

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره شش، شهریورماه ۹۸

بررسی رابطه خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در دشت سیستان

آرتمیس رودری^۱

فرزاد حسن پور*

Hassanpourir@uoz.ac.ir

مصطفی یعقوب زاده^۳

مجید دلاور^۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: خشک سالی یک بلای طبیعی و قابل تکرار بوده که کلیه اقلیم ها را تحت تأثیر قرار می دهد. شرایط اقلیمی خشک و بارندگی ناچیز دشت سیستان سبب گردیده تا عمده منابع آبی آن به صورت جریان سطحی از خارج از مرزهای جغرافیایی کشور تأمین شود. در این پژوهش ارتباط خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در دشت سیستان بررسی گردید.

روش بررسی: ابتدا خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی با استفاده از میانگین متحرک و شاخص های SPI و SDI بررسی، سپس ارتباط بین دو شاخص در یک دوره ۴۵ ساله ارزیابی گردید.

یافته ها: نتایج پژوهش نشان می دهد که در کل دوره مطالعاتی شاخص های خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی با یکدیگر تطابق ندارند، لیکن در دوره خشک سالی رابطه آنها در سطح ۹۵٪ معنی دار است. همچنین مشاهده گردید یک دوره خشک سالی از سال ۱۳۷۸ شروع شده و تا سال ۱۳۹۱ ادامه داشته است.

بحث و نتیجه گیری: براساس نتایج این تحقیق، وضعیت خشک سالی دشت سیستان را خشک سالی هیدرولوژی به دلیل حجم کم بارش و ضریب تغییرات بالای آن و نقش حیاتی جریان های سطحی در تأمین منابع آب دشت، نسبت به خشک سالی هواشناسی بهتر نشان می دهد.

واژه های کلیدی: خشک سالی هواشناسی، خشک سالی هیدرولوژی، شاخص میانگین متحرک، دشت سیستان.

۱- دکترای آبیاری زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران* (مسئول مکاتبات).

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

Investigation of Relation between Meteorological and Hydrological Drought in Sistan Plain

Artemis Roodari ¹

Farzad Hassanpour ^{2 *}

Hassanpourir@uoz.ac.ir

Mostafa Yaghoobzadeh ³

Majid Delavar ⁴

Admission Date: September 28, 2016

Date Received: June 18, 2016

Abstract

Background and Objective: Drought is a natural and repeatable disaster which affects all climates. Because of the intrinsically dry climate and low precipitation in Sistan plain, the main water resources are surface water originated from a neighboring country. This study investigates the relationship between meteorological and hydrological drought in Sistan plain.

Method: At first, meteorological and hydrological drought were investigated by indices including moving average, SPI and SDI in Sistan plain. Moreover, the relationship between them was evaluated for 45 years.

Findings: Results show that indices of meteorological and hydrological droughts do not match with each other in the entire of the study period, but there is a significant relationship between them during dry years. It was also observed that a drought period started in 1999 and continued until 2012.

Discussion and Conclusion: Therefore, due to low volume and high coefficient of variations of rainfall and vital role of surface flows in the supply of water in the plain, hydrological drought shows conditions of drought is better than the meteorological drought in Sistan plain.

Keywords: Meteorological drought, Hydrological drought, Moving average index, Sistan plain.

1- Ph. D Student, Irrigation and Drainage. Faculty of water and soil. Zabol University, Zabol, Iran.

2- Associate Professor. Faculty of water and soil. Zabol University, Zabol, Iran. *(Corresponding author).

3- Assistant Professor. Department of agriculture. Birjand University, Birjand, Iran.

4- Assistant Professor. Department of agriculture. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

مقدمه

هیرمند، فرارود، خاس رود و نهبندان تشکیل شده است. بخشی از این گودال کویری هر سال توسط حجم زیادی آب که عمدتاً به صورت طغیان و سیل وارد منطقه می گردد و به صورت تالاب در می آید. که این تالاب از بزرگترین تالاب های جنوبی ایران می باشد (۷). مهم ترین رودخانه منطقه رودخانه هیرمند بوده که از کوه های هندوکش افغانستان سرچشمه می گیرد. منطقه سیستان به علت کاهش مقدار بارندگی و وابستگی کامل آب رودخانه هیرمند که در طول سال های ۹۲-۱۳۷۸ به طور متناوب اکثر مواقع سال قطع بوده مواجه با شدیدترین خشک سالی در سطح کشور می باشد. منطقه سیستان که به عنوان قطب کشاورزی محسوب می شود، اتکای زیادی به منابع آب سطحی داشته و بخش عمده ای از جمعیت آن را مناطق روستایی تشکیل می دهد. بدین ترتیب خشک سالی اقتصاد منطقه را دچار تنش نموده و در ابعاد اجتماعی نیز پیامدهای مختلفی برجای گذاشته است (۸). شدت خشک سالی و ناحیه بندی آن در محدوده استان سیستان و بلوچستان از روش آماری شاخص درصد نرمال در گذشته بررسی گردیده است (۹). با بررسی شدت خشک سالی برای منطقه زابل مشخص گردید همیشه کم بارش ترین سال مصادف با شدیدترین خشک سالی نمی تواند باشد (۱۰). همچنین پایش و پهنه بندی خشک سالی در استان سیستان با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در یک دوره آماری ۲۵ ساله نشان می دهد که در سال های اخیر تکرار و تداوم این پدیده در همه نقاط استان افزایش و تا حدودی از شدت آن کاسته شده است (۱۱). در پژوهش های دیگری شدت خشک سالی در استان سیستان با استفاده از چهار نمایه درصد از بهنجار (PN)، بارش معیار شده (SPI)، دهکها (DPI) و شاخص ناهنجاری های بارش (RAI) ارزیابی گردیده و این پدیده عامل خشک شدن دریاچه هامون عنوان شده است (۱۲، ۱۳).

در سال های اخیر مطالعات زیادی در زمینه استفاده از شاخص خشک سالی هیدرولوژی و ارتباط آن با شاخص خشک سالی هواشناسی صورت گرفته است (۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹،

خشک سالی یک بلای طبیعی و قابل تکرار بوده که کلیه اقلیم ها را تحت تأثیر قرار می دهد و هرساله بیش از نصف کره زمین مستعد وقوع خشک سالی است. افزایش روزافزون جمعیت و در پی آن افزایش تقاضا برای آب و مواد غذایی، صدمات ناشی از خشک سالی را در سال های اخیر افزایش داده است (۱). به دلیل وجود متغیرهایی که چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم در خشک سالی دخالت دارند، تعریف این واژه مشکل است به همین دلیل تعریف جامعی برای آن ارایه نشده است. برخی خشک سالی را کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت در یک دوره زمانی مشخص تعریف می کنند (۲). برای مطالعه و ارزیابی خشک سالی، شاخص های متعددی ارایه شده است. بعضی شاخص ها دارای قالب نسبتاً پیچیده ای بوده که فقدها و آمار طولانی مدت، کاربرد آن را در ایران محدود نموده است (۳). کمبود اطلاعات سبب روی آوردن پژوهشگران به جایگزین های ساده تر بر پایه بارش شده است (۴). تغییرات بارش به طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان های سطحی و زیرزمینی انعکاس می یابد. به همین دلیل بارش اولین برداری است که می تواند در بررسی هر حالتی از خشک سالی مورد توجه قرار گیرد (۵). خشک سالی انواع مختلفی داشته و به چهار دسته هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی طبقه بندی می شود. خشک سالی هواشناسی به دلیل کمبود یا کاهش میزان بارندگی در طی دوره ای از زمان، نسبت به شرایط میانگین درازمدت به وقوع می پیوندد. در ادامه ی رخداد خشک سالی هواشناسی، خشک سالی هیدرولوژیکی که از مهم ترین انواع خشک سالی ها است اتفاق افتاده و باعث افت سطح آب رودخانه ها، مخازن آب و آب های زیرزمینی به پایین تر از میانگین بلندمدت می شود. نظر به این که خشک سالی هیدرولوژیکی در امتداد خشک سالی هواشناسی پدیدار می شود، با استفاده از داده ها و اطلاعات خشک سالی هواشناسی می توان تا حدود زیادی وقوع آن را پیش بینی نمود (۶).

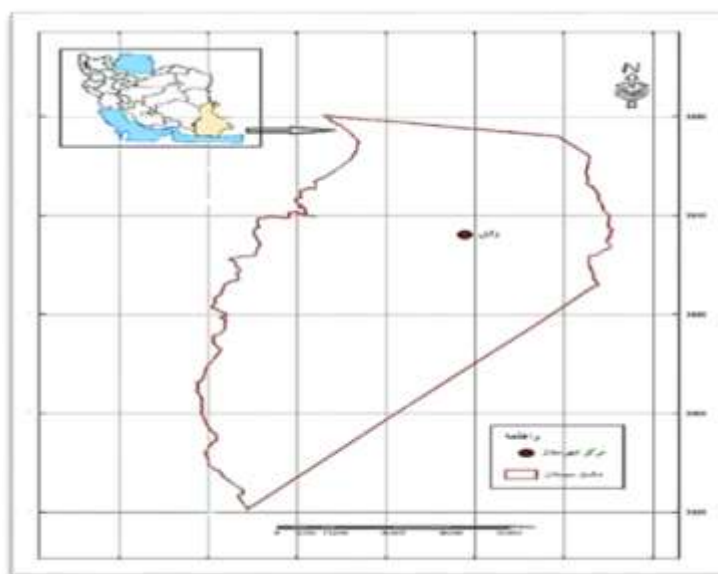
دشت سیستان که در جنوب شرقی ایران قرار دارد، گودالی نسبتاً وسیع است که از آبرفت های قدیمی و کنونی رودهای

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه، دشت سیستان در شرق ایران در شمال استان سیستان و بلوچستان با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و در مرز افغانستان می‌باشد (شکل ۱). اقلیم منطقه سیستان براساس طبقه‌بندی کوپن اصلاح شده اقلیم صحرائی با آب و هوای خیلی گرم و خشک بیابانی یعنی تابستان های طولانی و زمستان ملایم قلمداد شده است. متوسط بارندگی سالانه در سیستان ناچیز و برابر ۵۵ میلی متر بوده که در حدود ۷ درصد متوسط بارندگی در جهان است. میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلی متر گزارش شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت منطقه ۳۴/۵ و متوسط حداقل آن ۸/۵ درجه سانتی گراد می باشد. رودخانه هیرمند در مرز شرقی کشور ایران از خاک افغانستان وارد سیستان شده و تنها منبع تأمین آب آن محسوب می شود. حوضه آبریز رودخانه در کشور افغانستان قرار دارد. این رودخانه از دامنه جنوبی کوه های هندوکش در حوالی کابل سرچشمه گرفته و پس از طی حدود ۱۰۰۰ کیلومتر و در مرز ایران و افغانستان به دو شاخه سیستان و پریان مشترک تقسیم می شود.

۲۰). در همین راستا عدم تطابق بین خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دو حوضه آبریز هم‌جوار در دامنه شمالی شیرکوه یزد گزارش شده است (۲۱). همچنین ارتباط بین رخداد خشک سالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز سد زاینده رود با استفاده از متغیرهای مربوطه مورد تحلیل قرار گرفته است (۲۲). در پژوهشی شاخص خشک سالی جریان (SDI) در دو حوضه واقع در یونان ارزیابی شده و توانایی این شاخص برای پیش خشک سالی های رخ داده در منطقه تأیید می شود (۲۳). در مطالعه دیگری خشک سالی هیدرولوژیکی در سراسر جهان بررسی گردیده و اثر آب و هوا و ساختار فیزیکی حوضه بر آن ارزیابی شده است (۲۴). در ایران نیز طی پژوهش جدیدی در سال های اخیر، رابطه بین خشک سالی های هیدرولوژی و هواشناسی در حوضه سد کرج مطالعه شده و معنی‌داری ارتباط میان این دو خشک سالی در سطح احتمال ۹۹٪ اثبات گردیده است (۲۵).

در این تحقیق به پیش خشک سالی دشت سیستان و بررسی ارتباط بین خشک سالی های هواشناسی و هیدرولوژی براساس شاخص‌های SPI ، SDI و میانگین متحرک پرداخته شده تا بتوان در سال‌های کم آبی با لحاظ نمودن احتمالات و پیش-بینی وقوع خشک سالی به برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی پرداخت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure1. Geographical location of the study area

داده های آماری است. رابطه ۱ بیانگر این شاخص می باشد
(۲۶):

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

که در آن P_i بارندگی سال i ، SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری و \bar{P} میانگین بارندگی بلند مدت می باشد. پس از محاسبه شاخص در هر سال، با استفاده از جدول ۱ سال هایی که خشک سالی در منطقه اتفاق افتاده مشخص می گردد.

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص خشک سالی SPI

Table 1. Different classes of SPI index

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)	طبقات شدت خشک سالی
۰ تا +۱	نرمال
۰ تا -۱	خشک سالی ضعیف
-۱ تا -۱/۵	خشک سالی متوسط
-۱/۵ تا	خشک سالی شدید
کمتر از -۲	خشک سالی بسیار شدید

که \bar{V}_k میانگین مجموع حجم آبی در دوره مبنا و S_k انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنا در یک مدت طولانی می باشد. جدول طبقه بندی شدت خشک سالی هیدرولوژیکی همانند جدول ۱ می باشد.

مقادیر جریانات رودخانه ای در دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۳ از شرکت آب منطقه ای سیستان و بلوچستان تهیه گردید. به منظور ارزیابی دقیق تر خشک سالی هیدرولوژیکی از شاخص میانگین متحرک نیز استفاده شد. با استفاده از این شاخص می توان دوره های خشک و تر یک سری زمانی را در مقیاس سالانه از هم تفکیک نمود. در نظر گرفتن اثر تجمعی مقادیر سری زمانی در سال های قبل، ویژگی مهم این روش بوده که با ماهیت خشک سالی سازگار است. میانگین متحرک n ساله یک سری زمانی از رابطه ۳ به دست می آید (۲۸):

$$MA(n) = \frac{1}{n+1} \sum_{j=i-n+1}^i X_j \quad (4)$$

در رابطه فوق، X_j مقدار سری زمانی مورد نظر در سال j است. در این پژوهش میانگین متحرک ۷ و ۹ ساله برای سری زمانی

جهت بررسی خشک سالی هواشناسی از داده های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زابل واقع در دشت سیستان در دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۳ استفاده شده است. نمایه بارش استاندارد شده (SPI) از بهترین و جامع ترین و در عین حال ساده ترین روش های مطالعه خشک سالی و ترسالی محسوب می شود. اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار

در این تحقیق برای بررسی خشک سالی هیدرولوژیکی از شاخص SDI^1 که براساس دبی استاندارد شده رودخانه ها و جریانات سطحی به دست می آید، استفاده گردید. چنانچه سری های زمانی از حجم جریانات رودخانه ای (Q_{ij}) موجود باشد در این صورت i سال هیدرولوژیکی و j ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی را مشخص کند ($j = 1$ مهر و $j = 12$ شهریور). این سری را می توان با استفاده از رابطه ۲ به دست آورد (۲۷):

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad (2)$$

$$k = 1, 2, 3, \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12, \quad I = 1, 2, 3, \dots$$

$V_{i,k}$ حجم تجمعی جریان رودخانه ای بوده به عنوان مثال $k = 1$ برابر حجم تجمعی جریان رودخانه ای در سه ماه اول سال آبی هیدرولوژیکی و k دوره مبنا می باشد. شاخص SDI با استفاده از رابطه ۳ قابل محاسبه است:

$$SDI = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (3)$$

تحلیل اطلاعات بارش نشان می دهد کمترین مقدار بارش در سالهای ۱۳۸۶ و ۱۳۶۷ به میزان ۱۱/۷ میلی مترو پس از آن در سال ۱۳۷۹ به ترتیب برابر ۱۲/۱ میلی مترو بیشترین میزان بارش در سال ۱۳۸۳ در حدود ۱۶۹/۹ میلی مترو پس از آن در سالهای ۱۳۵۹ و ۱۳۷۴ به ترتیب برابر ۱۲۲/۹ و ۱۱۸/۸ میلی متری باشد. شکل ۲ تغییرات بارندگی را در دوره آماری مورد مطالعه نشان می دهد. شدت خشک سالی هواشناسی دشت سیستان براساس مقادیر شاخص SPI در شکل ۳ ارائه شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود خشک سالی ها و ترسالی ها در سالهای مختلف از نوسانات زیادی برخوردارند.

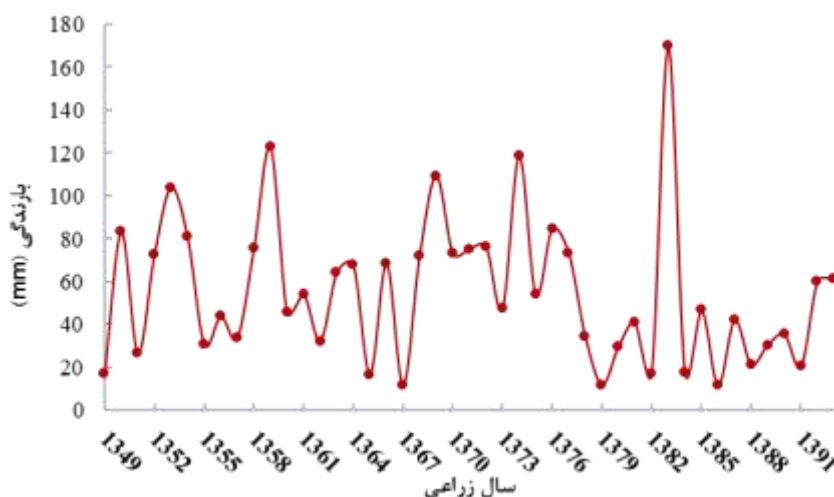
شاخص SPI نشان می دهد در سال های ۱۳۶۵، ۱۳۶۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۶ خشک سالی متوسط و در سال ۱۳۸۳ ترسالی خیلی شدید رخ داده که در هیچ کدام از سال های دوره آماری ترسالی با این شدت وجود نداشته است. همچنین از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۱ به جز ۱۳۸۳ منطقه تحت شرایط خشک سالی و در سالهای اخیر در وضعیت ترسالی قرار دارد.

دبی متوسط رودخانه محاسبه گردیده است. سال هایی که میانگین دبی های متحرک از میانگین دبی رودخانه بالاتر بوده دوره ترسالی و سال هایی که از خط میانگین دبی رودخانه پایین تر است، دوره خشک سالی عنوان می شود.

در پایان ارتباط بین خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه به کمک نرم افزارهای آماری مورد بررسی قرار گرفت.

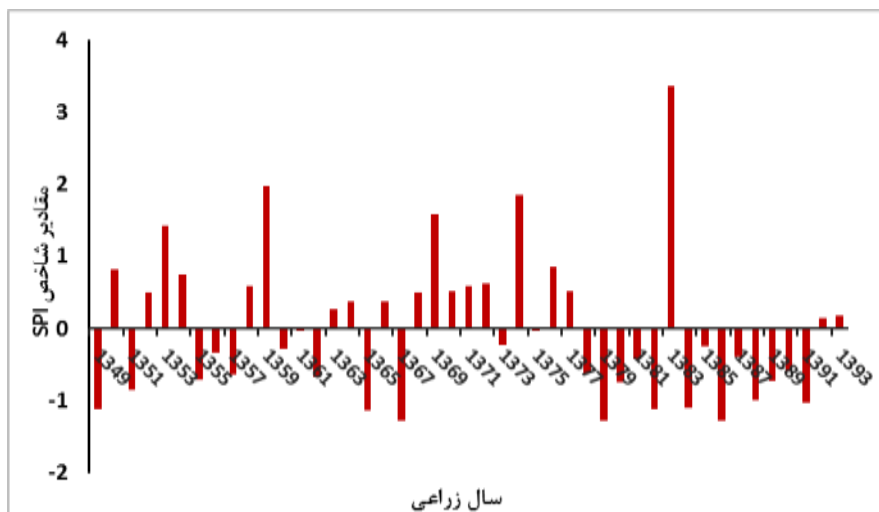
نتایج و بحث

با استفاده از داده های بارندگی روزانه ایستگاه زابل مقادیر سالانه محاسبه و میانگین و انحراف معیار آنها به دست آمد. میانگین بارش در دشت سیستان طی دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۴۹ برابر ۵۵/۴ میلی متر و انحراف معیار آن ۳۴/۱ میلی متر بوده، بنابراین ضریب تغییرات بارندگی ۶۱/۶٪ می باشد. بیش تر بودن شاخص ضریب تغییرات از ۴۰ درصد در بارش نشان دهنده بی نظمی بالای بارش و حاکمیت شرایط اقلیمی خشک در محدوده ایستگاه مورد بررسی است. همچنین تجزیه و



شکل ۲- تغییرات بارندگی سالانه در دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه سینوپتیک زابل

Figure 2. Variations of annual rainfall in the study period in Zabol synoptic station



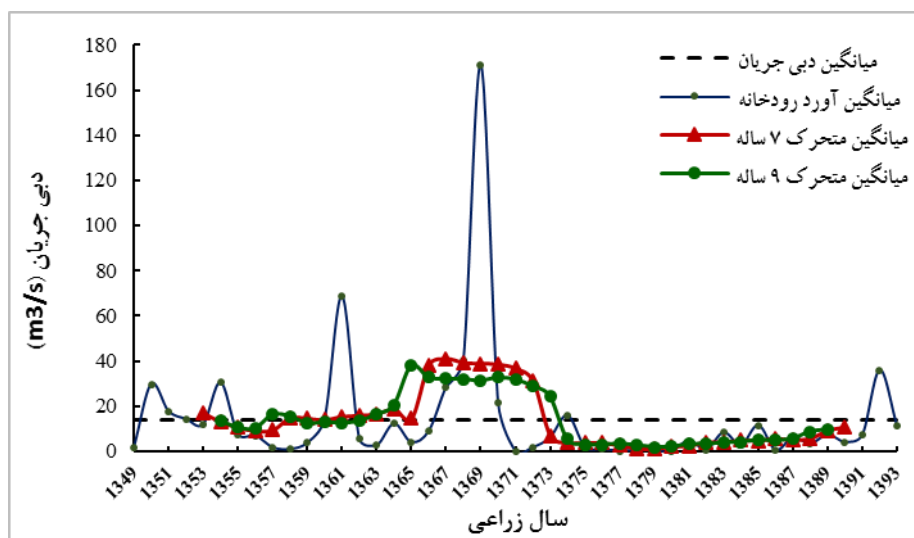
شکل ۳- روند تغییرات ۱۲ ماهه شاخص SPI در دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۳ در دشت سیستان

Figure 3. The trend of 12-month variations of SPI index during the years 1970-2014 in Sistan plain

دوره پربابی از سال ۱۳۷۳-۱۳۵۷ و یک دوره خشک سالی در سال های ۱۳۹۱-۱۳۷۴ مشاهده می شود. علاوه بر شاخص میانگین متحرک در این پژوهش، از شاخص SDI (شاخص جریان رودخانه ای) نیز برای ارزیابی خشک سالی هیدرولوژیکی استفاده گردید. شکل ۵ نشان دهنده وضعیت خشک سالی هیدرولوژی در محدوده مطالعاتی براساس این شاخص می باشد.

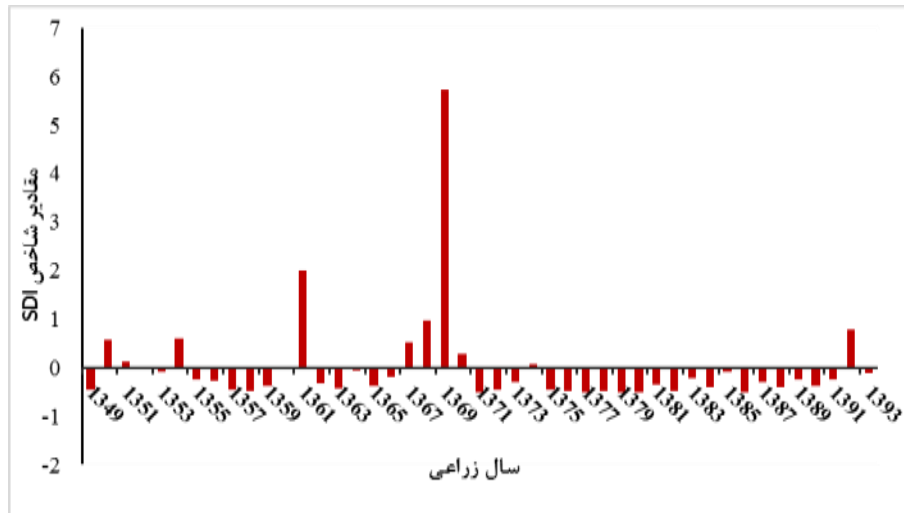
با توجه به تجزیه و تحلیل مقادیر دبی رودخانه هیرمند در دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۳، میانگین آورد رودخانه به میزان ۱۴/۱ مترمکعب در ثانیه با انحراف معیار ۲۷/۲ مترمکعب در ثانیه به دست آمد. کمترین میانگین دبی در سال ۱۳۸۰ برابر صفر و بیشترین مقدار آن در سال ۱۳۶۹ برابر ۱۷۱/۲ مترمکعب در ثانیه می باشد.

به منظور پایش خشک سالی هیدرولوژیکی، میانگین های متحرک ۷ و ۹ ساله مقادیر دبی رودخانه محاسبه گردید. شکل ۴ نشان دهنده این مقادیر می باشد. با استناد به شکل ۴ یک



شکل ۴- تغییرات میانگین متحرک دبی رودخانه در دشت سیستان (۷ و ۹ ساله)

Figure 4. Variations of moving an average of river discharge in Sistan plain (7 and 9 years)



شکل ۵- روند تغییرات ۱۲ ماهه شاخص SDI در دشت سیستان

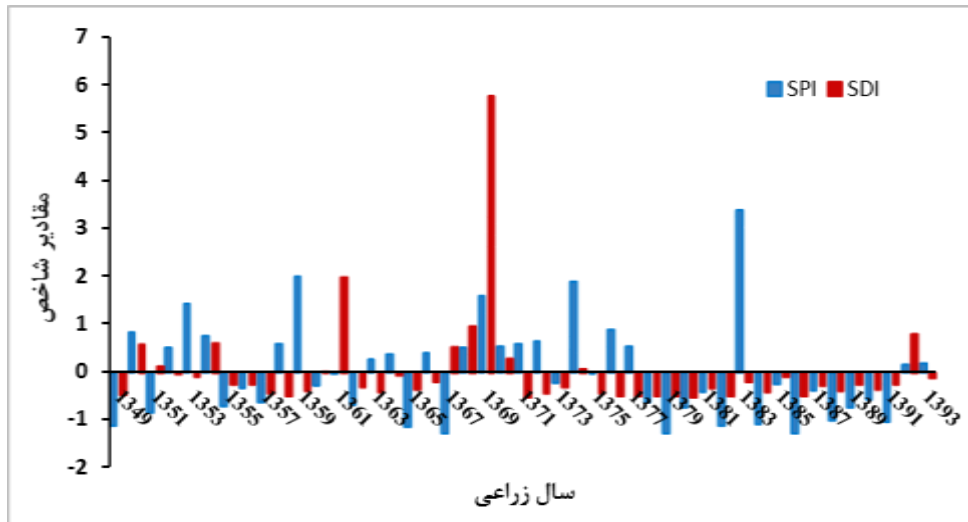
Figure 5. The trend of 12-month variations of SDI index in Sistan plain

شود. ضریب رگرسیون معادله مقدار ناچیز $0/08$ بوده و عرض از مبدأ آن تقریباً صفر می‌باشد و شیب خط براساس تحلیل‌های آماری صورت گرفته در سطوح احتمال 99% و 95% معنی‌دار نیست. به‌طور کلی می‌توان گفت به دلیل بالا بودن خطا و پایین بودن ضریب رگرسیون، رابطه بین دو خشک سالی در منطقه مورد مطالعه معنی‌دار نمی‌باشد. عدم تطابق بین خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در دو حوضه آبریز هم‌جوار در دامنه شمالی شیرکوه یزد نیز در گذشته گزارش شده است (۲۱).

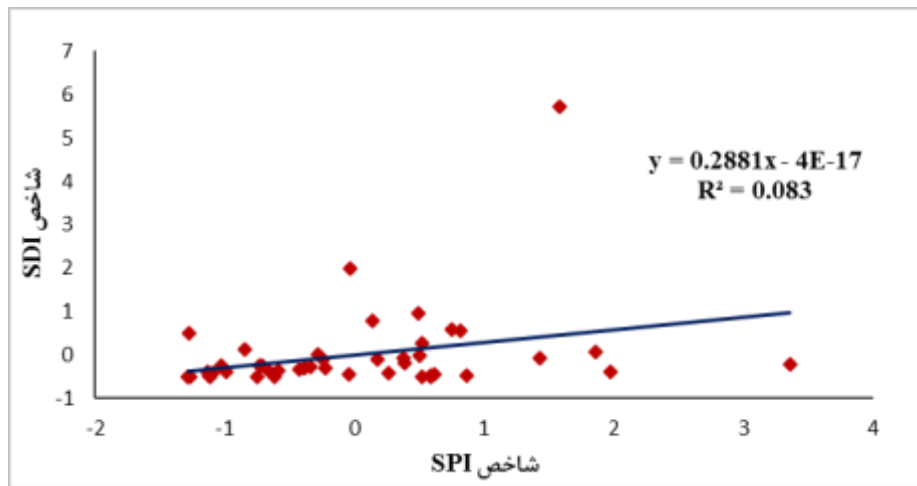
با توجه به شکل ۶ سال‌های $1378-1391$ به جز سال 1383 که طبق شاخص SPI تحت شرایط ترسالی قرار دارد، وضعیت خشک سالی پیوسته‌ای در منطقه برقرار بوده و دو شاخص مورد استفاده در این سال‌ها نتایج مشابهی دارند. به همین منظور ارتباط بین آن‌ها در طول این سال‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸ ضریب همبستگی معادله برازش داده شده بین دو شاخص، یعنی $0/61$ مقدار قابل قبولی بوده و براساس تحلیل‌های آماری، شیب خط و عرض از مبدأ آن در سطح 95% معنی‌دار می‌باشد. بنابراین در طول دوره خشک سالی، رابطه معنی‌داری بین خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در منطقه مورد مطالعه برقرار است، در حالی‌که در کل دوره چنین رابطه‌ای مشاهده نگردید.

همان‌طور که دیده می‌شود بالاترین شدت ترسالی در سال 1369 و بیش‌ترین میزان خشک سالی از سال 1375 تا سال 1391 می‌باشد. شاخص SDI برخلاف شاخص SPI نوسانات زیادی نداشته و وضعیت دشت سیستان را در دوره مورد مطالعه بیشتر در حالت خشک سالی ضعیف ارزیابی می‌کند. براساس نتایج شاخص‌های میانگین متحرک جریان و SDI می‌توان سال‌های $1367-1370$ را به عنوان دوره ترسالی و $1391-1375$ را دوره خشک سالی رخ داده در دشت سیستان معرفی نمود.

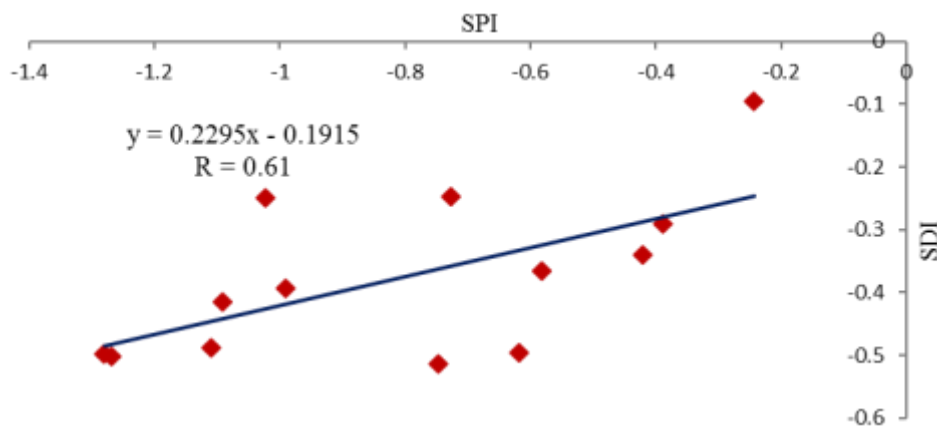
باتوجه به هدف پژوهش که بررسی رابطه خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در دشت سیستان می‌باشد، مقایسه‌ای بین دو شاخص SPI و SDI صورت گرفت که در شکل ۶ قابل مشاهده است. همان‌طور که دیده می‌شود در سال‌های زیادی دوشاخص روند مشابهی ندارند. به عنوان مثال در سال 1383 طبق شاخص SPI وضعیت منطقه در حالت ترسالی بوده در حالی‌که شاخص SDI در همان سال خشک سالی را نشان می‌دهد، باتوجه به خشک سالی پیوسته رخ داده از سال 1374 تا 1391 براساس نتایج حاصل از میانگین متحرک، شاخص SPI در مقایسه با SDI برای تشریح وضعیت خشک سالی منطقه مناسب نمی‌باشد. همچنین برای مقایسه آماری، معادله‌ای بین دو شاخص برازش گردید که نتیجه آن در شکل ۷ مشاهده می‌



شکل ۶- مقایسه بین شاخص های SPI و SDI در طول دوره مورد مطالعه در دشت سیستان
 Figure 6. The comparison between SPI and SDI during the study period in Sistan plain



شکل ۷- رابطه خطی بین شاخص های SPI و SDI در دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۳ در محدوده مطالعاتی
 Figure 7. A linear relationship between SPI and SDI during 1970-2014 in the study area



شکل ۸- رابطه خطی بین خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در دوره خشک سالی طی سال های ۱۳۷۸-۱۳۹۱
 Figure 8. A linear relationship between meteorological and hydrological drought in the dry period during 1999-2012

باتوجه به حجم کم بارش و نقش جریان‌های سطحی در تامین آب منطقه، تغییرات زیاد شاخص SPI در طول دوره مطالعاتی و شواهد خشک سالی، شاخص SDI جهت ارزیابی وضعیت خشک سالی دشت سیستان مناسب‌تر است. بنابراین خشک سالی هیدرولوژی سازگاری بیشتری با وضعیت خشک سالی در منطقه مورد مطالعه دارد.

Reference

1. Darbandi, S., Kaveh, F., Fakhery Fard, A., Sedgi, H., Kamali, Gh., 2008. Introducing of a New Index for Agricultural Drought Severity Evaluating on the Basis of Relative Yield, Journal OF Agricultural Sciences, Vol. 1(13), pp. 107-123. (In Persian)
2. Khosh Akhlagh, F., Ranjbar, F., Tolabi, S., Moghbel, M., Masoom pour, J., 2011. Investigation of drought through water years 2008-2009 and its impacts on water and agricultural water (case study: Marvdasht city), Journal of the Iranian Geographical Association, Vol. 24, pp. 119-135
3. Heim JR, R.R., 2002. A Review of Twentieth-century Drought Indices Used in the United States, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 83(8), pp. 1149-1165.
4. Guttman, N.B., 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index, Journal of American Water Resource Association. Vol. 34(1), pp. 113-121.
5. Noohi, K., Asgary, A., 2006. The study of drought and return period of wet and dry years in Qom region, Journal of aridity and drought, Vol. 15, pp. 47-64.
6. Alavi Nia, S., Sadati Nejad, S., Abdollahi, Kh., 2012. Presentation of

به طور کلی می توان بیان نمود در منطقه مورد مطالعه تنها میزان بارش سالانه نشان دهنده شدت خشک سالی نبوده و تأثیر عوامل جوی دیگر بر خشک سالی به خصوص در مناطق کم باران بایستی در نظر گرفته شود. در مناطقی مانند دشت سیستان که به لحاظ موقعیت جغرافیایی در ناحیه خشک واقع شده و در معرض بادهای تند قرار دارد، خشک سالی تنها تابع بارندگی نمی تواند باشد (۱۰). باتوجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی دشت سیستان و مقدار ناچیز بارندگی، کشاورزی منطقه وابستگی کاملی به رودخانه هیرمند داشته که قطع آب آن در اثر خشک سالی هیچ مفهومی به جز نابودی اراضی کشاورزی و از بین رفتن دام و مهاجرت در منطقه ندارد (۷). از آنجاییکه بخش وسیعی از حوزه آبریز دشت سیستان در خارج کشور و در خاک افغانستان قرار گرفته و داده‌های بارش آن در دسترس نمی باشد، بررسی داده های رواناب در ایستگاه هیدرومتری رودخانه سیستان می‌تواند عکس العمل حوزه بالادست را به بارندگی نشان دهد و با در نظر گرفتن نقش حیاتی رودخانه هیرمند در تامین منابع آب دشت سیستان، خشک سالی هیدرولوژی بهتر از خشک سالی هواشناسی می-تواند وضعیت خشک سالی را در دشت سیستان نشان دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج پایش خشک سالی دشت سیستان و بررسی ارتباط بین خشک سالی های هواشناسی و هیدرولوژی براساس شاخص‌های SPI, SDI و میانگین متحرک در این تحقیق نشان داد که:

- یک دوره ترسالی از ۱۳۶۷-۱۳۷۰ و یک دوره خشک سالی از ۱۳۷۸-۱۳۹۱ رخ داده است.
- در کل دوره مطالعاتی شاخص‌های خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در سطوح ۹۹٪ و ۹۵٪ با یکدیگر تطابق ندارند.
- در دوره خشک سالی، بالا بودن ضریب همبستگی و معنی‌داری ضرایب معادله در سطح ۹۵٪ بیان‌گر تطابق بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی در منطقه مورد مطالعه است.

- Water Engineering, Vol. 11(3), pp. 96-114.
13. Piri, H., Ansari, H., 2013. Study of drought in Sistan Plain and its impact on Hamoun international wetland. *Wetland Ecobiology*, Vol. 5(1), pp. 63-74.
 14. Hossein Zadeh Talaei, P., Zare Abiane, H., Maroofi, S., 2010. Evaluation of hydrological drought using streamflow drought index (SDI), National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Rey city. Tehran, Iran.
 15. Fatehi Marj, A., Heidarian, S. A., 2014, Investigation of meteorological and hydrological drought using GIS in Khuzestan Province, *Iranian Journal of Watershed Management Science*, Vol. 7(23), pp. 19-32.
 16. Shokrikochak, S., Behnia, A., 2013. Monitoring and Prediction of Khuzestan Province, Iran Drought Using SPI drought Index and Markov Chain, *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, Vol. 36(3), pp. 1-12.
 17. Eslami, A., Shokoohi, A., 2013. Analysis of streamflow conditions using hydrologic environmental drought index, *Journal of Watershed Engineering and Management*, Vol. 5(2), pp. 125-133.
 18. Fathzadeh, A., Ebdam, S., Beginner, S., Salari, Z., 2013. Evaluation of hydrological drought using streamflow drought index (SDI). The 9th National Conference on Watershed Management in Iran. Yazd, Iran.
 19. Dehban, H., Ebrahimi, K., Araghinejad, Sh., 2015. Introduction and Assessment of a New Drought Monitoring Index, MRDI (Case Study: the model to simulate the hydrological drought in Karoon basin, *Environmental Erosion Researches*, Vol. 1(1), pp. 1-11.
 7. Azadeh, F., Chabokroo, G., Akbari, S, M., 2010. Negative impacts of drought and solutions to deal with it (case study: Sistan), National Conference on Water Crisis Management. The Islamic Azad University of Marvdasht, Fars, Iran.
 8. Mokhtary, D., Iraj, S., 2008. Analysis of Drought and Domestic Socio-Economic Dimensions and its Impact on Rural Households in Sistan, Sixth Iranian Agriculture Economics Conference.
 9. Rahimi, D., Movahedi, S., Barghi, H., 2010. Assessment of Drought Severity Using Normal Precipitation Index (Case study Sistan and Baluchestan Province), *Journal of Geography and Environmental Planning*, Vol. 20(4), pp. 43-56.
 10. Karimi Nazar, M., Moghaddam Nia, A., Mosaedi, A., 2011. Investigation of climatic factors affecting the occurrence of drought (Case study: Zabol Region), *Journal Water and Soil Conservation*, Vol. 17(1), pp. 145-158.
 11. Ansari, H., Erfanian, M., Naderian Far, M., 2011. The evaluating of drought zoning models in various time scales case study: Sistan and Balouchestan Province, *Journal Water and Soil Conservation*, Vol. 18(1), pp. 59-79.
 12. Piri, H., Rahdri, V., Maleki, S., 2014. Study and compare the performance of four meteorological drought index in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan province, *Iranian Journal OF Irrigation and*

- world. Impact of climate and physical catchment structure. *Hydrology and Earth System Sciences Journal*, Vol. 17, pp. 1715-1732.
25. Azareh, A., Rahdari, M.R., Rafidi, S.E., Moghadam. A.F., 2014. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam Basin. *European Journal of Experimental Biology*, Vol. 4(3), pp. 102-107.
26. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. In Proc, 9th Conf. on Applied Climatology. January 15-20. American Meteorological Society, Massachusetts, 233-236.
27. Nalbantis, I. and Tsakiris, G., 2009. Assessment of hydrological drought revisited, *Journal of Water Resource Management*, Vol. 23, pp. 881-897.
28. Das, G., 2000. Hydrology and soil conservation engineering. Prentice-Hall of India Private Limited Pub. 489 pp.
- Gorganroud Basin, Iran), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, Vol. 46(1), pp. 19-30.
20. Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamnia, A., Malekian, A., 2015. Assessment of drought hazard index using standardized precipitation index (Case Study: Semnan province, Iran), *Research and Scientific Journal of Agricultural Meteorology*, Vol. 3(1), pp. 57-66.
21. Mozafari, G., 2006. An unconformity in meteorological and hydrological drought in two neighboring basins at North Mountain slope of Shirkoh Yazd, *Journal of Modarres Human Sciences*, Vol. 10(48), pp. 173-190.
22. Babai, H., Araghinejad, Sh., Hoorfar, A., 2011. Time interval identification of the occurrences of meteorological and hydrological droughts in Zayandeh-Rud basin, *Arid Biom Scientific and Research Journal*, Vol. 1(3), pp. 1-12.
23. Nalbantis, I., 2008. Evaluation of a Hydrological Drought Index. *European Water Resources Association*, Vol. 23(24), pp. 67-77.
24. Van Lanen, H., Wanders, N., Tallaksen, L. M. and Van Loon, A., 2013. Hydrological drought across the