

واکاوی خشکسالی ایستگاه‌های ایران در دوره سرد سال

آزاده اربابی سبزواری^{۱*}، مهسا فرزانه^۲

۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر

۲- دکتری تخصصی آب و هواشناسی

چکیده

خشکسالی، بخشی از نوسانات اقلیم کره زمین است که هرساله بدون توجه به تفاوت‌های سیاسی و اقتصادی، همچنین بدون توجه به هشدار و مرزهای شناخته شده به وقوع می‌پیوندد. ایران از جمله کشورهایی است که از نوسان شدید زمانی و مکانی بارش برخوردار است و هر ساله بخش‌های مختلفی از آن تحت تأثیر پدیده خشکسالی قرار دارد. خشکسالی یک بلای طبیعی به شمار می‌رود؛ زیرا با کمبود آب مرتبط است و روی منابع آب، کشاورزی، سیستم خاک، اکوسیستم‌های طبیعی و نیز بخش‌های اقتصادی اجتماعی تأثیر منفی می‌گذارد. با شناخت این پدیده می‌توان نسبت به پیش‌بینی آن امیدوار بود و با آمادگی اثرات زیان بار آن را کاهش داد. طی دهه‌های اخیر پژوهشگران کشورهای مختلف برای رفع این مشکلات از پایگاه داده‌های شبکه‌ای و سنجش‌ازدوری با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا استفاده می‌کنند. هدف اصلی پژوهش حاضر نیز بررسی خشکسالی‌های هواشناسی کشور طی یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از داده‌های شبکه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب است. روش مورد استفاده در این تحقیق ترکیبی از روش‌های آماری، مدلی است. داده‌های مورد استفاده شامل: داده‌های بارش، دما، تبخیر و تعرق CRU ماهانه با قدرت تفکیک مکانی بالا (۵/۰ * ۵/۰ درجه جغرافیایی) طی یک دوره طولانی‌مدت (۲۰۱۵-۱۹۶۶) و مدل رگومی ارتفاع سطح زمین می‌باشد. نتایج محاسبه خشکسالی نشان داد از نظر زمانی طی دوره (۱۹۶۶-۲۰۱۵) به‌طور کلی بارش دوره سرد سال روند کاهش دارد، کاهش بارش در مناطق مختلف کشور عمدتاً از اواخر دهه ۹۰ شروع می‌شود و به‌طور پیوسته با گسست‌های جزئی تا انتهای دوره مطالعاتی تداوم یافته است. همچنین مشخص شد که از نظر مکانی طی دوره مورد مطالعه جنوب و جنوب شرق ایران با فراوانی و تداوم بالایی خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و برخورداری از شدت‌های خشکسالی متوسط قابل توجه و تجربه برخورداری از خشکسالی‌های شدید و حتی بسیار شدید بیشتر نسبت به سایر مناطق، بحرانی‌ترین نواحی کشور محسوب می‌شوند.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، داده‌های شبکه‌ای، CRU، دوره سرد

مقدمه

خشکسالی عبارت است از کاهش آب در دسترس در یک دوره مشخص در یک محدوده مشخص (بران و رادیر ۱۹۸۵). خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که کمبود آب هم در زمان و هم در مکان گسترش یابد (کوریه، ۱۹۹۱). دلیل انسان‌ها به دانستن وضعیت جوی علاقه‌مند بوده و توجه خاصی به ناهنجاری‌های اقلیمی و مخاطرات آن دارند (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷). این مخاطرات به‌شدت اکوسیستم‌های طبیعی و جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و سبب بروز خسارات مالی و جانی می‌شوند (لی و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۲۲۵). خشکسالی پدیده‌ای جهانی است که می‌تواند در هر جایی رخ دهد و خسارات قابل توجهی به انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد آورد، بنابراین تحقیق و مطالعه در این زمینه بسیار ضروری می‌باشد. همچنین این پدیده اقلیمی جزء پدیده‌های است که هر ساله خسارات قابل توجهی را در نواحی مختلف این کره خاکی تحمیل می‌نماید که می‌تواند اثرات جدی اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد، آنچه باعث می‌گردد این پدیده تبدیل به بلا گردد، آسیب‌پذیری بشر نسبت به این پدیده است (جباری ۱۳۸۹). خشکسالی از جمله مخاطرات اقلیمی بسیار پیچیده است که بیش از هر مخاطره دیگر انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ساباش و همکاران ۲۰۱۱) و به‌عنوان یکی از مزمن‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیانبارترین، مخاطرات طبیعی شناخته می‌شود. به طوری که در بین بلایای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زندگی او، هم از نظر فراوانی وقوع و هم از نظر خسارت‌های مالی و حتی جانی در رده اول قرار دارد (قویدل رحیمی، ۱۳۸۴). دلیل این امر آن است که از یک طرف، خشکسالی بخش جدایی‌ناپذیر نوسانات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه جغرافیایی رخ دهد (برنا ۱۳۸۹) و سالانه بیش از نیمی از کره زمین در معرض آن قرار دارد (کوگان ۱۹۹۷). از طرف دیگر این پدیده ماهیتی بطئی و خزننده دارد. این بدین معنی است که تعیین شروع و خاتمه آن مشکل و اثرات آن ممکن است به تدریج برای یک دوره طولانی روی هم انباشته شده و برای سال‌های پس از آن نیز ادامه داشته باشد. از این رو خشکسالی به‌عنوان مخاطره‌ای بی‌سروصدا به تدریج و با شدت‌های مختلف اکوسیستم‌های

طبیعی و جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب بروز خسارات و مشکلات متعددی برای جوامع گیاهی، جانوری و متعاقب آن انسان‌ها می‌شود (رحیمی ۱۳۹۰). ایران از جمله کشورهایی است که از نوسان شدید زمانی و مکانی بارش برخوردار است و هر ساله بخش‌های مختلفی از آن تحت تأثیر پدیده خشکسالی قرار دارد. با این حال اطلاعات جامعی از خصوصیات خشکسالی در نواحی مختلف ایران وجود ندارد. علت این امر تراکم پائین ایستگاه‌های هواشناسی به‌ویژه در نواحی کوهستانی و بیابانی ایران به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و یا جغرافیایی است که منجر شده نقشه‌های پایش خشکسالی تهیه‌شده توسط سازمان‌ها و محققان در کشور عمدتاً بر مبنای روش‌های مختلف درون‌یابی تهیه شوند. این در حالی است که نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف درون‌یابی در مناطق با تراکم پائین ایستگاه‌های هواشناسی همواره اختلاف‌های زیادی را نشان می‌دهند و مقدار برآوردی برای این مناطق با مقدار واقعی فاصله زیادی دارد (واگنر و همکاران، ۲۰۱۲). ساختار خشکسالی، شامل: شروع، پایان، فراوانی و شدت آن می‌باشد که به سختی قابل پیش‌بینی هستند (تاتلی و همکاران، ۲۰۱۱). تغییرپذیری ویژگی‌های پیش‌گفته، خشکسالی را نه فقط به یک بلای طبیعی بالقوه بلکه به یک پدیده خطرناک نیز تبدیل کرده است. نخست برای آن که یک مخاطره خزننده است و بعضی اوقات بیش از چندین سال حضور دارد. دوم اینکه به وضعیت توپوگرافی خاصی محدود نمی‌شود و تأثیر آن می‌تواند بر مناطق وسیعی گسترش یابد (محمدی ۱۳۸۷). با توجه به اینکه خشکسالی از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده اقلیم کره زمین و یکی از رخداد‌های اصلی و تأثیرگذار محیطی است که خسارات و مشکلات فراوانی را برای جوامع بشری ایجاد می‌کند، همواره مورد توجه و بررسی محققان داخلی و خارجی بوده است؛ پژوهشگرانی چون Gustavo در سال ۲۰۱۲، Alam در سال ۲۰۱۷، Zambreski در سال ۲۰۱۸، Byakatonda در سال ۲۰۱۸، هاتفی و همکاران در سال ۱۳۹۵، یوسفی و همکاران ۱۳۹۶ در زمینه خشکسالی کار کردند و در کل نتایج نشان می‌دهد که شدت و فراوانی خشکسالی افزایش یافته است. دما به‌عنوان فاکتور اصلی برای تعریف خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و بارش به‌عنوان فاکتور اصلی برای

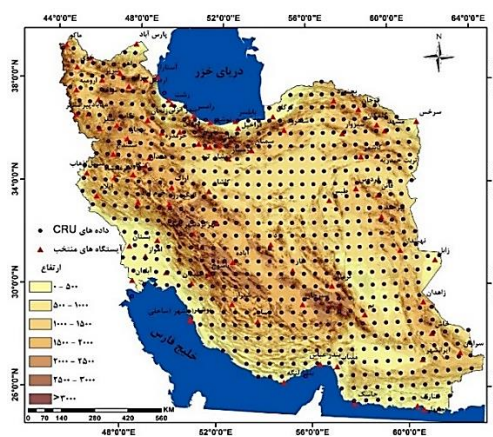
است و میانگین بلندی آن، بیش از ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است. اقلیم ایران بسیار متنوع است و از نیمه‌گرمسیری تا زیر شمالگانی را شامل می‌شود. بلندی، عرض جغرافیایی، تأثیرات دریایی، بادهای فصلی و نزدیکی به دامنه‌های کوهستانی یا بیابان‌ها، نقش مهمی در نوسانات دمای روزانه و فصلی در این کشور ایفا می‌کند ایران با مساحت بالغ بر ۱.۶ هزار کیلومترمربع با چندین کشور در جهات جغرافیای مختلف دارای مرز مشترک می‌باشد. مساحت زیاد و وجود ویژگی‌های طبیعی سبب تنوع ایران شده است. سلسله جبال سر به فلک کشیده البرز با ارتفاع بیش از ۵۷۰۰ متر درست در کنار جلگه ساحلی دریای خزر، جایی که از سطح دریاهاى آزاد پایین‌تر است، قرار دارد. شاید بتوان گفت که بهترین جلوه‌گاه این همه تنوع و گوناگونی، آب‌وهوای کشور ایران است. هیچ‌کدام از ویژگی‌های جغرافیایی به‌اندازه پراکندگی مکانی و زمانی عناصر آب و هوایی، تنوع نشان نمی‌دهند (علیچانی، ۱۳۸۵).

تعریف خشکسالی در مناطق مرطوب تشخیص داده شد. از آنجاکه مطالعه علمی خشکسالی زمینه‌ای برای کاهش اثرات این پدیده اقلیمی ایجاد می‌کند، بررسی خشکسالی در ایران به‌خصوص بر اساس شاخص‌های چند متغیره که علاوه بر بارش از دیگر پارامترهای اقلیمی برای برآورد خشکسالی استفاده می‌کند بسیار ضروری و حائز اهمیت است. علاوه بر این انجام این مطالعه بر اساس داده‌های شبکه‌ای برخوردار از تفکیک مکانی و زمانی بالا نظیر GPCP, CRU, TRMM با توجه به تغییرات اقلیمی دهه‌های اخیر و افزایش نیاز آبی در بخش‌های مختلف کشور و مقایسه آن با نتایج حاصل از داده‌های ایستگاهی اهمیت و ضرورتی دو چندان دارد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و محدوده مطالعه پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دربرگیرنده کل کشور ایران است. سرزمین ایران به شکل کلی، کوهستانی و نیمه‌خشک



شکل ۱- موقعیت جغرافیای ایستگاه‌های منتخب و پراکندگی

بخش کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی خواهند گذاشت (فرج‌زاده، ۱۳۸۴). شاخص استاندارد بارش تبخیر و تعرق SPEI اولین بار توسط ویسنته سرانو (۲۰۱۰) بعنوان یک شاخص خشکسالی که بویژه برای مطالعات اثر گرمایش جهانی بر شدت خشکسالی متناسب بود، مطرح شد. همانند SPEI, PDSI نیز اثر تبخیر و تعرق مرجع را بر شدت خشکسالی در نظر می‌گیرد، اما ماهیت چند عددی SPEI

روش کار

شاخص SPEI خشکسالی بیلان آبی را با در نظر گرفتن دما و تبخیر و تعرق برآورد می‌نماید (مصطفی زاده و ذیحجی، ۱۳۹۵). با توجه به وجود نوسانات شدید در بارش‌های منطقه و کشور، خشکسالی‌ها از جمله بلاهای طبیعی هستند که در شرایط نوسان منفی یا به عبارتی کاهش بارشهای جوی نسبت به میانگین درازمدت رخ می‌دهند و اثرات زیانباری بر

می‌شود. متغیرهای ثانویه (فراوانی روزهای یخبندان، تبخیر و تعرق بالقوه) نیز از شش متغیر اولیه با استفاده از فرمول‌های شناخته‌شده نظیر پنمن- ماتیس برآورد می‌شود (میری، ۱۳۹۵). در این پژوهش از داده‌های بارش، دما و تبخیر و تعرق برای دوره ۲۰۱۵-۱۹۶۶ استفاده می‌شود.

این تحقیق، از نظر هدف، یک تحقیق کاربردی به شمار می‌رود. از نظر ماهیت داده‌ها، این پژوهش یک تحقیق کمی است که از طریق گردآوری داده‌ها و تحلیل آن‌ها با روش‌های کمی اقدام به ارائه نتایج می‌نماید. برای رسیدن به هدف پژوهش حاضر از داده‌های شبکه‌ای به همراه روش‌های آماری استفاده شده است. در ابتدا داده‌های شبکه‌بندی موسسه CRU با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه جغرافیایی از سایت نوا دریافت و با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین نرم‌افزار متلب طی دوره مورد مطالعه برای کشور ایران استخراج گردید. بدین ترتیب که ابتدا داده‌های دریافتی CRU به نرم‌افزار متلب انتقال و محدوده مربوطه به ایران از کل جهان جدا شد. در ادامه با استفاده از شاخص برنامه‌نویسی در محیط متلب، شاخص SPEI به‌عنوان شاخص جدید که علاوه بر بارش اثرات دما و تبخیر و تعرق را در برآورد خشکسالی در نظر می‌گیرد، دوره‌های خشکسالی و ترسالی در مقیاس‌های زمانی فصل محاسبه و خصوصیات خشکسالی در نواحی مختلف کشور استخراج شد. در نهایت نتایج حاصل از محاسبه خشکسالی با استفاده از محیط‌های نرم‌افزاری GIS و آفیس به‌صورت نقشه، نمودار و جدول نشان داده شد. روش محاسبه شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) همانند شاخص بارش استاندارد (SPI) است اما در این شاخص بجای بارش، مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (pet) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر در واقع معرف تعادل اقلیمی بیلان آبی است که در شاخص SPEI مدنظر قرار گرفته است (Vicente-Serrano et al. 2010:1699). برای برآورد تبخیر و تعرق در این شاخص از رابطه تجربی تورنت وایت استفاده شده است. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه i به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$Di = Pi - PETi$$

(۱)

شناسایی انواع خشکسالی متفاوت و اثراتش را بر سیستم‌های گوناگون قادر می‌سازد (ویسته سرانو-۲۰۱۲-۲۰۱۳). بنابراین روش SPEI حساسیت روش PDSI را در اندازه گیری نیاز تبخیری جو دارد که به سادگی محاسبه می‌شود و همینطور یک مدل چند عددی (مولتی اسکالر) مانند روش شاخص استاندارد بارش (SPI) می‌باشد. ویسته سرانو و همکاران (۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳) و بیجارا (۲۰۱۴) توضیحات کاملی از تئوری پشت SPEI و جزئیات محاسباتی اش و مقایسه با دیگر شاخص‌های مرسوم خشکسالی از جمله PDSI و SPI ارائه نمودند. روش محاسباتی SPEI شبیه SPI است. بعلاوه SPEI بعنوان ورودی اختلاف بین بارش و تبخیر و تعرق مرجع (P-ETo) را بیشتر از بارش (p) استفاده می‌کند. بیلان آب اقلیمی، آب قابل دسترس (P) را با نیاز تبخیری جو (ETo) مقایسه می‌کند و در نتیجه نسبت به اینکه فقط بارش را در نظر بگیرد، یک شاخص واقعی‌تری از شدت خشکسالی ارائه می‌کند. ETO میزان تبخیر و تعرق از یک سطح مرجع است.

داده‌های مورد استفاده

منابع و اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش مشتمل بر اسناد و مدارک نوشتاری، داده‌های آماری (آمار کمی ایستگاه‌های هواشناسی) و داده‌های شبکه‌ای می‌باشند که در این قسمت به‌طور خلاصه به تشریح آن‌ها پرداخته می‌شود: داده‌های بارش شبکه‌ای CRU، داده‌های تبخیر و تعرق شبکه‌ای CRU، داده‌های CRU واحد تحقیقات اقلیمی (CRU) وابسته به دانشگاه شرق آنجلیا یکی از مؤسسات پیشرو در زمینه مطالعه تغییرات طبیعی و انسانی اقلیم می‌باشد که به تهیه و انتشار تعدادی از مجموعه داده‌های اقلیمی با رزولوشن‌های مختلف می‌پردازد. CRU_TS مجموعه داده‌های سری زمانی این مؤسسه با قدرت تفکیک مکانی 0.5 درجه است، که نسخه ۳ آن دوره زمانی ۱۹۰۱ الی ۲۰۱۵ و تمام خشکی‌های سطح زمین (به جز قطب جنوب) را پوشش می‌دهد. این مجموعه داده شامل شش متغیر اقلیمی مستقل (دمای متوسط، دامنه دمای روزانه، بارش، تعداد روزهای بارانی، فشار بخار آب و پوشش ابر) می‌باشد. دمای حداکثر و حداقل نیز از این متغیرها حساب

معیار ۱ تبدیل می‌شوند که برابر مقادیر شاخص SPEI می‌باشند.

تابع کلاسیک Abramowitz & Stegun با استفاده از مقادیر تابع $f(x)$ تخمینی برای مقدار شاخص SPEI می‌باشد.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (۹)$$

که مقدار W از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (۱۰)$$

که در آن P مقدار احتمال تجاوز از مقدار D تعیین شده می‌باشد، $P = 1 - f(x)$. اگر مقدار P بزرگتر از ۰.۵ باشد، آنگاه مقدار P با $1 - P$ جایگزین و علامت نتایج SPEI عوض می‌شود. مقدار ضرایب ثابت در رابطه فوق برابرند با (Vicente-Serrano et al. 2010:1704-5):

$$\begin{aligned} C_0 &= 2.5155517 & C_1 &= 0.802853 \\ C_2 &= 0.010328 & d_1 &= 1.432788 \\ d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

یافته‌های تحقیق

خوشه‌بندی خشکسالی در کشور

برای پایش خشکسالی کشور از داده‌های شبکه‌ای واحد تحقیقات اقلیمی (CRU) وابسته به دانشگاه شرق آنجلیا با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه استفاده و شاخص خشکسالی SPEI استفاده شده است. از آنجاکه تعداد نقاط شبکه داده‌های CRU در کشور به ۶۲۱ نقطه می‌رسد و تحلیل خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) برای این همه داده سردرگمی‌هایی را ایجاد می‌کند، از این رو اقدام به طبقه‌بندی نقاط مختلف شبکه بر اساس مقیاس ۱۲ ماهه شاخص SPEI شد تا از این طریق بتوان نقاطی را که دارای ویژگی‌های مشترک خشکسالی هستند را با یکدیگر ادغام کرد و به‌طور علمی به خلاصه‌سازی حجم عظیم داده‌ها پرداخت. علت استفاده از مقیاس ۱۲ ماهه برای خوشه‌بندی خشکسالی این است که وضعیت خشکسالی ماهانه و فصلی نیز تا حد زیادی در این مقیاس زمانی پوشش داده می‌شود. برای طبقه‌بندی خشکسالی نیز از روش تحلیل خوشه‌ای سلسه‌مراتبی با روش ادغام وارد استفاده شده است. بر این اساس کل کشور به ۷ خوشه تقسیم گردید که نمودار درختی آن در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس این شکل، درخت

در این رابطه P مقدار بارش ماهانه (میلی‌متر) برای ماه i ام، PET مقدار تبخیر (میلی‌متر) برای ماه i ام است که از رابطه تورنت وایت به دست می‌آید (Vicente-Serrano et al., 2010(b):1034). مقدار تبخیر و تعرق با روش تجربی تورنت وایت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$PET = 16 K \left(\frac{10T}{I}\right) m \quad (۲)$$

$$m = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-5}) I^2 (1.79 \times 10^2) I + 0.492 \quad (۳)$$

$$I = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (۴)$$

$$K = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDM}{30}\right) \quad (۵)$$

که در این روابط، T میانگین دمای ماهانه به سلسیوس، m ضریب وابستگی به I ، I شاخص گرما یا مجموع شاخص ۱۲ ماهه i ، K ضریب اصلاحی برحسب ماه و عرض جغرافیایی، NDM تعداد روزهای یک ماه و N بیشینه ساعت تابش است (Vicente-Serrano et al. 2010:1701).

مقادیر D در شاخص SPEI، در مقیاس‌های زمانی مختلف با همان شیوه‌ای که در شاخص SPI انجام می‌شود از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{k-1} p_{n-1} - PET_{n-i} \quad (۶)$$

که k (ماه‌ها) مقیاس زمانی موردنظر و n ماه موردنظر در محاسبه می‌باشد (Vicente-Serrano et al., 2010(b):1034).

محاسبه این شاخص همانند روش ارائه‌شده برای شاخص SPI نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر D_i از طریق برازش یک تابع چگالی احتمال می‌باشد. ویستسترانو و همکاران با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر D_i تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه زیر است:

$$F(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (۷)$$

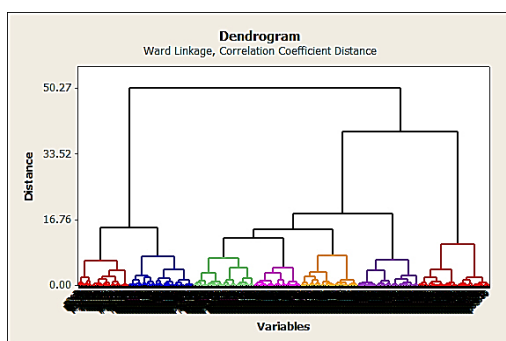
که در آن پارامترهای α ، β ، γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر D_i در دامنه $D > \gamma > \infty$ می‌باشند. فرم تابع احتمال تجمعی لوگ-لوجستیک سه پارامتری نیز مطابق رابطه زیر است:

$$f(x) = \left(1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right)^{-1} \quad (۸)$$

در گام نهایی مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر D_i به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف

آذربایجان غربی و شرقی، اردبیل، زنجان، کردستان، کرمانشاه و شمال ایلام در این گروه قرار گرفته‌اند. زاگرس میانی و جنوب غرب ایران، خوشه دوم خشکسالی کشور را تشکیل می‌دهند. در این خوشه استان‌هایی نظیر خوزستان، بوشهر، غرب فارس، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری، غرب اصفهان و استان مرکزی قرار دارند.

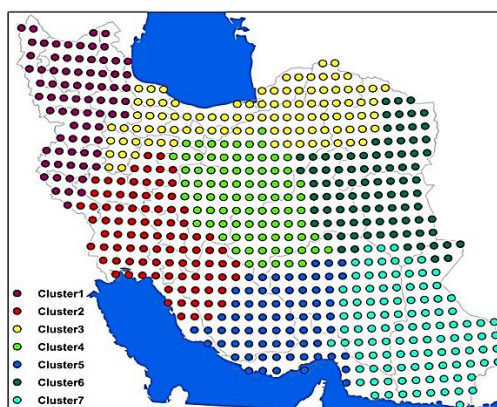
خوشه‌بندی خشکسالی کشور دارای دو شاخه اصلی است که یکی دو زیر شاخه و دیگری دارای ۵ زیر شاخه می‌باشد. به‌منظور شناسایی توزیع فضایی طبقات مختلف خشکسالی در کشور، متغیرهای هر خوشه در نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی گردید و خروجی آن در شکل (۲) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که شمال غرب و زاگرس شمالی با یکدیگر خوشه اول خشکسالی کشور را تشکیل می‌دهند. استان‌های



شکل ۲- نمودار درختی خوشه‌های خشکسالی (شاخص SPEI) کشور طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵ با روش وارد

مرکزی جنوب ایران یعنی غرب هرمزگان، شرق بوشهر، جنوب شرق فارس و غرب کرمان پنجمین خوشه خشکسالی کشور را تشکیل می‌دهند که دارای ویژگی‌های مشترک از نظر شاخص SPEI هستند. ناحیه ششم خشکسالی را می‌توان منطقه شرقی نامید. چراکه با توجه به شکل (۳) استان‌های خراسان جنوبی، غرب یزد، جنوب و شرق خراسان رضوی در این خوشه قرار گرفته‌اند.

خوشه سوم را می‌توان ناحیه خزری و شمال خراسان نامید؛ زیرا استان‌های گیلان، مازندران، گرگان، خراسان شمالی، غرب خراسان رضوی و شمال غرب سمنان به همراه قزوین، البرز و شمال تهران در این گروه قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر ویژگی‌های خشکسالی حاصل از شاخص SPEI در این مناطق مشابه هم می‌باشند. مناطق مرکزی کشور در طبقه چهارم قرار گرفته‌اند. این طبقه شامل استان‌های قم، شرق سمنان، بخش اعظم اصفهان و شرق یزد می‌شود. نواحی



شکل ۳- توزیع فضایی خوشه‌های خشکسالی کشور بر اساس شاخص SPEI ۱۲ ماهه با روش خوشه‌بندی وارد طی دوره (۱۹۶۶-۲۰۱۵)

این ماه مشابه یکدیگر است و سال‌های نمرات بیشتر و یا کمتر از نرمال تا حد زیادی با هم هماهنگ می‌باشند. هرچند سال‌های بیشینه و کمینه نمرات شاخص SPEI در خوشه‌ها یکسان نمی‌باشد با این‌حال شدیدتر خشکسالی فراگیر در کشور متعلق به ژانویه سال ۱۹۸۷ و شدیدترین ترسالی متعلق به ژانویه ۱۹۶۹ است. در سال ۱۹۸۷ در خوشه‌های ۳ تا ۷ بالاترین مقدار منفی شاخص SPEI ثبت شده است. همچنین در سال ۱۹۶۹ شدیدترین ترسالی مربوط به خوشه‌های ۲ و ۴ می‌باشد.

اطلاعات دقیق‌تر خشکسالی و ترسالی در این ماه در جدول ۱ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که بر اساس اطلاعات درج‌شده در این جدول در خوشه اول کمترین مقدار نوسان بارش در ژانویه به چشم می‌خورد. چراکه در ۲۲ سال مقدار بارندگی در حد نرمال است. ۱۹ دوره خشک و ۹ دوره مرطوب نیز در این خوشه به چشم می‌خورد؛ بنابراین تعداد دوره‌های خشک در شمال غرب طی این ماه به مراتب بیشتر از دوره‌های مرطوب است. در خوشه ۴ نیز در بیشتر سال‌ها (۱۹ دوره) بارش این ماه در حد نرمال است و نوسان زیادی نسبت به میانگین بلندمدت ندارد اما تعداد دوره‌های مرطوب و خشک در این خوشه به هم نزدیک و به ترتیب دارای ۱۵ و ۱۶ دوره است.

بیشترین فراوانی دوره خشکسالی در این ماه متعلق به خوشه ۷ یا همان جنوب شرق کشور است زیرا در این خوشه ۲۱ دوره خشکسالی، ۱۵ دوره نرمال و ۱۴ دوره مرطوب به ثبت رسیده است. خشکسالی‌های رخ داده در این منطقه از کشور عمدتاً از نوع متوسط و شدید می‌باشند. به‌طورکلی در هیچ‌یک از خوشه‌های کشور شدت خشکسالی به خیلی شدید نرسیده است و درصد زیادی از خشکسالی‌ها از نوع ملایم و متوسط هستند. بیشترین خشکسالی ملایم در خوشه سوم و بیشترین خشکسالی متوسط در خوشه چهارم حادث شده است؛ اما خشکسالی‌های شدید در مناطق خشک کشور یعنی در خوشه‌های پنجم تا هفتم بیشتر اتفاق افتاده‌اند. بیشتر فراوانی دوره‌های ترسالی متعلق به ترسالی‌های ملایم و متوسط است. با این‌حال در خوشه‌های ۲، ۴، ۵ و ۷ چند دوره ترسالی بسیار شدید مشاهده می‌شود. خوشه‌های ۶ و ۵ نیز به ترتیب با ۱۹ و ۱۸ دوره دارای بیشترین فراوانی دوره مرطوب در ماه ژانویه می‌باشند.

آخرین و هفتمین خوشه خشکسالی کشور، جنوب شرق ایران را شامل می‌شود. به‌طوری‌که استان سیستان و بلوچستان، شرق کرمان و شرق هرمزگان از مناطق تحت سیطره این خوشه محسوب می‌شوند؛ بنابراین و با توجه به شکل فوق می‌توان خوشه‌های خشکسالی کشور را به ترتیب ۱- خوشه آذربایجان- زاگرس شمالی ۲- خوشه جنوب غرب- غرب مرکزی ۳- خوشه خزری- شمال خراسان ۴- خوشه ایران مرکزی ۵- خوشه جنوب میانه ۶- خوشه شرقی و ۷- خوشه جنوب شرقی نامید.

بررسی خشکسالی

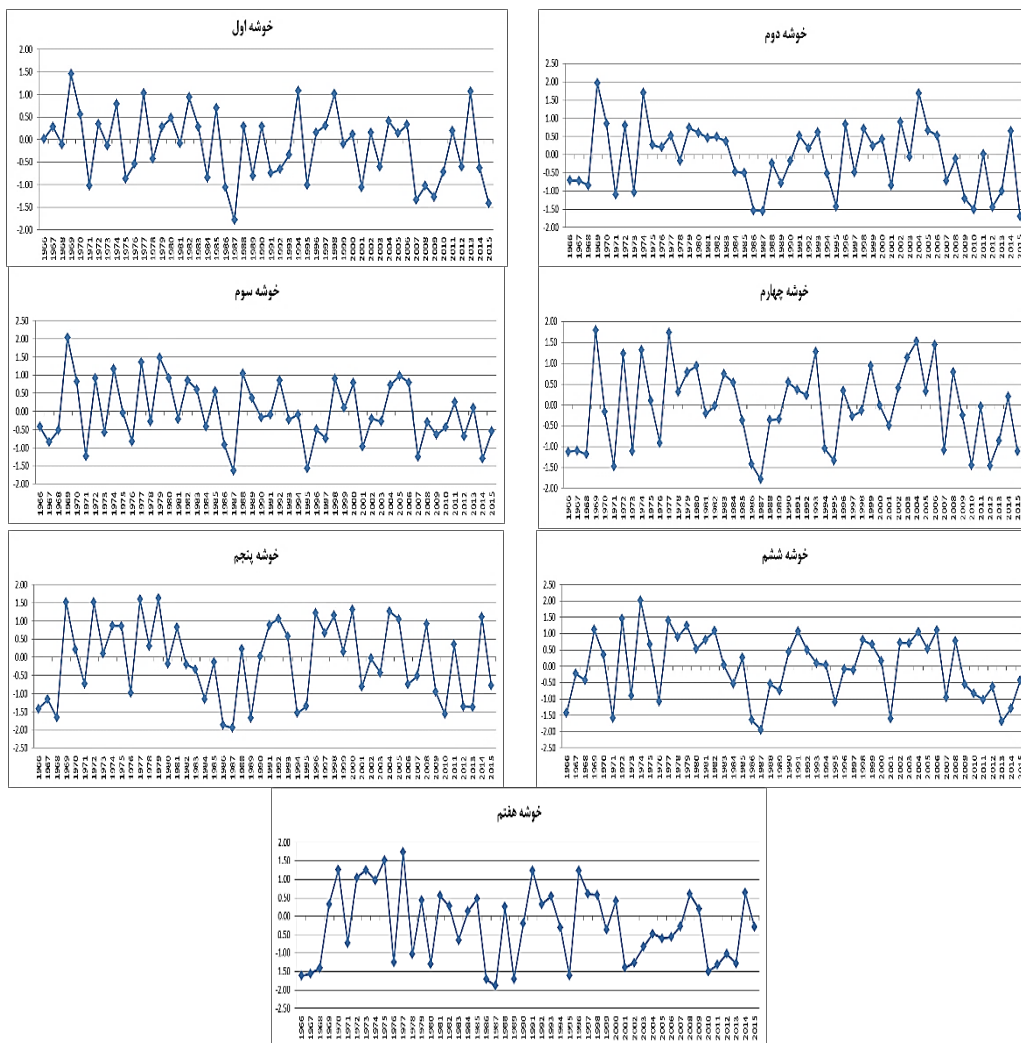
رخداد خشکسالی همواره با ویژگی‌های خاصی همراه است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها فراوانی و شدت خشکسالی است. از این رو هر مطالعه‌ای مستلزم مشخص کردن کم و کیف عوامل مذکور است تا بدین‌وسیله استعداد منطقه در رابطه با رخداد خشکسالی مشخص شود. از آنجایی که ارزیابی خشکسالی و شناخت ویژگی‌های آن همگی به مقیاس زمانی وابسته است، از این رو تعریف و مطالعه آن بر اساس شاخص بارش و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) اهمیت می‌یابد. در این فصل سعی شده با محاسبه شاخص مذکور برای مقیاس‌های زمانی مختلف وضعیت خشکسالی کشور ایران طی دوره پنجاه ساله ۱۹۶۶-۲۰۱۵ بر اساس داده‌های شبکه‌ای CRU مورد مطالعه قرار گیرد. روش انجام کار به‌طور کامل در فصل سوم تحقیق ارائه شده است و از تکرار آن خودداری می‌شود.

بررسی ماهانه- دوره سرد

برای ارزیابی ماهانه خشکسالی، شاخص منتخب خشکسالی بر روی ارقام بارش ۵۰ ساله ۶۲۱ نقطه از پایگاه داده CRU در سطح کشور برازش و با در نظر گرفتن مقدار (۰/۵- و ۰/۵+) به‌عنوان وضعیت نرمال، شرایط ماهانه ژانویه تا مارس بررسی گردید. در ادامه وضعیت خشکسالی هر یک از ماه‌های سرد سال تشریح می‌شود.

ماه ژانویه

شکل (۳) میانگین نمرات استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق ژانویه در خوشه‌های مختلف کشور را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در اکثر خوشه‌های کشور نوسان بارش در



شکل ۴- مقادیر شاخص SPEI ماه ژانویه در خوشه‌های هفت گانه کشور (۱۹۶۶-۲۰۱۵)

جدول ۱- فراوانی طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی در ماه ژانویه طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵

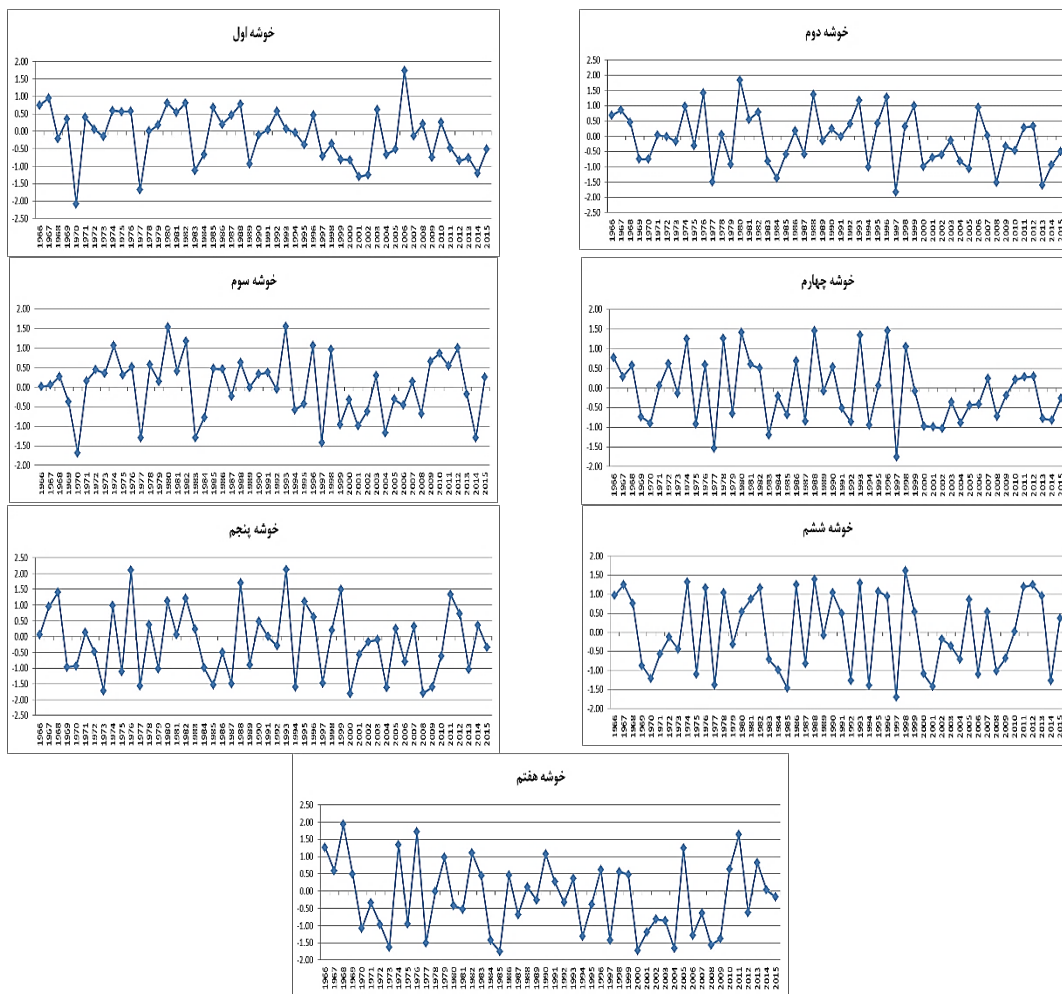
خوشه	خشکسالی ملایم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	نرمال	ترسالی ملایم	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی بسیار شدید
۱	۱۰	۸	۱	۰	۲۲	۴	۵	۰	۰
۲	۸	۶	۴	۰	۱۶	۱۳	۰	۳	۰
۳	۱۱	۳	۲	۰	۱۷	۱۲	۴	۰	۱
۴	۳	۱۲	۱	۰	۱۹	۷	۵	۳	۰
۵	۷	۶	۶	۰	۱۳	۷	۷	۴	۰
۶	۸	۵	۵	۰	۱۳	۱۰	۸	۱	۰
۷	۵	۹	۷	۰	۱۵	۷	۵	۲	۰

ماه فوریه

بر اساس نمودار SPEI ماه فوریه (شکل ۴) مشخص است که نوسان بارش این ماه در سطح کشور قابل توجه است و نمرات شاخص منتخب طی دوره مطالعاتی به دفعات بین حالت‌های خشکسالی، ترسالی و نرمال جایجا شده‌اند. به طوری که در هر یک از خوشه‌ها تداوم دوره‌های خشکسالی و ترسالی به ندرت از ۲ ماه تجاوز می‌کند. با این حال پرتداوم‌ترین دوره خشکسالی در این ماه مربوط به اوایل تا اواسط دهه ۲۰۰۰ می‌باشد که در همه خوشه‌ها ۳ تا ۵ سال متوالی خشکسالی‌های ملایم تا متوسط حاکم بوده است. این شرایط برای خوشه ۷ یعنی مناطق جنوب شرق حادتر است، چراکه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ تنها با وقفه یک‌ساله (سال ۲۰۰۵) طولانی‌ترین دوره خشکسالی مشاهده می‌شود. هرچند سال‌های کمینه نمرات شاخص SPEI در خوشه‌ها یکسان نمی‌باشد باین‌حال فراگیرترین خشکسالی در کشور متعلق به فوریه سال ۱۹۹۷ و ۱۹۷۷ است. در این دو سال در همه خوشه‌ها مقادیر شاخص SPEI منفی است و در کل کشور خشکسالی با شدت متوسط حاکمیت دارد. فراگیرترین دوره ترسالی نیز متعلق به فوریه ۱۹۷۴ و ۱۹۷۶ است که همه خوشه‌های کشور در وضعیت ترسالی ملایم تا متوسط قرار دارند. شدیدترین خشکسالی این ماه طی دوره مطالعاتی با نمره ۲.۱ منفی مربوط به سال ۱۹۷۰ در شمال غرب کشور و شدیدترین ترسالی با نمره ۲.۱۳ در سال ۱۹۹۳ متعلق به شمال کشور است. اطلاعات دقیق‌تر خشکسالی و ترسالی در این ماه در جدول (۲) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود در خوشه اول تا سوم و به‌ویژه در خوشه سوم یعنی در ناحیه خزری و شمال شرق نوسان بارندگی در این ماه کمتر از سایر نواحی کشور است. بطوریکه بیشترین فراوانی دوره‌های نرمال مربوط به این سه خوشه می‌باشد و خوشه سوم با ۲۵ مورد از بیشترین فراوانی برخوردار است. همچنین این خوشه از کمترین فراوانی دوره خشکسالی (۱۲ مورد) و خوشه پنجم (جنوب کشور) و هفتم (جنوب شرق) با ۲۰ و ۲۱ مورد از بیشترین فراوانی دوره خشکسالی برخوردار هستند. هرچند در مجموع بیشترین فراوانی دوره‌های خشک در خوشه‌های مختلف متعلق به طبقه خشکسالی ملایم است و

خشکسالی بسیار شدید تنها یکبار و آن‌هم در خوشه اول مشاهده می‌شود اما در جنوب و جنوب شرق ایران شدت خشکسالی قابل توجه است و به ترتیب ۸ و ۶ دوره خشکسالی شدید در این مناطق مشاهده می‌گردد. در شرق کشور نیز بیشتر خشکسالی‌ها از نوع متوسط است درحالی‌که در مناطق مرکزی و غربی ایران خشکسالی‌های ملایم به دفعات به وقوع پیوسته است.

به جز خوشه ششم یعنی مناطق شرقی ایران که در فوریه از فراوانی بسیار بالای دوره‌های مرطوب برخوردار است (۲۲ مورد) در سایر خوشه‌ها فراوانی دوره‌های مرطوب به یکدیگر نزدیک و از ۱۲ مورد در غرب تا ۱۵ دوره در مرکز کشور در نوسان است. البته شدت دوره‌های مرطوب ناچیز و عمدتاً در طبقه ترسالی ملایم قرار گرفته‌اند و فقط در شرق کشور است که ترسالی متوسط از رخداد قابل توجهی برخوردار است. با توجه به ماهیت بارشی مناطق جنوب کشور و ریزش رگباری بارش در این مناطق شدیدترین دوره‌های ترسالی البته با فراوانی ناچیز در جنوب و جنوب شرق کشور به وقوع پیوسته است. در مجموع بارش فوریه به ترتیب در شمال، شمال غرب و غرب کشور که در زمستان بیشترین مقدار بارش در کشور را دریافت می‌کنند از ثبات بیشتری برخوردار است و ترسالی و خشکسالی کمتری نسبت به شرایط نرمال دارا هستند. در عوض در مناطق مرکزی و به‌ویژه جنوبی کشور بارش فوریه در بیشتر سال‌ها کمتر از حد نرمال است و فراوانی دوره‌های خشک در خوشه‌های هفتم و پنجم بیشتر از سایر مناطق است.



شکل ۵- مقادیر شاخص SPEI ماه فوریه در خوشه‌های هفتگانه کشور (۱۹۶۶-۲۰۱۵)

جدول ۲- فراوانی طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی در ماه فوریه طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵

خوشه	خشکسالی ملایم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	بسیار شدید	نرمال	ترسالی ملایم	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی بسیار شدید
۱	۱۱	۴	۱	۱	۲۰	۱۲	۰	۱	۰
۲	۱۲	۴	۳	۰	۱۹	۷	۴	۱	۰
۳	۶	۵	۱	۰	۲۵	۷	۴	۲	۰
۴	۱۵	۲	۲	۰	۱۶	۸	۷	۰	۰
۵	۷	۵	۸	۰	۱۷	۴	۶	۱	۲
۶	۷	۱۱	۱	۰	۹	۹	۱۲	۱	۰
۷	۸	۷	۶	۰	۱۵	۶	۵	۳	۰

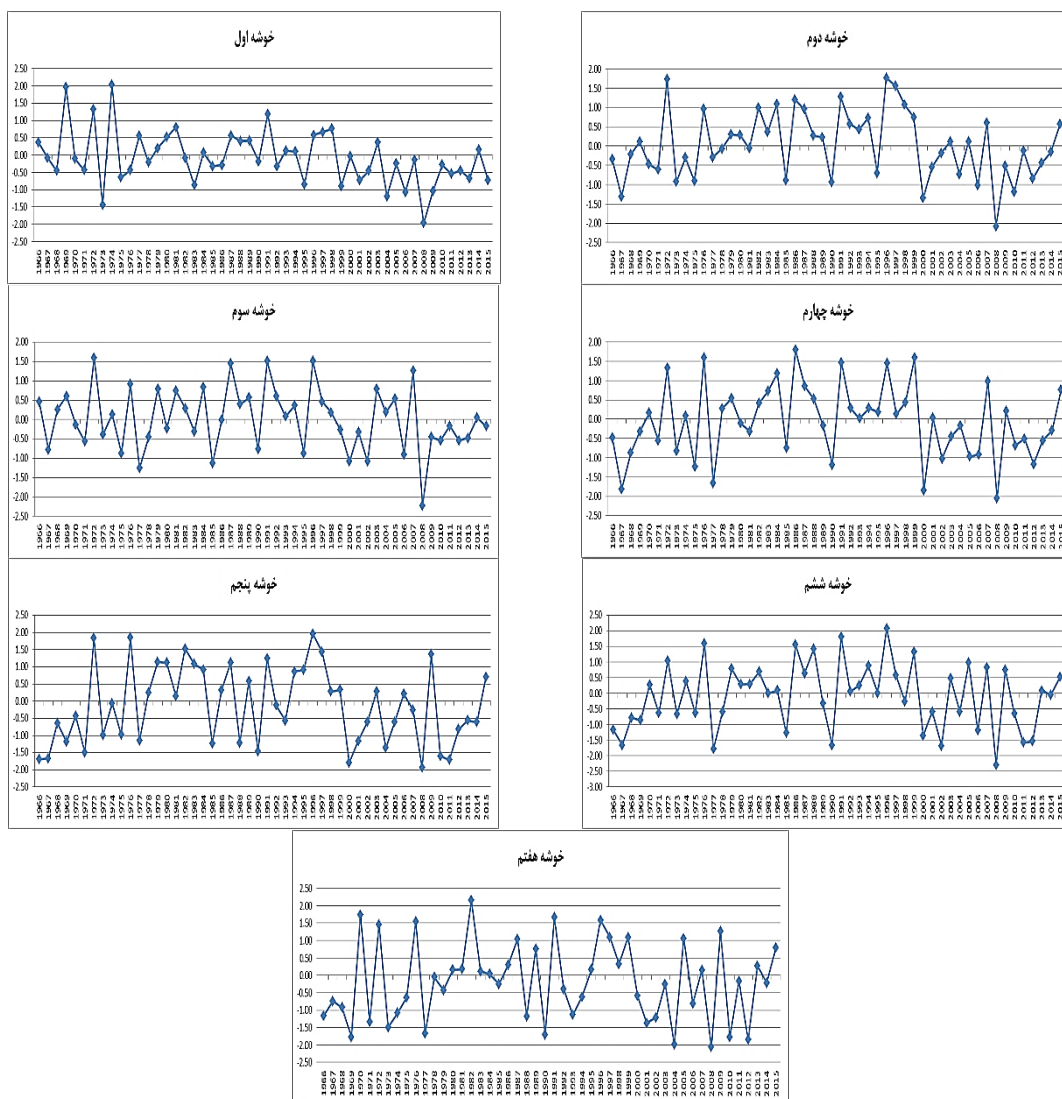
نیمه جنوبی کشور شدیدتر از نیمه شمالی است و نمرات شاخص منتخب در جنوب کشور دفعات بیشتری بین حالت‌های خشکسالی، ترسالی و نرمال جایجا شده است. البته دوره‌های فراگیر ترسالی و خشکسالی هرچند با

ماه مارس

شکل (۵) میانگین نمرات شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق ماه مارس در خوشه‌های هفتگانه کشور را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که نوسان بارش این ماه در

است. مهم‌ترین دوره‌های ترسالی فراگیر متعلق به مارس سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۷۶، ۱۹۹۱ و بخصوص سال ۱۹۹۶ است. ترسالی این سال‌ها در بیشتر مناطق کشور در گروه متوسط و شدید قرار دارد. از نظر تداوم، مدت رخداد خشکسالی و ترسالی در خوشه‌های مختلف کشور متفاوت است اما تداوم خشکسالی در خوشه جنوب، جنوب شرق و شرق کشور طولانی‌تر از سایر مناطق و تداوم ترسالی‌ها در مرکز و به‌ویژه غرب کشور بیشتر از سایر مناطق است. بیشینه تداوم خشکسالی ۵ دوره پیاپی (در خوشه ۵ از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴) و بیشینه تداوم ترسالی ۴ دوره پیاپی (در خوشه ۲ از سال ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۹) است.

شدت‌های متفاوت نیز در سال‌های متعددی به چشم می‌خورد. به‌طور کلی در رخداد‌های فراگیر خوشه اول (شمال غرب) هماهنگی کمتری با سایر مناطق کشور دارد. خوشه‌های ۵ تا ۷ که شامل جنوب، شرق و جنوب شرق کشور می‌باشند در بیشتر سال‌ها هماهنگی بالایی با یکدیگر دارند و نمودار نمرات SPEI آن‌ها (شکل ۵) به نسبت سایر مناطق شباهت بیشتری با هم دارند. ملاحظه می‌شود که چند دوره خشکسالی فراگیر با شدت قابل‌توجه در سال‌های ۱۹۶۷، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۲ و به‌ویژه ۲۰۰۸ قابل تشخیص است. خشکسالی سال ۲۰۰۸ از نظر شدت در طبقه‌های شدید و بسیار شدید قرار دارد و در همه خوشه‌های کشور پایین‌ترین نمرات شاخص SPEI در این سال به ثبت رسیده



شکل ۶- مقادیر شاخص SPEI ماه مارس در خوشه‌های هفتگانه کشور (۱۹۶۷-۲۰۱۵)

خشکسالی خیلی شدید (کمتر از ۲-) را تجربه کرده‌اند. خشکسالی‌های خوشه ۱ تا ۴ بیشتر از نوع ملایم می‌باشند و بندرت خشکسالی شدید را تجربه کرده‌اند. با توجه به نوسان بالای بارش در نواحی جنوبی کشور، خوشه‌های ۵ و ۶ علاوه بر بیشترین خشکسالی از بیشترین فراوانی دوره‌های مرطوب (با ۱۶ دوره) نیز برخوردار هستند. پس‌از آن غرب و مناطق شمالی با ۱۵ و ۱۴ دوره مرطوب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در اکثر خوشه‌ها بیشترین درصد دوره‌های مرطوب متعلق به ترسالی‌های ملایم است و فقط در خوشه‌های ۵ (جنوب) و ۷ (جنوب شرق) بیشتر ترسالی‌ها در گروه متوسط قرار دارند. همچون خشکسالی‌ها، دوره‌های مرطوب بسیار شدید در ماه مارس بندرت و به‌طور استثنایی در مارس سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۹۶ به وقوع پیوسته‌اند.

در جدول ۳ فراوانی رخداد خشکسالی بر اساس شدت‌های مختلف ارائه شده است. ملاحظه می‌شود در خوشه اول تا چهارم و به‌ویژه در خوشه‌های اول یعنی شمال غرب کشور و خوشه سوم یعنی در ناحیه خزری و شمال شرق نوسان بارندگی در این ماه کمتر از سایر نواحی کشور است. بطوریکه فراوانی دوره‌های نرمال در خوشه اول ۲۶ مورد و در خوشه سوم ۲۳ مورد است. این دو خوشه نیز با ۱۳ مورد خشکسالی طی ۶۰ سال اخیر از کمترین فراوانی رخداد این پدیده در ماه مارس برخوردار هستند. در عوض در خوشه‌های ۵ تا ۷ و به‌ویژه خوشه ۵ بارش‌ها کمتر حالت نرمال داشته‌اند و بین ۲۰ تا ۲۳ سال از ۶۰ سال، بارش کمتر از نرمال بوده و سبب شکل‌گیری دوره خشک در این مناطق شده است. در مناطق پیش‌گفته بیشتر دوره‌های خشک از نظر شدت در طبقه ملایم تا شدید قرار دارند و به‌ندرت

جدول ۳- فراوانی طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی در ماه مارس طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵

خوشه	خشکسالی ملایم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	نرمال	ترسالی ملایم	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی بسیار شدید
۱	۸	۴	۱	۰	۲۶	۷	۲	۱	۱
۲	۱۰	۴	۰	۱	۲۰	۷	۵	۳	۰
۳	۸	۴	۰	۱	۲۳	۹	۲	۳	۰
۴	۹	۴	۳	۱	۲۰	۶	۴	۳	۰
۵	۹	۷	۷	۰	۱۱	۵	۷	۴	۰
۶	۹	۴	۶	۱	۱۴	۹	۳	۳	۱
۷	۶	۸	۶	۱	۱۶	۲	۶	۴	۱

نتیجه‌گیری

اقلیمی به شدت بر همه جوانب فعالیت‌های بشری تاثیر می‌گذارد. مطالعه ویژگی‌های خشکسالی و پیش‌بینی آن می‌تواند در کاهش خسارات حاصل از آن موثر باشد (سبحانی و گلدوست، ۱۳۹۴). اما همان‌طوری که می‌دانیم یکی از پدیده‌های مهم جوی و اقلیم‌شناسی، خشکسالی می‌باشد، که موجب شدت، تداوم و گسترش آنها بر فعالیت‌های انسانی، حمل و نقل، انرژی، مسایل زیست‌محیطی و فعالیت‌های جانداران تاثیر بسزایی دارد. نظر به اینکه بارندگی عمده منبع تامین آب شیرین برای کشاورزی، مصارف خانگی و صنعتی است و می‌تواند از اثرات خفیف برزندگی شخصی تا مصایب بزرگ در سطح ملی انجامد.

روند کلی بارندگی در زمستان رو به کاهش است. به‌طوری‌که در دهه ۹۰ غالب ناهنجاری‌های بارش این فصل در کشور

آب و هوا یکی از عوامل مهم طبیعی است که در تمام مراحل زندگی بخصوص در نحوه بهره‌برداری انسان تاثیر زیادی دارد. انتخاب نوع لباس، مسکن، نوع کشت، نوع معماری و عمران و انتخاب سکونتگاه‌ها متأثر از عوامل آب و هوایی است. می‌توان گفت شرایط اقلیمی سطح زمین و نهایتاً الگوهای گردش اتمسفر نقش مهمی در شکل‌دهی و سازمان‌دهی محیط زیست دارند (علیچانی، ۱۳۸۱). خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که در مقایسه با بلاهای طبیعی دیگر از نظر میزان، شدت، طول مدت واقعه، گسترش منطقه، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات بلند مدت از بلندترین درجات برخوردار است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴). خشکسالی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های

آوریل و به‌ویژه در دسامبر بسیار بیشتر از ترسالی‌های شدید می‌باشد. از نظر مکانی رخدادهای شدید و حتی گاهی خیلی شدید خشکسالی و ترسالی عمدتاً متعلق به مناطق خشک کشور و به‌ویژه دو خوشه ۵ و ۷ می‌باشند. از نظر روند زمانی، در بیشتر ماه‌های سال روند بارش در حال کاهش است و فراوانی خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر بیشتر از ترسالی‌ها است. در اکتبر و نوامبر البته روند بارش از شیب افزایشی ضعیف برخوردار است و دوره‌های مرطوب در سال‌های اخیر بیشتر مشاهده شده‌اند. لذا وقوع خشکسالی تأثیرات بسزایی در مسایل اقتصادی و اجتماعی و کشاورزی دارد. و این امر می‌تواند تا مطالعاتی در این زمینه انجام گیرد و با مدیریت صحیح و برنامه ریزی‌های دقیق از خطرات و زیان‌های احتمالی جلوگیری بعمل آید.

منابع

1. Alijani, Behloul.(2010). Weather in Iran, Tehran: Payame Noor Publications.
- 2- Alijani, Bohlol, Baegideh, Mohammad, (2011), Investigation of the possibility of using NDVI vegetation
- 3- Ahmed, K, Shahid,SH, Nawaz, N. (2018) Impacts of climate variability and change on seasonal drought characteristics of Pakistan, Atmospheric Research, 214: 364-374.
- 4- Alama,N.M,Sharma, G.C, Moreirab, E, Sharma, N.K, Mandal, D. (2017)Evaluation of drought using SPEI drought class transitions and log-linear models for different agro-ecological regions of India,Physics and Chemistry of the Earth, 100: 31-43.
5. Borna, Reza, Farideh Azimi and Nahid Saedi Dehki. Comparison of SIAP, PN and RIA indices in the study of droughts in Khuzestan province with emphasis on Abadan and Dezful stations, Quarterly Journal of Natural Geography, Third Year, No. 9, pp. 77-78
- 6- Baren, M. A.(1985),Hydrological aspects of droughts. UNESCO/WMO, London, (1982).
- 7- Byakatonda, J, Parida, B.P, Moalafhi, D.B, Kenabatho, P.K. (2018) Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices, Atmospheric Research, 213: 492-508.
- 8- Beran.M and J. A.Rodier (1985). Hydrological Aspects of Drought, Studies and Reports in Hydrology 39, Unesco-WMO, Paris.
- 9- Correia.F.N, M.A.Santos and R.R.Rodrigues (1991). Reliability in Regional Drought Studies, in Jacques Ganoulis (ed.), Water Resources Engineering Risk Assessment, NATO ASI Series, Vol. G29, Berlin, 43-62.

مثبت است؛ اما با شروع دهه ۲۰۰۰ فراوانی رخداد دوره‌های خشک افزایش یافته و این وضعیت تقریباً تا انتهای دوره مورد مطالعه ادامه یافته است. در مقیاس ماهانه با ثبات‌ترین مناطق بارشی کشور خوشه اول (شمال غرب) و سوم (شمال و شمال شرق) هستند؛ زیرا این خوشه‌ها در اکثر ماه‌ها دارای بیشترین فراوانی دوره‌های نرمال می‌باشند. در عوض خوشه‌های پنجم (جنوب) و هفتم (جنوب شرق) دارای بیشترین نوسان و کمترین فراوانی دوره نرمال هستند. برای بیشتر ماه‌های سال فراوانی دوره‌های خشک بیشتر از دوره‌های مرطوب است و فقط در دسامبر است که در چهار خوشه فراوانی دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. در نوامبر نیز در سه خوشه (دوم، سوم و ششم) فراوانی ترسالی‌ها بیشتر است. خوشه‌های پنجم و هفتم دارای بیشترین فراوانی خشکسالی‌های ماهانه و خوشه‌های دوم و ششم داری بیشترین فراوانی ترسالی‌های ماهانه هستند. تداوم دوره‌های خشک نیز در غالب ماه‌های سال بیشتر از دوره‌های مرطوب می‌باشد. شدیدترین تداوم خشکسالی از نظر زمانی در ماه‌های آوریل و می و به ترتیب در خوشه‌های هفتم و پنجم اتفاق افتاده است. در این دو ماه تداوم خشکسالی در دو خوشه مذکور بیش از ۱۰ سال طول کشیده است، این در حالی است که تداوم دوره‌های مرطوب در اکثر سال‌ها و خوشه‌های کشور ۲ دوره می‌باشد و بیشینه تداوم دوره مرطوب در بیشتر ماه‌های سال ۴ دوره است. در مناطق مرکزی (خوشه چهارم) و غربی (خوشه دوم) بیشترین تداوم دوره‌های مرطوب به چشم می‌خورد. هرچند در بعضی مواقع در خوشه خشک پنجم نیز شاهد دوره‌های مرطوب ۴ ساله هستیم. از نظر شدت، درصد قابل توجهی از خشکسالی‌ها و ترسالی‌های کشور در همه خوشه‌های از نوع ملایم و متوسط هستند و رخدادهای شدید از فراوانی کم و رخدادهای بسیار شدید نیز معمولاً اتفاقی حادث شده‌اند. در مجموع می‌توان گفت که شدت خشکسالی در کشور بیشتر از ترسالی بوده است، زیرا اکثر ترسالی‌ها از نوع ملایم هستند اما در برخی خشکسالی‌ها به‌ویژه در خوشه‌های پنجم تا هفتم فراوانی طبقه متوسط قابل توجه بوده و حتی در برخی ماه‌ها بیشتر از خشکسالی‌های ضعیف است. علاوه بر این خشکسالی‌های شدید نسبت به ترسالی‌های شدید فراوانی بیشتری دارد. فراوانی خشکسالی‌های شدید در ژانویه، فوریه

- the Masters of the Master of the University, Tehran University, Geography.
- 23- Rostami, Mahnaz Pahlavan Roy, Ahmad. Moghaddam Nia, Ahmad, 2015, Drought Prediction Using Artificial Neural Network Models and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Fars Province Basin, *Natural Environment Hazards*, Volume 4, Number 6, Page 32.
 - 24- . Sobhani, Behrooz. Gol Doost, Akbar, 2015. Drought monitoring and evaluation of its predictability in Ardabil province with SPI index and ANFIS model, *Geographical Research Quarterly*, No. 1, p.15.
 - 25- Subash.N, H. Ram Mohan, K. Banukumar (2011). Comparing Water-Vegetative Indices for Rice (*Oryza sativa* L.)–Wheat (*Triticum aestivum* L.) Drought Assessment, *Computers and Electronics in Agriculture* Tatli. H and M. Türkes (2011). Empirical Orthogonal Function Analysis of the Palmer Drought Indices, *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 981–991.
 - 26- Vicente-Serrano, S. M, Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I., Angulo, M., El Kenawy, A. (2010) Comparison with Current Drought Index Datasets Based on the Palmer Drought Severity Index, *J. Hydrometeorology*, 11: 1033-1043.
 - 27- Vicente-Serrano, S. M, .Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I. (2010a) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.
 - 28- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., Lopez-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Moran-Tejeda, E., Sanchez-Lorenzo, A. (2012) Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications, *Earth Interactions*, 16: 1-27.
 - 29- Willmott, C. J., (1984), on the evaluation of model performance in physical geography. In *Spatial Statistics and Models*, 443-460
 - 30- Yousefi, Massoud Ansari, Hussein, Masaedi, Abolfazl, Samadi, Zahra. Investigating the correlation between three drought indices and a number of climatic parameters in several climatic samples of Iran, *Iranian Water Resources Research*, No. 3, pp. 194-197
 - 31- Zambreski, T.Z., Lin, X., Kluitenberg, J.G., Pielke Sr, A.R. (2018) Identification of hydroclimate subregions for seasonal drought monitoring in the U.S. Great Plains, *Journal of Hydrology*, 567: 370.
 - 10- Farajzadeh, Manouchehr 2005. Drought from concept to solutions, Geographical Organization of the Armed Forces Publications.
 - 11- Hatefi, Adeleh, Masaedi, Abolfazl, Noghabi, Mehdi. The role of evapotranspiration in monitoring meteorological drought in several climatic regions of the country, *Soil Conservation Research*, No. 22, pp. 1-21.
 - 12- Khosh Akhlagh, Faramarz .1998. The study of the comprehensive droughts of Iran using the synoptic analysis, the Ethological Department of the Economic Sciences, the Faculty of Humanities, Tabriz University, Iran.
 - 13- Kogan, F.N (1997). Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 4 : 621-636.
 - 14- Li, J, R. Cook, F. Chen, X. Gou, R. Darrigo, Y. Yung (2010). An Extreme Drought Event in the Central Tien Shan Area in the year 1945. *Journal of Arid Environments*. 74: 1225-1231.
 - 15- Liu, X., Pan, Y., Zhu, X, Sun, ZH. (2018) Drought evolution and its impact on the crop yield in the North China Plain, *Journal of Hydrology*, 564: 984-99
 - 16- Mohammadi, Hussein. 2008. Atmospheric Hazards, First Edition, University of Tehran Press
 - 17- Miri, Morteza, (2016), Analysis of the Relationship between Climate Change and Zagros Forests Case Study: Ilam Region, PhD Thesis, Faculty of Geography, University of Tehran.
 - 18- Miri, Morteza, Rezini, Tayeb, Rahimi, Mojtaba, (2016), Statistical evaluation and comparison of TRMM and GPCC precipitation data with observational data in Iran, *Journal of Earth and Space Physics*, 42 (3), pp. 672-657.
 - 19- Miri, Morteza, Azizi, Qasim. , Khosh Akhlagh, Faramarz. , Rahimi, Mojtaba. , (2016), Statistical evaluation of precipitation and temperature network data with observational data in Iran, *Iranian Journal of Watershed Management Engineering*, 10 (35), pp. 50-39.
 - 20- Mostafazadeh, Raouf. Zabihi, Mohsen. 2016. Analysis and comparison of SPI and SPEI indices in the assessment of meteorological drought using R software (Case study: Kurdistan province). *Earth and Space Physics*, 42 (3), 633-643.
 - 21- Qavidel Rahimi, Yousef. 2005. Testing drought and wetland assessment models for stations in East Azerbaijan province. *Iranian Journal of Natural Resources*, Volume 58, Number 3, 517-530.
 - 22- Rahimi, Mojtaba. 2011. The statistical analysis of the southwest droughts of the United States,