

تحلیل منحنی‌های شدت - مدت و فراوانی خشکسالی مطالعه موردی؛ ایستگاههای برگزیده جنوب غرب ایران

دکتر عبدا... صداقت کردار
عضو هیأت علمی پژوهشکده هواشناسی

دکتر ابراهیم فتاحی
عضو هیأت علمی پژوهشکده هواشناسی

چکیده

خشکسالی یک پدیده‌ی تکرار شونده در اقلیم‌های مختلف است و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود و می‌تواند در نواحی با بارش بالا و در هر فصل از سال رخ دهد. از جمله مهم‌ترین مراحل پایش خشکسالی تعیین سنجه‌هایی به منظور تحلیل شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی است. به منظور پایش خشکسالی و تحلیل خصوصیات آن در حوضه‌های جنوب غربی ایران از داده‌های مجموع بارندگی ماهانه ایستگاههای سینوپتیک منطقه طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۰ استفاده شد. در تحقیق حاضر با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) تداوم، شدت و فراوانی خشکسالی‌ها برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه تعیین و منحنی‌های شدت، تداوم و دوره برگشت خشکسالی‌ها ترسیم شد. نتایج نشان داد زمانی که شاخص بارش استاندارد شده دارای توالی‌های منفی باشد، خشکسالی رخ می‌دهد و زمانی که مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ۱- و یا کمتر شود، خشکسالی تشدید می‌شود؛ این مقیاس‌های زمانی، برخورد خشکسالی را نسبت به دسترسی منابع مختلف آب بازگو می‌نماید، بطوری که واکنش رطوبت خاک نسبت به وضعیت بارش کوتاه‌مدت است در حالی که پاسخ سطح آب‌های زیرزمینی و جریان رودخانه‌ها و ذخیره منابع آب نسبت به کمبود بارش، فرآیندی بلندمدت است.

کلیدواژه‌ها: پایش خشکسالی، شدت، مدت و فراوانی خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده.

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهایی است که هر ساله خسارت‌های زیادی را باعث می‌شود. این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده‌ی

¹-Standardized Precipitation Index

اقلیم‌های متفاوت به شمار می‌آید و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود، بلکه خشکسالی هم در نواحی خشک و هم در نواحی مرطوب به وقوع می‌پیوندد و باعث کمبود منابع آب می‌گردد (Dracup, et al, 1980: 299). اما ویژگی‌های خشکسالی از قبیل فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. خشکسالی‌ها گرچه زیان‌های اقتصادی، خسارات محیطی و اجتماعی زیادی را باعث می‌شوند؛ ولی نسبت به سایر پدیده‌های هواشناسی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، زیرا تعریف، تعیین و پایش آنها مشکل است.

دانشمندان علم آب و هواشناسی به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی؛ شاخص‌های متعددی را ارائه داده‌اند، که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به‌کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (Richard, et al. 2002:1155).

مک کی و همکاران شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را به منظور تعریف و پایش خشکسالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه دادند (Mckee, et al. 1993:83). مرکز ملی تعدیل خشکسالی ایالت متحده به منظور پایش خشکسالی و شرایط ذخیره رطوبت خاک از شاخص بارش استاندارد شده استفاده می‌نماید (NDMS¹, 1995). در پرتغال به منظور تحلیل خشکسالی‌ها یک مدل توزیع منطقه‌ای به‌کار گرفته شد و نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی و منحنی‌های شدت، مساحت و فراوانی خشکسالی ترسیم شده است (Henriques, et al. 1998:145). بنجامین و همکاران رابطه فراوانی و تداوم خشکسالی‌های اروپا را در مقیاس‌های زمانی مختلف مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت فراوانی خشکسالی و در مقیاس زمانی درازمدت تداوم خشکسالی‌ها بیشتر است (Benjamin. et al. 2002:1580). داله زیوس و همکاران براساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی؛ نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی را برای یونان ترسیم کردند و نتیجه گرفتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی شدیدتری برخوردار است (Dalezios, et al, 2000: 767) هانگ و همکاران بیان داشتند یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی، ساده و روشنی از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد (Hong, et al. 2000: 748).

تلفیق روش تحلیل دنباله‌ها^۲ با شاخص بارش استاندارد شده (SPI) از جمله شاخص‌هایی است که می‌تواند خصوصیات فراوانی، شدت، تداوم و بزرگی خشکسالی را در هر مکان توجیه نماید و چون این روش برای محاسبه نیاز به متغیرهای کمی دارد و قابلیت پایش نزدیک به زمان واقعی (ماهانه) این شاخص را در موقعیت بسیار مناسبی نسبت به سایر شاخص‌ها قرار

1- National Drought Mitigation Center

2- Run Theory

داده است، علاوه بر این شاخص بارش استاندارد شده دینامیک بوده و در بازه‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. لشنی زند (۱۳۸۲: ۲۶۴) با به‌کارگیری تئوری Run، منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی را برای حوضه‌های غرب و شمال غرب کشور ترسیم نمود و بیان داشت که حوضه‌های سپیدرود، دز و ارس به ترتیب بیش از حوضه‌های دیگر در معرض وقوع خشکسالی‌های حدی و فراگیر قرار دارند. در تحقیق حاضر نیز به منظور محاسبه فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده، استفاده شده است.

شاخص بارش استاندارد شده

مک‌کی و همکارانش به منظور کمی‌سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشکسالی برای مقیاس‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه شاخص بارش استاندارد شده را ارائه دادند. تنوع کاربرد، به شاخص بارش استاندارد شده این امکان را می‌دهد که خشکسالی را هم برای مقیاس‌های کوتاه‌مدت نظیر رطوبت خاک و هم برای مقیاس‌های درازمدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی پایش نماید. آنها همچنین برای تعیین خشکی و تری در هر ایستگاه یک سیستم طبقه‌بندی معین برای مقادیر به‌دست آمده SPI تعیین و معرفی نمودند، که بیانگر شدت‌های متفاوتی از خشکسالی در یک منطقه می‌باشد (Mckee, et al. 1993:182).

ویژگی دیگر شاخص SPI این است که براساس آن روش می‌توان آستانه‌ی خشکسالی را برای هر دوره‌ی زمانی تعیین کرد. بنابراین بر اساس این شاخص علاوه بر محاسبه‌ی شدت خشکسالی، مدت آن را نیز می‌توانیم تعیین نماییم. شاخص بارش استاندارد شده بر اساس احتمال بارش برای هر بازه‌ی زمانی می‌باشد. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه قابل محاسبه است و به منظور هشدار اولیه و پایش شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. این شاخص برای کمی نمودن کمبود بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شده است (بذرافشان، ۱۳۸۱: ۱۲۰). برای محاسبه‌ی شاخص SPI از تابع چگالی توزیع گاما و گاهی از تابع پیرسون برای برآزش داده‌های بلندمدت بارش استفاده می‌شود (Guttmon, 1988: 113). پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوطه شاخص SPI به‌صورت مقادیر مثبت و منفی بیان می‌شود. مفهوم SPI مقادیر نمره Z و یا تعدادی از اعداد استاندارد بالا و پایین را نسبت به وقوع ۵۰ درصد (نرمال) ارائه می‌دهد و چون بارش دارای چولگی است بهترین روش برآزش داده‌های بارندگی ایستگاهها با توزیع‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین توزیع است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۸).

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به یک مقدار ثابت قابل انتظار و واریانس معنی دار به منظور مقایسه‌ی شاخص مزبور در ایستگاههای مختلف نیاز دارد؛ (Mckee, et al, 1995: 235)، بنابراین شاخص بارش استاندارد شده نسبت به موقعیت ایستگاه نرمالیزه می‌شود، زیرا SPI تواتر توزیع میانگین بارندگی را محاسبه می‌کند، علاوه بر این شاخص بارش استاندارد شده

نسبت به زمان نیز نرمالیزه می‌شود، زیرا SPI برای مقیاس‌های زمانی متفاوت محاسبه می‌شود؛ بنابراین شاخص بارش استاندارد شده توزیع مکانی و زمانی خشکسالی را در تحلیل خود پوشش می‌دهد.

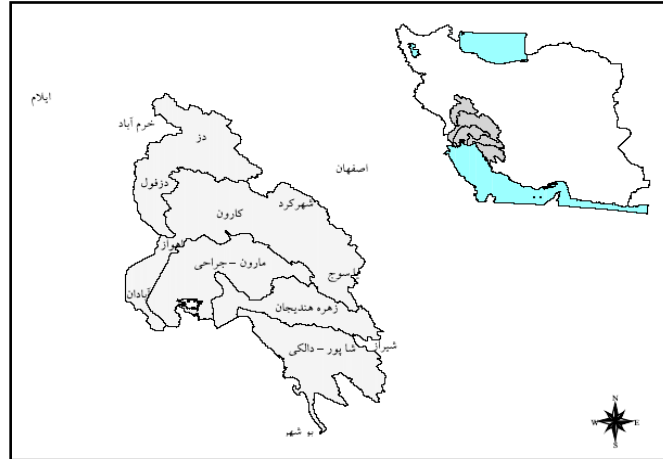
جدول ۱: ضرایب شاخص خشکسالی SPI

SPI	احتمال تجمعی	توصیف وضعیت
-۳/۰	۰/۰۰۱۴	خشکسالی فرین
-۲/۵	۰/۰۰۶۲	خشکسالی خیلی شدید
-۲/۰	۰/۰۲۲۸	خشکسالی شدید
-۱/۵	۰/۰۶۶۸	خشکسالی متوسط
-۱/۰	۰/۱۵۸۷	خشکسالی ضعیف
-۰/۵	۰/۳۰۸۵	نزدیک به نرمال
۰	۰/۵۰	نرمال
۰/۵	۰/۶۹۱۵	نزدیک به نرمال
۱/۰	۰/۸۴۱۳	ترسالی ضعیف
۱/۵	۰/۹۳۳۲	ترسالی متوسط
۲/۰	۰/۹۷۷۲	ترسالی شدید
۲/۵	۰/۹۹۳۸	ترسالی خیلی شدید
۳/۰	۰/۹۹۸۶	ترسالی فرین

محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در جنوب غرب ایران واقع شده است و شامل زیرحوضه‌های رودخانه‌های دز، کارون، مارون- جراحی، زهره- هندیجان و شاپور و دالکی می‌باشد. این حوضه‌ها به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در این حوضه‌ها وجود دارد. بارش حوضه‌های مورد مطالعه غالباً تحت تأثیر جریان‌های جوی مدیترانه و کم فشار سودانی قرار دارند، بطوری که توده‌های هوای باران‌زای معتدل مرطوب^۱ (MM)؛ قطبی مرطوب^۲ (MP) و حاره‌ای مرطوب^۳ (MT) طی مهرماه تا اردیبهشت‌ماه بر منطقه استیلا دارند. به دلیل تفاوت در توپوگرافی و گسترش شمال به جنوب حوضه‌های مورد مطالعه، اقلیم‌های حرارتی متفاوتی نیز بر منطقه حکمفرما است، و دمای هوا در این منطقه تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی است (فتاحی، ۱۳۸۳: ۱۱۹). شکل شماره (۱) موقعیت حوضه‌های جنوب غرب کشور و جدول شماره (۲) مشخصات هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

- 1- Moist Moderate
2- Moist Polar
3- Moist Tropical



شکل ۱: موقعیت حوضه‌های جنوب غربی ایران و ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۲: ویژگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ارتفاع	عرض	طول	ویژگی نام ایستگاه
۱۳۶۰	۳۳° ۳۸'	۴۶° ۲۵'	ایلام
۱۱۲۵	۳۳° ۲۹'	۴۸° ۲۲'	خرم آباد
۱۵۵۰	۳۲° ۳۷'	۵۱° ۴۰'	اصفهان
۱۴۳	۳۳° ۲۴'	۴۸° ۲۳'	دزفول
۲۰۴۵	۳۲° ۱۷'	۵۰° ۵۱'	شهرکرد
۲۲	۳۱° ۲۰'	۴۸° ۴۰'	اهواز
۱۸۳۱	۳۰° ۵۰'	۵۱° ۴۱'	یاسوج
۶	۳۰° ۲۲'	۴۸° ۱۵'	آبادان
۱۴۸۱	۲۹° ۳۲'	۵۲° ۳۶'	شیراز
۲۰	۲۸° ۵۹'	۵۰° ۵۰'	بوشهر

مواد و روش کار

- داده‌ها

در تحقیق حاضر از داده‌های مجموع بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در محدوده‌ی مورد مطالعه و مجاور آن طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۰-۲۰۰۰ استفاده گردید. خصوصیات ایستگاهها در جدول (۲) گنجانده شده است. به منظور تصحیح آماری داده‌های بارندگی ماهانه، آزمون تصادفی بودن یا همگنی داده‌ها انجام گردید، که کلیه ایستگاهها در سطح معنی داری ۱۰٪ همگن تشخیص داده شد.

تشکیل سری زمانی و برازش بهترین توزیع

پس از اطمینان از همگن بودن داده‌های ماهانه؛ سری‌های زمانی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه تشکیل شد. هریک از سری‌های زمانی با توزیع‌های مختلف برازش داده شد و در نهایت بهترین روش توزیع گاما و پیرسون تیپ سه شناخته شد. توزیع آماری گاما برازش خوبی با سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد. تابع توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی به صورت زیر تعریف شده است (Mckee, 1993: 85).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{برای } x > 0$$

در اینجا $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، $x > 0$ مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است.

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده در رابطه با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین می‌باشد. پارامترهای α و β تابع چگالی گاما برای هر ایستگاه و برای هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال برآورد می‌شوند. با استفاده از روش حداکثر درست نمایی می‌توان مقادیر بهینه α و β را براساس معادلات زیر برآورد کرد (Mckee, 1993: 86).

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad \text{و} \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{در اینجا}$$

n : تعداد مشاهدات بارندگی، \bar{x} : میانگین بارندگی تجمعی برای یکماه مشخص در طی دوره آماری
 نتایج پارامترهای محاسبه شده در مرحله بعد برای پیدا کردن، احتمال تجمعی بارندگی برای ماه و مقیاس زمانی مشخص و برای هریک از ایستگاهها استفاده می‌شود. احتمال تجمعی، با فرض $t = x/\tilde{\beta}$ به تابع گامای ناقص تبدیل می‌شود.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

زمانی که تابع گاما برای $x=0$ تعریف نشده باشد و توزیع بارندگی دارای مقادیر صفر باشد؛ در این حالت احتمال تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

در اینجا q احتمال بارندگی صفر است و $H(x)$ مقادیر انتقال داده شده به نمره Z با استفاده از تقریب آبراموتیز و استوگان است. این تقریب احتمالات تجمعی را به متغیر تصادفی نرمال استاندارد SPI تبدیل می‌نماید (Mckee, 1993: 86).

$$Z = SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0.5 < H(x) < 1$$

در اینجا

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad 0.5 < H(x) < 1.0$$

و ضرایب مربوط برابر با

$$c_0 = 2.515517 \quad d_1 = 1.432788$$

$$c_1 = 0.8028530 \quad d_2 = 0.189269$$

$$c_2 = 0.010328 \quad d_3 = 0.001308$$

بدین ترتیب SPI نمره Z را نشان می‌دهد و آن نرمالیزه شده است و مقدار انحرافات بالاتر و یا پایین تر از میانگین را نشان می‌دهد.

بررسی و تحلیل دنباله‌ها

از روش‌های متداول تحلیل خشکسالی؛ تئوری Run است، یوجویچ با استفاده از تئوری Run سه ویژگی مهم خشکسالی (تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی) را تعریف و تشریح کرد و نتیجه گرفت که تئوری Run کاربردهای مؤثری در تحلیل روند خشکسالی‌ها دارد. تحلیل خشکسالی بر پایه تئوری Run مربوط به متغیرهای گسسته است (Yevjevich, 1967: 23).
به منظور بررسی خصوصیات خشکسالی (زمان شروع، زمان خاتمه، تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی و بزرگی خشکسالی) از تئوری Run (تحلیل دنباله‌ها) استفاده گردید. این تئوری فرآیند شروع و خاتمه خشکسالی و ترسالی را از حد بالا و پایین یک آستانه‌ی بحرانی تعیین می‌نماید (Moye, et al. 1988: 129).

در تحقیق حاضر از خروجی شاخص بارش استاندارد شده به منظور تحلیل خصوصیات خشکسالی‌ها استفاده شده است. دوره‌ای که مقادیر SPI دائماً منفی باشد و به مقدار $0/5-$ و یا کمتر برسد، خشکسالی شروع و استیلا می‌یابد و زمانی که مقادیر SPI مثبت شود، خشکسالی خاتمه می‌یابد. با توجه به آستانه‌های تعریف شده‌ی فوق و با استفاد از سری‌های زمانی SPI و تئوری دنباله‌ها، تداوم ماه‌های خشک و تر برای بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه طی دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۰ برای ایستگاههای مورد مطالعه محاسبه شد. بدین ترتیب برای هر یک از دوره‌های خشکسالی؛ ماه شروع، ماه خاتمه و تداوم دوره خشکسالی تعیین گردید. به منظور محاسبه‌ی شدت و بزرگی خشکسالی از رابطه‌ی زیر استفاده شد (Mckee, et al. 1995: 235).

$$DM = -\left[\sum_{i=1}^i SPI_{ij}\right]$$

تحلیل فراوانی خشکسالی

جهت تعیین نحوه‌ی تطابق توزیع‌های مختلف آماری بر سری داده‌های شدت و تداوم خشکسالی و انتخاب بهترین توزیع فراوانی از برنامه کامپیوتری HYFA استفاده شد؛ و نحوه‌ی برآزش توزیع‌های مختلف بر سری داده‌های شدت و تداوم خشکسالی مورد آزمون قرار گرفت و مشاهده گردید که توزیع پیرسون در تمامی ایستگاهها نسبت به بقیه توزیع‌ها انطباق بهتری بر سری‌های شدت و تداوم خشکسالی دارد. بنابراین براساس توزیع فوق شدت خشکسالی برای تداوم‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ ماهه و با دوره برگشت‌های ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله برای هریک از ایستگاهها برآورد و منحنی‌های شدت - مدت و دوره برگشت ایستگاهها تهیه و نقشه‌های هم شدت منطقه ترسیم شد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده ویژگی‌های خشکسالی از قبیل شدت، تداوم و بزرگی خشکسالی برای ایستگاههای منتخب حوضه‌های جنوب غرب ایران بر اساس روش تئوری Runs محاسبه گردید، سپس خشکسالی‌ها با تداوم‌های مختلف (۲، ۴، ۶ و ۸ ماهه) تعیین و در جداول (۳) تا (۸) تنظیم گردید سپس شدت‌های هر تداوم برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف با استفاده از توزیع پیرسون محاسبه و منحنی‌های شدت، تداوم و دوره‌ی بازگشت‌های خشکسالی برای ایستگاههای منتخب استخراج شد. بررسی جداول (۳) تا (۸) و منحنی‌های شدت، تداوم و دوره‌ی بازگشت خشکسالی (شکل ۳) نشان می‌دهد که بزرگی خشکسالی با تداوم‌های کوتاه‌مدت دو تا چهار ماهه نسبت به تداوم‌های بلندمدت شش و هشت ماهه کمتر است، به عبارتی دوره‌های کوتاه‌مدت دو تا چهار ماهه از تداوم زیادی برخوردار

نبوده و شدیداً تحت تأثیر بارش‌های روزانه می‌باشند، در حالیکه دوره‌های زمانی بلندمدت واکنش بسیار کندتری نسبت به تغییرات بارش نشان می‌دهند، بنابراین تداوم و بزرگی خشکسالی طی دوره‌های بلندمدت بیشتر از دوره‌های کوتاه مدت است، همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که وقوع خشکسالی با تداوم‌های مختلف، حتی در ایستگاههای واقع در مناطق کوهستانی و نیمه مرطوب (نظیر شهرکرد و خرم‌آباد) پدیده‌ای معمول می‌باشد.

جداول (۳) تا (۸) تحلیل شدت - مدت و دوره بازگشت خشکسالی‌ها بر اساس شاخص بارش استاندارد شده دوازده ماهه (۱۹۶۰-۲۰۰۰) است و با افزایش تداوم خشکسالی از تعداد رخداد خشکسالی‌ها کاسته می‌شود، در حالی که شدت و بزرگی خشکسالی‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۴: ایستگاه شهرکرد

تداوم دوره بازگشت (سال)	۲	۴	۶	۸
	ماهه	ماهه	ماهه	ماهه
۲	-۱/۷۴	-۴/۱۵	-۶/۶	-۸/۵
۳	-۱/۵۲	-۳/۶۱	-۵/۸	-۷/۴
۵	-۱/۳۴	-۳/۱۲	-۴/۹۷	-۶/۲
۱۰	-۱/۱۸	-۲/۶۲	-۴/۱	-۵/۱
۲۵	-۱/۰۶	-۲/۲	-۳/۲	-۳/۹۸
۵۰	-۰/۹۹	-۱/۷۸	-۲/۴	-۳/۱
۱۰۰	-۰/۹۵	-۱/۵	-۱/۸	-۲/۳

جدول ۳: ایستگاه خرم‌آباد

تداوم دوره بازگشت (سال)	۲	۴	۶	۸
	ماهه	ماهه	ماهه	ماهه
۲	-۱/۷۸	-۴/۰۸	-۷/۰۶	-۱۰/۶
۳	-۱/۵۴	-۳/۵	-۵/۹۷	-۸/۸
۵	-۱/۳۶	-۳/۰۳	-۴/۹۶	-۷/۱
۱۰	-۱/۲۱	-۲/۶۱	-۳/۹	-۵/۵
۲۵	-۱/۱	-۲/۱	-۲/۸	-۴/۱
۵۰	-۱/۰۵	-۱/۷۵	-۲/۳	-۳/۱
۱۰۰	-۱/۰۲	-۱/۶	-۱/۷	-۲/۱

جدول ۶: ایستگاه بوشهر

تداوم دوره بازگشت (سال)	۲	۴	۶	۸
	ماهه	ماهه	ماهه	ماهه
۲	-۲/۱۳	-۴/۳	-۶/۸۴	-۹/۵
۳	-۱/۷۹	-۳/۶	-۵/۷	-۷/۹
۵	-۱/۵۶	-۳/۲	-۴/۸	-۶/۵
۱۰	-۱/۳۹	-۲/۸۲	-۳/۹۸	-۵/۲
۲۵	-۱/۲۹	-۲/۶۹	-۳/۳	-۳/۹۵
۵۰	-۱/۲۶	-۲/۶۶	-۲/۹۶	-۳/۲۵
۱۰۰	۱/۲۴	-۲/۶۵	-۲/۷	-۲/۶۷

جدول ۵: ایستگاه آبادان

تداوم دوره بازگشت (سال)	۲	۴	۶	۸
	ماهه	ماهه	ماهه	ماهه
۲	-۲/۲۸	-۵/۱۲	-۷/۸	-۱۱/۳
۳	-۲/۰۹	-۴/۵۷	-۶/۹	-۱۰/۲
۵	-۱/۹۵	-۴/۰۷	-۵/۹	-۹/۲
۱۰	-۱/۷۴	-۳/۵۶	-۵	-۸/۱
۲۵	-۱/۵۶	-۳/۰۴	-۴/۲	-۷
۵۰	-۱/۴۴	-۲/۷۱	-۳/۶	-۵/۹
۱۰۰	-۱/۳۵	-۲/۴۳	-۳/۱	-۵/۱

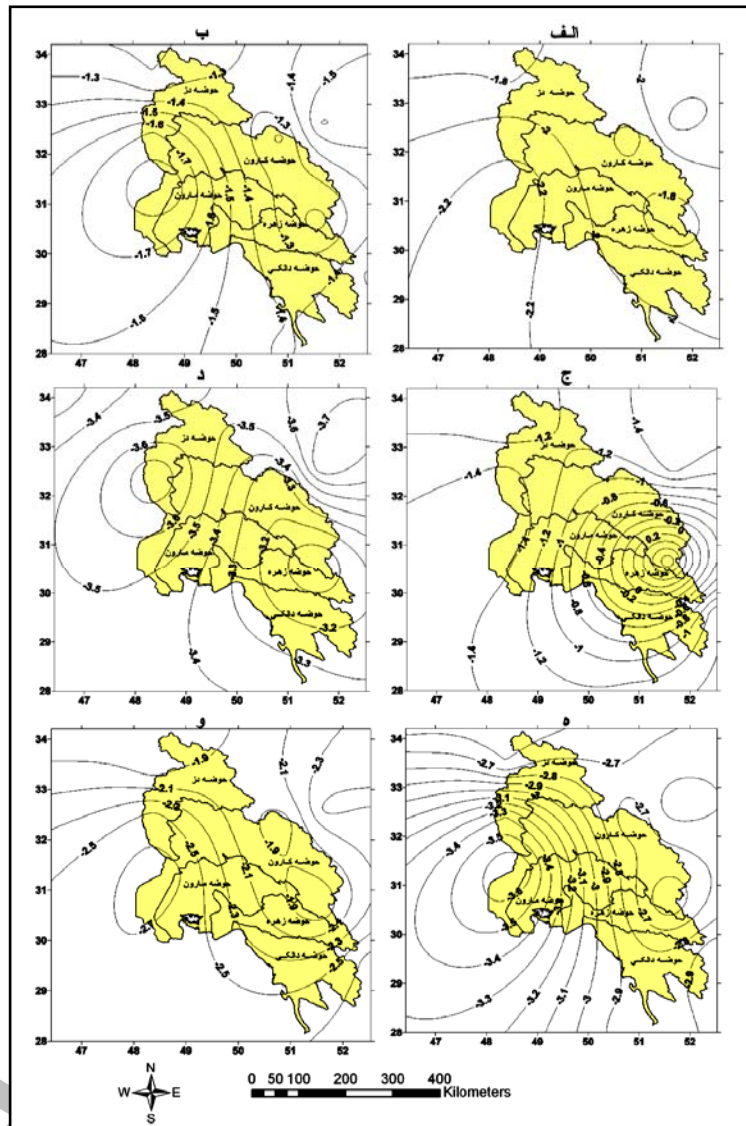
جدول ۸: ایستگاه اصفهان

تداوم دوره بازگشت (سال)	تداوم			
	۲ ماهه	۴ ماهه	۶ ماهه	۸ ماهه
۲	-۲/۲۷	-۴/۳۳	-۷/۲	-۸/۷
۳	-۱/۹۶	-۳/۶۷	-۶/۴۱	-۷/۵۷
۵	-۱/۷۵	-۳/۲۱	-۵/۹۲	-۶/۸۳
۱۰	-۱/۶۱	-۲/۸۷	-۵/۶۳	-۶/۳۲
۲۵	-۱/۵۴	-۲/۶۴	-۵/۴۹	-۶/۰۴
۵۰	-۱/۵۲	-۲/۵۵	-۵/۴۷	-۵/۹۵
۱۰۰	-۱/۵۱	-۲/۵۰	-۵/۴۶	-۵/۹۲

جدول ۷: ایستگاه شیراز

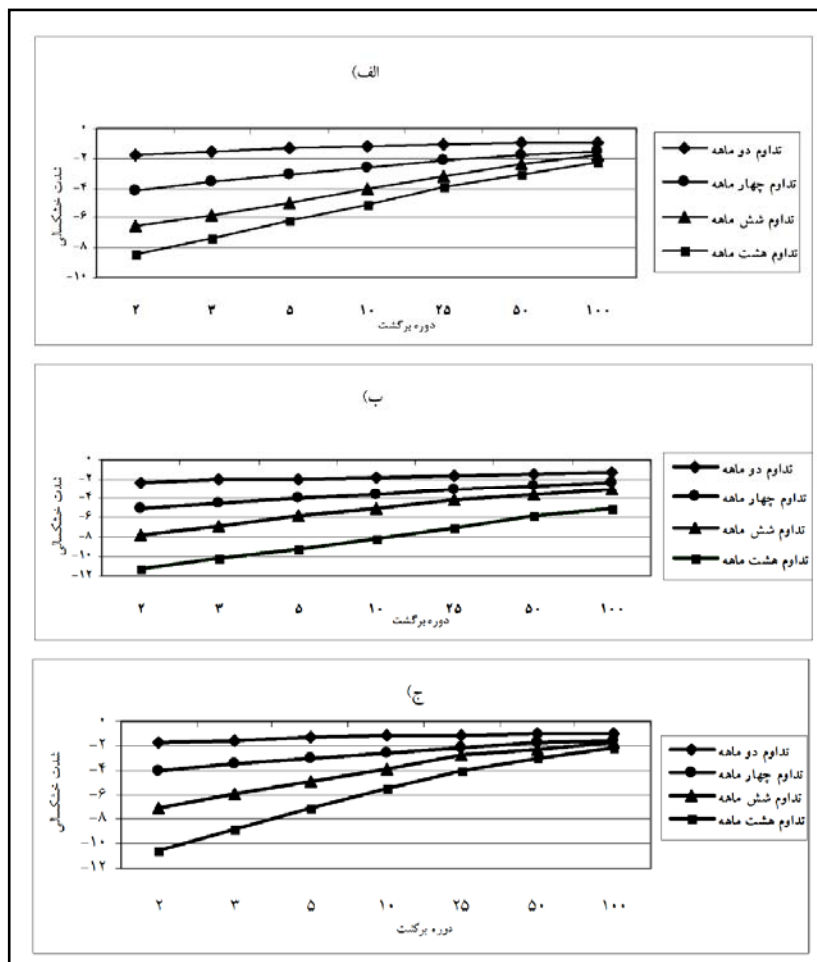
تداوم دوره بازگشت (سال)	تداوم			
	۲ ماهه	۴ ماهه	۶ ماهه	۸ ماهه
۲	-۱/۸۷	-۴/۰۲	-۵/۸	-۷/۷
۳	-۱/۶۵	-۳/۳۵	-۵	-۶/۹
۵	-۱/۵۵	-۳/۱	-۴/۸	-۶/۷
۱۰	-۱/۵۱	-۳	-۴/۷	-۶/۶
۲۵	-۱/۴۶	-۲/۹	-۴/۶	-۶/۵
۵۰	-۱/۳۷	-۲/۸	-۴/۵۸	-۶/۴
۱۰۰	-۱/۲۷	-۲/۷	-۴/۵	-۶/۲

بررسی نقشه هم شدت خشکسالی (شکل ۲) حاکی از آن است که وقوع خشکسالی‌های شدید در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی حوضه کارون و بخش شرقی حوضه شاپور-دالکی از شدت بیشتری برخوردار است، در حالی که مناطق مرتفع حوضه‌های مورد مطالعه شرایط ملایمتری را نشان می‌دهند. در نهایت با توجه به انعطاف‌پذیری شاخص بارش استاندارد شده و قابلیت‌های ویژه این شاخص شامل نیاز اطلاعاتی کم نسبت به شاخص‌هایی نظیر پالمر و محاسبه‌ی ساده‌تر آن و قابلیت ارزیابی و پایش نزدیک به زمان واقعی (ماهانه) این شاخص را در موقعیت مناسبی قرار داده است، بنابراین به کارگیری این روش و تحلیل فراوانی خشکسالی‌ها بر اساس آن می‌تواند در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب بسیار مفید و کارآمد باشد.



شکل ۲: نقشه‌ی هم‌شدت خشکسالی بر اساس مقیاس زمانی دوازده ماهه طی دوره آماری ۱۹۶۰-۲۰۰۰ در حوضه‌های جنوب غربی ایران

الف) تداوم دو ماهه و دوره‌ی بازگشت دو ساله (ب) تداوم دو ماهه و دوره‌ی بازگشت ده ساله
 ج) تداوم چهار ماهه و دوره‌ی بازگشت دو ساله (د) تداوم چهار ماهه و دوره‌ی بازگشت پنجاه ساله
 ه) تداوم شش ماهه و دوره‌ی بازگشت دو ساله (و) تداوم شش ماهه و دوره‌ی بازگشت پنجاه ساله



شکل ۳: شدت - مدت و دوره‌ی بازگشت خشکسالی براساس بازه زمانی دوازده ماهه طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۰-۲۰۰۰
 الف) ایستگاه شهرکرد ب) ایستگاه آبادان ج) ایستگاه خرم آباد

منابع و مآخذ

- ۱- بذرافشان، جواد (۱۳۸۱): مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشگاه تهران - کرج.
- ۲- حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۲): پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده. نشریه علوم جغرافیایی. شماره ۱. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۳- فتاحی، ابراهیم (۱۳۸۳): طبقه‌بندی همدیدی فضایی توده‌های هوا با تأکید بر دوره‌های خشک. پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۴- لشنی زند، مهرا (۱۳۸۲): بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. دانشگاه اصفهان.
- 5- Benjamin, L. H and A. saunders (2002) A drought climatology for Europe Int. J. climatol. 22 1571-1592 PP.
- 6- Dalezios, N. R., et al (2000) severity duration frequency analysis of droughts and wet periods in Greece, Hydrology Seie, 45(5), 751-768 PP.
- 7- Dracup. J. A, et al (1980) On the definition of drought, water Resource Res. 16(2), 297-302 PP.
- 8- Edwards, D. C, and T. B Makee (1997) characteristics of 20th century drought in united states and Multiple time scales climatology Report 97-2, Atmospheric science, Colorado state university.
- 9- Guttmon, N. B, 1988 Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index, Journal American water resource 34 (1), 113-121 PP.
- 10- Henriques, A. G, and M. J. Santos (1998) Regional drought distribution Model. Phys, Chem, Earth, 24.
- 11- Hong. W and J. Hayes (2001) An Evaluation of the standardized precipitation Index, The China- Z Index and the statistical Z-Score Int. J. Climatol, 21745-758 PP.
- 12- Mckee, T. B, N. J. Doesken and J. Kleist (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales 8 Conf, Applied climatology.
- 13- Mckee, T. B, N. J. Doesken and J. Kleist (1995) Drought Monitoring with Multiple time scales.9 Conf. Applied climatology, 15-20 Jan, Dallas 233-236 PP.
- 14- McKee T.B Doesken N.J(1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society. 179-18u PP.
- 15- Moye, L. A., et al (1988) The theory of runs with applications to drought predication, Journal Hydrology, 103, 127-137 PP.
- 16- R ichard, R. Heim (2002) A Review of Twentieth century drought Indices used in the united states, American Meteorological society, Aug 2002, 1149-1165 PP.
- 17- Y evjevich, V. (1967) An approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts. Hydrology paper 23, Colorado state university fort colons, USA.