

تحلیل خشکسالی آبشناسی با کاربرد روش حد آستانه در ایستگاههای مهم استان کردستان

مطلب بایزیدی^{۱*}، معروف سی و سه مرده^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۲/۲۴

چکیده

بارندگیهای بسیار کم و متعاقباً دوره‌های کم آبی، می‌توانند اثرات قابل توجهی بر مسائل مدیریت آب شامل آلودگی رودها، مدیریت و طراحی آبگیر، آبیاری، طرحهای تولید نیرو، تأمین آب آشامیدنی و... داشته باشند. خشکسالی به عنوان یکی از بلاهای طبیعی با اثرات و پیامدهای ناخوشایند بوم‌شناسی، اجتماعی و اقتصادی است که رشد جمعیت و افزایش تقاضای آب اثرات آن را تشدید می‌کنند. خشکسالی آبشناسی، که بعد از خشکسالیهای هواشناسی و کشاورزی به وقوع می‌پیوندد، به دو دسته‌ی خشکسالی جریان رود و خشکسالی آب زیر زمینی تقسیم می‌شود، که از نظر زمانی، خشکسالی جریان رود پیش از خشکسالی آب زیرزمینی رخ می‌دهد. در این تحقیق با استخراج منحنی تداوم جریان از گروه زمانی داده‌های روزانه‌ی ایستگاههای مهم آبنجی استان کردستان، دوره‌های خشکسالی آبشناسی جریان رود با کاربرد روش حد آستانه (روش تقاطع) استخراج و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در روش حد آستانه بدهی $Q\alpha$ شامل بدهی است که α درصد داده‌ها از آن بیشتر می‌باشد. جهت حذف خشکسالیهای کوچک و ادغام خشکسالیهای وابسته از روش معیار داخلی (IC) استفاده گردید. در تحلیل آماری، بهترین توزیعها بر گروههای حداکثر سالانه (شامل حجم کمبود و تداوم خشکی) مشخص شد. نتایج نشان دادند که میانگین حجم کمبود و تداوم خشکسالی در منطقه‌ی مورد تحقیق، به ترتیب برابر با ۷/۱۷ میلیون متر مکعب و ۷۶ روز می‌باشد. بهترین توزیعهای آماری برای گروههای زمانی حجم کمبود توزیعهای جانسون و پیرسون و برای گروههای زمانی تداوم توزیعهای جانسون و نمایی بودند. بر اساس توزیعهای فوق میانگین دوره‌ی بازگشت خشکسالیهای آبشناسی در این منطقه ۴ سال محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی آبشناسی، روش حد آستانه، کردستان.

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، گروه مهندسی آب، سنندج، ایران.

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، گروه مهندسی آب، مهاباد، ایران

*- نویسنده مسئول: m.byzedi@iaudsj.ac.ir

مقدمه

خشکسالی^۱، برخلاف خشکی^۲، یک پدیده موقت است و می‌تواند تحت عنوان انحراف از شرایط بهنجار تعریف گردد (هیس‌دال و تالاکسن، ۲۰۰۳). در حالی که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی کم است و حالتی دایمی از اقلیم می‌باشد. به دلیل گستردگی دامنه‌ی خشکسالی در بخشهای زیادی از جامعه، وجود تعاریف متفاوت از خشکسالی یک ضرورت می‌باشد (ویلهاپیت و گلنتز، ۱۹۸۵). انواع خشکسالی شامل خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آبشناسی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اجتماعی-اقتصادی است که در این مقاله خشکسالی آبشناسی مورد بحث و تاکید می‌باشد. در تحلیل خشکسالی آبشناسی، به دنبال یافتن توزیعهای احتمالاتی مناسب جهت برازش بر گروههای زمانی تداوم و حجم کمبود خشکسالی می‌باشیم، که در نتیجه‌ی آن می‌توان خطر وقوع خشکسالی آینده را پیش‌بینی کرد. خشکسالیهای آبشناسی در قالب کسریهای بدهی رود به معنای دوره‌هایی است که بدهی رود برای تأمین نیازهای برنامه‌زیری شده، تحت سامانه‌ی مدیریتی موجود کافی نمی‌باشد (هیس‌دال و تالاکسن، ۲۰۰۰). شاخصهای مختلفی برای خشکسالی آبشناسی ارائه شده‌اند که می‌توان به شاخص آبشناسی پالم^۳ اشاره نمود که در واقع توسعه شاخص خشکسالی پالم (PDSI) بود که به وسیله‌ی نامبرده در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید، ولی بر خلاف شاخص قبلیش با استقبال مواجه نشد. مورد دیگر شاخص منابع آب موجود سطحی^۴ (SWSI) می‌باشد که برای طرح مقابله با خشکسالی در ایالت کلرادو تدوین شده است. این شاخص با در نظر گرفتن وزن مؤلفه‌های آبشناسی سرمایه‌ی برفی، جریان رود، بارش و حجم مخازن قابل محاسبه می‌باشد (دزمان و همکاران، ۱۹۸۲). در موضوع خشکسالی آبشناسی شاید مناسبترین نوع تحلیل، بررسی دوره‌های پیوسته‌ای که در آن بدهی رود در زیر یک حد آستانه^۵ از پیش تعیین شده (که اغلب تحت

عنوان بدهی مرجع^۶ یا سطح برشی^۷ از آن یاد می‌شود) قرار دارد، باشد. تحلیل دوره‌های زمانی می‌تواند برای مقایسه‌های زمانی مختلف داده‌ها از روزانه تا سالانه انجام شود (زلنهاسیک و سالوی، ۱۹۸۷). (جرولد و والفیتریچ، ۱۹۹۰) همکاران خشکسالی آبشناسی در رود نیل را با استفاده از گروههای بیشترین و کمترین سطح آب رود شبیه سازی و تحلیل نمودند شبیه قادر بود خشکسالیهای طولانی و شدید را مشخص کند (جرالد و والفیتریچ، ۱۹۹۰). محققین دیگری با استفاده از روش حد آستانه خشکسالی آبشناسی را در ۱۰ رود زیمباوه بررسی و اعلام کردند بهترین توزیع جهت تحلیل گروههای جزئی تداوم و حجم کمبود خشکسالی توزیع‌نمایی دوگانه می‌باشد (جلدسن و همکاران، ۲۰۰۰). در پژوهشی دیگر، محققین با تحلیل فراوانی و خطر وقوع خشکسالی آبشناسی از طریق روش حد آستانه، توانستند زمان وقوع خشکسالی را بصورت تصادفی برآورد نمایند که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب کاربرد دارد (جنگ تزونگ و هیس ون، ۲۰۰۱). هیس‌دال (۲۰۰۲) با استفاده از گروههای تداوم جزئی^۸ (PDS) و از طریق شبیه‌سازی مقادیر حدی (EV) نتیجه‌گیری نمودند که شبیه‌سازی حجم کمبود خشکسالی آبشناسی موفقیت‌آمیز است. آنها خشکسالیهای ۱۰ ساله و ۱۰۰ ساله را با گروههای ۱۲ روزه جریان و با استفاده از شبیه آماری^۹ به دست آورد و این شبیه را توصیه کردند. شبیه دیگری تخمین تغییرات رواناب در آلمان تهیه گردیده است که پژوهشگران بیان نمودند خشکسالی آبشناسی عمدتاً به وسیله‌ی جریان پایه و افت سطح آب زیر زمینی تنظیم می‌گردد (نوتزمن و می، ۲۰۰۷). پاندی و همکاران (۲۰۰۸) جهت تحلیل خشکسالی جریان رود برای حوضه رود بتوا در هندوستان یک شاخص، که تابعی از حجم کمبود و تداوم نسبی بود ارائه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که خشکسالیهایی که در ماههای آگوست تا نوامبر شروع می‌شوند، شدیدتر از موارد سایر ماهها می‌باشند. حسینی زارع و سعادتی (۱۳۸۱) اثر خشکسالی دوره‌ی ۸۰-۱۳۷۷ را بر کیفیت

۶ Reference Discharge

۷ Truncation Level

۸ Patial Deficit Series

۹ Generalized Precipitation Index

۱ Drought

۲ Aridity

۳ Palmer's Hydrological Deficiency Index (PHDI)

۴ Surface Water Supply Index

۵ Threshold

حوضه‌های آبخیز سفیدرود، مرزی غرب، ارومیه و کرخه را تشکیل داده (شکل ۱) و سرچشمه‌ی رودهای مهم قزل اوزن، سیروان و زرینه رود محسوب می‌گردد.

داده‌های جریان

در این تحقیق از آمار بدهی روزانه ۴ ایستگاه مهم، که بیشترین مساحت استان کردستان را پوشش داده‌اند، استفاده گردیده است. مشخصات این ایستگاهها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جهت اصلاح و بازسازی داده‌ها از ایستگاههای مطمئن، که در مقیاس ماهانه دارای بیشترین همبستگی با داده‌های ایستگاههای مورد نظر بود، استفاده گردید.

روش تحقیق

جهت تشخیص و بررسی خشکسالی آبشناسی از روش حد آستانه استفاده شد. متداولترین تعریف کمی خشکسالی آبشناسی براساس یک حد آستانه Q_{α} می باشد که کمتر از آن جریان رود به‌عنوان خشکسالی در نظر گرفته می شود. در این روش معمولاً دوره‌های^۳ بالا و پایین یک یک حد آستانه مشخص بررسی می شود و در اصل به نام روش نظری دنباله‌ها نام گذاری شده است (هیسدال و تالاکسن، ۲۰۰۰). مهمترین حیطه‌ی کاربرد این روش در طراحی نیروگاههای برقی، سامانه‌های تأمین آب، و برنامه ریزی آبیاری می‌باشد. اولین کاربردهای روش دنباله‌ها در آبشناسی به‌وسیله‌ی یوجویچ (۱۹۶۷) انجام شد. طول دنباله‌ی (تداوم خشکسالی یا di) و مجموع آن (حجم کمبود یا بزرگی Si) به‌عنوان فراسنجهای خشکسالی نقطه‌ای توصیه شده‌اند (شکل ۲). اغلب شاخص خشکسالی دیگری به نام شدت خشکسالی نیز به صورت نسبت بین حجم کمبود خشکسالی (Si) و تداوم خشکسالی (di) تعریف شده است. با توجه به شکل ۲، و در نظر گرفتن گروه زمانی بدهی روزانه (Q_k) می‌توان رابطه‌ی بین فراسنجه‌ها را به صورت زیر نشان داد:

$$DQ = \begin{cases} Q_{\alpha} - Q_k & \text{if } Q_k < Q_{\alpha} \\ 0 & \text{if } Q_k \geq Q_{\alpha} \end{cases} \quad (1)$$

$$Si = 86.4 \sum_{j=1}^{di} DQ_j \quad (2)$$

منابع آب کارون بررسی نموده و بیان داشتند که میزان شوری در این دوره حدود ۱۵ الی ۲۱ درصد افزایش یافت. صفدری و همکاران (۱۳۸۲) با استفاده از شاخص^۱ SPI نقشه‌ی گستره خشکسالی را در حوضه‌ی کارون ارائه کردند. نتایج آنها نشان دادند که دوره‌های خشکسالی شدید و بسیار شدید با تداومهای طولانی مدت در طول دوره آماری وجود داشته، و در مناطق جنوبی حوضه خشکسالی شدیدتر از مناطق شمالی بوده است. در تحقیق دیگری روند خشکسالیها و ترسالیها در حوضه کارون بررسی شد (پرهت و همکاران، ۱۳۷۹). مرید و همکاران (۱۳۸۴) برخی شاخصهای خشکسالیهای هواشناسی و آبشناسی را برای استان تهران بررسی، و اعلام کردند شاخص خشکسالی موثر^۲ (EDI) دارای عملکرد بهتری جهت پایش خشکسالی بوده است. همچنین، ایشان با استفاده از روش چانگ و اطلاعات حجم ذخایر سدها و آورد رودها اقدام به پایش خشکسالی آبشناسی نمودند. هدف از این مقاله استخراج دوره‌های خشکسالی آبشناسی از گروه زمانی داده‌های روزانه ایستگاههای آبنجی در محل خروجی حوضه‌های آبخیز استان کردستان با کاربرد روش حد آستانه، تجزیه و تحلیل نتایج و محاسبه دوره بازگشت خشکسالیهای تاریخی می باشد.

مواد و روشها

ویژگی‌های منطقه تحقیق

منطقه‌ی تحقیق شامل استان کردستان می‌باشد که در مجاورت استانهای آذربایجان غربی، زنجان، همدان و کرمانشاه، و هم مزر با کشور عراق قرار گرفته است که بیش از ۲۰۰ کیلومتر مرز مشترک با عراق دارد. مختصات جغرافیایی استان ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی، و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی می باشد. استان کردستان با دارا بودن بارندگی سالانه‌ی حدود ۵۰۰ میلی‌متر (بیش از دو برابر بارندگی مبه و سیله‌ی ایران) یکی از پرآبترین استانهای ایران است، بطوری که با ۷/۱ درصد مساحت ۵/۳ درصد حجم بارندگیهای کشور (معادل ۲/۱۴ میلیارد متر مکعب) را دریافت می‌کند. استان کردستان بخشی از

^۳ Runs

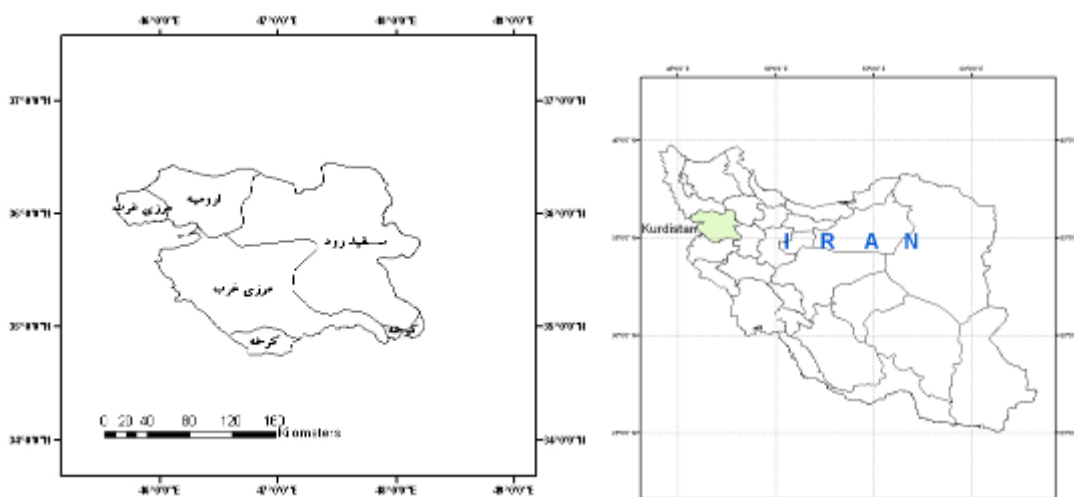
^۴ Runs Theory

^۱ Standard Precipitation Index

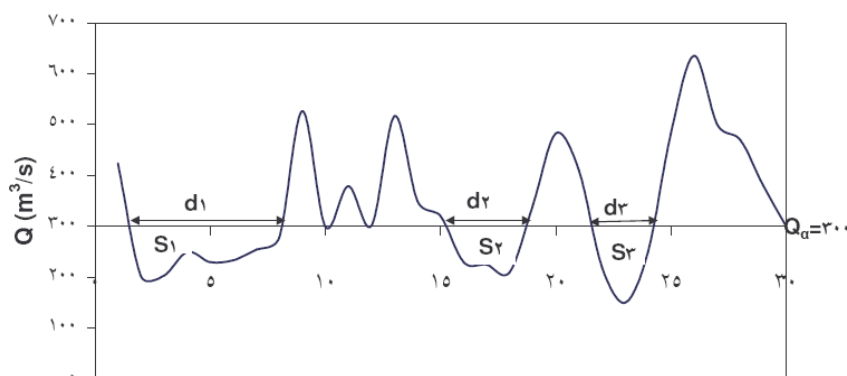
^۲ Effective Deficit Index

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای آبنجی انتخاب شده.

نام ایستگاه	دوآب نوسود	قره گونی	پنبه دانه	پل آدینان
کد ایستگاه	۲۱۰۴۷	۱۷۰۱۱	۳۳۰۱۱	۳۳۰۱۵
طول جغرافیایی (درجه)	۲۳/۴۶	۹۵/۴۷	۳۷/۴۶	۴۳/۴۶
عرض جغرافیایی (درجه)	۱۲/۳۵	۲۳/۳۶	۲۸/۳۶	۲/۳۶
رود	سیروان	قزل اوزن	زرینه رود (سقزچای)	زرینه رود (چغاتوچای)
سنوات آماری	۱۹۵۹-۲۰۰۶	۱۹۷۵-۲۰۰۶	۱۹۸۰-۲۰۰۶	۱۹۸۰-۲۰۰۶
بدهی مبه وسیلهی (m ³ /s)	۳۳/۸۷	۶۲/۳۳	۱۵/۱۱	۰۹/۱۸



شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق و تفکیک آن با توجه به حوضه‌های آبخیز



شکل ۲- مولفه های تداوم (di) و حجم کمبود خشکسالی آشناسی (Si) بر اساس کاربرد روش حد آستانه

منحنی تداوم جریان^۱ (FDC) استفاده کرد. چنانچه جهت تحلیل از داده‌های روزانه استفاده گردد، منحنی تداوم جریان نشان دهنده‌ی رابطه‌ی بین بدهی های روزانه و احتمال وقوع $P(X \geq x)$ است. بدهی بزرگتر و یا مساوی، یک شاخص بدون بعد می‌باشد که بیانگر نسبتی از زمان

که عبارت است از کمبود بدهی روزانه (m³/s) و S_i برابر حجم کمبود خشکسالی i (به 1000 m³) می‌باشد. می‌توان حد آستانه را با کاربرد روشهای مختلفی انتخاب کرد، و این گزینش خود تابع نوع و شرایط کمبود آب منطقه تحت مطالعه می‌باشد (زلنهاسیک و سالوی ۱۹۸۷). برای انتخاب حد آستانه می‌توان از صدکی از

^۱ Flow Duration Curve

(MA)، و ج-الگوریتم بده ی اوج متوالی^۵ (SPA) تقسیم می شوند(فلیگ، ۲۰۰۴). در روش IC برای حذف خشکسالیهای جزئی و ادغام خشکسالیهای وابسته از ضرایب α ، d_{min} و t_c استفاده می گردد. α ضریبی است که برای حذف موارد خشکسالی جزئی به کار می‌رود، بدین ترتیب، اگر در یک خشکسالی، حجم کمبود کمتر از حاصلضرب α در حداکثر کمبود مشاهده شده باشد ($S_i < \alpha \cdot S_{max}$) حذف خواهد گردید، و مقدار آن معمولاً بین $0.1/0.05$ در نظر گرفته می‌شود(فلیگ، ۲۰۰۴).

d_{min} نیز حداقل فاصله زمانی است که خشکسالیهای جزئی با تداوم مساوی یا کمتر از آن ($d_i \leq d_{min}$) حذف می گردند، و معمولاً کمتر از ۵ روز در نظر گرفته می شوند. t_c زمان بحرانی نام داشته و طوری در نظر گرفته می‌شود که اگر دو واقعه ی خشکسالی وابسته با فاصله زمانی $t_i < t_c$ به وقوع پیوندند، با هم ادغام خواهند شد. به جای t_c می‌توان حجم کمبود بحرانی (S_c) را در نظر گرفت. در هر دو حالت، تداوم و حجم کمبود وقایع ادغام شده (d_{pool} و S_{pool}) به صورت زیر محاسبه می گردد (دزمان و همکاران، ۱۹۸۲):

$$d_{pool} = d_i + d_{i+1} + t_i \quad (3)$$

$$S_{pool} = S_i + S_{i+1} \quad (4)$$

در این تحقیق، جهت استخراج خشکسالیها از نرم‌افزار Nizowka2003 که به‌وسیله ی دو تن از استادان دانشگاه روکلاو لهستان تهیه گردیده است، استفاده شد(ژاکوبسکی و رادزوک ۲۰۰۳). جهت حذف خشکسالیهای کوچک، و ادغام خشکسالیهای وابسته روش معیار داخلی (IC) به کار رفت، که با توجه به نتایج تحقیقات فلیگ (۲۰۰۴) مقدار $\alpha = 0.05/0$ ، $d_{min} = 3$ روز و $t_c = 5$ روز در نظر گرفته شد. نامبرده تاثیر تغییرات فراسنجهای فوق را بررسی، و مقادیر بهینه مذکور را اعلام نمود (دراکوپ و همکاران ۱۹۸۰). در تحلیل خشکسالی وقایع شدید (یا طولانی) حائز اهمیت هستند. $F_t(x)$ ، احتمال وقوع شدیدترین خشکسالی آشناسی در فاصله ی زمانی $(0, t)$ (مثلاً یک سال) به صورت زیر محاسبه می‌گردد(جنگ تزونگ و هیسون ۲۰۰۱).

است که بدهی روزانه مساوی و یا بزرگتر از مقداری مشخص است. بیان بدهی ها به صورت مقادیر بزرگتر یا مساوی اجازه می‌دهد تا بتوان شرایط جریان را در رودهای مختلف با هم مقایسه کرد. بدهی بزرگتر یا مساوی معمولاً به صورت صدک بیان می‌شود. به عنوان مثال، بدهی در ۹۰ درصد زمانهای اندازه‌گیری شده(طی دوره ی آماری) دارای مقدار بزرگتر و یا مساوی صدک ۹۰ ام (Q_{90}) می‌باشد. در مطالعات منطقه‌ای نبود گروههای زمانی طولانی در مناطق گسترده ممکن است استفاده از حدود آستانه ی خیلی پایین را محدود کند، چه، موجب نشان دادن سالهای بدون خشکسالی زیاد می شود (مقدار جریان به ندرت از حد آستانه انتخابی در طی یک سال پایینتر می‌رود). از طرف دیگر، چنانچه حد آستانه افزایش یابد، مشکل خشکسالیهای چند ساله(خشکسالیهایی که بیش از یک سال به طول می انجامد) جدیتر خواهد شد، و در نتیجه، باید مراقب انتخاب حدود آستانه بالا نیز بود (هیسدال و تالاکسن، ۲۰۰۰).

حد آستانه می‌تواند ثابت و یا این که در طی سال به صورت فصلی، ماهانه و یا هفتگی متغیر در نظر گرفته شود. علاوه بر منحنی تداوم جریان، می‌توان حد آستانه را معادل میانگین جریان، درصدی از میانگین، ترکیب خطی از میانگین و انحراف معیار نیز در نظر گرفت(دراکوپ و همکاران، ۱۹۸۰). در روش حد آستانه، خشکسالی هواشناسی و یا آبشناسی می‌تواند بر اساس تداوم و حجم کمبود تعریف گردد. اگر چه حد آستانه یک تعریف واقع بینانه از خشکسالی ارائه می نماید، اما انتخابهای کارشناسی زیر نیز باید انجام شوند: ۱- انتخاب حد آستانه ۲- انتخاب نوع گروه جزئی^۱ (PDS) یا حداکثر سالانه^۲ (AMS) ۳- تقسیم‌بندی فصول ۴- روش ادغام خشکسالیهای وابسته و حذف خشکسالیهای کوچک (چنانچه از داده های روزانه استفاده شود). به منظور رفع مشکل خشکسالیهای وابسته و جزئی، که می‌تواند شبیه سازی مقادیر بزرگ را تحریف نماید، باید از برخی روشهای ادغام سازی استفاده کرد. روشهای ادغام سازی به سه دسته ی: الف-معیار داخلی^۳ (IC) ب-میانگین متحرک^۴

^۱ Partial Duration Series

^۲ Annual maximum series

^۳ Interior criteria

^۴ Moving average

^۵ Sequent peak algorithm

برگروههای AMS (تداوم و حجم کمبود) آزمون شد، و برای نکویی برازش نیز از آزمون کای اسکور استفاده گردید. براساس احتمال وقوع حاصل از توزیع احتمالاتی $F_t(x)$ ، دوره ی بازگشت خشکسالیهای تاریخی از رابطه ی زیر به دست می آید:

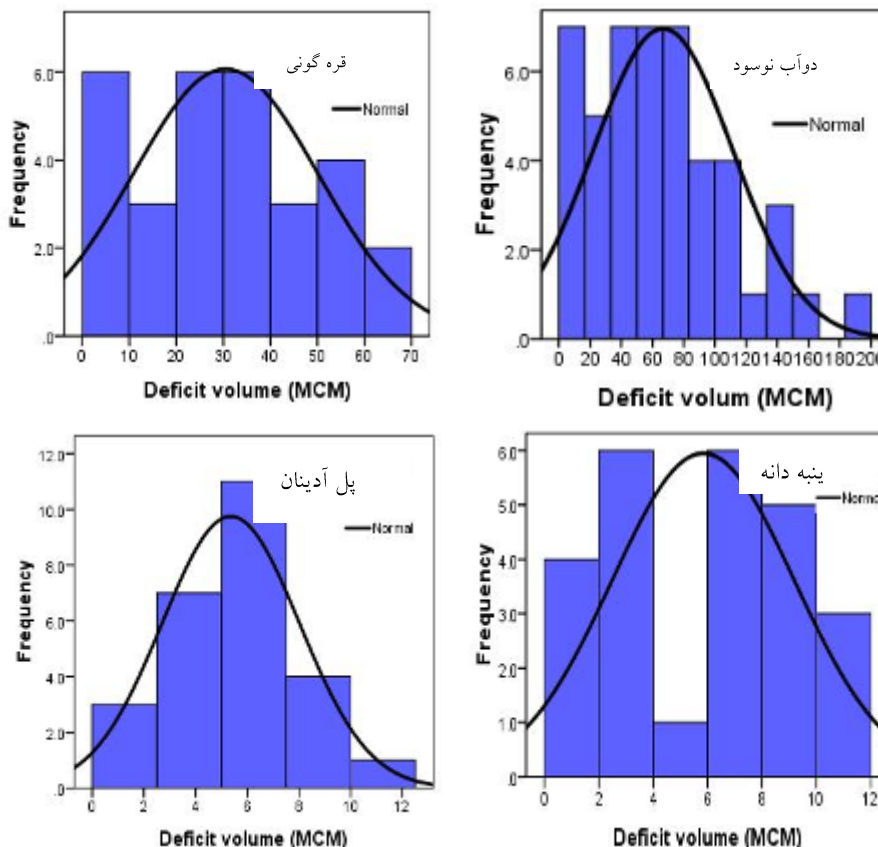
$$T_{(x)} = \frac{1}{1 - F_t(x)} \quad (۶)$$

$$F_t(x) = P_r(Z_t = 0) + \sum_{k=1}^{\infty} H_t^k(x) P_r(Z_t = K) \quad (۵)$$

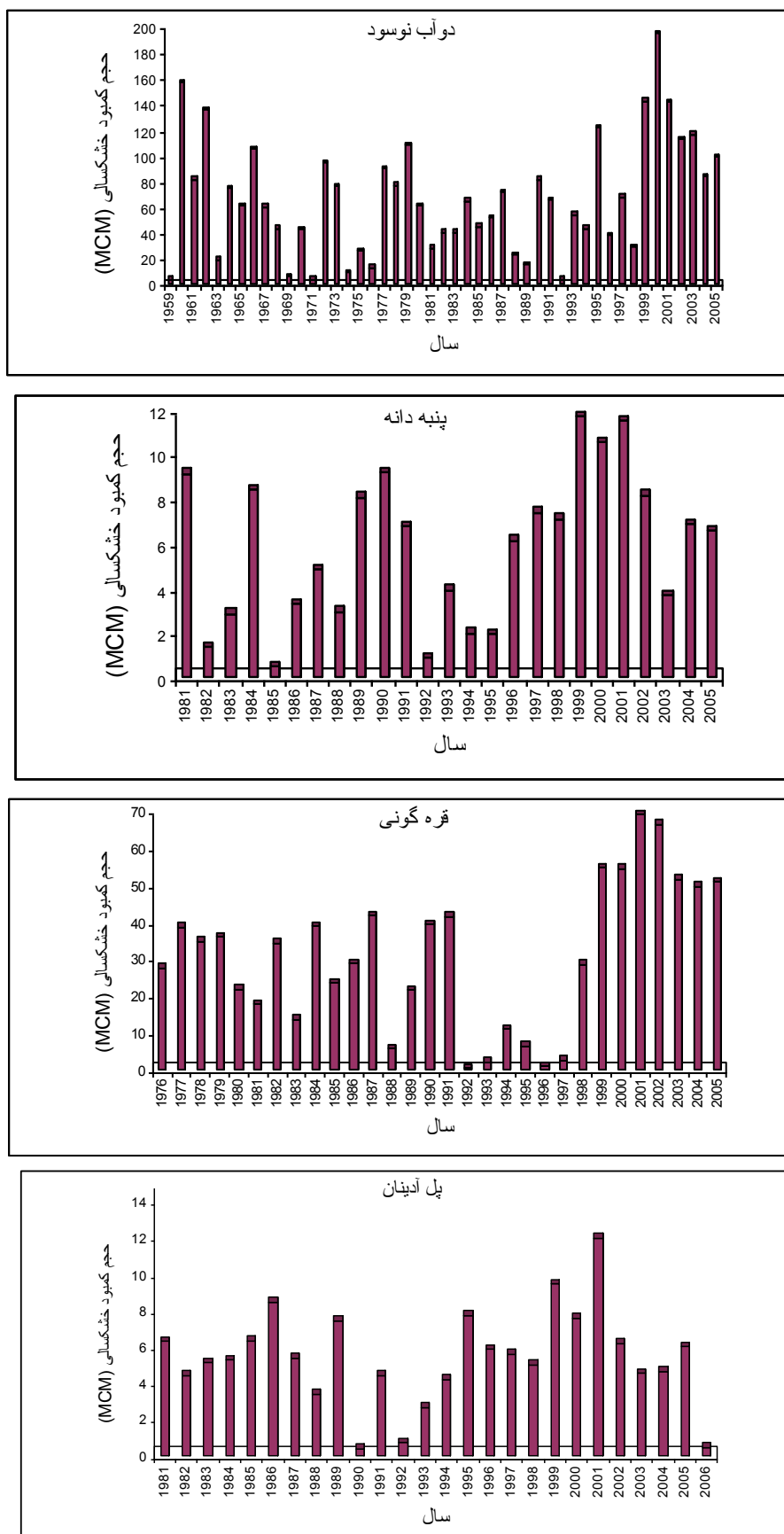
که در آن متغیر X حجم کمبود خشکسالی، $P_r(Z_t = k)$ احتمال وقوع K مورد خشکسالی در بازه ی زمانی $(0, t)$ و $H_t(x)$ تابع توزیع احتمالاتی حاکم بر گروه حجم کمبود خشکسالیها در بازه ی زمانی مذکور می باشند. بنا بر توصیه ی زلنهاسیک و سالوی (۱۹۸۷)، توزیعهای احتمالاتی گاما (از نوع پیرسن نوع ۳)، ویبول، لوگ بهنجار، جانسون، نمایی دوگانه و GP جهت برازش

جدول ۲- مقدار متوسط مشخصه های خشکسالی آشناسی در طول دوره ی آماری در ایستگاهها.

ایستگاه				مشخصه ی خشکسالی
پل آدینان	پنبه دانه	قره گونی	دوآب نوسود	
۳۳	۳۳	۴۳	۷۹	تعداد وقایع خشکسالی در طول دوره ی آماری
۲۳/۴	۴۲/۴	۶۵/۲۱	۵۲/۴۰	میانگین حجم کمبود ($10^6 m^3$)
۲۳۴/۰	۳۹۶/۰	۶۴۴/۰	۴۶۴/۰	میانگین حجم کمبود نسبی ($10^6 m^3/m^3/s$)
۸۳	۸۲	۷۵	۶۴	میانگین تداوم (days)
۰۴۳/۰	۰۴۶/۰	۲۳۷/۰	۵۱۴/۰	میانگین شدت خشکسالی ($10^6 m^3/day$)



شکل ۳- توزیع فراوانی حجم کمبود سالانه ی خشکسالی در ایستگاهها.



شکل ۴- حجم کمبود خشکسالی آشناسی در طول دوره ی آماری ایستگاهها.

نتایج و بحث

با توجه به بررسیهای انجام شده، و نتایج تحقیقات قبلی (هیسدال و تالاکسن، ۲۰۰۳) پس از رسم منحنی تداوم جریان روزانه، مقدار Q_7 به عنوان حد آستانه برای ایستگاهها انتخاب گردید. مقدار Q_7 برای ایستگاههای دواب نوسود، قره گونی، پنبه دانه و پل آدینان به ترتیب برابر با $۰۶/۲۳$ ، $۰۹۲/۴$ ، $۰۹۸/۰$ و $۰۹/۰$ متر مکعب بر ثانیه بود، و دوره‌های خشکسالی بر اساس آن استخراج گردیدند. میانگین مشخصه‌های خشکسالی آشناسی ایستگاهها در طول دوره ی آماری در جدول ۲ نشان داده شده اند. با توجه به تعداد سالهای آماری، میانگین تعداد رخداد خشکسالی برای ایستگاههای مذکور به ترتیب برابر با $۷/۱$ ، $۵/۱$ ، $۴/۱$ و $۳/۱$ مورد در سال می باشد بدین معنی که در ایستگاه دواب نوسود تناوب خشکسالی حداکثر، و در ایستگاه پل آدینان حداقل می‌باشد. حجم کمبود نسبی برابر با حجم کمبود به میانگین بده بوده، و شاخص مناسبی جهت مقایسه شدت خشکسالی است بر اساس این شاخص، خشکسالی در ایستگاه قره گونی شدیدتر از سایر ایستگاهها بوده است. در رابطه با میانگین تداوم خشکسالی وضعیت برعکس بوده و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه پل آدینان (۸۳ روز) و کمترین آن مربوط به ایستگاه دواب نوسود (۶۴ روز) می‌باشد.

توزیع فراوانی حجم کمبود خشکسالی و تغییرات این شاخص در طول دوره ی آماری ایستگاهها به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده اند. در ایستگاه دواب نوسود در ابتدای دوره ی آماری در سالهای ۱۹۶۰، ۱۹۶۲ و ۱۹۷۹، و در انتهای دوره در سال ۱۹۹۵، و از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ خشکسالیها با بزرگی بالا اتفاق افتاده، بطوری که شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۲۰۰۰ می‌باشد. در سایر سالها خشکسالی مبه وسیله ی یا ضعیف بوده اند. در ایستگاه قره گونی از سال ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۷ خشکسالی با شدت مبه وسیله ی و گاهی ضعیفتر و با بزرگی (یا حجم کمبود) ۴۵-۱۵ میلیون مترمکعب رخ داده است. در سال ۱۹۸۳، و همچنین از سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۷، خشکسالیها ضعیف بوده اند. شدیدترین رخداد در این ایستگاه نیز مربوط به سال ۲۰۰۱ می‌باشد در ایستگاه پنبه دانه در سالهای ۱۹۸۰، ۱۹۸۴، و از سال ۱۹۸۹ تا

۱۹۹۱، و همچنین از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ خشکسالیها شدید، و در سال ۱۹۸۳، از ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۳ مبه وسیله ی و در بقیه سالها ضعیف بوده اند. شدیدترین رخداد در این ایستگاه مربوط به سالهای ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱ می‌باشد.

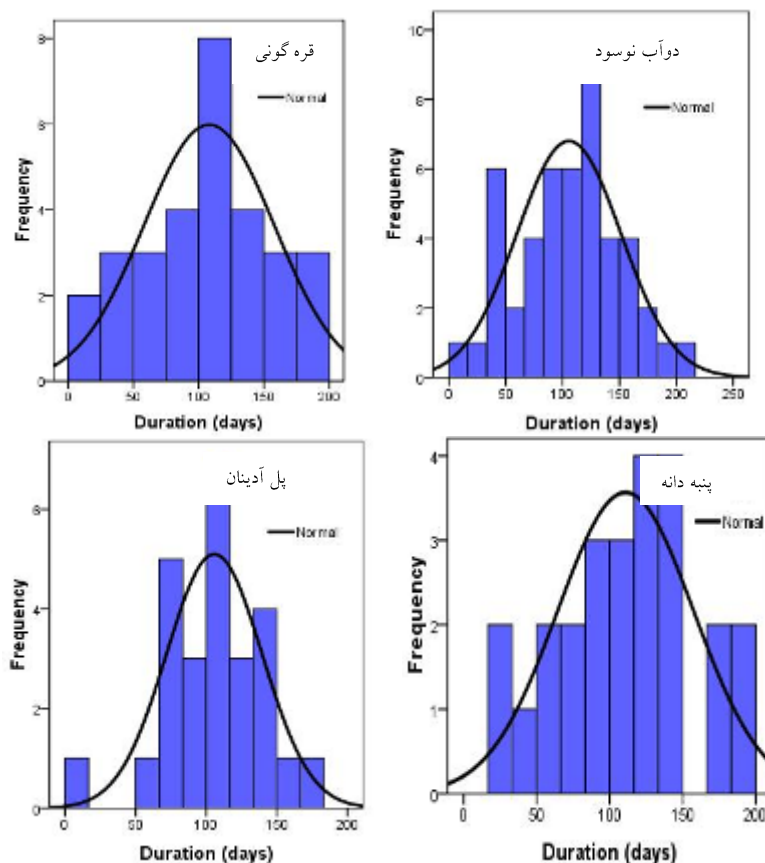
در ایستگاه پل آدینان از سال ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۹، و از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵، خشکسالیها دارای حجم کمبود مبه وسیله ی و بیشتر بوده و از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴، و سال ۲۰۰۶ ضعیف بوده‌اند. شدیدترین رخداد در این ایستگاه نیز مربوط به سال ۲۰۰۱ است. با مقایسه ایستگاهها متوجه می‌شویم شدیدترین وقایع در کل منطقه از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ اتفاق افتاده است، و این دوره بحرانی ترین وضعیت در طول دوره ی آماری می‌باشد.

یکی دیگر از شاخص‌ها، تداوم خشکسالی است که از طریق آن طول دوره ی خشکسالی مشخص می‌گردد. توزیع فراوانی و تغییرات این شاخص برای ایستگاهها در طول دوره ی آماری در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده اند. تداوم ۱۰۰ روز تقریباً در تمام ایستگاهها دارای بیشترین فراوانی می‌باشد. خشکسالیها در ایستگاه دواب نوسود از سال ۱۹۵۹ تا ۱۹۶۷ دارای تداوم بالایی بوده‌اند. تغییرات تداوم خشکسالی در ایستگاهها با سالهای آماری مشترک تقریباً از یک روند پیروی کرده، و از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۵ بین ۲۰ تا ۱۳۰ روز متغیر بوده است. از سال ۱۹۹۶ به بعد تداوم خشکسالی دارای روند صعودی بوده و طولانیترین خشکسالیها مربوط به سالهای ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ می‌باشد؛

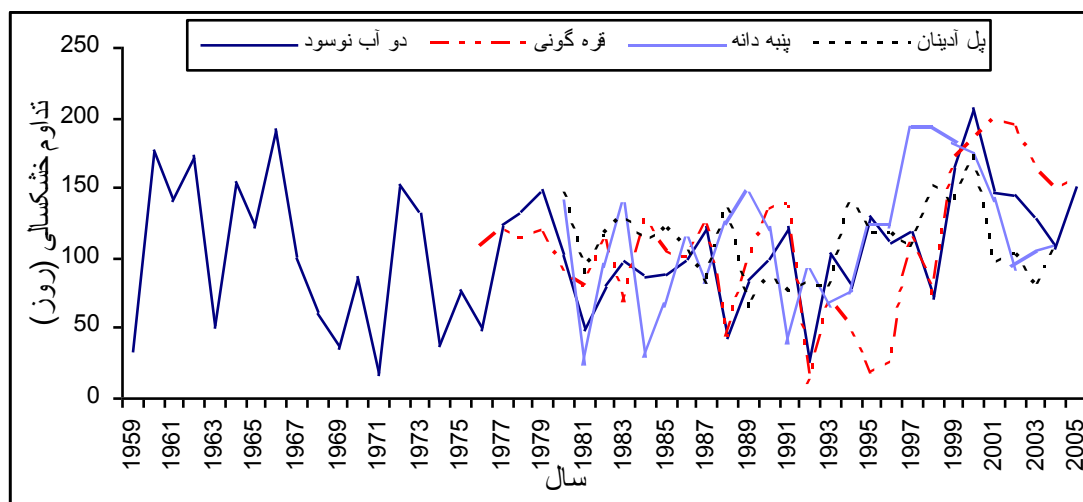
بعد از دوره ی مذکور، روند تغییرات مجدداً نزولی است. وضعیت همزمانی خشکسالی در حوضه‌های آبخیز مختلف، و بررسی میزان همبستگی مشخصه‌های خشکسالی در آنها در جدول ۳ ارائه شده است. ایستگاههای دواب نوسود و قره‌گونی دارای همبستگی بالا و معنی‌داری (در سطح $۰/۱$) از لحاظ بزرگی خشکسالی بوده‌اند، در صورتی که بین دواب نوسود و پنبه دانه همبستگی ضعیفتر و در سطح $۰/۵$ معنی‌دار می‌باشد. همچنین، ایستگاههای قره‌گونی و پنبه‌دانه از همبستگی $۵۲/۰$ سطح معنی‌داری $۰/۱$ برخوردارند. میزان ضریب همبستگی بزرگی خشکسالی ایستگاه پل آدینان با سایر ایستگاهها ضعیف بوده و معنی‌دار نیست. از لحاظ تداوم خشکسالی،

معنی‌دار، و همبستگی بین ایستگاههای پنبه‌دانه- دوآب نوسود در سطح 0.05 معنی‌دار بوده و در بقیه موارد میزان همبستگی معنی‌دار نیست. بطور کلی، می‌توان گفت که همبستگی ویژگیهای خشکسالی آشناسی در سه ایستگاه دوآب نوسود، قره‌گونی و پنبه‌دانه نسبتاً بالا و معنی‌دار می‌باشد. همبستگی این ایستگاهها از لحاظ بزرگی خشکسالی قویتر است.

همبستگی بین ایستگاههای دوآب نوسود- قره‌گونی و قره‌گونی- پنبه‌دانه در سطح 0.01 معنی‌دار، و همبستگی بین ایستگاههای پنبه‌دانه- پل‌آدینان در سطح 0.05 معنی‌دار بوده، و در بقیه موارد میزان همبستگی معنی‌دار نمی‌باشد. در مورد شدت خشکسالی نیز همبستگی بین ایستگاههای دوآب نوسود- قره‌گونی، قره‌گونی- پنبه‌دانه و پل‌آدینان- قره‌گونی در سطح 0.01



شکل ۵- توزیع فراوانی تداوم سالانه‌ی خشکسالی در ایستگاهها.



شکل ۶- تداوم خشکسالی آشناسی در طول دوره ی آماری ایستگاهها.

جدول ۳- ضریب همبستگی ویژگیهای خشکسالی آشناسی ایستگاهها

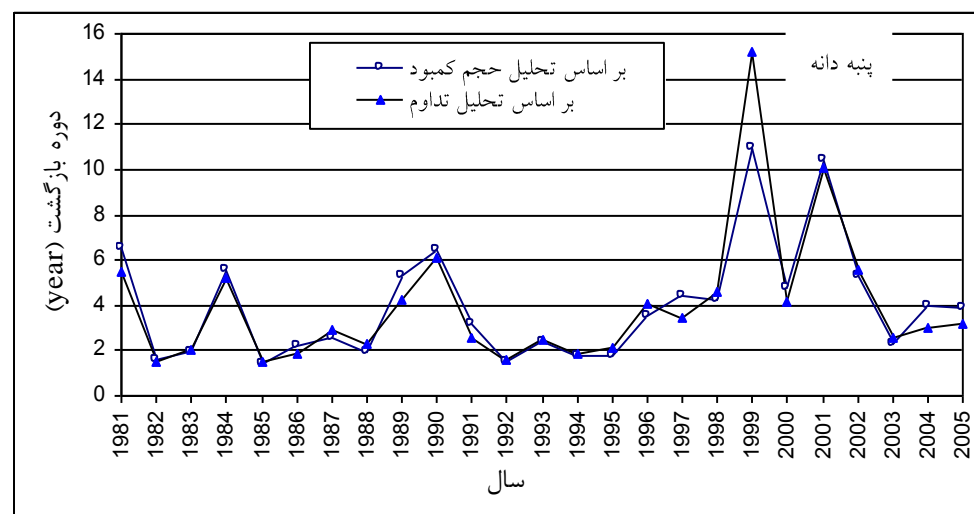
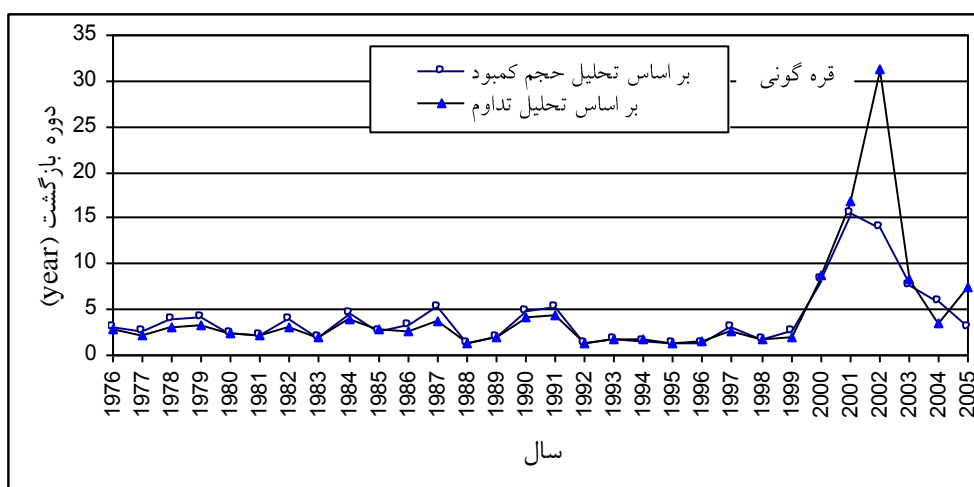
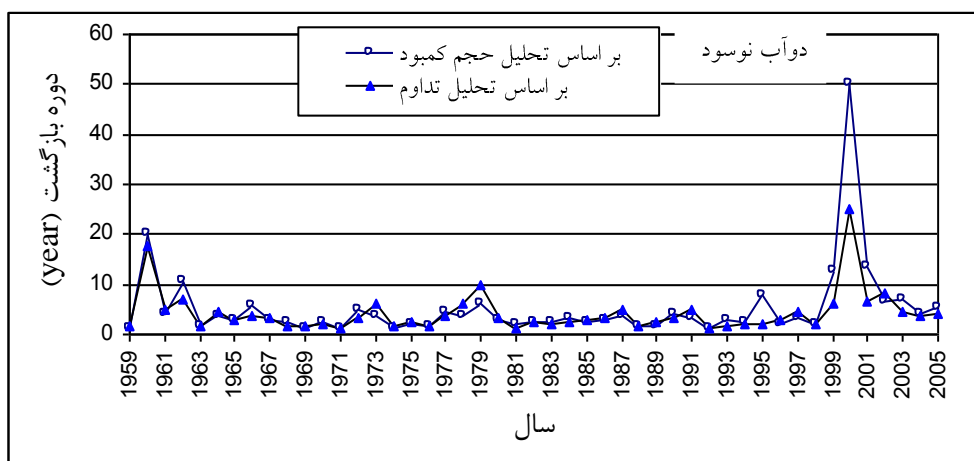
مشخصه خشکسالی	ایستگاه	دوآب نوسود	قره گونی	پنبه دانه	پل آدینان
بزرگی:	دوآب نوسود	۰۰/۱	۰/۷۲**	۴۳/۰*	۳۹/۰
	قره گونی	۰/۷۲**	۰۰/۱	۵۲/۰**	۳۶/۰
	پنبه دانه	۴۳/۰*	۵۲/۰**	۰۰/۱	۳۶/۰
	پل آدینان	۳۹/۰	۳۶/۰	۳۶/۰	۰۰/۱
تداوم:	دوآب نوسود	۰۰/۱	۶۶/۰**	۳۷۵/۰	۳۷۴/۰
	قره گونی	۶۶/۰**	۰۰/۱	۵۲/۰**	۱۸/۰
	پنبه دانه	۳۷۵/۰	۵۲/۰**	۰۰/۱	۵۲/۰*
	پل آدینان	۳۷۴/۰	۱۸/۰	۵۲/۰*	۰۰/۱
شدت:	دوآب نوسود	۰۰/۱	۶۰/۰**	۴۰/۰*	۳۳/۰
	قره گونی	۶۰/۰**	۰۰/۱	۶۲/۰**	۴۸/۰**
	پنبه دانه	۴۰/۰*	۶۲/۰**	۰۰/۱	۲۰/۰
	پل آدینان	۳۳/۰	۴۸/۰**	۲۰/۰	۰۰/۱

** بیانگر معنی داری در سطح ۰/۱ می باشد. * بیانگر معنی داری در سطح ۰/۰۵ می باشد.

جدول ۴-

نوع تحلیل	ایستگاه			
	دوآب نوسود	قره گونی	پنبه دانه	پل آدینان
حجم کمبود:	جانسون	پیرسون	پیرسون	*
	۰/۶	۲۳/۰	۱/۰	-
توزیع:	K ^۲			
تداوم:	جانسون	جانسون	نمایی	*
	۱۶/۰	۴۴/۰	۱۷/۰	-
توزیع:	K ^۲			

برای این موارد توزیع مناسب و قابل قبول یافت نشد. *



شکل ۷- تغییرات دوره‌ی بازگشت خشکسالیها بر اساس دو نوع تحلیل فراوانی.

جدول ۵- دوره ی بازگشت شدیدترین و طولانیترین خشکسالیها بر اساس تحلیل فراوانی بزرگی و تداوم.

پل آدینان	پنبه دانه	قره گونی	دوآب نوسود	مشخصه خشکسالی	
۱۲	۷/۱۱	۶۶/۶۸	۴/۱۸۹	حجم کمبود ($10^6 m^3$)	شدیدترین خشکسالی:
۱۷۳	۱۹۱	۱۹۱	۱۹۰	تداوم (days)	
۲۰۰۱	۱۹۹۹	۲۰۰۱	۲۰۰۰	سال وقوع	
-	۱۱	۱۶	-	دوره ی بازگشت (years)	
۱۲	۷/۱۱	۴/۶۶	۴/۱۸۹	حجم کمبود ($10^6 m^3$)	طولانیترین خشکسالی:
۱۷۳	۱۹۱	۱۹۴	۱۹۰	تداوم (days)	
۲۰۰۱	۱۹۹۹	۲۰۰۲	۲۰۰۰	سال وقوع	
-	۱۵	۸۳	۲۵	دوره ی بازگشت (years)	

دوره ی بازگشت بر اساس دو نوع تحلیل مذکور به ترتیب برابر با ۱۶ و ۳۱ سال، و مربوط به سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ می باشد. در ایستگاه پنبه دانه نیز دوره ی بازگشت از یک تا ۱۱ سال بر اساس تحلیل حجم کمبود، و از یک تا ۱۵ سال بر اساس تحلیل تداوم متغیر بوده و میانگین آن بر اساس دو نوع تحلیل برابر با ۴ سال است. بیشترین دوره ی بازگشت بر اساس دو نوع تحلیل مذکور در این ایستگاه به ترتیب برابر با ۱۱ و ۱۵ سال، و مربوط به سال ۱۹۹۹ می باشد. دوره ی بازگشت خشکسالیها با توجه به دو نوع تحلیل با هم تفاوتی داشته ولی تقریباً از یک روند پیروی می کنند. تغییرات دوره ی بازگشت خشکسالیها بر اساس دو نوع تحلیل در شکل ۷ این تغییرات مورد مقایسه قرار گرفته اند.

نتیجه گیری

خشکسالی آشناسی در ۴ ایستگاه اصلی استان کردستان بر اساس روش حد آستانه (Q_7) انجام، و مشخص گردید که در دوره ی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ شدیدترین و طولانیترین خشکسالیها اتفاق افتاده است (جدول ۵). میانگین تعداد رخداد خشکسالی برای این استان برابر با ۵/۱ مورد در سال می باشد. تحلیل فراوانی برای گروههای بیشترین سالانه ی بزرگی (حجم کمبود) و تداوم خشکسالی انجام گردید. بهترین توزیعها برای تحلیل بزرگی خشکسالی توزیعهای جانسون و پیرسون، و برای تحلیل تداوم خشکسالی توزیعهای جانسون و نمایی بودند، این نتایج با نتایج تحقیقات کلاسن و همکاران (۱۹۹۵) و کجلدسن و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارند. این در حالی است که

پس از تحلیلهای آماری، بهترین توزیع احتمالاتی مناسب برای گروههای حداکثر سالانه، حجم کمبود و تداوم خشکسالی بر اساس حد آستانه، Q_7 ، مشخص گردید. در این تحلیل جهت برآورد فراسنج توزیعها از روش حداکثر درست نمایی، و برای آزمون نکویی برازش، از آزمون K^2 استفاده گردید (جدول ۴). برای قبول فرض صفر، که همانا تناسب برازش است، بایستی مقدار K^2 بیشتر از ۰۵/۰ بوده، و بهترین توزیع دارای حداکثر مقدار K^2 باشد. برای تحلیل حجم کمبود در ایستگاه دوآب نوسود، و تحلیل حجم کمبود و تداوم خشکسالی در ایستگاه پل آدینان، هیچ یک از توزیعها در آزمون K^2 قبول نشدند، لذا در این سه مورد توزیع مناسبی یافت نگردید.

در ادامه، از طریق رابطه ی ۶ دوره ی بازگشت خشکسالیها بر اساس نتایج حاصل از تحلیل فراوانی محاسبه گردید. در ایستگاه دوآب نوسود بر اساس تحلیل فراوانی گروههای بیشترین حجم کمبود، دوره ی بازگشت از یک تا ۵۰ سال متغیر بوده و میانگین آن در طول دوره آماری برابر ۵ سال می باشد. بالاترین دوره ی بازگشت مربوط به سال ۲۰۰۰، و برابر با ۵۰ سال بوده است. دوره ی بازگشت در این ایستگاه بر اساس تحلیل تداوم از ۱ تا ۲۵ سال متغیر بوده و میانگین آن برابر با ۴ سال، و بالاترین مقدار آن مربوط به سال ۲۰۰۰ و برابر ۲۵ سال بوده است. در ایستگاه قره گونی دوره ی بازگشت از یک تا ۱۶ سال بر اساس تحلیل حجم کمبود، و از یک تا ۸۳ سال بر اساس تحلیل تداوم متغیر می باشد، و میانگین آن بر اساس این دو نوع تحلیل به ترتیب برابر با ۴ و ۵ سال است. همچنین، بیشترین

خشکسالی مشخص گردید که بیشترین همبستگی بین بزرگی و تداوم خشکسالی وجود دارد. همبستگی ویژگیهای خشکسالی آبشناسی در سه ایستگاه دوآب نوسود، قره‌گونی و پنبه‌دانه نسبتاً بالا و معنی‌دار می‌باشد. همبستگی این ایستگاهها از لحاظ بزرگی خشکسالی قویتر است. ضعیفترین رابطه همبستگی نیز بین تداوم و شدت خشکسالی وجود داشت.

فلیگ (۲۰۰۴)، انگلند و همکاران (۲۰۰۴) و تکارزیک و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که برای موارد مذکور توزیع GP دارای پوشش بهتری می‌باشد. میانگین دوره ی بازگشت خشکسالی در بیشتر ایستگاهها، و براساس دو نوع تحلیل، ۴ تا ۵ سال بود، و این خود دلیلی بر بازگشت‌پذیر بودن خشکسالی در این منطقه می‌باشد. همچنین، دوره ی بازگشت خشکسالیها عمدتاً بین ۵۰-۱۱ سال، و بطور میانگین حدود ۴ سال بود. با بررسی رابطه ی ویژگیهای

References:

1. Clausen, B. and C.P. Pearson. 1995. Regional Frequency Analysis of Annual Maximum Stream Flow Drought. *Journal of Hydrology*. 173:111-130.
2. Dezman, L.E., B.A. Shafer, H.D. Simpson and J.A. Danilson. 1982. Development of a Surfer Water Supply Index – A Drought Severity Indicator for Colorado, in *Proceedings Int. Symp. on Hydrometeorology*, American Water Resource Association (AWRA), June 13-17, 1982, Colorado, USA, 337-341.
3. Dracup, J.A., K.S. Lee and E.G. Jr. Paulson. 1980. On the Definition of Droughts, *Water. Resource .Research*. 16(2): 297-302.
4. England, K., H. Hisdal and A. Frigessi. 2004. Practical Extreme Value Modeling Hydrological Flood and Drought: A Case Study. *Extremes*. 7: 5-30.
5. Fleig, A. 2004. Hydrological Drought –a Comparative Study Using Daily Discharge Series from Around World, Master Thesis, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg.
6. Gerold, R. and, S. Wolfdietrich. 1990. Drought Risk Analysis Based on Hydrologic Records of the River Nile. *Proceedings of the International Symposium on Hydraulics/Hydrology of Arid Lands and 1990 National Conference on Hydraulic Engineering*. 495-500.
7. Hisdal, H. 2002. Regional Aspects of Drought. Ph.D. thesis, No. 221, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, Oslo.
8. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. 2003. Estimation of Regional, Meteorological and Hydrological Frought Characteristics: a Case Study for Denmark. *Journal of Hydrology*. 281:230–247.
9. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. (eds.) 2000. Drought Event Definition. ARIDE Tech. Report no. 6 University of Oslo, Oslo, Norway.
10. HosainI zarea, N., Saadati, N., 2002, the Effect of Drought in Water Resources Quality on Dez and Karoon Rivers (Khozestan Province). Seminar of Way to Contrast of Water Crisis. Shahid Chamrzn University, Ahwaz.
11. Jacobowski, W. and L. Radczuk. 2003. NIZOWKA2003 Software, Agricultural University of Wroclaw, Poland.
12. Jeng-Tzong, S. and S. Hsieh-Wen. 2001. Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 127(1):30-40.
13. Kjeldsen, R.T., A. Lundrof and D. Rosbjerg. 2000. Use of a two-component exponential Distribution in Partial Duration Modeling of Hydrological Drought in Zimbabwean Rivers. *Hydrological science journal*. 45(2):285-298.

14. Morid, S.M., Paimozd, S., Ghaemi, H. 2005. Drought Monitoring System on Tehran Province, Iranian Water Resources Management Company.
15. Nutzmann, G. and S. Mey. 2007. Model-Based Estimation of Runoff Changes in a Small Lowland Watershed of North-Eastern Germany. *Journal of Hydrology*. 334(3,4):467-476.
16. Pandey, R.P., S.K. Mishra, R. Singh and K.S. Ramasastri. 2008. Streamflow Drought Severity Analysis of Betwa River System (India). *Water Resour. Manage.* 22:1127-1141.
17. Porhemmat, j., Saghafian, B., Sedghi, H., 2000. Study of Dry and Wet Years Trends on Karoon Basin. First Conference of Ways to Contrast of Low Flow and Drought. Kerman University.
18. Razaee Pajand, H., 2001. Usage of Statistics and Probability in Water Resources. Sokhan Gostar Publisher.
19. Safdari, A.A., Mohseni Saroe, M., Saghafian, B., Mahdavi, M., 2003. The Mapping of Drought Frequency on Karoon Basin Base on Standard Precipitation Index (SPI) by GIS. 3rd Territorial Conferences of Water Crisis
20. Salas, J.D, F. Chongjin, A. Cancelliere, D. Dustin, D. Bode, A. Pineda, and E. Vincent. 2005. Characterizing the Severity and Risk of Drought in the Poudre River ,Colorado. *Journal of Water Resource Planning and Management*. 131(5): 383-393.
21. Tokarczyk, T., A. Dubicki, E. Kupczyk, and R. Suligowski. 2005. Assessment of drought potential risk for Upper and Middle Odra Watershed. *Geophysical Research Abstracts*. 7:63-73.
22. Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The role of Definitions. *Water International*. 10(3): 111-120.
23. Yevjevich, V. 1967. An Objective Approach to Definition and Investigations of Continental Hydrologic Droughts, *Hydrology papers*, 23, Colorado State University, Fort Collins, USA.
24. Zelenhasic, E. and A. Salvai. 1987. A Method of Streamflow Drought Analysis, *Water. Resource .Research*. 23(1):156-168.