

تحلیل گستره دوره‌های خشکسالی و ترسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر بارش (مطالعه موردی حوزه هلیل رود جیرفت)

فرشاد سلیمانی ساردو^۱

عضو هیئت علمی دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

الهام رفیعی ساردوئی

دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱

چکیده

خشکسالی به عنوان یکی از پدیده‌های طبیعی که در هنگام وقوع خسارات جبران ناپذیری به اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند، مطرح است. تداوم، شدت، زمان آغاز و پایان خشکسالی از ویژگی‌های خاص این پدیده می‌باشد. از مهمترین انواع آن، خشکسالی هواشناسی است. این واقعه به صورت کمبود بارش نسبت به شرایط متوسط با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش بررسی می‌شود. این مطالعه بر روی حوزه آبریز هلیل رود جیرفت انجام شده است. در این تحقیق از دو شاخص^۲ SPI و^۳ SIAP در پایه زمانی سالانه به منظور بررسی تحلیل گستره دوره‌های خشکسالی و ترسالی در منطقه مورد نظر استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد گستره دوره‌های خشکسالی بیشتر به سمت غرب حوزه هلیل رود می‌باشد و گستره دوره‌های ترسالی بیشتر از جنوب به سمت شمال غرب منطقه بوده است.

واژگان کلیدی: خشکسالی، ترسالی، SIAP, SPI, هلیل رود جیرفت

۱- فرشاد سلیمانی ساردو (نویسنده مسئول) fsolaimani@gmail.com

۲- Standardized Precipitation Index

۳ - Standard Index of Annual Precipitation

مقدمه

در تحقیقات اقلیمی، خشکسالی یکی از موضوعاتی است که به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، زیرا خشکسالی به طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تاثیر قرار می‌دهد، همچنین اثرات مستقیم بر محیط زیست دارد (کریمی، ۱۳۷۷). از این رو، خشکسالی به عنوان یکی از مزمین‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیان‌بارترین بلایای طبیعی به شمار می‌رود. خشکسالی حادثه‌ای طبیعی و در عین حال پدیده‌ای آرام و مرموز است که به اعتقاد بسیاری دارای مکانیسمی پیچیده بوده و ماهیت آن نسبت به تمامی حوادث کمتر شناخته شده است (جوانمرد و همکاران، ۱۳۷۹). خشکسالی یکی از پدیده‌های خزنده محیطی است که در مناطق خشک و نیمه خشک نمود بیشتری دارد. از این رو باید مدیریت استراتژیک را در این زمینه اتخاذ کرد تا کمترین خسارت به این بخش وارد گردد. که این کار نیازمند تدوین یکسری شاخص‌ها در ارتباط با روند گذشته و کنونی و همچنین تدوین راهبردهایی برای مقابله با آثار سوء آن می‌باشد (طالبی و همکاران، ۱۳۸۸). از این رو دانشمندان به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی، شاخص‌های متعددی ارائه داده‌اند، که هر یک از این شاخص‌ها براساس به کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متعددی طراحی شده‌اند. مطالعات متعددی در ارزیابی خشکسالی توسط محققین در مناطق مختلف انجام شده است و به ارزیابی نمایه‌ها پرداخته‌اند. در زیر به چند مورد از این تحقیقات اشاره می‌شود:

موسوی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به بررسی خشکسالی بر اساس نمایه‌های مبتنی بر بارش در شهر کرمانشاه طی دوره آماری ۵۴ ساله پرداختند. این تحقیق با استفاده از شاخص نیچه، بارش استاندارد شده و شاخص درصد نرمال اقدام شده است. نتایج نشان داد که غالباً شدت خشکسالی در شهر کرمانشاه، حالت خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط و دوره مرطوب می‌باشد.

حیدری و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دو شهرستان ارومیه و خوی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در شهرستان ارومیه خشکسالی هیدرولوژیکی با تاخیر زمانی یک ماهه و در خوی با تاخیر زمانی ۲ ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی بروز کرده است. پایداری خشکسالی هیدرولوژیکی نیز به ترتیب تا سه ماه و پنج ماه پس از وقوع آن تعیین گردید.

باروتی و همکاران (۱۳۸۸) در استفاده از شاخص SPI به عنوان یکی از رایج‌ترین شاخص‌های هواشناسی مورد استفاده در مطالعات خشکسالی و تحلیل آن در مقیاس‌های زمانی سه، شش، دوازده و بیست و چهار ماهه، مشخص گردید که SPI با مقیاس زمانی بیش از ۱۲ ماهه برای مطالعه دوره‌های تر و خشک در منطقه مطالعاتی مذکور بسیار رضایت بخش می‌باشد و در مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه و پایین‌تر و بهتر است با احتیاط بیشتری مورد استفاده قرار گیرد.

معلمی و همکاران (۱۳۹۰) شاخص SPI را در برآورد و مقایسه خشکسالی‌های ایستگاه‌های منتخب اقلیم رویشی ایران و توران مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج حاکی از آن است که شاخص SPI شدیدترین خشکسالی در هر سه مقیاس زمانی ۳، ۵ و ۹۸ ماهه را برای سال ۲۰۰۰ نشان داد و اینکه دوره خشکسالی در بازه زمانی ۳ ماهه مشهودتر از دو بازه دیگر می‌باشد

انصاری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعات خود بر روی پایش و تحلیل اثر تغییرات مکانی خشکسالی‌ها بر تغییرات آب زیر زمینی با استفاده از GIS در دشت نیشابور انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش مقیاس‌های زمانی، دوره‌های خشک و بزرگتری را با تکرار کمتر و تداوم بیشتر بوجود آورده اند که تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است. همچنین دوره‌های خشک یکی از عوامل افت سطح آب زیر زمینی در دشت نیشابور می‌باشد.

ناصر زاده و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و پهنه بندی آن در استان قزوین پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که شاخص‌های بارندگی استاندارد شده و شاخص دهک‌ها را می‌توان در جایگاه نخست و شاخص عدد Z در رتبه دوم و شاخص‌های Z چینی و شاخص Z چینی اصلاح شده به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم به لحاظ شناسایی خشکسالی‌های شدید قرار می‌گیرند.

زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۲). در تحلیل روند آماری عوامل اقلیمی بارش، دما و خشکسالی در دو مقیاس فصلی و سالانه در ۱۵ ایستگاه در منطقه همدان به این نتیجه رسید که روند مقدار بارش سالانه در ۶۰ درصد ایستگاه‌ها روند کاهشی بوده و روند دمای سالانه ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی. روند خشکسالی‌ها همانند روند تغییرات بارش افزایشی بوده به طوری که در ۶۷ درصد ایستگاه‌ها خشکسالی سالانه افزایش یافته است.

زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۴) با هدف بررسی فراوانی و شدت وقوع خشکسالی منطقه سیستان و بلوچستان در مقیاس سالانه و فصلی طی دوره ۴۲ ساله آماری می‌باشد نتایج مبین این واقعیت است که خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان رو به افزایش است که بتدریج بر شدت آن نیز افزوده شده است. همچنین با عنایت به روند کاهشی بارش منطقه می‌توان انتظار رخداد خشکسالی‌های با شدت و مدت بیشتری را داشت.

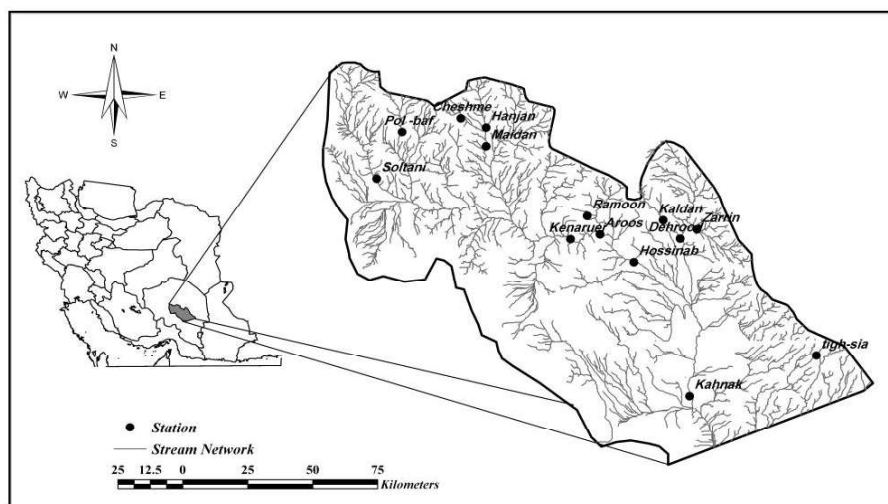
نصرالهی و همکاران (۱۳۹۴)، به ارزیابی شاخص خطر خشکسالی در استان سمنان با استفاده از شاخص SPI پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در گام زمانی سه ماهه مناطق شمالی و مرکزی و در گام زمانی ۱۲ ماهه مناطق جنوبی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردارند.

با توجه به مطالعات یاد شده و اهمیت مطالعه خشکسالی، تحلیل دوره‌های خشکسالی و ترسالی امری ضروری به نظر می‌رسد. از این رو در این پژوهش به تحلیل گستره دوره‌های خشکسالی و ترسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر بارش در حوزه هلیل رود جیرفت پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

- موقعیت جغرافیایی حوزه هلیل رود

منطقه مورد مطالعه حوزه هلیل رود که موقعیت آن نسبت به ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. این حوزه با مساحتی بالغ بر ۱/۶ میلیون هکتار در محدوده بین ۲۸ درجه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی در جنوب شرقی ایران در استان کرمان قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیای حوزه هلیل رود

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا به منظور تعریف و پایش وضعیت فعلی خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. تغییرپذیری SPI باعث می‌شود که در مقیاسهای کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاسهای بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود. [6] معمولا توزیع گاما بمنظور برازش به سری‌های زمانی بارش‌های کلیما تولوژی استفاده می‌شود. به همین جهت مک کی و همکاران شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما قرار دادند.

احتمال تجمعی بارش مشاهده شده بصورت معادله زیر می‌باشد:

(۱)

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\beta} dx$$

اگر $t = x/\beta$ باشد، معادله حاصل تابع گامای ناقص خواهد بود:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (۲)$$

از آنجا که تابع گاما برای $X=0$ تعریف شده نمی‌باشد و توزیع بارندگی

ممکن است دارای مقادیر صفر باشد.

احتمال تجمعی به روش زیر

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad \text{می‌باشد:}$$

(۳)

در این رابطه q احتمال وجود صفر در مقادیر بارشی می‌باشد اگر m تعداد صفرها در سری‌ها زمانی بارشی باشد، تمام (۱۹۶۶) ثابت می‌کند که q از تقسیم m بر n می‌تواند محاسبه شود. تمام جداول تابع گامای ناقص را برای تعیین احتمال تجمعی $G(x)$ بکار برد.

مک کی و همکاران (۱۹۹۳) یک روش آنالیزی را به همراه کد نرم‌افزاری برای برآورد احتمال تجمعی بکار بردند سپس احتمال تجمعی $H(X)$ به متغیر تصادفی استاندارد نرمال Z با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌شود. که این متغیر هم همان مقادیر SPI می‌باشد که یک تبدیل با احتمال یکسان است (۴).

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (4)$$

(۵)

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_1 + c_2 t + c_3 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1.0$$

(۶)

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5$$

و ثابت‌های معادله عبارتند از:

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 \\ c_1 &= 0.802853 \\ c_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 \\ d_2 &= 0.189269 \\ d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

بطور مفهومی SPI نمره سیگمایی Z (Z-Score) یا میزان انحرافات استاندارد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین را نشان می‌دهد این شاخص در سری‌های زمانی سه شش، نه ماهه، یک ساله و دوساله به تحلیل خشکسالی می‌پردازد و طبق جدول شماره ۱ مقادیر SPI به وضعیت‌های مختلف تبدیل می‌شوند.

جدول ۱ - طبقات مختلف ترسالی و خشکسالی بر اساس مقادیر مختلف SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی	مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
۰ تا ۰.۹۹-	خشکسالی ملایم	بالاتر از ۲	ترسالی خیلی شدید
۱- تا ۰.۹۹-	خشکسالی متوسط	۰.۱ تا ۰.۹۹	ترسالی شدید
۰.۱- تا ۰.۹۹-	خشکسالی شدید	۰.۱ تا ۰.۴۹	ترسالی ملایم
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید	۰.۰ تا ۰.۹۹	نرمال

منبع: یافته‌های پژوهش

شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP) (Standardize Index of Annual Precipitation)

یکی از شاخص‌هایی است که با استفاده اعمال روابط آماری بر روی داده‌ها بدست می‌آید. این شاخص به این علت برای تجزیه و تحلیل پارامترهای ورودی زیادی نیاز نداشته است کاربرد زیادی دارد مهمترین پارامترهای ورودی میانگین داده‌ها و انحراف از میانگین می‌باشد که در فرمول (۷) مشخص است:

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (۷)$$

\bar{P} : میانگین بارش سالیانه

P_i : بارندگی در یک سال هیدرولوژیکی خاص

SD : انحراف از میانگین

در گام بعد با استفاده از جدول شماره ۲ مقادیر شاخص را به وضعیت مورد نظر تبدیل کردیم.

جدول شماره ۲- طبقات مختلف خشکسالی بر اساس مقادیر SIAP

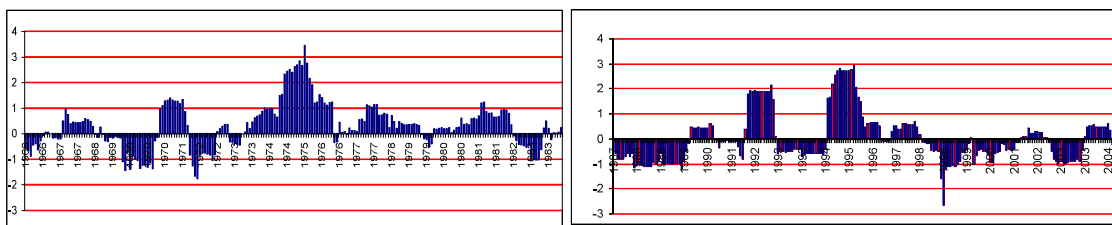
وضعیت	طبقات خشکسالی	ردیف
حالت نرمال	+۲۵.۰ تا -۲۵.۰	۱
خشکسالی خفیف	-۲۵.۰ تا -۵۲.۰	۲
خشکسالی متوسط	-۵۲.۰ تا -۸۴.۰	۳
خشکسالی شدید	-۸۴.۰ تا -۲۸.۱	۴
خشکسالی بسیار شدید	<-۲۸.۱	۵

منبع: یافته‌های پژوهش

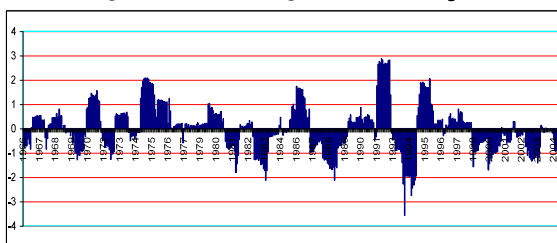
در گام بعد با استفاده از نرم افزار Surfer و روش درون یابی کریجینگ نقشه‌های ترسالی و خشکسالی حوزه ترسیم گردید.

نتایج و بحث

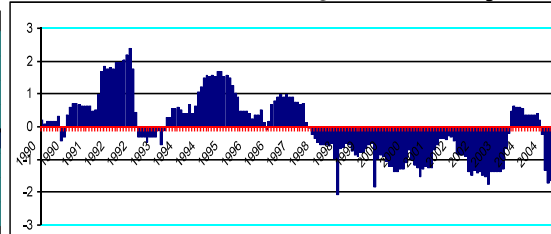
از میان ۱۴ ایستگاه باران سنجی که در منطقه وجود داشت تعداد ۸ ایستگاه دارای دوره آماری مناسب جهت تجزیه و تحلیل خشکسالی انتخاب شدند. بعد از انتخاب ایستگاه‌های مناسب جهت آنالیز به باز سازی آمار پرداختیم. با استفاده از ماتریس همبستگی بین ایستگاه این آمار باز سازی شدند. در مرحله بعد با استفاده از شاخص سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه‌های مورد مطالعه استخراج گردید و نمودار شاخص SPI برای هر ایستگاه ترسیم و در شکل‌های ۲ الی ۹ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه سلطانی

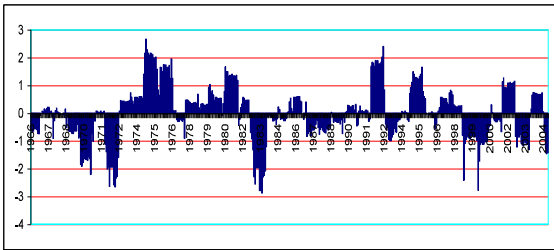


شکل ۲- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه میدان

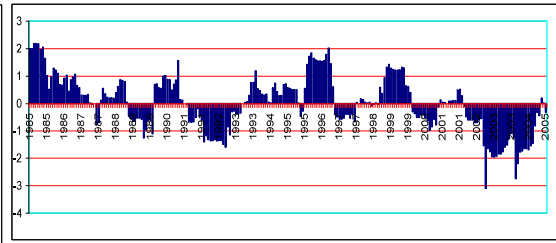


شکل ۵- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه حسین آباد

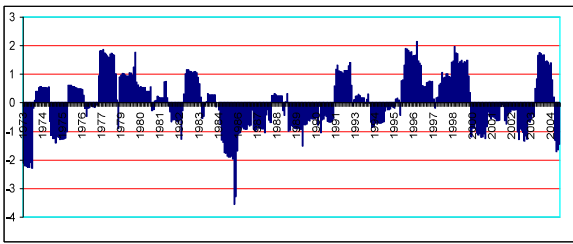
شکل ۴- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه تیغ سیاه



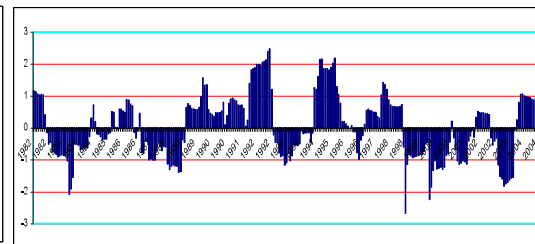
شکل ۷- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه دهرود



شکل ۶- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه بافت



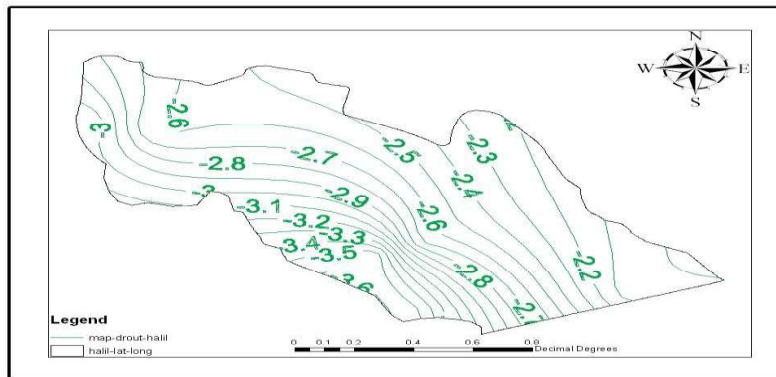
شکل ۹- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه کهنک



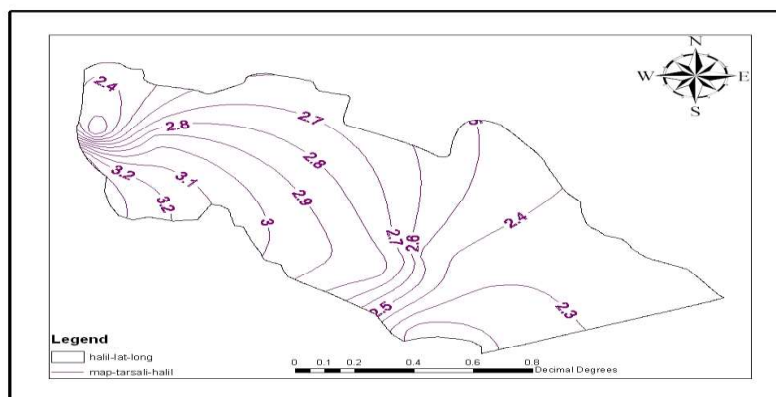
شکل ۸- نمودار سری زمانی ۱۲ ماهه ایستگاه زارین

منبع: یافته‌های پژوهش

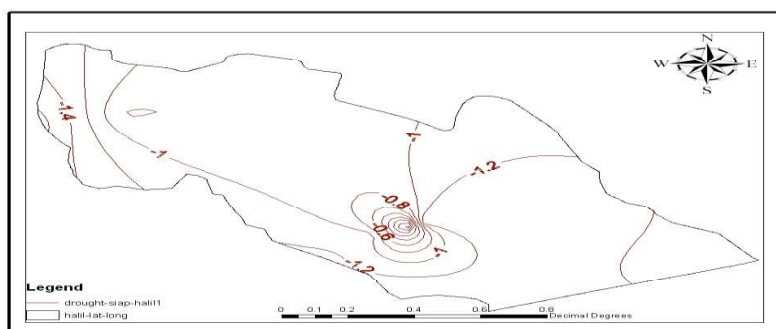
در میان ایستگاه‌های مذکور ایستگاه سلطانی کمترین دوره‌های خشکسالی را داشته است و بیشتر حالت نرمال در این ایستگاه رخ داده است. در ایستگاه کهنک در سال ۱۹۸۴ خشکسالی بسیار شدید رخ داده است که مقدار شاخص SPI از ۳- هم گذشته است. در ایستگاه سلطانی در سال ۱۹۷۵ شدیدترین ترسالی رخ داده است. در ادامه با استفاده از مقادیر استخراج شده از شاخص‌های SPI و SIAP در محیط نرم افزار Surfer و روش درون یابی کریجینگ نقشه‌های توزیع مکانی شاخص مورد نظر در سطح حوزه استخراج گردید که در شکل‌های ۱۰ الی ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نقشه گستره خشکسالی با استفاده شاخص SPI



شکل ۱۱- گستره ترسالی حوزه هلیل رود با استفاده از شاخص SPI



شکل ۱۲- گستره خشکسالی حوزه هلیل رود با استفاده از شاخص SIAP

منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل ۱۰ مشخص است که از طرف شرق حوزه به سمت غرب گستره خشکسالی بیشتر بوده، به عبارت دیگر تمرکز خشکسالی بیشتر سمت غرب حوزه بوده و از طرف شرق به غرب شدت خشکسالی بیشتر می‌شود. این مناطق محل‌های حساس به خشکسالی بوده و برای مقابله با این پدیده درحوزه باید روی این مکان‌ها تمرکز بیشتری داشت. در شکل ۱۱ گسترش ترسالی بیشتر از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب بوده و این مناطق، مکان‌های هستند که می‌توانند شرایط سیلابی را داشته باشند و کارهای آبخیزداری را بیشتر باید در این مکان‌ها متمرکز نمود. در شکل ۱۲ که مربوط به گستره خشکسالی از با استفاده از شاخص SIAP می‌باشد. مشخص است که حرکت این پدیده خزننده محیطی از سمت مرکز حوزه به سمت غرب بوده و در قسمت‌های مرکزی و غربی تمرکز بیشتری داشته است و در مقایسه این دو روش برای تحلیل خشکسالی شاخص SPI مناسب تر بوده و شاخص SIAP به علت اینکه به حالت یکنواخت در تمام نقاط حوزه استفاده می‌گردد، نمی‌تواند تحلیل کاملاً درستی از پدیده خشکسالی داشته باشد.

منابع

- انصاری، نادریان فر، مرادی، حوریه. ۱۳۹۰. پایش و تحلیل اثر تغییرات مکانی خشکسالی‌ها بر تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: دشت نیشابور). هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- باروتی، ح، فضل‌اولی، ر، امام قلی زاده، ص. ۱۳۸۸، تحلیل و پایش شاخص‌های خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان قزوین، کنفرانس بین‌المللی منابع آب، دانشگاه شاهرود.
- جوانمرد، سهیلا؛ جواد بذاق جمالی؛ جواد احمدیان و ناصر جاودانی، ۱۳۷۹، سیستم مراقبت از شدت و وسعت خشکسالی بر اساس پهنه بندی شاخص پالم، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان.
- حیدری، م، ا، فرخی، اس تنیان و ب. حساری، ۱۳۸۸. تجزیه و تحلیل خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از نرم افزار DIP: ارومیه و خوی. پنجمین کنفرانس ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. ۱۱۴ ص.
- رضیعی، طیبه، ۱۳۸۶، بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف، تحقیقات منابع آب ایران بهار ۱۳۸۶ ص ۲۵-۳۵
- زارع ابیانه، حمید، علی اکبر سبزی پرور، صفر معروفی، صفر، قیامی، میرمسعودی، سیده شقایق، کاظمی، آزاده. ۱۳۹۴. تحلیل و پایش خشکسالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۷(۱): ۴۹-۶۱.
- زارع ابیانه، حمید. ۱۳۹۲. بررسی نقش عوامل اقلیمی و خشکسالی بر تغییرپذیری عملکرد چهار محصول دیم در مشهد و بیرجند. " دانش آب و خاک ۲۳(۱): ۳۹-۵۶.
- زارع ابیانه حمید، محبوی علی اکبر، نیشابوری محمدرضا. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدانی بر اساس شاخص‌های آماری خشکسالی، پژوهش و سازندگی پاییز ۱۳۸۳؛ ۱۷(۳) (پی آند ۶۴) در زراعت و باغبانی: ۲-۷.
- طالبی، محمد صادق و موسوی بفری، مهناز. ۱۳۸۹. ارزیابی، پهنه بندی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های معتبر مطالعه موردی: استان کرمان، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- فلاح پور، مرتضی، رضایی زارچی، سعید، کوثری، محمدرضا، اسدی، محمدامین (۱۳۸۸). مدیریت و پهنه‌بندی خطر خشکسالی در استان یزد با استفاده از شاخص SPI، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
- کریمی، وحید. ۱۳۷۷. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ص ۲۱۷
- معلمی، مونا، مرتضی خداحلی، راضیه صبح، و لیلا یغمایی (۱۳۹۰). ارزیابی شاخص بارش استاندارد در برآورد و مقایسه خشکسالی‌های ایستگاه‌های منتخب اقلیم رویشی ایران و توران، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ناصرزاده، محمدحسین. احمدی، اسماعیل. "بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین." نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۲(۲۷): ۱۴۵-۱۶۱
- نصرالهی، محمد. خسروی، حسن. مقدم نیا، علیرضا، ملکیان، آرش. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص خطر خشکسالی استان سمنان با استفاده از نمایه SPI. نشریه هواشناسی کشاورزی. ۳(۱): ۵۷-۶۶.
- Dupigny-Giroux, L. , 2001, Towards Characterizing and Planning for Drought in Vermont - Part I: A Climatologically Perspective, J. of the Am. Water Res. Assoc. , 37, 505-525 .
- McKee, T. B. , Does ken N. J. and Kleist, J. 1993, The relationship of drought Frequency and duration to time scales, 8th conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 176-184 .
- Mckee, T. B. , Doesken, N. J. , Kleist, J. , 1993. Drought monitoring with multiple timescales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. , 179-184

- Nalbantis, I. , and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897 .
- Tsakiris, G. , Vangelis, H. , 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water*
- Vicente-Serrano, S. M and. Lopez-Moreno, J. I. , 2005, “Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainousmediterranean basin” , *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* , No 2, pp. 1221-1246