تحلیل روند خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI در حوزه آبریز رودخانه الشتر

آرین حیدری مطلق[1*]، یاسر سبزواری[2]، علی حیدر نصرالهی[3]

۱*- دانشجوی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه لرستان، ایران (*aryanheidari74@yahoo.com*)

۲- دانشجوی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه لرستان، ایران (*Yasersabzevari1511@gmail.com*)

۳- استادیار گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه لرستان، ایران (*aliheidar200@gmail.com*)

چکیده

تاثیر خشکسالی و ترسالی بر نوسانات پایه و کل جریان رودخانه، نقش عمده‌ای را در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از منابع آب حوزه دارد و سیستم‌های پایش در تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت آن از اهمیت زیادی برخوردار است به این منظور از شاخص‌های خشکسالی برای بیان کلی این پدیده استفاده می‌شود و خشکسالی هیدرولوژیکی حائز اهمیت است. در این بررسی به منظور پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه رودخانه الشتر واقع در استان لرستان شاخص SDI مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از آمار آبدهی رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری الشتر طی دوره آماری ۲۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۵) برای چهار دوره زمانی ۳، ۶، ۹ و سالانه استفاده گردید. نتایج نشان داد که شدت خشکسالی رخ داده در طول ۲۱ سال آبی در ۴ رده فاقد خشکسالی، ملایم، متوسط و شدید قرار داشته است، هم‌چنین غالب خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در طول دوره مورد بررسی با شدت ملایم به وقوع پیوسته است. مقایسه شاخص SDI با دوره‌های ۳، ۶، ۹ و سالانه، شدت‌های خشکسالی متفاوتی نشان دادند بطوری که SDI ۹ ماهه خشکسالی رخ داده بیشتری را نسبت به سایر دوره‌ها نشان می‌دهد، از همین رو ۱۳ سال از دوره ۲۱ ساله (معادل ۶۲ درصد آن)، رودخانه با خشکسالی مواجه بوده است. در طول دوره ۲۱ ساله، خشکسالی خیلی شدید، در حوزه آبریز رودخانه الشتر به وجود نیامده است بالاترین شدت خشکسالی رخ داده در حوزه آبریز رودخانه الشتر در طول دوره مورد بررسی در سال‌های آبی (۱۳۷۹-۱۳۷۸)، (۱۳۸۰-۱۳۷۹)و (۱۳۸۰-۱۳۸۱)رخ داده است. در بقیه سالها شرایط خشکسالی از درجه (ملایم و فاقد خشکسالی) برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیکی، جریانات رودخانه، الشتر، شاخص SDI

مقدمه

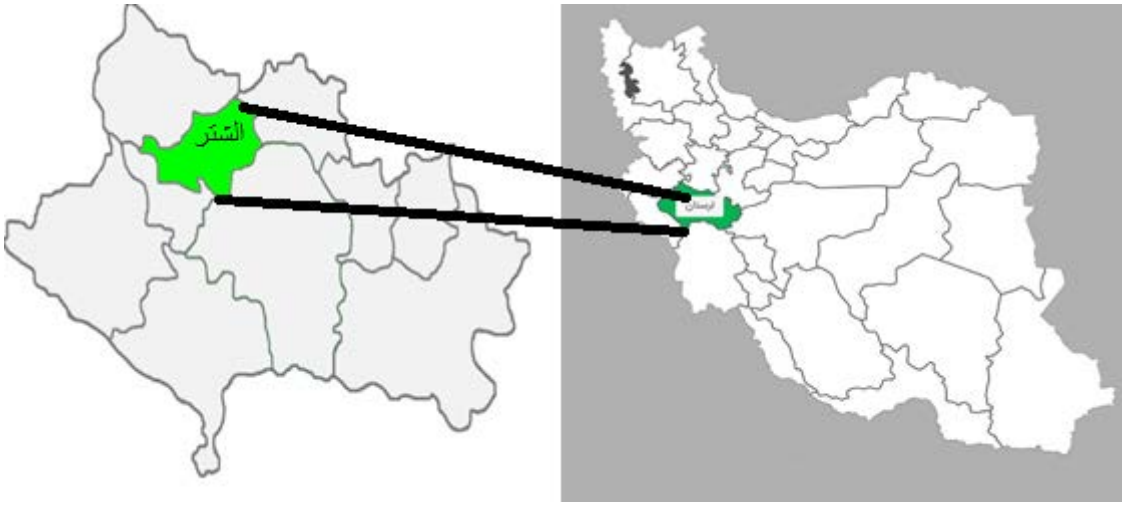
خشکسالی پدیده‌ای است که در اثر کمبود طبیعی رطوبت خاک و بی‌نظمی رژیم بارشی در منطقه ایجاد می‌گردد (مرادی و همکاران، ۱۳۸۶) و می‌تواند بخش‌های مختلف زندگی انسان و محیط زیست را تحت تاثیر قرار دهد و بر این اساس مستقیما به مسئله کمبود آب مرتبط می‌باشد (Tigkas et al, 2012). در شرایط واقعی در صورت وقوع این پدیده، امکان اجتناب از آن وجود ندارد ولی نکته مهم نحوه مدیریت این پدیده در هنگام وقوع در یک منطقه است و به گونه‌ای باید صورت پذیرد که اثرات اقتصادی-اجتماعی و سیاسی حاصل از آن به حداقل برسد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). دخالت متغیرهای مختلف به صورت مستقیم و غیرمستقیم در رخداد خشکسالی، تعریف این واژه را مشکل نموده و به همین جهت تاکنون تعریف جامع و قابل قبولی از آن برای همه محققان عنوان نگردیده است. یکی از جامع‌ترین تعاریف پالمر در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است. به نظر وی خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). خصوصیات خشکسالی از یک منطقه به منطقه دیگر تفاوت دارد اما در مناطقی که از نظر اقلیمی به طور نامنظم توسط سیستم‌های آب و هوایی مختلف تحت تاثیر قرار می‌گیرد، حادتر است (Thampson, 1999). این رخداد به انواع هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود (Wilhite & Glantz, 1985). خشکسالی هیدرولوژیکی که به مفهوم کمبود جریان آب نسبت به مقدار نرمال تعریف می‌شود و از رویدادهای طبیعی و تکرار پذیر در هر اقلیم محسوب می‌شود. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که خشکسالی هواشناسی مدت زیادی ادامه پیدا کند و حجم جریان رودخانه‌ها یا سطح آب‌های زیرزمینی کاهش یابد. بدون تردید نخستین گام جهت مقابله با خشکسالی و پیامدهای آن، شناخت این پدیده و تاثیرات ناشی از آن در ابعاد مختلف است تا بتوان بر اساس آن راهبردها و راهکارهای اثر بخشی را دراین زمینه بکار گرفت (وفاخواه و رجبی، ۱۳۸۴). در این زمینه پژوهش‌های متعددی به انجام رسیده است که در ذیل به تعدادی ازآنها اشاره می‌گردد. Edossa et al (2010) در حوزه رودخانه آواش اتیوپی برای آنالیز مکان و زمان خشکسالی هواشناسی از شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در جریان رودخانه و برای آنالیز شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی به طور متوسط با تاخیر ۷ ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ داده است. سلیمانی و بهرمند، (۱۳۹۱) با استفاده از خشکسالی جریانات رودخانه‌ای به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز هلیل رود پرداخته اند. نتایج نشان داد خشکسالی در سراسر حوزه رخ داده است و بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی، در جنوب حوزه متمرکز شده است. مفیدی و همکاران (۱۳۹۱) از شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI)[1] جهت ارزیابی و تحلیل زمان وقوع خشکسالی‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد خشکسالی سبب کاهش جریان آب‌های سطحی شده است. نصرتی، (۱۳۹۱) به تحلیل منطقه‌ای خشکسالی هیدرولوژیکی رودخانه گاماسیاب در استان همدان با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه‌ای (SDI) پرداختند. نتایج نشان داد میانگین منطقه‌ای شاخص جریان پایه سالانه، با میزان ۰,۶۵ با مقدار انحراف معیار ۰,۱۹ در دوره آماری بلند مدت ثابت بوده است. فتح‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبریز ارس با استفاده از شاخص خشکسالی رودخانه (SDI) در دوره ۳۶ ساله مطالعه شده به جز در سال ۸۰-۷۹ که خشکسالی در دو ایستگاه در وضعیت شدید و خیلی شدید بوده است در بقیه سال‌ها خشکسالی شدیدی مشاهده نشده است و بیشتر سال‌ها در وضعیت نرمال بوده است. سهیلی و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل روند خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مناطق نیمه خشک ایران در حوزه آبخیز سد درودزن در طی چهار دهه اخیر انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که هر دو خشکسالی روند افزایشی داشته‌اند، این روند افزایشی در ارتباط با SDI در همه سری‌ها و در مورد SPI[2] در سری بلند مدت (۱۸-۱۲-۹) ماهه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. مصباح‌زاده و سلیمانی، (۱۳۹۷) بررسی روند زمانی خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه جهت ارزیابی و تحلیل وقوع زمان وقوع خشکسالی استفاده شده است. نتایج نشان داد رابطه زمان وقوع خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی با یکدیگر در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. و این همبستگی در بازه ۴۸ ماهه حداکثر است. هدف از انجام این پژوهش، پایش خشکسالی هیدرولوژیکی ۲۱ ساله حوزه آبریز رودخانه الشتر با استفاده از شاخص SDI سه ماهه، شش ماهه، نه ماهه و سالانه، می‌باشد.

1Streatn flow Drought Index
2 Standardicend Precipitation

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز الشتر با مساحت ۷۹۵ کیلومتر مربع در ۶۰ کیلومتری شمال غربی شهر خرم‌آباد، واقع شده است که از نظر موقعیت جغرافیایی در ۲۷ دقیقه و ۴۸ درجه شرقی و ۳۲ دقیقه و ۳۳ درجه شمالی قرار دارد. از نظر ژئومورفولوژیکی این حوزه به دو واحد کوه و دشت تقسیم می‌شود. رودخانه الشتر یکی از رودخانه‌های دائمی است، که از دامنه‌های جنوبی رشته ارتفاعات گگرین که یکی از کانون‌های آبگیری دائمی در لرستان می‌باشد سرچشمه گرفته، و تحت نام کهمان به طرف غرب جریان یافته و از میان دره تنگی می‌گذرد و روستای کرجان، دره تنگ، کهمان علیا و سفلی را مشروب می‌کند. متوسط آبدهی این رودخانه در محل خروجی از محدوده ۲۶۱,۹ میلیون متر مکعب برآورد شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی رودخانه الشتر در استان لرستان و کشور می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز رودخانه الشتر در استان لرستان و ایران

در این تحقیق جهت ارزیابی خشکسالی از اطلاعات ایستگاه هیدرومتری حوزه رودخانه الشتر طی دوره آماری ۲۱ سال (۱۳۹۵-۱۳۷۵) استفاده شد. شاخص خشکسالی SDI با استفاده از نرم‌افزار DrinC[3] مورد محاسبه قرار گرفت.

شاخص خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI)

در این روش فرض می‌شود سری‌های زمانی حجم جریان‌های رودخانه‌ای ماهانه به صورت Q_{ij} موجود می‌باشد که در آن اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک می‌باشد. اساس این سری‌ها بر پایه روابط زیر می‌باشد.

$$V_{ik} = \sum_{i=1}^{jk} Qij \qquad i = 1,2 \ldots\ldots \qquad j = 1,2 \ldots\ldots,12 \qquad k = 1,2,3,4,5,6 \qquad (1)$$

$$SDI = \frac{(V_i - \bar{V})}{S} \qquad (۲)$$

که در آن SDI شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی، V_i حجم آورد تجمعی رودخانه برای هر سال آماری در بازه زمانی (۳ ماهه، ۶ ماهه، ۹ ماهه و یا سالانه)، V میانگین حجم آورد تجمعی رودخانه در طول دوره آماری برای بازه زمانی مورد نظر، S انحراف معیار حجم آورد تجمعی رودخانه در طول دوره آماری برای بازه زمانی مورد نظر می‌باشد.

با توجه به اطلاعات جدول (۱)، حدود خشکسالی هیدرولوژیک تعیین می‌شود که در چهار رده (فاقد خشکسالی، ملایم، متوسط، شدید و بسیار شد) برای بازه زمانی مورد نظر در طول دوره آماری مختلف مشخص می‌شود.

3 Drought Indices Calculator

جدول ۱- طبقه بندی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱)

حالت	محدوده	وضعیت خشک سالی
۰	$0 \leq SDI$	فاقد خشک سالی
۱	$-1 \leq SDI < 0$	خشکسالی ملایم
۲	$-1/5 \leq SDI < -1$	خشکسالی متوسط
۳	$-2 \leq SDI < -1/5$	خشکسالی شدید
۴	$SDI < -2$	خشکسالی خیلی شدید

نرم‌افزار DrinC

DrinC یک مدل مناسب جهت محاسبه شاخص‌هایی است که این شاخص‌ها را با در نظر گرفتن تمام عوامل از طریق روابط انعطاف‌پذیر و ارائه خروجی ساده و قابل فهم، محاسبه می‌کند و بر اساس آن می‌توان شدت خشکسالی را تجزیه و تحلیل و هم‌چنین روند خشکسالی را پیش‌بینی نمود (Surendran et al, 2017).

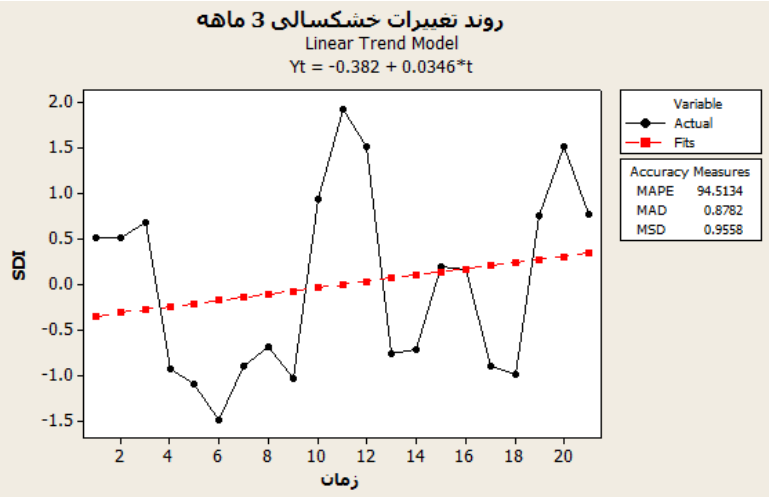
نتایج و بحث

جدول ۲ نشان دهنده وضعیت خشکسالی و مقادیر شاخص SDI ۳ ماهه برای ۲۱ سال آبی می‌باشد. مقدار این شاخص در بازه (۱/۴۹- تا ۱/۹۳) متغییر می‌باشد که حداقل آن در سال (۱۳۸۱-۱۳۸۰) و حداکثر آن برای سال (۱۳۸۶-۱۳۸۵) می‌باشد. با توجه به این شاخص ۱۱ سال در رده فاقد خشکسالی، ۷ سال در رده ملایم و ۳ سال در رده متوسط قرار دارد.

جدول۲- شاخص وضعیت خشکسالی برای دوره‌های ۳ ماهه

سال آبی	SDI	وضعیت خشکسالی
۱۳۷۶-۱۳۷۵	۰/۵۲	فاقد خشکسالی
۱۳۷۷-۱۳۷۶	۰/۵۲	فاقد خشکسالی
۱۳۷۸-۱۳۷۷	۰/۶۸	فاقد خشکسالی
۱۳۷۹-۱۳۷۸	-0/93	خشکسالی ملایم
۱۳۸۰-۱۳۷۹	-1/10	خشکسالی متوسط
۱۳۸۱-۱۳۸۰	-1/49	خشکسالی متوسط
۱۳۸۲-۱۳۸۱	-0/90	خشکسالی ملایم
۱۳۸۳-۱۳۸۲	-0/69	خشکسالی ملایم
۱۳۸۴-۱۳۸۳	-1/04	خشکسالی متوسط
۱۳۸۵-۱۳۸۴	0/95	فاقد خشکسالی
۱۳۸۶-۱۳۸۵	1/93	فاقد خشکسالی
۱۳۸۷-۱۳۸۶	1/52	فاقد خشکسالی
۱۳۸۸-۱۳۸۷	-0/77	خشکسالی ملایم
۱۳۸۹-۱۳۸۸	-0/72	خشکسالی ملایم
۱۳۹۰-۱۳۸۹	0/20	فاقد خشکسالی
۱۳۹۱-۱۳۹۰	0/16	فاقد خشکسالی
۱۳۹۲-۱۳۹۱	-0/90	خشکسالی ملایم
۱۳۹۳-۱۳۹۲	-0/99	خشکسالی ملایم
۱۳۹۴-۱۳۹۳	0/76	فاقد خشکسالی
۱۳۹۵-۱۳۹۴	1/52	فاقد خشکسالی
۱۳۹۶-۱۳۹۵	0/77	فاقد خشکسالی

در شکل ۲ نمودار روند تغییرات زمانی شاخص SDI ۳ ماهه مشاهده می‌شود. همان‌گونه که از شکل پیداست میزان این شاخص افزایشی بوده که شیب آن (+۰/۰۳۴۶) می‌باشد. بیشترین افزایش این شاخص بین سال‌های (۱۳۸۶-۱۳۸۵) و (۱۳۸۷-۱۳۸۶) و همچنین بیشترین کاهش در سال (۱۳۸۱-۱۳۸۰) اتفاق افتاده است.



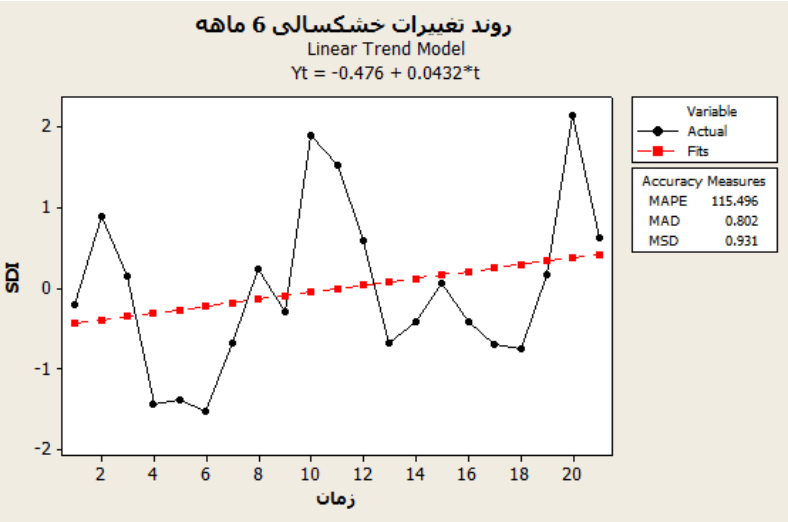
شکل ۲- نمودار روند تغییرات شاخص خشکسالی برای دوره‌های ۳ ماهه

جدول ۳ نتایج حاصل از وضعیت خشکسالی و مقادیر شاخص طول دوره مورد بررسی را در گام‌های ۶ ماهه نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص از (۱/۵۳- تا ۲/۱۵) متغیر می‌باشد که حداقل این مقدار در سال (۱۳۸۱-۱۳۸۰) و حداکثر آن در سال (۱۳۹۵-۱۳۹۴) قرار دارد. همچنین با توجه به این شاخص ۱۰ سال فاقد خشکسالی ۸ سال خشکسالی ملایم ۲ سال خشکسالی متوسط و ۱ سال خشکسالی شدید می‌باشد.

جدول۳- شاخص وضعیت خشکسالی برای دوره‌های ۶ ماهه

سال آبی	SDI	وضعیت خشکسالی
۱۳۷۶-۱۳۷۵	-0/20	خشکسالی ملایم
۱۳۷۷-۱۳۷۶	0/90	فاقد خشکسالی
۱۳۷۸-۱۳۷۷	0/16	فاقد خشکسالی
۱۳۷۹-۱۳۷۸	-1/43	خشکسالی متوسط
۱۳۸۰-۱۳۷۹	-1/38	خشکسالی متوسط
۱۳۸۱-۱۳۸۰	-1/53	خشکسالی شدید
۱۳۸۲-۱۳۸۱	-0/68	خشکسالی ملایم
۱۳۸۳-۱۳۸۲	0/24	فاقد خشکسالی
۱۳۸۴-۱۳۸۳	-0/28	خشکسالی ملایم
۱۳۸۵-۱۳۸۴	1/90	فاقد خشکسالی
۱۳۸۶-۱۳۸۵	1/54	فاقد خشکسالی
۱۳۸۷-۱۳۸۶	0/60	فاقد خشکسالی
۱۳۸۸-۱۳۸۷	-0/68	خشکسالی ملایم
۱۳۸۹-۱۳۸۸	-0/40	خشکسالی ملایم
۱۳۹۰-۱۳۸۹	0/08	فاقد خشکسالی
۱۳۹۱-۱۳۹۰	-0/40	خشکسالی ملایم
۱۳۹۲-۱۳۹۱	-0/69	خشکسالی ملایم
۱۳۹۳-۱۳۹۲	-0/75	خشکسالی ملایم
۱۳۹۴-۱۳۹۳	0/18	فاقد خشکسالی
۱۳۹۵-۱۳۹۴	2/15	فاقد خشکسالی
۱۳۹۶-۱۳۹۵	0/64	فاقد خشکسالی

شکل ۳ نشان دهنده نمودار روند تغییرات شاخص SDI ۶ ماهه در دوره مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که از شکل پیداست روند تغییرات افزایشی بوده که با شیب (+۰/۰۴۳۲) می‌باشد. بیشترین افزایش این شاخص بین سال‌های (۱۳۹۵-۱۳۹۴) و (۱۳۸۵-۱۳۸۴) می‌باشد که بیشترین کاهش از سال‌های (۱۳۷۹-۱۳۷۸) ، (۱۳۸۰-۱۳۷۹) و (۱۳۸۱-۱۳۸۰) می‌باشد.



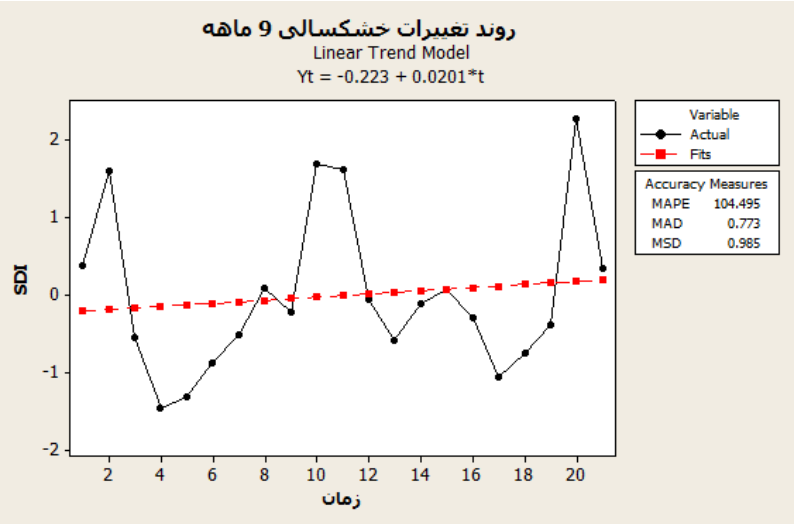
شکل ۳- نمودار روند تغییرات شاخص خشکسالی برای دوره‌های ۶ ماهه

جدول ۴ نتایج حاصل از وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی و مقادیر شاخص SDI ۹ ماهه در طول دوره ۲۱ سال آبی می‌باشد. مقادیر این شاخص از (۱/۴۶- تا ۲/۲۷) متغیر می‌باشد که حداقل آن در سال (۱۳۷۹-۱۳۷۸) و حداکثر آن در سال (۱۳۹۵-۱۳۹۴) قرار دارد. همچنین این شاخص ۸ سال در رده فاقد خشکسالی، ۱۰سال در رده ملایم و ۳ سال در رده متوسط اتفاق افتاده است.

جدول۴-شاخص وضعیت خشکسالی برای دوره‌های ۹ ماهه

سال آبی	SDI	وضعیت خشکسالی
۱۳۷۶-۱۳۷۵	0/39	فاقد خشکسالی
۱۳۷۷-۱۳۷۶	1/60	فاقد خشکسالی
۱۳۷۸-۱۳۷۷	-0/55	خشکسالی ملایم
۱۳۷۹-۱۳۷۸	-1/46	خشکسالی متوسط
۱۳۸۰-۱۳۷۹	-1/31	خشکسالی متوسط
۱۳۸۱-۱۳۸۰	-0/87	خشکسالی ملایم
۱۳۸۲-۱۳۸۱	-0/51	خشکسالی ملایم
۱۳۸۳-۱۳۸۲	0/09	فاقد خشکسالی
۱۳۸۴-۱۳۸۳	-0/21	خشکسالی ملایم
۱۳۸۵-۱۳۸۴	1/70	فاقد خشکسالی
۱۳۸۶-۱۳۸۵	1/62	فاقد خشکسالی
۱۳۸۷-۱۳۸۶	-0/05	خشکسالی ملایم
۱۳۸۸-۱۳۸۷	-0/58	خشکسالی ملایم
۱۳۸۹-۱۳۸۸	-0/11	خشکسالی ملایم
۱۳۹۰-۱۳۸۹	0/07	فاقد خشکسالی
۱۳۹۱-۱۳۹۰	-0/28	خشکسالی ملایم
۱۳۹۲-۱۳۹۱	-1/06	خشکسالی متوسط
۱۳۹۳-۱۳۹۲	-0/75	خشکسالی ملایم
۱۳۹۴-۱۳۹۳	-0/39	خشکسالی ملایم
۱۳۹۵-۱۳۹۴	2/27	فاقد خشکسالی
۱۳۹۶-۱۳۹۵	0/35	فاقد خشکسالی

شکل ۴ نشان دهنده نمودار روند تغییرات زمانی شاخص SDI ۹ ماهه می‌باشد. روند تغییرات با شیب (+۰/۰۲۰۱) در حال افزایش می‌باشد. بیشترین افزایش این شاخص بین سال‌های (۱۳۹۵-۱۳۹۴) و همچنین بیشترین کاهش در سال (۱۳۷۹-۱۳۷۸) می‌باشد.



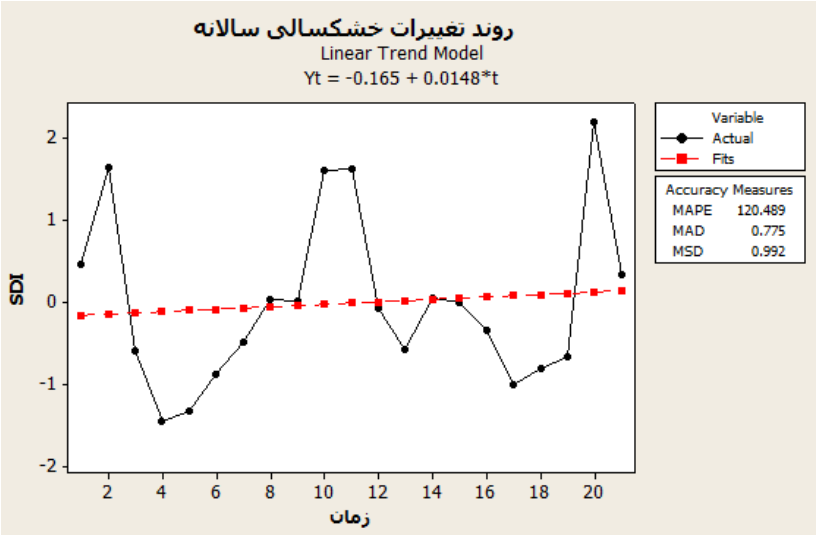
شکل ۴- نمودار روند تغییرات شاخص خشکسالی برای دوره‌های ۹ ماهه

در جدول ۵ نتایج طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی سالانه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از (۱/۴۵- تا ۲/۲۱) متغییر می‌باشد که حداقل آن در سال (۱۳۷۹-۱۳۷۸) و حداکثر آن در سال (۱۳۹۵-۱۳۹۴) قرار دارد. هم‌چنین با توجه به این شاخص ۱۰ سال در رده فاقد خشکسالی، ۸ سال در رده خشکسالی ملایم و ۳ سال در رده خشکسالی متوسط می‌باشد.

جدول۵-شاخص وضعیت خشکسالی برای دوره‌های سالانه

سال آبی	SDI	وضعیت خشکسالی
۱۳۷۶-۱۳۷۵	0/48	فاقد خشکسالی
۱۳۷۷-۱۳۷۶	1/66	فاقد خشکسالی
۱۳۷۸-۱۳۷۷	-0/58	خشکسالی ملایم
۱۳۷۹-۱۳۷۸	-1/45	خشکسالی متوسط
۱۳۸۰-۱۳۷۹	-1/33	خشکسالی متوسط
۱۳۸۱-۱۳۸۰	-0/87	خشکسالی ملایم
۱۳۸۲-۱۳۸۱	-0/49	خشکسالی ملایم
۱۳۸۳-۱۳۸۲	0/04	فاقد خشکسالی
۱۳۸۴-۱۳۸۳	0/03	فاقد خشکسالی
۱۳۸۵-۱۳۸۴	1/62	فاقد خشکسالی
۱۳۸۶-۱۳۸۵	1/64	فاقد خشکسالی
۱۳۸۷-۱۳۸۶	-0/07	خشکسالی ملایم
۱۳۸۸-۱۳۸۷	-0/56	خشکسالی ملایم
۱۳۸۹-۱۳۸۸	0/06	فاقد خشکسالی
۱۳۹۰-۱۳۸۹	0/01	فاقد خشکسالی
۱۳۹۱-۱۳۹۰	-0/33	خشکسالی ملایم
۱۳۹۲-۱۳۹۱	-1/01	خشکسالی متوسط
۱۳۹۳-۱۳۹۲	-0/79	خشکسالی ملایم
۱۳۹۴-۱۳۹۳	-0/65	خشکسالی ملایم
۱۳۹۵-۱۳۹۴	2/21	فاقد خشکسالی
۱۳۹۶-۱۳۹۵	0/35	فاقد خشکسالی

شکل ۵- نشان دهنده روند تغییرات سالانه خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI می‌باشد که با شیب (+۰/۰۱۴۸) در حال افزایش بوده که حداکثر آن مربوط به سال آبی (۱۳۹۵-۱۳۹۴) می‌باشد، و هم‌چنین حداقل آن مربوط به سال (۱۳۷۹-۱۳۷۸) و (۱۳۸۰-۱۳۷۹) می‌باشد.



شکل ۵- نمودار روند تغییرات شاخص خشکسالی برای دوره‌های سالانه

نتیجه گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد که غالب خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در طول دوره مورد بررسی با شدت ملایم رخ داده است، هم چنین بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه آبریز رودخانه الشتر، مربوط به شاخص با دوره ۹ ماهه بوده است بطوریکه ۱۳ سال از دوره ۲۱ ساله (معادل ۶۲ درصد آن)، رودخانه با خشکسالی مواجه بوده است. فراوانی وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبریز الشتر برای دوره‌های زمانی ماهه۳، ۶ ماهه و سالانه برابر ۱۱ سال (معادل ۵۲ درصد از دوره ۲۱ سال) بوده است. در طول دوره ۲۱ ساله، خشکسالی خیلی شدید، در حوزه آبریز الشتر به وجود نیامده است. بالاترین شدت خشکسالی رخ داده در حوزه آبریز رودخانه الشتر در طول دوره مورد بررسی در سال‌های آبی (۱۳۷۹-۱۳۷۸)، (۱۳۸۰-۱۳۷۹) و (۱۳۸۱-۱۳۸۰) مشاهده گردید. در بقیه سالها شرایط خشکسالی از درجه (ملایم و فاقد خشکسالی) برخوردار بوده است. محققانی همچون وردی اورد و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در دشت مشهد پرداخته‌اند که نتایج حاصل از این پژوهش که در طول دوره ۳۱ سال آماری به جز در یک سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۷۹ که خشکسالی شدیدی رخ داده است در بیشتر سال‌های مطالعه در وضعیت نرمال بوده است، همچنین عبادی فر و همکاران (۱۳۹۶) جهت بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی رودخانه کرگاانرود در استان گیلان پرداخته‌اند که در طول دوره آماری ۳۰ساله فقط در یک سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶ شاهد خشکسالی شدیدی بوده است و در بقیه سال‌ها خشکسالی در وضعیت نرمال بوده است.در پایان پیشنهاد می‌شود برای عبور از بحران خشکسالی ایجاد فرهنگ مصرف بهینه آب، استقرار سیستم‌های پیش آگاهی دهنده، مدیریت صحیح خطر و برنامه‌ریزی دقیق منابع آب به ویژه ذخیره آب در سال پر بارش بسیار مثمر ثمر خواهد بود.

منابع

- باقری، ر.، محمدی، ص. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات مکانی خشکسالی با استفاده از زمین آمار در استان کرمان در یک دوره آماری سی ساله، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۹ (۲): ۲۹۶-۲۸۳.
- سلیمانی سردو، ف.، بهرمند، آ. ۱۳۹۱. به تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI در حوزه هیل رود، پرداخته‌اند. مجله بین المللی تحقیقات منابع طبیعی3 ،. 288-280.
- سهیلی، ا.، ملکی‌نژاد، ح.، اختصاصی، م. ۱۳۹۶. "تحلیل روند خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مناطق نیمه خشک ایران حوزه آبخیز سد درودزن"، نشریه مدیریت بیابان شماره۹،بهار و تابستان ۱۳۹۶ صفحات ۴۵-۳۱.
- شفیعی، م.، ب.، قهرمان، ح.، انصاری. و م. ب. شریفی. ۱۳۹۰ . شبیهسازی تصادفی شدت خشکسالی براساس شاخص پالمر. مجله

مدیریت آب و آبیاری. ص ۱۳ -۱.

- عبادی فر، م.، قدرتی جوکندان،م.، و قدرتی جوکندان، ج. ۱۳۹۶. به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI در حوزه آبریز رودخانه کرگانرود. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران دانشگاه شهرکرد، تیر ۱۳۹۶.
- فتحزاده، ع.، ابدام، س.، بیگنه، س.، سالاری، ز. ۱۳۹۲. ارزیابی خشکسالی جریان هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI) در حوز آبخیز ارس. نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یزد دانشگاه یزد، سال ۱۳۹۲.
- مرادی، ح. ر.، رجبی، م.، فرجزاده،م. ۱۳۸۶. تحلیل روند وخصوصیات مکانی شدت خشکسالی استان فارس. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۴ (۱): ۹۷-۱۰.
- مصباحزاده، ط.، سلیمانی ساردو، ف. ۱۳۹۷. "بررسی روند زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه"، نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران سال دوازدهم- شماره۴۰- بهار ۱۳۹۷.
- مفیدی‌پور، ن.، بردی شیخ، و.، اونق، م. و سعیدالدین، ا. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع یبیعی ساری. ص ۲۵-۱۶.
- نصرتی، ک. ۱۳۹۱. تحلیل منطقه خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز سفید رود با بهره‌گیری از شاخص جریان پایه. مجله مرتع و آبخیز داری منابع طبیعی ایران تابستان ۱۳۹۱. ص ۲۶۷-۲۵۷.
- وفاخواه، م.، رجبی، م. ۱۳۸۴. "کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های حوزه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو"، بیابان (جلد ۱۰ شماره ۲ سال ۱۳۸۴).
- وردی آورد، آ.، آذرخشی، م.، مساعدی، ا.، فرزادمهر، ج. ۱۳۹۳. به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی به استفاده از شاخص SDI در دشت مشهد، دومین همایش ملی برنامه‌ریزی، حفاظت حمایت از محیط زیست و توسعه پایدار. تهران مرکز همایش‌های بین المللی دانشگاه شهید بهشتی. بهمن ۱۳۹۳.
- Edossa, D. C., Babel, M. S. and Gupta, A. D., 2010, Drought analysis in the Awash River basin, Ethiopia, Water Resource Manage, 24, 1441-146.
- Surendran, U. and Kumar, V. and Ramasubramoniam, S. and Raja, P. 2017. "Development of drought indices drought indices for semi-arid region using drought indices calculator (DrinC)–a case study from Madurai District, a semi-arid District, a semi-arid region in India" Water Resources Management, 31(11), 3593-3605.
- Thampson. Stephan A. 1999 Hydrology for water management, Balkema.
- Tigkas D, Vangelis H and Tsakiris G, 2012. Drought and climate change impact on streamflow in small watersheds. Science of the Total Environment 440: 33-41.
- Wilhite, D. A and Glantz, M. H.1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International. 10 (3): 111-120.