

بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی براساس شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده در ایران

مینا اقتدارنژاد^۱، ام‌البین بذرافشان^{۲*}، جواد بذرافشان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۳

چکیده

خشکسالی از زیان‌بارترین مخاطرات طبیعی است که از نظر فراوانی رخداد و میزان خسارات وارده در صدر قرار دارد. در این تحقیق، به منظور تحلیل خشکسالی از شاخص بارندگی - تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI) از ۵۴ ایستگاه سینوپتیک برای دوره آماری ۶۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۴) استفاده شد. جهت پایش زمانی و مکانی خشکسالی، مقادیر شاخص در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه و روندیابی شد. روند تغییرات، دما و بارش نیز طی مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه با استفاده از آزمون تحلیل روند من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، روند شاخص SPEI طی دوره آماری مورد بررسی در بخش وسیعی از کشور افزایشی است، این در حالی است که روند دما و بارش در اکثر ایستگاهها به ترتیب افزایشی و کاهشی است. براین اساس، شاخص SPEI می‌تواند به عنوان ابزار مفیدی در زمینه پایش و پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر تعرق، تحلیل روند، ایران

مقدمه

Dracup, 2002). در سال‌های متمادی تلاش‌های زیادی برای معرفی، توسعه یا بهبود شاخص‌های خشکسالی صورت گرفته است (DuPisani et al., 1998; Keyantash and Dracup, 2002; Keyantash and Dracup, 2004; González and Valdés, 2006; Tsakiris et al., 2007; Wheaton et al., 2008; Guiney, 2012; Begueria et al., 2014). بیشتر مطالعات در زمینه واکاوی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پالمر براساس معادله توازن رطوبت خاک یا شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۴ براساس عنصر بارش صورت گرفته‌اند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، عوامل زیادی مانند بارندگی، دما، تبخیر و رطوبت نسبی بر وقوع، شدت و تداوم خشکسالی تأثیر می‌گذارند. (McKee et al., 1993) با استفاده از شاخص SPI به روشنی این ویژگی بنیادی خشکسالی تشریح کرده‌اند. برخی مطالعات متغیر بودن این شاخص را هنگام لحاظ کردن برخی فراسنج‌های دیگر از جمله رطوبت خاک، تخلیه رودخانه‌ها، ذخایر مخازن، فعالیت‌های گیاهی و تولید محصول در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که می‌توان به محققانی چون (Szalai et al., 2000; Sims et al., 2002; Jones and Moberg, 2003; Vicente-Serrano and Lopez Moreno, 2005; Vicente-Serrano, 2007; Patel et al., 2007; Khan et

زندگی بشر همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته که برخی از آن‌ها ناشی از پدیده‌های آب و هوایی می‌باشند. بررسی پدیده‌های مخاطره آمیز طبیعی نشان می‌دهد که خشکسالی در رده نخست فهرست پدیده‌های مخاطره‌آمیز طبیعی قرار دارد (Bryant, 1991). برآورد اثرات و خسارات خشکسالی تا حد زیادی دشوار می‌باشد، زیرا بر خلاف سایر پدیده‌های مخاطره‌آمیز، تعیین دقیق زمان شروع و پایان خشکسالی دشوار است و اثرات آن به آرامی نمایان و به طور گسترده در نواحی جغرافیایی گسترش می‌یابد. از طرفی خشکسالی خود می‌تواند سبب بروز و یا تشدید اثرات سایر بلایای طبیعی مانند سیل، تندباد و طوفان گردد (Wilhite, 2000; Keyantash and

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(*نویسنده مسئول: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir)

DOI: 10.22125/AGMJ.2018.59719

^۳ دانشیار گروه هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی فناوری و کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۴ Sandardised Precipitation Index

کاربردهایی که براساس پیش‌بینی‌های اقلیمی هستند، مناسب‌تر است. اما در شاخص پالمر ضرورت اصل چند کمیتی بودن برای ارزیابی خشکسالی در سیستم‌های هیدرولوژیکی متفاوت و انواع مختلف خشکسالی در نظر گرفته نشده است. از این رو خشکسالی براساس شاخص دیگری به نام شاخص استاندارد شده بارش - تبخیرتغرق فرمول‌بندی شده که در آن سهم تغییرات بارش، دما و تبخیرتغرق پتانسیل لحاظ شده است. این شاخص حساسیت شاخص پالمر به تغییرات تبخیر (بر اساس افت و خیز دما) را با محاسبات ساده و طبیعت چند مقیاسی شاخص استاندارد شده بارش ترکیب می‌کند. بنابراین می‌تواند هر دو ویژگی شاخص‌های SPI و PDSI را داشته باشد. این شاخص به‌ویژه برای مطالعه آشکارسازی، پایش و شناسایی نتایج گرمایش جهانی درباره شرایط خشکسالی پایه‌ریزی شده است. در زمینه استفاده از شاخص SPEI² مطالعات متعددی صورت پذیرفته که به چندی از آن‌ها اشاره خواهد شد. از جمله مطالعات انجام گرفته در این رابطه می‌توان به (Vicente-Serrano et al., 2010; khazanedary et al., 2010; Das et al., 2015; Stagge et al., 2015; ebrahimpour et al., 2015) اشاره کرد. در ایران هم مطالعاتی در خصوص با خشکسالی صورت گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به (Ahmadi et al., 2014; Sobhani et al., 2016; Zare Abyaneh et al., 2016) اشاره کرد. Vicente-Serrano et al., (2010) در مطالعه اثرات فرایند گرم شدن بر خشکسالی‌ها و منابع آب در اسپانیا با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI نشان دادند که بارش و تبخیرتغرق پتانسیل در دوره زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ افزایش یافته و نتایج دو شاخص خشکسالی مورد استفاده مشابه بوده است. Khazanedary et al., (2010) با شبیه‌سازی داده‌های بارش ایستگاه‌های مختلف در سطح کشور طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ با استفاده از مدل LARS-WG، مقادیر شاخص‌های خشکسالی SPI و دهک را محاسبه نمودند. آن‌ها با تأیید نتایج شاخص‌های مورد استفاده بیان داشتند که طی سال‌های آتی خشکسالی‌های کشور افزایش می‌یابد. همچنین نشان دادند که SPI و SPEI دارای همبستگی معنادار بوده اما SPEI پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی داشته است. ایشان اضافه می‌نمایند که با توجه به کارایی SPEI

(al., 2008; Feng et al., 2014) اشاره نمود. انتقاد اصلی به شاخص فوق این است که محاسبات تنها بر پایه داده بارش انجام می‌گیرد و دیگر متغیرها از جمله دما، تبخیرتغرق، سرعت باد و ظرفیت نگهداری آب داخل خاک در نظر گرفته نمی‌شود. با وجود این مطالعات نشان می‌دهد که بارش مهم‌ترین عامل در تعیین آغاز، شدت و خاتمه خشکسالی‌ها است. در مطالعاتی مثل (Chang and Cleopa, 1998; Heim, 2002; Hu and Willson, 2000; Brazdil et al., 2009) نقش بارش و دما را در شاخص پالمر ارزیابی کردند و دریافتند که این شاخص به طور تقریبی به تغییرات مشابه در بزرگی خشکسالی هر دو پارامتر پاسخ یکسان نشان می‌دهد. Abramopoulos et al., (1988) با استفاده از مدل گردش عمومی نشان دادند که حدود ۸۰ درصد بارش با تبخیرتغرق از دسترس خارج می‌شود. آن‌ها همچنین دریافتند که تأثیر افزایش دما در تشدید خشکسالی به مراتب بیشتر از کاهش بارش است که می‌تواند نقش مؤثر دما را در تقویت یا تضعیف خشکسالی تأیید نماید. برخی مطالعات اثر خشکسالی ناشی از افزایش دما را بر محصولات کشاورزی به وضوح نشان می‌دهد. Martinez et al., و Rebetez et al., 2006 و 2008 بیان داشتند اگر چه خشکسالی‌های تابستان ۲۰۰۳ در نواحی مرکزی اروپا ناشی از وقوع بارش‌ها به میزان کمتر از حد نرمال بوده، اما افزایش شدید دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین دراز مدت (طی ماه‌های ژوئن و ژوئیه) سبب افزایش خسارت‌ها در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و به‌طور چشم‌گیرتری سبب افزایش مقدار تبخیرتغرق و تنش‌های آبی گردید. براساس نتایج Sheffield and Wood (2008) انتظار می‌رود در نتیجه افزایش مقدار تبخیرتغرق، تقاضای آب نیز افزایش یابد که خود می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای بر وضعیت‌های خشکسالی تأثیرگذار باشد. Dubrovsky et al., (2008) و Sheffield and Wood (2008) نشان دادند که آثار خشکسالی ناشی از گرمای پیش‌بینی شده در مدل‌های اقلیمی به روشنی در شاخص (PDSI)¹ دیده می‌شود، در حالی که شاخص استاندارد شده بارش، تغییرات مشهودی را در وقوع خشکسالی نشان نمی‌دهد. بنابراین استفاده از شاخص‌های خشکسالی در برگیرنده داده‌های دما در معادله (مانند شاخص پالمر)، به‌ویژه برای

² Standardized Precipitation minus Evapotranspiration Index

¹ Palmer Drought Severity index

پتانسیل بسیار زیاد است، متغیر دما و تأثیر آن بر بیلان آب دارای اهمیت ویژه‌ای است، لذا لازم است این شاخص جایگزین شاخص SPI شده و در مقیاس‌های زمانی مختلف در کل کشور مورد تحلیل و پایش قرار گیرد. بنابراین با توجه به عدم وجود مطالعات در مورد شاخص بارندگی- تبخیر و تعرق استاندارد شده در کل ایران، هدف از این مطالعه ضمن پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص بارندگی تبخیرتعرق استاندارد شده تحلیل روند خشکسالی طی چند دهه گذشته با استفاده از آزمون تحلیل روند من‌کنندال است، تا روند خشکسالی‌ها با توجه به روند فزاینده دما در کره زمین مورد تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش آمار بارش و میانگین دمای ماهانه برای دوره آماری ۶۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۵۱) برای مراکز استان‌ها (دوره ۳۰ ساله سایر ایستگاه‌ها) شامل ۵۴ ایستگاه سینوپتیک ایران از سازمان متبوع تهیه گردید. برای تعیین تیپ اقلیمی از طبقه‌بندی (Abrahams and Parsons, 1991) استفاده شد (جدول ۱). جدول ۲ ویژگی‌ها و شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. قبل از شروع آنالیزها، نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلکس و صحت و همگنی داده‌ها با آزمون ران بررسی شد (Wald and Wolfowitz, 1951). نتایج آزمون‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

Table 1- Type of climate (Abrahams and Parsons, 1991)

جدول ۱- تعیین نوع اقلیم (Abrahams and Parsons, 1991)

Climatic type	P/PET	Categories
1	Less than 0.03	Very dry
2	0.03 - 0.2	Dry
3	0.2 - 0.5	Semi-dry
4	0.5 - 0.75	Wet

و لحاظ نمودن بیلان آب این شاخص همبستگی قابل قبول با میزان رطوبت خاک نشان می‌دهد. (Das et al., 2015) به بررسی روند تغییرات خشکسالی هواشناسی (۱۹۰۱-۲۰۰۸) با استفاده از شاخص SPEI در هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد در شمال شرقی و مرکزی هند، تنش خشکی باعث کاهش قابل توجهی در میزان بارندگی و افزایش تبخیرتعرق پتانسیل می‌شود. (Stagge et al., 2015) در بررسی کارایی دو شاخص SPI و SPEI، شاخص SPEI را به عنوان شاخص مفید در بررسی خشکسالی معرفی نمودند. (Ebrahimpour et al., 2015) گزارش دادند که شاخص SEPI کارایی بهتری برای نظارت بر نوسانات عملکرد گندم به‌ویژه در دوره‌های خشکی دارد. (Ahmadi et al., 2014) ضمن پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از SPEI در ایستگاه کیوتر آباد اصفهان، تعیین روابط این شاخص با SPI و رطوبت خاک مورد بررسی قرار دادند. (Sobhani et al., 2016) به پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص SPEI توسعه یافته براساس منطق فازی پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد شاخص SPEI مناسب‌تر از SPI است. (Nosrati et al., 2015) به تحلیل مشخصه‌های خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI در اقلیم‌های مختلف در ایران پرداختند. نتایج نشان‌گر کارایی مناسب شاخص فوق در اقلیم‌های مختلف بود. مرور منابع در گذشته نشان می‌دهد، اغلب محققین در ایران از شاخص SPI جهت پایش خشکسالی در مناطق مختلف ایران استفاده کرده و در سه سال اخیر شاخص SPEI توسط چند محقق به صورت محدود و منطقه‌ای (مقیاس استانی) مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجا که شاخص SPEI توانایی محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف را دارد و می‌تواند اثرات تغییرات درجه حرارت را در ارزیابی خشکسالی لحاظ نماید. با توجه به پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم که سبب افزایش دمای کره زمین شده است، در مناطق مختلف کشور به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که میزان تبخیرتعرق

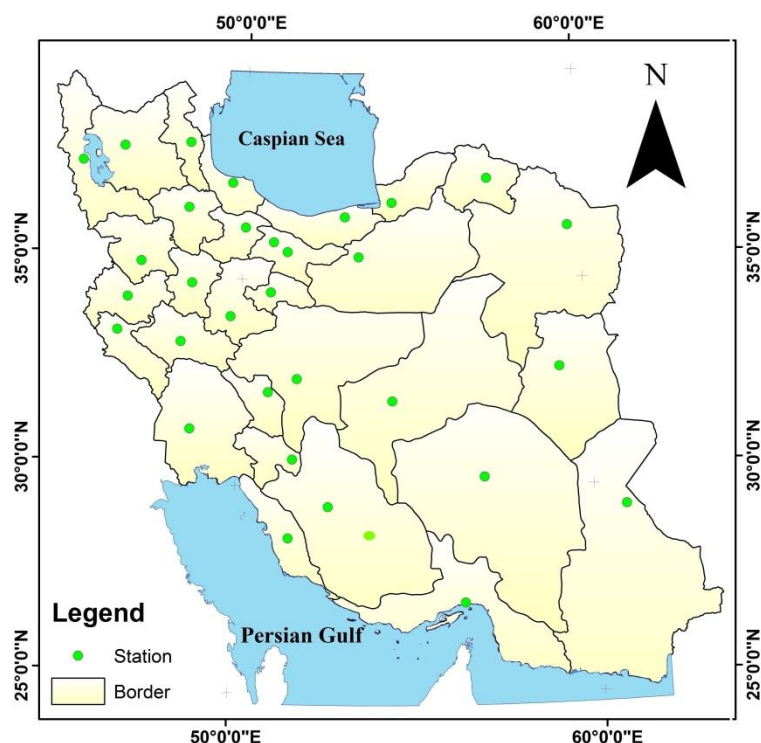


Fig 1- Spatial distribution of the synoptic station in Iran

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در کشور ایران

Table 2- Characteristics of selected synoptic stations in Iran

جدول ۲- ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد بررسی در ایران

Station Name	Height (m)	Average annual temperature (°C)	Average annual rainfall (mm)	Average annual potential evapotranspiration (mm)	P/PET	Climatic Type
Sanandaj	1463	12	500	890	0.4	Semi Arid
Saqqez	1499	10	500	753	0.42	Semi Arid
Qazvin	1279	13	302	845	0.4	Semi Arid
Qom	932	19	265	1172	0.1	Arid
Ahvaz	22.5	25	209	3483	0.06	Arid
Dezful	150.7	26	400	2289	0.02	Arid
Shahr-e kord	2060	11	260	741	0.4	Semi Arid
Bushehr	18	25	220	2415	0.07	Arid
Deylam	1.1	28	283	2356	0.03	Arid
oromiye	1328	11	338	704	0.47	Semi Arid
Khoy	1148.9	10	253	632	0.32	Semi Arid
Ilam	1427	13.2	620	569	0.25	Semi Arid
Dehloran	219.6	11	586	1200	0.36	Semi Arid
Ardabil	1338	10	625	687	0.29	Semi Arid
Khalkhal	1890.9	13	569	856	0.43	Semi Arid
Esfahan	1550.4	16	125	961	0.13	Arid
Kashan	926	16	140	1322	0.1	Arid
Tabrize	1361	12	283	764	0.37	Semi Arid
Jolfa	707.1	11	254	923	0.2	Semi Arid
Tehran	1190.8	17	232	1024	0.22	Semi Arid
Khorramadad	1147.8	17	504	1050	0.48	Semi Arid
Aligoodarz	2162	13	430	775	0.5	Semi Arid
Zahedan	1370	19	89	1112	0.08	Arid
Iranshahr	565.1	32	1.53	998	0.06	Arid
Shiraz	1484	18	334	1077	0.31	Semi Arid
Fasa	1412.9	18.5	300	1165	0.25	Semi Arid
Karaj	1300	17	244	917	0.28	Semi Arid
Kerman	1753.8	19	148	986	0.15	Arid
Kahnuj	511.8	26	188	1125	0.1	Arid
Mashhad	999.2	14	251	1673	0.30	Semi Arid

Table 2- Continued

ادامه جدول ۲

Station Name	Height (m)	Average annual temperature (°C)	Average annual rainfall (mm)	Average annual potential evapotranspiration (mm)	P/PET	Climatic Type
Sabzevar	990.3	18	177	1569	0.49	Semi Arid
Birjand	1444	19	156	953	0.2	Semi Arid
Nehbandan	1182.7	21	169	856	0.38	Semi Arid
Bojnourd	1086	16	274	779	0.2	Semi Arid
Bandar Abbas	20	27	176	2514	0.07	Arid
Jask	8.1	28	200	2423	0.09	Arid
Zanjan	1638	11	298	625	0.32	Semi Arid
Garmab	1604	13	301	563	0.21	Semi Arid
Semnan	1130	17.6	140	1659	0.05	Arid
Garmsar	843	18.7	163	1536	0.09	Arid
Kermanshah	1374	14	456	1256	0.49	Semi Arid
Ravansar	1354.9	16	472	2563	0.32	Semi Arid
Yasuj	1816	14	865	859	0.12	Arid
Dogonbadan	1313.2	12	845	785	0.08	Arid
Gorgan	174	13	754	2156	0.26	Semi Arid
Rasht	7	15.9	1359	2563	0.49	Wet
Bandar-e Anzali	22.2-	16	1850	1865	0.38	Wet
Babolsar	21	18	791	2368	0.23	Wet
Ramsar	3.3	21	1200	1638	0.3	Wet
Saveh	998	20	175	723	0.15	Arid
Hamadan	1741	12	253	365	0.09	Arid
Malayer	1764	11.28	300	342	0.04	Arid
Yazd	1230	19	62	956	0.16	Arid
Bafgh	1263	21	58	1452	0.1	Arid

Table 3- Shapiro-Wilk Test and Run- Test on precipitation and temperature in case study (* 0.5% significant level)

جدول ۳- آماره‌های آزمون‌های شاپیرو- ویلکس و ران داده‌های بارندگی و دما ایستگاه‌های مورد مطالعه (* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵)

Station Name	Run-Test		Shapiro-Wilk	
	Temperature	Rainfall	Temperature	Rainfall
Sanandaj	0.52*	-4.3*	0.702*	0.28*
Saqqez	0.63*	-3.6*	0.736*	0.32*
Qazvin	0.725*	0.03	0.22*	0.48*
Qom	0.624*	-0.71*	0.681*	0.76*
Ahvaz	0.65*	0.787*	0.341*	0.78*
Dezful	0.715*	-0.45	0.586*	0.72*
Shahr-e kord	0.682*	1.3*	0.759*	0.54*
Bushehr	0.543*	-0.2*	0.564*	0.33*
Deylam	0.629*	0.87*	0.61*	0.221*
oromiye	0.756*	0.89*	0.534*	0.676*
Khoy	0.67*	-1.04*	0.756*	0.81*
Ilam	0.453*	0.696*	0.365*	0.436*
Dehloran	0.604*	0.825*	0.672*	0.96*
Ardabil	0.86*	0.468*	0.359*	0.71*
Khalkhal	0.469*	0.658*	0.563*	0.54*
Esfahan	0.546*	0.563*	0.7*	0.68*
Kashan	0.771*	0.729*	0.543*	0.39*
Tabrize	0.84*	0.78*	0.641*	0.878*
Jolfa	0.637*	0.441*	0.681*	0.56*
Tehran	0.87*	0.801*	0.797*	0.222*
Khorramadad	0.131*	0.78*	0.507*	0.396*
Aligoodarz	0.216*	0.283*	0.622*	0.367*
Zahedan	0.76*	0.425*	0.689*	0.773*
Iranshahr	0.65*	0.256*	0.715*	0.62*
Shiraz	0.45*	0.855*	0.391*	0.56*
Fasa	0.93*	0.65*	0.702*	0.726*
Karaj	0.67*	1.06*	0.736*	0.79*
Kerman	0.058*	0.419*	0.051*	0.453*
Kahnuj	0.22*	0.659*	0.975*	0.068*
Mashhad	0.054*	0.591*	0.588	0.328*

Table 3- Continued
ادامه جدول ۳

Station Name	Run-Test		Shapiro-Wilk	
	Temperature	Rainfall	Temperature	Rainfall
Sabzevar	0.96*	1.1*	-1.3*	0.6*
Birjand	0.64*	1.01*	0.52*	0.52*
Nehbandan	0.762*	-1.7*	0.65*	0.53*
Bojnourd	0.625*	0.528*	0.29*	0.59*
Bandar Abbas	0.76*	0.469*	0.65*	0.78*
Jask	0.98*	0.276*	0.78*	0.7*
Zanjan	0.695*	-8.4*	0.56*	0.95*
Garmab	0.68*	1.01*	0.38*	0.06*
Semnan	0.3*	0.25*	0.54*	0.85*
Garmsar	3.01*	0.29*	0.26*	0.93*
Kermanshah	0.58*	0.3	0.24*	0.76*
Ravansar	0.43*	-0.94*	0.86*	0.83*
Yasuj	0.67*	0.77*	0.32*	0.43*
Dogonbadan	0.52*	0.67*	0.76*	0.96*
Gorgan	0.58*	0.45*	0.54*	0.25*
Rasht	0.8*	-2.98*	0.49*	0.50*
Bandar-e Anzali	0.95*	0.21*	0.528*	0.78*
Babolsar	0.76*	-1.09*	0.653*	0.54*
Ramsar	0.99*	0.76*	0.38*	0.72*
Saveh	0.63*	1.3*	0.426*	0.35*
Hamadan	0.625*	0.2*	0.762*	0.93*
Malayer	0.28*	0.23*	0.597*	0.28*
Yazd	0.46*	0.1*	0.345*	0.95*
Bafgh	0.36*	1.3*	0.49*	0.65*
Sanandaj	0.75*	0.82*	0.756*	0.76*

مذکور به صورت معادله ۲ بیان شده است.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (2)$$

که در آن α , β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدأ و x سری تجمعی مقادیر D در پنجره زمانی معین است. طبقه‌بندی SPEI همانند SPI است و برای طبقه‌بندی مقادیر آن می‌توان از آستانه‌های مندرج در جدول ۴ استفاده کرد.

Tab 4- Classification of SPI and SPEI (McKee et al, 1993; Vicente-Serrano et al, 2011)

جدول ۴- طبقه‌بندی SPI و SPEI (McKee et al, 1993; Vicente-Serrano et al, 2011)

SPI & SPEI	Class
More than 2	Extremely wet
1.5 to 1.99	Very wet
1 to 1.49	Moderate wet
-0.99 to 0.99	Near Normal
-1 to -1.49	Moderate dry
-1.49 to -1.99	Severly dry
-2 and less	Extremely dry

آزمون تحلیل روند من - کندال (MKT)

(Kendall, 1975) متغیر τ (tau) را جهت اندازه‌گیری رابطه همبستگی بین x و y ارائه کرد و (Mann, 1945) با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را مؤلفه زمانی در

محاسبه SPEI

شاخص بارش - تبخیر تعرق پتانسیل استاندارد (SPEI) توسط (Vicente-Serrano et al., 2010) به عنوان یک شاخص خشکسالی اقلیمی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی^۱ است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت معادله ۱ تعریف شده است.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

که P و PET به ترتیب بارندگی و تبخیر تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و i شماره ماه مورد نظر است. پس از محاسبه مقادیر D ، از رهیافتی همانند شاخص بارش استاندارد (SPI) برای محاسبه SPEI استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا مجموع مقادیر متوالی سری D در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. اگر x سری تجمعی D در پنجره زمانی معین باشد، در مرحله بعد یک توزیع احتمال مناسب بر سری x برازش می‌یابد. طبق بررسی‌های محققین (Vicente-Serrano et al., 2010)، توزیع لوگ-لجستیک^۲ سه پارامتری کارایی مناسبی در مدل‌سازی سری x دارد. فرم تابع چگالی احتمال توزیع

¹ Climatic Water Balance

² Log-Logistic

خشکسالی متوسط تا شدید هستند. در این بین بخش‌هایی از نیمه شمالی کشور در استان‌های سمنان، مرکزی، آذربایجان غربی و در جنوب شرق، استان‌های خراسان جنوبی و کرمان شرایط خشکسالی شدید و خیلی شدید را تجربه نمودند. در مقیاس ۲۴ ماهه خشکسالی متوسط و شدید فراگیرتر شده و از وسعت وضعیت نرمال کاسته می‌شود، به طوری که بخش‌های وسیعی از کشور در جنوب شرق و شمال غرب دارای خشکسالی شدید و خیلی شدید است. در مقیاس ۴۸ ماهه حرکت خشکسالی خیلی شدید به طور فراگیری از بخش‌های غربی و شمال غربی حرکت کرده و به بخش‌های غربی و شمالی کشور می‌رسد و بخش‌های وسیعی از کشور در وضعیت خشکسالی شدید است. این در حالیست که بخش‌های جنوبی کشور و استان کرمان در شرایط نرمالی قرار دارند. در مجموع گستره خشکسالی از غرب و جنوب غربی به سمت شمال کشور گسترش می‌یابد. در مورد پایش خشکسالی در سال ۲۰۱۴؛ در مقیاس ۱۲ ماهه خشکسالی شمال و شمال شرق کشور دارای شرایط خشکسالی شدید، بخش‌های وسیعی از قسمت میانی دارای شرایط خشکسالی متوسط و بخش کوچکی در جنوب غرب در استان خوزستان دارای شرایط نرمال است. در مقیاس ۲۴ ماهه به تدریج شمال کشور دارای شرایط خشکسالی خیلی شدید شده و سایر مناطق نیز از نظر نسبت به مقیاس ۱۲ ماهه درجه خشکسالی با درجه بالاتری را تجربه می‌نمایند. در مقیاس ۴۸ ماهه نیز گستره وسیعی از کشور با تغییرات جزئی مکانی خشکسالی از نظر شدت برخوردار هستند. در واقع در این سال اکثر ایستگاه‌ها در کشور خشکسالی را تجربه نموده‌اند که اثرات خشکسالی تنها در شمال کشور از مقیاس ۱۲ تا ۴۸ ماهه کاهش یافته است. در این سال خشکسالی در کشور از شمال و شمال غرب وارد شده و به جنوب غرب انتقال می‌یابد.

تحلیل روند مقادیر SPEI، دما و بارش در ایران

بر اساس شکل ۳ روند مقادیر SPEI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد، بخش‌های شمالی، شمال شرقی و شرق کشور دارای روند افزایشی در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد است، اما بخش عظیمی از کشور از شمال غرب گرفته تا جنوب شرق فاقد روند خاصی بوده و تنها پهنه جزئی در جنوب کشور (بوشهر) ترسالی دارای روند

نظر گرفت تا وجود روند را در سری داده‌ها مورد آزمون قرار دهد. مراحل محاسبه شامل محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به صورت معادله ۳، محاسبه واریانس توسط معادله ۵ و محاسبه آماره Z با استفاده از معادله ۶ می‌باشد.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3)$$

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Var } f(x_i - x_j) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

$$Z = f(x) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

N تعداد داده‌ها، x_i و x_j داده‌ها در سری زمانی و Z آماره تست استاندارد است (Kisi, 2015). با توجه به آزمون آماری دو طرفه کای مربع (Ki-Square)، اگر $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ در سطح معنی‌داری معین α باشد، فرض صفر پذیرفته شده و روند وجود ندارد. به ترتیب مقادیر Z بزرگتر از ۲/۶۲، ۱/۹۶ و ۱/۶۲ نشان‌گر روند مثبت در سطح خطای ۱، ۵ و ۱۰ درصد و مقادیر UF کوچک‌تر از -۲/۶۲، -۱/۹۶ و -۱/۶۲ به ترتیب نشان‌گر روند منفی در سطح معنی‌داری ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد می‌باشند (Hamed and Rao, 1998).

نتایج و بحث

پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از SPEI در مقیاس‌های مختلف زمانی

مقدار شاخص SPEI به ازای تک تک ایستگاه‌ها در مقیاس زمانی میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۲۴ و ۴۸ ماهه) محاسبه شد. در بین سال‌های مورد بررسی مشخص گردید سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ به طور فراگیری در کل کشور خشکسالی حکم‌فرما بوده لذا مقدار شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی مذکور پهنه‌بندی شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که در سال ۲۰۰۰ در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بخش‌های زیادی از غرب و جنوب غرب کشور دارای حالت نرمال و سایر نقاط کشور دارای وضعیت

و سایر نقاط کشور از جمله استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بخش‌هایی از خوزستان دارای وضعیت بدون روند (مشابه ۱۲ ماهه) هستند. در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، مجدداً روند خشکسالی تکرار شده و به ۲۴ ماهه مشابهت دارد و عموماً تغییرات در نقاط مختلف کشور یکسان است.

افزایشی است. در مقیاس ۲۴ ماهه روند افزایش ترسالی در جنوب کشور به نقاط میانی کشور سرایت کرده و روند افزایشی خشکسالی از بخش‌های شمالی و مرکزی کشور به بخش‌های غربی انتقال می‌یابد. جالب توجه است که در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه استان‌های گلستان و خراسان همچنان در وضعیت روند افزایشی خشکسالی بسر می‌برند

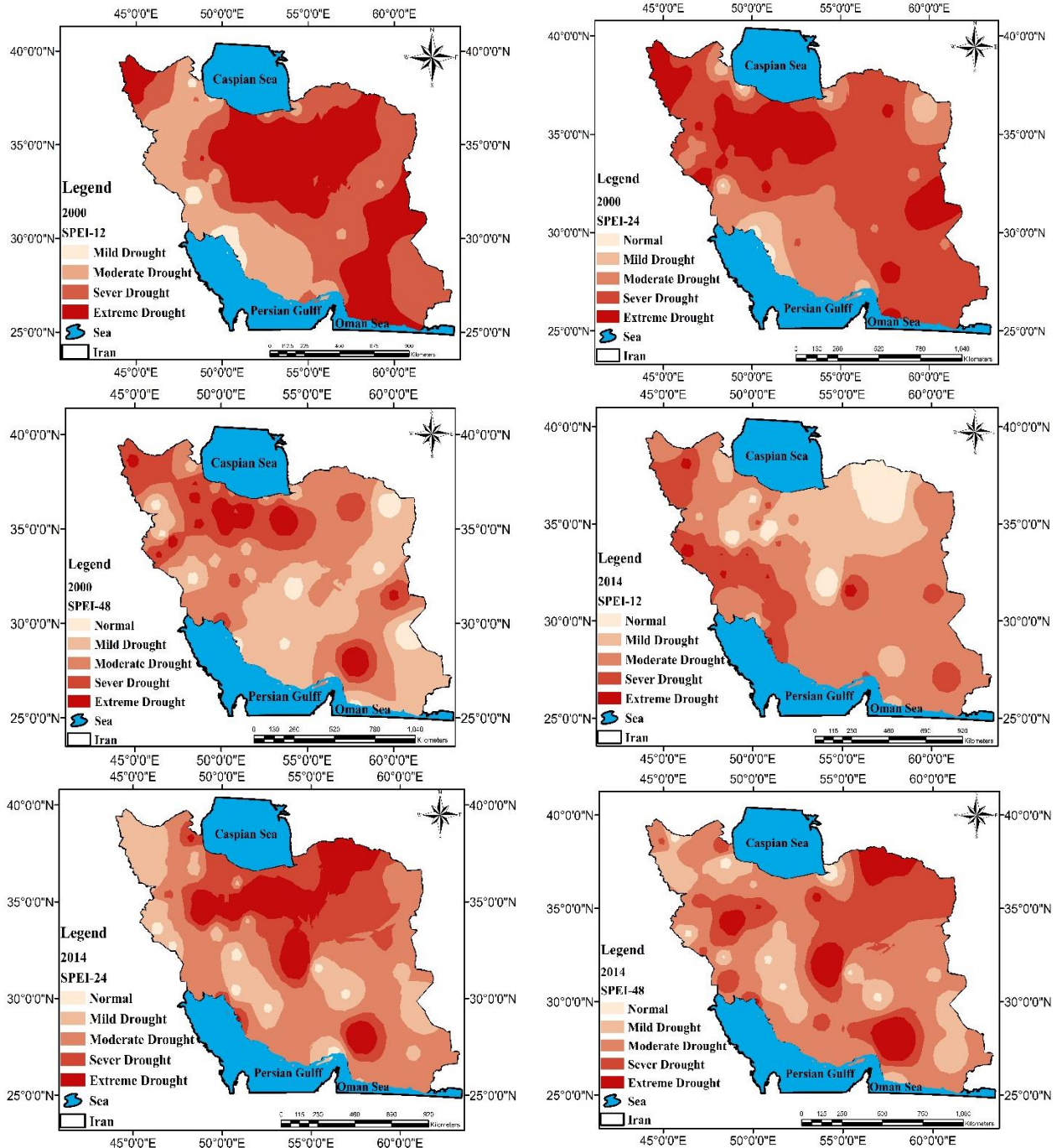


Figure 2- Zoning map of SPEI in 12, 24 and 48 month time scales at 2000 and 2014 in Iran

شکل ۲- پهنه‌بندی سری زمانی SPEI در مقیاس ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۰۰ در ایران

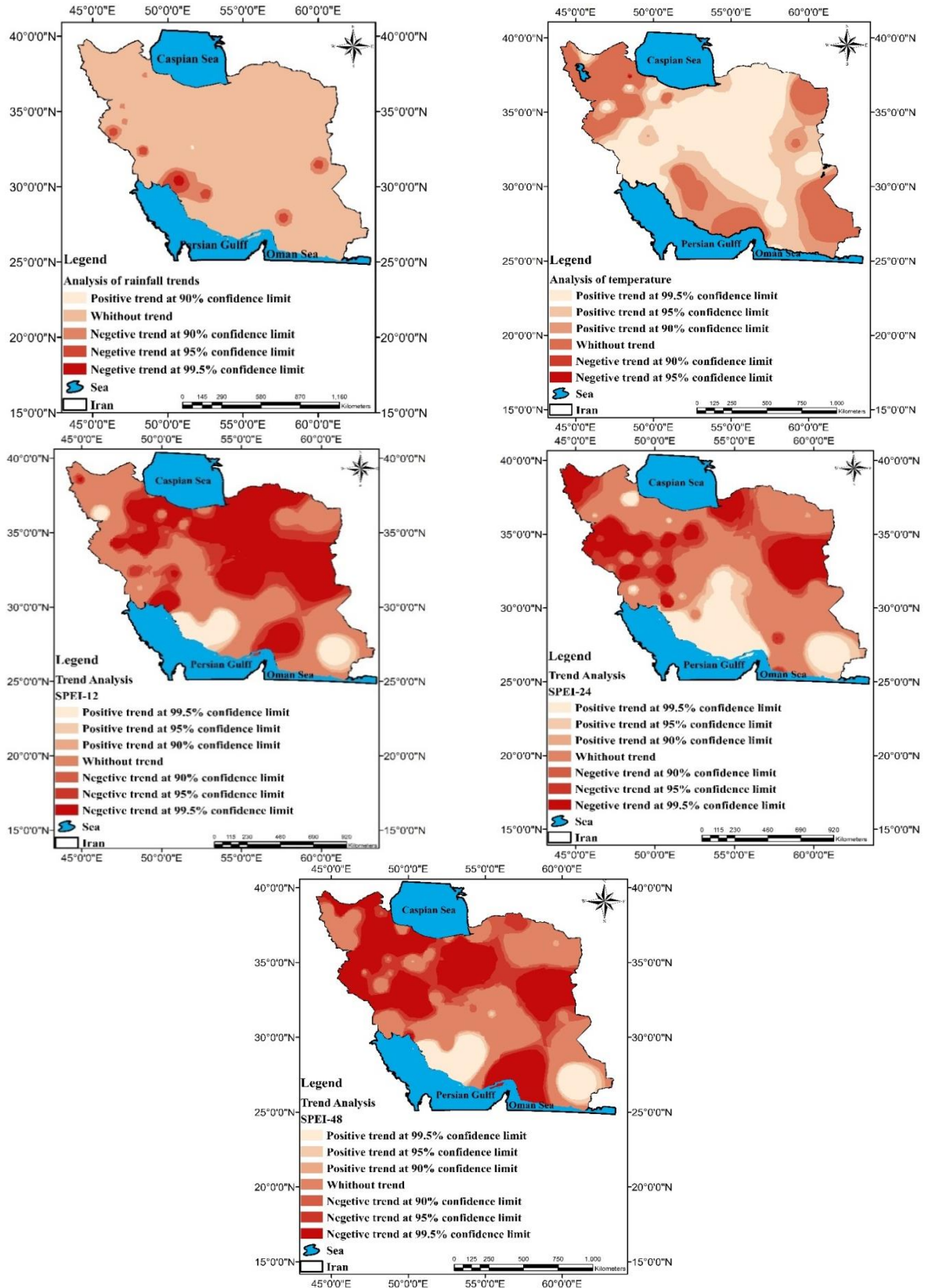


Figure 3- SPEI trend analysis in 12, 24 and 48 month time scales on precipitation and temperature in Iran

شکل ۳- روند سری زمانی SPEI در مقیاس ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و روند دما و باران در ایران

بود، مقادیر روند مقیاس‌های فوق با استفاده از آزمون من‌کنندال نیز در سطح کشور پهنه‌بندی گردید. نتایج پایش SPEI در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نشان دادند که در سال ۲۰۰۰ در مقیاس ۱۲ ماهه، بخش‌های وسیعی از کشور دارای وضعیت خشکسالی متوسط تا نرمال بوده و در مقیاس ۲۴ ماهه بر شدت خشکسالی در جنوب‌شرق و شمال‌غرب افزوده می‌شود و در مقیاس ۴۸ ماهه از بخش‌های جنوب‌شرق خارج شده و عمدتاً در بخش‌های وسیعی از کشور وضعیت نرمال حکم‌فرماست، اما در شمال و شمال‌غرب، خشکسالی شدید سرایت می‌نماید. لذا در این سال خشکسالی وارده بر کشور دارای منشأ داخلی بوده و از داخل کشور به سایر نقاط سرایت نموده است. نتایج پایش خشکسالی در سال ۲۰۱۴ نشان‌گر خشکسالی همه‌گیر در کل کشور است که شدیدترین آن از شمال و شمال‌شرق به تمام نقاط ایران توسعه می‌یابد. در مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه از شدت خشکسالی کاسته شده و به عرض‌های پایینی انتقال می‌یابد. لذا خشکسالی در این سال از عرض‌های بالایی به ایران سرایت نموده است. نتایج تحلیل روند مقایر SPEI در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد، روند خشکسالی در شمال کشور رو به افزایش و در جنوب و خصوصاً جنوب‌غرب رو به کاهش است. از طرفی روند دما (به‌جز شمال‌غرب و جنوب‌شرق) در بخش‌های وسیعی از شمال گرفته تا مرکز و جنوب کشور رو به افزایش و روند بارش دارای روند منفی و کاهشی بوده است. نتایج این تحقیق نشان دادند که اگرچه بارندگی نقش اصلی در تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی ایفا می‌نماید اما تأثیر نوسانات دمایی بسیار بااهمیت بوده و موجب تشدید پدیده خشکسالی می‌گردد، از طرفی افزایش دما در اقلیم آبی کره زمین امری اثبات شده است. لذا شاخص خشکسالی SPEI با در نظر گرفتن اثرات ترکیبی بارندگی و تبخیرتعرق قادر است تغییرات رطوبت خاک را در مقیاسه با شاخص‌هایی (مانند SPI) که تنها از بارندگی استفاده می‌نمایند توجیه نماید که از محاسن این شاخص محسوب می‌گردد.

منابع

Abrahams, A. D., Parsons, A. J. 1991. Resistance to overland flow on desert pavement and its

در بررسی روند دما و بارش، طی دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهد، بخش‌های زیادی از کشور در شمال، شرق، بخش‌های میانی، جنوب و جنوب‌غرب کشور دما در سطوح اعتماد مورد بررسی دارای روند افزایشی است. این در حالی است که تنها بخش شمال‌غرب در استان آذربایجان غربی - شرقی و کردستان و جنوب شرق کشور فاقد روند معنی‌دار است. نتایج محققینی چون (Shirgholami and Ghahraman, 2006; Alijani et al., 2012) نیز روند افزایشی دما در کشور را تأیید می‌نماید. روند بارش در کشور نشان می‌دهد که در سطح کوچکی در جنوب‌غرب کشور (دوگنبدان، بوشهر، بندر دیلم، دزفول، شیراز و یاسوج) روند منفی در سطح خطای یک درصد (کوچک‌تر از $-2/61$) معنی‌دار است. در جنوب‌شرق (ایران‌شهر) نیز روند فزاینده بارش با پذیرش خطای ۱۰ درصد مورد تأیید است و سایر نقاط کشور بارش دارای روند کاهشی است اما از نظر آماری معنی‌دار نیست. نتایج Razi et al, 2006; Askari and Rahimzadeh, 2007; Azarkhoshi et al 2014; Moradi, 2017) نیز مؤید این مطلب است.

نتیجه گیری

با توجه به افزایش دمای هوا طی ۱۵۰ سال گذشته و این که مدل‌های تغییر اقلیم افزایش مشخصی را برای قرن ۲۱ پیش‌بینی می‌کنند، می‌توان تصور کرد که افزایش دمای هوا نتایج برجسته‌ای را برای شرایط خشکسالی خواهد داشت. در مناطق خشک و نیمه خشک که دو عامل کمبود بارندگی و افزایش تبخیرتعرق بیشترین تأثیر را در ایجاد خشکسالی دارد، ارائه یک شاخص جدید پایش خشکسالی به نام شاخص SPEI الزامی است. به طور کلی نیازمند به داده‌های کم در SPEI امکانات و انعطاف‌پذیری محاسباتش و در نظر گرفتن دو عامل اصلی تعیین‌کننده شدت خشکسالی (بارش و نیاز تبخیری جو) دلایل اصلی هستند که توصیه می‌شود نسبت به دیگر شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق به منظور تحلیل خشکسالی از شاخص بارندگی و تبخیرتعرق استاندارد شده (SEPI) استفاده گردید. جهت تحلیل و پایش زمانی خشکسالی سری‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در نظر گرفته شد و علاوه بر پهنه‌بندی مقادیر فوق در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ که خشکسالی در کشور فراگیر

- DuPisani, L. G., Fouche, H. J., Venter, J. C. 1998. Assessing rangeland drought in South Africa. *Agricultural Systems*, 57(3): 367-380.
- Ebrahimpour, M., Rahimi, J., Nikkhah, A., Bazrafshan, J. 2015. Monitoring Agricultural Drought Using the Standardized Effective Precipitation Index. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(1), 04014044.
- Feng, J., Yan, D., Li, C., Yu, F., Zhang, C. 2014. Assessing the impact of climatic factors on potential evapotranspiration in droughts in North China. *Quaternary International*, 336: 6-12.
- González, J., Valdés, J. B. 2006. New drought frequency index: definition and comparative performance analysis. *Water Resources Research*, 42, W11421, doi:10.1029/2005WR004308.
- Guiney, R. 2012. Farming suicides during the Victorian drought: 2001-2007. *The Australian Journal of Rural Health*, 20(1): 11-15.
- Hamed, K. H., Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1):182-196.
- Heim, R. R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of American Meteorological Society*, 83(8): 1149-1165.
- Hu, Q. S., Willson, G. D. 2000. Effect of temperature anomalies on the Palmer drought severity index in the central United States. *International Journal of Climatology*, 20: 1899-1911.
- Jones, P. D., Moberg, A. 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climatology*, 16: 206-223.
- Kendall, M. G. 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin Book Series, London, 202 pages.
- Keyantash, J. A., Dracup, J. A. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of American Meteorological Society*, 83:1167-1180.
- Keyantash, J. A., Dracup, J. A. 2004. An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*, 40 (9): DOI: 10.1029/2003WR002610.
- Khan, S., Gabriel, H. F., Rana, T. 2008. Standardized precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22: 159-177.
- Khazanedari, L., Zabol Abasi, A. F., Ghandhari, S., Kouhi, M., Malbousi, S. 2010. Drought conditions in the next thirty years in Iran. *Journal of Geography and Regional Development*, 12: 83-98. (In Farsi)
- implications for sediment transport modeling. *Water Resources Research*, 27(8): 1827-1836.
- Abramopoulos, F., Rosenzweig, C., Choudhury, B. 1988. Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): soil water movement and evapotranspiration. *Journal of Climate*, 1(9): 921-941.
- Ahmadi, M., Nosrati, K., Selki, H. 2014. Drought and its relation with soil moisture. Case Study: Kabootar Abad, Isfahan. *International Journal of Geographical Society Quarterly Journal*, 66(11): 77-91. (In Farsi)
- Alijani, B., Mahmoudi, P., Salighe, M., Rigchahi, A. 2012. Study of changes in the annual minimum and maximum temperatures in Iran. *Quarterly journal of geographic research*, 26 (3): 102-119. (In Farsi)
- Askari, A., Rahimzadeh, F. 2007. Study of the variability of rainfall in recent decades of Iran. *Geographical research*, 9 (58): 67-80. (In Farsi)
- Azarkhoshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M., Sahabi, H. 2014. Study of annual and seasonal changes in precipitation and temperature parameters in different climate zones of Iran. *Irrigation and Watershed Journal, Iranian Journal of Natural Resources*, 66(1): 1-16. (In Farsi)
- Beguera, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., Latorre, B. 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10): 3001- 3023.
- Brazdil, R., Trnka, M., Dobrovolny, P., Chroma, K., Hlavinka, P., Zalud, Z. 2009. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881-2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 97(3-4): 297-315.
- Bryant, E. A. 1991. *Natural Hazards*. Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press: 681-689.
- Chang, T. J., Cleopa, X. A. 1998. A proposed method for drought monitoring. *Water Resources Bulletin*, 27: 275-281.
- Das, P. K., Dutta, D., Sharmab, J. R., Dadhwalb, V. K. 2015. Trends and behaviour of meteorological drought 1901-2008 over Indian region using standardized precipitation-evapotranspiration index. *International Journal of Climatology*, 6(2): 909-916.
- Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z., Hlavinka, P. 2008. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Application Climatology*, 96: 155-171.

- Sobhani, B., Ghafari Gilandeh, A., Goldost, A. 2016. Drought monitoring in Ardabil province using the developed SEPI fuzzy index based on fuzzy logic. *Journal of Applied Geosciences Research*, 15(36): 72-51. (In Farsi)
- Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., Stahl, K. 2015. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13): 4040-4027.
- Szalai, S., Szinell, Cs., Zoboki, J. 2000. Drought monitoring in Hungary, early warning systems for drought preparedness and drought management. *World Meteorological Organization Republic WMO/TD 1037*: 199-182.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Water Resources Management*, 21(5): 821-833.
- Vicente-Serrano, S. M. 2007. Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region. *Natural Hazards*, 40(1): 173-208.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lopez-moreno, J. L. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7): 1696-1718.
- Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I. 2005. Hydrological Response to Different Time Scales of Climatological Drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a Mountainous Mediterranean basin. *Hydrological Earth System Science*, 9: 523-533.
- Wald, A., Wolfowitz, J. 1951. Characterization of the minimal complete class of decision functions when the number of distributions and decision is finite. In *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 149-158.
- Wheaton, E., Kulshreshtha, S., Wtrock, V., Koshida, G. 2008. Dry times: hard lessons from the Canadian drought of 2001 and 2002. *Canadian Geographer*, 52: 262-241.
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In *Drought: A Global Assessment*. Routledge Publishers, London, 16: 18-3.
- Zare Abyaneh, H., Ghabaei Souq, M., Mosaedi, A. 2016. Drought monitoring based on the Standardized Evapotranspiration (SPEI) Index of Climate Change Impact. *Water and Soil Journal (Agricultural Science and Technology)*, 29 (2): 374-392. (In Farsi)
- Kisi, O. 2015. An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. *Journal of Hydrology*, 527: 1123-1129.
- Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica, Journal of Econometric Society*, 13(3): 259-245.
- Martinez, J., Lopez, B. C., Adell, N., Badiella, L., Ninyerola, M. 2008. Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions. *Global Change Biology*, 14: 2881-2868.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17:184-179, Boston.
- Moradi, M. 2017. An Investigation of Factors Affecting Surface Runoff Changes in the Watershed of South Coast of Iran with Emphasis on Climate Parameters, Master's Degree Program in Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University. (In Farsi)
- Nosrati, K., Mohseni Saravi, M., Shahbazi, R. 2015. Comparison and Application of Two Standardized Precipitation Indexes and Standardized Evapotranspiration for Meteorological Drought Assessment in Tehran Province. *Desert Management Journal*, 2(3): 77-90. (In Farsi)
- Patel, N. R., Chopra, P., Dadhwal, V. K. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, 14: 336-329.
- Razie, T., Kararaste, P., Saghafian, B. 2006. Annual rainfall survey in arid and semi arid regions of central and eastern Iran. *Isfahan Water and Sewage Journal*, 16 (54): 73-81. (In Farsi)
- Rebetez, M., Mayer, H., Dupont, O., Schindler, D., Gartner, K., Kropp, J., Menzel, A. 2006. Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. *Annals of Forest Science*, 63(6): 569-577.
- Sheffield, J., Wood, E. F. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario. IPCC AR4 simulations. *Climate dynamics*, 31(1): 79-105.
- Shirgholami, H., Ghahraman, B. 2006. Review of the trend of annual average temperature variation in Iran. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 9 (1): 9-24. (In Farsi)
- Sims, A. P., Dutta, D., Nigoyi, S., Raman, S. 2002. Adopting drought indices for estimating soil moisture: a North Carolina case study. *Geophysical Research Letters*, 29(8): 24-1-24-4.



Spatio-temporal variations of meteorological drought using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Iran

M. Eghtedar Nezhad¹, O Bazrafshan^{*2}, J Bazrafshan³

Received: 26/09/2016

Accepted: 05/10/2017

Abstract

Drought is one of the most damaging natural hazards that it is placed in the first order in terms of both the frequency of occurrence and the magnitude of created damages. In this study, we used the standardized precipitation - evapotranspiration drought index (SPEI) for analysis of drought in the 54 synoptic stations for a 64 years (1951- 2014) period. For drought monitoring and regionalization, the SEPI values were calculated in 12, 24 and 48 months timescales. The trend of rainfall, temperature and SEPI was investigated using Mann-Kendall test during the study period. The results showed that an increasing trend for drought and temperature and decreasing trend for rainfall. Considering the correlation of drought and temperature, the findings of study confirmed that SEPI had a good performance for monitoring drought across Iran.

Keywords: Drought monitoring, SPEI, Trend analysis, Iran



¹ M. Sc. Graduate of Natural Resources Engineering department, Faculty of Agriculture and natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Assistant Professor of Natural Resources Engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

(* Corresponding Author Email: O.Bazrafshan@hormozgan.ac.ir)

DOI: 10.22125/AGMJ.2018.59719

³ Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran