

صص ۴۵-۶۲

پایش فصلی خشک‌سالی در کشور با استفاده از داده‌های شبکه‌ای CRU

آزاده اربابی سبزواری*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲

چکیده

خشک‌سالی از ویژگی‌های طبیعی و تکرارشونده آب‌وهوا است که در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد اما ساختار و اثرات مهم آن از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. هدف اصلی پژوهش حاضر نیز بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی کشور طی دوره طولانی‌مدت با استفاده از داده‌های شبکه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از شاخص چند متغیره SPEI انجام شد. نتایج محاسبه خشک‌سالی نشان داد از نظر زمانی طی دوره (۲۰۱۵-۱۹۶۶) به طور 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. در سال‌های انتهایی دوره مطالعاتی به‌جز فصل پاییز، شاهد تکرار بیشتر دوره‌های خشک هستیم و برخلاف اواخر دهه ۸۰، خشک‌سالی‌ها بیشتر اتفاق افتاده‌اند. از نظر مکانی طی دوره مورد مطالعه جنوب و جنوب شرق ایران با فراوانی و تداوم بالای خشک‌سالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و برخورداری از شدت‌های خشک‌سالی متوسط قابل توجه و تجربه برخورداری از خشک‌سالی‌های شدید است که جز بحرانی‌ترین نواحی کشور محسوب می‌شوند.

واژگان کلیدی: داده‌های شبکه‌ای، CRU، بارش، SPEI، خشک‌سالی.

مقدمه

خشک‌سالی از ویژگی‌های طبیعی و تکرارشونده آب‌وهوا است که در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد (بوردی و سانه را، ۲۰۰۷، ۳) اما ساختار و اثرات مهم آن از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. ساختار خشک‌سالی، شامل: شروع، پایان، فراوانی و شدت آن می‌باشد که به‌سختی قابل پیش‌بینی هستند. 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 خزنده 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، ۱۱۱). 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 (عزیزی و صفرزاد، ۱۳۸۹). خشک‌سالی‌ها اساساً در اثر کمبود بارندگی حاصل می‌شوند، اما وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی می‌تواند سبب تغییرات جدی در شدت، مدت و توزیع بارندگی شود. ایجاد چنین تغییراتی، خشک‌سالی‌های هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی را در پی خواهد داشت (چمن پیرا و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۱) که علاوه بر اثرات مستقیمی که بر روی کشاورزی و منابع آب دارد آثار ثانویه‌ای همچون، توفان‌های همراه با گردوغبار، آتش‌سوزی جنگل‌ها، بیماری‌های ناشی از حشرات، کاهش سطح بهداشت عمومی و غیره به همراه دارد که نهایتاً سبب بروز مشکلاتی برای موجودات زنده و انسان‌ها شده و اثرات منفی گسترده‌ای برای اجتماع می‌گذارد (رحیمی، ۱۳۹۰، ۴). 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). از این‌رو واضح است که نبود دسترسی به شبکه باران‌سنجی منظم زمینی، مانع رشد، توسعه و استفاده از مدل‌های اخطار سیل و خشک‌سالی، آب‌شناختی و سامانه نشان‌دهنده وضعیت اقلیمی حدی و تصمیم‌گیری شده است (کتیرایی بروجردی، ۱۳۹۲، ۱۵۱). امروزه با پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در زمینه فن‌آوری ماهواره‌ها، سنجش‌ازدور، رایانه و بانک اطلاعاتی، نسل جدیدی از داده‌های شبکه‌بندی شده هواشناسی پدید آمده است که برخی از مشکلات موجود در داده‌های مشاهده‌ای مانند عدم دسترسی آسان به داده‌ها، هزینه خرید داده‌ها، وجود داده‌های گم‌شده، پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها، متفاوت بودن طول دوره داده‌برداری در بین ایستگاه‌ها و نیز به هنگام نبودن داده‌ها را ندارند (میری و همکاران، ۱۳۹۵، ۶۵۸) و از مزایایی چون پوشش یکنواخت و پیوسته کره زمین با تفکیک مکانی بالا، در دسترس بودن رایگان داده‌ها و به هنگام بودن داده‌ها برخوردارند (ویسنی و همکاران، ۱۹۹۸). این داده‌ها طی سال‌های اخیر در بسیاری از مطالعات اقلیمی و هیدرولوژی در سطح جهان مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفته‌اند و تاکنون توسط پژوهشگران زیادی برای پایش خشک‌سالی استفاده شده‌اند. (Alam et al. 2017) به ارزیابی خشک‌سالی در نواحی مختلف کشاورزی هندوستان با استفاده از شاخص SPEI و مدل‌های لگاریتم خطی پرداخته و نشان دادند، برای ماه‌های اولیه به علت شدت خشک‌سالی، احتمال محاسبه شده مقدار کمتری را نشان می‌دهد و این احتمال برای ماه‌های بعدی کاهش می‌یابد. این شرایط نشان می‌دهد که نسبت وقوع فرکانس‌های مورد انتظار، در انتقال از طبقه خشک‌سالی به طبقه غیر خشک‌سالی نسبت به گذر به هر طبقه خشک‌سالی کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس مدل‌های خطی احتمال خشک‌سالی در تمامی

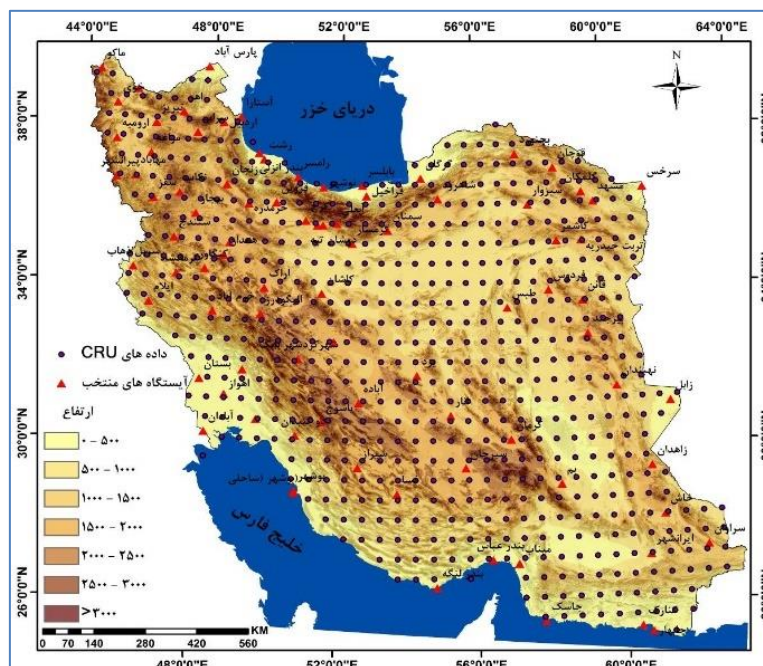
نواحی کشاورزی طی ۲۴ سال گذشته افزایش یافته است. (Zambreski et al. 2018) با استفاده از توابع متعامد تجربی و شاخص SPEI به شناسایی خرده نواحی هیدرو اقلیمی دشت‌های بزرگ ایالات متحده، باهدف پایش خشک‌سالی پرداختند. آن‌ها بر اساس تغییرپذیری فصلی خشک‌سالی ۹ تا ۱۲ خرده ناحیه در دشت‌های بزرگ آمریکا شناسایی نمودند. همچنین نشان دادند شدت خشک‌سالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید در سال‌های اخیر افزایش یافته است اما فراوانی وقوع خشک‌سالی کاهش یافته است. علاوه بر این رخداد خشک‌سالی در این منطقه از ایالت متحده، طی زمان و مکان بی‌ثبات‌تر شده است. (Byakatonda et al. 2018) با استفاده از دو شاخص SPI و ESPI به تحلیل ویژگی‌های خشک‌سالی در ناحیه نیمه‌خشک بوتسوانا در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد شاخص SPI شدت خشک‌سالی در ماه‌های خشک زمستان را بیشتر برآورد می‌کند درحالی‌که شاخص SPEI وسعت مکانی بیشتری از آسیب‌پذیری خشک‌سالی نشان می‌دهد. روند زمانی نیز بیانگر افزایش معنادار دوره‌های مرطوب طی دوره ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ و افزایش دوره‌های خشک از سال ۱۹۷۰ به بعد است. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) با ترکیب داده‌های ماهانه بارندگی سنجنده TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۸ ریسک خشک‌سالی‌های استان فارس را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد تقریباً بیشتر استان فارس مستعد خشک‌سالی بوده و خشک‌سالی با شدت‌های مختلف را در دوره آماری مذکور تجربه کرده است. مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵) نیز نشان دادند که شاخص SPEI ارتباط و همبستگی مناسبی با شاخص SPI در استان کردستان دارد اما از آنجاکه این شاخص علاوه بر بارش اثرات دما و تبخیر و تعرق را در نظر می‌گیرد دوره‌های خشک‌سالی را طولانی‌تر می‌داند. هاتفی و همکاران (۱۳۹۵)، نصرتی (۱۳۹۳)، انصاری (۱۳۸۹) و Liu و Burke (2018) (۲۰۰۶)، peterz (۲۰۰۶) می‌توان اشاره کرد. با آشکار شدن مسائل و مشکلات ناشی از پدیده‌های انجام پژوهش علمی درباره آن ضرورت می‌یابد. با توجه به معضلات و خساراتی که خشک‌سالی به‌ویژه در دهه‌های اخیر برای کشور ایجاد کرده است، مهم‌ترین هدف این پژوهش خوشه‌بندی خشک‌سالی در کشور بر اساس پایش فصلی می‌باشد. 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 GPCC, 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 دوچندان دارد.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

همان‌طور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده کل کشور ایران است. ایران با مساحت بالغ بر ۱,۶ هزار کیلومتر مربع 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 دریاهای 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، ۱). وجود کوه‌های بلند، دشت‌های بزرگ و پهناور، صحراها، رودخانه‌ها و دریاچه‌های مختلف به همراه سایر ویژگی‌های جغرافیای شرایطی را فراهم کرده است که رخداد پدیده‌های آب و هوایی در هر نقطه از این پهنه بزرگ امکان‌پذیر باشد.



مأخذ: نگارنده

شکل ۱: موقعیت جغرافیای ایستگاه‌های منتخب و پراکنش

روش پژوهش

این پژوهش، از نظر هدف، یک پژوهش کاربردی به شمار می‌رود. از نظر ماهیت داده‌ها، این پژوهش یک پژوهش 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 نوآ 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 شاخصی 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 به صورت 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 به صورت روابط ۱ الی ۱۰ در ذیل محاسبه می‌گردد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{رابطه ۱}$$

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:

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

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

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

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

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:

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

که k (ماه‌ها) مقیاس زمانی موردنظر و n ماه موردنظر در محاسبه است (Vicente-Serrano et al., 2010(b):1034). محاسبه این شاخص همانند روش ارائه شده برای شاخص SPI نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر D_i از طریق برازش یک تابع چگالی احتمال می‌باشد. ویستتسرانو و همکاران با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع

چگالی احتمال لوگ- لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر Di تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه زیر است؛

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

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

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

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

$$SPEI = W \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad \text{رابطه ۹:}$$

که مقدار W از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

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):

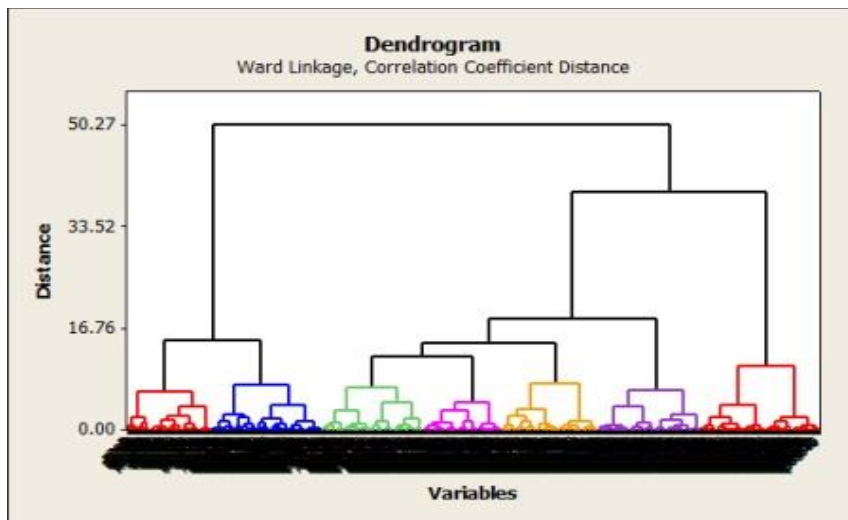
$$C_0 = 2.5155517 \quad C_1 = 0.802853 \quad C_2 = 0.010328 \\ d_1 = 1.432788 \quad d_2 = 0.189269 \quad d_3 = 0.001308$$

بحث و یافته‌ها

خوشه‌بندی خشک‌سالی در کشور

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 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 خوشه‌بندی خشک‌سالی کشور دارای دو شاخه اصلی است که یکی دو زیرشاخه و دیگری دارای ۵ زیرشاخه 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 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.



مآخذ: نگارنده

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

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

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 فصلی برای این‌همه داده سردرگمی‌هایی را ایجاد می‌کند. رخداد خشک‌سالی همواره با ویژگی‌های خاصی همراه است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها فراوانی و شدت خشک‌سالی است. از این‌رو هر مطالعه‌ای مستلزم مشخص کردن کم و کیف عوامل مذکور است تا بدین‌وسیله استعداد منطقه در رابطه با رخداد خشک‌سالی مشخص شود. از آنجایی‌که ارزیابی خشک‌سالی و شناخت ویژگی‌های آن همگی به مقیاس زمانی وابسته است، از این‌رو 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 پنجاه‌ساله ۱۹۶۶-۲۰۱۵ بر اساس داده‌های شبکه‌ای CRU مورد مطالعه قرار گیرد. روش انجام کار به‌طور کامل در فصل سوم پژوهش ارائه شده است و از تکرار آن خودداری می‌شود. برای ارزیابی ماهانه خشک‌سالی، شاخص منتخب خشک‌سالی بر روی ارقام بارش ۵۰ ساله ۶۲۱ نقطه از پایگاه داده CRU در سطح کشور برآزش و با در نظر گرفتن مقدار (۰/۵- و ۰/۵+) به‌عنوان وضعیت نرمال، شرایط ماهانه اکتبر (مهر) تا می (اردیبهشت) بررسی گردید. در ادامه وضعیت خشک‌سالی هر یک از ماه‌های سال تشریح می‌شود.

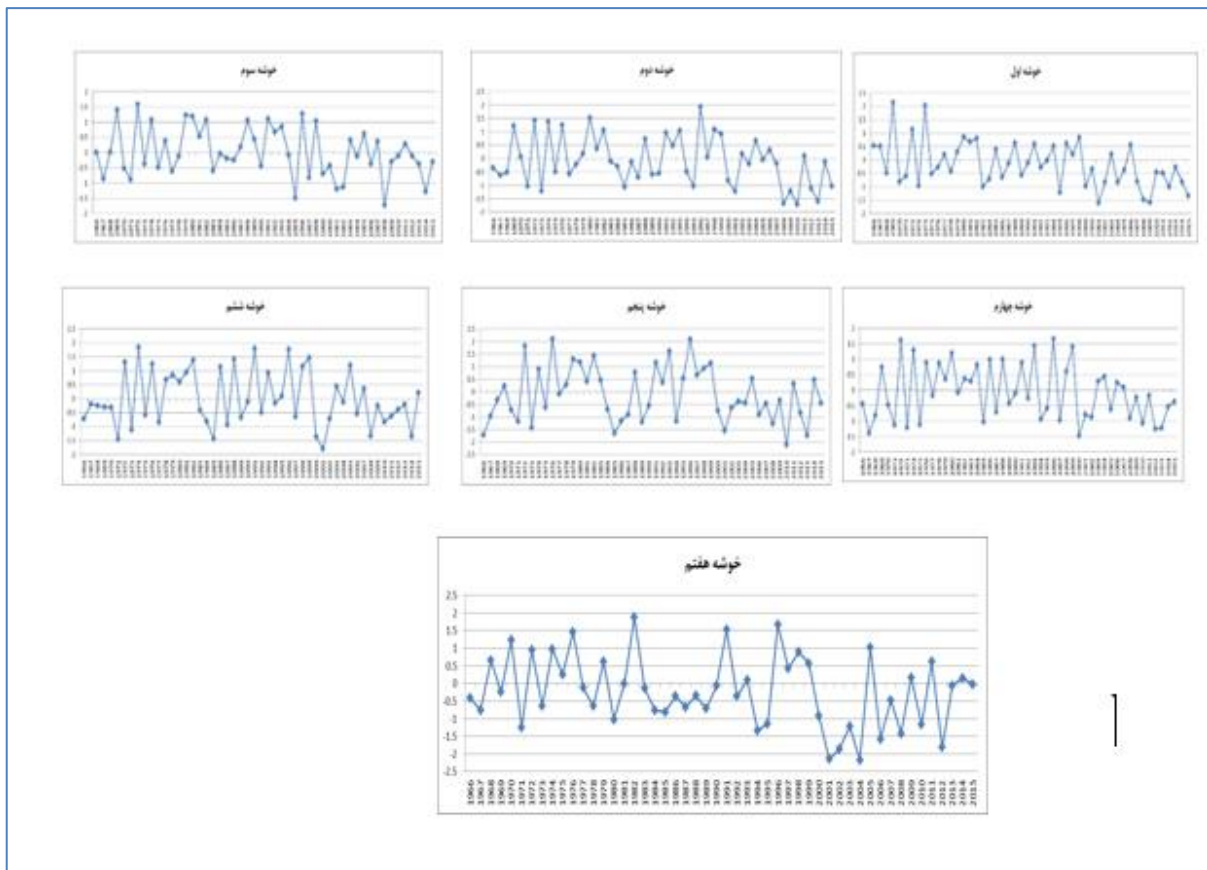
بررسی فصلی

یکی از مزیت‌های مهم شاخص SPEI که بر مبنای شاخص SPI طراحی شده است، امکان محاسبه ناهنجاری بارش و تبخیر و تعرق و متعاقب آن خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف است. از این‌رو برای پایش فصلی خشک‌سالی از بازه زمانی ۳ ماهه این شاخص استفاده گردید. از آنجاکه این شاخص مقادیر را به‌صورت تجمعی برآورد می‌نماید، برای مطالعه فصلی خشک‌سالی از نمرات SPEI سه‌ماهه منتهی به مارس (برای فصل زمستان)، ژوئن (برای فصل بهار) و دسامبر (برای فصل زمستان) استفاده گردید. در واقع نمره SPEI سه‌ماهه منتهی به مارس حاصل محاسبه تجمعی بارش و تبخیر و تعرق در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس است. در بهار خروجی سه‌ماهه شاخص حاصل محاسبه تجمعی آوریل، می و ژوئن و در پاییز حاصل ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر است. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵ به تفکیک فصل ارائه می‌شود.

فصل زمستان

شکل (۳) میانگین نمرات شاخص SPEI حاصل از نقاط شبکه CRU در خوشه‌های هفتگانه کشور طی فصل زمستان را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در بیشتر سال‌های مورد مطالعه نوسان بارش این فصل در مناطق مختلف کشور مشابه

است و دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی فراگیر به‌دفعات مشاهده می‌شود. هرچند در برخی سال‌ها اختلافاتی بین خوشه‌های هفتگانه به چشم می‌خورد. افت‌وخیزهای نمودار در خوشه‌های چهارم تا هفتم بیشتر از خوشه‌های اول تا سوم است. ملاحظه می‌شود که در همه خوشه‌ها روند کلی بارندگی در زمستان رو به کاهش است و این روند منفی از اوایل دهه ۲۰۰۰ تا انتهای دوره مطالعاتی به‌وضوح قابل تشخیص است.



مأخذ: نگارنده

شکل ۳: مقادیر شاخص SPEI فصل زمستان در خوشه‌های هفتگانه کشور (۲۰۱۵-۱۹۶۶)

در ابتدای دوره مطالعاتی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی به‌طور متوالی یک سال در میان در اکثر خوشه‌ها تکرار شده‌اند. در دهه ۹۰ غالب ناهنجاری‌های بارش در کشور مثبت و وضعیت ترسالی بیشتر مشاهده می‌شود؛ اما با شروع دهه ۲۰۰۰ فراوانی رخداد دوره‌های خشک افزایش یافته و این وضعیت تقریباً تا انتهای دوره مورد مطالعه ادامه یافته است. سال‌های ۱۹۷۱، ۲۰۰۱، ۱۹۷۳، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ مهم‌ترین زمستان‌های خشک فراگیر در کشور هستند. در عوض سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۷۴، ۱۹۷۶، ۱۹۸۲، ۱۹۹۱ و ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ مهم‌ترین زمستان‌های مرطوب فراگیر در کشور محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه روند کلی بارش در زمستان به‌ویژه از سال ۲۰۰۰ رو به کاهش است، دوره‌های خشک‌سالی در مقایسه با دوره‌های ترسالی تداوم طولانی‌تر دارند اما حداکثر تداوم دوره مرطوب و خشک با ۵ سال متوالی با هم برابر است. بیشینه

تداوم ترسالی در خوشه‌های ۵ و ۶ و بیشینه تداوم خشک‌سالی در خوشه ۷ مشاهده می‌شود. در جدول (۱) فراوانی رخداد خشک‌سالی و ترسالی بر اساس شدت‌های مختلف در فصل زمستان نشان داده شده است. با ثبات‌ترین منطقه کشور از نظر بارش زمستانه خوشه سوم است که مناطق شمالی و شمال شرقی را شامل می‌شود. در این خوشه ۲۴ دوره نرمال دیده می‌شود که اختلاف زیادی با سایر خوشه‌های کشور دارد. خوشه پنجم که مناطق جنوبی کشور را در برمی‌گیرد با ۱۴ دوره کمترین میزان دوره نرمال را دارا است. به جز خوشه سوم که دارای ۱۲ دوره خشک و ۱۴ دوره مرطوب می‌باشد، در خوشه‌های دیگر تعداد دوره‌های خشک فصل زمستان بیشتر از دوره‌های مرطوب است. به طوری که تعداد دوره‌های خشک در خوشه‌های اول و دوم و چهارم ۱۹ مورد، در خوشه پنجم ۲۱ مورد، در خوشه ششم ۱۸ مورد و در خوشه هفتم ۲۰ مورد است. از نظر شدت، غالب خشک‌سالی‌های این فصل در همه خوشه‌ها از نوع خشک‌سالی ملایم یا ضعیف می‌باشند. خشک‌سالی‌های متوسط در رتبه بعدی قرار دارند. هرچند در برخی سال‌ها شاهد رخداد‌های شدید هستیم اما تعداد آن‌ها بسیار کم و فقط در خوشه‌های پنجم، هفتم و سوم است که فراوانی آن‌ها به ترتیب به ۴ و ۳ رخداد می‌رسد. رخداد‌های بسیار شدید نیز به صورت اتفاقی و در خوشه‌های پنجم و هفتم اتفاق افتاده‌اند. شدت ترسالی‌ها نیز همچون خشک‌سالی‌ها، بیشتر از نوع ملایم یا ضعیف است. این شرایط در شمال غرب کشور یا همان خوشه اول نمود بیشتری دارد و ۱۱ دوره از ۱۴ دوره مرطوب در این منطقه از نوع ضعیف می‌باشد. البته در برخی خوشه‌ها از جمله خوشه دوم (غرب کشور)، خوشه سوم (شمال کشور) و خوشه ششم (شرق کشور) غالب دوره‌های مرطوب از شدت متوسط برخوردار می‌باشند. ترسالی شدید به جز خوشه اول در دیگر خوشه‌ها، هرچند با دفعات ناچیز اتفاق افتاده است. بیشترین فراوانی ترسالی شدید در خوشه‌های ششم و هفتم و ترسالی‌های بسیار شدید به طور اتفاقی در خوشه‌های اول و پنجم حادث شده‌اند.

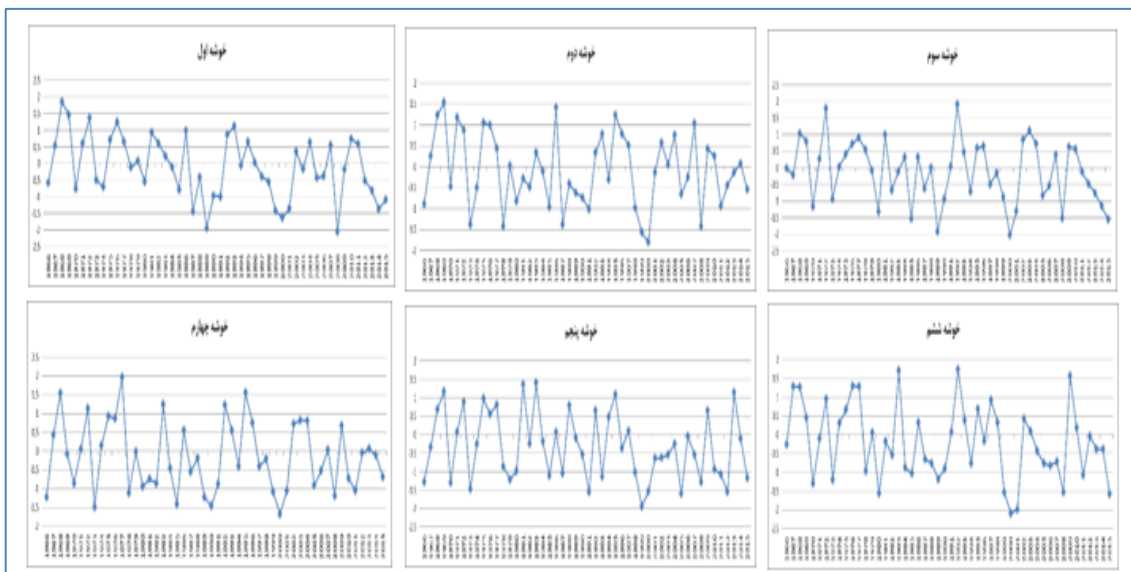
جدول ۱: فراوانی طبقات مختلف خشک‌سالی و ترسالی در فصل زمستان طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵

خوشه	خشک‌سالی ملایم	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	بسیار شدید	خشک‌سالی	نرمال	ترسالی ملایم	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	بسیار شدید
۱	۱۴	۳	۲	۰	۱۷	۱۱	۱	۰	۲	۰
۲	۸	۸	۳	۰	۱۸	۴	۷	۲	۰	۰
۳	۷	۴	۱	۰	۲۴	۴	۹	۱	۰	۰
۴	۱۰	۹	۰	۰	۱۷	۸	۴	۲	۰	۰
۵	۱۰	۶	۴	۱	۱۴	۶	۵	۲	۲	۲
۶	۱۱	۶	۱	۰	۱۶	۵	۸	۳	۰	۰
۷	۸	۷	۳	۲	۱۷	۷	۳	۳	۰	۰

مأخذ: نگارنده

فصل بهار

شکل (۴) میانگین نمرات شاخص SPEI حاصل از نقاط شبکه CRU در خوشه‌های هفتگانه کشور طی فصل بهار را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در بیشتر سال‌های مورد مطالعه نوسان بارش این فصل در مناطق مختلف کشور تا حد زیادی مشابه است و دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی فراگیر به‌دفعات مشاهده می‌شود. هرچند در برخی سال‌ها اختلافاتی بین خوشه‌های هفتگانه به چشم می‌خورد. شباهت افت‌وخیزهای نمودار در خوشه‌های اول و دوم نسبت به هم و خوشه‌های پنجم و هفتم نسبت به هم بیشتر است. ملاحظه می‌شود که همچون فصل زمستان، در بهار نیز روند کلی بارندگی در همه خوشه‌ها رو به کاهش است و این روند منفی در اوایل دهه ۲۰۰۰ و انتهای دوره مطالعاتی وضوح بیشتری دارد. در دهه ۷۰ نوسان بارندگی بهاره زیاد است و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی چندین بار تکرار شده‌اند. در دهه ۸۰ غالب ناهنجاری‌های بارش در کشور منفی است و بیشتر شاهد وقوع دوره‌های خشک در خوشه‌های مختلف هستیم. در دهه ۹۰ فصل بهار در بیشتر مناطق کشور مرطوب است و مقدار بارش‌ها به‌ویژه در اوایل آن بالاتر از میانگین است. از اواخر دهه ۹۰ روند کاهشی بارش و افزایش تعداد دوره‌های خشک مجدد آغاز می‌شود و به‌جز چند سال ابتدایی دهه ۲۰۰۰ تا آخر دوره مطالعاتی دوره‌های خشک تسلط بیشتری دارند. سال‌های ۱۹۷۰، ۱۹۸۰، ۱۹۷۳، ۱۹۸۵، ۱۹۸۸، ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ از جمله دوره‌های خشک فراگیر بهار قابل توجه در کشور هستند. در عوض سال‌های ۱۹۶۸، ۱۹۷۲، ۱۹۷۶، ۱۹۹۲، ۱۹۹۱ و ۱۹۹۵ مهم‌ترین دوره‌های مرطوب فراگیر در کشور طی فصل بهار محسوب می‌شوند. ملاحظه می‌شود که در بهار تعداد خشک‌سالی‌های فراگیر بیشتر از ترسالی‌های فراگیر است. در بیشتر خوشه‌های کشور تداوم دوره‌های خشک طولانی‌تر از تداوم دوره‌های مرطوب است. در خوشه اول و ششم بیشینه تداوم ترسالی ۳ دوره و بیشینه تداوم خشک‌سالی ۴ دوره می‌باشد. در خوشه‌های دوم، سوم و چهارم بیشینه تداوم دوره‌های خشک و مرطوب ۳ دوره است، در خوشه پنجم حداکثر تداوم خشک‌سالی ۶ دوره و حداکثر تداوم ترسالی ۳ دوره است. در خوشه هفتم خشک‌سالی اواخر دهه ۹۰، ۱۱ سال به طول انجامیده و از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ مقدار بارش فصل بهار در جنوب شرق ایران کمتر از میانگین است. درحالی‌که بیشترین دوره ترسالی ۳ سال تداوم داشته است.



مأخذ: نگارنده

شکل ۴: مقادیر شاخص SPEI فصل بهار در خوشه‌های هفتگانه کشور (۱۹۶۶-۲۰۱۵)

در جدول (۲) فراوانی رخداد خشک‌سالی و ترسالی بر اساس شدت‌های مختلف در فصل بهار نشان داده شده است. با ثبات‌ترین منطقه کشور از نظر بارش بهاره ابتدا غرب و سپس شمال کشور است. چراکه این دو منطقه به ترتیب دارای ۱۷ و ۱۹ دوره نرمال هستند. درحالی‌که خوشه ۵ و ۴ یعنی جنوب و مرکز کشور با برخورداری از ۱۳ و ۱۴ دوره نرمال، بی‌ثبات‌ترین مناطق بارشی کشور در فصل بهار می‌باشند. در همه خوشه‌ها تعداد دوره‌های خشک در بهار بیشتر از دوره‌های مرطوب است. بیشترین دوره خشک با ۲۴ فراوانی در خوشه هفتم و پنجم مشاهده می‌شود. غرب و شمال کشور نیز با ۱۷ و ۱۸ دوره خشک، از کمترین فراوانی این پدیده در کشور طی فصل بهار برخوردار هستند. از نظر شدت، غالب خشک‌سالی‌های این فصل از نوع خشک‌سالی ملایم یا ضعیف می‌باشند. این وضعیت در خوشه‌های یک تا سه و خوشه ششم نمود بیشتری دارد. در خوشه‌های پنجم و هفتم که خشک‌ترین مناطق ایران محسوب می‌شوند، برخلاف سایر مناطق فراوانی خشک‌سالی‌های متوسط بیشتر از خشک‌سالی ملایم است. هرچند در برخی سال‌ها شاهد رخداد‌های شدید هستیم اما تعداد آن‌ها بسیار کم و فقط در خوشه‌های پنجم، ششم، هفتم و سوم است که فراوانی آن‌ها به ترتیب به ۵ و ۴ رخداد می‌رسد. رخداد‌های بسیار شدید نیز به‌صورت اتفاقی و در خوشه‌های اول، سوم و ششم اتفاق افتاده‌اند. بیشترین فراوانی دوره‌های مرطوب با ۱۸ دوره متعلق به شمال غرب و کمترین فراوانی آن با ۱۰ دوره متعلق به جنوب شرق می‌باشد. در دیگر مناطق تعداد دوره‌های مرطوب بین ۱۱ تا ۱۵ دوره است. ترسالی‌ها نیز همچون خشک‌سالی‌ها، بیشتر از نوع ملایم یا ضعیف است. این شرایط در شمال غرب کشور یا همان خوشه اول و شمال کشور یا همان خوشه سوم نمود بیشتری دارد. در همه خوشه‌ها فراوانی ترسالی‌های ملایم بیشتر از ترسالی متوسط و فقط در خوشه ششم و هفتم است که تعداد آن‌ها برابر است. ترسالی شدید به‌جز خوشه چهارم یعنی مرکز کشور و خوشه ششم یا همان شرق

کشور در دیگر خوشه‌ها، اتفاق نیفتاده است. همچنین در این فصل یک دوره ترسالی بسیار شدید نیز در سال ۱۹۸۲ در جنوب شرق حادث شده است.

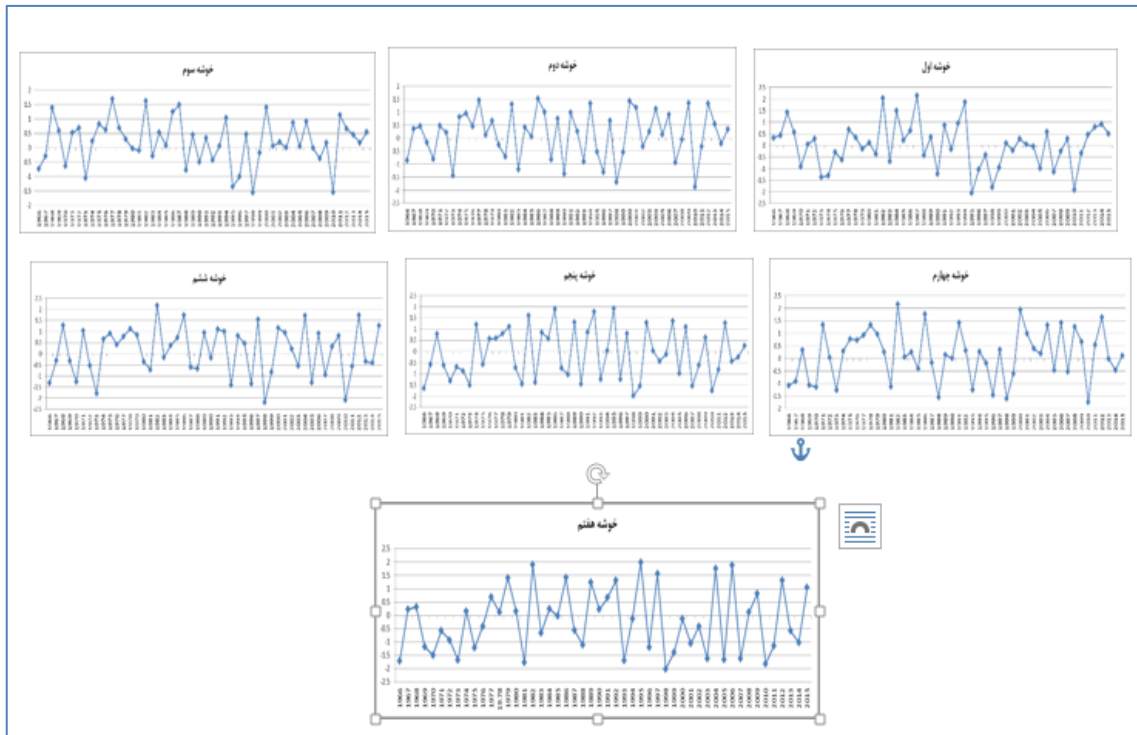
جدول ۲: فراوانی طبقات مختلف خشک‌سالی و ترسالی در فصل بهار طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۵

خوشه	خشک‌سالی ملازم	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	نرمال	ترسالی ملازم	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی بسیار شدید
۱	۱۰	۶	۲	۱۳	۱۳	۴	۱	۰
۲	۱۰	۵	۲	۱۹	۷	۶	۱	۰
۳	۹	۴	۴	۱۷	۱۱	۲	۲	۰
۴	۱۰	۱۰	۱	۱۴	۹	۳	۳	۰
۵	۸	۱۱	۵	۱۳	۸	۵	۰	۰
۶	۱۰	۵	۵	۱۸	۴	۴	۳	۰
۷	۷	۱۳	۴	۱۶	۴	۴	۱	۱

مأخذ: نگارنده

فصل پاییز

شکل (۵) میانگین نمرات شاخص SPEI در خوشه‌های هفتگانه کشور طی فصل پاییز را نشان می‌دهد. همچون دو فصل دیگر در بیشتر مواقع نوسان بارش این فصل در مناطق مختلف کشور تا حد زیادی مشابه است. البته در برخی سال‌ها اختلافاتی بین خوشه‌های هفتگانه به چشم می‌خورد. نمودار خوشه‌های سوم و به‌ویژه خوشه اول تفاوت بیشتری با دیگر خوشه‌ها دارند و خوشه پنجم و هفتم از بیشترین شباهت برخوردار هستند. ملاحظه می‌شود که برخلاف فصل زمستان و بهار، در این فصل روند بارندگی کشور در بیشتر مناطق با شیب ضعیفی رو به افزایش است و این روند از اواسط دهه ۲۰۰۰ نمود می‌یابد. در سال‌های آغازین دوره مطالعاتی ناهنجاری‌های منفی و خشک‌سالی نمود بیشتری در پاییز دارد، اما در اواسط دهه ۷۰ دوره‌های مرطوب بیشتر تکرار شده‌اند. این وضعیت تا اواخر دهه ۸۰ ادامه دارد تا اینکه از اواسط دهه ۹۰ تا اوایل دهه ۲۰۰۰ مجدد خشک‌سالی‌های پاییز فراوانی بیشتری پیدا می‌کنند. از سال ۲۰۰۶ تا انتهای دوره مطالعاتی نیز بارندگی پاییز معمولاً بیشتر از نرمال بوده و به‌جز سال ۲۰۱۰ خشک‌سالی قابل‌توجهی در سال‌های اخیر اتفاق نیفتاده است. سال‌های ۱۹۶۶، ۱۹۷۰، ۱۹۷۳، ۱۹۹۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۱۰ از جمله دوره‌های



مأخذ: نگارنده

شکل ۵: مقادیر شاخص SPEI فصل پاییز در خوشه‌های هفتگانه کشور (۱۹۶۶-۲۰۱۵)

خشک فراگیر قابل توجه در فصل پاییز می‌باشند. در عوض سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۲، ۱۹۸۶، ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۲ مهم‌ترین دوره‌های مرطوب فراگیر در کشور طی فصل پاییز محسوب می‌شوند. از نظر تداوم، در خوشه‌های اول و دوم بیشینه تداوم ترسالی ۲ دوره و بیشینه تداوم خشک‌سالی نیز ۲ دوره می‌باشد. در خوشه سوم خشک‌سالی‌ها غالباً یک‌ساله و حداکثر دوساله هستند، اما دوره‌های مرطوب معمولاً ۲ ساله و در اواسط دهه ۷۰ حتی به ۴ سال پیایی هم رسیده است. بیشترین تداوم دوره مرطوب مربوط به خوشه چهارم است. در این خوشه یک دوره ترسالی از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۹ حادث شده است. درحالی‌که بیشترین تداوم خشک‌سالی در این منطقه از کشور ۲ دوره می‌باشد. در خوشه پنجم و هفتم خشک‌سالی‌هایی با تداوم ۵ ساله نیز به چشم می‌خورد. البته در خوشه پنجم ترسالی‌هایی با تداوم ۴ سال هم مشاهده می‌شود اما در خوشه هفتم بیشینه تداوم دوره مرطوب ۲ سال است. در مناطق شرقی کشور (خوشه ششم) نیز تداوم ترسالی‌ها اندکی بیشتر است و نسبت آن‌ها ۳ به ۲ می‌باشد. در جدول (۳) فراوانی خشک‌سالی و ترسالی بر اساس شدت‌های مختلف در فصل پاییز نشان داده شده است. با ثبات‌ترین منطقه کشور از نظر بارش پاییزه ابتدا شمال غرب و سپس شمال کشور است.

چرا که این دو منطقه به ترتیب دارای ۲۴ و ۲۳ دوره نرمال هستند. درحالی‌که خوشه ۵ یعنی جنوب کشور با برخورداری از ۷ دوره نرمال، بی‌ثبات‌ترین منطقه بارشی کشور در فصل پاییز است. در شمال غرب کشور تعداد دوره‌های مرطوب و خشک با فراوانی ۱۳ رخداد با هم برابر هستند. در جنوب کشور رخداد دوره‌های خشک ۲۳ مورد و رخداد

دوره‌های مرطوب ۲۰ مورد است. در بقیه مناطق تعداد دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. این وضعیت با دیگر فصول (زمستان و بهار) سال تفاوت دارد. بیشترین دوره خشک با ۲۳ رخداد متعلق به خوشه‌های هفتم و پنجم است خوشه سوم نیز با ۸ رخداد از کمترین فراوانی دوره خشک برخوردار است. از نظر شدت، همچون دیگر فصول غالب خشک‌سالی‌ها در بیشتر خوشه‌های کشور از نوع ملایم هستند. فقط در جنوب شرق و مرکز کشور است که فراوانی خشک‌سالی‌های متوسط بیشتر از خشک‌سالی‌های ملایم است. رخدادهای شدید خشک‌سالی در این فصل در خوشه‌های پنجم و هفتم بیشتر اتفاق افتاده است درحالی‌که در شرق کشور فقط ۱ بار و در دیگر مناطق ۲ تا ۳ بار به‌ویژه پیوسته است. بیشترین فراوانی دوره‌های مرطوب با ۲۲ دوره متعلق به شرق کشور و پس‌از آن جنوب کشور با ۲۰ مورد است. همچنین کمترین فراوانی آن با ۱۳ و ۱۴ رخداد به ترتیب متعلق به شمال غرب و جنوب شرق می‌باشد. در دیگر مناطق تعداد دوره‌های مرطوب بین ۱۷ تا ۱۹ دوره است. ترسالی‌ها نیز همچون خشک‌سالی‌ها، بیشتر از نوع ملایم یا ضعیف هستند. این شرایط در شمال غرب کشور یا همان خوشه اول و شمال کشور یا همان خوشه سوم نمود بیشتری دارد. در همه خوشه‌ها به‌جز خوشه هفتم، فراوانی ترسالی‌های ملایم بیشتر از ترسالی متوسط است و فقط در خوشه هفتم است که تعداد ترسالی‌های متوسط دو برابر ترسالی‌های ملایم است. ترسالی‌های شدید این فصل در مناطق کم باران کشور از جمله مرکز، جنوب، شرق و به‌ویژه جنوب شرق بیشتر اتفاق افتاده‌اند. همچنین در این فصل دو دوره ترسالی بسیار شدید در شمال غرب و یک رخداد در شرق کشور به وقوع پیوسته است.

جدول ۳: فراوانی طبقات مختلف خشک‌سالی و ترسالی در فصل پاییز 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	۵	۵	۲	۱	۲۴	۸	۲	۱	۲
۲	۸	۴	۲	۰	۱۸	۹	۸	۱	۰
۳	۴	۲	۲	۰	۲۳	۱۱	۶	۲	۰
۴	۳	۷	۳	۰	۲۰	۷	۶	۳	۱
۵	۱۰	۷	۶	۰	۷	۹	۷	۴	۰
۶	۸	۵	۱	۲	۱۲	۱۰	۷	۴	۱
۷	۵	۹	۸	۱	۱۳	۳	۶	۵	۰

مأخذ: نگارنده

نتیجه‌گیری

در همه خوشه‌ها روند کلی بارندگی در زمستان رو به کاهش است. بطوریکه در دهه ۹۰ غالب ناهنجاری‌های بارش در کشور مثبت و وضعیت ترسالی بیشتر مشاهده می‌شود؛ اما با شروع دهه ۲۰۰۰ فراوانی رخداد دوره‌های خشک افزایش یافته و این وضعیت تقریباً تا انتهای دوره مورد مطالعه ادامه یافته است. در فصل بهار، بارش خوشه دوم و سوم

ثبات بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند و خوشه پنجم از کمترین ثبات برخوردار است. در این فصل تعداد دوره‌های خشک در همه خوشه‌ها بیشتر از دوره‌های مرطوب است. بیشترین دوره خشک در خوشه هفتم و پنجم و کمترین آن در غرب و شمال کشور مشاهده می‌شوند. همچنین خوشه اول از بیشترین فراوانی دوره مرطوب در فصل بهار برخوردار است. در بیشتر خوشه‌های کشور تداوم دوره‌های خشک طولانی‌تر از تداوم دوره‌های مرطوب است. دوره‌های مرطوب در خوشه‌های مختلف حداکثر از تداوم ۳ ساله برخوردارند این در حالی است که دوره‌های خشک‌سالی دارای تداوم‌های ۳ و ۴ هستند و طولانی‌ترین دوره خشک‌سالی با ۱۱ دوره از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ در خوشه هفتم (جنوب شرق) رخ داده است. از نظر شدت، غالب خشک‌سالی‌های این فصل از نوع خشک‌سالی ملایم یا ضعیف می‌باشند. این وضعیت در خوشه‌های یک تا سه و خوشه ششم نمود بیشتری دارد. در خوشه‌های پنجم و هفتم و برخلاف سایر مناطق فراوانی خشک‌سالی‌های متوسط بیشتر از خشک‌سالی ملایم است. هرچند در برخی سال‌ها شاهد رخداد‌های شدید هستیم اما تعداد آن‌ها بسیار کم و فقط در خوشه‌های پنجم، ششم، هفتم و سوم است که فراوانی آن‌ها به ترتیب به ۵ و ۴ رخداد می‌رسد. رخداد‌های بسیار شدید نیز به صورت اتفاقی و در خوشه‌های اول، سوم و ششم اتفاق افتاده‌اند. ترسالی‌ها نیز همچون خشک‌سالی‌ها، بیشتر از نوع ملایم یا ضعیف است. این شرایط در شمال غرب کشور یا همان خوشه اول و شمال کشور یا همان خوشه سوم نمود بیشتری دارد. در همه خوشه‌ها فراوانی ترسالی‌های ملایم بیشتر از ترسالی متوسط و فقط در خوشه ششم و هفتم است که تعداد آن‌ها برابر است. همچون فصل زمستان، در بهار نیز روند کلی بارندگی در همه خوشه‌ها رو به کاهش است و این روند منفی در اوایل دهه ۲۰۰۰ و انتهای دوره مطالعاتی وضوح بیشتری دارد. در فصل پاییز، بارش خوشه اول و سوم ثبات بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند و خوشه پنجم نیز همچون فصول دیگر از کمترین ثبات برخوردار است. برخلاف زمستان و بهار در این فصل فراوانی دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است و این امر به جز خوشه پنجم و هفتم که دارای بیشترین فراوانی دوره خشک نیز می‌باشند، در سایر خوشه‌ها حاکم است. در این فصل بیشترین فراوانی دوره مرطوب متعلق به شرق کشور است. در این فصل تداوم دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است و این امر در خوشه سوم و چهارم بیشتر به چشم می‌آید. البته در خوشه‌های هفتم و پنجم کماکان خشک‌سالی‌ها طولانی‌تر از ترسالی‌ها هستند. از نظر شدت، همچون دیگر فصول غالب خشک‌سالی‌ها در بیشتر خوشه‌های کشور از نوع ملایم هستند. فقط در جنوب شرق و مرکز کشور است که فراوانی خشک‌سالی‌های متوسط بیشتر از خشک‌سالی‌های ملایم است. همچنین رخداد‌های شدید خشک‌سالی در این فصل در خوشه‌های پنجم و هفتم بیشتر اتفاق افتاده است. ترسالی‌ها نیز همچون خشک‌سالی‌ها، بیشتر از نوع ملایم یا ضعیف هستند. در همه خوشه‌ها به جز خوشه هفتم، فراوانی ترسالی‌های ملایم بیشتر از ترسالی متوسط است. ترسالی‌های شدید این فصل در مناطق کم باران کشور از جمله مرکز، جنوب، شرق و به‌ویژه جنوب شرق بیشتر اتفاق افتاده‌اند. در این فصل روند بارندگی کشور در بیشتر مناطق با شیب ضعیفی رو به افزایش است و این روند از اواسط دهه ۲۰۰۰ نمود می‌یابد و به جز سال ۲۰۱۰ خشک‌سالی قابل توجهی در سال‌های اخیر اتفاق نیفتاده است.

منابع

- ۱- انصاری، حسین، داوری، کامران، ثنائی نژاد، حسین (۱۳۸۹): پایش خشک‌سالی با استفاده از SPEI توسعه یافته بر اساس منطق فازی، نشریه آب و خاک، ۲۴، صص ۳۸-۵۲.
- ۲- چمن‌پیرا، غلامرضا، زهتابیان، غلامرضا، احمدی، حسن، ملکیان، آرش (۱۳۹۳): بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری در دشت الشتر، مهندسی و مدیریت آب، صص ۱۰-۲۰.
- ۳- رحیمی، مجتبی، (۱۳۹۰): تحلیل آماری - همدیدی خشک‌سالی‌های جنوب غرب ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- ۴- عرفانیان، مهدی، وفايي، نسرين، رضاییان زاده، مهدی، (۱۳۹۳): ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجیده MODIS، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۱۶۴(۱)، صص ۱۰۸-۹۳.
- ۵- عزیزی، قاسم و طاهرصفراد (۱۳۸۹): ارزیابی روش‌های کریگینگ معمولی و فاصله معکوس وزین در برآورد مقادیر خشک‌سالی و ترسالی ایران، اولین همایش ملی ژئوماتیک در منابع طبیعی و محیط‌زیست.
- ۶- علیجانی، بهلول (۱۳۸۹): آب‌هوای ایران، تهران: انتشارات پیام‌نور.
- ۷- کتیرایی بروجردی، پری سیما (۱۳۹۲): مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، ۴، ۱۴۹-۱۶۰.
- ۸- محمدی، حسین (۱۳۸۷): مخاطرات جوی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران
- ۹- میری، مرتضی، رضیعی، طیب، رحیمی، مجتبی، (۱۳۹۵): ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳)، صص ۶۷۲-۶۵۷.
- ۱۰- مصطفی‌زاده، رئوف، ذبیحی، محسن (۱۳۹۵): تحلیل مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی (بررسی موردی: استان کردستان)، فیزیک زمین و فضا، ۴۲، صص ۶۳۳-۶۴۳.
- ۱۱- نصرتی، کاظم (۱۳۹۳): ارزیابی شاخص SPEI جهت شناسایی خشک‌سالی در اقلیم‌های مختلف ایران، فصلنامه علوم محیطی، شماره ۴، صص ۶۳-۷۴.
- ۱۲- هاتفی، عادل، مساعدی، ابوالفضل، نوقایی، مهدی (۱۳۹۵): نقش تبخیر و تعرق در پایش خشک‌سالی هواشناسی در چند ناحیه اقلیمی کشور، پژوهش‌های حفاظت خاک، شماره ۲۲، صص ۱-۲۱.
- 13- Alama, N.M., Sharma, G.C., Moreirab, E., Sharmaa, 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
- 14- Burke E.J., Brown S.J., And Christidis N. (2006): Modeling The Recent Evolution Of Global Drought And Projections For The Twenty-First Century With The Hadley Centre Climate Model. Journal Of Hydrometeorology, 7: 1113-1125.
- 15- Bordia And A.Sutera (2007): Methods And Tools For Drought Analysis And Management (Water Science And Technology Library), Published By Springer Vol 62.
- 16- Byakatonda, J., Parida, B.P., Moalafhi, D.B., Kenabatho, P.K. (2018): Analysis Of Long Term Drought Severity Characteristics And Trends Across Semi-arid Botswana Using Two Drought Indices, Atmospheric Research, 213: 492-508.
- 17- Liu, X., Pan, Y., Zhu, X., Sun, ZH. (2018): Drought Evolution And Its Impact On The Crop Yield In Tatli. H And M. Türkes (2011). Empirical Orthogonal Function Analysis Of The Palmer Drought Indices, Agricultural And Forest Meteorology, 151: 981-991.
- 18- Peters, E, Bier, G, Lanen, H, A, Torfs, P, (2006): Propagation And Spatial Distribution Of Drought In A Groundwater Catchment. Journal Of Hydrology 321, 257-75.

- 19- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I., Angulo, M., El Kenawy, A. (2010b): Comparison With Current Drought Index Datasets Based On The Palmer Drought Severity Index, *J. Hydrometeorology*, 11: 1033-1043.
- 20- Wagner, P. D., Finer, P., Wilken, F., Kumar, SH., Schneider, K., (2012): Comparison And Evaluation Of Spatial Interpolation Schemes For Daily Rainfall In Data Scarce Regions, *J Hydrol*, 464, 388 – 400.
- 21- 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: 370-381.