد	۰/۲۲**	۰/۳۰**	۰/۵۵**	۰/۲۴**	۰/۴۷**	۰/۵۳**	۰/۴۵**	۰/۴۷**
خوشه مهر	۰/۳۹**	۰/۲۸**	۰/۴۹**	۰/۲۷**	۰/۴۸**	۰/۵۳**	۰/۵۹**	۰/۳۱**
زینجناب	۰/۳۷**	۰/۲۸**	۰/۲۷**	۰/۱۲**	۰/۳۳**	۰/۳۵**	۰/۳۰**	۰/۱۹**
شیرین‌کندی	۰/۳۲**	۰/۳۱**	۰/۵۴**	۰/۲۶**	۰/۵۹**	۰/۵۵**	۰/۴۲**	۰/۳۹**
قشلاق امیر	۰/۴۸**	۰/۳۰**	۰/۵۹**	۰/۲۸**	۰/۴۸**	۰/۶۲**	۰/۵۵**	۰/۴۴**
مراغه	۰/۴۲**	۰/۲۵**	۰/۴۸**	۰/۲۶**	۰/۵۱**	۰/۵۴**	۰/۴۴**	۰/۳۳**
مغانجیق	۰/۵۵**	۰/۳۳**	۰/۵۷**	۰/۳۴**	۰/۵۰**	۰/۵۶**	۰/۴۵**	۰/۲۲**
ملکان	۰/۳۱**	۰/۳۶**	۰/۶۵**	۰/۴۴**	۰/۶۳**	۰/۶۸**	۰/۵۳**	۰/۵۰**
نخودآباد	۰/۵۱**	۰/۳۵**	۰/۵۷**	۰/۳۳**	۰/۵۰**	**۰/۵۶	۰/۵۸**	۰/۳۶**
**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد								

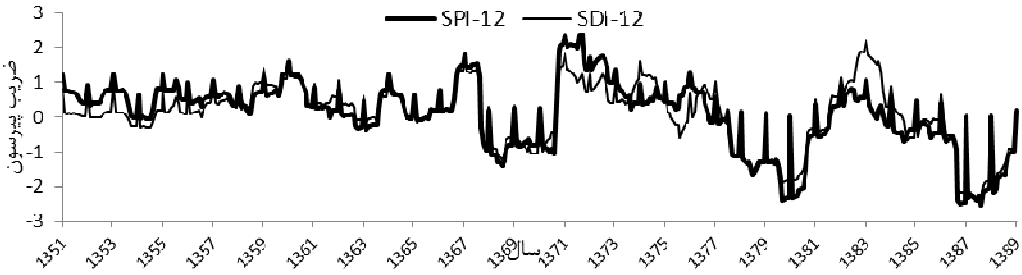
جدول۱۰: ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI در بازه زمانی ۱۲ ماهه با تأخیر یک ماهه

ایستگاه	چکان	اسفستانج	قشلاق امیر	کهلیک‌دره‌سی	خرمازرد	مراغه	مغانجیق	تازه کند
بناب	۰/۳۱**	۰/۲۲**	۰/۴۰**	۰/۲۲**	۰/۴۰**	۰/۴۶**	۰/۳۲**	۰/۲۰**
خرمازرد	۰/۱۵**	۰/۲۶**	۰/۵۰**	۰/۲۱**	۰/۴۵**	۰/۴۸**	۰/۳۹**	۰/۴۳**
خوشه مهر	۰/۳۲**	۰/۲۳**	۰/۴۳**	۰/۲۳**	۰/۴۵**	۰/۴۷**	۰/۵۳**	۰/۲۸**
زینجناب	۰/۲۳**	۰/۲۱**	۰/۲۰**	۰/۰۸	۰/۲۷**	۰/۲۸**	۰/۲۳**	۰/۱۴**
شیرین‌کندی	۰/۲۶**	۰/۲۶**	۰/۴۹**	۰/۲۳**	۰/۵۳**	۰/۵۰**	۰/۳۷**	۰/۳۳**
قشلاق امیر	۰/۴۲**	۰/۲۴**	۰/۵۴**	۰/۲۳**	۰/۴۴**	۰/۵۶**	۰/۴۹**	۰/۳۹**
مراغه	۰/۳۵**	۰/۲۱**	۰/۴۳**	۰/۲۲**	۰/۴۸**	۰/۵۰**	۰/۳۹**	۰/۲۹**
مغانجیق	۰/۴۸**	۰/۳۰**	۰/۵۳**	۰/۳۰**	۰/۴۸**	۰/۵۲**	۰/۴۰**	۰/۱۸**
ملکان	۰/۲۴**	۰/۳۱**	۰/۵۹**	۰/۳۹**	۰/۵۸**	۰/۶۲**	۰/۴۸**	۰/۴۵**
نخودآباد	۰/۴۴**	۰/۳۰**	۰/۵۲**	۰/۲۹**	۰/۴۸**	۰/۵۲**	۰/۵۲**	۰/۳۱**
**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد								

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمون پیرسون، رابطه زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است که این همبستگی به صورت همزمان و سپس در تأخیرهای یک ماهه قوی‌تر از دیگر تأخیرهای زمانی دیده می‌شود. در واقع با وقوع خشکسالی هواشناسی در منطقه، در همان ماه نیز خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق افتاده است که در اشکال ۸ و ۹ این قضیه کاملاً مشهود می‌باشد.



شکل ۸: نمودار SPI و SDI ۱۲ماهه برای حوضه صوفی‌چای



شکل ۹: نمودار SPI و SDI ۱۲ماهه برای حوضه مردق‌چای

نتیجه گیری

به طور کلی بر اساس آزمونهای روندیابی، دبی رودخانه‌های حوضه صوفی‌چای و مردق‌چای روند نزولی را در طول دوره آماری مورد مطالعه داشته‌اند و همواره یک شیب کاهشی در دبی متوسط رودخانه‌ها وجود داشته که ممکن است بر اثر کاهش رژیم بارش و افزایش برداشت آبهای سطحی منطقه باشد؛ در حالی که بارش منطقه دارای نوسانات کاهشی و افزایشی در طول دوره آماری مورد مطالعه بوده است که با نتایج ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) مطابقت دارد. همچنین نتایج حاصل از نمایه‌های خشکسالی نشان داد که هر دو حوضه، خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی را تجربه کرده‌اند. در این میان شمال غرب منطقه مورد مطالعه از نظر فراوانی و شدت وقوع خشکسالی، پتانسیل بیشتری را نشان داد که آگاهی از این امر می‌تواند به مدیران و برنامه ریزان برای مدیریت منابع آب کمک زیادی بکند. همچنین در طی سال‌های ۷۹-۱۳۷۶ و ۸۹-۱۳۸۶ به طور مشترک خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک اتفاق افتاده که طولانی‌ترین خشکسالی‌ها نیز در این دو بازه زمانی بوده است. همچنین نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه در سطح ۹۹ درصد وجود داشته است و رفتار دبی رودخانه، تابعی از میزان بارش در منطقه بوده است. در واقع با وقوع خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی نیز اتفاق افتاده است که این ارتباط به صورت همزمان و با یک ماه تاخیر، قوی تر بوده است که با نتایج مفیدی پور و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

منابع

امیدوار، کمال و خسروی، یونس (۱۳۸۹). بررسی تغییر برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۲۱ (۳۸) :۴۶-۳۳.

باعقیده، محمد؛ علیجانی، بهلول و ضیائیان، پرویز (۱۳۹۰). بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۱ (۱۴) :۱۶-۱.

بردی‌شیخ، واحد؛ بهره‌مند، عبدالرضا و موشخیان، یوسف (۱۳۹۰). مقایسه روند متغیرهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اترک با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸ (۲).

بنی مهد، ادیب و خلیلی، داور (۱۳۹۰). بررسی و مقایسه خشکسالی SPI و EDI در ایستگاه‌های منتخب استان مازندران. همایش منطقه-ای دانش محوری در مدیریت پایدار کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

حجام، سهراب؛ خوشخو، یونس؛ و شمس‌الدین‌وندی، رضا (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های جغرافیایی. (۶۴) :۱۶۸-۱۵۷.

رضیئی، طیب؛ دانش کارآراسته، پیمان؛ اختری، روح انگیز و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۶). بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف. تحقیقات منابع آب ایران. ۳(۱) :۳۵-۲۵.

ساری، الهه (۱۳۹۰). پایش خشکسالی هواشناسی به روش SPI و تأثیر آن بر کشت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

صمدی‌بروجنی، حسین؛ و ابراهیمی، عطاالله (۱۳۸۹). پیامدهای خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در استان چهارمحال بختیاری. گزارش مرکز تحقیقات منابع آب. دانشگاه شهرکرد. ۱۰۲- ۸۹ (۱). ۵۱۲-۱.

مفیدی پور، نازنین؛ بردی‌شیخ؛ اونق، م؛ و سعدالدین، ا (۱۳۹۱). بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز ۳ (۵) :۲۶-۱۶.

ملکی نژاد، حسین؛ و سلیمانی مطلق، مهدی (۱۳۹۰). بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی. مجله پژوهش آب ایران ۵ (۹) :۷۲-۶۱.

میرعباسی نجف‌آبادی، رسول و دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۸۹). تحلیل روند تغییرات آب‌دهی رودخانه‌های شمال‌غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک. ۲۴ (۴) :۷۶۸-۷۵۷.

میرموسوی، حسین؛ و کریمی، حمیده (۱۳۹۲). مطالعه اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS مورد:استان کردستان. جغرافیا و توسعه. ۱۱ (۳۱) :۷۶-۵۷.

نگارش، حسین و کریمی، محمد (۱۳۹۰). بررسی تغییرات شدت خشکسالی سالانه ایستگاه‌های منطقه ایرانشهر در سال‌های آبی ۸۵-۱۳۷۶. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

Chang, H. & Jung, I.W (2011). Climate Change Impact on Drought Risk and Uncertainty in the Willamette River Basin. Presented at The Oregon Water Conference. May 24-25.

Dibike, Y. B. & Coulibaly, P (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed:comparison of downscaling methods and hydrologic models. Journal of Hydrology. 307. 145-163.

Edwards, D.C. & Mckee, T.B (1997). Charactristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report 97-2. Atmospheric science. Colorado state university. 1-155.

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Begueria, S., Garcia-Ruiz, J. M. & c, J. M. C (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology. 386, 13-26.

McKee, T.B., Doesken N.J. & Kleist J (1995). Drought monitoring with multiple time scale. Proceeding of the 9th Conference on Applied Climatology. Dallas. TX.USA. 233-236.

Tabari, H., Nikbakht, J. & Hosseinzadeh Talaee, P (2013). Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Stramflow Drought Index (SDI). Water Resource Manage. 27. 137-151.
Sellinger, E. C., Stow, C. A., Lamon, E. C. & Qian, S. S (2008). Recent Water Level Declines in the Lake Michigan-Huron System. Enviromental Science & Technology. 42. 367–373.
Yu, G. & Shen, H (2010). Lake water changes in response to climate change in northern China:Simulations and uncertainty. Quaternary International. 212. 44–56.

Study of trend and relationship between meteorological and hydrogeological droughts of Sufi Chai and Mordagh Chai watershed

Behrooz Sarisarraf[1], Abdoreza Vaezihir[2], Akram Valaei*[3], Vahideh Abtahi[4]

1- Professor of climatology, Faculty of Geographical Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

2- Associate Professor of Geology, Faculty of G Geology Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

3,4- Masters of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: valaei3@yahoo.com

Received: 2015.01.31 Accepted: 2016.12.20

Abstract

Drought is a natural disaster, which its intensity and frequency of occurrence and the affected area and the amount of damage, is more important than other natural disasters. In this study, successive periods of meteorological and hydrological drought were investigated using SPI and SDI index in Sufi Chai and Mordagh Chai basins in the Southeast of Urmia Lake, and the time delay between the two occurrences was identified. Therefore, 10 rain gauges and 7 hydrometric station data was used. Range and area droughts in ArcGIS media were plotted according to the mean-square error minimum using methods of the kriging and IDW and also droughts trend was investigated by classic Mann-Kendall and modified Mann–Kendall droughts methods. The results showed that the occurrence of the two periods of severe and long-term meteorological drought has led to the simultaneous occurrence of hydrological drought in the basins. There is a significant correlation at 99% level between meteorological and hydrological droughts which is stronger for simultaneous occurrence and one month lag time. According to drought zoning maps, the Northwest region has more potential in the terms of frequency and severity of meteorological drought occurrence which is important in the water resources management.

Keywords: Drought, SPI index, SDI index, Sufi Chai, Mordagh Chai