

ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) (مطالعه موردی حوضه کرخه)

محمدهادی نظری فر^۱، امیر سالاری^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۷

چکیده

پایش خشکسالی یکی از عوامل مهم و کلیدی در مدیریت ریسک خشکسالی است و کاربرد نمایه‌های خشکسالی از جمله شاخص بارش استاندارد (SPI) ابزار مفیدی در این راستا می‌باشند. هدف این تحقیق، ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک خشکسالی‌ها در سال‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه کرخه است. به این منظور شاخص بارش استاندارد (SPI) به‌عنوان شاخص منتخب برای بررسی خشکسالی‌ها در ۳۳ ایستگاه داخل و خارج حوضه در پنج مقیاس زمانی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که کمترین مقدار SPI مربوط به ایستگاه گوار کرمانشاه، شدیدترین تداوم از نظر بزرگی خشکسالی‌ها متعلق به ایستگاه بیدرود خوزستان و طولانی‌ترین تداوم مربوط به ایستگاه جوکار همدان بوده است. نقشه‌های گستره ریسک خشکسالی برای دوره بازگشت‌های متفاوت نشان داد که در دوره بازگشت پنج‌ساله، نواحی شمال (ایستگاه بوانه استان کردستان)، شمال شرقی (استان همدان) و شمال غربی (استان کرمانشاه) حوضه از نظر خطر ریسک خشکسالی مستعدترند. این وضعیت برای دوره بازگشت ده‌ساله بیشتر شامل نواحی شمالی (ایستگاه بوانه استان کردستان)، شمال غربی (استان کرمانشاه) و مرکزی (شمال استان خوزستان) حوضه می‌شود. استعداد خطر خشکسالی برای دوره بازگشت بیست‌ساله، بیشتر نواحی شمالی (ایستگاه بوانه استان کردستان) و شمال غربی (استان کرمانشاه) را تحت تأثیر قرار داده است، درحالی‌که برای دوره بازگشت پنجاه‌ساله، علاوه بر نواحی شمالی (ایستگاه بوانه استان کردستان) و شمال غربی (استان کرمانشاه)، نواحی شمال شرقی (استان همدان) نیز در معرض خطر خشکسالی قرار گرفته است. نتیجه کلی نشان می‌دهد که نواحی پیرامونی حوضه، مخصوصاً نواحی شمال غربی، شمال شرقی و بخش‌های کمی از نواحی شرقی و جنوب شرقی، مستعدترین مناطق تحت تأثیر خشکسالی هستند و با افزایش دوره‌های بازگشت، از میزان شدت ریسک خشکسالی کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، کرخه، مدیریت ریسک.

۱. کارشناس پژوهشی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه تولیدات گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، نویسنده مسئول / Email: Salari.1361@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی همانند دیگر بلاهای طبیعی، هر ساله خسارت‌های سنگینی بر بسیاری از کشورها وارد می‌کند. این در حالی است که می‌توان با یک برنامه‌ریزی دقیق و جامع، بسیاری از این خسارت‌ها را کاهش داد. تا سال ۱۹۹۰، تقریباً در همه کشورهای دنیا، برنامه‌های جامعی برای مقابله با پدیده‌های خشکسالی وجود نداشت. از این رو به‌طور معمول پس از وقوع یک خشکسالی و بروز خسارت‌های سنگین در یک کشور، دفتر کمیته‌های مدیریت بحران تشکیل می‌شد؛ در این دفترها، تدابیر و اندیشه‌ها، واکنشی و انفعالی بود، این تدابیر در زمان اوج شدت خشکسالی‌ها به‌صورت شتاب‌زده و سریع تهیه و به‌اجرا درمی‌آمد و در آن‌ها به کاهش اثرات خشکسالی کمتر توجه می‌شد. برخی تدابیر پس از پایان خشکسالی و به‌صورت مداخله دولت‌ها در غالب کمک‌های اضطراری صورت می‌گرفت (استیون^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). اما وقوع چندین خشکسالی شدید و گسترده مثل خشکسالی سال ۱۹۹۶ در ایالات متحده آمریکا موجب شد نگاه متخصصان، برنامه‌ریزان و دولت آمریکا به مدیریت خشکسالی از مدیریت بحران به مدیریت ریسک خشکسالی تغییر یابد (مرکز بین‌المللی کاهش بلاها^۲، ۲۰۰۷). برای مدیریت ریسک تعاریف زیادی عنوان شده است؛ طبق تعریفی، مدیریت ریسک کاربرد سیستماتیک سیاست‌های مدیریتی، رویه‌ها و فرایندهای مربوط به فعالیت‌های تحلیل، ارزیابی و کنترل ریسک است؛ به‌عبارتی، مدیریت ریسک عبارت از فرایند مستندسازی تصمیمات نهایی اتخاذشده و شناسایی و به‌کارگیری معیارهایی است که می‌توان از آن‌ها برای رساندن ریسک تا سطحی قابل قبول استفاده کرد (هد^۳، ۱۹۹۷).

با افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها، توجه به مدیریت ریسک برای کاهش اثرات خشکسالی در بین کشورهای مختلف افزایش پیدا کرده است. امروزه مدیریت ریسک خشکسالی در بسیاری از ایالت‌های آمریکا، کانادا، مکزیک، استرالیا و بسیاری از کشورهای اروپایی، جای مدیریت بحران

را گرفته و به‌اجرا درمی‌آید. کشورهای استرالیا، چین و آفریقای جنوبی نیز مدیریت ریسک را جایگزین کرده‌اند. کشورهای منطقه مدیترانه نیز با همکاری یکدیگر، مدیریت ریسک خشکسالی را به‌صورت منطقه‌ای در دست مطالعه و بررسی دارند (هنز^۴، ۲۰۰۴). ویلیامز^۵ (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای که با عنوان مدیریت ریسک خشکسالی در آفریقای جنوبی انجام داد، بیان کرد که افزایش میزان درآمدهای اقتصادی و کاهش میزان خطرات اجتماعی به‌کمک مدیریت ریسک خشکسالی از طریق افزایش تحقیقات در زمینه پیش‌بینی و به‌روزرسانی نتایج امکان‌پذیر است.

ارزیابی و مدیریت ریسک خشکسالی نیاز به تعیین مقیاس زمان دارد؛ زیرا شروع، شدت، تداوم، درجه و پایان خشکسالی، همگی به مقیاس زمانی وابسته است، به‌علت اینکه SPI این فاکتورها را اندازه‌گیری می‌کند، تعریف خشکسالی براساس نمایه SPI می‌تواند مفید باشد. نمایه SPI اولین بار توسط مک کی^۶ و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین احتمال دوره خشکسالی توسعه یافت. این نمایه برای تعیین کمبود بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده و نشان‌دهنده مقیاس زمانی اثرات خشکسالی بر میزان قابلیت منابع آب است (همان). با توجه به این موضوع، مک کی و همکاران، SPI را برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند (مک کی و همکاران، ۱۹۹۷).

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلفی از جمله SPI، PDSI، PNI، RDI و... انجام می‌گیرد. محققان زیادی در ایران و جهان از جمله تساکیریس^۷ و همکاران (۲۰۱۳)، ونگلیس^۸ و همکاران (۲۰۱۳)، زهتاییان و همکاران (۲۰۱۳)، تساکیریس و همکاران (۲۰۱۱)، مندیسینو^۹ و همکاران (۲۰۰۸)، خان و همکاران (۲۰۰۸)، گلیان و همکاران (۲۰۱۵) و کاظم‌زاده و ملکیان (۲۰۱۵) در این زمینه به بررسی پرداخته‌اند.

انصافی‌مقدم (۲۰۰۷) در ارزیابی شاخص‌های متداول خشکسالی اقلیمی در حوضه دریاچه نمک به این نتیجه رسید

4. Henz
5. Williams
6. Mc Kee
7. Tsakiris
8. Vangelis
9. Mendicino

1. Steven
2. International Strategy for Disaster Reduction
3. Hed

بوردی^۱ و همکاران با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش برای پایش خشکسالی درازمدت ایتالیا، نتایج حاصل را برای مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه ترسیم و رفتارهای SPI ۲۴ ماهه را برای نواحی مختلف ایتالیا از ژانویه ۱۹۵۰ تا اوت ۲۰۰۰ نشان داده‌اند و عنوان کردند که SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت (سه‌ماهه) دارای نوسانات زیاد است و در مقیاس زمانی بلندمدت این نوسانات کاهش می‌یابد (بوردی و همکاران، ۲۰۰۱). هاینز^۲ و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی خشکسالی سال ۱۹۹۶ ایالت کلرادو آمریکا با استفاده از SPI، اثبات کردند که این شاخص ضمن تشخیص زمان شروع خشکسالی و پیشرفت آن، زمان شروع خشکسالی را در سال ۱۹۹۶ در مقیاس یک‌ماهه بهتر از شاخص خشکسالی پالمر نشان می‌دهد.

در برنامه‌ریزی برای مقابله با خشکسالی، گذر از مدیریت بحران و روی آوردن به مدیریت ریسک خشکسالی به دلیل عدم شناخت کافی از رفتار و ویژگی‌های خشکسالی و خطرات ناشی از آن مشکل است. در ایران به شناخت و تحلیل خشکسالی‌ها کمتر توجه و پرداخته شده است و ناشناخته‌ها درباره پدیده خشکسالی بسیار است. برای حل این مسئله لازم است که با پایش مسئله خشکسالی، مناطق دارای ریسک بالا و مستعد خشکسالی شناسایی و اقدامات و برنامه‌ریزی‌های کاهش ریسک خشکسالی صورت گیرد. از این رو در این تحقیق، ابتدا با پایش خشکسالی حوضه کرخه از طریق محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI) شدت و تداوم خشکسالی‌ها در منطقه تجزیه و تحلیل شده و مناطق مستعد ریسک شناسایی و براساس احتمال وقوع، طبقه‌بندی کیفی و نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شد.

مواد و روش‌ها

حوضه کرخه بین مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۹۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۹۵ دقیقه شمالی قرار دارد. مساحت حوضه بالغ بر ۵۱۳۴۸ کیلومتر مربع است. درجه حرارت در سطح حوضه نیز

که شاخص دهک‌ها (DI) و شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمامی ایستگاه‌های تحت مطالعه نشان داده و این شاخص‌ها، کارایی بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها از جنبه نمایش خشکسالی بسیار شدید دارند.

مساعدی و همکاران (۲۰۰۸) برای ارزیابی و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان استفاده کردند و به نتایج مختلفی از جمله وجود یک سیکل یازده‌ساله SPI گلستان از شاخص ترسالی یا خشکسالی مهم و حاکم بودن شرایط با شدت خشکسالی بیشتر در مناطق مرزی و نوار ساحلی دریای خزر رسیدند.

مطالعه شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) در شرق استان کرمانشاه نشان داد که شاخص SPI شاخص مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی بوده و تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی با خشکسالی مواجه‌اند.

ایمانی و همکاران (۲۰۱۲) نیز افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در اثر خشکسالی را نتیجه گرفته و نشان دادند که بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی دشت بهاباد یزد همبستگی معنی‌داری در مقیاس زمانی درازمدت وجود دارد. آل‌بوعلی و همکاران (۲۰۱۶) طی بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI در دشت کاشان بیان کردند که علاوه بر خشکسالی، بهره‌برداری بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در دشت مذکور، عامل افت سطح آب زیرزمینی بوده و سهم برداشت بی‌رویه به مراتب بیش از خشکسالی است.

طالبی و همکاران (۲۰۱۲) و نادریان‌فر و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی همیشه یک تأخیر زمانی وجود دارد. مطالعه خوشحال و همکاران (۲۰۱۳) در دشت دهگلان استان کردستان نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین فراسنج‌های اقلیمی و سطح ایستابی وجود ندارد. مطالعه ولی و روستایی (۲۰۱۶) با عنوان «بررسی روند سری‌های زمانی خشکسالی در نیم قرن اخیر در ایران مرکزی» نشان داد که شاخص بارش استاندارد در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌های به‌طور معنی‌داری روند منفی داشته و این روند منفی در سال‌های آتی نیز ادامه خواهد یافت.

$$T = E(N = n) = \sum_{n=0}^{\infty} n f_{n, D_0} = \frac{1}{p} \quad (2)$$

همچنین ریسک R_{n, D_0} طی دوره برنامه ریزی L از رابطه زیر تعیین می شود:

$$R_{n, D_0} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad (3)$$

در این رابطه، D_0 تداوم بحرانی خشکسالی است.

پس از کمی کردن میزان ریسک به ازای دوره بازگشت های متفاوت برای انواع خشکسالی های رخ داده از نظر شدیدترین تداوم و طولانی ترین تداوم، احتمال وقوع متناظر با میزان هر ریسک مطابق جدول (۱) مشخص شد.

پهنه بندی خشکسالی های استان همدان (برای نمونه):

برای تهیه نقشه های خشکسالی استان همدان از امکانات نرم افزارهای مورد استفاده در GIS شامل Arcview و Arcinfo استفاده شد. از نرم افزار Arcview برای ترسیم نقشه ها و خطوط هم شدت از نظر خشکسالی و از نرم افزار Arcinfo برای تبدیل مختصات شبکه جغرافیایی به مختصات UTM استفاده شد. در مطالعه حاضر، از روش های درون یابی IDW^۲ به منظور تهیه گستره خشکسالی ها استفاده شد. به منظور برآورد پارامترهای موجود در روش میان یابی IDW از روش آزمون و خطا و به دست آوردن میزان خطا استفاده شد و نقشه های خشکسالی در مقیاس های زمانی مورد مطالعه، نقشه های طولانی ترین تداوم ها، نقشه های دوره های بازگشت خشکسالی از نظر تداوم و گستردگی و نقشه های ریسک وقوع خشکسالی ها تهیه شدند.

از طرفی محاسبه میزان بزرگی خشکسالی از جمله موارد مهمی است که در هنگام وقوع خشکسالی، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$DM = -\left(\sum_{j=1}^X SPI_{ij}\right) \quad (4)$$

که در آن: J پارامتری است که مقدار آن براساس اولین ماه خشکسالی، از عدد ۱ شروع شده و به تعداد ماه های یک رویداد خشکسالی (X) افزایش می یابد و SPI_{ij} شاخص خشکسالی ماه های کمتر از ۱- براساس مقیاس زمانی i در ماه j ام خشکسالی است، به دلیل وجود دوره های مختلف خشکسالی در طول یک دوره آماری بلندمدت، مثلاً ۳۰ سال،

متغیر بوده و از حداقل منهای ۲۵ درجه تا حداکثر ۵۰ درجه سانتی گراد در طول سال تغییر می کند. متوسط سالانه ریزش های جوی در حوضه آبریز کرخه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر در سال متغیر بوده و معمولاً نیمی از کل بارندگی سالانه در زمستان نازل می شود و پس از آن، بیشترین بارندگی مربوط به فصل پاییز و بهار است. حوضه آبریز کرخه از نظر آب و هوایی به اقلیم ویژه دریای مدیترانه تعلق دارد (شکل ۱).

آمار ایستگاه های موجود در منطقه به صورت ماهانه تهیه و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف از جمله داشتن آمار طولانی مدت، داشتن آمار ناقص کم، پراکنش مناسب در منطقه، تعداد ۳۳ ایستگاه واقع در داخل و خارج حوضه با طول دوره آماری مشترک ۲۹ سال انتخاب شد. داده های ایستگاه های ناقص به منظور بازسازی و تطویل آمار به کمک نرم افزار SPSS و با روش ضریب همبستگی براساس ایستگاه های مینا، بازسازی شد و صحت و همگنی داده ها به روش ران تست^۱ مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، از SPI در پنج مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ ماهه استفاده شد.

استخراج مقادیر شدت های خشکسالی ایستگاه ها به کمک نرم افزار طراحی شده در این زمینه و نیز ماکروهای نوشته شده در محیط اکسل انجام شد و به منظور بررسی دوره های بازگشت خشکسالی ها از دو ویژگی تداوم و گستردگی استفاده شد. دستیابی به ویژگی های خشکسالی نظیر دوره بازگشت و ریسک، اهمیت بسیاری در برنامه ریزی و مدیریت پروژه های منابع آب دارد. ریسک خشکسالی عبارت است از احتمال عبور از یک پدیده بحرانی در مدت زمان معین (محسنی ساروی و همکاران، ۲۰۰۵).

برای تعیین احتمال وقوع ریسک ابتدا میزان ریسک طبق رابطه (۱)، به صورت کمی درآمد (صفدری، ۲۰۰۳). اگر N معرف آزمایشی باشد که در آن $D \geq D_0$ برای اولین بار اتفاق می افتد، بنابراین، تابع جرم احتمال N از نوع هندسی خواهد بود؛ یعنی:

$$f_{n, D_0} = P(N = n) = p(1-p)^{n-1}, n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

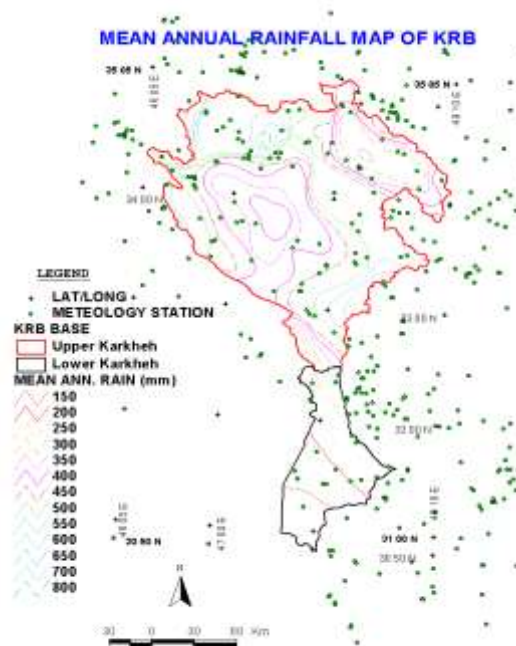
و دوره بازگشت T برابر است با:

نتایج

مهم‌ترین ویژگی‌های خشکسالی از نظر اهمیت در انجام طرح‌های مطالعاتی و اجرایی در منطقه به صورت نمونه و برای مقیاس‌های زمانی دوازده‌ماهه در جدول (۲) ارائه شد. بر این اساس، کمترین مقدار SPI مشاهده شده مربوط به ماه ژانویه سال ۱۹۷۱ در ایستگاه گوار استان کرمانشاه با مقدار $-۳/۴۴$ است که برحسب جدول طبقه‌بندی SPI در طبقه خشکسالی بسیار شدید قرار می‌گیرد.

ایستگاه‌های اسدآباد استان همدان و بایزید استان لرستان با دارا بودن مقادیر $-۳/۳۶$ و $-۳/۳۴$ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین سال‌هایی که شدیدترین مقادیر مشاهده شده در سطح منطقه رخ داده است، سال ۲۰۰۰ فراوانی بیشتری نسبت به سایر سال‌ها دارد. در بین تداوم‌های طولانی خشکسالی، ایستگاه جوکار استان همدان با تحمل ۹۸ ماه متوالی خشکسالی و میزان شدت متوسط خشکسالی (ADI) $-۰/۶$ و بزرگی خشکسالی (DM) معادل با ۵۵ طولانی‌ترین تداوم را از نظر طول دوره خشکسالی به خود اختصاص داده است پس از این نقطه، ایستگاه آهودشت استان خوزستان در رتبه دوم قرار دارد و ۸۲ ماه به‌طور متوالی، خشکسالی را تجربه کرده است. در بین شدیدترین تداوم‌های خشکسالی در ایستگاه‌ها، ایستگاه بیدرود استان خوزستان با طول مدت خشکسالی بیست‌ماهه و میزان ADI برابر با $-۲/۷۸$ ، شدیدترین خشکسالی را از نظر بزرگی به خود اختصاص داده است. تداوم یازده‌ماهه خشکسالی در ایستگاه گوار استان کرمانشاه، از نظر شدیدترین تداوم‌ها در رتبه دوم قرار دارد. همچنین در بررسی نقشه‌های گستره وضعیت طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی، نقشه گستره میزان تداوم خشکسالی مربوط به این وضعیت، شدت بیشتری را در بخش‌های شمالی، شمال‌شرقی و مرکزی در اطراف ایستگاه‌های جوکار، سولاران، بایزید و بوانه نشان می‌دهد (شکل ۲- الف).

برای درک بهتر وضعیت آسیب‌پذیری هر ایستگاه، مجموع DM‌های دوره‌های مختلف محاسبه می‌شود؛ پس از این مرحله، شاخص خشکسالی تجمعی (ADI) که نسبت بزرگی خشکسالی بر تداوم آن است، محاسبه می‌گردد.



شکل (۱): حوزه تحت مطالعه همراه با جانمایی ایستگاه‌ها

جدول (۱): احتمال وقوع متناظر با میزان هر ریسک (آلبرت و دوروفی، ۲۰۰۲)

احتمال وقوع	میزان ریسک	احتمال وقوع	میزان ریسک
قریب الوقوع	$>/۸۵$	ممکن	$(۱۵-۴۰)\%$
بالا	$(۶۰-۸۵)\%$	پایین	$(۱۰-۱۵)\%$
محتمل	$(۵۰-۶۰)\%$	غیرمحتمل	$</۱۰$

1. Aggregate drought index
2. Albers and Dorofeev

جدول (۲): ویژگی‌های خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس زمانی دوازده ماهه

استان	ایستگاه	دوره آماری	دوره آماری	شدیدترین تداوم از نظر بزرگی			طولانی‌ترین تداوم (ماه)			شدیدترین مقدار مشاهده شده		
				DM	ADI	مقدار(ماه)	DM	ADI	مقدار(ماه)	سال	ماه	مقدار
همدان	جوکار	۱۹۷۶	۲۰۰۵	-۱/۱۸	-۱۶/۶	۱۴	-۰/۶	-۵۵	۹۸	۱۹۸۸	۳	-۱/۷۰
همدان	ملایر	۱۹۷۶	۲۰۰۵	-۱/۱۴	-۲۷/۴	۲۴	-۰/۵	-۱۷	۳۳	۱۹۸۷	۲	-۳/۲۰
همدان	اسدآباد	۱۹۷۶	۲۰۰۵	-۲/۰۸	-۴۱/۶	۲۰	-۱/۹	-۶۴	۳۳	۲۰۰۰	۸	-۳/۳۶
همدان	سورلان	۱۹۷۶	۲۰۰۵	-۱/۰۶	-۷/۴	۷	-۰/۸	-۳۴	۴۳	۱۹۹۹	۶	-۲/۰۰
ایلام	ایلام	۱۹۶۲	۲۰۰۵	-۱/۷۵	-۲۶/۳	۱۵	-۱/۴	-۵۵	۴۰	۲۰۰۰	۲	-۲/۶۳
ایلام	چنار	۱۹۷۵	۲۰۰۵	-۱/۴۲	-۲۲/۷	۱۶	-۱/۱	-۴۶	۴۰	۱۹۹۹	۳	-۲/۲۶
کرمانشاه	کنگاور	۱۹۷۷	۲۰۰۵	-۱/۱۰	-۱۴/۳	۱۳	-۱/۱	-۴۵	۴۰	۱۹۹۱	۱	-۲/۵۳
کرمانشاه	چوگاکبود	۱۹۷۳	۲۰۰۵	-۱/۹۲	-۲۳/۱	۱۲	-۰/۷	-۲۰	۲۷	۲۰۰۰	۲	-۲/۷۵
کرمانشاه	گوار	۱۹۶۶	۲۰۰۵	-۲/۵۶	-۲۸/۱	۱۱	-۰/۹	-۳۴	۳۸	۱۹۷۰	۱	-۳/۴۴
کرمانشاه	هسرین	۱۹۵۸	۲۰۰۵	-۲/۳۵	-۱۶/۵	۷	-۱/۱	-۴۳	۳۸	۱۹۶۴	۱۰	-۲/۶۸
کرمانشاه	جلوگیره	۱۹۷۶	۲۰۰۵	-۱/۴۷	-۲۹/۳	۲۰	-۱/۴	-۶۳	۴۵	۲۰۰۰	۱۰	-۲/۳۸
کرمانشاه	کال چوب	۱۹۶۶	۲۰۰۵	-۱/۷۰	-۲۰/۳	۱۲	-۱/۱	-۴۰	۳۷	۲۰۰۰	۲	-۲/۵۰
کرمانشاه	ماهی دشت	۱۹۷۲	۲۰۰۵	-۲/۳۸	-۲۳/۸	۱۰	-۱/۵	-۳۹	۲۵	۱۹۷۳	۱۱	-۳/۲۱
کرمانشاه	بیستون	۱۹۶۲	۲۰۰۵	-۱/۳۱	-۱۵/۷	۱۲	-۱/۲	-۵۰	۴۲	۱۹۷۹	۱	-۲/۶۸
کرمانشاه	پتاق	۱۹۷۶	۲۰۰۵	-۱/۷۰	-۳۴/۰	۲۰	-۱/۳	-۵۷	۴۵	۲۰۰۰	۱۰	-۳/۰۴
کرمانشاه	صحنه	۱۹۵۹	۲۰۰۵	-۱/۵۵	-۱۴/۰	۹	-۱/۳	-۵۱	۴۰	۱۹۷۳	۱۱	-۲/۵۴
کرمانشاه	سنقر	۱۹۵۹	۲۰۰۳	-۱/۰۹	-۵۶/۵	۵۲	-۰/۹	-۷۲	۸۲	۱۹۹۱	۲	-۱/۹۲
کرمانشاه	کرمانشاه	۱۹۵۲	۲۰۰۳	-۱/۹۹	-۴/۰	۲	-۰/۷	-۳۷	۵۳	۱۹۹۵	۱۲	-۲/۱۱
خوزستان	دزفول	۱۹۶۲	۲۰۰۳	-۱/۴۱	-۲۱/۱	۱۵	-۰/۹	-۳۶	۳۹	۱۹۶۷	۳	-۲/۶۶
خوزستان	هفت تپه	۱۹۶۲	۲۰۰۳	-۱/۵۱	-۵۱/۴	۳۴	-۱/۱	-۶۵	۵۹	۲۰۰۳	۱۰	-۲/۸۷
خوزستان	بیدرود	۱۹۷۳	۲۰۰۴	-۲/۷۸	-۵/۶	۲	-۰/۸	-۲۹	۳۸	۱۹۹۵	۱۲	-۳/۰۷
خوزستان	پل زال	۱۹۷۳	۲۰۰۳	-۱/۰۷	-۶۴/۲	۶۰	-۱/۰	-۶۶	۶۴	۱۹۸۱	۱۲	-۲/۴۱
خوزستان	آهودشت	۱۹۵۹	۲۰۰۳	-۱/۴۳	-۱۰/۱۳	۷۱	-۱/۳	-۱۰۸	۸۲	۱۹۶۴	۱۱	-۲/۶۲
خوزستان	حمیدیه	۱۹۷۱	۲۰۰۳	-۰/۹۵	-۱۵/۳	۱۶	-۱/۱	-۶۸	۶۱	۲۰۰۰	۳	-۲/۹۳
کردستان	بوانه	۱۹۶۶	۲۰۰۴	-۱/۰۹	-۱۶/۴	۱۵	-۱/۱	-۴۲	۳۷	۱۹۹۱	۲	-۲/۶۸
لرستان	بابازید	۱۹۶۶	۲۰۰۵	-۲/۰۴	-۴/۱	۲	-۰/۸	-۷	۸	۱۹۹۵	۱۲	-۳/۳۴
لرستان	چالانچولا	۱۹۷۶	۲۰۰۴	-۱/۱۸	-۲۱/۲	۱۸	-۰/۶	-۱۹	۳۰	۱۹۹۷	۱۰	-۲/۳۳
لرستان	چم گرداب	۱۹۷۶	۲۰۰۴	-۱/۲۲	-۱۹/۵	۱۶	-۱/۴	-۳۶	۲۷	۲۰۰۰	۲	-۲/۵۲
لرستان	کشور	۱۹۶۷	۲۰۰۳	-۰/۸۸	-۸/۸	۱۰	-۰/۷	-۲۷	۴۱	۱۹۷۳	۱۲	-۲/۴۸
لرستان	مهمولان	۱۹۶۶	۲۰۰۴	-۱/۸۳	-۱۲/۸	۷	-۱/۰	-۳۷	۳۹	۱۹۶۷	۴	-۳/۲۶
لرستان	نورآباد	۱۹۶۶	۲۰۰۳	-۱/۰۶	-۱۶/۰	۱۵	-۱/۱	-۴۲	۳۸	۱۹۶۷	۳	-۲/۱۴
لرستان	زاغه	۱۹۵۹	۲۰۰۴	-۱/۱۷	-۹/۴	۸	-۰/۷	-۳۵	۴۹	۱۹۷۳	۱۱	-۲/۵۴
لرستان	خرم‌آباد	۱۹۵۲	۲۰۰۳	-۱/۵۹	-۱۵/۹	۱۰	-۱/۳	-۴۹	۳۷	۱۹۷۳	۱۲	-۲/۵۸

*SPI: شاخص بارش استاندارد، **DM: بزرگی خشکسالی (مجموع مقادیر SPIهای منفی) و ***ADI: شدت متوسط خشکسالی (نسبت بزرگی خشکسالی بر تداوم آن)

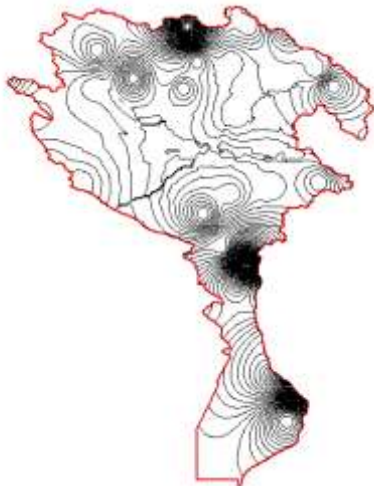
منحنی‌های هم‌ارزش بزرگی خشکسالی‌ها (DM) مطابق شکل (۲-ب) در نزدیکی مرزهای شمال شرقی و شمال غربی و بخشی از نواحی مرکزی در اطراف ایستگاه‌هایی مانند کال‌چوب، جلوگیره، بوانه و بیدرود از فشردگی بیشتری برخوردارند. اما گستره شدت متوسط خشکسالی‌ها (ADI) در نواحی شمال و شمال شرقی در اطراف ایستگاه‌های ماهی‌دشت، بیستون و کال‌چوب شدت بیشتری دارد (۲-ج). بررسی نقشه‌های گستره برای وضعیت شدیدترین تداوم

منحنی‌های هم‌ارزش بزرگی خشکسالی‌ها (DM) مطابق شکل (۲-ب) در نزدیکی مرزهای شمال شرقی و شمال غربی و بخشی از نواحی مرکزی در اطراف ایستگاه‌هایی مانند کال‌چوب، جلوگیره، بوانه و بیدرود از فشردگی بیشتری برخوردارند. اما گستره شدت متوسط خشکسالی‌ها (ADI) در نواحی شمال و شمال شرقی در اطراف ایستگاه‌های ماهی‌دشت، بیستون و کال‌چوب شدت بیشتری دارد (۲-ج). بررسی نقشه‌های گستره برای وضعیت شدیدترین تداوم



ج

شکل (۲): الف. گستره میزان تداوم‌های خشکسالی‌ها؛ ب. گستره بزرگی خشکسالی‌ها؛ ج. گستره شدت متوسط خشکسالی‌ها برای وضعیت طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی



الف

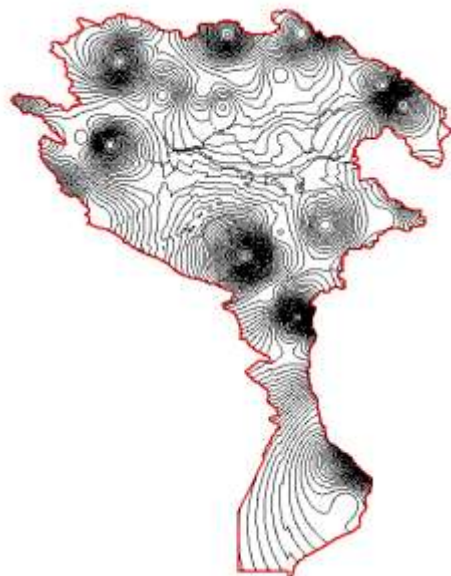


ب

از نظر بزرگی، نشان داد که گستره تداوم شدیدترین خشکسالی‌ها، به صورت متمرکز از فشردگی بیشتری در نواحی شمالی، مرکزی و جنوب شرقی در اطراف ایستگاه‌های پل زال، سنقر و آهودشت برخوردار است (شکل ۳-الف). نقشه گستره بزرگی خشکسالی‌ها (DM) مطابق شکل (۳-ب) نیز شدت بیشتری در نواحی شمالی، مرکزی و جنوب شرقی در اطراف ایستگاه‌های سنقر، کرمانشاه و آهودشت دارد. اما منحنی‌های هم‌ارزش شدت متوسط خشکسالی‌ها (ADI)، فشردگی بیشتری را در نواحی شمالی و قسمتی کوچکی از نواحی شرقی در اطراف ایستگاه‌های هسرین و بیدرود نشان می‌دهند (۳-ج).



الف



ب



ج

شکل (۳): الف. گستره تداوم‌های خشکسالی‌ها؛ ب. گستره بزرگی خشکسالی‌ها؛ ج. گستره شدت متوسط خشکسالی‌ها برای وضعیت شدیدترین تداوم از نظر بزرگی خشکسالی‌ها

جدول (۳): میزان ریسک و احتمال وقوع متناظر با میزان هر ریسک به‌ازای دوره بازگشت ۵ ساله

طولانی‌ترین تداوم (ماه)			طولانی‌ترین تداوم (ماه)			ایستگاه	استان	مقدار	میزان ریسک	احتمال وقوع
ایستگاه	استان	مقدار	میزان ریسک	احتمال وقوع						
همدان	جوکار	۹۸	۰/۰۱	غیر محتمل	کرمانشاه	کرمانشاه	۵۳	۰/۱۵	ممکن	
همدان	ملایر	۳۳	۰/۴۳	متوسط	خوزستان	خوزستان	۳۹	۰/۲۹	ممکن	
همدان	اسدآباد	۳۳	۰/۴۳	متوسط	خوزستان	خوزستان	۵۹	۰/۱۳	پایین	
همدان	سورلان	۴۳	۰/۳۵	ممکن	خوزستان	خوزستان	۲۸	۰/۳۷	ممکن	
ایلام	ایلام	۴۰	۰/۲۷	ممکن	خوزستان	خوزستان	۶۴	۰/۱۲	پایین	
ایلام	چنار	۴۰	۰/۳۷	ممکن	خوزستان	خوزستان	۸۲	۰/۰۱	غیر محتمل	
کرمانشاه	کنگاور	۴۰	۰/۳۹	ممکن	خوزستان	خوزستان	۶۱	۰/۱۵	پایین	
کرمانشاه	چوگاکبود	۲۷	۰/۴۴	متوسط	کردستان	کردستان	۳۷	۰/۳۲	ممکن	
کرمانشاه	گوار	۳۸	۰/۳۱	ممکن	لرستان	لرستان	۸	۰/۴۷	متوسط	
کرمانشاه	هسرین	۳۸	۰/۲۶	ممکن	لرستان	لرستان	۳۰	۰/۴۶	متوسط	
کرمانشاه	جلوگیره	۴۵	۰/۳۴	ممکن	لرستان	لرستان	۲۷	۰/۴۸	متوسط	
کرمانشاه	کال‌چوب	۳۷	۰/۳۲	ممکن	لرستان	لرستان	۴۱	۰/۳۱	ممکن	
کرمانشاه	ماهی‌دشت	۲۵	۰/۴۴	متوسط	لرستان	لرستان	۳۹	۰/۳۱	ممکن	
کرمانشاه	بیستون	۴۲	۰/۲۶	ممکن	لرستان	لرستان	۲۸	۰/۳۲	ممکن	
کرمانشاه	پتاق	۴۵	۰/۳۴	ممکن	لرستان	لرستان	۴۹	۰/۲۰	ممکن	
کرمانشاه	صحنه	۴۰	۰/۲۶	ممکن	لرستان	لرستان	۳۷	۰/۲۵	ممکن	
کرمانشاه	سنقر	۸۲	۰/۰۱	غیر محتمل						

طولانی‌ترین تداوم و احتمال وقوع متناظر با میزان هر

ریسک مشخص شده است.

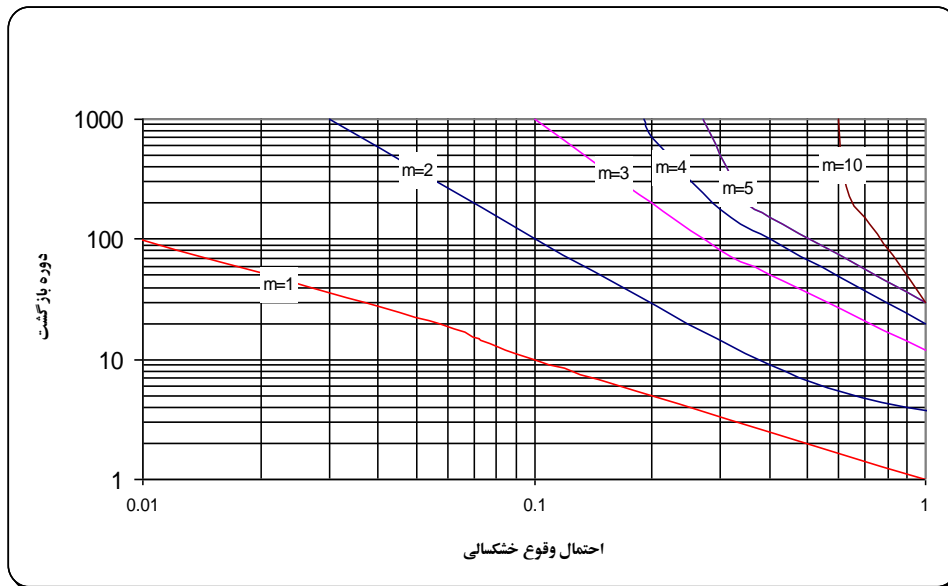
تجزیه و تحلیل اطلاعات فوق امکان تعمیم نتایج

در جدول (۳) برای نمونه، میزان ریسک به‌ازای دوره

بازگشت پنج سال برای انواع خشکسالی‌های رخ داده از نظر

می‌یابد؛ برای نمونه، برای یک خشکسالی که تداوم آن دو سال است، با احتمال ۱۰ درصد دوره بازگشت آن ۱۰۰ سال می‌باشد؛ اما با افزایش میزان احتمال به ۳۰ درصد، دوره بازگشت آن به ۱۵ سال کاهش می‌یابد.

بیشتری را فراهم می‌کند. شکل (۴) نموداری را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان با داشتن مقادیر احتمال و تداوم خشکسالی، مستقیماً دوره بازگشت را تعیین کرد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در یک تداوم معین، با افزایش احتمال وقوع خشکسالی، دوره بازگشت کاهش

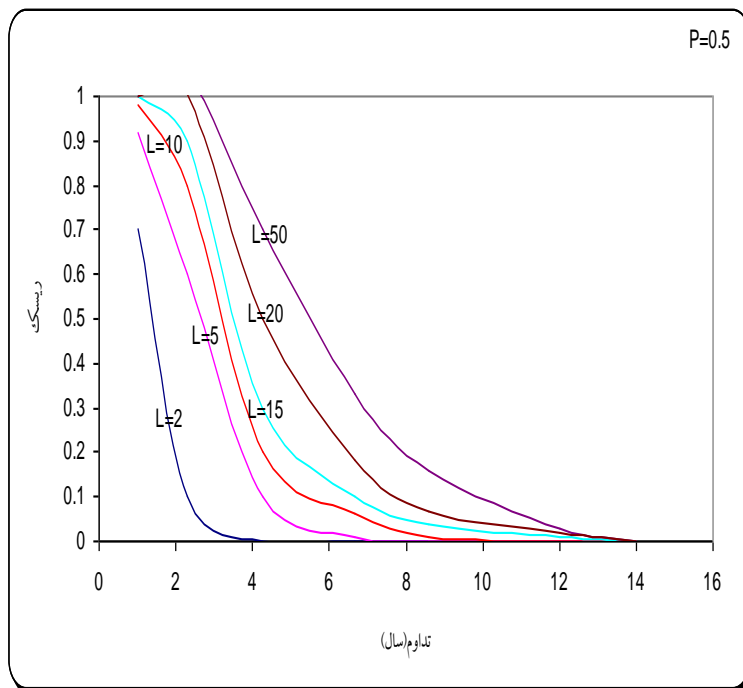


شکل (۴): دوره بازگشت خشکسالی به‌ازای احتمال وقوع و تداوم خشکسالی

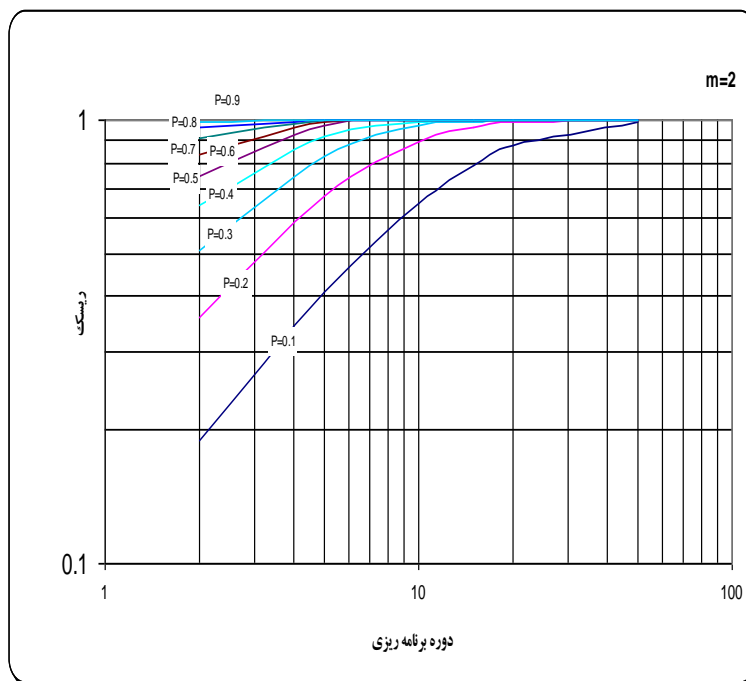
خشکسالی‌های طولانی‌مدت با افزایش دوره برنامه‌ریزی، افزایش می‌یابد.

بررسی نقشه‌های گستره ریسک خشکسالی برای دوره بازگشت‌های مذکور، نشان می‌دهد که در دوره بازگشت پنج‌ساله، نواحی شمالی، شمال‌غربی و شمال‌شرقی حوضه، از نظر خطر ریسک خشکسالی مستعدترند (شکل ۶-الف) اما این وضعیت برای دوره بازگشت ده‌ساله بیشتر شامل نواحی شمال، شمال‌غربی و مرکزی حوضه می‌شود (شکل ۶-ب)، استعداد خطر خشکسالی برای دوره بازگشت بیست‌ساله بیشتر نواحی شمال‌غربی، مرکزی و بخش اندکی از نواحی شمالی و جنوب شرقی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۶-ج)، درحالی‌که برای دوره بازگشت پنجاه‌ساله، قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و شمال‌غربی در برابر خطر خشکسالی قرار گرفته و در این حالت میزان فشردگی منحنی‌های هم‌ارزش ریسک نسبت به سایر دوره‌های بازگشت از فشردگی کمتری برخوردارند (شکل ۶-د).

همچنین درخصوص ارزیابی ریسک خشکسالی نیز می‌توان براساس نتایج حاصل‌شده، نمودارهایی تهیه کرد که به کمک آن‌ها به‌توان محاسبات مربوط را تسهیل نمود (شکل ۵ الف و ب). نمودار شکل (۵-الف) مقدار ریسک را به‌ازای یک تداوم معین ($m=2$) نشان می‌دهد، همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در خشکسالی‌های با تداوم دوساله، با افزایش دوره برنامه‌ریزی در یک احتمال معین، ریسک خشکسالی افزایش می‌یابد؛ برای مثال، ریسک خشکسالی‌های دوساله با احتمال وقوع پنجاه‌ساله تقریباً ۱۰۰ درصد است و هرچه احتمال وقوع خشکسالی بیشتر می‌شود، مقدار ریسک در زمان کوتاه‌تری به ۱۰۰ درصد می‌رسد. نمودار (۵-ب) تغییرات ریسک خشکسالی را به‌ازای مقادیر مختلف تداوم و در دوره‌های مختلف برنامه‌ریزی شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در یک دوره برنامه‌ریزی معین، با افزایش تداوم خشکسالی، ریسک خشکسالی کاهش می‌یابد؛ برای نمونه، در سطح احتمال ۵۰ درصد وقوع خشکسالی، ریسک

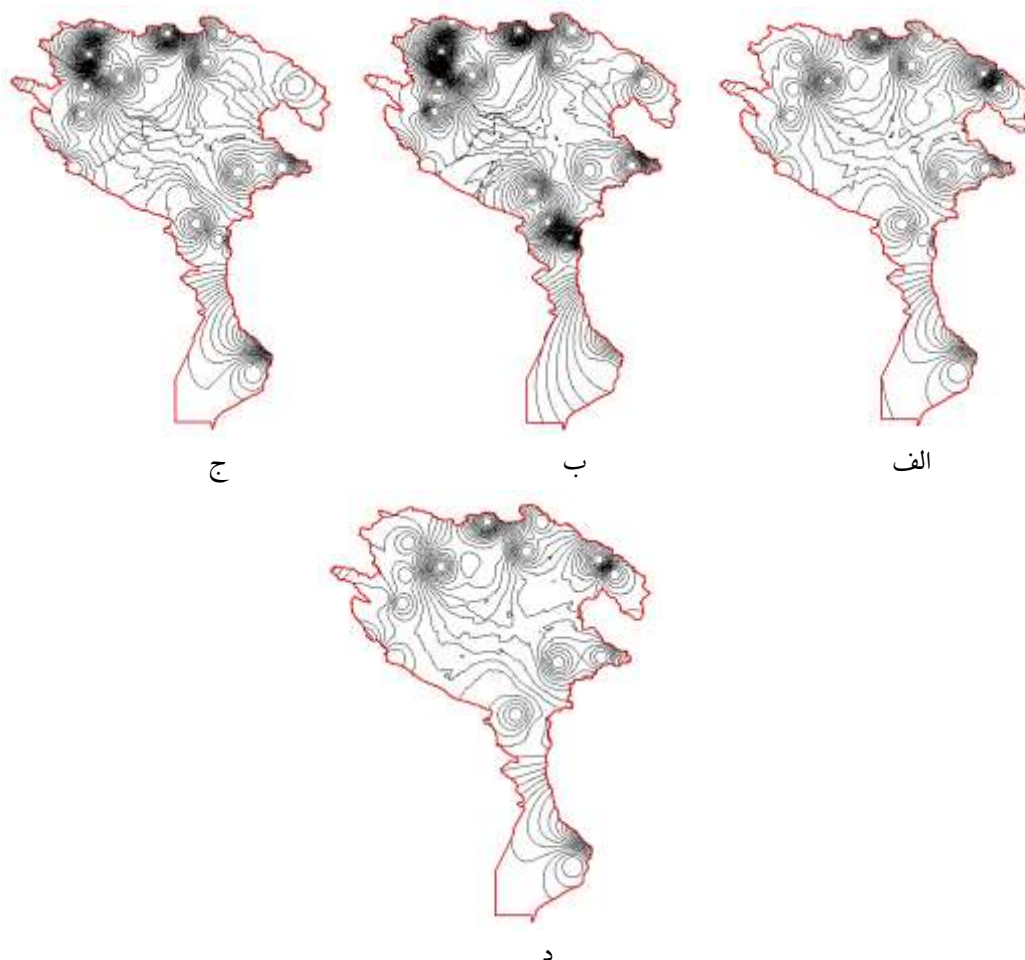


الف



(ب)

شکل (۵): ریسک خشکسالی: الف. به ازای تداوم معین؛ ب. به ازای احتمال معین



شکل (۶): گستره نقشه‌های وقوع ریسک خشکسالی برای دوره‌های بازگشت‌های الف. پنج‌ساله؛ ب. ده‌ساله؛ ج. بیست‌ساله؛ د. پنجاه‌ساله

نرمال یا لوگ نرمال می‌تواند جایگزین مناسبی برای توزیع گاما در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی ۱۲ یا ۲۴ ماهه باشد (آنجیلیدیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۲).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که نواحی پیرامونی حوضه، مخصوصاً نواحی شمال غربی، شمالی، شمال شرقی و بخش‌های کمی از نواحی شرقی و جنوب شرقی، مستعدترین مناطق تحت تأثیر خشکسالی هستند و با افزایش دوره‌های بازگشت از میزان شدت ریسک خشکسالی کاسته می‌شود.

در دوره بازگشت پنج‌ساله، نواحی شمالی، شمال غربی و شمال شرقی حوضه، از نظر خطر ریسک خشکسالی

محققان دیگری نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند، فرج‌زاده (۲۰۰۷) طی تحقیقی درخصوص ارزیابی شاخص‌های خشکسالی‌ها در مناطق غرب کشور با کاربرد روش‌های نیچه، SPI و DRI نتیجه گرفت روش SPI به دلیل تبعیت از توزیع نرمال، بهترین روش برای تعیین سال‌های خشک و مرطوب در منطقه مورد مطالعه است.

در پژوهشی دیگر، امکان محاسبه شاخص بارش استاندارد شده به وسیله برازش توزیع نرمال و لوگ نرمال به داده‌های بارش بررسی شد. برای این کار، ۱۹ سری زمانی از بارش ماهانه مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه، فرض برتری توزیع گاما نسبت به توزیع نرمال و لوگ نرمال در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در نمایش داده‌های بارش، مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد توزیع احتمال

ایستگاه جوکار استان همدان با تحمل ۹۸ ماه متوالی خشکسالی و میزان شدت متوسط خشکسالی (ADI) $-۰/۶$ و بزرگی خشکسالی (DM) معادل با -۵۵ طولانی ترین تداوم را از نظر طول دوره خشکسالی به خود اختصاص داده است. در بین شدیدترین تداوم‌های خشکسالی در ایستگاه‌ها، ایستگاه بیدرود استان خوزستان با طول مدت خشکسالی بیست‌ماهه و میزان ADI برابر با $-۲/۷۸$ ، شدیدترین خشکسالی را از نظر بزرگی به خود اختصاص داده است.

در این تحقیق، از شاخص SPI برای ارزیابی و بررسی خشکسالی استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص SPI ضمن حساسیت بیشتر به تغییرات بارش و مستقل بودن از میانگین بارش، نتایج بهتری از تفکیک ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها ارائه می‌کند. محققان دیگری نیز در مطالعات خود به برتری نمایه SPI نسبت به سایر شاخص‌ها اشاره کرده‌اند (بذرافشان، ۲۰۰۲؛ جهانبخش و قویدل، ۲۰۰۲؛ استینمن، ۲۰۰۳).

مستعدترند، اما این وضعیت برای دوره بازگشت ده‌ساله بیشتر شامل نواحی شمال، شمال غربی و مرکزی حوضه می‌شود. استعداد خطر خشکسالی برای دوره بازگشت بیست‌ساله بیشتر نواحی شمال غربی، مرکزی و بخش اندکی از نواحی شمالی و جنوب شرقی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، درحالی‌که برای دوره بازگشت پنجاه‌ساله، قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و شمال غربی در برابر خطر خشکسالی قرار گرفته و در این حالت، میزان فشردگی منحنی‌های هم‌ارزش ریسک نسبت به سایر دوره‌های بازگشت، فشردگی کمتری دارند.

کمترین مقدار SPI مشاهده شده مربوط به ماه ژانویه سال ۱۹۷۱ در ایستگاه گوار استان کرمانشاه با مقدار $-۳/۴۴$ با طبقه خشکسالی بسیار شدید است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین سال‌هایی که شدیدترین مقادیر خشکسالی در سطح منطقه رخ داده است، سال ۲۰۰۰ فراوانی بیشتری نسبت به سایر سال‌ها دارد. در بین تداوم‌های طولانی خشکسالی،

منابع

1. Alberts, Ch., and Dorofee, A., 2002. Managing information security risks: The OCTAVESM approach Boston, MA: Addison-Wesley.
2. Aleboali, A., Ghazavi, R., and Sadatinezhad, S.J., 2016. Study the effects of drought on groundwater resources using SPI index (A case study: Kashan Plain). Desert ecosystem journal, 5(10): 13-22.
3. Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N., and Hrissanthou, V. 2012. Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. Journal of Water Resources Management. 26 (9): 2453-2473.
4. Bazrafshan, J. 2002. Natural study some meteorological indicators in several climatic zones of Iran, Tehran university. MS.C thesis.
5. Bordi, S., Frigio, P., Parenti, A., Speranza, A., and Sutera, A., 2001. The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: regional patterns. Ann. Geophysics, 44: 979-993.
6. Ensafi-Moghaddam, T. 2007. An investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. Iranian journal of range and desert research, 14(2): 271-288.
7. Farajzadeh, H. 2007. Analysis and determination of drought and wet. Journal of Geography Education Development. 22(1): 27-32.
8. Golian, S., Mazdiyasn, O., and Aghakouchak, A., 2015. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. Theoretical and applied climatology, 119(3): 679-688.
9. Hayes, M., Svoboda, J., Wilhite, M.D., and Vanyarkho, D.A., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index." bulletin of American metrological Society, 80(3): 429-438.
10. Hed, G., 1997. Risk factors for Barrett's esophagus in community-based practice, The American Journal of Gastroenterology, 92(8): 293-297.
11. Henz, G., Turner, S., Badini, W., and Kenny, J., 2004. Historical perspective on Colorado drought chapter, 1: 3-21.
12. Imani, M., and Talebi, A., 2012. Study the effects of drought on groundwater level change in Bahabad plain using GRI and SPI indexes. 4th Iran Water Management Conference. Amir Kabir University. Tehran. Iran.
13. International Strategy for disaster reduction., 2007. Drought: Living with risk, ISDR Ad Hoc Discussion Group on Drought.
14. Jahanbakhsh, S., and Ghavidel-Rahimi, Y.

2002. Analysis of the spatial distribution of wet and dry periods of East Azarbayejan stations. *Journal of Geographic Space*, 5: 3-39.
15. Kazemzadeh, M., and Malekian, A., 2015. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*, 80(1): 191-210.
 16. Khan, S., Gabriel, H.F., and Rana, T., 2008. Standard Precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables on irrigation areas. *Irrigation drainage system*, 22: 159-177.
 17. Khoshhal, J., Ghayoor, H.A., and Moradi, M., 2013. A Surveying the impact of groundwater drought in Dehgolan basin, Kurdistan province. *Journal of Natural Geography Researches*, 79: 19-36.
 18. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1993. The Relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January. Anaheim, CA. PP, 379-384.
 19. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1997. The Relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th conference on applied climatology. 17-22 January. Anaheim, CA. 379-384.
 20. Mendicino, G., Alfonso, S., and Pasquale, V., 2008. A groundwater Resources Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate, *Journal of Hydrology*, 357(3): 282-302.
 21. Mohseni-Saravi, M., Safdari, A.A., Saghafian, B., and Mahdavi, M., 2005. Severity, frequency, duration and area analysis of Karoon basin droughts using the Standardized Precipitation index (SPI). *Iranian journal of natural resource*, 57(4): 607-620.
 22. Mosaedi, A., Khalili-Zade, M., and Mohammadi, A., 2008. Drought monitoring in Golestan Province. *Journal of agricultural science and natural resources*, 15(2): 176-182.
 23. Naderiyanfar, M., Ansari, H., Ziyai, A., Davari, K., 2012. Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. *Irrigation and water engineering*, 3: 22-37.
 24. Safdari, A., 2003. Severe drought zoning using SPI drought index in GIS. *Proceedings of the first national conference discuss strategies to deal with water crisis*. 6-7 march. Zabol university.
 25. Shakiba, A., Mirbagheri, B., and Kheiri, A., 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the east of Kermanshah province. *Journal of Geography (Geographic Society's Journal)*, 25:105-124.
 26. Steineman, A. 2003. Drought indicators and triggers. A stochastic approach to evaluation. *Water Res. Assoc.* 39(5): 1217-1233.
 27. Steven, M., Quiring, T., and Papakryiakou, N., 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Journal of hydrological Science*, 45(5): 751-769.
 28. Talebi, A., Imani, M., and Dastorani, M., 2012. Study the effects of drought on groundwater level and hydrology of the subterranean canal in Bahabad. *International symposium on traditional knowledge for water management*. Yazd. Iran.
 29. Tsakiris, G., Nalbantis, I., and Cavadias, G., 2011. Regionalization of low flows based on canonical correlation analysis. *Advances in water resources*, 34: 865-872.
 30. Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., Jacquemin, I., Canters, F., Vanderhaegen, S., Engelen, G., Poelmans, L., Becker, P., and Batelaan, O., 2013. A system-based paradigm of drought analysis for operational management. *Water Resource Management*, 27: 5281-5297.
 31. Vangelis, H., Tigkas, D., and Tsakiris, G., 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *J Arid Environ*, 88: 130-140.
 32. Vali, A., and Roustaei, F., 2016. A time series analysis of drought for the last five decades in Central Iran. *Desert ecosystem journal*, 5(11): 79-92.
 33. Williams, J., 2000. *Drought*, 1:168-177.
 34. Zehtabian, Gh.R., Karimi, K., Nakhaee Nezhadfad, S., Mirdashtvan, M., and Khosravi, H., 2013. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in South Khorasan province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 9: 981-992.

Drought Risk Assessment and Zoning Using the Standardized Precipitation Index (SPI) (Case Study: Karkheh Basin)

Mohammadhadi Nazarifar¹ and Amir Salari^{*2}

Received: 16/4/2017

Accepted: 28/6/2017

Abstract

Drought monitoring is one of the key factors in drought risk management and the use of drought indices such as the standardized precipitation index (SPI) is a useful tool in this regard. The aim of this study is to evaluate and zone drought risk in different years and return periods in Karkheh basin. For this purpose, Standardized Precipitation Index (SPI) as a selected index was used to assess drought in 33 stations inside and outside the basin in five timescale. The results showed that the lowest values of SPI, the most severe drought continuity of the large and the longest continuity were related to Govar stations of Kermanshah province, Biderood station of Khoozestan province and Jokar station in Hamadan province, respectively. Extensive drought risk maps for different return periods showed that in return period of 5 years, northern (Bavane station of Kurdistan province), northeast (Hamadan station) and northwest (Kermanshah) areas were more at risk of drought. This condition for a return period of 10 years was mostly related to northern (Bavane station of Kurdistan province), northwest (Kermanshah) and central areas. Drought risk for 20-year return period affected the northern (Bavane station of Kurdistan province) and Northwest (Kermanshah) areas more, while for 50-year return period, in addition to northern (Bavane station of Kurdistan province) and northwest (Kermanshah), it also affected the northeast (Hamadan station). The overall result showed that the periphery areas, especially areas of northwest, north, northeast and some parts of eastern and southeastern areas are the most susceptible areas affected by drought and with increase in the return period, the severity of drought risk can be reduced.

Keywords: Drought, Standardized Precipitation Index, Karkheh, Risk Management.

1. Research expert, Department of irrigation and drainage, Pardis of Aboreihan, Tehran University

2. Assistant professor, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Torbat Heydariyeh, Corresponding author; E-mail: salari.1361@yahoo.com