

## بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی

حسین ملکی نژاد<sup>۱\*</sup> و مهدی سلیمانی مطلق<sup>۲</sup>

### چکیده

تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک جایگاه خاصی در مدیریت بهینه منابع آب دارد. در این پژوهش، دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و SWI در حوضه چغلوندی، واقع در استان لرستان، بررسی و تأخیر زمانی بین رخداد خشکسالی هواشناسی و بدنبال آن خشکسالی هیدرولوژیک مشخص شد. برای این منظور، داده‌های ۱۸ ساله بارندگی هشت ایستگاه باران‌سنجی، آمار دبی دو ایستگاه هیدرومتری و داده‌های سطح ایستابی چاه‌های پیرومتری موجود استفاده شد. گستره و پهنه خشکسالی حوضه با روش کریجینگ در محیط ARCGIS ترسیم و روند خشکسالی با آزمون‌های من-کندال در محیط Minitab و Makesen و هم‌چنین روند خطی بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها بویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک آب‌های سطحی و زیرزمینی است. نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه گویای شدت بالای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در قسمت جنوبی و مرکز حوضه است.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، پهنه بندی خشکسالی، شاخص SPI، شاخص SWI، حوضه چغلوندی.

**ارجاع:** ملکی‌نژاد ح. و سلیمانی مطلق م. ۱۳۹۰. بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی. مجله پژوهش آب ایران. (۹۵): ۶۱-۷۲.

۱- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

\* نویسنده مسئول: [hmalekinezhad@vazduni.ac.ir](mailto:hmalekinezhad@vazduni.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۷

## مقدمه

نشان دادند که روند افزایشی تبخیر و دما و روند کاهشی مقدار بارش دو ایستگاه تبریز و ارومیه بر روی منابع آب تأثیر گذاشته است. در این تحقیق نشان داده شد که عامل دما و تبخیر دارای روند صعودی ولی عامل اقلیمی مقدار باران دارای روند منفی است که خود عامل تشدیدکننده کاهش منابع آبهای سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شود.

در پژوهشی که در مورد تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس انجام شده، نتیجه گرفته شد که، شدت خشکسالی در نواحی مرکزی استان بیشتر از سایر نواحی است و وجود روند در کلیه ایستگاه‌ها بجز ایستگاه چهار دانگه ظاهر شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۷). هدف اساسی از این تحقیق، مطالعه و بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی و همچنین روند یا عدم روند خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک و همچنین تعیین تأخیر زمانی احتمالی بین وقوع این دو نوع خشکسالی برای مدیریت منابع آب در حوضه چغلوندی است که از مهمترین حوضه‌های استان لرستان است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۱۸۱/۳ کیلومترمربع، بین عرض‌های ۰۷° ۲۳' ۳۳" تا ۳۲° ۵۱' ۳۳" شمالی و طول‌های ۵۲° ۱۱' ۴۸" تا ۴۸° ۲۲' ۵۹" شرقی در قسمت شمالی شهرستان خرم‌آباد در استان لرستان واقع شده است. بخش عمده‌ای از حوضه از نظر زمین‌شناسی دارای سازند آهکی توده‌ای سخت و یکپارچه مربوط به دوره زمین‌شناسی کرتاسه است و در قسمت میانی حوضه تراس‌های آبرفتی دوره کواترنر دیده می‌شود. موقعیت منطقه مورد مطالعه به‌همراه مکان پراکنش ۱۷ چاه پیژومتری و نقشه زمین‌شناسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

اقلیم منطقه بر اساس طبقه بندی سیلیانف اغلب دارای کلاس نیمه مرطوب و مرطوب است و بخش کوچکی از آن در کلاس نیمه خشک قرار دارد. میانگین بارندگی در این حوضه ۵۴۵ میلی‌متر بوده و از نظر کاربری اراضی دارای کاربری زراعی دیم، آبی و باغی است. حوضه دارای

کمبود منابع آب تهدید بزرگی برای اقتصاد و سطح زندگی مردم است و افزایش تقاضا برای منابع آب قابل دسترس موجب تشدید رقابت بهره‌برداران منابع آبی می‌شود که این مسأله باعث گسترش خشکسالی در حد شدید و خیلی شدید می‌شود (هیس‌دال و تالاکسن، ۲۰۰۳). خشکسالی را به چهار نوع اصلی یعنی خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی - اجتماعی می‌توان دسته‌بندی کرد (دراکوب و همکاران، ۱۹۸۰؛ گلانتز، ۱۹۸۵). لشنی‌زند (۱۳۸۳) در تحقیق خود با بکارگیری شاخص SPI نتیجه‌گیری کرد که به علت تبعیت این شاخص از توزیع نرمال، می‌توان وقایع خشکسالی شدید را برای هر محل و هر مقیاس زمانی طبقه‌بندی نمود. علی‌مرادی (۱۳۸۸) با بررسی وضعیت خشکسالی سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ بر منابع آبی استان ایلام با استفاده از شاخص SPI نشان داد که شدت خشکسالی از جنوب غرب به سمت شمال شرق افزایش و تأثیر بسیار شدیدی بر آبدهی رودخانه‌های استان ایلام و افت تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های آبرفتی داشته است. رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) خشکسالی هواشناسی استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از شاخص SPI و مدل زنجیره مارکف را مورد بررسی قرار دادند و احتمال وقوع خشکسالی را در مرکز استان بیش از ۷۰ درصد نشان دادند. محمدی (۱۳۸۷) نقشه‌های پهنه-بندی مکانی و زمانی خشکسالی آب زیرزمینی دشت اراک را با استفاده از شاخص SWI (شاخص سطح آب استاندارد) تهیه و نتیجه گرفت که بیشترین شدت خشکسالی در جنوب و شمال دشت بوده است.

بویان و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلف از جمله SWI و SPI بر اساس داده‌های سنجنده‌ها و داده‌های زمینی و شاخص SPI نشان دادند که وجود خشکسالی هواشناسی در یک دوره زمانی خاص، دلیلی بر وقوع خشکسالی هیدرولوژیک نیست.

معمولاً پایایی یا عدم پایایی خشکسالی‌ها با آزمون من-کندال بررسی می‌شود. صبحی و همکاران (۱۳۸۷)

های هواشناسی و آبشناختی از شاخص‌های SPI و SWI استفاده گردید تا امکان ارزیابی آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی میسر شده و نیز بتوان درباره شدت وقوع آن اظهار نظر نمود. این دو شاخص شبیه به هم بوده ولی طبقه‌بندی آنها عکس یکدیگر است. در ادامه به اجمال روش کار توصیف می‌شود.

#### شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی برازش داده می‌شود؛ معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود، سپس تابع جمعیتی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد ( ادوارد و مک‌کی، ۱۹۹۷؛ سونمز و همکاران، ۲۰۰۵). شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلندمدت توسط این شاخص برآورد می‌شود. طبقات مختلف SPI بر اساس نتایج مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) در جدول ۱ ارائه شده است.

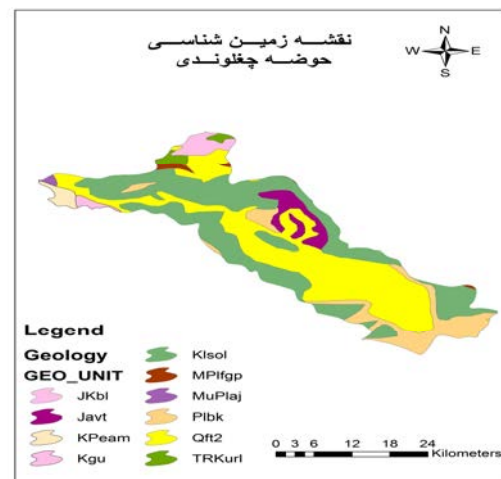
#### شاخص سطح آب استاندارد (SWI)

شاخص سطح آب استاندارد در سال ۲۰۰۴ توسط بویان جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده (بویان، ۲۰۰۴) و بر اساس معادله ۱ محاسبه می‌شود:

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

که در آن  $W_{ij}$ : سطح ایستایی چاه‌های پیرومتری  $i$  تا  $j$  ،  $W_{im}$ : میانگین ماهانه سطح ایستایی و  $\sigma$ : انحراف از معیار می‌باشد (بویان، ۲۰۰۴). مقادیر مثبت SWI نشان دهنده خشکسالی و مقادیر منفی نشان دهنده عدم خشکسالی و شرایط نرمال می‌باشد (جدول ۱).

شبکه آبراهه‌ای گسترده بوده و رودخانه‌های دائمی در آن جریان دارند در این تحقیق از آمار بارندگی هشت ایستگاه باران‌سنجی در داخل و خارج حوضه چغلوندی با در نظر گرفتن شرایط آماری و پراکنش مناسب بر اساس نقشه پلی‌گون‌بندی تیسن با دوره آماری مشترک ۱۸ سال استفاده شده است. همچنین از آمار دبی دو ایستگاهی چاه‌های پیرومتری موجود با همان طول دوره آماری استفاده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش چاه‌های پیرومتری و نقشه زمین‌شناسی حوضه

در ابتدا برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی و از روش جرم مضاعف برای همگنی داده‌ها بهره گرفته شده است، سپس برای بررسی روند تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه و تحلیل کمی خشکسالی-

$$E(S) = 0 \quad (۴)$$

$$v(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2t+5)}{18} \quad (۵)$$

میزان نمره استاندارد شده  $Z$  از معادله ۶ قابل محاسبه است:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\text{var}(s)} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\text{var}(s)} & s < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

چنانچه مقدار  $Z$  بزرگتر از  $+1/96$  و یا کوچکتر از  $-1/96$  باشد، داده‌ها دارای روند می‌باشند و فرض صفر رد می‌شود در غیر این صورت داده‌ها بدون روند می‌باشند (علیزاده، ۱۳۸۵).

### نتایج و بحث

وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی

شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه محاسبه شد. بعنوان نمونه نتایج وضعیت خشکسالی در ایستگاه باران سنجی کاکارضا در شکل ۲ آورده شده است. بدلیل وجود ماه‌های بدون باران در فصل تابستان شاخص SPI در مقیاس ۶ تا ۴۸ ماهه مورد بررسی قرار گرفت. وجود داده‌های صفر محاسبه شاخص SPI را با مشکل مواجه می‌کند و ارزیابی ماهانه قابل انجام نخواهد بود (بذر افشان، ۱۳۸۱). مقیاس ۶ ماهه SPI نشان داد که شدیدترین خشکسالی در خردادماه ۸۷ رخ داده و بیشترین تداوم خشکسالی در ۵ ماهه اول ۸۷ اتفاق افتاده است. تحلیل بلندمدت، دوره‌های تر و خشک را شفاف‌تر نشان می‌دهد. این مطلب دقیقاً با تحلیل SPI ۱۲ ماهه از داده‌های بارندگی ایستگاه کاکارضا مطابقت دارد بطوری‌که ۵ دوره تر و ۴ دوره خشک قابل تشخیص است. از آنجا که مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و بالاتر ترسالی‌ها و خشکسالی هیدرولوژیک را نشان می‌دهد (باروتی و همکاران،

### جدول ۱- طبقه‌بندی شدت شاخص‌های SPI و SWI

مقادیر SWI (بویان ۲۰۰۴)	مقادیر SPI (مک کی ۱۹۹۳)	طبقه خشکسالی
< ۰	> ۰	بدون خشکسالی
۰ تا ۰/۹۹	۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
۱ تا ۱/۴۹	۱- تا ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
۱/۵ تا ۱/۹۹	۱/۵- تا ۱/۹۹	خشکسالی شدید
>= ۲	<= -۲	خشکسالی بسیار شدید

### پهنه بندی حوضه از نظر شدت خشکسالی

برای تهیه نقشه‌های خشکسالی در حوضه چغلوندی، ابتدا با وارد نمودن مقادیر ماهانه در نرم افزار DIP (مرید و همکاران، ۱۳۸۴)، مقادیر SPI داده‌های بارش برای سری زمانی ۱۲ ماهه محاسبه شد. مقادیر SWI از داده‌های سطح ایستایی چاه‌های پیژومتری نیز مانند مقادیر SPI به کمک نرم افزار DIP و Minitab محاسبه گردید. سپس با انتخاب یک ماه معینی که کمترین میانگین SPI و ماه مشخصی که بیشترین میانگین SWI را در طول دوره آماری داشته است؛ بطور جداگانه برای یک یا دو سال نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در نرم افزار ARCGIS به روش درون‌یابی کریجینگ ترسیم شد.

### آزمون من‌کندال

به منظور بررسی و تحلیل روند خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری از آزمون من‌کندال استفاده شد. محاسبه این آزمون به کمک نرم افزار Minitab و Makesen انجام شده است. آزمون من-کندال با تعریف آماره  $S$  به شکل معادله ۲ تعریف می‌شود (یوو و همکاران، ۲۰۰۲).

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (۲)$$

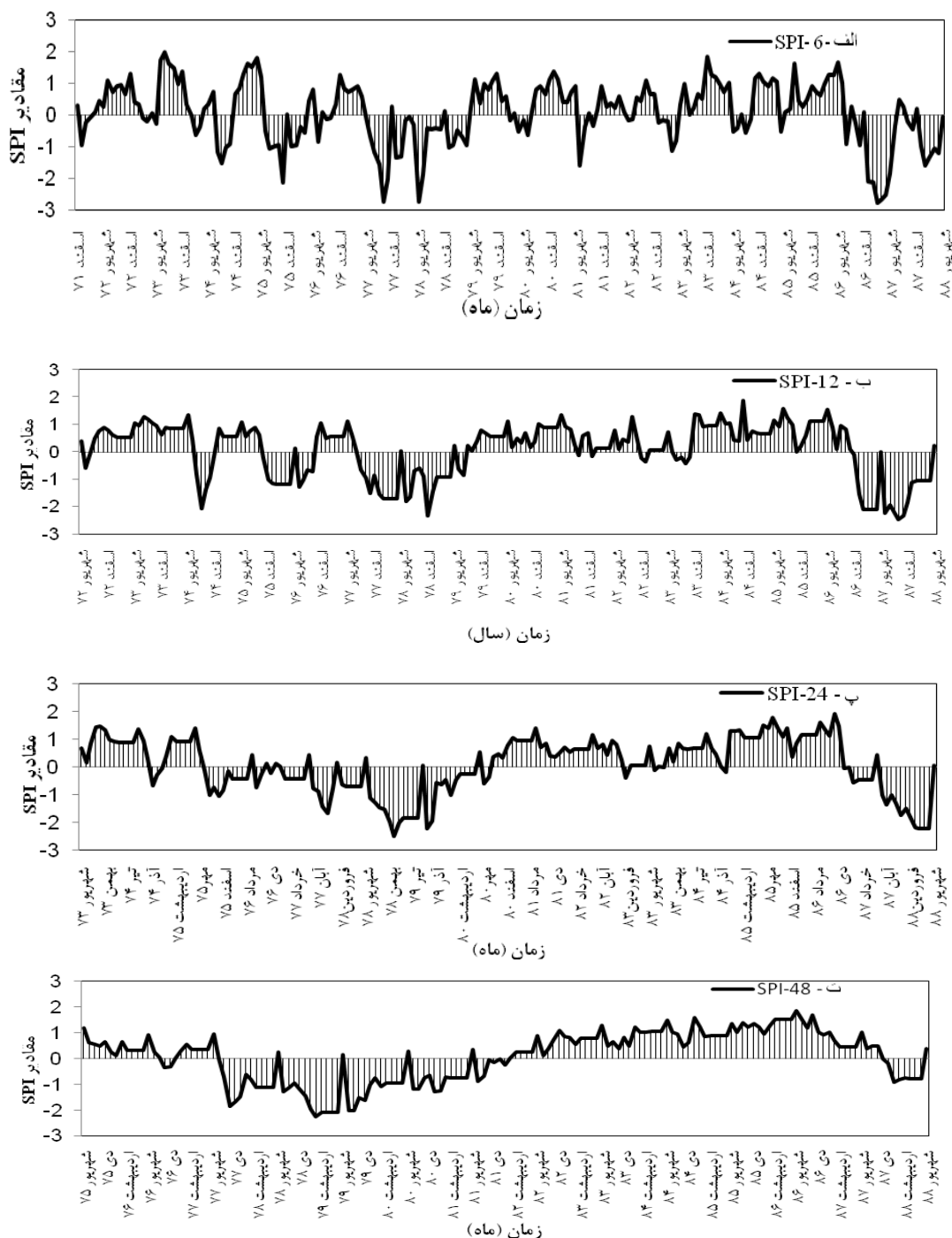
که در آن  $x_i$  و  $x_j$  میزان مرتب شده و  $n$  اندازه نمونه است. تابع علامت با معادله ۳ قابل محاسبه است.

$$\text{Sgn}(X) = \begin{cases} +1 & (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۳)$$

میانگین و انحراف معیار به صورت معادلات ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند:

همکاران، ۲۰۰۹)، به همین دلیل سری‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه تعداد دوره‌های خشکی را کمتر و دارای تداوم بیشتری نمایش می‌دهند.

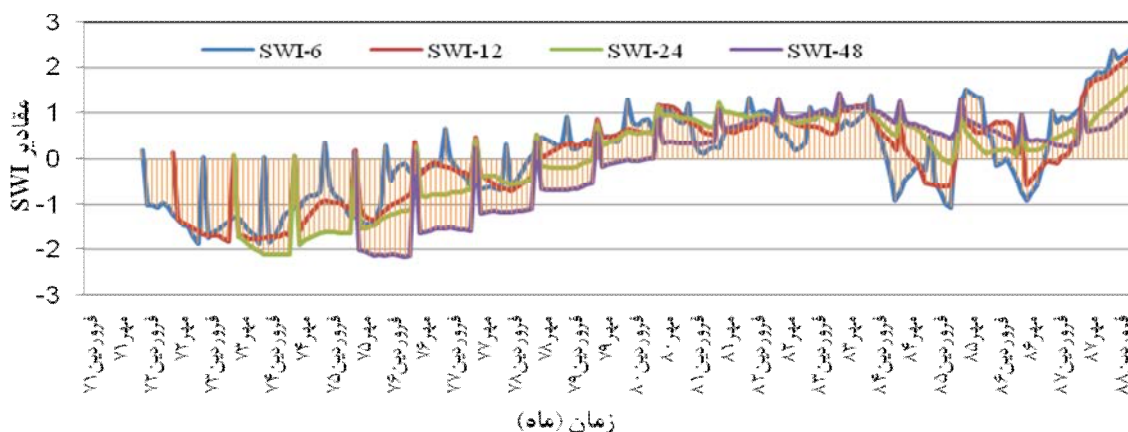
می‌توان گفت ایستگاه کاکارضا در سال‌های اخیر با خشکسالی هیدرولوژیک و با تداوم بیشتری مواجه بوده است. هر چه سری زمانی افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیشتر و تکرار آنها کمتر می‌شود (اسدی و



پیزومتری ایازآباد دیده می‌شود، شاخص SWI در سال‌های اخیر مقادیر بالایی را نشان می‌دهد و بیانگر این مطلب است که سطح آب زیرزمینی روند نزولی پیدا کرده و خشکسالی‌ها شدت یافته است.

#### وضعیت خشکسالی منابع آب زیرزمینی

شاخصی که به منظور تحلیل وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی در حوضه چغلوندی مورد استفاده قرار گرفته همانند شاخص SPI در ابعاد زمانی فوق‌الذکر مورد بررسی واقع شد. همان‌طور که از شکل ۳ تغییرات شاخص SWI در بازه‌های زمانی متفاوت از چاه



شکل ۳- تغییرات شاخص SWI در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در چاه ایازآباد

سال آبی بعد بر رژیم آبی رودخانه نشان می‌دهد. اما روند ملایم کاهش یا افزایش شدت خشکسالی هواشناسی تأثیر هم زمانی بر رژیم آبدی سالانه دارد.

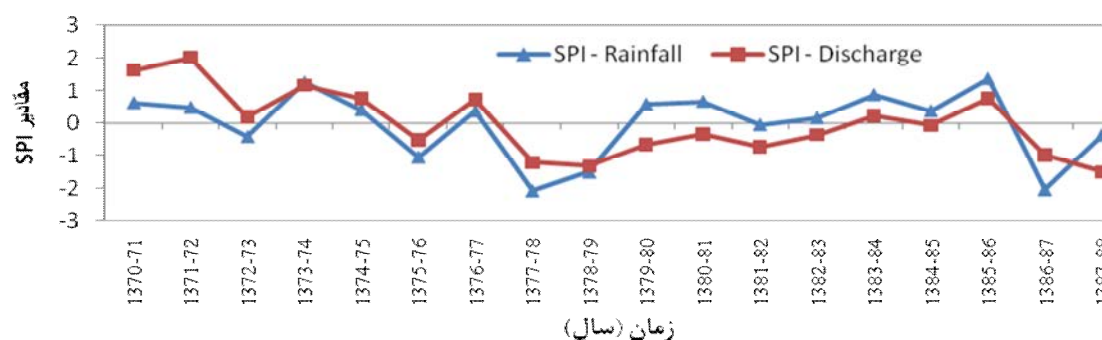
#### خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک منابع آب زیرزمینی

شکل ۵ روند تغییرات سالانه بارش و فاصله تراز سطح آب زیرزمینی منطقه را در قالب شاخص‌های SPI و SWI نشان می‌دهد. فرآیند کند حرکت آب در محیط متخلخل خاک، آب‌رفت و یا درز شکاف سازندهای زمین-شناسی سبب می‌شود تا تأثیر افزایش یا کاهش نزولات جوی بلافاصله در سفره‌های آب زیرزمینی نمایان نشود. تعیین این تأخیر زمانی که همان تأخیر زمانی بین دو رخداد خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک است از نظر مدیریت منابع آب در یک حوضه از اهمیت زیادی برخوردار است و نتایج آن می‌تواند مورد استفاده مدیران و برنامه ریزان در این بخش قرار گیرد. نتایج نشان داد که بین شدت وقوع این دو رویداد خشکسالی یک تأخیر یک تا دو ساله مشاهده می‌شود.

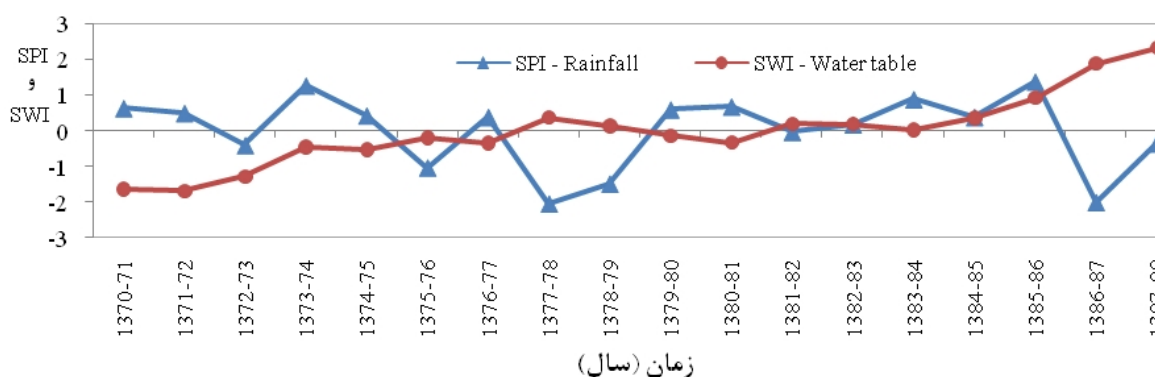
#### خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک منابع آب سطحی

با پایش میانگین وزنی سالانه مقادیر بارندگی و دبی متوسط سالانه حوضه با استفاده از شاخص خشکسالی SPI می‌توان دریافت که هر چند بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک منابع آب سطحی تطابق زمانی وجود دارد، ولی شدت تأثیر خشکسالی هواشناسی بر هیدرولوژیک از سال ۱۳۷۸-۷۹ تغییر کرده است. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود از سال آبی ۱۳۸۳-۸۴ شاخص خشکسالی هواشناسی مثبت و هیدرولوژیک مقادیر منفی را نشان می‌دهد. تغییر شکل ریزش‌های جوی از شکل بارش برف به بارش باران و افزایش بهره‌برداری از جریان‌های رودخانه‌ای در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری می‌تواند از دلایل این تغییر روند باشد.

همچنین نتایج این تحقیق، تأخیر یک ساله بین وقوع این دو نوع خشکسالی را از سال آبی ۱۳۸۶-۸۷ به بعد را نشان می‌دهد. این بدان معنی است که وقوع یک سال خیلی کم‌باران یا پرباران در این حوضه تأثیر خود را در



شکل ۴- تغییرات شاخص SPI در میانگین داده های بارش و دبی حوضه



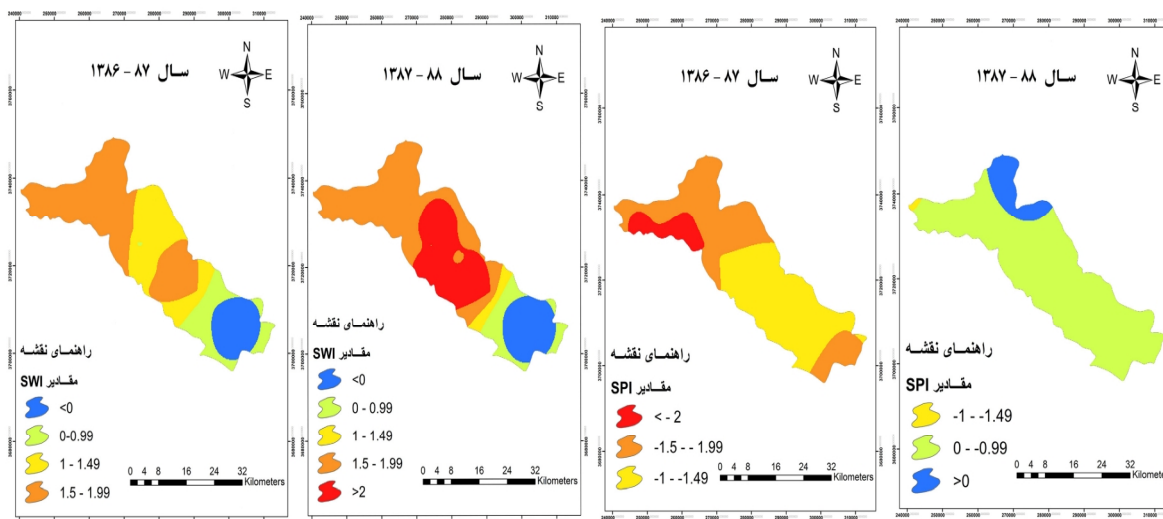
شکل ۵- تغییرات شاخص SPI و SWI برترتیب در میانگین داده های بارش و در داده های سطح ایستابی

#### پهنه بندی شدت خشکسالی در حوضه

نقشه پهنه بندی خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه سال ۸۶-۸۷ نشان می دهد که خشکسالی هواشناسی در کل منطقه حاکم بوده است (شکل ۶). خشکسالی ها در کلاس های شدید و خیلی شدید در جنوب شرقی و شمال غربی حوضه رخ داده، اما در مرکز حوضه شدت خشکسالی ها در کلاس متوسط بوقوع پیوسته است. با این وجود در همین سال، خشکسالی آب زیرزمینی در مرکز حوضه در زمره کلاس شدید قرار گرفته و جنوب شرقی حوضه وضعیت ترسالی داشته است. نقشه پهنه بندی خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه سال ۸۷-۸۸ نشان می دهد که خشکسالی هواشناسی در اغلب حوضه در کلاس ملایم قرار گرفته و بخشی از شمال حوضه، وضعیت ترسالی داشته است. با این وجود در این سال، خشکسالی هیدرولوژیک منابع آب زیرزمینی در شمال غربی و بویژه مرکز حوضه وضعیت بسیار شدیدی داشته است.

#### تعیین روند خشکسالی ها با آزمون من کندال

از آزمون من کندال که از متداول ترین روش های ناپارامتریک تحلیل روند سری های زمانی هیدرومتئولوژیکی است (مه- متیک و بی هارت، ۲۰۰۳)، در بررسی روند خشکسالی ها در حوضه چغلودندی استفاده شد. نتایج این آزمون از داده های سالانه بارندگی هر یک از ایستگاه ها که در جدول ۲ ارائه شده نشان می دهد که روند خاصی در اکثر ایستگاه ها با توجه به آماره من کندال وجود ندارد و تنها در مورد ایستگاه ونایی روند کاهشی مشاهده می شود. در داده های دبی سالانه در دو ایستگاه هیدرومتری نیز روندی مشاهده نمی شود. همچنین در مورد روند افت سطح آب زیرزمینی با این آزمون میانگین سالانه سطح ایستابی مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد که روند صعودی افت سطح آب (Z های بالای ۱/۹۶+) در اکثر چاه های پیرومتری وجود دارد.



شکل ۶- نقشه گستره شدت خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و SPI

جدول ۲- مقادیر آماره من کندال (Z) مربوط به ایستگاه‌های مختلف حوضه مورد مطالعه

عرض جغرافیایی (y)	طول جغرافیایی (x)	چاه پیزومتری	Z	عرض جغرافیایی* (y)	طول جغرافیایی* (x)	چاه پیزومتری
۳۷۲۳۵۵۸	۲۸۲۸۲۱	خمسیانه	۲/۶۵	۳۷۲۱۷۹۸	۲۸۱۸۳۷	دهنو ساکی
۳۷۱۸۹۷۰	۲۸۲۴۷۲	میر احمدی	۱/۶۶	۳۷۲۷۱۵۲	۲۷۳۳۱۴	سراب الیاس
۳۷۱۴۴۱۴	۲۹۰۸۳۴	خلیلان	-۰/۱۱	۳۷۲۴۹۷۲	۲۷۳۹۹۱	چغلودی
۳۷۳۱۷۳۵	۲۶۵۶۷۱	گلم کبود	۳/۵۶	۳۷۲۸۶۱۲	۲۷۱۹۶۶	تیشه شکن
۳۷۱۵۸۳۸	۲۸۸۶۹۲	کله جوب	۳/۳۳	۳۷۲۲۱۸۱	۲۷۱۸۲۹	سراب داراب
۳۷۱۹۲۱۱	۲۷۸۵۸۹	سیاهگل	۴/۱۶	۳۷۱۴۳۰۳	۲۸۷۵۵۶	قلعه علی
۳۷۰۹۲۴۱	۲۹۷۳۶۶	رنگ رزان	۱/۸۹	۳۷۲۴۹۴۴	۲۷۰۵۸۵	مختوایی
۳۷۲۶۱۸۳	۲۷۹۹۴۱	رستم خانی	۳/۶۳	۳۷۲۸۱۰۱	۲۸۲۸۷۰	شرفیگ
			۳/۹۳	۳۷۲۵۶۰۹	۲۷۹۳۳۸	ایاز آباد

عرض جغرافیایی (y)	طول جغرافیایی (x)	ایستگاه بارانسنجی	Z	عرض جغرافیایی* (y)	طول جغرافیایی* (x)	ایستگاه بارانسنجی
۳۷۳۴۲۳۶	۲۴۶۷۵۲	کا کارضا	۰/۶۷	۳۶۹۵۹۰۷	۳۱۰۸۷۱	چم چیت
۳۷۱۰۸۵۷	۲۹۲۵۵۱	دهنو	-۳/۲۰	۳۷۴۸۲۳۳	۲۷۶۲۳۲	ونایی
۳۷۳۸۵۴۸	۲۹۶۴۴۷	رحیم آباد	۰/۰۳	۳۷۰۸۲۵۵	۲۵۵۳۵۷	خرم آباد
۳۷۴۱۹۱۷	۲۴۰۷۵۰	سراب سیدعلی	۰/۵۸	۳۷۰۶۶۴۸	۳۲۰۲۸۳	درود

عرض جغرافیایی (y)	طول جغرافیایی (x)	ایستگاه هیدرومتری	Z	عرض جغرافیایی* (y)	طول جغرافیایی* (x)	ایستگاه هیدرومتری
۳۷۳۳۹۷۳	۲۴۶۷۱۳	کا کارضا	-۰/۹۶	۳۷۱۰۷۳۳	۲۹۴۰۲۳	دهنو

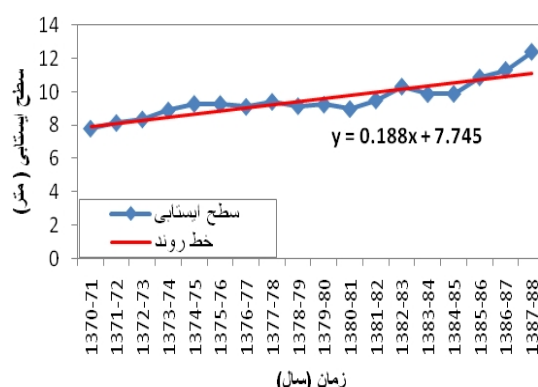
\* مختصات ایستگاه‌ها در سیستم مختصات UTM بوده و همگی مربوط به Zone شماره 39S می‌باشد.



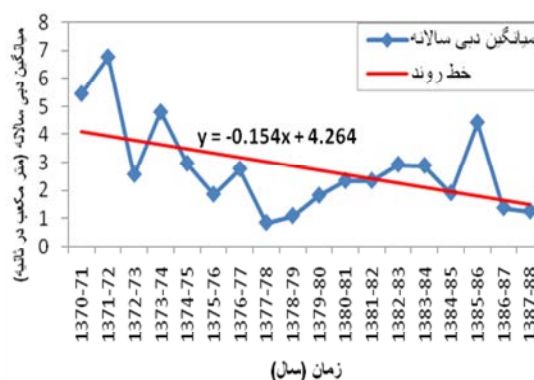
موقعی که بارندگی زیاد است شاخص SPI مثبت یعنی دوره خشکسالی از لحاظ هواشناسی وجود ندارد، اما در همان زمان ممکن است خشکسالی هیدرولوژیک وجود داشته باشد (بویان و همکاران ۲۰۰۶). به همین دلیل ممکن است به لحاظ شرایط اقلیمی مناسب (بارندگی مناسب) کشاورزان اقدام به افزایش سطح زیرکشت و بهره‌برداری زیاد از منابع آب سطحی و بویژه منابع آب زیرزمینی نمایند که برای کنترل و هشدار بحران آب خود نیاز به اقدامات مدیریتی دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی که با دو شاخص SPI و SWI تهیه شده بخوبی توانایی تحلیل گستره مکانی مناطق هم شدت را دارا بوده، با استفاده از این دو شاخص، تعدادی پهنه‌بندی انجام گرفته و نتایج ارزشمندی ارائه شده که با نتایج این تحقیق در بعضی حالات مطابقت دارد. بطور مثال پهنه‌بندی شدت و تداوم خشکسالی در استان فارس توسط مرادی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داده که نواحی مرکزی استان فارس دارای شدت خشکی بالایی نسبت به سایر مناطق است. همچنین در بررسی وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی دشت اراک با استفاده از شاخص SWI توسط محمدی و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که شدت خشکسالی در جنوب دشت بیشتر از شمال دشت است ولی از روند مشخصی پیروی نمی‌کند. نتایج نشان داد که از سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ تغییراتی در رژیم آبدی رودخانه ای در حوضه رخ داده و شدت خشکسالی هیدرولوژیک جریان‌های سطحی افزایش داشته است. دلیل این مسأله می‌تواند تغییر رژیم بارش و افزایش برداشت از منابع سطحی در بالادست حوضه باشد. همچنین نتایج وجود تأخیر یک تا دو ساله بین وقوع رخداد خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک را نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در منطقه واقع شود. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی‌ها در حوضه نشان داد که یک تاخیر زمانی ۱ تا ۲ ساله بین دو رخداد خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک در بخش‌های مختلف بویژه در مرکز و جنوب حوضه وجود دارد. روند

### تعیین روند خطی

در این تحقیق به منظور مقایسه نتایج حاصل از روند من‌کندال، نتایج با روند خطی نیز بررسی شد. روند خطی در اغلب ایستگاه‌ها و چاه‌های ترسیم شده نشان‌دهنده سیر صعودی یا نزولی سری بوده و تنها در مورد ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری که شرط آماره کندال برقرار نیست، سری حالت ایستا دارد (شکل ۷ و ۸).



شکل ۷- روند تغییرات سطح ایستابی چاه خلیلان



شکل ۸- روند تغییرات دبی در ایستگاه هرود دهنو

میزان تداوم و شدت خشکسالی‌ها به ویژه در مورد منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر در طول دوره آماری مورد مطالعه قابل ملاحظه است. میزان تأخیر خشکسالی هیدرولوژیک که در منابع آب سطحی و زیرزمینی نسبت به خشکسالی هواشناسی یکسان نیست و علت این تفاوت در سرعت حرکت جریان‌های سطحی و زیرزمینی است، اما تعیین این تأخیر زمانی در هر منطقه در مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است، زیرا در

اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.

۳- رضی‌ط. دانش‌کار آراسته پ. اختری ر. و ثقفیان ب. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۳ (۱): ۲۵-۳۵.

۴- زارع باغبری م. ۱۳۸۱. مدیریت بهره‌برداری از آب-های زیرزمینی لایه آبدار آبرفتی در سالهای خشک‌سالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی. دانشگاه شیراز.

۵- صبحی ر. و یغمایی ل. ۱۳۸۷. تحلیل روند پارامترهای اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب در شهرهای ارومیه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.

۶- علیمردادی ص. ۱۳۸۸. بررسی خشکسالی سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ بر منابع آب استان ایلام و راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش اثرات خشکسالی، دومین همایش ملی خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان.

۷- علیزاده ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ص ۸۰۸.

۸- لشنی‌زند م. ۱۳۸۳. بررسی اقلیمی خشکسالی‌های ایران. پایان‌نامه دکترای جغرافیای طبیعی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه اصفهان.

۹- محمدی م. مرادی ح. ر. و وفاخواه م. ۱۳۸۷. تعیین خشکسالی آبهای زیرزمینی در دشت اراک با استفاده از شاخص SWI و رویکرد GIS. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.

۱۰- مرادی ح. ر. رجبی م. و فرج‌زاده م. ۱۳۸۷. تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۴ (۱): ۹۷-۱۰۹.

11- Asadi M.A. Kousari M.R. Fallahpour M. and Shrghi T. 2009. Drought analysis by Standardized Precipitation Index (SPI) for different time scales, Shahrood. Iran.

صعودی افت سطح آب زیرزمینی در مرکز حوضه وجود خشکسالی هیدرولوژیک را در همین مکان تأیید می‌کند.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی حاکم بوده و روند صعودی خشکسالی‌ها کاملاً مشهود است. این موضوع به مدیریت منابع آب در حوضه مطالعه کمک مضاعف نموده تا بتوان برای کنترل و تعدیل خشکسالی، راهکارهای مناسبی ارائه کرد.

برای رفع معضل خشکسالی در حوضه، می‌توان به تغییر الگوی کشت در سال‌های خشک جهت کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی و حفظ تعادل آبخوان (زارع باغبری، ۱۳۸۱) اشاره کرد. کشت هندوانه و خیار در عرصه‌های مواجه با خشکی حذف و بجای آن دانه‌های روغنی مثل کلزا یا حبوبات، کاهش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی زیاد مانند خیار و هندوانه، قیمت-گذاری واقعی منابع آب، استفاده از روش‌های مدرن آبیاری مثل آبیاری قطره ای یا بارانی و تکنیک کم-آبیاری نیز می‌تواند به حفاظت بیشتر از منابع آب حوضه کمک کند.

نتایج تحقیق در برخی نقاط منطقه نشان داد که بین خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیک یک تاخیر زمانی یک ساله وجود دارد. وقوع یک سال بسیار کم باران حتی با نرمال بودن بارش در سال بعد از آن، می‌تواند تأثیرات منفی درازمدتی بر منابع آب زیرزمینی بگذارد. آگاهی از این مسأله می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان برای مدیریت بهینه منابع آب کمک زیادی بکند.

### منابع

- ۱- باروتی ح. فضلی اولی ر. و امامقلی‌زاده ص. ۲۰۰۹. تحلیل و پایش شاخص خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان قزوین. کنفرانس بین‌المللی منابع آب دانشگاه شاهرود.
- ۲- بذر افشان ج. ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه

- hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. *Journal of Hydrology* 281: 230-247.
- 18- McKee T.B. Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Am. Meteorol. Soc. Boston. 179-184
- 19- Sonmez F.K. Komuscu A.U. Erkan A. and Turgu E. 2005. An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardize Precipitation Index. *Natural Hazards* 35:243-264.
- 20- Wilhite D.A and glantz.MH. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10(3): 111-120
- 21- Yue S. Pilon P. and Cavadias. G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho test for detecting monotonic trends in hydrologic series. *Journal of Hydrology* 259: 254-271.
- International Conference on Water Resources. Shahrood University of Technology. Iran.
- 12- Bhuiyan C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In: *Proceedings of the XXth ISPRS Conference*. Int. Soc. Photogramm. Remote Sens. Istanbul.
- 13- Bhuiyan C. Singh R.P. and Kogan F.N. 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.8:289-302.
- 14- Bihrat O. and Mehmetcik B. 2003. The power of statistical tests for trend detection. *Turkish journal engineering science* 27: 247-251.
- 15- Dracup J.A. Lee K.S. and Paulson E.G. 1980. On the definition of droughts. *Water Resources Research* 16(2):297-302.
- 16- Edwards D.C. and Mckee T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the university.of Colorado.
- 17- Hisdal H. and Tallaksen L.M. 2003. Estimation of regional meteorological and

