



## استفاده از شاخص خشکسالی در مدیریت بهره‌برداری آب‌زیرزمینی

هاشم درخشان<sup>۱\*</sup>، کامران داوری<sup>۲</sup><sup>۱</sup>فارغ التحصیل ارشد علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد، [h.derskhshan@mail.um.ac.ir](mailto:h.derskhshan@mail.um.ac.ir)استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، [k.davary@um.ac.ir](mailto:k.davary@um.ac.ir)

### چکیده

آب‌زیرزمینی یگانه منبع قابل اطمینان برای تأمین آب (مخصوصاً شرب) در شرایط خشکسالی بوده، که لزوم حفاظت از آن به دلیل افزایش آسیب‌پذیری در برابر وقوع خشکسالی‌های خطرناک، ناشی از تغییر اقلیم اجتناب‌ناپذیر است. در حال حاضر در صورت وقوع خشکسالی میزان برداشت از آب‌زیرزمینی تغییر نمی‌کند در حالی که میزان آب تجدیدپذیر کاهش یافته و به شدت تغذیه آب‌خانه کم می‌شود. کاهش تغذیه آب‌خانه تعادل با میزان برداشت را بر هم می‌زند. که این عدم تعادل در قالب افت سطح آب‌زیرزمینی نمایان خواهد شد. بنابراین تنظیم برداشت به تناسب تغییر شرایط آب‌وهوایی از کلیدی‌ترین چالش‌ها در مدیریت آب‌زیرزمینی محسوب می‌شود. در این مقاله استفاده از شاخص خشکسالی برای مدیریت بهره‌برداری از آب‌زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته، و روشی به منظور بهبود ارتباط بین نوسانات آب و هوایی در تنظیم میزان برداشت از آب‌زیرزمینی پیشنهاد گردیده است. روش پیشنهادی (شاخص خشکسالی تجمعی) با استفاده از داده‌های یک دوره ۱۲۲ ساله در دشت مشهد مورد کاربرد قرار گرفت. بر اساس شاخص SPI، شاخص خشکسالی تجمعی (CSPI) به منظور مدیریت بهره‌برداری آب‌زیرزمینی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص CSPI می‌تواند مبنایی معقول برای تنظیم برداشت از آب‌خانه متناسب با نوسانات آب و هوایی فراهم آورد.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی، شاخص خشکسالی تجمعی، ذخیره استراتژیک آب‌زیرزمینی، مدیریت پایدار آب‌زیرزمینی

## Utilize Drought Index in Groundwater Withdrawal

H.Derakhshan<sup>1</sup>, K.Davary<sup>2</sup><sup>1</sup> MSc Gragoeite Student, Department of Water Science Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran<sup>2</sup> Professor Faculty, Department of Water Science Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

### Abstract

Groundwater is the only reliable source for water supply (especially drinking water) in drought conditions, the conservation of groundwater because of increased vulnerability to droughts in climate change condition is necessity. At the moment, the rate of groundwater withdrawal does not change if there drought condition, while the amount of renewable water decreases as a result decreases groundwater recharge. Decreasing recharge groundwater Disturbing water system management and will decrease groundwater level. Balancing between groundwater withdrawal and claimant variability is key challenges in groundwater management. In fact, how much of the groundwater can be withdrawal and how it should be recharge is important issues and neglect in groundwater management in our country. We have developed Cumulative Drought Index (CDI) base on SPI drought index by 122 yeas data in Mashhad plain. In the final we proposing CDI reasonable criteria for the groundwater management.

\* نویسنده مسئول مکاتبات: شماره تماس (۰۹۱۵۷۰۰۱۸۷۳)



**Keywords:** Drought, Cumulative Drought Index, Groundwater Strategic Reserve, Sustainable Groundwater Management

## ۱ - مقدمه

بیش از ۹۰ درصد بلایای طبیعی مرتبط با آب می‌باشد (UNESCO-WWAP 2012). یکی از این بلاها که ارتباط تنگاتنگی با تغییرات آب و هوایی دارد پدیده خشکسالی است. خشکسالی از پدیده‌های مورد توجه دانشمندان در سطح دنیا محسوب می‌شود که ارزیابی آن اهمیت فراوان داشته، و از اصول اولیه در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب محسوب می‌شود (Mishra and Sing, 2010). در حال حاضر گرمایش جهانی و به دنبال آن تغییر اقلیم از مهمترین پدیده‌های مورد توجه جوامع بشری محسوب شده، و تحت این شرایط احتمال وقوع خشکسالی‌های شدیدتر و با خسارات بالا افزایش می‌یابد (Orlowsky and Seneviratne, 2013; IPCC, 2013). برخی از محققین اثر تغییر اقلیم در افزایش احتمال وقوع خشکسالی مورد مطالعه قرار داده اند و بر الویت دادن به ضرورت مدیریت این بلای طبیعی تاکید داشته اند. زیرا اثر تغییر اقلیم شدت بلایای طبیعی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش شدت وقوع خشکسالی یکسان نبوده و پیش بینی می‌گردد تا در مناطق خشک و نیمه خشک این اثرات جدی‌تر باشد (Ault et al., 2014). در سال‌های اخیر افزایش شدت خشکسالی در اثر تغییر اقلیم به نگرانی جدیدی در سراسر دنیا تبدیل شده، که ضرورت مدیریت این بلای طبیعی اهمیت بیشتری نسبت به گذشته یافته است (FAO, 2013).

منابع آب‌زیرزمینی بیش از ۹۶ درصد آب شیرین دنیا را در خود دارند، که این منبع حیاتی را به مهمترین ذخیره آب شیرین بر روی کره زمین تبدیل نموده است (Van der Gan, 2012). آب‌زیرزمینی یگانه منبع قابل اطمینان برای تأمین آب (مخصوصاً شرب) در شرایط خشکسالی می‌باشد. با توجه بر اثرات تغییر اقلیم و افزایش شدت بلایای طبیعی همچون خشکسالی‌ها ضرورت مدیریت صحیح آب‌زیرزمینی برای کنترل خسارات این بلاها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین به حساب آوردن تغییر اقلیم و خشکسالی در مدیریت آب‌زیرزمینی از ضروریات توسعه پایدار محسوب می‌شود (Langrige, 2017). پژوهش‌هایی که به نقش آب‌زیرزمینی در طول دوره خشکسالی پرداخته‌اند، نیاز به ایجاد این رویکرد پیشگیرانه در سازگاری با پدیده خشکسالی را مورد تاکید قرار داده‌اند. ذخیره بخشی از آب‌زیرزمینی باعث افزایش تاب‌آوری<sup>۱</sup> توسعه شده، و یکی از موارد مورد توجه در رویکرد پیشگیرانه برای مدیریت خشکسالی می‌باشد. (Wilhite et al., 2014). اگرچه در راستای این رویکرد پیشگیرانه، برنامه‌های زیادی برای مدیریت ریسک خشکسالی از جمله انتقال آب، ساخت سد در مناطق مرطوب و ساخت آب شربین کن برای مناطق ساحلی مورد توجه است، اما ذخیره استراتژیک آب‌زیرزمینی تنها ذخیره‌ای است که می‌تواند در مناطق بری (گرم و خشک دور از دریا) به عنوان ابزاری مهم در مدیریت ریسک خشکسالی مطرح گردد (درخشان، ۱۳۹۶).

ایران جزء مناطق گرم و خشک بوده، و آب‌زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب در آن محسوب می‌شود. به عنوان نمونه درصد وابستگی به منابع آب‌زیرزمینی در دشت مشهد با توجه به منابع آبی که خارج از این دشت آورده شده است ۸۵ درصد بوده، و در مناطق فاقد رودخانه دائمی و فصلی به ۱۰۰ درصد خواهد رسید (کتاب آب خراسان رضوی، ۱۳۹۶) اما با وجود نقش بی بدلیل آب‌زیرزمینی، اضافه برداشت و در نتیجه افت مستمر این منابع باعث ناپایداری آب‌زیرزمینی شده، و اضمحلال این منابع را در بسیاری از دشتهای ایران رغم زده است. مطمئناً ادامه این روند ناپایداری توسعه وابسته به آب‌زیرزمینی را در پی خواهد داشت. بنابراین لازم است تا برای حفظ پایداری توسعه موجود مخصوصاً در شرایط استرس آبی شدید مانند وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت برداشت از آب‌زیرزمینی مورد اصلاح قرار گیرد (درخشان و عمرانیان، ۱۳۹۶). توجه بیشتر بر ایجاد انطباق بین ظرفیت تجدیدپذیری آبخانه متناسب با تغییر شرایط آب و هوایی از مبانی مورد توجه در مدیریت آب‌زیرزمینی است. برداشت از آب‌زیرزمینی مبتنی بر مبانی آبدهی پایدار<sup>۲</sup> می‌تواند کمک شایانی به مدیریت ریسک بلایای طبیعی همچون خشکسالی داشته باشد (Rudestan and Langridge, 2013).

مدیریت بهره‌برداری از آب‌زیرزمینی متناسب با تغییرات آب‌وهوایی از کلیدی‌ترین چالش‌ها مطرح در مدیریت پایدار

<sup>۱</sup> Resilience

<sup>۲</sup> Sustainable Yield

آب‌یرزمینی است زیرا مدیریت این منابع در شرایط خشکسالی مشکل‌تر شده و جلوگیری از اضافه برداشت و افت سطح آب‌یرزمینی در چنین شرایط را با شکست روبه‌رو خواهد نمود (Langrige, 2017). بنابراین لازم است تا به مدیریت آب‌یرزمینی در شرایط خشکسالی توجه ویژه شود و راهکارها برای مدیریت ریسک خشکسالی و چگونگی جبران اضافه برداشت بعد از اتمام دوره خشکسالی مورد پژوهش بیشتر قرار گیرد. این مقاله در راستای پاسخ به این ضرورت، به توسعه شاخص خشکسالی تجمعی به منظور ایجاد ارتباط بین شاخص خشکسالی (نشانگر تغییرات آب‌وهوایی) با میزان برداشت از آب‌یرزمینی پرداخته است. شاخص مزبور در یکی از ایستگاه‌های مینا در دشت مشهد که بیشترین طول دوره آماری را دارد کاربرد گردیده است و چگونگی تنظیم برداشت از آب‌یرزمینی با استفاده از شاخص خشکسالی تجمعی پیشنهادی (CSPI) مورد تحلیل قرار گرفته است.

## ۲- داده‌ها و روش تحقیق

### ۲-۱- شاخص تجمعی خشکسالی

شاخص‌های خشکسالی نشانگرهایی برای نشان دادن وضعیت آب‌وهوایی هستند. تاکنون به منظور تحلیل وضعیت آب‌وهوایی شاخص‌های متعددی مورد توسعه قرار گرفته است. از مهمترین ویژگی‌های شاخص‌های خشکسالی این است که می‌توانند به خوبی وضعیت آب و هوایی را از نظر تر، خشک و یا نرمال بودن تفسیر کنند. علی‌رغم اهمیت مدیریت برداشت از منابع آب‌یرزمینی مخصوصاً در شرایط خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت، این شاخص‌ها قابلیت برای تنظیم برداشت آب‌یرزمینی در شرایط مختلف آب‌وهوایی را ندارد. زیرا همواره استفاده از نشگرهای خشکسالی مستقل از تغییرات برداشت آب‌یرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله روشی برای تحلیل توأم اثر خشکسالی و ترسالی به منظور تنظیم برداشت از منابع آب‌یرزمینی مورد توجه بوده، و که بدین منظور شاخص خشکسالی تجمعی (معادله ۱) پیشنهاد گردیده است. در این معادله شاخص خشکسالی تجمعی با  $CDI^1$  نشان‌دهنده شده است و می‌تواند براساس هر شاخص خشکسالی ( $DI$ )<sup>۲</sup> مورد محاسبه قرار گیرد.

$$CDI = \sum_{i=1}^m DI_i \quad (1)$$

در فرمول فوق  $DI_i$  مقدار شاخص خشکسالی در مقیاس زمانی  $i$ ،  $CDI$  مقدار شاخص تجمعی و  $m$  تعداد کل مقایس‌های زمانی است. در این مقاله چون بیشتر مدیریت خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت مورد تاکید می‌باشد بنابراین مقیاس زمانی سالانه برای شمارنده  $i$  در شاخص خشکسالی تجمعی مورد استفاده قرار گرفته است.

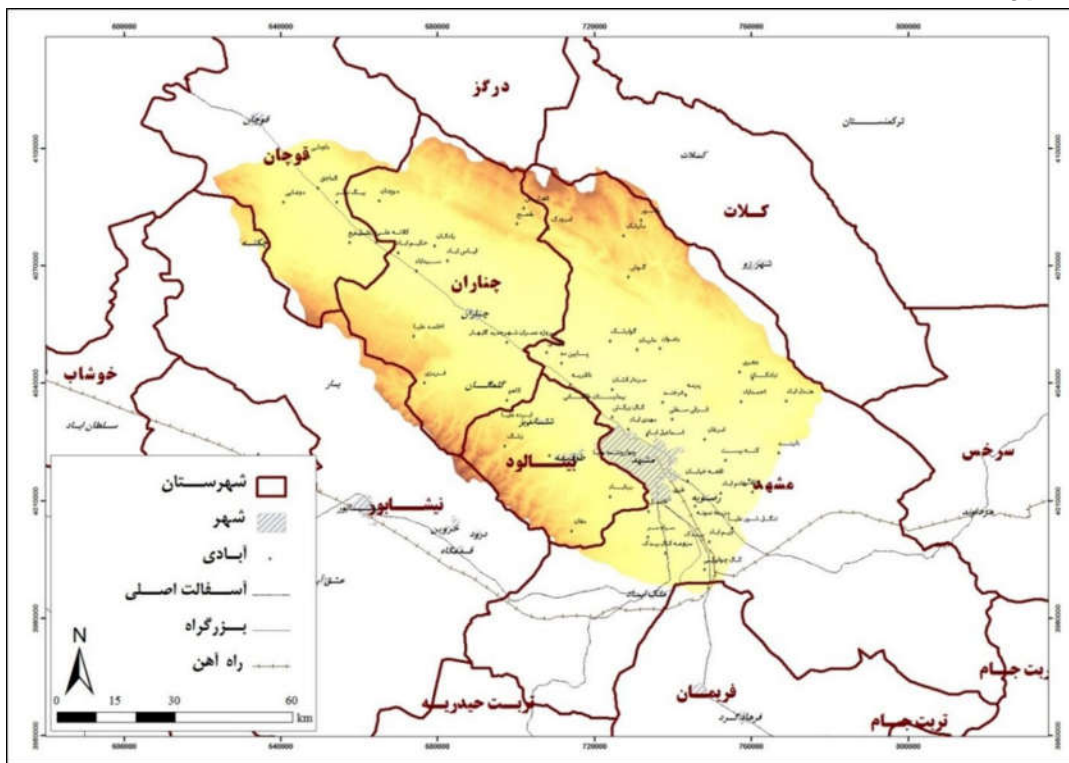
### ۲-۲ معرفی محدوده مطالعاتی مشهد

با توجه به شکل ۱ محدوده مطالعاتی مشهد از نظر جغرافیایی، در شمال استان خراسان رضوی، با کشیدگی شمال غربی - جنوب شرقی در حد فاصل ارتفاعات بینالود در جنوب غرب و غرب و ارتفاعات کپه‌داغ (هزارمسجد) در شرق و شمال شرق و در محدوده‌ای به طول جغرافیایی  $20^{\circ} 58'$  تا  $8^{\circ} 60'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 40'$  تا  $36^{\circ} 3'$  شمالی واقع شده است.

در این مقاله به دلیل اینکه مدیریت خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت مورد توجه بوده، از داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید مشهد در شرق این شهر و در مجاورت فرودگاه شهید هاشمی نژاد قرار دارد استفاده گردیده است. سال تاسیس این ایستگاه ۱۲۶۴ شمسی (۱۸۸۵ میلادی) است (سالنامه هواشناسی، ۱۳۳۴-۳۵). آمار بارندگی این ایستگاه از سال ۱۲۷۲ تا ۱۳۹۲ به طول آماری ۱۲۲ سال مورد تحقیق قرار گرفته است. قسمتی از این اطلاعات از سال (۱۸۹۳-۱۹۴۰) توسط سفارت سابق آمریکا (واقع در مشهد) آمار برداری شده است (Smithsonian Institution, 1927, 1934, 1950) و (Department of Commerce, 1950, 1967, 1977, 1981). لازم به ذکر است که این آمار به تقویم هجری شمسی تبدیل که معادل سال‌های ۱۲۷۲ اواخر سلطنت ناصرالدین شاه قاجار می‌باشد (فرزندی و

<sup>1</sup> Cumulative Drought Index (CDI)

<sup>2</sup> Drought Index (DI)



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی مشهد، شهرستانها (کتاب استان خراسان رضوی، ۱۳۹۶)

### ۲-۳- برآورد شاخص خشکسالی SPI

شاخص بارش استاندارد شده (نرمال شده)، یکی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌باشد که این شاخص براساس تفاوت بارش از میانگین بارندگی و تقسیم آن بر انحراف معیار برای یک مقیاس زمانی مشخص برآورده گردیده، سپس بر توزیع مناسب برازش می‌یابد. برای نشان دادن این شاخص از یک سیستم طبقه‌بندی استفاده شده است و طبق جدول ۱ خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد منفی تداوم داشته باشد و در صورتیکه مقدار این شاخص مثبت شود، خشکسالی به پایان رسیده است، بنابراین مدت و شدت خشکسالی برای هر دوره را می‌توان توسط این شاخص برآورد کرد. این شاخص مطابق معادله (۱) و جدول (۱) برآورد و بررسی می‌شود (McKee et al., 1933; 1995).

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

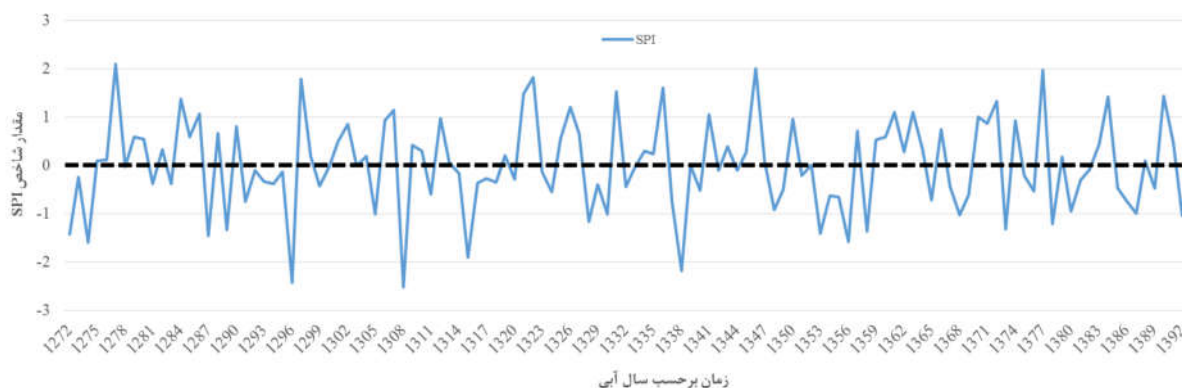
که در این رابطه  $Pi$  بارش در ماه مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین بارش ماهانه در درازمدت و  $SD$  انحراف معیار بارش در طول دوره آماری می‌باشد.

جدول ۱: طبقه بندی شاخص (SPI)

وضعیت آب و هوایی	شاخص SPI
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید

۱/۴۹ تا ۱/۰	ترسالی متوسط	
۰ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم	نزدیک به نرمال
۰ تا ۰/۹۹ -	خشکسالی ملایم	
۱/۴۹ - تا ۱/۰ -	خشکسالی متوسط	
۱/۵ - تا ۱/۹۹ -	خشکسالی شدید	
۲ - و کمتر	خشکسالی بسیار شدید	

بدین منظور برای بررسی خشکسالی در مقایسه زمانی سالانه در ایستگاه همدید مشهد در دوره آماری موجود منتهی به سال آبی ۹۳ - ۱۳۹۲ (۱۲۲ سال)، از شاخص خشکسالی SPI استفاده شده است و نتایج این بررسی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۳- برآورد شاخص خشکسالی SPI

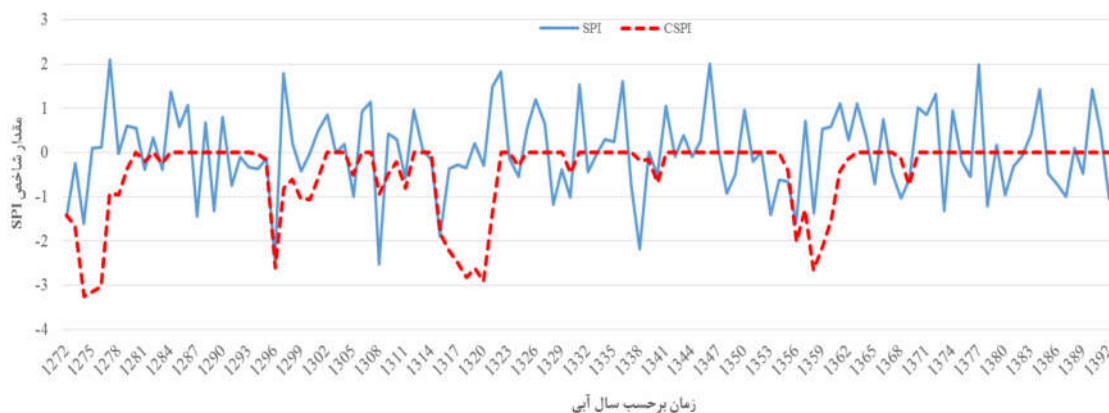
### ۳- نتایج و بحث

به استاد «بند ز» از قانون توزیع عادلانه آب مصوب سال ۱۳۶۱ مجلس شورای اسلامی، وزارت نیرو موظف است تا در صورت ورود به دوره خشکسالی شدید و طولانی مدت به جیره‌بندی آب بپردازد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران آب‌زیرزمینی قابل اطمینان‌ترین منبع برای تأمین و مدیریت خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت می‌باشد. همواره با مثبت شدن شاخص خشکسالی در محدوده مورد نظر (دشت مشهد) از نظر هواشناسی خشکسالی به پایان می‌رسد (شکل ۲). این درحالی که اثرات مخرب خشکسالی و صدمات آن به ذخیره‌استراتژیک آب‌زیرزمینی جبران نگردیده است. در واقع این موضوع که چه زمانی برنامه مدیریت خشکسالی (کاهش مصارف و جیره‌بندی) باید به اتمام برسد تا ذخیره استراتژیک آب‌زیرزمینی دوباره مورد احیاء قرار گیرد به دستی تبیین نگردیده است این مقاله روشی را براساس تجمعی نمودن شاخص خشکسالی SPI در دشت مشهد پیشنهاد نموده است. به کمک این شاخص (معادله ۲) می‌توان بهره‌برداری از آب‌زیرزمینی را به گونه‌ای تنظیم نموده که ذخیره‌استراتژیک آب‌زیرزمینی بعد از اتمام دوره خشکسالی مورد احیاء قرار گرفته باشد. به عبارت دیگر شاخص خشکسالی تجمعی CSPI در دشت مشهد می‌تواند زمان اتمام برنامه مدیریت خشکسالی را بگونه تخمین بزند که ذخیره استراتژیک آب‌زیرزمینی به حالت اولیه خود بازگردد. در فرمول ۲ (شاخص خشکسالی تجمعی)  $SPI_i$  مقدار شاخص خشکسالی در مقیاس زمانی  $i$ ،  $CSPI$  مقدار شاخص تجمعی است تعداد کل مقیاس‌های زمانی (۱۲۲ سال آبی مورد توجه تحقیق) می‌باشد که بنابراین در این تحقیق  $m=122$  خواهد بود.

$$CSPI = \sum_{i=1}^m SPI_i \quad (2)$$

در شکل ۳ منحنی ممتد شاخص خشکسالی SPI و منحنی خط چین شاخص تجمعی CSPI می‌باشد که به منظور

مقایسه این دو شاخص بر روی یک نمودار ترسیم گردیده‌اند. در بخش مثبت شاخص CSPI برای مقایسه بهتر با شاخص SPI حذف شده است. شاخص تجمعی CSPI مبتنی بر تحلیل اثر توأم خشکسالی و ترسالی سال‌های قبل و بعد از وقوع واقعه خشکسالی بوده، و صفر شدن این شاخص به معنی از بین رفتن اثر کامل خشکسالی و احیاء ذخیره استراتژیک آب‌یرزمینی است. مطابق شکل ۳ اگرچه که براساس شاخص SPI ترسالی و خشکسالی‌های متعدد رخ داده است. اما براساس شاخص خشکسالی تجمعی CSPI تنها چهار دوره اصلی برای مدیریت ریسک خشکسالی شدید مورد شناسایی واقع شده است. در این چهار دوره، برنامه مدیریت ریسک خشکسالی مبتنی بر شاخص CSPI می‌تواند به گونه‌ای تنظیم گردد که برداشت و جایگزینی ذخایر استراتژیک آب‌یرزمینی متناسب با تغییر شرایط آب‌وهوایی تنظیم شود. در واقع انتهای دوره خشکسالی براساس شاخص CSPI به اطمینان را به مدیران خواهد داد که مرحله جایگزینی (احیاء ذخایر استراتژیک آب‌یرزمینی) با اتمام دوره خشکسالی براساس شاخص مزبور بصورت کامل انجام گردده است.



شکل ۳- برآورد شاخص خشکسالی تجمعی (CSPI) براساس شاخص SPI

#### ۴- نتیجه گیری و جمع بندی

در طول دوره خشکسالی به دلیل کاهش تغذیه آبخانه فشار بر آب‌یرزمینی به دلیل در دسترس بودن بیشتر می‌شود که افت سطح آب‌یرزمینی را در پی دارد. این اضافه برداشت از ذخایر تجدیدناپذیر (استراتژیک) باعث اضمحلال این ذخایر شده، و همچنین خسارات جبران‌ناپذیری همچون فرونشست ویا کاهش ظرفیت ذخیره آب در آبخانه، کاهش کیفیت در اثر افزایش شوری آب و ... به وجود خواهد آورد. بنابراین حفظ پایداری آبخانه در گروهی تنظیم برداشت از آب‌یرزمینی متناسب با تغییرات شرایط آب و هوایی است. این مهم در صورتی محقق می‌شود که به گونه‌ای برنامه ریزی شود تا میزان اضافه برداشت از آبخانه در دوره خشکسالی، در شرایط ترسالی جبران شود.

اگرچه که با مثبت شدن شاخص‌های خشکسالی هواشناسیک همچون SPI ظاهراً خشکسالی تمام می‌شود ولی به دلیل اینکه هنوز آثار مخرب خشکسالی از بین نرفته است. برنامه مدیریت ریسک خشکسالی به اتمام نخواهد رسید. این برنامه باید تازمانی ادامه داشته باشد که سطح آب‌یرزمینی به حالت اولیه خود بازگردد. در این مقاله شاخص CSPI به منظور تنظیم برداشت از ذخایر استراتژیک آب‌یرزمینی در دشت مشهد مورد توسعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقدار و زمان مورد نیاز برای برگشت به سطح اولیه آب‌یرزمینی بر اساس شاخص پیشنهادی در این مقاله (شاخص تجمعی خشکسالی) قابل تبیین است. روش پیشنهادی برای توسعه شاخص تجمعی خشکسالی مبتنی بر اثر توأم خشکسالی و ترسالی بوده، و صفر شدن این شاخص به معنی از بین رفتن اثر کامل خشکسالی است. لازم به ذکر است که تحلیل شاخص خشکسالی تجمعی در کنار تحلیل برداشت از آبخانه و یا منحنی تغذیه آب‌یرزمینی می‌تواند اطلاعات مفید تری در مدیریت آب‌یرزمینی در اختیار قرار دهد. در نهایت پیشنهاد می‌شود تا شاخص پیشنهادی در این مقاله به منظور تعیین زمان اتمام برنامه‌های مدیریت ریسک خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۵- منابع

درخشان، ه. ۱۳۹۶. بسط مفهوم «ذخیره استراتژیک» در مدیریت منابع آب و تدوین یک چارچوب برای کاهش





مشهد

- فرزندی، م. رضائی پزند، ح. سید نژاد، ن.، (۱۳۹۳): تعیین نقطه شکست دمای سالیانه با الگوی وابستگی سیستم خاکستری برای تحلیل جزیره حرارتی مشهد، مخاطرات محیط طبیعی، ۴، ۴۹-۵۹.
- قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱): مصوب مجلس شورای اسلامی، انتشارات مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، قابل دسترسی در: <http://rc.majlis.ir/fa/law/show/90679>
- کتاب آب استان خراسان رضوی محدوده مطالعاتی مشهد (۱۳۹۶): شرکت مشاور هیدروتک توس، انتشارات دانشگاه دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۷-۳۰ صفحه.
- Ault, T.R., Cole, j., Overpeck, j., Pederson, G., Meko, D., (2014): Assessing the Risk of Persistent Drought Using Climate Model Simulations and Paleo climate Data, *Climate j.*, 27: 7529-7549 doi: 10.1175/JCLI-D-12-00282.1
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013): No date. 'Drought facts' rome, Italy. Available at [fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf](http://fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp ,doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Mishra, A. K., and Singh, V. P., (2010): Drought modeling - A review, *Hydrology j.*, 403, 157-175,doi:10.1016/j.jhydrol.2011.03.049, 2011. 101
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Paper Presented at 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales, Paper Presented at 9th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Dallas, Texas.
- Langridge, R., (2012): Drought and Groundwater: Legal Hurdles to Establishing Groundwater Drought Reserves in California, *Environ: Environmental Law and Policy J.*, 36:1 Available at: [environs.law.ucdavis.edu/issues/36/1/Langridge.pdf](http://environs.law.ucdavis.edu/issues/36/1/Langridge.pdf).
- Orlowsky, B., and Seneviratne, S.I., (2012): Elusive drought: uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projection, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1765-1781, doi:10.5194/hess-17-1765-2013
- Rudestam, Kirsten. and Ruth Langridge (2013): Sustainable Yield in Theory and Practice: Bridging Scientific and Mainstream Vernacular. *Groundwater*, doi: 10.1111/gwat.12160
- Smithsonian Institution, (1927): World weather records, 1910-1920. S Smithson. Miss C. Collect. ,79.(Publication2913.)
- Smithsonian Institution, (1934): World weather records, 1921-1930. Smiths on. Miss c. Col lect., 90.(Publication3216.)
- Smithsonian Institution. (1947): World weather records, 1931 - 1940. Smiths on. Misc. Col Lect., 105.(Publication3803.)
- U.S. Department of Commerce, (1950): World weather records, 1941 -1950. Washington, DC, V. S.Department of Commerce. Weather Bureau.
- U.S. Department of Commerce, (1968): World weather records, 1951 -1960. Washington, DC, V.S.Department of Commerce. Environmental Science Services Administration.
- U.S. Department of Commerce, (1977): World weather records, 1971-1980. Washington, DC, V. S.Department of Commerce. National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- U.S. Department of Commerce. (1981): Word weather records, 1961 -1970. Washington, DC, V.S.Department of Commerce. National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- UNESCO-WWAP (2012): Managing water under uncertainty and risk, vol1.TheUnited Nations World Water Development report 4(WWDR4). Part of the UN World Water Assessment Programmed (WWAP), UNESCO, Paris



- 
- Van der Gun, j., (2012): Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges. UNESCO press
  - Wilhite, D., (2014): Drought: Past and Future. Presented at Drought in the Life, Cultures, and Landscapes of the Great Plains, University of Nebraska-Lincoln on April 2, 2014.