

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

صفحات: ۱۶ - ۱

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی خشکسالی جریان رودخانه مبتنی بر رویکرد سطح آستانه با استفاده از داده جریان دائمی در زیر حوضه آبریز بیابان لوت

حمید نظری پور^۱، مهدی صداقت^{۲*}، محمدرضا پودینه^۳، امیرحسین حلبیان^۴

۱. استادیار، گروه محیط زیست، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، و

استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران

۳. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۴. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

خشکسالی، از مخاطرات طبیعی اساسی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته شده است که مسائل قابل‌ملاحظه‌ای در رابطه با مدیریت منابع آب دارد. شناسایی، پایش و بررسی مشخصه‌های خشکسالی‌ها، برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است. این پژوهش متمرکز بر بررسی خشکسالی آب‌شناختی با استفاده از رویکرد سطح آستانه متغیر در زیر حوضه آبریز کویر لوت می‌باشد. این رویکرد، با استفاده از داده‌های ۱۰-روزه جریان در رودخانه نساء برای دوره‌ی آبی ۵۸-۱۳۵۷ تا ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شده است. رویدادهای خشکسالی مستقل به‌وسیله ادغام رویدادهای وابسته با رویکرد معیار داخلی شناسایی و مشخصه‌های آن‌ها شامل آغاز، پایان و دوام بررسی شده است. علاوه بر آن، شدت خشکسالی‌های مستقل با استفاده از شاخص شدت خشکسالی رده‌بندی شده است. نتایج این بررسی نشان داد که رژیم آبدهی رودخانه نساء بیشتر درگیر خشکسالی‌های طولانی‌مدت و شدید بوده است. رویدادهای خشکسالی مستقل طولانی‌مدت و با شدت فرین در رژیم آبی رودخانه یادشده بر دهه‌ی آخر متمرکز هستند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر روش‌های مختلف در ادغام رویدادهای وابسته خشکسالی با روش مبتنی بر حجم و زمان میان رویدادی (معیار داخلی) مقایسه شود.

واژگان کلیدی: جریان کم، خشکسالی آب‌شناختی، سطح آستانه، شاخص شدت خشکسالی، کسری جریان.

مقدمه

خشکسالی، پدیده‌ی آب و هوایی تکرارپذیر است که ماهیت منطقه‌ای داشته و با کاهش چشمگیر موجودیت آب در دوره قابل‌ملاحظه‌ای از زمان مشخص می‌شود (نالبنتیس و تساکریس، ۲۰۰۹؛ چن و همکاران، ۲۰۰۹). فاز اول از خشکسالی، خشکسالی هواشناسی است که اشاره به کمبود بارش دارد. ادامه خشکسالی هواشناسی منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود که از آن به‌عنوان خشکسالی کشاورزی یاد می‌شود. کمبود بیشتر آب سبب کاهش آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن می‌شود که خشکسالی هیدرولوژیکی است (جاین و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به شرایط مختلف از تنش کم‌آبی، تعریف خشکسالی بسیار پیچیده می‌شود. ادبیات هیدرولوژیکی کنونی نشان می‌دهد که هیچ تعریف واحدی موجود نیست که مورد پذیرش همگان باشد (پاندی و راماساستری، ۲۰۰۲؛ فلائگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ دراگپ و همکاران، (الف) ۱۹۸۰؛ کجلدسن و همکاران، ۲۰۰۰). بحث درباره‌ی تعاریف متعدد خشکسالی را می‌توان در دراگپ و همکاران (۱۹۸۰ ب)، ویلهایت و گلانتز (۱۹۸۵)، تاتی و گاستارد (۲۰۰۰) و تالاکسن و لانن (۲۰۰۴) یافت. تمرکز این پژوهش به‌طور عمده روی جنبه‌های هیدرولوژیکی خشکسالی است. خشکسالی هیدرولوژیکی با آثار دوره‌های کمبود بارش (شامل باران، برف و غیره) بر منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی (جریان رودخانه، تراز دریاچه و مخازن آب و آب زیرزمینی) در ارتباط است. فراوانی و شدت خشکسالی آب‌شناختی اغلب در مقیاس حوضه رودخانه و آبخیز تعریف می‌شود (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۷۵). در میان اشکال مختلف آب، جریان رودخانه بسیار مهم است؛ زیرا برنامه‌ریزی منابع آب بر اساس موجودیت آب در رودخانه‌ها و مخازن است (وسیلیدز و همکاران، ۲۰۱۱). کمبود بارش در درجه اول مسئول کاهش موجودیت منابع آب در رودخانه‌ها و مخازن و به تبع آن علل خشکسالی هیدرولوژیکی است (زایدمن و همکاران، ۲۰۰۱؛ ویدال و همکاران، ۲۰۱۰، لوزنزو-لاکروز و همکاران، ۲۰۱۰؛ هانافورد و همکاران، ۲۰۱۱؛ ادوسا و همکاران، ۲۰۱۰، وسیلیدز و لوکاس، ۲۰۰۹). کاهش آب‌دهی یک رودخانه سبب کاهش عرضه آب برای فعالیت‌های کشاورزی و همچنین برای دیگر کاربردهای خانگی و صنعتی می‌شود و نتیجه‌ی آن کاهش تولیدهای کشاورزی و آثار آن بر زندگی روزمره است (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰).

برای تجزیه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی، داده جریان رودخانه به‌عنوان متغیر کلیدی برای شناسایی رویدادهای خشکسالی با استناد به یک سطح آستانه خاص تقاضا استفاده می‌شود که به اختصار سطح آستانه نامیده می‌شود (سن، ۱۹۸۰، زلنهایسک و سالوی، ۱۹۸۷، بن-زوی، ۱۹۸۷). تقریباً تمام نمایه‌های موجود از خشکسالی جریان رودخانه با لحاظ سطح آستانه به استخراج رویدادهای خشکسالی از رکوردهای مداوم و یا گسسته جریان رودخانه می‌پردازند (چانگ و کلیپا، ۱۹۹۱؛ وی و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیسدال و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین برخی پژوهشگران توزیع‌های احتمال را به داده‌های جریان رودخانه به‌منظور ارزیابی شدت و مدت برازش داده‌اند (طبری و همکاران، ۲۰۱۳؛ ویسنته-سرانو و همکاران، ۲۰۱۲؛ خدون و همکاران، ۲۰۱۳؛ راجسخر و همکاران، ۲۰۱۳). اسماختین (۲۰۰۱)، یک بررسی جامع از مطالعات جریان کم را ارائه داده است که روش‌های برآورد جریان کم و ارتباط بین نمایه‌های جریان کم را در بر می‌گیرد. تالاکسن و لانن (۲۰۰۴)، مباحث جامعی درباره فرایندها و روش‌های برآورد خشکسالی بر اساس جریان رودخانه و موجودیت آب‌های زیرزمینی را ارائه داده‌اند که انواع تکنیک‌های برآورد نمایه‌های جریان‌های کم و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را در بر می‌گیرد. کینزل (۲۰۰۶)، یک روش بر اساس جریان پایه مشتق‌شده از منحنی‌های جریان و هیدروگراف رودخانه را پیشنهاد داده است. به‌طور کلی، از روش سطح آستانه

به‌طور گسترده برای تحلیل خشکسالی با استفاده از سری‌های روزانه، ماهانه و سالانه آورد رودخانه استفاده شده است. این روش به ارائه یک تفسیر تحلیلی از جریان رودخانه مورد انتظار می‌انجامد، زمانی که جریان رودخانه به زیر سطح آستانه نزول می‌کند و یک رویداد خشکسالی است. این سطح اغلب به‌عنوان یک جریان صدک معین لحاظ شده و فرض بر این است که در طول دوره (ماه، فصل یا سال) ثابت باشد. از آنجاکه توزیع فضایی و به‌ویژه زمانی بارش و به تبع آن رواناب در موارد زیادی بسیار نامنظم است، استفاده از سطح آستانه ثابت سالانه برای پایش خشکسالی هیدرولوژیکی مناسب نیست؛ بدین سبب پیشنهاد داده شده است سطح آستانه برای هر ماه به‌صورت مجزا از منحنی‌های دوام جریان استخراج شود (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸).

در ایران، خشکسالی‌ها تقریباً هر سال بخش‌های مختلف از کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با توجه به نگرانی‌های فزاینده از خطرهای خشکسالی، مطالعه‌های مختلفی در طول دهه گذشته در ایران انجام شده است. این مطالعه‌ها، بیشتر با بازنگری در شیوه‌های مطالعه و ارزیابی خشکسالی‌ها همراه بوده است. زارچ و همکاران (۲۰۱۱) پایش خشکسالی را در ایران با استفاده از شاخص اکتشافی خشکسالی انجام داده‌اند که این نمایه علاوه بر متغیر بارش، یک پارامتر اضافی (تبخیر و تعرق پتانسیل) را نیز در بر دارد. رضیئی و همکاران (۲۰۱۱)، کاربرد پایگاه‌های داده‌های شبکه‌ای جهانی را برای تحلیل تغییرپذیری خشکسالی در ایران بررسی کرده‌اند. طبری و همکاران (۲۰۱۲)، روند زمانی و مشخصه‌های فضایی خشکسالی و بارش را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بررسی نموده‌اند. منصوری دانشور و همکاران (۲۰۱۲)، اثر خطر خشکسالی را در کشت گندم با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در ایران بررسی نموده‌اند. طبری و همکاران (۲۰۱۳)، به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی در شمال غرب ایران با شاخص خشکسالی جریان رودخانه پرداخته‌اند. رضیئی و همکاران (۲۰۱۳)، حالت‌های خشکسالی منطقه‌ای در ایران را با شاخص بارش استاندارد شده و با ملاحظه اثر مقیاس زمانی و مکانی بررسی کرده‌اند. کوثری و همکاران (۲۰۱۴)، به آشکارسازی روند خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بر اساس شاخص اکتشافی خشکسالی و کاربرد روش آماری ناپارامتری پرداخته‌اند. بذرافشان و همکاران (۲۰۱۴)، شاخص بارش استاندارد شده چندمتغیره را بر اساس تجزیه و تحلیل مؤلفه مبنا توسعه داده‌اند. حسین‌زاده طلایی و همکاران (۲۰۱۴)، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در غرب ایران را در ارتباط با الگوهای گردش جوی بزرگ‌مقیاس بررسی نموده‌اند. گلیان و همکاران (۲۰۱۵)، روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی را در ایران بررسی کرده‌اند.

بررسی جامع ادبیات پژوهش بیانگر آن است که از جنبه تاریخی در ایران توجه اندکی به خشکسالی هیدرولوژیکی در مقایسه با خشکسالی هواشناسی گردیده است؛ بنابراین دامنه‌ی پژوهش درباره‌ی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در ایران محدود است. از سوی دیگر، در مطالعه‌ی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در ایران چندین محدودیت وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: الف) در مطالعه بیشتر از شاخص‌ها و نمایه‌های مبتنی بر مقیاس سالانه و ماهانه استفاده گردیده است. ب) با توجه به آن که پایش خشکسالی هیدرولوژیکی نیازمند نمایه‌های متعدد کنترل‌گر تغییر در ذخیره آب میان سیستم‌های هیدرولوژیکی است، در ایران بیشتر از یک یا دو شاخص خاص (به‌عنوان مثال، بارش و دبی رودخانه) استفاده گردیده است. ج) بر اساس مشخصه‌های خشکسالی و ویژگی‌های محیطی، هر رویداد خشکسالی می‌تواند با رویداد قبل یا بعد از خود دارای وابستگی باشد و به این جنبه از خشکسالی کمتر پرداخته شده است.

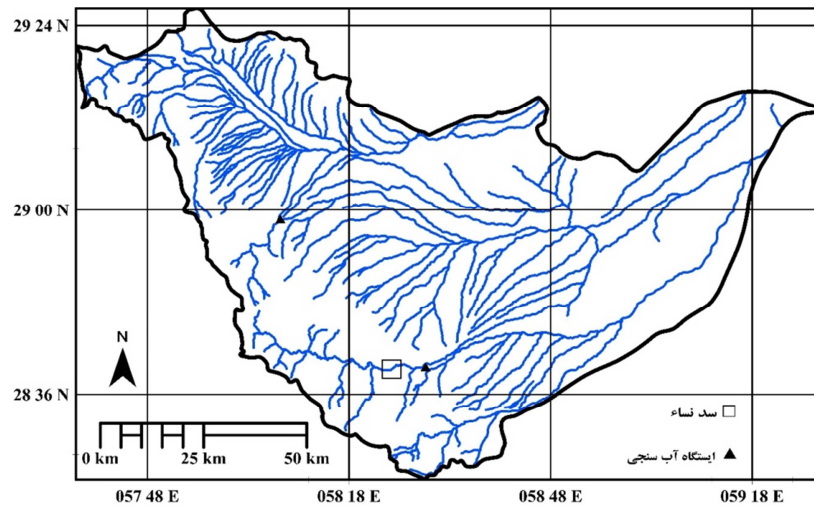
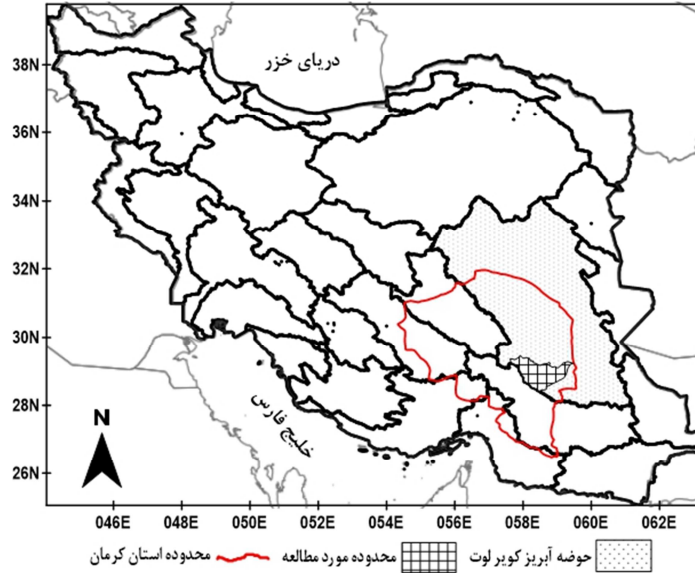
بنابراین، هدف از این مطالعه (الف) بررسی مشخصه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های جریان در رودخانه نساء، (ب) تعیین رویدادهای خشکسالی مستقل، دوام و شدت آن‌ها با استفاده از رویکرد سطح آستانه متغیر و (ج) استنتاج شاخص شدت خشکسالی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبریز کویر لوت (کد ۴۶)، از مجموعه ۹ حوضه آبریز درجه ۲، از حوضه آبریز فلات مرکزی ایران می‌باشد. حوضه آبریز یادشده با مساحت ۲۰۶۳۵۴ کیلومترمربع، کم آب‌ترین و خشک‌ترین حوضه آبریز ایران است که قسمتی از آن در استان کرمان واقع شده است و شهرستان‌های بهم، کرمان و راور را در بر می‌گیرد. رودخانه نساء از جمله رودخانه‌های با رژیم آبدهی دائمی استان کرمان هست که در این حوضه آبریز واقع شده است. سد نساء (دومین سد بزرگ استان کرمان) در روستای انجیرک واقع در ۸۰ کیلومتری جنوب شرق شهر بهم، روی رودخانه نساء قرار دارد و یک منبع مهم آب برای بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب محسوب می‌شود. پیشینه این سد در متون قدیمی به دوران هخامنشیان و اردشیر یکم بر می‌گردد.

داده‌ها

مطالعه پیش رو با استفاده از داده‌های جریان رودخانه نساء در زیر حوضه بزرگ کویر لوت انجام شده است (شکل ۱). داده‌های روزانه جریان رودخانه در ایستگاه هیدرومتری یال خری روی رودخانه نساء، اساس این پژوهش را شکل می‌دهند. بررسی‌های مقدماتی داده‌های دبی رودخانه نساء، بیانگر این است که رژیم آبدهی آن، پایا و الگوی آبدهی آن زنگدیس است. آبدهی رودخانه از انتهای سال آبی رو به افزایش ناگهانی می‌رود، در انتهای فصل زمستان به اوج می‌رسد و از آن پس رو به کاهش می‌گذارد. دوره‌ی پرآب در رژیم آبدهی این رودخانه از دی تا اردیبهشت است و در سایر ایام رژیم آبدهی یکسان و حداقل دارد. دوره‌ی آماری موجود برای آبدهی این رودخانه بر اساس سال هیدرولوژیکی از ۱۳۵۷-۵۸ تا ۱۳۹۱-۹۲ است. سال‌های آبی ۵۹-۱۳۵۸ و ۸۲-۱۳۸۱ بدون داده جریان بوده و در محاسبات لحاظ نشده‌اند.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش شناسی

این مطالعه، کاربرد رویکرد سطح آستانه متغیر را در برآورد شدت و دوام خشکسالی‌های هیدرولوژیکی برجسته می‌کند. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، حوضه‌ی رودخانه نساء یک توزیع فصلی قوی و نامنظم از جریان را در طول سال دارد (نظری پور، ۱۳۹۵). جریان رودخانه دارای تنوع ماهانه است؛ با وجود این، رژیم آبدهی رودخانه مزبور پایا است. یک رویکرد سطح آستانه متغیر برای پایش خشکسالی‌های هیدرولوژیکی اتخاذ شده است که در آن سطح

آستانه برای هر دوره‌ی ده-روزه از هر ماه، متفاوت است. اتخاذ چنین رویکردی در تناسب با رژیم هیدرولوژیکی رودخانه قادر خواهد بود آثار دوره‌های موقتی از تغییرهای جریان را در مشخصه‌های خشکسالی آشکار کند.

الف: تحلیل انحراف

در مطالعه‌های خشکسالی، مقایسه‌ی ساده از داده‌های جریان رودخانه مشاهده‌شده، اطلاعات زیادی را آشکار نمی‌کند؛ با این حال، انحراف متغیرهای هیدرولوژیکی از آستانه‌ها با توجه به میانگین بلندمدت می‌تواند در فهم رژیم‌های هیدرولوژیکی مفید باشد. تاکنون بسیاری از نمایه‌های خشکسالی هواشناختی بر اساس انحراف بارش از متوسط دراز مدت توسعه داده شده‌اند. در این بررسی، انحراف‌های جریان رودخانه سالانه با توجه به مقادیر میانگین به شرح زیر محاسبه شده است:

$$D = \frac{(Q_i - \bar{Q})}{\bar{Q}} \times 100 \quad (1)$$

در اینجا، D انحراف به درصد، Q_i متغیر جریان رودخانه برای سال i ام و \bar{Q} متوسط درازمدت جریان رودخانه است.

ب: سطح آستانه

در روش تجزیه و تحلیل دنباله‌ها، خشکسالی‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان دوره‌ای تعریف شده است که در آن جریان در زیر یک سطح آستانه معین قرار می‌گیرد (تالاکسن و همکاران، ۱۹۹۷؛ مادسن و رسبرگ، ۱۹۹۵؛ زلنهایسک و سالوی، ۱۹۸۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۳). آغاز، پایان، دوام، سختی، شدت و بزرگی، ویژگی‌های اصلی یک رویداد خشکسالی هستند. توالی رویدادهای خشکسالی معمولاً از طریق هیدروگراف جریان رودخانه و به‌وسیله تحلیل منحنی تداوم جریان به‌دست می‌آید. در روش تجزیه و تحلیل دنباله‌ها، منطقی است که یک صدک خاصی از جریان (از صدک ۷۰ تا ۹۰) به‌عنوان مقدار آستانه بهینه در نظر گرفته شود (زلنهایسک و سالوی، ۱۹۸۷). در این روش‌شناسی، تحلیل محدود به بررسی دوره‌های پیوسته‌ای است که در آن جریان رودخانه در زیر یک حد آستانه از پیش تعیین‌شده قرار می‌گیرد. یک آستانه می‌تواند از طریق روش‌های متعدد انتخاب شود و این انتخاب تابع شرایط تنش آبی منطقه مورد مطالعه است. انتخاب صدک متکی بر رژیم‌های هیدرولوژیکی است. برای رودخانه‌های دائمی، یک دامنه‌ی آستانه پایین (Q_{70}, Q_{90}) می‌تواند معقول باشد (هیسدال و همکاران، ۲۰۰۴؛ مایگ و همکاران، ۲۰۰۲).

از آنجاکه برای رودخانه‌های تناوبی و بی‌دوام با اغلب جریان‌های صفر، Q_{70} صفر خواهد بود، پیشنهاد داده شده است جریان میانگین به‌عنوان آستانه لحاظ شود (مایگ و همکاران، ۲۰۰۲). به‌عنوان یک جایگزین، صدک ۷۵ به‌عنوان سطح آستانه برای منحنی دوام جریان ماهانه پیشنهاد داده شده است که می‌تواند بیانگر یک الگوی خشکسالی واقع‌بینانه‌تر نسبت به سطح آستانه سالانه ثابت باشد (کجلدسون و همکاران، ۲۰۰۰). در این بررسی سطح آستانه به‌عنوان یک صدک ثابت (برابر با ۷۵) از منحنی دوام جریان برای هر ماه به‌دست آمده است؛ به‌عبارت‌دیگر، تنوع ماهانه جریان‌های رودخانه در منطقه مورد مطالعه سبب استفاده از روش سطح آستانه متغیر شده است.

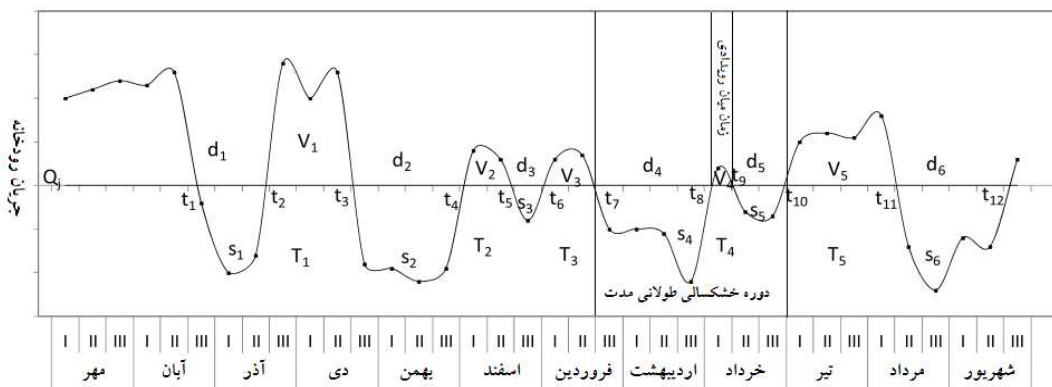
برای این منظور، منحنی‌های دوام جریان برای هر ماه با استفاده از داده جریان ۱۰-روزه توسعه داده شده است. برای جریان‌های پایا، احتمال رخداد با استفاده از فرمول موقعیت ترسیمی ویبول به شرح زیر است:

$$Pn_{j,i} = \frac{R_{j,i}}{N+1} \cdot 100 \quad (2)$$

در اینجا، $Pn_{j,i}$ احتمال رخداد ارزش، J ام جریان در ماه i ام و $R_{j,i}$ برابر ارزش، J ام جریان در ماه i ام و i شمارگان ماه که عدد صحیح بین ۱ تا ۱۲ و در نهایت N تعداد کل سال‌ها با داده جریان در ماه i ام می‌باشد. بنابراین، منحنی دوام جریان برای هر ماه به وسیله احتمال رخداد ارزش J ام جریان در ماه i ام در برابر ارزش‌های دبی متناظر در ماه i ام ترسیم می‌گردد (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸).

ج: ادغام رویدادهای خشکسالی وابسته

با استفاده از جریان‌های ۱۰-روزه و رویکرد سطح آستانه متغیر، یک دنباله از رویدادهای خشکسالی به دست آمده است. هر رویداد خشکسالی توسط دوام D_i ، حجم کسری (یا سختی) S_i و زمان رخداد T_i مشخص می‌گردد که به‌عنوان یک طرح تشریحی در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: طرح تشریحی از رویدادهای خشکسالی وابسته

در شکل شماره ۲، d_i دوام کمبود، s_i حجم کمبود یا سختی، t_i زمان میان رویدادی، Q_i سطح آستانه می‌باشد. چنانچه زمان آغاز رویداد t_i باشد آنگاه زمان پایان آن رویداد $t_i + 1$ خواهد بود.

اغلب مشاهده می‌شود در طول یک دوره خشک طولانی‌مدت، جریان برای دوره کوتاه‌مدت (موقتی) از سطح آستانه گذر می‌کند و در نتیجه‌ی آن یک دوره خشکسالی بزرگ به تعدادی از رویدادهای جزئی خشکسالی تقسیم می‌شود. برای مثال در شکل ۲، در طول یک دوره خشک طولانی (به‌عنوان نمونه ۲۰ فروردین تا ۳۰ خرداد)، ممکن است جریان برای یک دوره کوتاه (به‌عنوان نمونه ۱ تا ۱۰ خرداد) از سطح آستانه گذر کند و در نتیجه یک دوره‌ی خشکسالی

بزرگ به تعداد جزئی رویدادهای خشکسالی (۲۰ فرودین تا ۳۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد تا ۳۰ خرداد) تقسیم شود که وابستگی متقابل دارند. برای غلبه بر چنین شرایط و تعریف دنباله‌ی مستقل از خشکسالی، لازم است از یک روش ادغام رویدادهای وابسته استفاده شود.

سه دسته روش برای ادغام رویدادهای وابسته موجود است (تالاکسن و همکاران، ۱۹۹۷). در این بررسی از یک معیار بر اساس زمان و حجم میان رویدادی (زلنهاسیک و سالوی، ۱۹۸۷) استفاده شده است. معیار یادشده به‌وسیله مادسن و رسبرگ (۱۹۹۵) تجدیدنظر و در نهایت توسط تالاکسن و همکاران (۱۹۹۷) بهینه‌سازی شده و از آن زمان به‌طور گسترده استفاده می‌شود. بر این اساس، اگر (الف) زمان میان رویدادی t_i بین دو رویداد خشکسالی با مشخصه‌های $\{d_i, s_i\}$ و $\{d_i+1, s_i+1\}$ کمتر از یک مدت‌زمان بحرانی از پیش تعیین‌شده t_c و (ب) نسبت بین حجم مازاد میان رویدادی بالاتر از سطح آستانه v_i و حجم کمبود قبلی s_i کمتر از حجم بحرانی از پیش تعریف‌شده P_c باشد، آنگاه دو رویداد خشکسالی در یک خشکسالی واحد با مشخصه‌های جدید به شکل زیر ادغام می‌شوند:

$$\begin{cases} d_{pool} = d_i + d_i + 1 + t_i \\ s_{pool} = s_i + s_i + 1 - v_i \end{cases} \quad (۳)$$

فرایند ادغام می‌تواند به‌طور مداوم برای رویدادهای خشکسالی ادغام‌شده بر پایه روش معیار داخلی و با استفاده از معادله (۳) تکرار شود، چنانچه شرایط (الف) و (ب) برآورده شود. در عمل مقادیر بسیار زیاد t_c ، به‌طور هم‌زمان توسط P_c محدود نمی‌شود. در این بررسی، دوام بحرانی میان رویدادی (t_c) برابر با سه گام زمانی ده روز و نسبت حجم بحرانی از پیش تعیین‌شده برابر با ۱ لحاظ شده است؛ هرچند بسته به شرایط جغرافیایی و رژیم هیدرولوژیکی در مناطق مختلف، این مقادیر متفاوت می‌باشند.

د: نمایه شدت خشکسالی

هورست در سال ۱۹۵۱، شاخصی برای شناخت نوع خشکسالی‌ها از نظر دوام (خشکسالی‌های فصلی و چندساله) پیشنهاد داده که به شکل زیر است:

$$m = \frac{1 - \alpha}{C_v} \quad (۴)$$

در اینجا، α سطح آستانه به‌عنوان نسبتی از جریان و C_v ضریب تغییرهای جریان می‌باشد. بر طبق این نمایه، ارزش‌های کوچک از m دلالت بر غلبه خشکسالی‌های چندساله دارد؛ درحالی‌که ارزش‌های بزرگ آن ($m > 1$) دلالت بر خشکسالی‌های درون سالی (فصلی) دارد (تالاکسن و همکاران، ۱۹۹۷).

با استفاده از روش ادغام که پیش‌تر موردبحث قرار گرفت، رویدادهای وابسته خشکسالی در هم دیگر ادغام و رویدادهای مستقل خشکسالی ایجاد گردیده است. دوام و شدت رویدادهای خشکسالی مستقل نیز از طریق شاخص هورست (۱۹۵۱) برآورد شده است. مازاد بر این، برای توصیف بیشتر درجه شدت رویدادهای خشکسالی جریان

رودخانه، یک شاخص شدت خشکسالی (DSI_e) توسط پاندی و همکاران (۲۰۰۸) توسعه داده شده است. این شاخص به عنوان تابعی از دو نسبت زیر تعریف شده است.

- نسبت حجم جریان کسری (V_d) به حجم متناظر از سطح آستانه (V_{TL}) در طول رویداد خشکسالی.
 - نسبت دوام جریان کسری (d_e) به بیشینه دوام ممکن از رویداد مستقل خشکسالی جریان رودخانه (d_m).
- بیان ریاضی این شاخص به شرح زیر است:

$$DSI_e = \frac{V_d}{V_{TL}} \times \frac{d_e}{d_m} \quad (5)$$

درجه‌های شدت خشکسالی بر اساس این شاخص به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد.

جدول ۱: گروه‌بندی شدت خشکسالی‌های مستقل جریان رودخانه بر اساس شاخص شدت خشکسالی

محدوده شاخص شدت خشکسالی	قدرت خشکسالی
$DSI_e < 0.01$	ضعیف
$0.01 \leq DSI_e \leq 0.05$	خفیف
$0.05 < DSI_e \leq 0.2$	متوسط
$0.2 < DSI_e \leq 0.5$	شدید
$DSI_e > 0.5$	فَرین

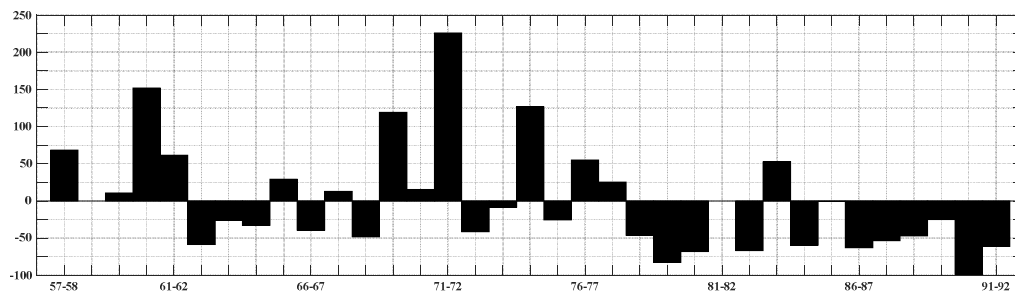
بر این اساس، شدت خشکسالی رویدادهای مستقل محاسبه گردیده است.

یافته‌ها و بحث

الف: یافته‌های حاصل از تحلیل انحراف

در بحث تحلیل انحراف جریان رودخانه، همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، مقایسه انحراف جریان رودخانه از آستانه با توجه به میانگین درازمدت می‌تواند در فهم رژیم هیدرولوژیکی رودخانه مفید باشد. انحراف سالانه جریان ۱۰-روزه رودخانه نساء بیانگر وجود یک انحراف قابل‌ملاحظه در مقدار جریان یک ماه خاص در سال‌های خشک و تر می‌باشد. این نتایج بیانگر توزیع فصلی قوی و نامنظم جریان رودخانه نساء در طول سال می‌باشد. انحراف سالانه جریان رودخانه (شکل ۳) بیانگر پیوستگی و دوام دوره‌های منفی انحراف از میانگین می‌باشد. به عنوان نمونه، از سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ تا انتهای دوره مورد مطالعه در تمامی موارد (به جز یک مورد) رواناب سالانه همواره کمتر از متوسط رواناب درازمدت به عنوان آستانه بوده است. شدت انحراف منفی در نیمه اول دوره مطالعه حداکثر تا ۵۰- و در نیمه دوم به ۱۰۰- رسیده است. این نتایج بیانگر آن است که بیش از نیمی از سال‌های آبی در رودخانه نساء با انحراف منفی از جریان متوسط سالانه مواجه می‌باشد که بر فراوانی و شدت آن‌ها در اواخر دوره‌ی مورد مطالعه افزوده شده است. در

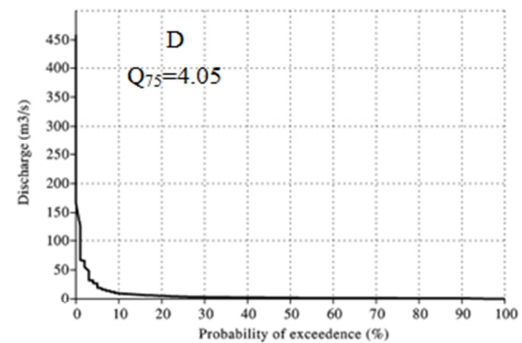
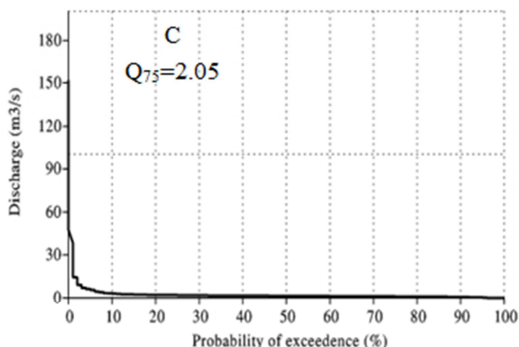
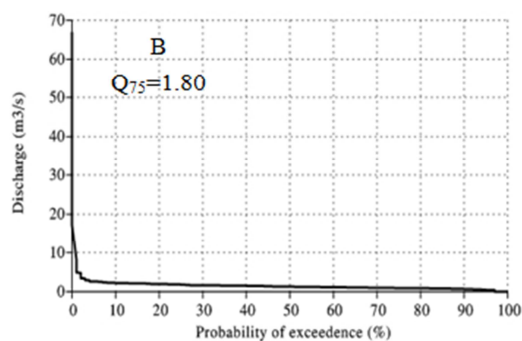
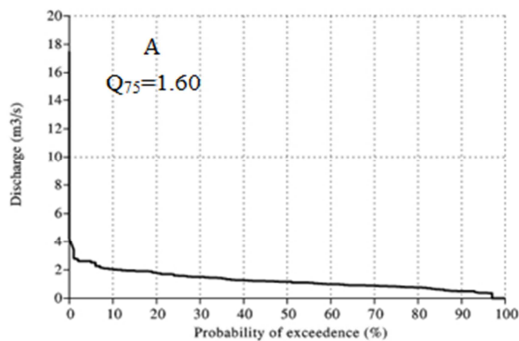
کنار اثر عوامل طبیعی تغییرهای رواناب رودخانه مانند کاهش بارندگی، لازم است به اثرهای رفتارهای انسانی در حوضه آبریز این رودخانه پرداخته شود.

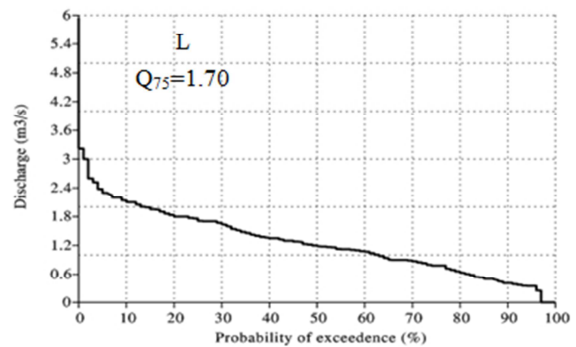
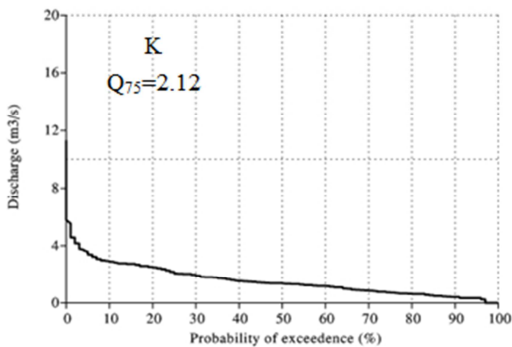
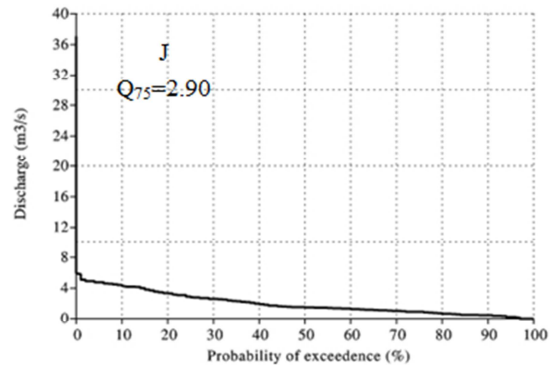
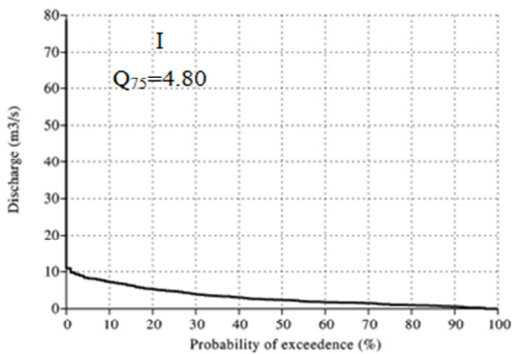
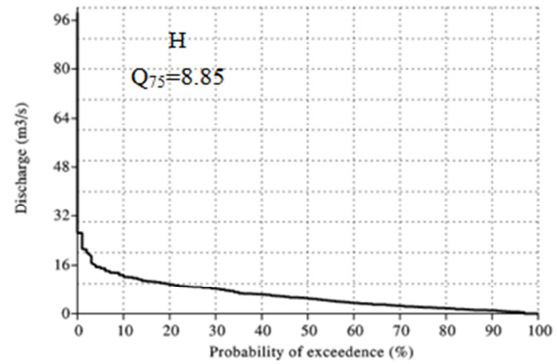
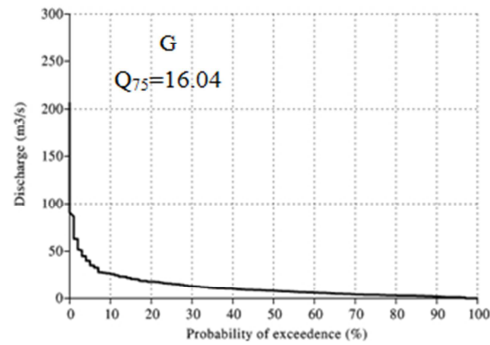
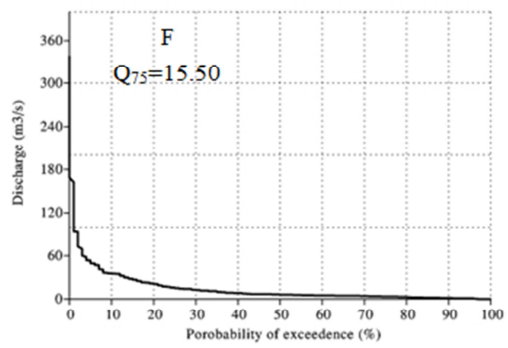
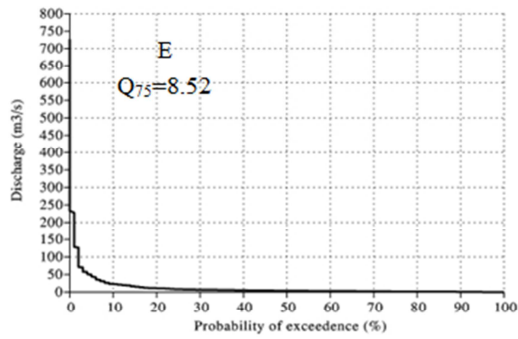


شکل ۳: انحراف رواناب سالانه در رودخانه نساء

ب: یافته‌های سطح آستانه

منحنی‌های دوام جریان ماهانه برای رودخانه نساء بر اساس احتمالات رخداد جریان متفاوت در ماه‌های مجزا (رابطه شماره ۲) و با لحاظ سطح آستانه استخراج و ترسیم شده است (شکل ۴). این منحنی‌ها در برآورد جریان‌های قابل اعتماد متفاوت در هر ماه مورداستفاده قرار گرفته است. به این گونه که ارزش‌های سطح آستانه متغیر از سطح احتمال ۷۵ درصد برای هر ماه به دست آمده است. این ارزش‌ها برای تشخیص دوره‌های جریان مازاد و کمبود و همچنین برای رویدادهای خشکسالی مستقل که با استفاده از روش ادغام شناسایی شده‌اند، استفاده شده‌اند.



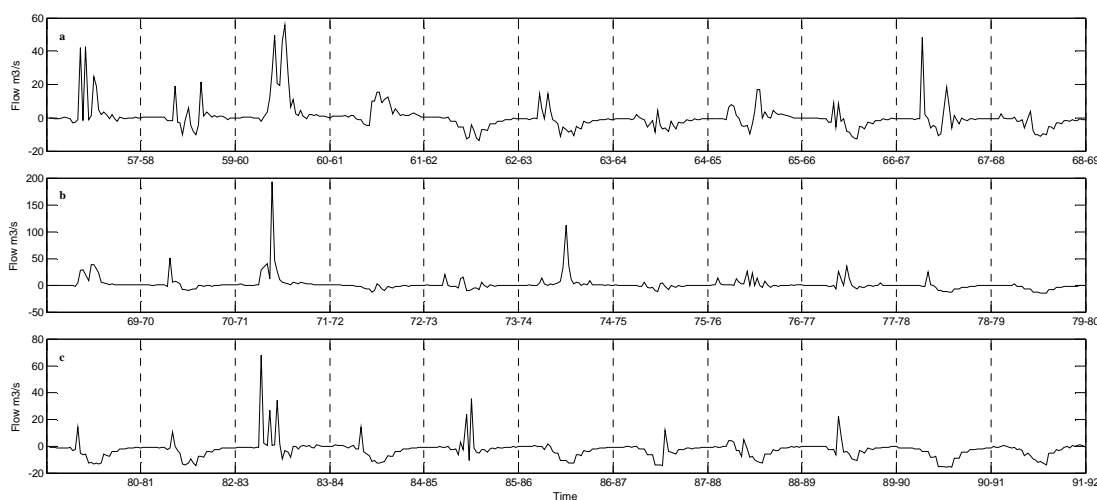


شکل ۴: منحنی دوام جریان ماهانه رودخانه نساء (A) مهر، (B) آبان، (C) آذر، (D) دی، (E) بهمن، (F) اسفند (G) فروردین، (H) اردیبهشت، (I) خرداد، (J) تیر، (K) مرداد، (L) شهریور.

ج: یافته‌های ادغام و مشخصه رویدادهای مستقل خشکسالی

از آنجاکه داده ۱۰-روزه جریان رودخانه در این بررسی مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین، حداقل دوام جریان کسری، ۱۰-روز می‌باشد. شکل ۵، انحراف جریان ۱۰-روزه از سطح آستانه متغیر را در دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. دوره‌های جریان مازاد و کمبود با توجه به ارزش‌های سطح آستانه متغیر، شناسایی شده‌اند. از آن پس رویدادهای خشکسالی وابسته با استفاده از روش معیار داخلی شناسایی و از طریق معادله شماره ۳، ادغام و رویدادهای مستقل خشکسالی ایجاد شده‌اند.

برای نمونه، یک رویداد خشکسالی از گام اول (۱۰-روزه نخست) دی‌ماه سال آبی ۱۳۶۲-۶۳ آغاز و در گام اول آذرماه سال آبی ۱۳۶۳-۶۴ پایان می‌یابد. از انتهای این دوره جریان کمبود، یک دوره میان رویدادی (مازاد جریان) آغاز می‌شود و تا گام سوم دی‌ماه سال آبی ۱۳۶۳-۶۴ ادامه می‌یابد؛ از آن پس انحراف جریان منفی شده و تا گام اول آذرماه سال آبی ۱۳۶۵-۶۶ ادامه می‌یابد. برای تصمیم‌گیری درباره‌ی دوره خشکسالی مستقل (گام نخست دی‌ماه سال آبی ۱۳۶۲-۶۳ تا گام نخست آذرماه ۱۳۶۵-۶۶) با وجود جریان مازاد میان رویدادی کوتاه‌مدت، کجلدسون و لاندروف (۱۹۹۷) و کجلدسون و همکاران (۲۰۰۰)، اوج‌های جزئی دوره‌های خیلی کوتاه را نادیده گرفته‌اند. این به دلیل مداخله دوره‌های مرطوب کوچک در پایان دادن به آثار منفی خشکسالی‌های طولانی‌مدت است. برای ادغام، دوام بحرانی میان رویدادی (t_c) سه گام زمانی ۱۰-روزه (۳۰-روز) لحاظ شده است و نسبت حجم بحرانی (P_c) به‌عنوان نسبت حجم مازاد میان رویدادی به حجم کمبود قبلی برای دوره دوام بحرانی برابر ۱ قرار گرفته است.



شکل ۵: انحراف جریان ۱۰-روزه از سطح آستانه متغیر در رودخانه نساء

پیش از ادغام رویدادهای وابسته، برای شناخت نوع خشکسالی‌ها از نظر دوام، شاخص هورست و همکاران (۱۹۵۱) روی داده‌های جریان رودخانه نساء اجرا شده است. این شاخص به‌عنوان نسبتی از جریان (صدک ۷۵) و ضریب تغییرهای آن‌ها است (معادله ۴). ارزش این شاخص برای جریان رودخانه نساء ۱/۹۵- محاسبه شده است که بیانگر غلبه رویدادهای طولانی‌مدت خشکسالی (سالانه) در رژیم آبدهی آن است.

بر اساس روش معیار داخلی، ادغام رویدادهای خشکسالی وابسته انجام و رویدادهای خشکسالی مستقل شناسایی شده‌اند (جدول ۲). از آن پس مشخصه‌های خشکسالی‌های مستقل شامل زمان آغاز، پایان، دوام و شدت نیز تشریح شده است. همچنین، شدت خشکسالی برای هر یک از رویدادهای خشکسالی مستقل با استفاده از نمایه شدت خشکسالی (پاندی و همکاران، ۲۰۰۸) محاسبه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشخص است، بیشینه خشکسالی‌های آب‌شناختی رودخانه نساء در رده شدید است. در طول دوره‌ی مطالعه، چهار رویداد خشکسالی مستقل با شدت فرین رخ داده است که به ترتیب شدت عبارتند از: (۱) ۱۳۸۲/۰۷/۰۱ تا ۱۳۸۳/۰۹/۳۰؛ (۲) ۱۳۸۸/۱۰/۱۰ تا ۱۳۹۲/۰۵/۲۰؛ (۳) ۱۳۷۸/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۱/۰۶/۳۰ و (۴) ۱۳۸۴/۱۱/۰۱ تا ۱۳۸۸/۰۹/۱۰. همان‌گونه که پیداست تمرکز رویدادهای خشکسالی فرین در دهه‌ی آخر دوره‌ی مورد مطالعه است. علاوه بر آن، دوام رویدادهای فرین نیز بیش از ۱ تا ۳ سال است.

جدول ۲: رویدادهای مستقل خشکسالی مبتنی بر روش ادغام معیار داخلی و مشخصه‌های آن در جریان رودخانه نساء

رده شدت	نمایه شدت	رواناب مورد انتظار	شدت	دوام(روز)	پایان	آغاز	ردیف
شدید	-۰/۳۸	۲۵/۳۰	-۸/۹۶	۱۰۰	۱۳۵۷/۱۰/۳۰	۱۳۵۷/۰۷/۲۰	۱
شدید	-۰/۴۴	۱۲/۱۵	-۵/۰۵	۳۰	۱۳۵۹/۱۰/۳۰	۱۳۵۹/۱۰/۰۱	۲
متوسط	-۰/۱۸	۱۲۰/۵۱	-۱۷/۴۹	۱۰۰	۱۳۶۰/۰۲/۲۰	۱۳۵۹/۱۱/۱۰	۳
متوسط	-۰/۱۲	۴/۹۳	-۰/۶۹	۳۰	۱۳۶۰/۰۷/۲۰	۱۳۶۰/۰۶/۲۰	۴
شدید	-۰/۲۹	۸/۱۵	-۲/۲۱	۳۰	۱۳۶۰/۱۰/۱۰	۱۳۶۰/۰۹/۲۰	۵
شدید	-۰/۴۲	۳۷/۷۱	-۱۶/۷۰	۶۰	۱۳۶۱/۱۱/۳۰	۱۳۶۱/۱۰/۰۱	۶
شدید	-۰/۴۱	۶۲۵/۵۴	-۲۷۴/۵۱	۱۰۶۰	۱۳۶۵/۰۹/۱۰	۱۳۶۲/۱۰/۰۱	۷
شدید	-۰/۴۶	۶۰/۶۱	-۲۸/۴۳	۶۰	۱۳۶۵/۱۲/۲۰	۱۳۶۵/۱۰/۲۰	۸
شدید	-۰/۳۲	۲۷/۹۱	-۷/۹۲	۱۳۰	۱۳۶۶/۱۰/۲۰	۱۳۶۶/۰۶/۲۰	۹
شدید	-۰/۳۳	۲۴۹/۴۰	-۸۷/۱۷	۳۹۰	۱۳۶۷/۱۲/۲۰	۱۳۶۶/۱۱/۲۰	۱۰
شدید	-۰/۴۷	۲۶۴/۱۸	-۱۲۸/۵۳	۵۸۰	۱۳۶۹/۱۰/۲۰	۱۳۶۸/۰۳/۲۰	۱۱
شدید	-۰/۴۳	۱۴۴/۲۷	-۵۵/۲۸	۱۵۰	۱۳۷۱/۰۴/۳۰	۱۳۷۰/۱۲/۰۱	۱۲
متوسط	-۰/۱۳	۷/۴۵	-۰/۷۹	۴۰	۱۳۷۱/۰۹/۱۰	۱۳۷۱/۰۸/۰۱	۱۳
شدید	-۰/۳۲	۴۲۵/۴۱	-۱۲۵/۷۶	۷۵۰	۱۳۷۴/۰۹/۱۰	۱۳۷۲/۰۸/۱۰	۱۴
شدید	-۰/۲۸	۲۱۴/۹۴	-۶۲/۸۹	۳۹۰	۱۳۷۶/۰۷/۱۰	۱۳۷۵/۰۶/۱۰	۱۵
متوسط	-۰/۱۸	۴۷/۱۶	-۷/۶۸	۱۱۰	۱۳۷۷/۰۵/۳۰	۱۳۷۷/۰۲/۱۰	۱۶
شدید	-۰/۴۶	۳۷/۰۲	-۱۶/۵۶	۱۳۰	۱۳۷۷/۱۱/۱۰	۱۳۷۷/۰۷/۰۱	۱۷
فرین	-۰/۶۴	۷۳۸/۹۶	-۴۵۰/۲۲	۱۲۶۰	۱۳۸۱/۰۶/۳۰	۱۳۷۸/۰۱/۰۱	۱۸
فرین	-۰/۷۱	۲۲۶/۲۳	-۱۵۳/۵۰	۴۵۰	۱۳۸۳/۰۹/۳۰	۱۳۸۲/۰۷/۰۱	۱۹
شدید	-۰/۲۵	۱۲۶/۴۲	-۳۲/۱۳	۲۰۰	۱۳۸۴/۰۷/۱۰	۱۳۸۳/۱۲/۲۰	۲۰
شدید	-۰/۳۴	۱۶/۰۵	-۵/۴۰	۶۰	۱۳۸۴/۱۰/۲۰	۱۳۸۴/۰۸/۲۰	۲۱
فرین	-۰/۵۱	۸۲۳/۲۷	-۴۰۶/۳۵	۱۳۹۰	۱۳۸۸/۰۹/۱۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۱	۲۲
فرین	-۰/۶۶	۸۱۱/۸۱	-۵۱۳/۴۱	۱۳۰۰	۱۳۹۲/۰۵/۲۰	۱۳۸۸/۱۰/۱۰	۲۳

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، خشکسالی‌های آب‌شناختی یکی از خُرد حوضه‌های آبریز کویر لوت با استفاده از روش سطح آستانه متغیر برای دوره آبی ۵۸-۱۳۵۷ تا ۹۲-۱۳۹۱ بررسی شده است. داده‌های ۱۰-روزه جریان رودخانه در ایستگاه آب-سنجی یال خری بر روی رودخانه نساء در حوضه مورد مطالعه بررسی شد. بررسی‌های اولیه از رژیم آبدهی رودخانه آشکار کرد که جریان رودخانه پایا بوده و الگوی آبدهی آن زنگدیس است. آبدهی رودخانه از ابتدای سال آبی (مهر ابتدای سال آبی لحاظ شده است) رو به افزایش تدریجی می‌رود که در انتهای فصل زمستان به اوج آبدهی می‌رسد و از آن پس رو به کاهش می‌گذارد. در راستای بهره‌گیری از رویکرد سطح آستانه متغیر در ارزیابی خشکسالی، جریان‌های قابل‌اعتماد هر ماه سال آبی بر اساس احتمالات رخداد جریان و از طریق منحنی‌های دوام جریان برآورد شد. برای این منظور، سطح آستانه صدک ۷۵ درصد منظور گردید. در ادامه، انحراف جریان‌های ۱۰-روزه از سطح آستانه محاسبه و مبنای تشخیص دوره‌های مازاد و کمبود جریان قرار گرفت. برای ادغام رویدادهای وابسته خشکسالی از روش معیار حجم و زمان میان رویدادی که به معیار داخلی مشهور است، استفاده و رویدادهای مستقل خشکسالی در رودخانه نساء شناسایی شد. در نهایت، سختی رویدادهای مستقل خشکسالی با استفاده از یک شاخص جدید برآورد شد. تحلیل مشخصه‌های خشکسالی آب‌شناختی در رودخانه نساء نشان داد که خشکسالی‌های طولانی‌مدت از مشخصه‌های رژیم هیدرولوژیکی این رودخانه است. علاوه بر آن، بیشینه خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در رژیم آبی این رودخانه بر اساس شاخص سختی خشکسالی در رده شدید قرار دارد. در دوره مورد مطالعه، چهار رویداد خشکسالی مستقل و طولانی‌مدت با سختی فرین در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه نساء رخ داده است که به دهه آخر دوره مورد مطالعه متمرکز است. از این رو، پیشنهاد می‌گردد بازنگری‌های واقع‌بینانه‌تر در برنامه‌های مدیریت آب این رودخانه به‌ویژه در بخش توزیع و تخصیص آن به منابع مختلف انجام شود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از آقای Rajendra P. Pandey از مؤسسه ملی هیدرولوژی وابسته به وزارت منابع آب دولت هند بابت راهنمایی‌ها و نظارت بر محاسبه داده‌ها قدردانی می‌گردد.

منابع

- نظری پور حمید(۱۳۹۵)، واسنجی روابط بارش-جریان رودخانه برای ارزیابی و امکان پیش‌بینی خشکسالی آب‌شناختی در حوضه آبریز کویر لوت(ایران)، مهندسی منابع آب، دوره ۹، شماره ۳۱، صص ۹۰-.
- Barradas, Victor L., (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City, International Journal of Biometeorology, Vol. 35, No.1.
- Bazrafshan, J., Hejabi, S., & Rahimi, J. (2014). Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPi). Water resources management, 28(4), 1045-1060.
- Ben-Zvi, A. (1987). Indices of hydrological drought in Israel. Journal of hydrology. 92(1-2), 179-191.
- Chang, T. J., and Kleopa, X. (1991). A proposed method for drought monitoring. Water Resources. Bull., 27(2), 275-281.
- Chen, S. T., Kuo, C. C., and Yu, P. S. (2009). Historical trends and variability of meteorological droughts in Taiwan. Hydrological Sciences Journal., 54(3), 430-441.
- Chen, Y. D., Zhang, Q., Xiao, M., & Singh, V. P. (2013). Evaluation of the risk of hydrological droughts by the trivariate Plackett copula in the East River basin (China). Natural hazards, 68(2), 529-547.

- Daneshvar, M. R. M., Bagherzadeh, A., & Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using the standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4463-4473.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., Jr. (1980a). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16(2), 289-296.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., Jr. (1980b). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297-302.
- Edossa, D. C., Babel, M. S., and Gupta, A. D. (2010). Drought analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management*. 24(7), 1441-1460.
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. Y., and Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(4), 532-552.
- Golian, S., Mazdiyasi, O., & AghaKouchak, A. (2015). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3-4), 679-688.
- Hannaford, J., Lloyd-Hughes, B., Keef, C., Parry, S., and Prudhomme, C. (2011). Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit. *Hydrological Processes*. 25(7), 1146-1162.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Clausen, B., Peters, E., and Gustard, A. (2004). Hydrological drought characteristics. Hydrological drought processes and estimation methods for streamflow and groundwater, L. M. Tallaksen and H. A. J. Van Lanen, eds., Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 139-182.
- Hosseinzadeh Talaei, P., Tabari, H., & Sobhan Ardakani, S. (2014). Hydrological drought in the west of Iran and possible association with large scale atmospheric circulation patterns. *Hydrological Processes*, 28(3), 764-773.
- Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. American Society of Civil Engineers*, 116, 770-808.
- Jain, V. K., Jain, M. K., & Pandey, R. P. (2014). Effect of the length of the streamflow record on truncation level for assessment of streamflow drought characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(7), 1361-1373.
- Khedun, C. P., Chowdhary, H., Mishra, A. K., Giardino, J. R., and Singh, V. P. (2013). Water deficit duration and severity analysis based on runoff derived from the Noahland surface model. *Journal of Hydrologic Engineering*. 18(7), 817-833.
- Kienzle SW. (2006). The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought. *Water Resources Management*. 20(6):991-1006.
- Kjeldsen, T. R., Lundorf, A., and Rosbjerg, D. (2000). Use of a two-component exponential distribution in partial duration modelling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers. *Hydrological Science Journal*, 45(2), 285-298.
- Kjeldsen, T.R. and Lundorf, A. (1997). Drought Management and Modelling — Zimbabwe Case, MSc Thesis, DTU, Technical University of Denmark
- Kousari, M. R., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M., & Chegzi, J. (2014). Trend detection of drought in arid and semi-arid regions of Iran based on implementation of reconnaissance drought index (RDI) and application of non-parametrical statistical method. *Water resources management*, 28(7), 1857-1872.
- Lorenzo-Lacruz, J., et al. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386(1-4), 13-26.
- Madsen, H., and Rosbjerg, D. (1995). On the modelling of extreme droughts. *Modeling and Management of sustainable basin-scale water resources systems: Proc., Boulder Symp. July 1995, International Association of Hydrological Sciences (IAHS), U.K.*, 377-385.
- Meigh J, Tate E, McCartney M. (2002). Methods for identifying and monitoring river flow drought in southern Africa. In: van Lanen and Demuth (eds.) *FRIEND 2002—Regional hydrology: bridging the gap between research and practice*. IAHS Publication No. 274, 181-188.
- Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*. 23(5), 881-897.
- Nazaripour, H. (2016). Calibration of rainfall-stream flow relationship for assessing and forecasting hydrological drought in kavir-e lut basin, Iran. *water resources engineering*, 9(31), 73-90.
- Pandey, R. P., and Ramasastri, K. S. (2002). Incidence of droughts in different climatic regions. *Hydrological Sciences Journal*, 47(Suppl. 1), S31-S40.
- Pandey, R. P., Mishra, S. K., Singh, R., and Ramasastri, K. S. (2008). Streamflow drought severity analysis of Betwa River System (India). *Water Resources Management*. 22(8), 1127-1141.
- Rajsekhar, D., Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2013). Regionalization of drought characteristics using an entropy approach." *Journal of Hydrologic Engineering*. 18(7), 870-887.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2011). An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management*, 25(4), 1075-1086.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2013). Regional drought modes in Iran using the SPI: the effect of time scale and spatial resolution. *Water resources management*, 27(6), 1661-1674.
- Sen, Z. (1980). Statistical analysis of hydrologic critical droughts. *Journal of hydraulics Division* ., 106(1), 99-115.
- Smakhtin, V. U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240:147-186.

- Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 26(22), 3351-3361.
- Tabari, H., Nikbakht, J., & Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water resources management*, 27(1), 137-151.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water resources management* 27(1), 137–151.
- Tallaksen L. M., van Lanen H. A. J (eds.) (2004). *Hydrological drought-processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Development in Water Science, Elsevier, Amsterdam.
- Tallaksen, L. M., and Van Lanen, H. A. J. (2004). *Hydrological drought—Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Developments in water sciences 48, Elsevier, Netherlands.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H., and Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42(1), 15–33.
- Tate, E. L., and Gustard, A. (2000). Drought definition: A hydrological perspective. *Drought and drought mitigation in Europe*, Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 23–48.
- Vasiliades, L., and Loukas, A. (2009). Hydrological response to meteorological drought using the palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*, 237(1–3), 3–21.
- Vasiliades, L., Loukas, A., and Liberis, N. (2011). A water balance derived drought index for Pinios River Basin, Greece. *Water Resources Management*. 25(4), 1087–1101.
- Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., and Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate Computation of a Streamflow Drought Index." *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 318-332.
- Vidal, J. P., et al. (2010). Multilevel and multi-scale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite. *Hydrol. Earth System. Science.*, 14(3), 459–478.
- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions.» *Water International*. 10(3):111–120.
- World Meteorological Organization (WMO). (1975). *Drought and agriculture*. Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland.
- Wu, H., Soh, L. K., Samal, A., and Chen, X. H. (2007). Trend analysis of streamflow drought events in Nebraska.» *Water resources management*. 22(2), 145–164.
- Zaidman, M. D., Rees, H. G., and Young, A. R. (2001). Spatio-temporal development of streamflow droughts in north-west Europe. *Hydrology and Earth System Sciences.*, 6(4), 733–751.
- Zarch, M. A. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., & Kousari, M. R. (2011). Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water resources management*, 25(13), 3485-3504.
- Zelenhasic, E., and Salvai, A. (1987). A method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research.*, 23(1), 156–168.

Research Article

Assessment of Streamflow Drought Based on Truncation Level (TL) Using Permanent Streamflow Data in one of the Sub-Basin of Lut Desert, Iran

Hamid Nazaripour¹, Mehdi Sedaghat^{*2}, Mohammad Poodineh³, Amir Hossein Halabian⁴

1. Assistant Professor, Department of Environment, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. & Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

2*. Assistant Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4. Associate Professor, Department of Geography, Payam Noor University, Iran.

Received: 29-12-2018

Final Revised: 10-10-2019

Accepted: 03-11-2019

Abstract

Drought is known as one of the main natural hazards especially in arid and semi-arid regions where there are considerable issues in regard to water resources management. Recognizing, monitoring and study of drought specifications are very important for water resources management. The focus of the present study is mainly on hydrological aspects of drought. For hydrological drought analysis, streamflow data is used as the key variable to identify drought events with reference to a demand specific threshold level, termed as truncation level. Thus, the objective of the present study is to (a) investigate the hydrological drought characteristics in Nesa River using streamflow data; (b) determine independent drought events, their duration, and severity using the variable truncation level approach; and (c) derive streamflow drought severity index. Based on expedience probabilities, the monthly flow duration curves for Nesa River were derived. These were utilized to estimate different dependable flows, and the values of variable truncation levels were obtained for a 75% probability level for each month. These values were used to distinguish the deficit and surplus flow periods independent drought events identified using the pooling procedure. Since 10 daily flow data were utilized, the minimum deficit flow duration was 10 days. In the following, have been identified some short duration (one or two 10-daily time step) surplus and deficit events. To decide on independent drought despite the short duration inter-event surplus has been used for a pooling procedure known as inter-event time and volume criterion (IC). Eventually, independent drought events and also their duration, severity, intensity, and DSI are identified and described. Analysis of independent drought Characteristics in Nesa River indicated that are prolonged dry period in the hydrological regime of this river. In addition, based on DSI, Nesa droughts mostly are in sever category. Hence, it is suggested more realistic reload occurs in management programs of this river including storage, distribution and assign to various resources.

Keywords: Hydrological drought, Truncation level, Low flow, Deficit flow, Drought severity index.

* Corresponding Author Email: sedaghat.me@pnu.ac.ir

References

References (in Persian)

Nazaripour, H. (2016). Calibration of rainfall-stream flow relationship for assessing and forecasting hydrological drought in kavir-e lut basin, Iran. *Water resources engineering*, 9(31), 73-90. [In Persian]

References (in English)

- Barradas, Victor L., (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 35, No.1.
- Bazrafshan, J., Hejabi, S., & Rahimi, J. (2014). Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPi). *Water resources management*, 28(4), 1045-1060.
- Ben-Zvi, A. (1987). Indices of hydrological drought in Israel. *Journal of hydrology*. 92(1–2), 179–191.
- Chang, T. J., and Kleopa, X. (1991). A proposed method for drought monitoring. *Water Resources. Bull.*, 27(2), 275–281.
- Chen, S. T., Kuo, C. C., and Yu, P. S. (2009). Historical trends and variability of meteorological droughts in Taiwan. *Hydrological Sciences Journal.*, 54(3), 430–441.
- Chen, Y. D., Zhang, Q., Xiao, M., & Singh, V. P. (2013). Evaluation of the risk of hydrological droughts by the trivariate Plackett copula in the East River basin (China). *Natural hazards*, 68(2), 529-547.
- Daneshvar, M. R. M., Bagherzadeh, A., & Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using the standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4463-4473.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., Jr. (1980a). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research*, 16(2), 289–296.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., and Paulson, E. G., Jr. (1980b). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297–302.
- Edossa, D. C., Babel, M. S., and Gupta, A. D. (2010). Drought analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management*. 24(7), 1441–1460.
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. Y., and Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(4), 532–552.
- Golian, S., Mazdiyasi, O., & AghaKouchak, A. (2015). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3-4), 679-688.
- Hannaford, J., Lloyd-Hughes, B., Keef, C., Parry, S., and Prudhomme, C. (2011). Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit. *Hydrological Processes*. 25(7), 1146–1162.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Clausen, B., Peters, E., and Gustard, A. (2004). Hydrological drought characteristics. Hydrological drought processes and estimation methods for streamflow and groundwater, L. M. Tallaksen and H. A. J. Van Lanen, eds., Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 139–182.
- Hosseinzadeh Talae, P., Tabari, H., & Sobhan Ardakani, S. (2014). Hydrological drought in the west of Iran and possible association with large scale atmospheric circulation patterns. *Hydrological Processes*, 28(3), 764-773.
- Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Trans. American Society of Civil Engineers.*, 116, 770-808.
- Jain, V. K., Jain, M. K., & Pandey, R. P. (2014). Effect of the length of the streamflow record on truncation level for assessment of streamflow drought characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(7), 1361-1373.
- Khedun, C. P., Chowdhary, H., Mishra, A. K., Giardino, J. R., and Singh, V. P. (2013). Water deficit duration and severity analysis based on runoff derived from the Noahland surface model. *Journal of Hydrologic Engineering*. 18(7), 817–833.
- Kienzle SW. (2006). The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought. *Water Resources Management*. 20(6):991–1006.
- Kjeldsen, T. R., Lundorf, A., and Rosbjerg, D. (2000). Use of a two-component exponential distribution in partial duration modelling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers. *Hydrological Science Journal.*, 45(2), 285–298.
- Kjeldsen, T.R. and Lundorf, A. (1997). Drought Management and Modelling — Zimbabwe Case, MSc Thesis, DTU, Technical University of Denmark
- Kousari, M. R., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M., & Chegzi, J. (2014). Trend detection of drought in arid and semi-arid regions of Iran based on implementation of reconnaissance drought index (RDI) and application of non-parametrical statistical method. *Water resources management*, 28(7), 1857-1872.
- Lorenzo-Lacruz, J., et al. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology.*, 386(1–4), 13–26.
- Madsen, H., and Rosbjerg, D. (1995). On the modelling of extreme droughts. *Modeling and Management of sustainable basin-scale water resources systems: Proc., Boulder Symp. July 1995, International Association of Hydrological Sciences (IAHS), U.K.*, 377–385.
- Meigh J, Tate E, McCartney M. (2002). Methods for identifying and monitoring river flow drought in southern Africa. In: van Lanen and Demuth (eds.) FRIEND 2002—Regional hydrology: bridging the gap between research and practice. IAHS Publication No. 274, 181–188.
- Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*. 23(5), 881–897.

- Nazaripour, H. (2016). Calibration of rainfall-stream flow relationship for assessing and forecasting hydrological drought in kavir-e lut basin, Iran. *water resources engineering*, 9(31), 73-90.
- Pandey, R. P., and Ramasastry, K. S. (2002). Incidence of droughts in different climatic regions. *Hydrological Sciences Journal.*, 47(Suppl. 1), S31–S40.
- Pandey, R. P., Mishra, S. K., Singh, R., and Ramasastry, K. S. (2008). Streamflow drought severity analysis of Betwa River System (India). *Water Resources Management*. 22(8), 1127–1141.
- Rajsekhar, D., Mishra, A. K., and Singh, V. P. (2013). Regionalization of drought characteristics using an entropy approach.” *Journal of Hydrologic Engineering*. 18(7), 870–887.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2011). An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management*, 25(4), 1075-1086.
- Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2013). Regional drought modes in Iran using the SPI: the effect of time scale and spatial resolution. *Water resources management*, 27(6), 1661-1674.
- Sen, Z. (1980). Statistical analysis of hydrologic critical droughts. *Journal of hydraulics Division* ., 106(1), 99–115.
- Smakhtin, V. U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*240:147–186.
- Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 26(22), 3351-3361.
- Tabari, H., Nikbakht, J., & Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water resources management*, 27(1), 137-151.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water resources management* 27(1), 137–151.
- Tallaksen L. M, van Lanen H. A. J (eds.) (2004). *Hydrological drought-processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Development in Water Science, Elsevier, Amsterdam.
- Tallaksen, L. M., and Van Lanen, H. A. J. (2004). *Hydrological drought—Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Developments in water sciences 48, Elsevier, Netherlands.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H., and Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42(1), 15–33.
- Tate, E. L., and Gustard, A. (2000). Drought definition: A hydrological perspective. *Drought and drought mitigation in Europe*, Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 23–48.
- Vasiliades, L., and Loukas, A. (2009). Hydrological response to meteorological drought using the palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*, 237(1–3), 3–21.
- Vasiliades, L., Loukas, A., and Liberis, N. (2011). A water balance derived drought index for Pinios River Basin, Greece. *Water Resources Management*. 25(4), 1087–1101.
- Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., and Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate Computation of a Streamflow Drought Index.” *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 318-332.
- Vidal, J. P., et al. (2010). Multilevel and multi-scale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite. *Hydrol. Earth System. Science.*, 14(3), 459–478.
- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions.» *Water International*. 10(3):111–120.
- World Meteorological Organization (WMO). (1975). *Drought and agriculture*. Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland.
- Wu, H., Soh, L. K., Samal, A., and Chen, X. H. (2007). Trend analysis of streamflow drought events in Nebraska.» *Water resources management*. 22(2), 145–164.
- Zaidman, M. D., Rees, H. G., and Young, A. R. (2001). Spatio-temporal development of streamflow droughts in north-west Europe. *Hydrology and Earth System Sciences.*, 6(4), 733–751.
- Zarch, M. A. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., & Kousari, M. R. (2011). Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water resources management*, 25(13), 3485-3504.
- Zelenhasic, E., and Salvai, A. (1987). A method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research.*, 23(1), 156–168.