

ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص «استانداردشده بارش و تبخیر-تعرق (SPEI)»

سحر تاج‌بخش^{۱*}، نسرین عیسی‌خانی^۲ و امین فضل کاظمی^۳

۱. دکتری، مدیر توسعه کاربردهای هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، کارشناس مرکز ملی خشک‌سالی سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، کارشناس مرکز ملی خشک‌سالی سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران

(دریافت: ۹۳/۴/۱۰، پذیرش نهایی: ۹۴/۳/۱۲)

چکیده

این تحقیق به بررسی اثر عوامل دما، بارش و تبخیر-تعرق در تعیین خشک‌سالی می‌پردازد. مجموع این تأثیرات در شاخص استانداردشده بارش و تبخیر-تعرق ارزیابی شده‌اند. از این رو در این مقاله کوشش شده است تا با مطالعه موردی در یک دوره یک‌ساله (چهار فصل)، خشک‌سالی کشور به کمک این شاخص (به صورت سه‌ماهه) بررسی شود. داده‌های دما و بارش برای تعیین ناهنجاری‌ها و شاخص خشک‌سالی استانداردشده بارش و تبخیر-تعرق در دوره مورد نظر از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عامل تبخیر-تعرق، نقش مؤثری در تغییر شدت خشک‌سالی دارد، به گونه‌ای که با وجود افزایش (کاهش) بارش در مقایسه با میانگین بلندمدت به‌ویژه در بخش‌های جنوبی کشور، به علت افزایش (کاهش) تبخیر-تعرق، شدت خشک‌سالی افزایش (کاهش) یافته است. بنابراین از آنجا که خشک‌سالی پدیده‌ای وابسته به چند متغیر است، به نظر می‌رسد در کنار عامل بارش، می‌توان عامل تبخیر-تعرق را به‌ویژه برای بخش‌های جنوبی کشور و فصل‌های گرم سال لحاظ کرد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل تبخیر-تعرق، خشک‌سالی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص استانداردشده بارش و تبخیر-تعرق

۱. مقدمه

خشک‌سالی از علل طبیعی اصلی خسارت در حوزه‌های کشاورزی، اقتصاد و محیط زیست است (برتون و همکاران، ۱۹۷۸؛ ویل هیت و گلاتتز، ۱۹۸۵؛ ویل هیت، ۱۹۹۳). تعیین کمی ویژگی‌های شدت، بزرگی و تداوم خشک‌سالی به صورت عینی بسیار مشکل است. از این رو تلاش زیادی برای توسعه روش‌های واکاوی و پایش خشک‌سالی صورت گرفته است که شاخص‌های عینی بیشترین سهم را داشته‌اند. اما با توجه به مفهوم ذهنی خشک‌سالی، تعریف یک شاخص واحد و جهانی برای آن بسیار مشکل است (هیم، ۲۰۰۲). در سال‌های متمادی تلاش‌های زیادی برای معرفی، توسعه یا بهبود شاخص‌های خشک‌سالی صورت گرفته است (دو پيسانی و همکاران، ۱۹۹۸؛ کیانتاش و دراکوژ، ۲۰۰۲؛ گنزاس و والدز، ۲۰۰۶؛ کیانتاش و دارکوژ، ۲۰۰۴؛ ولز، ۲۰۰۳؛ تساکیرز و همکاران، ۲۰۰۷). بیشتر مطالعات در زمینه واکاوی و پایش سامانه‌ها با استفاده از شاخص شدت خشک‌سالی پالم بر اساس معادله تعادل رطوبت خاک یا شاخص استانداردشده بارش بر اساس احتمالات بارش صورت گرفته‌اند. این شاخص‌ها به دلیل نادیده گرفتن تأثیرات دما و تبخیر-تعرق، نتایج نادرستی را نشان می‌دهند. در حالی که شاخص‌های مبتنی بر تعادل رطوبت خاک، به دلیل در نظر گرفتن این عوامل، نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهند. در این مقاله به بررسی شاخص استانداردشده بارش و تبخیر-تعرق (SPEI) در ایران با استفاده از داده‌های دما و بارش می‌پردازیم. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عامل تبخیر-تعرق، نقش مؤثری در تغییر شدت خشک‌سالی دارد، به گونه‌ای که با وجود افزایش (کاهش) بارش در مقایسه با میانگین بلندمدت به‌ویژه در بخش‌های جنوبی کشور، به علت افزایش (کاهش) تبخیر-تعرق، شدت خشک‌سالی افزایش (کاهش) یافته است. بنابراین از آنجا که خشک‌سالی پدیده‌ای وابسته به چند متغیر است، به نظر می‌رسد در کنار عامل بارش، می‌توان عامل تبخیر-تعرق را به‌ویژه برای بخش‌های جنوبی کشور و فصل‌های گرم سال لحاظ کرد.

تبخیر و تعرق، 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 خشک‌سالی‌هاست (چانگ و کلویا، ۱۹۹۸؛ هیم، ۲۰۰۲). هو و ویلسون (۲۰۰۰) نقش بارش و دما را در شاخص پالمر ارزیابی کردند و دریافتند که این شاخص به‌طور تقریبی به تغییرات مشابه در بزرگی هر دو پارامتر پاسخ مساوی می‌دهد. آبراموپولوس و همکاران (۱۹۸۸) با استفاده از مدل گردش عمومی نشان دادند که تا ۸۰ درصد بارش با تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود. آن‌ها همچنین دریافتند که تأثیرات افزایش دما در تشدید خشک‌شدن به مراتب بیشتر از کاهش بارش است که می‌تواند نقش مؤثر دما را در تقویت یا تضعیف خشک‌سالی تأیید کند. برخی مطالعات اثر خشک‌سالی ناشی از افزایش دما را بر محصولات کشاورزی به‌وضوح نشان می‌دهد (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۸). خشک‌سالی‌های ناشی از افزایش دما در اروپای مرکزی در تابستان ۲۰۰۳ از بدیهی‌ترین این موارد است (ریتز و همکاران، ۲۰۰۶).

روند افزایش دما در سال‌های اخیر (جونز و موبرگ، ۲۰۰۳) و مدل‌های تغییر اقلیم، افزایش درخور ملاحظه دما را در قرن ۲۱ تأیید می‌کنند (سلومون و همکاران، ۲۰۰۷). این امر می‌تواند به افزایش وقوع خشک‌سالی بینجامد (شفیلد و وود، ۲۰۰۸). دوبروفسکی و همکاران نیز (۲۰۰۸) نشان دادند که آثار خشک‌سالی ناشی از گرمای پیش‌بینی‌شده در مدل‌های اقلیمی به‌روشنی در شاخص PDSI (Palmer Drought Severity index) دیده می‌شود، در حالی که شاخص استاندارد شده بارش، تغییرات مشهودی را در وقوع خشک‌سالی نشان نمی‌دهد. بنابراین استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی دربرگیرنده داده‌های دما در فرمول (مانند شاخص پالمر)، به‌ویژه برای کاربردهایی که بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی هستند، مناسب‌تر است. اما در شاخص پالمر ضرورت اصل چندکمی بودن برای ارزیابی خشک‌سالی در سیستم‌های آب‌شناسی متفاوت و مقادیر گوناگون انواع مختلف خشک‌سالی در نظر گرفته نشده است. از این رو

خشک‌سالی بر اساس شاخص دیگری به نام شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق (که از این پس به‌صورت SPEI در متن مقاله می‌آید) فرمول‌بندی شده که در آن سه متغیر بارش، دما و پتانسیل تبخیر-تعرق (Potential of evapotranspiration) (PET) لحاظ شده است. این شاخص حساسیت شاخص پالمر به تغییرات نیاز تبخیر (بر اساس افت‌وخیز دما) را با محاسبات ساده و طبیعت چندمقیاسی شاخص استاندارد شده بارش ترکیب می‌کند. بنابراین می‌تواند هر دو ویژگی شاخص‌های SPI (Standard Precipitation Index) و PDSI را داشته باشد. این شاخص به‌ویژه برای مطالعه آشکارسازی، پایش و شناسایی نتایج گرمایش جهانی درباره شرایط خشک‌سالی پایه‌ریزی شده است. با این نگرش در این تحقیق نیز کوشش شده است با استفاده از شاخص SPEI، نقش بارش، دما و تبخیر-تعرق در مطالعه موردی خشک‌سالی سال ۲۰۱۲ برای مناطق مختلف کشور به‌صورت فصلی ارزیابی شود.

۲. معرفی شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق (SPEI)

این شاخص اولین بار توسط ویسنت سرانگو و همکاران (۲۰۰۹) معرفی شد. SPEI شاخصی چندکمی است که در آن داده‌های بارش و دما با یکدیگر ترکیب می‌شوند. محاسبات آن مشابه شاخص استاندارد شده بارش است. در شاخص استاندارد شده بارش داده‌های ورودی مقادیر بارش ماهانه یا هفتگی است، اما در SPEI مقادیر ماهانه یا هفتگی اختلاف بارش و PET استفاده می‌شود. این در واقع معرف برقراری تعادل اقلیمی آب است که در محاسبه SPEI در نظر گرفته شده است. گام اول برای محاسبه PET به علت محاسبه پارامترهای گوناگون شامل دمای سطح زمین، رطوبت، تابش ورودی به خاک، فشار بخار آب و شارهای گرمای نهان و محسوس جو نزدیک زمین، مشکل است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). روش‌های دیفرانسیلی مقدار تبخیر و تعرق از پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت غیرمستقیم برآورد می‌شود. با توجه به داده‌های موجود و

کلاسیک ابراموویتز و تگان (۱۹۶۵) در ادامه آمده است:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (7)$$

که در آن، $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$ برای $P \leq 0.5$ و P احتمال بیشتر شدن مقادیر تعیین شده D است. مقادیر C_0 ، C_1 و C_2 و همچنین d_1 ، d_2 و d_3 ثابت هستند. میانگین مقادیر SPEI صفر و انحراف استاندارد معادل ۱ است. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده است، بنابراین می‌تواند با سایر مقادیر SPEI در مکان و زمان مقایسه شود. مقدار SPEI معادل صفر به معنای مقادیر منطبق با ۵۰ درصد احتمال تجمعی D است.

۳. داده‌ها و روش

داده‌های مجموع بارش و دمای میانگین از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده‌اند که به ۱۰۳ ایستگاه سینوپتیک در سراسر کشور مربوط هستند. دوره آماری ایستگاه‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ سال است که اطلاعات ۲۴ ایستگاه به دوره ۲۵ ساله (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱) و اطلاعات سایر ایستگاه‌ها به دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱) مربوط است. از نرم‌افزار ArcMap9.3 برای ترسیم نقشه‌ها استفاده شده است. درون‌یابی نقشه‌ها با روش Inverse Distance Weighted (IWD) انجام گرفته است. برای محاسبه شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق ابتدا مجموع بارش برای دوره مورد نظر (یک ماهه، سه ماهه) برای هر ایستگاه در سال مورد نظر تعیین شد. سپس تبخیر-تعرق مرجع و بارش به روش تورن ویث برای هر ایستگاه محاسبه شد. در این مرحله می‌توان از سایر روش‌ها از جمله پنمن-مونتیت، هارگیوز و روش‌های دیگر نیز استفاده کرد. سپس مجموع تبخیر-تعرق پتانسیل در بازه زمانی مورد نظر برای هر ایستگاه در سال مورد نظر از مجموع بارش به دست آمده کسر و به این ترتیب چولگی داده‌ها محاسبه شد. ضمن اینکه میانگین و انحراف معیار داده‌ها در همین مرحله تعیین شدند. چنانچه چولگی داده‌ها به راست باشد، تابع گامای سه پارامتری از روی فرمول‌های مرتبط برازش داده شده و چنانچه چولگی به چپ باشد، شاخص A به صورت $A = P - PET_{max}$

در دسترس، روش‌های فیزیکی (روش پن من-مونتیت؛ PM) یا روش‌های تجربی برای محاسبه PET با پارامترهای کمتر، استفاده می‌شود. ماوروماتیس (۲۰۰۷) نشان داد که استفاده از روش‌های ساده یا پیچیده برای محاسبه PET در تعیین شاخص PDSI نتایج مشابهی دارند، از این رو ویسنت سراتو و همکاران (۲۰۰۹) از ساده‌ترین روش استفاده کرده‌اند که توسط تورنت ویت (۱۹۴۸) معرفی شده است. در این تحقیق نیز از همین روش برای محاسبه PDSI استفاده شده است. بر اساس این روش:

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m, \quad (1)$$

که در آن، T معرف دمای ماهانه میانگین (درجه سانتی‌گراد) است و m ضریب وابستگی به I و به شرح رابطه (۲) می‌باشد:

$$m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I \quad (2)$$

همچنین I شاخص گرما یا مجموع شاخص ۱۲ ماهه i است و i از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}, \quad (3)$$

و K یک ضریب تصحیحی بر حسب ماه و عرض جغرافیایی است که به صورت رابطه (۴) محاسبه شده است:

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right) \quad (4)$$

که در آن، NDM تعداد روزهای یک ماه و N بیشینه تعداد ساعت‌های تابش است.

به این ترتیب با در دست داشتن مقدار PET اختلاف بین بارش و بارش (P) و PET برای ماه Δ به دست می‌آید.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (5)$$

محاسبه SPEI به توزیع سه پارامتری نیاز دارد. تابع توزیع احتمال سری‌های D بر اساس رابطه (۶) است:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (6)$$

که در آن، α ، β و x به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدأ برای مقادیر D هستند (سینگ و همکاران، ۱۹۹۳).

مقادیر $F(x)$ برای سری D در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌خوبی با مقادیر تجربی دیدبانی شده $F(x)$ هم‌خوانی دارد. به این ترتیب SPEI می‌تواند به‌سادگی از مقادیر استاندارد شده $F(x)$ محاسبه شود. برای مثال تقریب

تعریف می‌شود. بیشترین مقدار در داده‌های گزارش شده به عنوان بیشینه آن پارامتر برای ایستگاه منظور می‌شود. در این حالت همه داده‌ها از مقدار بیشینه کسر و جایگزین داده مورد نظر می‌شود. با این روش در این حالت نیز چولگی به راست منحرف می‌شود. سپس با فرض n تعداد داده بارش و شماره ترتیبی m ، احتمال مقدار بارش محاسبه و به کمک این احتمال و تابع معکوس تابع گاما، بارش متناظر گاما تعیین شد. بار دیگر احتمال به دست آمده، به تابع نرمال معکوس با میانگین و انحراف معیار به دست آمده برده شده و بارش متناظر محاسبه شد. اکنون بارش گزارش شده از ایستگاه، بارش مرحله گاما و بارش هنجار شده برای هر ایستگاه در دسترس است. به این ترتیب می‌توان تابع چگالی احتمال بارش ایستگاه و تابع تجمعی متناظر با تابع چگالی احتمال را محاسبه کرد و پس از هنجارش، شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر محاسبه می‌شود.

۴. نتایج و بحث

در این بخش با توجه به ناهنجاری دما، بارش و تبخیر-تعرق نسبت به میانگین بلندمدت، شاخص فصلی SPEI در مناطق مختلف کشور ارزیابی شده است.

فصل زمستان

همان‌گونه که در شکل ۱-الف دیده می‌شود، به طور مشخص، در بخش‌هایی از استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان دما بیش از ۴۰ درصد نسبت به میانگین افزایش نشان می‌دهد. در بخش‌هایی از استان‌های زنجان، کردستان، خراسان رضوی و قزوین کاهش ۱۰۰ درصدی دما مشاهده می‌شود. از نظر بارش (شکل ۱-ب) به جز در استان همدان که بارش‌ها بیش از ۸۰ درصد بیشتر از میانگین بلندمدت است، در سایر مناطق بارش‌ها در حد نرمال و کمتر از آن است. بیشترین کاهش در حاشیه جنوب شرق ایران و استان یزد دیده می‌شود که به بیش از ۸۰ درصد کاهش یافته است. در استان‌های کرمانشاه، لرستان و اصفهان هم به صورت نقطه‌ای کاهش ۶۰ تا ۷۰ درصدی بارش محسوس است. تبخیر-تعرق در استان

هرمزگان نیز از افزایش قابل توجهی حکایت دارد. سایر مناطق کشور کم‌وبیش کاهش تبخیر را نشان می‌دهد (شکل ۱-ج) که می‌تواند در تعیین شدت خشک‌سالی کشور در این فصل تأثیرگذار باشد؛ به گونه‌ای که در سیستان و بلوچستان و یزد با وجود کاهش درخور ملاحظه بارش، شدت خشک‌سالی در حد نرمال و خفیف است. در استان هرمزگان نیز کاهش بارش و افزایش تبخیر-تعرق به افزایش شدت خشک‌سالی انجامیده است (شکل ۱-د).

فصل بهار

از موارد مشهود این فصل می‌توان به افزایش بیش از ۸۰ درصدی بارش در اصفهان، شرق هرمزگان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی و کاهش بیش از ۸۰ درصدی در استان‌های فارس، کرمان، خوزستان، مازندران و غرب هرمزگان اشاره کرد (شکل ۲-ب). پارامتر ناهنجاری تبخیر-تعرق (شکل ۲-ج) افزایش شایان ملاحظه‌ای در استان هرمزگان دارد و در استان‌های خوزستان و نوار شمالی نیز تا حدود ۴۰ درصد بیش از نرمال است. این پارامتر در نیمه شرقی کشور به کمتر از ۴۰ تا ۸۰ درصد نرمال رسیده است. شاخص SPEI نشان می‌دهد در مناطقی که شاخص ناهنجاری تبخیر-تعرق افزایش دارد (کرمان)، با وجود کاهش شدید بارش، خشک‌سالی مشاهده نمی‌شود و در استان‌های هرمزگان، مازندران و خوزستان با کاهش ناهنجاری تبخیر-تعرق و کاهش بارش، خشک‌سالی افزایش یافته است (شکل ۲-د).

فصل تابستان

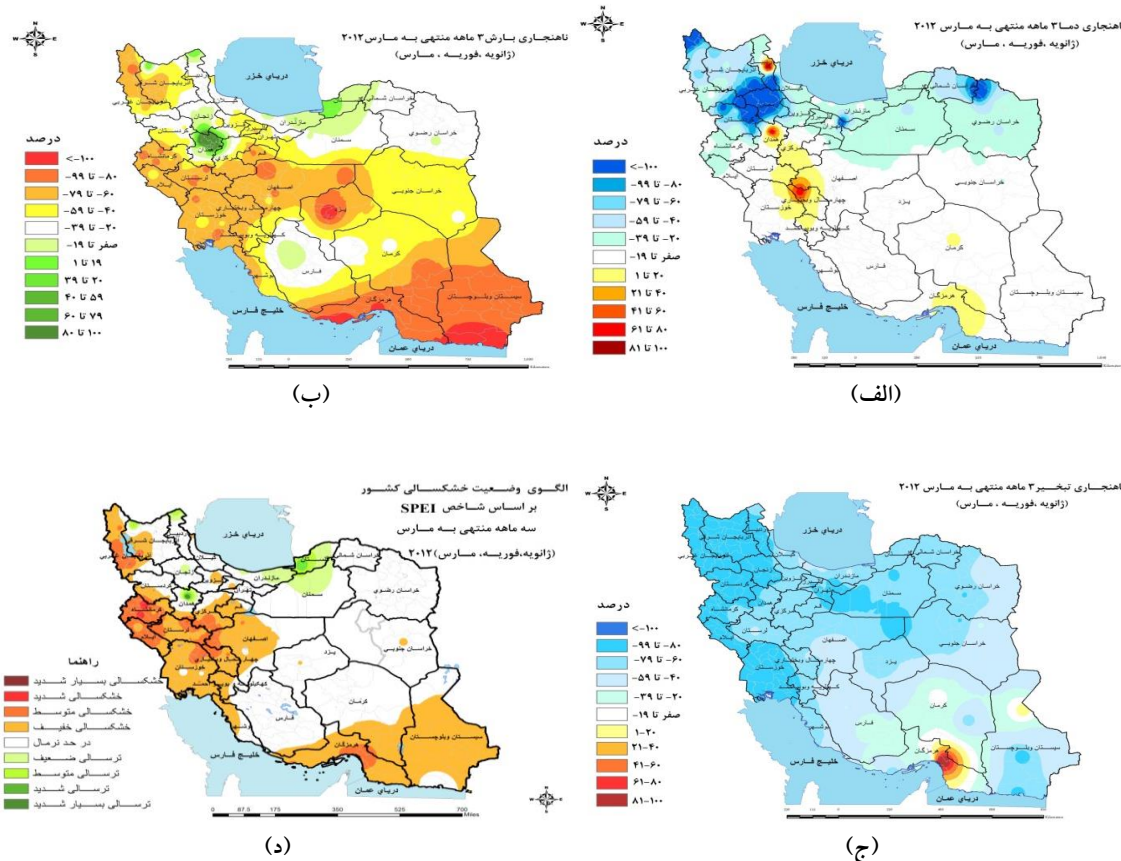
الگوهای سه ماهه منتهی به سپتامبر (تابستان) مطابق شکل‌های ۳ هستند. نکته شایان توجه در الگوی SPEI این فصل (شکل ۳-د)، ترسالی ضعیف تا متوسط استان‌های یزد، خراسان رضوی و جنوبی است. در حالی که انتظار می‌رفت با کاهش ۶۰ تا ۸۰ درصدی بارش، خشک‌سالی شدید رخ دهد، اما به نظر می‌رسد اثر کاهش تبخیر-تعرق (شکل ۳-ج) موجب تعدیل خشک‌سالی در این منطقه شده است (شکل ۳-د). در جنوب خوزستان، بوشهر و هرمزگان علاوه بر کاهش بارش، افزایش تبخیر-تعرق نیز مشاهده شده است که دلیل محکمی برای

خزر تا حدود ۶۰ درصد نسبت به میانگین افزایش نشان می‌دهد. از سوی دیگر در بیشتر حاشیه شرق و جنوب شرق کشور کاهش این شاخص تا ۶۰ درصد به چشم می‌خورد، به گونه‌ای که در جنوب سیستان و بلوچستان، تبخیر و تعرق به بیش از ۶۰ درصد میانگین بلندمدت کاهش یافته است (شکل ۴-ج). مجموعه این عوامل موجب شده‌اند که شاخص خشک‌سالی (شکل ۴-د) در جنوب شرق کشور با وجود کمبود بارش درخور ملاحظه (اما به علت کاهش تبخیر و تعرق)، ترسالی ضعیفی را در این منطقه نشان دهد. همچنین موجب شده است در غرب دریای خزر به علت کاهش بارش و افزایش تبخیر-تعرق، خشک‌سالی‌های متوسط و در خراسان جنوبی و جنوب خراسان رضوی با افزایش بارش و کاهش تبخیر-تعرق، ترسالی متوسط نقطه‌ای ایجاد شود (شکل ۴-د).

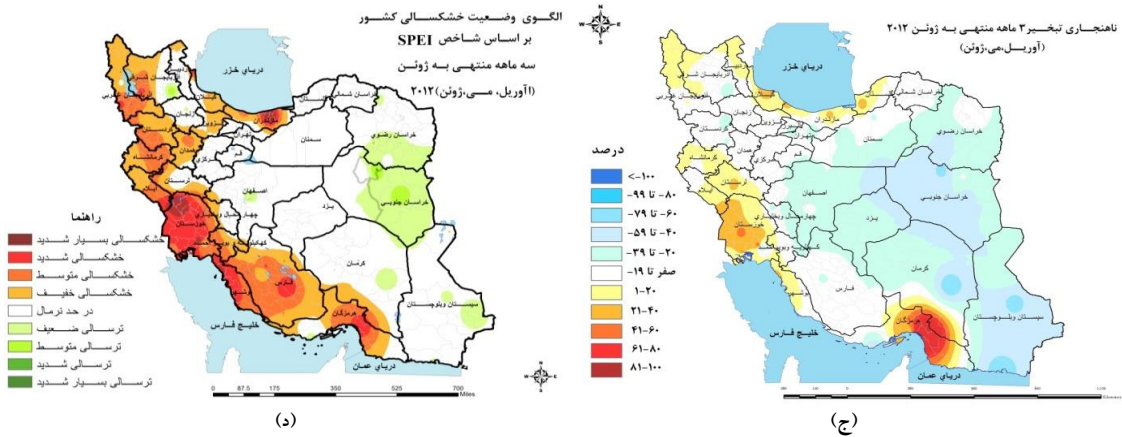
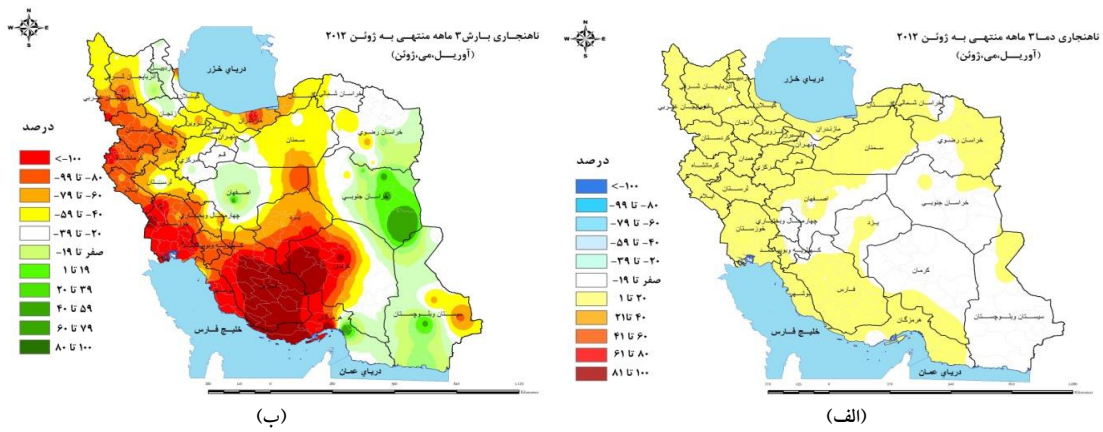
خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید در این مناطق است.

فصل پاییز

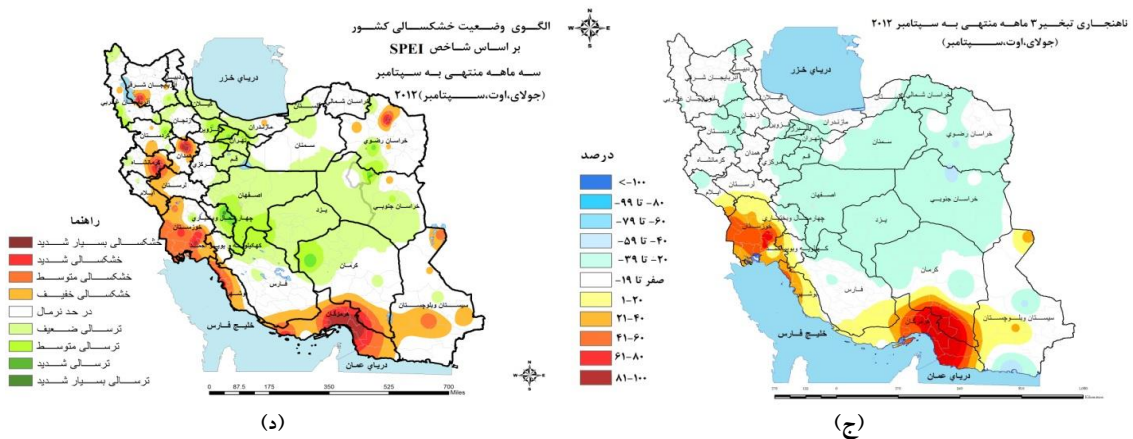
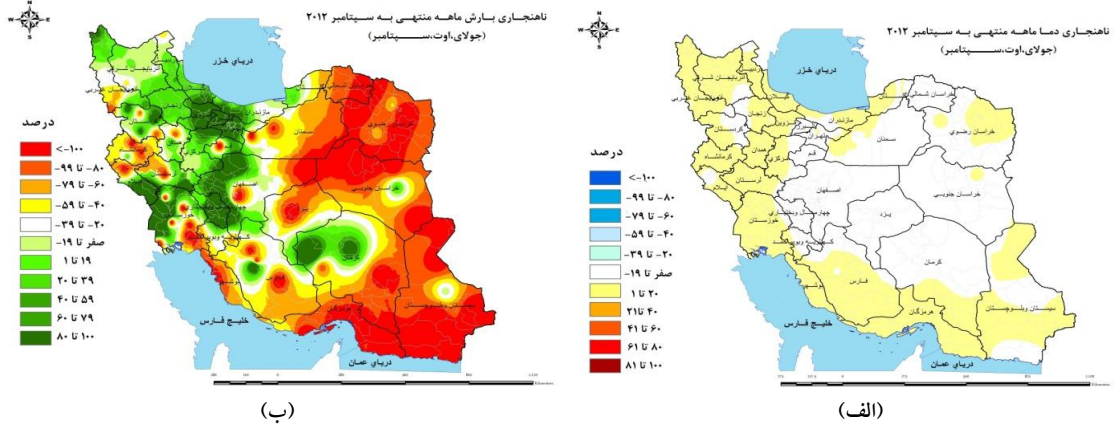
نقشه‌های ناهنجاری دما در فصل پاییز ۲۰۱۲ (سه ماهه منتهی به سپتامبر ۲۰۱۲) از افزایش دما (۴۰ درصد و بیشتر) در حاشیه شمال غرب کشور حکایت دارد که در شکل ۳-الف دیده می‌شود. بارش‌ها در برخی نقاط استان‌های سیستان و بلوچستان و خراسان شمالی بیش از ۸۰ درصد کمتر از نرمال است. در نواحی مرکزی ایران شامل استان‌های یزد، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد بارش‌ها در مقایسه با نرمال بیش از ۸۰ درصد افزایش نشان می‌دهند (شکل ۴-ب). شاخص ناهنجاری تبخیر-تعرق هم در استان‌های هرمزگان و بوشهر بیش از ۸۰ درصد و در برخی نقاط حاشیه دریای



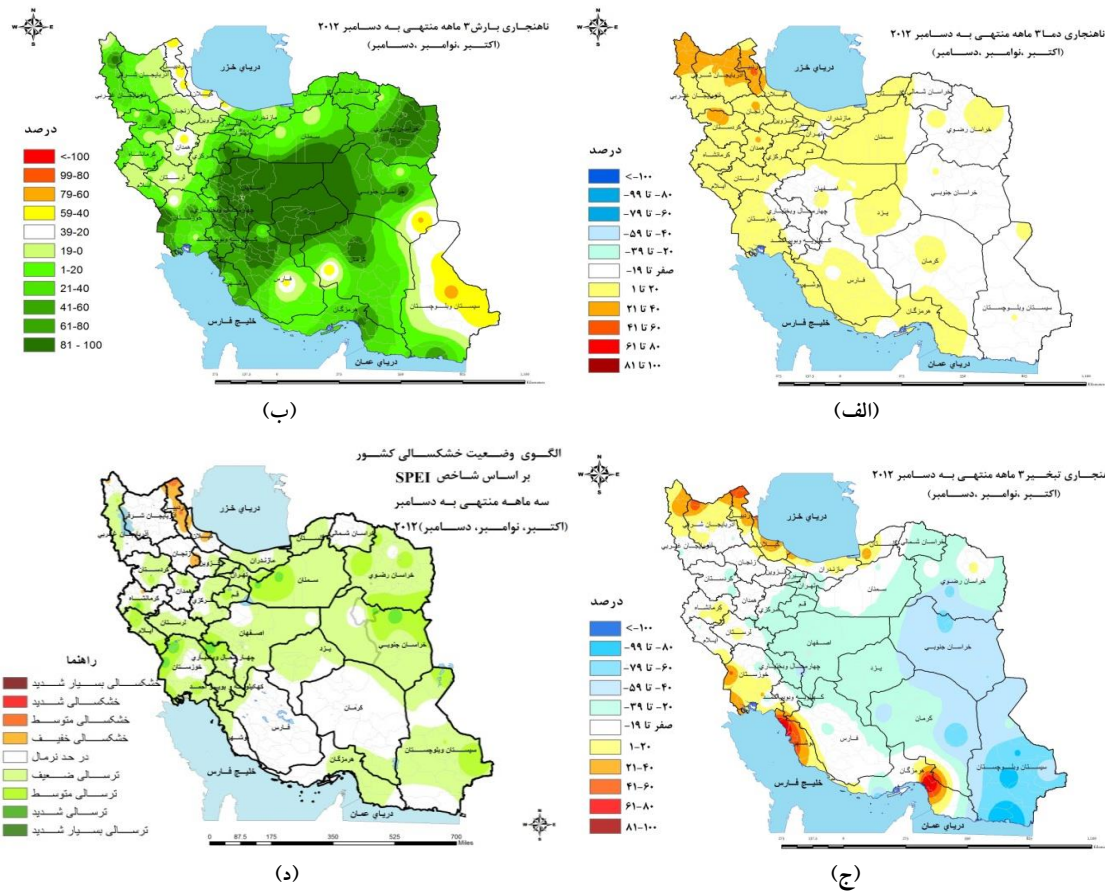
شکل ۱. (الف) ناهنجاری دما (درصد) نسبت به میانگین برای سه ماه منتهی به مارس ۲۰۱۲، (ب) ناهنجاری بارش (میلی‌متر) نسبت به میانگین برای سه ماه منتهی به مارس ۲۰۱۲، (ج) ناهنجاری تبخیر-تعرق نسبت به میانگین برای سه ماه منتهی به مارس ۲۰۱۲ و (د) شاخص SPEI برای سه ماه منتهی به مارس ۲۰۱۲.



شکل ۲. (الف) ناهنجاری دما نسبت به میانگین برای سه ماه منتهی به ژوئن ۲۰۱۲، (ب) ناهنجاری بارش (میلی متر) نسبت به میانگین برای سه ماه منتهی به ژوئن ۲۰۱۲، (ج) ناهنجاری تبخیر-تعرق نسبت به میانگین برای سه ماه منتهی به ژوئن ۲۰۱۲ و (د) شاخص SPEI برای سه ماه منتهی به ژوئن ۲۰۱۲.



شکل ۳. (الف) ناهنجاری دما نسبت به میانگین بلندمدت برای سه ماه منتهی به سپتامبر ۲۰۱۲، (ب) ناهنجاری بارش نسبت به میانگین بلندمدت برای سه ماه منتهی به سپتامبر ۲۰۱۲، (ج) ناهنجاری تبخیر-تعرق نسبت به میانگین بلندمدت برای سه ماه منتهی به سپتامبر ۲۰۱۲ و (د) شاخص SPEI برای سه ماه منتهی به سپتامبر ۲۰۱۲.



شکل ۴. (الف) ناهنجاری دما نسبت به میانگین بلندمدت برای سه ماه منتهی به دسامبر ۲۰۱۲، (ب) ناهنجاری بارش نسبت به میانگین بلندمدت برای سه ماه منتهی به دسامبر ۲۰۱۲، (ج) ناهنجاری تبخیر-تعرق نسبت به میانگین بلندمدت برای سه ماه منتهی به دسامبر ۲۰۱۲ و (د) شاخص SPEI برای سه ماه منتهی به دسامبر ۲۰۱۲.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله به منظور بررسی تأثیر شاخص تبخیر-تعرق در مطالعات خشک‌سالی، شاخص خشک‌سالی SPEI در سال ۲۰۱۲ مطالعه شده است. این شاخص علاوه بر اثر بارش، نقش پارامتر تبخیر-تعرق را نیز در معادلات لحاظ کرده و به نظر می‌رسد می‌تواند برای بررسی خشک‌سالی مفیدتر باشد. نتایج این بررسی موردی نشان می‌دهد که در فصل زمستان (جز در استان هرمزگان و جنوب سیستان و بلوچستان) به علت کاهش محسوس دما، تأثیرات تبخیر-تعرق چندان درخور توجه نیست. در فصل بهار نقش عامل تبخیر-تعرق مشهود است، به گونه‌ای که در برخی استان‌ها مانند فارس با وجود کاهش چشمگیری بارش، به علت تبخیر و تعرق کم، خشک‌سالی چندانی دیده نمی‌شود و در استان‌های خوزستان و مازندران با وجود بارش‌های بیشتر از نرمال و تبخیر-تعرق قابل توجه، خشک‌سالی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۲-ب تا ۲-د).

در فصل تابستان با کاهش بارش در نوار جنوبی کشور و افزایش تبخیر-تعرق، شدت شاخص خشک‌سالی در مناطق گفته‌شده، شدید و بسیار شدید محاسبه شده است (شکل ۳-د) و در بخش‌های شرقی کشور با وجود کاهش شدید بارش نسبت به میانگین بلندمدت (شکل ۳-ب)، به علت کاهش تبخیر-تعرق، خشک‌سالی گزارش نشده است (شکل ۳-د). الگوهای فصل پاییز نیز تأثیرات پارامتر تبخیر-تعرق را در بروز خشک‌سالی‌ها تأیید می‌کند، به گونه‌ای که در مناطق مرکزی و هرمزگان با وجود افزایش بارش‌ها نسبت به میانگین بلندمدت (شکل ۴-ب) و کاهش تبخیر-تعرق (شکل ۴-ج) ترسالی حاکم شده است (شکل ۴-د).

به این ترتیب به نظر می‌رسد با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران (مناطق خشک و نیمه‌خشک) شاخص تبخیر-تعرق به‌ویژه در فصل‌های گرم سال در بیشتر نقاط کشور به‌خصوص بخش‌های جنوبی ایران در

مانند تبخیر-تعرق را در بر می گیرند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بدین وسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده‌های دما و بارش در دوره آماری مورد نظر اعلام می‌دارند.

مراجع

- Abramopoulos, F., Rosenzweig, C. and Choudhury, B., 1988, Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): soil water movement and evapotranspiration, *J. Climate*, 1, 921-941.
- Abramowitz, M. and Stegun, I. A., 1965, *Handbook of mathematical functions, with formulas, graphs, and mathematical tables*, Dover Publications, 1046 pp.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998, *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 300 pp.
- Burton, I., Kates, R. W. and White, G. F., 1978, *The Environment as Hazard*, Oxford University Press, 240 pp.
- Chang, T. J. and Cleopa, X. A., 1998, A proposed method for drought monitoring, *Water Resour. Bull.*, 27, 275-281.
- Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. and Hlavinka, P., 2008, Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia, *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 155-171.
- Dupisani, C. G., Fouche, H. J. and Venter, J. C., 1998, Assessing rangeland drought in South Africa, *Agric. Syst.*, 57, 367-380.
- González, J. and Valde's, J. B., 2006, New drought frequency index: definition and comparative performance analysis, *Water Resour. Res.*, 42, W11421, doi: 10.1029/2005WR004308.
- Heim, R. R., 2002, A review of twentieth-century drought indices used in the United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1149-1165.
- Hu, Q. and Willson, G. D., 2000, Effect of temperature anomalies on the Palmer drought severity index in the central United States, *Int. J. Climatol.*, 20, 1899-1911.
- Jones, P. D. and Moberg, A., 2003, Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001, *J. Climate*, 16, 206-223.
- Keyantash, J. A. and Dracup, J. A., 2004, An aggregate drought index: assessing drought

تعین شدت خشک‌سالی‌ها تأثیرگذار است. این مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر کاهش بیش از ۵۰ درصد و افزایش بیش از ۶۰ درصد این پارامتر می‌تواند در شدت خشک‌سالی نقش مهمی داشته باشد. از این رو به نظر می‌رسد بهتر است در تعیین و بررسی خشک‌سالی‌ها، به‌ویژه در مناطق گرم و خشک کشور از شاخص‌هایی استفاده شود که علاوه بر بارش، سایر پارامترهای جوی

severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage, *Water Resour. Res.*, 40, W09304, doi: 10.1029/2003WR002610.

- Keyantash, J. A. and Dracup, J. A., 2002, The quantification of drought: an evaluation of drought indices, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1167-1180.
- Khan, S., Gabriel, H. F. and Rana, T., 2008, Standardized precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas, *Irrig. Drain. Syst.*, 22, 159-177.
- Martinez, J., Lopez, B. C., Adell, N., Badiella, L. and Ninyerola, M., 2008, Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions, *Global Change Biology*, 14, 2868-2881.
- Mavromatis, T., 2007, Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece, *Int. J. Climatol.*, 27, 911-924.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- Patel, N. R., Chopra, P. and Dadhwal, V. K., 2007, Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index, *Meteor. Appl.*, 14, 329-336.
- Rebetez, M., H. Mayer, O. Dupont, and Menzel, A., 2006, Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis, *Ann. For. Sci.*, 63, 569-577.
- Sheffield, J. and Wood, E. F., 2008, Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, *Climate Dyn.*, 31, 79-105.
- Sims, A. P., Dutta, D., Nigoyi, S. and Raman, S., 2002, Adopting drought indices for estimating soil moisture: a North Carolina case study, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1183. doi:10.1029/2001GL013343.
- Singh, V. P., Guo, H. and Yu, F. X., 1993, Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrol. Hydraul.*, 7, 163-177.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., Miller Jr., H.

- L. and Chen, Z., Eds., 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 996 pp.
- Szalai, S., Szinell, Cs. and Zoboki, J., 2000, Drought monitoring in Hungary, early warning systems for drought preparedness and drought management, World Meteorological Organization Rep, WMO/TD 1037, 182-199.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H., 2007, Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI), *Water Resour. Manage.*, 21, 821-833.
- Thornthwaite, C. W., 1948, An approach toward a rational classification of climate, *Geogr. Rev.*, 38, 55-94.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueri'a, S. and Lo'pez-moreno, J., 2009, A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, *JOURNAL OF CLIMATE*, 23, 1696-1718.
- Vicente-Serrano, S. M., 2007, Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region. *Nat. Hazards*, 40, 173-208.
- Vicente-Serrano, S. M., 2006, Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula, *Water Resour. Manage.*, 20, 37-60.
- Vicente-Serrano, S. M. and Lo'pez-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, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, 523-533.
- Wells, N., 2003, PDSI users manual version 2.0, National Agricultural Decision Support System, http://greenleaf.unl.edu/downloads/PDSI_Manual.pdf.
- Wilhite, D. A. and Glantz, M. H., 1985, Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, *Water Int.*, 10, 111-120.
- Wilhite, D. A., 1993, Drought assessment, management, and planning: theory and case studies, *Natural Resource Management and Policy Series*, 2, Kluwer, 293 pp.