

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۳، زمستان ۱۳۹۶، صص ۷۹-۹۷

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷

## بررسی دوره‌های خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز گرگانرود

نرجس بای<sup>۱</sup>

شیما نیکو<sup>۲</sup>

وحید فیضی<sup>۳\*</sup>

هایده آرا<sup>۴</sup>

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش، تعیین گستره‌ی تداوم خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی و مشخص کردن ارتباط بین آن‌ها است. در این تحقیق از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و سطح آب استاندارد (SWI)، جهت بررسی خشکسالی‌ها استفاده شد. در این تحقیق از ۱۶ ایستگاه باران‌سنجی و ۳۱ حلقه چاه پیزومتری با طول دوره‌ی آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲) استفاده شد. برای آنالیز روند خشکسالی‌ها از ۷ مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و مقیاس سالانه استفاده شد. در این پژوهش برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی و از روش نسبت نرمال برای همگنی داده‌ها بهره گرفته شده است. سپس برای بررسی روند تغییرات میزان بارش و آب‌های زیرزمینی و تحلیل کمی خشکسالی‌های حوضه از شاخص‌های SPI و SWI استفاده گردید تا امکان

۱- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- دکتری تخصصی جغرافیای طبیعی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان (نویسنده مسئول)

E-mail: Vahid.feizi62@gmail.com

۴- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی میسر شود. با محاسبات انجام شده و بررسی نقشه‌ی گستره‌ی خشکسالی‌های سالانه هواشناختی مناطق نیمه‌ی غربی و شرق حوضه بیشتر از سایر مناطق خشکسالی داشته‌اند. در بررسی نقشه‌ی گستره‌ی خشکسالی‌های سالانه آب زیرزمینی مناطق جنوب غرب، غرب و شمال بیشتر از سایر مناطق در معرض خشکسالی قرار گرفته‌اند. طولانی‌ترین تداوم از لحاظ طول مدت خشکسالی هواشناسی نشان می‌دهد که در بخش‌های شمال شرقی، غرب و جنوب غربی دارای تداوم‌های طولانی‌تری نسبت به سایر مناطق دارند. همچنین طولانی‌ترین تداوم از لحاظ طول مدت خشکسالی آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد در نواحی شمالی و جنوب غربی و مرکز حوضه، طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی وجود دارد.

**کلمات کلیدی:** تحلیل مکانی خشکسالی، شاخص SPI، شاخص SWI، آب زیرزمینی.

## مقدمه

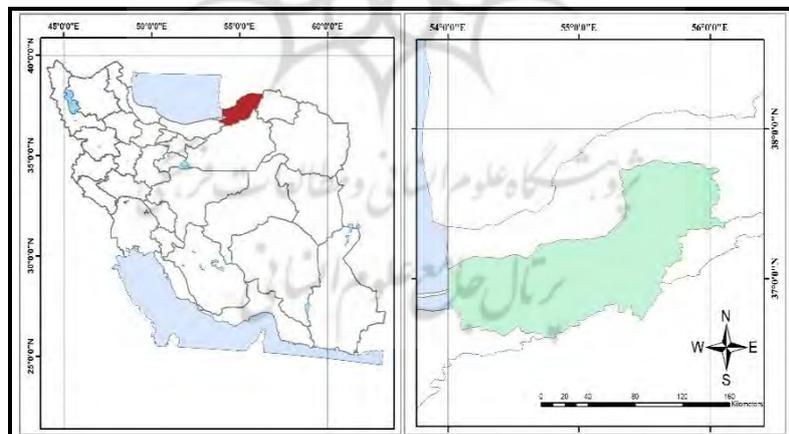
بر اثر خشکسالی آب رودها کم می‌شود و امکان دارد که رودهای دائمی، به رود فصلی یا موقتی تبدیل گردد و یا به کلی خشک شود که در نتیجه با حفر چاه‌های بیشتر و بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیر زمینی، سطح آنها بیشتر افت پیدا می‌کند (کردوانی، ۱۳۸۰: ۴۳). لذا با برنامه‌ریزی اصولی باید حداکثر بهره‌برداری‌ها با توجه به اولویت عملی گردد. عزیزی (۱۳۸۲) ارتباط خشکسالی‌های اخیر را با آب زیرزمینی دشت قزوین مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که خشکسالی در آب‌های زیرزمینی با دو الی سه ماه تأخیر نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی بروز می‌کند. شمسی‌پور و حبیبی (۱۳۸۲) در پژوهشی به بررسی میزان نقش خشکسالی‌ها در منابع آب زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی دشت‌های شمال همدان) پرداختند. در این تحقیق متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژی آب‌های سطحی به عنوان توابع مستقل در افت

سطح اساس آب‌های زیرزمینی دشت‌ها همبستگی بین متغیرهای اقلیمی را با میزان افت نشان داد.

اسلامیان و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی با عنوان بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه‌ی آبخیز دشت بوئین به بررسی تغییرات بارش، پیش‌بینی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب (سطحی و زیرزمینی) پرداختند. نتایج نشان داد که بین وقوع ریزش‌های جوی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه ارتباط معنی‌داری وجود دارد. نادریان‌فر و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیرات خشکسالی و ترسالی بر سطح آب زیرزمینی در حوضه‌ی آبریز نیشابور پرداختند. نتایج نشان داد خشکسالی‌ها در دشت نیشابور عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشد ولی به تنهایی عامل بحران نبوده بلکه برداشت بی‌رویه از دیگر عوامل است و خشکسالی‌های اقلیمی در کوتاه‌مدت بر روی سطح آب زیرزمینی اثری ندارند اما در بلندمدت باعث افت سطح آب زیرزمینی می‌شوند.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی و زمانی خشکسالی آب زیرزمینی دشت اراک را با استفاده از شاخص SWI (شاخص سطح آب استاندارد) تهیه کردند و نتیجه گرفتند که بیشترین شدت خشکسالی در جنوب و شمال دشت بوده است. فریدپور و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی دوره‌های متوالی خشکسالی هیدروژئولوژی و همچنین شدت، تداوم و فراوانی مطلق خشکسالی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص خشکسالی SWI در بازه‌های زمانی ۶، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای هر یک از پیزومترها در دشت مرند را بررسی و برای تفسیر بهتر به صورت پهنه‌ای نمایش دادند. نتایج نشان داد که خشکسالی آب‌های زیرزمینی به طور تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن در غرب آبخوان بیش از شرق آن بوده است.

ساری صراف و همکاران (۱۳۹۴) با پایش و پیش‌بینی ترسالی و خشکسالی تبریز بیان کردند که روند بارش رو به کاهش است و از طرف دیگر در دوره‌ی پیش‌بینی شده نسبت به دوره‌ی مشاهداتی ترسالی و خشکسالی‌ها رو به افزایش نهاده و از وضعیت نرمال فاصله گرفته‌اند. کماسی و همکاران (۱۳۹۵) به شناسایی عوامل موثر بر کاهش تراز آب زیرزمینی با بهره‌گیری از معیار موجک آنتروپی پرداختند و نتایج آنها نشان می‌دهد که تأثیر عوامل انسانی بر عامل تغییر اقلیم در کاهش تراز آب زیرزمینی در دشت سیلاخور، مقدم است. اژدری و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی دشت تویسرکان در دو مقیاس نقطه‌ای و منطقه‌ای پرداختند. نتایج نشان از روند رو به افت سطح تراز آب زیرزمینی دشت است. صفری شاد و همکاران (۱۳۹۶) پتانسیل تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در حوضه‌ی آبخیز همدان-بهار مورد مطالعه قرار دادند. حجم رواناب برای هر سه زیرحوضه تحت سناریو A2 کاهش و تحت سناریو B1 برای زیرحوضه‌ی شماره ۱ و ۲ کاهش و برای زیرحوضه‌ی ۳ افزایش خواهد یافت.



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه مقادیر بارش روزانه و سطح ایستابی ماهانه‌ی چاه‌های پیژومتری برای دوره‌ی آماری ۹۱-۱۳۶۲ می‌باشد که با تبدیل آنها به سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه و مقیاس سالانه در انجام تحقیق حاضر به کار گرفته شده است. در این تحقیق سعی شده است از ایستگاه‌هایی که دارای آمار طولانی مدت باشند و نواقص آماری در آنها کم باشد و از پراکنش مناسبی برخوردار باشند استفاده شود تا شرایط مربوط به کفایت داده‌ها را تعیین کنند.

### پهنه‌بندی حوضه از نظر شدت خشکسالی

در این پژوهش برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی و از روش نسبت نرمال برای همگنی داده‌ها بهره گرفته شده است. سپس برای بررسی روند تغییرات میزان بارش و آب‌های زیرزمینی و تحلیل کمی خشکسالی‌های حوضه از شاخص‌های  $SPI^1$  و  $SWI^2$  در نرم‌افزارهای DIP و ۲۰۱۳ Excel استفاده گردید تا امکان ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی میسر شود. به منظور فرایند درون‌یابی و تحلیل فضایی ویژگی‌های خشکسالی‌ها از نرم‌افزار ArcGIS و روش عکس فاصله‌ی وزنی ( $IDW^3$ ) استفاده شده است تا بتوان درباره‌ی شدت وقوع آن اظهار نظر نمود.

### شاخص بارندگی استاندارد شده

اساس شاخص بارش استاندارد (SPI)، بر احتمال وقوع بارندگی در هر مقیاس زمانی استوار است. طبقات مختلف SPI بر اساس یافته‌های مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳)

1- Standardized Precipitation Index (SPI)  
2- Standardized Water-Level Index (SWI)  
3- Inverse Distance Weighted (IDW)

در جدول (۱) ارائه شده است. شدت خشکسالی‌ها می‌تواند توسط مقدار SPI تخمین زده شود.

$$SPI \cong \frac{X_{ij} - \bar{X}_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در رابطه‌ی (۱)،  $X_{ij}$  بارش ماهانه یا سالانه  $i$  تا  $j$  در ایستگاه باران‌سنجی،  $X_{im}$  میانگین بلند مدت ماهانه یا سالانه آن‌ها و  $\sigma$  نیز انحراف معیار آن است.

#### شاخص سطح آب استاندارد

بویان در سال ۲۰۰۴ شاخص سطح آب استاندارد (SWI) را جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه نمود. این شاخص با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$SWI \cong \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

در رابطه‌ی (۲)،  $W_{ij}$  سطح ایستابی ماهانه یا سالانه چاه‌های پیژومتری  $i$  تا  $j$ ،  $W_{im}$  میانگین بلند مدت ماهانه یا سالانه آن‌ها و  $\sigma$  انحراف معیار می‌باشد.

از آنجائی که سطح آب‌های زیرزمینی از سطح زمین به پائین اندازه‌گیری می‌شوند مقادیر مثبت نشان‌دهنده‌ی خشکسالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده‌ی شرایط نرمال می‌باشد (بویان و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۲۸۹). برای محاسبه‌ی مقادیر شاخص SWI، همانند شاخص SPI، از سری زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و همچنین در مقیاس سالانه از نرم‌افزار DIP و Excel استفاده شد (مرید و همکاران، ۱۳۸۴). این

1- Bhuiyan, C. et al.,

دو شاخص شبیه به هم بوده ولی طبقه‌بندی آن‌ها عکس یکدیگر است (ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق، ۱۳۹۰: ۶۱).

جدول (۱) طبقه‌بندی خشکسالی هواشناختی و آب زیرزمینی

مقادیر SWI (بویان، ۲۰۰۴)	مقادیر SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳)	طبقه‌های خشکسالی
بیشتر از ۲	۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	-۱/۵۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
کمتر از ۲-	بیشتر از ۲	ترسالی خیلی شدید

#### بزرگی خشکسالی

دراکوپ و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۰)، واژه‌ی بزرگی خشکسالی را متوسط کمبود آب و واژه‌ی شدت را مجموع کمبود آب معرفی می‌کنند (مک‌کی و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵: ۲۳۵) بزرگی خشکسالی را به صورت زیر معرفی نموده‌اند.

$$\text{رابطه‌ی (۳)} \quad DM \cong 0 \left( \sum_i^n SPI_i \right)$$

در رابطه‌ی (۳)،  $DM^3$  بزرگی خشکسالی و  $n$  تداوم یا تعداد ماه‌هایی است که خشکسالی داشته‌اند.

1- Dracup J.A. et al.,  
2- Mckee, T.B. et al.,  
3- Drought Magnitude (DM)

## متوسط شدت خشکسالی

برای بیان متوسط شدت خشکسالی ( $ADI^1$ ) تامسون (۱۹۹۹) رابطه‌ی (۴) را پیشنهاد نمود که در آن مجموع حجم کمبود (مجموع انحرافات منفی) و  $L$  مجموع تداوم خشکسالی (طول دوره‌ی انحرافات منفی) می‌باشد.

$$ADI \cong \frac{S_i}{L} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

در این تحقیق برای متوسط شدت خشکسالی از رابطه‌ی (۵) استفاده شده است:

$$ADI \cong \frac{DM}{n} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در رابطه‌ی (۵)،  $DM$  همان بزرگی خشکسالی در تداوم  $n$  تعداد ماه‌هایی است که خشکسالی داشته‌اند می‌باشد.

## تحلیل روند خشکسالی‌های سالانه

روش‌های مختلفی برای تحلیل روند متغیرهای محیطی ارائه شده است. در این تحقیق به منظور آنالیز روند خشکسالی‌های سالانه در ایستگاه‌های مطالعاتی از روش آنالیز سری‌های زمانی استفاده گردید. با استفاده از مقایسه‌ی نمودار سری‌های زمانی ماهانه و سالانه، روند خشکسالی‌های حوضه‌ی گرگانرود مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل مکانی طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی مختلف

نقشه‌ی طولانی‌ترین تداوم از لحاظ طول مدت خشکسالی نشان می‌دهد که در بخش‌های شمال شرقی، غرب و جنوب غربی دارای تداوم‌های طولانی‌تری نسبت به

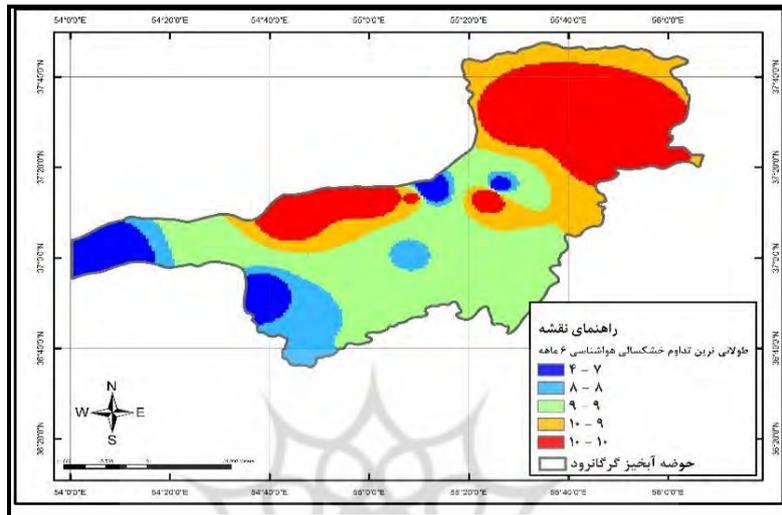
---

1- Average Drought Intensity (ADI)

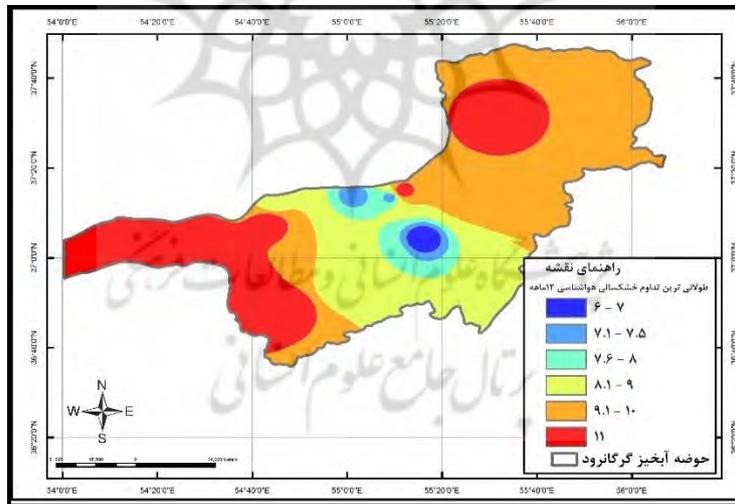
سایر مناطق دارند. با توجه به شکل (۲) با افزایش مقیاس زمانی تداوم خشکسالی نیز افزایش می‌یابد. در مقیاس زمانی ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی اتفاق افتاده در ایستگاه رامیان در سال ۱۳۸۷ مربوط به فروردین و بیشترین تداوم در سال ۸۷-۱۳۸۶ به مدت ۷ ماه در ماه‌های فروردین تا مهر می‌باشد. همچنین در برآورد مقدار فراوانی مطلق از مجموع ۳۵۵ ماه، تعداد ۴۴ ماه خشکسالی در این ایستگاه مشاهده شده است.

بیشترین شدت خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در مرداد سال ۱۳۸۷ به میزان ۲/۵۶- و بیشترین تداوم آن نیز در ماه‌های دی ۱۳۸۶ تا مرداد ۱۳۸۷ به مدت ۸ ماه می‌باشد. فراوانی مطلق تعداد خشکسالی‌های مشاهده شده ۳۵ ماه از مجموع ۳۴۹ ماه مورد محاسبه، می‌باشد.

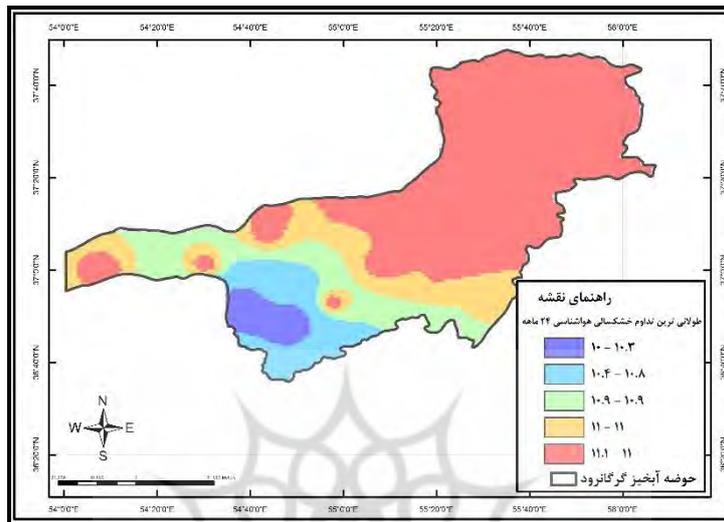
پایین‌ترین مقدار SPI مشاهده شده در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه مربوط به دی ماه ۱۳۸۷ به مقدار ۱/۹۹- می‌باشد. طولانی‌ترین تداوم مشاهده شده در این مقیاس از مهر سال ۱۳۸۷ تا مرداد سال ۱۳۸۸ به وقوع پیوسته است. دومین تداوم طولانی با همین مدت زمان از مهر ماه ۱۳۸۶ تا مرداد ۱۳۸۷ می‌باشد. از مجموع ۳۳۷ ماه مورد مطالعه، تعداد یا فراوانی مطلق خشکسالی‌های مشاهده شده ۳۶ ماه می‌باشد.



شکل (۲) نقشه‌ی گستره طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی هواشناسی در بازه‌ی زمانی مختلف



ادامه‌ی شکل (۲)



ادامه‌ی شکل (۲)

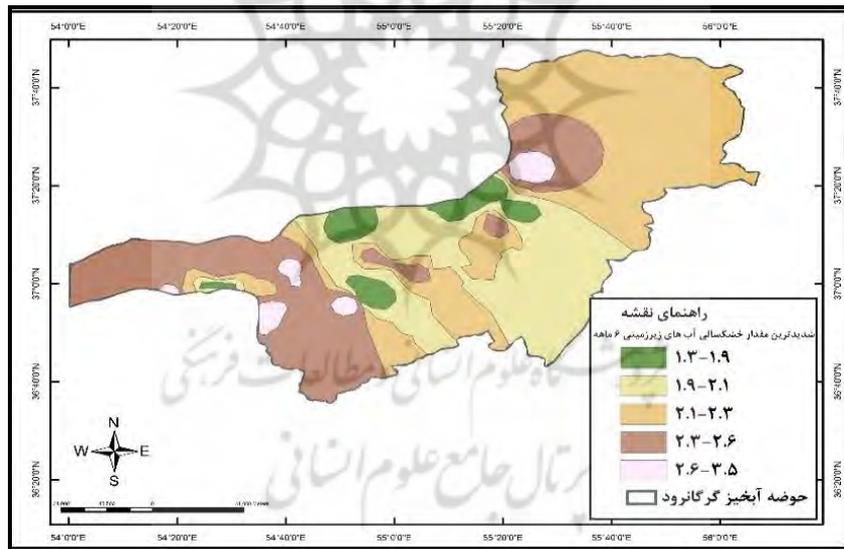
### تحلیل مکانی شدیدترین مقادیر خشکسالی آب‌های زیرزمینی (SWI) در مقیاس‌های مختلف

نقشه‌ی گستره شدیدترین مقادیر خشکسالی آب‌زیرزمینی نشان می‌دهد در نواحی شمال شرق و جنوب غربی حساسیت آب‌های زیرزمینی آن مناطق به خشکسالی بیشتر است. در مقیاس زمانی ۶ ماهه، شدیدترین خشکسالی اتفاق افتاده در این ایستگاه در سال ۱۳۶۹ مربوط به اسفند ماه به میزان ۲/۴۷ و بیشترین تداوم در سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ به مدت ۹ ماه در ماه‌های آذر تا بهمن می‌باشد. همچنین در برآورد مقدار فراوانی مطلق از مجموع ۳۵۵ ماه، تعداد ۵۵ ماه خشکسالی در این ایستگاه مشاهده شده است.

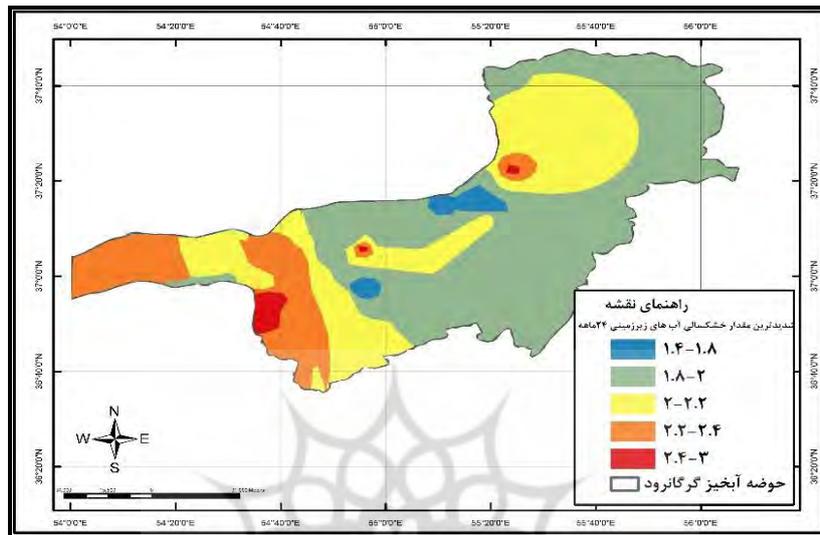
در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشترین شدت خشکسالی در شهریور ماه سال ۱۳۶۹ به میزان ۲/۲۴ و بیشترین تداوم آن به مدت ۲۰ ماه در ماه‌های آذر ۱۳۶۴

تا تیر ۱۳۶۵ و شدیدترین تداوم آن نیز در ماه‌های آبان ۱۳۶۹ تا اسفند ۱۳۷۰ به مدت ۱۷ ماه می‌باشد. فراوانی مطلق تعداد خشکسالی‌های مشاهده شده ۷۰ ماه از مجموع ۳۴۹ ماه مورد محاسبه می‌باشد.

در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بالاترین مقدار SWI مشاهده شده مربوط به شهریور ۱۳۶۹ به مقدار ۱/۹۶ می‌باشد. شدیدترین تداوم مشاهده شده به میزان ۲۷ ماه در این مقیاس از شهریور سال ۱۳۶۸ تا آبان سال ۱۳۷۱ به وقوع پیوسته است. طولانیترین تداوم از شهریور ماه ۱۳۶۳ تا بهمن ۱۳۶۶ به مدت ۳۰ ماه می‌باشد. از مجموع ۳۳۷ ماه مورد مطالعه، تعداد یا فراوانی مطلق خشکسالی‌های مشاهده شده ۶۸ ماه می‌باشد.



شکل (۳) نقشه‌ی گستره شدیدترین مقادیر SWI در مقیاس‌های زمانی مختلف



ادامه‌ی شکل (۳)

نتایج تحقیق نشان می‌دهد خشکسالی هواشناسی، تا یک الی دو سال بعد اثر خود را در میزان نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. همچنین در سال‌هایی که خشکسالی هواشناسی در سطح وسیع در منطقه وجود داشته، در همان سال تأثیر خود را در سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد. همچنین در فصل رشد محصولات کشاورزی، برای جبران نیاز آبی گیاهان که با دوره‌ی گرم و کم آبی منطبق است، این کمبود عمدتاً از منابع آب زیرزمینی جبران می‌شود. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، چنانچه میزان خشکسالی در حد بسیار شدید باشد اثرات خشکسالی تا دو سال بعد از آن بر روی سطح آب زیرزمینی ادامه خواهد داشت.

### نتیجه‌گیری

نقشه‌های خشکسالی که با استفاده از شاخص SPI در محیط GIS ترسیم شد نشان داد که خشکسالی هواشناسی به صورت تصادفی در برخی از ماه‌ها و سال‌ها رخ

می‌دهد و از نظر مکانی دارای روند مشخصی نمی‌باشند. در رابطه با خشکسالی آب زیرزمینی نیز مشخص شد وقوع این پدیده از زمانی به زمان دیگر و همچنین نقشه‌های خشکسالی آب زیرزمینی که با استفاده از شاخص SWI در محیط GIS فراهم شد نیز مشخص کرد که تنش سفره‌های آبی از زمانی به زمان دیگر و به صورت متناوب تغییر کرده است و تمرکز آنها در نقاط مشخصی از حوضه که دارای تنش‌های بارشی و عوامل انسانی (از نظر تراکم جمعیت) می‌باشند، ایجاد شده است. با افزایش خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آب زیرزمینی با یک سال تأخیر در حوضه به وقوع می‌پیوندد. زمانی که خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد، پاسخ سطح آب‌های زیرزمینی نسبت به کمبود بارش، فرآیندی بلندمدت است. نتایج این تحقیق نشان داد شدت خشکسالی در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت با دوره‌ی تداوم کمتری ظاهر می‌شود و در مقیاس‌های طولانی مدت دارای تداوم طولانی‌تری هستند.

نتایج به دست آمده، قابلیت شاخص SWI و SPI را در برآورد وضعیت ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در همه‌ی مقیاس‌های زمانی نشان می‌دهند. روند نمودارهای حاصله برای هر ایستگاه و چاه پیژومتری در هر مقیاس زمانی، این مورد را تأیید می‌کند. چرا که نمودارها کاملاً متقارن می‌باشند و هیچ اغراقی در بالا یا پایین بودن محور Yها از نظر ترسالی و خشکسالی بسیار شدید و خارج از حد مورد انتظار وجود ندارد و داده‌ها کاملاً نرمال هستند و با وضعیت پراکنش بارندگی و آب‌های زیرزمینی در سطح منطقه تطابق دارد.

با افزایش مقیاس زمانی، دوره‌های با مقدار منفی و مثبت SPI، از نظر تعداد یا فراوانی کاسته شده ولی مدت خشکسالی یا ترسالی یا تداوم آنها افزایش می‌یابد.

از نقطه نظر ایستگاهی شدیدترین تداوم خشکسالی هواشناسی در ایستگاه گنبد با تداوم ۴ ماه در مقیاس زمانی ۶ ماهه است از نظر طولانی‌ترین تداوم اکثر ایستگاه‌ها

تداوم یکسانی داشته‌اند. کمترین مقدار SPI، در آبان‌ماه سال ۱۳۸۰ در ایستگاه لزوره در مقیاس زمانی ۱۲ رخ داده است. از نظر بیشترین فراوانی نسبی، ایستگاه نوده در مقیاس سالانه به میزان ۲۳/۳۳ درصد بیشترین فراوانی را داشته است.

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی شدیدترین مقادیر SPI در مناطق شمال، جنوب شرق، جنوب غرب و غرب به وقوع پیوسته است.

از نظر طولانی‌ترین تداوم خشکسالی هواشناسی مناطق شمال شرق و غرب حوضه حساسیت بیشتری نسبت به بخش میانی حوضه دارند.

با بررسی نقشه‌ی گستره‌ی خشکسالی‌های سالانه هواشناختی مناطق جنوب غرب، غرب و جنوب شرق بیشتر از سایر مناطق در معرض خشکسالی قرار گرفته‌اند.

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی شدیدترین تداوم خشکسالی آب زیرزمینی در چاه پیژومتری قرنجیک بزرگ با تداوم ۸ ماه در مقیاس زمانی ۶ ماهه است. طولانی‌ترین تداوم، چاه پیژومتری خان ببین با تداوم ۸۰ ماه در مقیاس ۱۲ ماهه مشاهده گردید شدیدترین مقدار SWI مشاهده شده در شهریور ماه سال ۱۳۸۹ در چاه پیژومتری کنگور در مقیاس زمانی ۱ ماهه رخ داده است. از نظر بیشترین فراوانی نسبی، چاه پیژومتری سلاخ غائب با میزان ۲۶/۰۷ درصد بیشترین درصد فراوانی نسبی را داشته است.

از نظر شدیدترین مقادیر SWI مشاهده شده مناطق جنوب غرب و شمال شرقی از حساسیت بیشتری برخوردارند.

از نظر طولانی‌ترین تداوم خشکسالی آب زیرزمینی شمال، جنوب غرب و مرکز حوضه از حساسیت بیشتری نسبت به سایر نقاط حوضه دارند.

از نقطه نظر فراوانی نسبی خشکسالی آب زیرزمینی مناطق شمالی، جنوب غربی و غرب بیشتر درگیر هستند.

با بررسی نقشه‌ی گستره‌ی خشکسالی‌های سالانه آب زیرزمینی مناطق جنوب غرب، غرب و شمال بیشتر از سایر مناطق در معرض خشکسالی قرار گرفته‌اند.



## منابع

- اژدری، زهرا؛ فلامرزی، یاشار؛ پالیزدان، نرگس و غلی فتح‌زاده (۱۳۹۵)، بررسی نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی دشت تویسرکان در دو مقیاس نقطه‌ای و منطقه‌ای، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۸، صص ۱۴۱-۱۶۰.
- اسلامیان، سیدسعید؛ نصری، مسعود و نعیمه رحیمی (۱۳۸۸)، بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه‌ی آبخیز دشت بوئین، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی پیاپی (۳۳)، شماره‌ی ۱، صص ۷۵-۹۰.
- ساری صراف، بهروز؛ محمودی، سعید؛ زنگنه، سعید و زهرا پاشایی (۱۳۹۴)، پایش و پیش‌بینی ترسالی و خشکسالی تبریز با استفاده از مدل *Climgen* و شاخص *SPI*، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۲، صص ۶۱-۷۸.
- عزیز، قاسم (۱۳۸۲)، ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۴۶، صص ۱۴۳-۱۳۱.
- فریدپور، مجتبی؛ زینالی، بتول؛ رضایی، علی و سپیده ماسپی (۱۳۹۳)، بررسی خصوصیات خشکسالی‌های ژئوهیدرولوژیکی دشت مرند با استفاده از شاخص *SWI* و رویکرد *GIS*، همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، صص ۱۵۹-۱۶۵.
- کماسی، مهدی؛ شرقی، و وحید نورانی (۱۳۹۵)، شناسایی عوامل موثر بر کاهش تراز آب زیرزمینی با بهره‌گیری از معیار موجک-آنتروپی (مطالعه‌ی موردی: آبخوان دشت سیلاخور)، مجله‌ی هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۹، صص ۶۳-۶۸.
- صفری شاد، مهتاب؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ ایلدرمی، علیرضا و حسین زینی‌وند (۱۳۹۶)، پتانسیل تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در حوضه‌ی آبخیز همدان-بهار، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۰، صص ۸۱-۹۸.

- محمدی، محسن؛ مرادی، حمیدرضا و مهدی وفاخواه (۱۳۹۱)، توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، شماره ۱۵، صص ۲۶-۴۱.
- ملکی‌نژاد، حسین و مهدی سلیمانی مطلق (۱۳۹۰)، بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه‌ی چغلوئندی، مجله‌ی پژوهش آب ایران، شماره ۹، صص ۶۱-۷۲.
- نادریان‌فر، محمد؛ انصاری، حسین؛ ضیائی، علی‌نقی و کامران داوری (۱۳۹۰)، بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب‌زیرزمینی در حوضه‌ی آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۳، صص ۲۲-۳۷.
- Bhuiyan, C., Singh, R.P., Kogan, F.N., (2006), **Monitoring Drought Dynamics in The Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remot Sensing Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 8, PP.289-302.
- Dracup, J.A., Lee K.S., Paulson G. (1980), **On the Definition of Droughts**, Journal of Waterresources Research, 16(2), PP.297-302.
- Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T. (2014), **Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas**, Irrig Drainage Syst, 22, PP.159-177.
- Mckee B.T., Nolan J., Doesken N.J., Kleist J. (1995), **Drought Monitoring with Multiple Timescales**, 9th. Conference on Applied Climatology, PP.233-236.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993), **The relationship of drought frequency and duration to time scales**, Preprints 8th Conference on Applied Climatology, PP.179-184.

- Palmer, W.C. (1965), **Meteorological Drought**, U.S. Weather Bureau Res, No. 2, PP.45-58.
- Pandey, R.P., Mishra, S.K., Singh, R., and Ramasastri, K.S. (2008), **Streamflow Drought Severity Analysis of Betwa River System (India)**, Water Resources Management, No. 22, PP.1127-1141.
- Serrano, S.M., Lopez-Moreno J.I., (2015), **Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitatio Index in a mountainous Mediterranean basin**, Hydrology and Earth System Sciences, No. 9, PP. 523-533.
- Thampsons, S. (1999), **Hydrology for Water Management**, Prentice Hall Inc, PP.1-352.

