

## تحلیل خشکسالی هواشناسی شهر یزد توسط شاخص های SPI و SPEI

- طیبه مصباحزاده<sup>۱</sup>، مریم میراکبری<sup>۲</sup>، محسن محسنی ساروی<sup>۳</sup>، حسن خسروی<sup>۴</sup>، قاسم مرتضایی فریزندی<sup>۵</sup>
۱. استادیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)، [tmesbah@ut.ac.ir](mailto:tmesbah@ut.ac.ir)
۲. دانشجوی دکتری بیابانزدایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [maryammirakbari@ut.ac.ir](mailto:maryammirakbari@ut.ac.ir)
۳. استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [msaravi@ut.ac.ir](mailto:msaravi@ut.ac.ir)
۴. استادیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [hakhosravi@ut.ac.ir](mailto:hakhosravi@ut.ac.ir)
۵. دانشیار پژوهشکده مطالعات توسعه سازمان جهاد دانشگاهی تهران، مامور در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری - [mortezaie@ut.ac.ir](mailto:mortezaie@ut.ac.ir) - [mortezaai@acecr.ac.ir](mailto:mortezaai@acecr.ac.ir)

### چکیده

کمبود نزولات جوی و نوسانات شدید نزولات، مواجه شدن با پدیده خشکسالی را امری اجتناب ناپذیر تلقی می‌کند. وقوع خشکسالی از ویژگی‌های اصلی آب و هوای ایران محسوب می‌شود که هم در قلمرو آب و هوای خشک و هم مرطوب قابل مشاهده است. این حالت در نتیجه وجود نوسانات آب و هوایی شدید در مقیاس‌های زمانی مختلف حاصل می‌شود. دانشمندان برای ارزیابی و پایش خشکسالی شاخص‌های متعددی را ارائه داده‌اند که هر یک بر اساس متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه وضعیت خشکسالی هواشناسی با استفاده از پارامترهای دما و بارندگی در شهر یزد ارزیابی شد. هدف از این بررسی مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی براساس مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد با افزایش مقیاس زمانی شدت و مدت خشکسالی بر طبق هر دو شاخص افزایش یافته و از فراوانی وقوع خشکسالی‌ها کاهش می‌یابد. براساس مشخصه‌های خشکسالی حاصل از SPEI شدیدترین خشکسالی دارای شدت ۱۶۶.۶- و مدت ۱۱۲ ماه و براساس شاخص SPI ۳۰.۶- و مدت ۳۸ ماه در مقیاس زمانی ۱۲ ماه می‌باشند. بطور کلی شاخص SPEI بدلیل لحاظ کردن پارامتر دما خشکسالی‌های شدیدتر را نسبت به SPI بهتر نشان می‌دهد بطوری که براساس فراوانی طبقات خشکسالی برطبق SPEI انواع طبقات خشکسالی در منطقه وقوع یافته است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، SPI، SPEI، شهر یزد

## مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی و قابل تکرار است که بخش جدایی‌ناپذیر از تغییرات اقلیمی می‌باشد بنابراین هر منطقه‌ای با هر اقلیمی می‌تواند آن را تجربه کند. خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است. خشکسالی بایستی در مقایسه با شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد. تعیین مشخصه‌های خشکسالی بصورت عینی بسیار مشکل است از این رو شاخص‌های خشکسالی برای ارزیابی ارائه شده‌اند. با توجه به تعاریفی که برای خشکسالی وجود دارد معرفی یک شاخص واحد و جهانی برای آن بسیار مشکل است (Heim, 2002). مطالعات انجام شده تایید کرده اند که عوامل زیادی مانند بارندگی، دما، رطوبت نسبی بر مشخصه‌های خشکسالی تاثیر می‌گذارد. بر این اساس شاخص‌های متعددی همانند شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI<sup>1</sup>)، شاخص بارش استاندارد (SPI<sup>2</sup>)، شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد (SPEI<sup>3</sup>)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI<sup>4</sup>)، شاخص خشکسالی موثر (EDI<sup>5</sup>)، شاخص خشکسالی احیایی (RDI<sup>6</sup>)، شاخص رطوبت خاک (SMI<sup>7</sup>) طراحی شده‌اند. در این میان SPI جز پرکاربردترین شاخص‌ها می‌باشد. شاخص SPI بدلیل اینکه تنها از پارامتر بارندگی برای استخراج دوره‌های خشکسالی و ترسالی استفاده می‌کند نسبت به دیگر شاخص‌ها قابل دسترس‌تر می‌باشد. شاخص‌هایی همانند SPI که تنها بر اساس پارامتر بارندگی است بر دو فرض استوار هستند ۱- تغییرپذیری بارش از دیگر متغیرها همانند دما، تبخیر تعرق پتانسیل بیشتر است. ۲- دیگر متغیرها ایستا هستند. با این فرضیات اهمیت دیگر متغیرها در نظر گرفته نمی‌شود و خشکسالی‌ها تنها بر اساس تغییرات بارندگی تعیین می‌شوند. با این وجود مطالعات نشان می‌دهد بارندگی مهمترین فاکتور در تعیین زمان شروع و خاتمه خشکسالی است (Heim, 2002). افزایش دمای کره زمین در سال‌های اخیر توسط مدل‌های تغییر اقلیم توسط محققان متعددی گزارش شده است (Solomon و همکاران، 2007) که این مسئله می‌تواند موجب افزایش وقوع خشکسالی‌ها شود (Wood و Sheffield, 2008). بدین منظور برای تحلیل و ارزیابی بهتر خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم شاخص بارش تبخیر تعرق استاندارد (SPEI) توسط (Vicente-Serrano و همکاران، 2010) ارائه شد. این شاخص خشکسالی را با استفاده از سه متغیر بارش، دما و تبخیر تعرق پتانسیل تعیین می‌کند که بر اساس بیلان آبی اقلیمی ماهانه (هفتگی) می‌باشد. (Saunders و Lloyd-Hughes, 2002) بیان کردند در مناطق خشک بدلیل کمبود میزان بارندگی، مقادیر صفر در سری زمانی بارندگی زیاد است. این مسئله بر ارزش تابع توزیع گاما جهت محاسبه شاخص SPI با مشکل مواجه می‌کند لذا لازم است در این مناطق از شاخص دیگری جهت استخراج دوره‌های خشکسالی استفاده کرد. در مطالعه‌ای (نصرتی و همکاران، 1393) شاخص SPI و SPEI را برای ارزیابی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های استان تهران و توزیع مکانی و زمانی آن استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما شاخص SPEI پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی داشته است. همچنین با افزایش مقیاس زمانی تداوم خشکسالی‌ها بر اساس هر دو شاخص افزایش یافته است. (تاج بخش و همکاران، 1394) خشکسالی هواشناسی در ایران را بصورت فصلی با استفاده از SEPI ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد تبخیر تعرق نقش موثری در تغییر شدت خشکسالی دارد در نتیجه استفاده از فاکتور تبخیر تعرق پتانسیل را در کنار بارش برای تحلیل خشکسالی توصیه کردند. (Vicente-Serrano و همکاران، 2010) گسترش پدیده خشکسالی در بازه زمانی 1930 تا 2006 در ایبریان بررسی کردند، در این بررسی تاثیر نوسانات بارش و گرمایش جهانی کره زمین بصورت جداگانه بر شدت خشکسالی با بهره‌گیری از شاخص‌های SPI و SPEI ارزیابی شد. (Mozny و Potop, 2011) کاربرد شاخص SPEI را به عنوان یک شاخص جدید در جمهوری چک مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که صرفنظر از مقیاس زمانی این شاخص دارای قابلیت تشخیص شدت خشکسالی تحت تاثیر شرایط افزایش دمایی در دهه‌های 1980، 1990 و 2000 می‌باشد. همچنین اینکه ارزیابی خشکسالی در این

- 1 Palmer Drought Severity Index
- 2 Standardized Precipitation Index
- 3 Standardized Precipitation- Evaporation Index
- 4 Vegetation Condition Index
- 5 Effective Drought Index
- 6 Reclamation Drought Index
- 7 Soil Moisture Index

دوره‌ها در نتیجه افزایش تبخیر تعرق پتانسیل می‌باشد. (احمدی و همکاران، ۲۰۱۳) خشکسالی هواشناسی را در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسط SPEI و SPI در اصفهان تحلیل کردند. همچنین ارتباط بین شاخص‌های بارش استاندارد و بارش-تبخیر-تعرق استاندارد و رطوبت خاک را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد شاخص بارش استاندارد و بارش-تبخیر-تعرق استاندارد دارای همبستگی معنی‌دار بودند و شاخص SPEI واکنش سریعتری نسبت به خشکسالی نشان داد. تامروس و منزل (۲۰۱۴) به بررسی وضعیت خشکسالی حال و آینده در اردن پرداختند نتایج حاصل از این بررسی نشان داد شاخص SPEI شش ماهه بیشترین همبستگی را با محتوی رطوبت خاک دارد همچنین بهترین شاخص برای بیان تغییرات میان سالانه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده ماهانه است. (Chunping و همکاران، ۲۰۱۵) تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی را با استفاده از دو شاخص SPI و SPEI در شرایط تغییر اقلیم در منطقه‌ای در چین بررسی کردند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد SPEI در شرایط تغییر اقلیم نسبت به SPI قابلیت بهتری در نشان دادن وضعیت خشکسالی دارد. براساس نتایج شاخص SPEI شده، مدت و فراوانی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه بصورت ۱ ماهه و ۳ ماهه افزایش یافته است. (Maca و Pech، ۲۰۱۶) خشکسالی هواشناسی را براساس دو شاخص SPI و SPEI با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جامع پیش‌بینی کردند. (Liu و Zhou، ۲۰۱۶) خشکسالی هواشناسی را بصورت منطقه‌ای بر اساس دو روش بارش میانگین و شاخص میانگین و با استفاده از روش پلی‌گون تیسن و شاخص SPI تحلیل کردند. نتایج حاصل نشان داد مقادیر SPI بدست آمده توسط هر دو روش همبستگی خوبی دارند. روش شاخص میانگین مقادیر حدی را نسبت به روش بارش میانگین برآورد می‌کند. (Tong و همکاران، ۲۰۱۷) مشخصه‌های خشکسالی را در گراسلندهای منطقه‌ای در چین با استفاده از شاخص SPEI بررسی کردند و تاثیرات آن را بر پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد همبستگی بالای ۹۸ درصد بین SPEI و NDVI<sup>۸</sup> وجود دارد که این بیان کننده تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد که با تاخیر اتفاق می‌افتد.

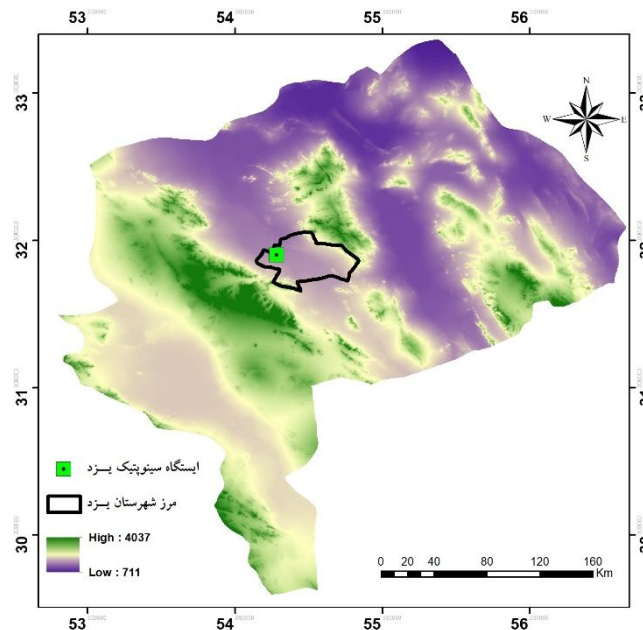
هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خشکسالی هواشناسی در شهر یزد براساس دو شاخص SPI و SPEI می‌باشد. درنهایت مشخصه‌های خشکسالی براساس هر دو شاخص باهم مقایسه خواهند شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

شهر یزد در دره ای وسیع و خشک و محصور بین رشته کوه‌های شیرکوه و خرانق قرار گرفته است. آب و هوای یزد به علت قرار داشتن بر روی کمربند خشک جهانی دارای زمستانهای سرد و نسبتاً مرطوب و تابستان‌های گرم و طولانی و خشک است. متوسط بارندگی در این منطقه در دوره آماری ۶۳ ساله ۵۷ میلی‌متر، متوسط دمای میانگین ۱۹/۵۸ درجه سانتیگراد، حداکثر دمای بیشینه در گرمترین ماه سال ۴۵/۶ درجه، حداقل دمای کمینه در سردترین ماه سال ۱۶- درجه سانتیگراد می‌باشد. بدلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص، محدوده مطالعاتی تحت تاثیر خشکسالی‌های طولانی مدت و شدید در سال‌های اخیر بوده است.

<sup>8</sup> Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان یزد

#### محاسبه شاخص SPI

SPI برای شناسایی و ارزیابی وقایع خشکسالی در مقیاس‌های زمانی چندگانه ارائه شده است (McKee و همکاران، ۱۹۹۳). سازمان هواشناسی جهانی SPI را به عنوان یک شاخص استاندارد خشکسالی توصیه کرده است. شاخص SPI تنها بر مبنای استفاده از داده‌های بارندگی استوار است و می‌توان از آن برای هر مقیاس زمانی دلخواه محاسبه نمود. این قابلیت امکانی را فراهم می‌نماید تا وضعیت منابع آب را برای دوره‌ها و تداوم‌های کوتاه مدت که در کشاورزی و مطالعه رطوبت قابل دسترس گیاه مناسب است و مقیاس‌های زمانی بلندمدت که در مطالعه جریان‌های رودخانه‌ای و مخازن آب زیرزمینی دارای اهمیت است، مورد مطالعه قرار داد. اساس SPI بر محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری لازم است تا سری زمانی مجموعه بارندگی در مقیاس دلخواه تشکیل شود. با داشتن سری زمانی داده‌های بارندگی ماهانه برای هر ایستگاه می‌توان SPI را محاسبه نمود.

#### محاسبه شاخص SPEI

SPEI یک شاخص چند کمیتی است که از سری‌های زمانی بارندگی ماهانه، و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه استفاده می‌کند. تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه توسط رابطه تورنت وایت بر اساس مقادیر دمای متوسط ماهانه و طول و عرض جغرافیایی برای محاسبه متوسط طول روز ماهانه بدست می‌آید. SPEI همانند SPI بر اساس احتمال عدم تجاوز بیلان آبی اقلیم که از اختلاف بین بارندگی و تبخیر-تعرق (D=P-PET) نتیجه می‌شود، در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه خواهد شد.

#### مشخصه‌های خشکسالی

واقعه خشکسالی به عنوان دوره‌ای که SPI یا SPEI بطور پیوسته منفی و مقدار آن به ۱- یا کمتر برسد، تعریف می‌شود. بر این اساس معیارهای ارزیابی خشکسالی بصورت شدت، مدت و فراوانی خشکسالی بیان می‌شوند. مدت برابر است با طول ماه‌های بین شروع و خاتمه خشکسالی، شدت مجموع مقادیر SPI/SPEI ( $S = \sum_{j=1}^m Index_j$ ) در طول یک واقعه خشکسالی تعریف می‌شود. فراوانی خشکسالی نیز بر اساس تعداد وقایع خشکسالی به کل دوره آماری تعیین می‌شود.

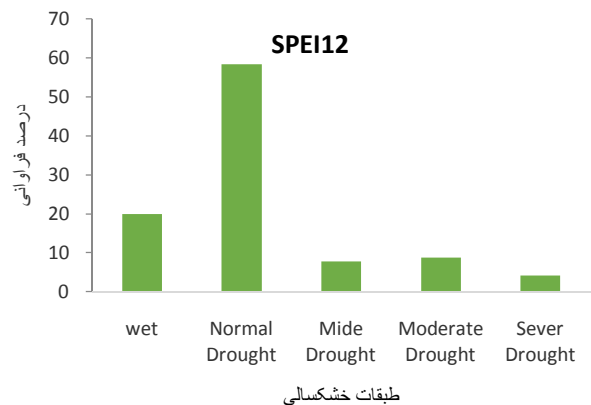
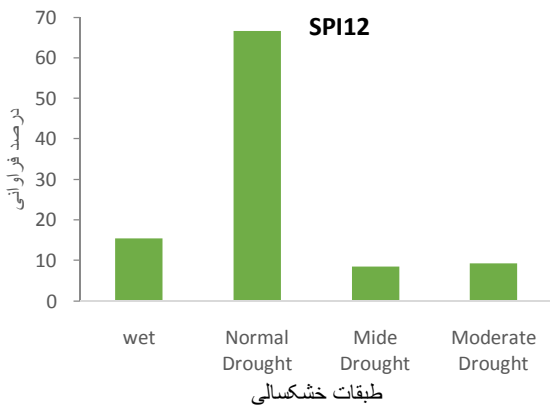
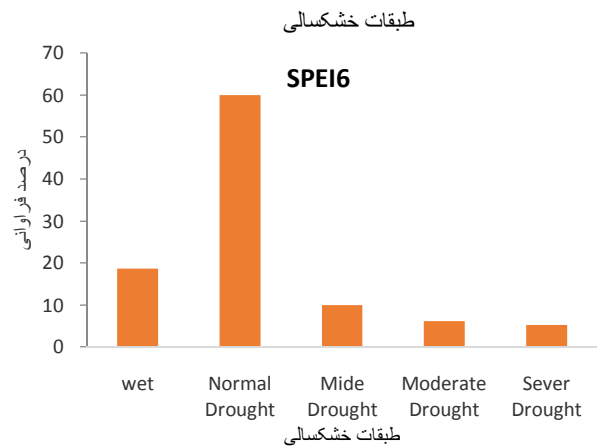
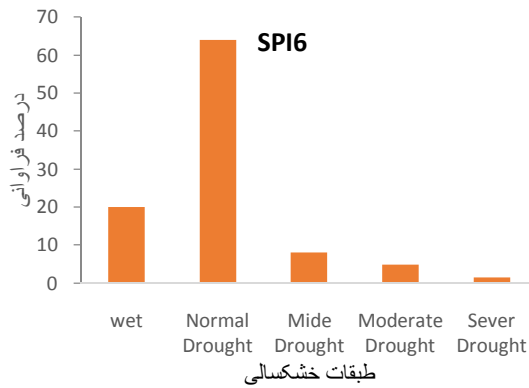
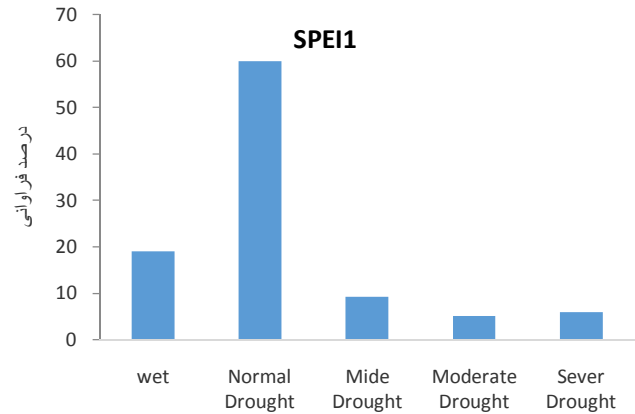
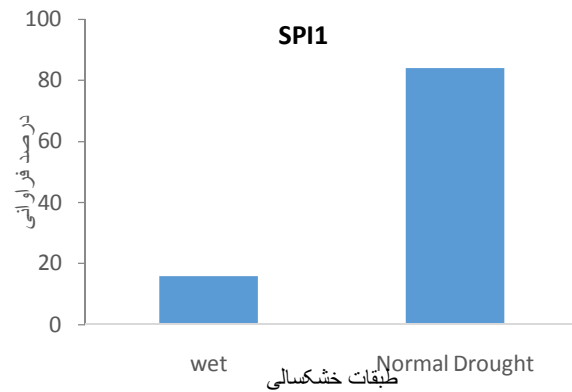
## نتایج

سری‌های زمانی SPI و SPEI در سه مقیاس ۱، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شدند. مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی طبق تئوری ران با انتخاب سطح آستانه برای سری‌های زمانی SPI و SPEI در مقیاس ۱، ۶ و ۱۲ ماهه بدست آمد. مقادیر منفی SPI بیانگر دوره‌ای است که بارندگی ماهانه از میانگین طولانی مدت آن کمتر و SPI مثبت، بارندگی ماهانه بیشتر از میانگین طولانی می‌باشد. نتایج نشان داد شدیدترین خشکسالی طبق شاخص SPI در مقیاس ۱ ماهه دارای شدت  $-0/85$  و مدت ۸ ماه می‌باشد. با افزایش مقیاس زمانی SPI شدت و مدت خشکسالی افزایش یافته بطوری که براساس SPI6 شدیدترین خشکسالی دارای شدت  $-15/06$  و مدت ۱۴ ماه و طبق SPI12 دارای شدت  $-30/6$  و مدت ۳۸ ماه می‌باشد. بنابراین با افزایش مقیاس زمانی SPI فراوانی دوره‌های خشک کاهش می‌یابد که این کاهش با افزایش شدت و مدت خشکسالی توأم می‌باشد(جدول ۱). مقادیر SPEI نشان داد این شاخص بدلیل درنظرگرفتن دمای متوسط در محاسبه دوره‌های خشک، مشخصه‌های خشکسالی را نسبت به SPI بالاتر نشان می‌دهد. بطوری که برطبق این شاخص شدیدترین خشکسالی در مقیاس ۱ ماهه دارای شدت  $-14/23$  و مدت ۱۱ ماه می‌باشد. همچنین شدیدترین خشکسالی در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب دارای شدت  $-87/76$  و  $-16/6$  و مدت ۵۷ و ۱۱۲ ماه می‌باشد. فراوانی خشکسالی نیز همانند SPI با افزایش مقیاس زمانی کاهش و شدت و مدت افزایش می‌یابد(جدول ۱).

جدول ۱- مشخصه‌های خشکسالی در دوره تاریخی و آینده براساس SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه

| مشخصه خشکسالی |         | SPI      | SPEI     |
|---------------|---------|----------|----------|
| ۱             | شدت     | $-0/85$  | $-14/1$  |
|               | مدت     | ۸        | ۱۱       |
|               | فراوانی | ۷۷       | ۱۱۸      |
| ۶             | شدت     | $-15/06$ | $-87/6$  |
|               | مدت     | ۱۴       | ۵۷       |
|               | فراوانی | ۴۵       | ۴۱       |
| ۱۲            | شدت     | $-30/6$  | $-166/6$ |
|               | مدت     | ۳۸       | ۱۱۲      |
|               | فراوانی | ۱۹       | ۱۷       |

نتایج حاصل از بررسی فراوانی طبقات مختلف خشکسالی نشان داد SPEI نسبت به SPI طبقات خشکسالی را بهتر نشان می‌دهد. این ویژگی می‌تواند بدلیل حساسیت این شاخص به تغییر بارش با درنظر گرفتن درجه حرارت باشد. در واقع درجه حرارت باعث تشدید اثر خشکسالی و کاهش شدیدتر رطوبت می‌گردد. بر این اساس دو طبقه خشکسالی نرمال و متوسط از فراوانی بالاتری نسبت به دیگر طبقات برخوردار هستند که با افزایش مقیاس زمانی، طبقه خشکسالی شدید نیز به سری زمانی اضافه می‌گردد(شکل ۲).



شکل ۲- فراوانی طبقات خشکسالی براساس شاخص های SPI و SPEI در مقیاس های زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه

### نتیجه گیری

افزایش نیاز آبی که نتیجه افزایش تبخیر و تعرق ناشی از گرمایش جهانی است بر روی شدت و بزرگی خشکسالی تاثیر می گذارد. لذا شاخص SPI که تنها از پارامتر بارندگی برای تعیین دوره های کمبود رطوبت استفاده می کند در چنین شرایطی چندان مناسب نمی باشد. مطالعات زیادی نشان داده که بارندگی یک متغیر مهم در تعیین شدت و مدت خشکسالی است (Vicente-Serrano و همکاران، ۲۰۱۰). با این اوصاف (Hu و Willson، ۲۰۰۰) اثبات کردند که تبخیر تعرق نقش مهمی در تغییر پذیری خشکسالی بر اساس بیلان رطوبت خاک دارد. اینکه چگونه تبخیر تعرق بر روی منابع آبی قابل استفاده می تواند تاثیر گذار باشد بخوبی درک نشده است، همچنین اینکه چگونه مقیاس زمانی کمبودهای آبی را تعیین می کنند. بنابراین اگرچه تاثیر تبخیر تعرق بر روی وضعیت خشکسالی پیچیده است، اما بنظر می رسد متغییری قابل قبول برای محاسبه شاخص خشکسالی باشد

در پژوهش حاضر جهت تحلیل خشکسالی هواشناسی از دو شاخص بارش استاندارد و شاخص بارش - تبخیر-تعرق استاندارد در مقیاس های زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه در شهر یزد استفاده گردید. بر اساس نتایج این تحقیق با توجه به اینکه فراوانی طبقات شدید خشکسالی بر اساس شاخص SPEI بهتر نشان داده شده است می توان این نتیجه گیری را داشت که این شاخص با لحاظ کردن پارامتر دما تاثیر تبخیر را در کاهش رطوبت حاصل از بارندگی در نظر می گیرد و در نتیجه خشکسالی را بهتر برآورد می کند. این ویژگی در منطقه مطالعاتی که یک منطقه با مشخصه حرارتی بالایی می باشد کاملاً مطابقت دارد. نتایج این مطالعه در بررسی کارایی شاخص SPEI در مقایسه با SPI با دیگر مطالعات هماهنگی دارد (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۳). (Mozny و Potop، ۲۰۱۱).

بر اساس نتایج حاصل از استخراج دوره های خشکسالی توسط شاخص SPEI شدیدترین خشکسالی دارای شدت ۱۶۶.۶ میلی متر و تداوم ۱۱۲ ماه می باشد که این مقدار نسبت به شاخص SPI بالاتر می باشد. روند تغییرات خشکسالی بر اساس این دو شاخص در منطقه سیر نزولی دارد بدین صورت که با افزایش مقیاس زمانی، دوره های خشکی افزایش می یابد. شاخص های SPI و SPEI در مقیاس های زمانی کوتاه مدت نشانگر دوره های کوتاه مدت کمبود رطوبت است. مقیاس زمانی ۶ ماهه نشانه دوره های متوسط کمبود رطوبت می باشد که در واقع در منابع از این به عنوان معیاری برای شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی قلمداد می شود. مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و بالاتر نشانه دوره های طولانی مدت کمبود رطوبت است که به عنوان معیار خشکسالی اب زیرزمینی بیان شده است.

## منابع

- تاج بخش، س، عیسی خانی، ن، کاظمی، ا، (۱۳۹۴)، ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده بارش - تبخیر-تعرق (SPEI)، فیزیک زمین و فضا، شماره ۲، صص. ۳۱۳-۳۲۱.
- نصرتی، ک، محسنی ساروی، م، شهبازی، ر، (۱۳۹۳)، مقایسه و کاربرد دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش - تبخیر-تعرق استاندارد شده برای ارزیابی وضعیت خشکسالی هواشناسی در استان تهران، مدیریت بیابان، شماره ۳، صص. ۷۷-۹۰.
- Ahmadi, M., Nosrati, K., Selki, H, 2013, Drought and Its Relationship with Soil Moisture(case study: Isfahan Kabotar Abad), Geography, Vol. 11, No. 38, PP. 77-91.
- Chunping, T., Jianping, Y., Man, L, 2015, Temporal-Spatial Variation of Drought Indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. Atmosphere, Vol. 6, No. 10, PP.1399- 1421.
- Heim, R. R, 2002, A review of twentieth-century drought indices used in the United States, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 83, No.8, PP. 1149-1165.
- Hu, Q., and Willson, G. D, 2000, Effect of temperature anomalies on the Palmer drought severity index in the central United States. International Journal of Climatology, Vol. 20, PP. 1899-1911.
- Lloyd-Hughes, B., Saunders, M.A, 2002, A drought climatology for Europe, International Journal of Climatology, Vol. 22, No. 13, PP. 1571-1592.
- Maca, P., Pech, P, 2016, Forecasting SPEI and SPI Drought Indices Using the Integrated Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Neuroscience, Vol. 2016, PP. 1-18.
- McKee, T.B., Doesken, N. J., Kleist, J, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eight Conference On Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, PP. 179-184.
- Potop, V., Mozny, M, 2011, The application a new drought index- Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. Mikroklima a mezoklima krajinných struktur an antropogenních prostredí, 24pages.
- Sheffield, J., Wood, E. F, 2008, Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, Climate Dynamic, Vol. 31, 79-105.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., Miller Jr., H., L., Chen, Z. Eds, 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, 996 pages.
- Tomros, T., Menzel, L, 2014, Addressing drought conditions under current and future climates in the Jordan River region, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 18, PP. 305-318.
- Tong, S., Bao, Y., Rigele, Te., QiyunMa, Si Ha., Lusi, A, 2017, Analysis of Drought Characteristics in

- Xilingol Grassland of Northern China Based on SPEI and Its Impact on Vegetation. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2017, PP. 1-11.
- Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería, J. I. López-Moreno, 2010, A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Climate*, Vol. 23, PP. 1696- 1718.
- Zhou, H., Liu, Y, 2016, SPI Based Meteorological Drought Assessment over a Humid Basin: Effects of Processing Schemes, *MDPI*, Vol. 8, PP. 1-16.