

تحلیل خشک سالی هیدرولوژیکی حوضه کارون بر اساس داده های روزانه

• **مطلب بایزیدی**، دانش آموخته دکتری آبیاری و زه کشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (نویسنده مسئول)

• **بهرام ثقفیان**، استاد مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

• **حسین صدقی**، استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

• **فریدون کاوه**، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: فروردین ماه ۱۳۸۸

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۹۶۹۸۸۹۸

Email: m.byzedi@gmail.com

چکیده

خشک سالی به عنوان یکی از بلاهای طبیعی با اثرات و تبعات منفی اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی است که رشد جمعیت و افزایش تقاضای آب اثرات آن را تشدید می نماید. تحلیل و بررسی این موضوع و دخالت دادن آن در برنامه های توسعه کشور، که قسمت اعظم آنرا مناطق خشک و نیمه خشک در بر می گیرد، حائز اهمیت فراوانی است. در میان انواع خشک سالی، خشک سالی هیدرولوژیکی در قالب کسری های دبی رودخانه به معنای دوره هایی است که دبی رودخانه برای تامین نیازهای برنامه ریزی شده تحت سیستم مدیریتی موجود کافی نمی باشد. در این تحقیق با استخراج منحنی تداوم جریان از سری زمانی داده های روزانه ایستگاه هیدرومتری پل شالو، واقع در حوضه کارون، دوره های خشک سالی هیدرولوژیکی به روش حد آستانه (روش تقاطع) استخراج و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بررسی ها نشان داد سری های حداکثر سالانه خشک سالی (AMS) شامل تداوم و حجم کمبود بر اساس حد آستانه Q_7 از توزیع GP^1 تبعیت می نمایند. بر این اساس دوره بازگشت خشک سالی های تاریخی محاسبه گردید و به استثنای سال ۱۳۴۳-۱۳۴۲ اغلب خشک سالی ها دارای دوره بازگشت زیر ۳۰ سال بودند به عنوان نمونه خشک سالی سال ۱۳۸۰ که اغلب مناطق کشور را فرا گرفت بر اساس تحلیل حجم کمبود و تداوم به ترتیب دارای دوره بازگشت ۱۹ و ۱۳ سال بود. در ادامه ریسک خشک سالی برای دوره بازگشت های مختلف و برای عمر پروژه های آبی ارائه گردید. بیشترین مقادیر حجم کمبود خشک سالی ها به ۱۱ سال اول و ۵ سال آخر دوره مورد بررسی اختصاص داشته به طوری که در ۱۱ سال اول دوره بازای حد آستانه Q_9 ، ۵۷ درصد و بازای حد آستانه Q_7 ، ۵۰ درصد کل خشک سالی ها اتفاق افتاده، و در ۵ سال آخر بازای حد آستانه Q_9 ، حدود ۴۰ درصد و به ازای حد آستانه Q_7 ، حدود ۲۰ درصد کل خشک سالی ها اتفاق افتاده است. در دوره ۱۳۴۵-۱۳۵۳ حداقل مقادیر حجم کمبود خشک سالی وجود داشته به طوری که مقدار آن برای Q_9 و Q_7 به ترتیب معادل صفر و ۲۰ درصد کل دوره مطالعاتی بوده است. در بخش پایانی با استخراج سری های حداکثر سالانه (AMS) حجم کمبود با تداوم های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ روزه و برآزش بهترین توزیع احتمالاتی بر آنها منحنی های بزرگی-تداوم-فراوانی (SDF) ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: خشک سالی هیدرولوژیکی، حد آستانه، کارون

Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 86 pp: 52-63

Analysis of hydrological drought in karoon river basin by daily discharge data

By: M. Bayazidi, Doctorate Graduated From Islamic Azad University Sciences and Research Branch, Tehran (Corresponding Author; Tel: +0989189698898), B. Saghaifan, Professor of Soil Conservation and Watershed Management Institute, H. Sedghi and F. Kaveh, Members of Scientific Board of Islamic Azad University, Sciences and Research Branch.

Drought is a national calamity that has bad effects on ecological, social and economical divisions. Growing of crowd and increasing of water demand aggravate the effects of drought. Analyzing of drought and attention to it in development programs has much importance, especially in Iran that is an arid and semiarid country. "Hydrological drought" means time periods that discharge of river is not sufficient to supply planned demands. In this research the flow duration curve (FDC) established using Pole-Shaloo station daily discharges for 1957-2001 years. Next, the hydrological drought periods extracted by truncation level method and analyzed. The "interior criterion" method (IC) used to eliminating minor droughts and pooling dependence droughts. Concluded that Johnson and Generalized Pareto distributions was best cases for annual maximum series (AMS) include "duration" and "deficit volume" respectively, based on Q_{70} truncation level so, type 3 Pearson and Generalized Pareto distributions best cases for annual maximum series (AMS) include "duration" and "deficit volume" respectively, based on Q_{90} truncation level. Therefore the return periods calculated for historical droughts. The most drought's return periods was less than 20 years except 1963-1964 drought. For example The 2001 drought's return period, that enveloped most of regions in Iran, was 20 years based on analyzing of deficit volume. Also drought risk calculated for return periods and water resource projects life. The maximum drought deficit volume is related to primary 11 years and 5 years at the end of time, so that in primary 11 years 57 and 50 percent of droughts was happened in lieu of Q_{90} and Q_{70} respectively. Also in 5 years of end of studying period 40 and 20 percent of droughts was happened in lieu of Q_{90} and Q_{70} respectively. The minimum amount of drought deficit volume was related to 1966-1974 period, so that equal to zero and 20 percent in lieu of Q_{90} and Q_{70} . In final part of research, the annual maximum series of deficit volume extracted with respect to 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days durations, and the best probability distributions appointed for these. Consequently, the severity-duration-frequency curve furnished.

Keywords: Hydrological Drought, Truncation Level, Karoon.

مقدمه

خشک سالی^۱، برخلاف خشکی^۲، یک پدیده ی موقت است و می تواند تحت عنوان انحراف از شرایط نرمال تعریف گردد (۱۱) در حالی که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی کم است و حالتی دائمی از اقلیم می باشد. به دلیل گستردگی دامنه خشک سالی در بخش های زیادی از جامعه، وجود تعاریف متفاوت از خشک سالی یک ضرورت می باشد (۱۹). انواع خشک سالی شامل خشک سالی هواشناسی، خشک سالی هیدرولوژیکی، خشک سالی کشاورزی و خشک سالی اجتماعی - اقتصادی بوده که در این مقاله خشک سالی هیدرولوژیکی مورد بحث و تأکید می باشد. در تحلیل خشک سالی هیدرولوژیکی به دنبال یافتن توزیع های احتمالاتی مناسب جهت برآزش بر سری های زمانی تداوم و حجم کمبود خشک سالی می باشیم که در نتیجه آن می توان ریسک خشک سالی آینده را پیش بینی نمود. خشک سالی های هیدرولوژیکی در قالب کسری های دبی رودخانه به معنای دوره هایی است که دبی رودخانه برای تأمین نیازهای برنامه زبری شده، تحت سیستم مدیریتی موجود کافی

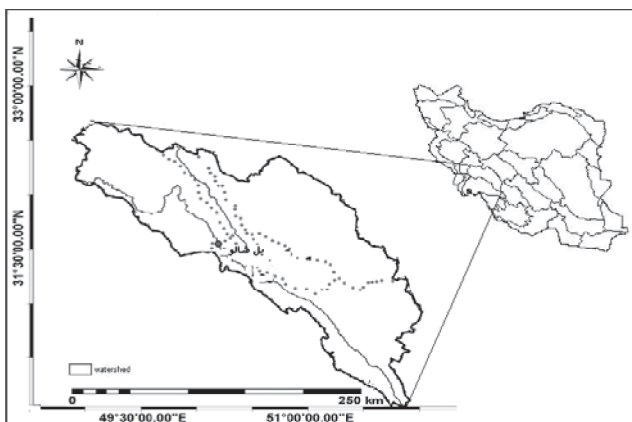
نمی باشد (۱۲). شاخص های مختلفی برای خشک سالی هیدرولوژیکی ارائه شده که می توان به شاخص هیدرولوژیکی پالم (PHDI) اشاره نمود که در واقع توسعه شاخص خشک سالی پالم (PDSI) بود که توسط خود ایشان در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید ولی بر خلاف شاخص قبلیش با استقبال مواجهه نشد. مورد دیگر شاخص منابع آب موجود سطحی (SWSI) می باشد که برای طرح مقابله با خشک سالی در ایالت کلرادو تدوین شد. این شاخص با در نظر گرفتن وزن مولفه های هیدرولوژیکی بودجه برفی، جریان رودخانه، بارش و حجم مخازن قابل محاسبه می باشد (۶). در موضوع خشک سالی هیدرولوژیکی شاید مناسبترین نوع تحلیل، بررسی دوره های پیوسته ای که در آن دبی رودخانه در زیر یک حد^۳ (حدهای) آستانه از پیش تعیین شده (که اغلب تحت عنوان دبی مرجع^۴ یا سطح برشی^۵ از آن یاد می شود) قرار دارد، باشد. تحلیل دوره های زمانی می تواند بر روی مقیاس های زمانی مختلف داده ها از روزانه تا سالانه انجام شود (۲۱). Gerold et al. (۱۹۹۰) خشک سالی هیدرولوژیکی در رودخانه نیل را با استفاده از سری های ماکزیمم و مینیمم سطح آب رودخانه مدل و آنالیز نمودند مدل قادر بود

مشخص با استفاده از تحلیل فراوانی می باشد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه تحقیق

منطقه تحقیق حوضه کارون بوده و موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. از آنجا که طی نیم قرن گذشته تغییرات عمده در بهره برداری از منابع این حوزه رخ داده است، بنابراین تنها امکان استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری مناطق بالا دست می باشد. جهت بررسی خشک سالی هیدرولوژیک این حوضه، داده‌های ایستگاه هیدرومتری پل شالو به مساحت زهکشی حدود ۲۴۳۰۰ کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع حوزه ۲۲۹۰ متر از سطح دریا اخذ گردید تا محل ایستگاه پل شالو تا سال ۱۳۸۰ تأسیسات آبی بزرگ مثل سد مخزنی احداث نگردیده است. با توجه به افزایش مصارف در بخش‌های مختلف و تهدیدهای کیفی منابع آب، مخصوصاً با واگذاری مدیریت و برنامه ریزی منابع آب به استان‌ها تحت عنوان شرکت‌های منطقه‌ای آب، رقابت جهت مصارف مختلف تشدید شده و تحلیل هیدرولوژیک خشک سالی حائز اهمیت فراوانی خواهد بود.

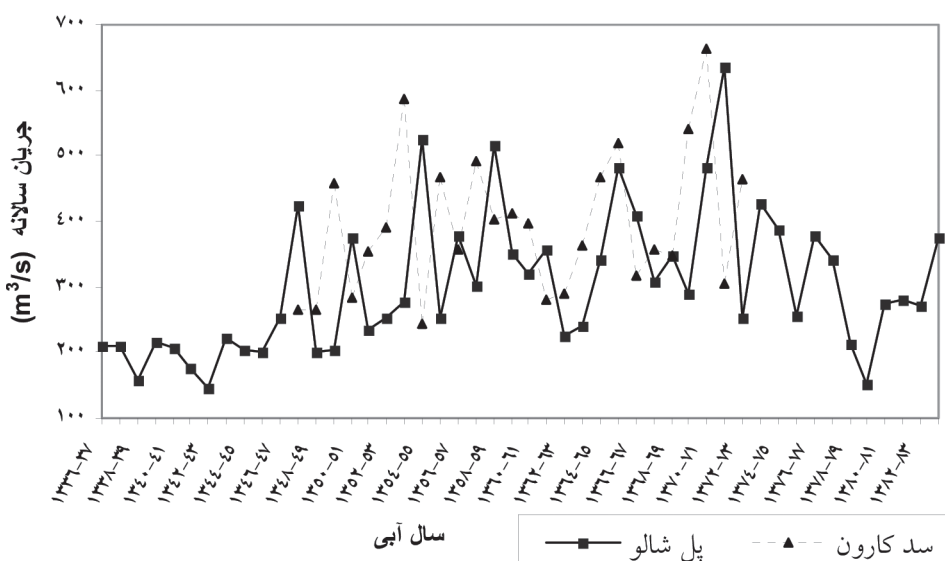


شکل ۱- موقعیت حوضه کارون در کشور ایران

آمار جریان

آمار دبی روزانه ایستگاه پل شالو از سال ۱۳۳۶ لغایت ۱۳۸۰ در دسترس می باشد. جهت بررسی و برآورد داده‌های مفقود نیز از داده‌های روزانه ایستگاه سد کارون بهره گرفته شد. داده‌های مفقود بر اساس بهترین رابطه همبستگی بین داده‌های روزانه این ایستگاه و ایستگاه سد کارون برآورد گردید. سری زمانی میانگین سالانه دبی ایستگاه پل شالو و سد کارون در شکل ۲ نشان داده شده است. آزمون‌های ران تست^۱ و من-ویتنی^۲ (۳) جهت بررسی تصادفی بودن و همگنی داده‌ها بکار رفت در نتیجه داده‌ها تصادفی و همگن بودند. هم‌چنین با انجام آزمون والد ولفویتز^۱ (۳) مشخص گردید داده‌ها در سطح ۱ درصد مستقل و فاقد روند^{۱۱} می باشند.

خشک سالی‌های طولانی و شدید را مشخص نماید (۹). محققین دیگری با استفاده از روش حد آستانه خشک سالی هیدرولوژیکی را در ۱۰ رودخانه زیمباوه بررسی نمودند و اعلام کردند بهترین توزیع جهت تحلیل سری‌های جزئی تداوم و حجم کمبود خشک سالی توزیع نمایی دو گانه می باشد (۱۵). در پژوهشی دیگر محققین با آنالیز فراوانی و ریسک خشک سالی هیدرولوژیکی از طریق روش حد آستانه، توانستند زمان وقوع خشک سالی را به صورت تصادفی برآورد نمایند که در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب کاربرد دارد (۱۴). Hisdal (۲۰۰۲) با استفاده از سری‌های تداوم جزئی (PDS) و از طریق مدل سازی مقادیر حدی (EV) نتیجه گیری نمودند که مدل سازی حجم کمبود خشک سالی هیدرولوژیکی موفقیت آمیز است (۱۰). آنها خشک سالی‌های ۱۰ ساله و ۱۰۰ ساله را با سری‌های ۱۲ روزه جریان و با استفاده از مدل آماری Gp بدست آوردند و این مدل را توصیه نمودند. مدلی جهت تخمین تغییرات رواناب در آلمان تهیه گردید و پژوهشگران بیان نمودند خشک سالی هیدرولوژیکی عمدتاً توسط جریان پایه و افت سطح آب زیر زمینی کنترل می گردد (۱۶). Pandey و همکاران (۲۰۰۸) جهت تحلیل خشک سالی جریان رودخانه برای حوزه رودخانه بتوا در هندوستان یک شاخص که تابعی از حجم کمبود و تداوم نسبی بود ارائه نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند خشک سالی‌هایی که در ماه‌های آگوست تا نوامبر شروع می شوند، شدیدتر از موارد سایر ماه‌ها می باشند (۱۷). حسینی زارع و سعادت (۱۳۸۱) اثر خشک سالی دوره ۱۳۸۰-۱۳۷۷ را روی کیفیت منابع آب کارون بررسی نمودند و بیان داشتند میزان شوری در این دوره حدود ۱۵ الی ۲۱ درصد افزایش یافته است (۲). صفدری و همکاران (۱۳۸۲) با استفاده از شاخص SPI نقشه گستره خشک سالی را در حوضه کارون ارائه نمودند. نتایج آنها نشان داد دوره‌های خشک سالی شدید و بسیار شدید با تداوم‌های طولانی مدت در طول دوره آماری وجود داشته و در مناطق جنوبی حوضه خشک سالی شدیدتر از مناطق شمالی بوده است (۱). در تحقیق دیگری روند خشک سالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه کارون بررسی شد (۴). مرید و همکاران (۱۳۸۴) برخی شاخص‌های خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را برای استان تهران بررسی، و اعلام نمودند شاخص خشک سالی موثر (EDI) دارای عملکرد بهتری جهت پایش خشک سالی بوده است. هم‌چنین ایشان با استفاده از روش چانگ و اطلاعات حجم ذخایر سدها و آورد رودخانه‌ها اقدام به پایش خشک سالی هیدرولوژیکی نمودند (۵). مدیریت خشک سالی و اعمال محدودیت‌های استفاده از آب در یک منطقه تا حد بسیار زیادی به شدت خشک سالی بستگی دارد. بنابراین سازمان‌های متولی مدیریت آب اغلب با این سوال که "یک واقعه خشک سالی مشخص چه مقدار جدی یا بحرانی است؟" مواجه می باشند. اگرچه این سوال معمولاً با استفاده از شاخص‌های خشک سالی بررسی و پاسخ داده می شود، اما متأسفانه هیچ گونه اطلاعاتی در مورد فراوانی یا دوره بازگشت خشک سالی و یا ریسک وقوع یک خشک سالی مشخص در یک افق زمانی مشخص در اختیار قرار نمی دهد (۱۸). هدف از این تحقیق استخراج دوره‌های خشک سالی هیدرولوژیکی از سری زمانی داده‌های روزانه ۴۵ ساله ایستگاه هیدرومتری پل شالو، واقع در حوضه کارون، به روش حد آستانه، تجزیه و تحلیل نتایج، محاسبه دوره بازگشت خشک سالی‌های تاریخی و ریسک خشک سالی و سپس استخراج منحنی بزرگی-تداوم-فراوانی (SDF)^۲ یک خشک سالی



شکل ۲ - سری زمانی میانگین سالانه دبی در ایستگاه‌های پل شالو و سد کارون

دیگری به نام شدت خشک سالی^{۱۴} نیز به صورت نسبت بین حجم کمبود خشک سالی (Si) و تداوم خشک سالی (di) تعریف شده است (۱۲). با توجه به شکل ۳ و در نظر گرفتن سری زمانی دبی روزانه (QK) می‌توان رابطه بین پارامترها را به صورت زیر بیان نمود.

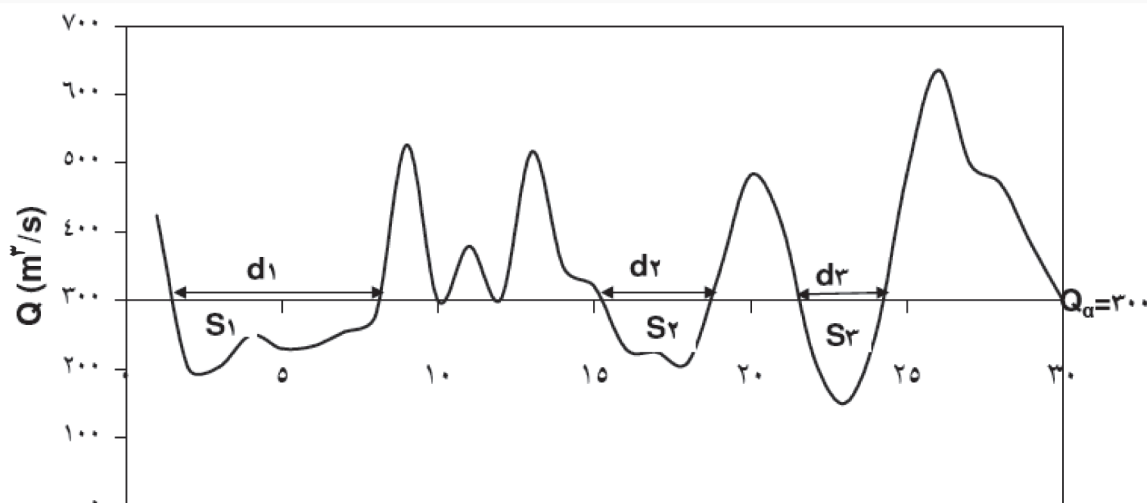
(۱)

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

$$Si = 86.4 \sum_{j=1}^{di} DQ_j \quad (۲)$$

روش تحقیق

جهت تشخیص و بررسی خشک سالی هیدرولوژیکی از روش حد آستانه استفاده شد. متداولترین تعریف کمی خشک سالی هیدرولوژیکی بر اساس یک حد آستانه Q_{α} می‌باشد که کمتر از آن جریان رودخانه به عنوان خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. در این روش معمولاً دوره‌های (Runs) بالا و پایین یک حد آستانه مشخص بررسی می‌شود و در اصل به نام روش تئوری دنباله‌ها^{۱۲} نام گذاری شده است (۱۲). مهمترین حیطة کاربرد این روش در طراحی نیروگاه‌های برق آبی، سیستم‌های تأمین آب و برنامه ریزی آبیاری می‌باشد. اولین کاربردهای روش دنباله‌ها در هیدرولوژی توسط یوجویچ انجام شد (۲۰). طول دنباله (تداوم خشک سالی یا di) و مجموع آن (حجم کمبود یا بزرگی Si)^{۱۳} به عنوان پارامترهای خشک سالی نقطه ای توصیه شده اند (شکل ۳). اغلب شاخص خشک سالی



شکل ۳ - مولفه‌های تداوم (di) و حجم کمبود خشک سالی هیدرولوژیکی (Si) بر اساس روش حد آستانه

ضرایب d_{min} ، α ، و t_c استفاده می گردد. α ضریبی است که برای حذف موارد خشک سالی جزئی به کار می رود بدین ترتیب اگر در یک خشک سالی، حجم کمبود کمتر از حاصل ضرب α در حداکثر کمبود مشاهده شده باشد ($S_i < \alpha \cdot S_{max}$) حذف خواهد گردید. و مقدار آن معمولاً بین ۰/۰۵-۰/۱ در نظر گرفته می شود. d_{min} نیز حداقل فاصله زمانی است که خشکسالی های 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 شود. t_c زمان بحرانی نامیده می شود و بنحوی که اگر دو واقعه خشک سالی وابسته با فاصله زمانی $t_i < t_c$ به وقوع بپیوندند با هم ادغام خواهند شد. به جای t_c می توان حجم کمبود بحرانی (S_c) را در نظر گرفت. در هر دو حالت تداوم و حجم کمبود وقایع ادغام شده (Spool و dpool) به صورت زیر محاسبه می گردد (۸):

$$d_{pool} = d_i + d_{i+1} + t_i \quad (۳)$$

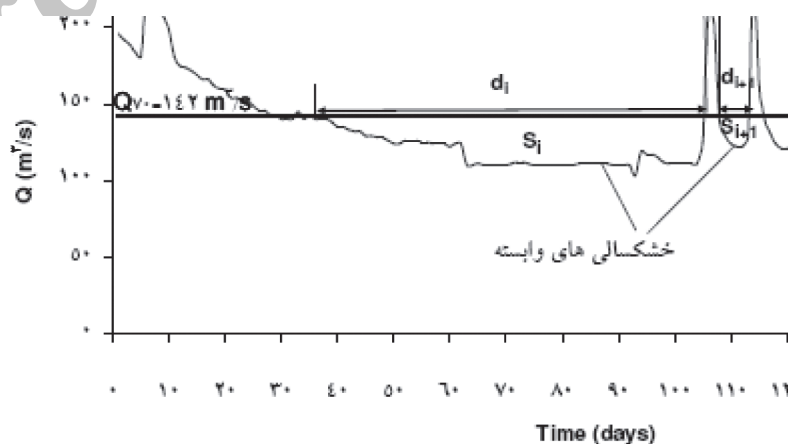
$$S_{pool} = S_i + S_{i+1} \quad (۴)$$

در این تحقیق جهت استخراج خشک سالی ها از نرم افزار Nizowka ۲۰۰۳ استفاده شد. نرم افزار مذکور توسط دو تن از اساتید دانشگاه روکلاو لهستان تهیه گردیده است (۱۳). جهت حذف خشک سالی های کوچک و ادغام خشک سالی های وابسته روش معیار داخلی (IC) به کار رفت که با توجه به نتایج تحقیقات فلاگ مقدار $a = 0.005$ پارامترهای فوق را بررسی، و مقادیر بهینه مذکور را اعلام نمود (۸). نرم افزار مذکور قادر است با به کارگیری داده های روزانه دبی، دوره های خشک سالی را با توجه به حدود آستانه مختلف استخراج کند، سری های حداکثر سالانه (AMS) و جزئی (PDS) را مشخص نموده و با آزمون توزیع های حدی^{۲۱}، بهترین توزیع جهت برازش بر سری های مذکور را ارائه دهد. در تحلیل خشک سالی وقایع شدید (یا طولانی) حائز اهمیت هستند. $F_i(x)$ احتمال وقوع شدیدترین خشک سالی هیدرولوژیکی در فاصله زمانی $(t, 0)$ (مثلاً یک سال) به صورت زیر محاسبه می گردد (۲۱).

$$F_i(x) = P_r(Z_i = 0) + \sum_{k=1}^x H_i^k(x) P_r(Z_i = k) \quad (۵)$$

می توان حد آستانه را به روش های مختلفی انتخاب نمود و این انتخاب خود تابع نوع و شرایط کمبود آب منطقه تحت مطالعه می باشد (۲۱). برای انتخاب حد آستانه می توان از صدکی از منحنی تداوم جریان استفاده نمود. چنانچه جهت تحلیل از داده های روزانه استفاده گردد، منحنی تداوم جریان^{۱۵} نشان دهنده رابطه بین دبی های روزانه و احتمال وقوع $P(X \geq x)$ می باشد. بیان دبی ها به صورت مقادیر بزرگتر یا مساوی اجازه می دهد تا بتوان شرایط جریان را در رودخانه های مختلف با هم مقایسه کرد. دبی بزرگتر یا مساوی معمولاً به صورت صدک بیان میشود. به عنوان مثال، دبی در ۹۰ درصد زمان های اندازه گیری شده (در طی دوره آماری) دارای مقدار بزرگتر و یا مساوی صدک ۹۰ ام ($90Q$) می باشد. علاوه بر منحنی تداوم جریان می توان حد آستانه را معادل میانگین جریان، درصدی از میانگین، ترکیب خطی از میانگین و انحراف معیار نیز در نظر گرفت (۷). اگر چه حد آستانه یک تعریف واقع بینانه از خشک سالی ارائه می نماید، اما انتخاب های کارشناسی زیر باید انجام شود: ۱- انتخاب حد آستانه ۲- انتخاب نوع سری جزئی (PDS)^{۱۶} یا حداکثر سالانه (AMS)^{۱۷} ۳- تقسیم بندی فصول ۴- روش ادغام خشک سالی های وابسته و حذف خشک سالی های کوچک (چنانچه از داده های روزانه استفاده شود).

گام زمانی به رژیم هیدرولوژیکی منطقه تحت مطالعه بستگی دارد. با وجود این استفاده از مقیاس زمانی روزانه با دو مشکل مواجه می باشد، اول وابستگی بین خشک سالی ها و دیگری وجود خشک سالی های جزئی در طی یک دوره خشک طولانی است. در رابطه با مورد دوم می توان گفت در طول یک دوره خشکسالی دبی جریان برای یک دوره زمانی کوتاه از حد آستانه تجاوز نموده و باعث می شود خشک سالی به تعداد خشک سالی های کوچک تر و وابسته تفکیک گردد (شکل ۴). به منظور رفع این مشکل باید از برخی روش های^{۱۸} ادغام سازی استفاده نمود. روش های ادغام سازی به سه دسته الف- معیار داخلی (IC)^{۱۹} ب- میانگین متحرک (MA) و ج- الگوریتم دبی اوج متوالی (SPA)^{۲۰} تقسیم می شوند (۸). در روش IC برای حذف خشک سالی های جزئی^{۲۱} و ادغام خشک سالی های وابسته از

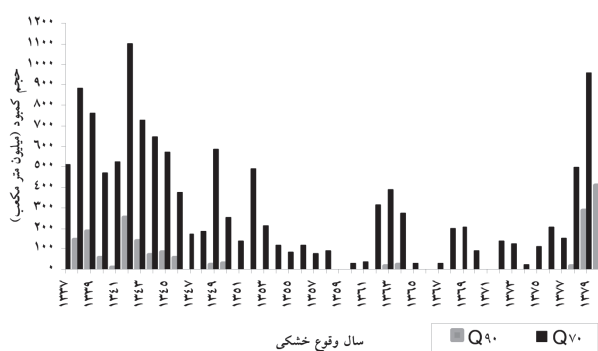


شکل ۴ - وقایع خشک سالی های وابسته و جزئی در داده های سری زمانی روزانه از تاریخ ۷۶/۵/۱ تا ۷۶/۹/۳۰

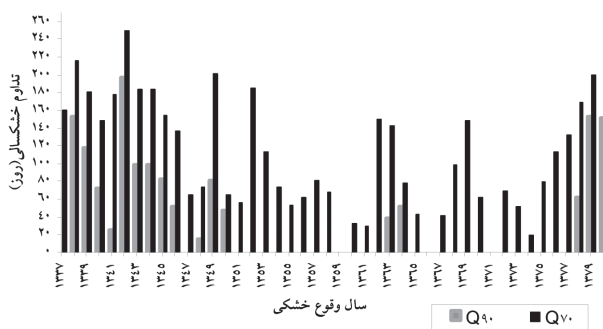
وضعیت خشکسالی منطقه

پس از استخراج دوره های خشکی مشخص گردید که بازای مقادیر حد آستانه Q_9 و Q_7 به ترتیب ۲۳ و ۶۳ دوره خشک سالی در طول دوره آماری ۴۵ سال اتفاق افتاده است. مشخصات و نحوه تغییرات زمانی این وقایع در اشکال ۶ و ۷ نشان داده شده است. حجم کمبود و تداوم دوره خشکی تقریباً با هم رابطه مستقیم داشته و روند تغییرات آنها به موازات هم می باشد.

شدیدترین و طولانی ترین دوره های خشکی اغلب در ابتدا و انتهای دوره آماری اتفاق افتاده است. مجموع و مقدار متوسط حجم کمبود و تداوم خشک سالی برای مقادیر حد آستانه Q_9 و Q_7 در جدول ۱ نشان داده شده است. متوسط بزرگی و تداوم خشک سالی بازای حد آستانه Q_9 کمتر از مقادیر مربوطه بازای حد آستانه Q_7 می باشد.



شکل ۶ - حجم کمبود خشک سالی براساس حدود آستانه $Q_7=142 \text{ m}^3/\text{s}$ و $Q_9=98 \text{ m}^3/\text{s}$ و $\alpha=0,005$ و $t_c=5 \text{ day}$



شکل ۷ - تداوم خشک سالی براساس حدود آستانه $Q_7=142 \text{ m}^3/\text{s}$ و $Q_9=98 \text{ m}^3/\text{s}$ و $\alpha=0,005$ و $t_c=5 \text{ day}$

بررسی های به عمل آمده نشان میدهد بیشترین مقادیر خشک سالی ها (حجم کمبود) عموماً در ۱۱ سال اول دوره آماری و ۵ سال آخر متمرکز شده است. به طوری که حدود ۶۰ درصد کل حجم کمبود بر اساس حدود آستانه Q_9 و Q_7 مربوط به ۱۵ سال ابتدای دوره بوده و در ۴ سال آخر به ازای حد آستانه Q_9 حدود ۴۰٪ و به ازای حد آستانه Q_7 حدود ۲۰٪ حجم کمبودها اتفاق افتاده است. شکل ۸ توزیع فراوانی تجمعی نسبی

که در آن متغیر X حجم کمبود خشک سالی، احتمال وقوع k مورد خشک سالی در بازه زمانی $[0, t]$ و $H_k(x)$ تابع توزیع احتمالاتی حاکم بر سری حجم کمبود خشک سالی ها در بازه زمانی مذکور می باشد. با توجه به پژوهش های قبلی (۲۱) توزیع های احتمالاتی گاما (از نوع پیرسن تیپ ۳)، ویبول، لوگ نرمال، جانسون، نمایی دوگانه و GP جهت برازش بر سری های AMS (تداوم و حجم کمبود) آزمون شد و برای نکوئی برازش نیز از آزمون کای اسکور استفاده گردید. براساس احتمال وقوع حاصل از توزیع احتمالاتی $F_k(x)$ ، دوره بازگشت خشک سالی های تاریخی از رابطه زیر به دست می آید:

$$T_{(x)} = \frac{1}{1 - F_k(x)} \quad (6)$$

یکی از مسائل مهم دیگر مسئله ریسک خشک سالی می باشد که متاسفانه تا حالا کمتر در مسائل برنامه ریزی و طراحی پروژه ها (از قبیل سد، شبکه آبیاری و زهکشی توسعه مناطق مسکونی و ...) مورد توجه قرار گرفته است. مسئله ریسک ارتباط تنگاتنگی با اقتصاد پروژه ها و مسائل بیمه ای داشته و بایستی در طراحی پروژه ها مد نظر قرار گیرد.

ریسک خشک سالی های هیدرولوژیکی برای دوره بازگشت های مختلف با استفاده از رابطه:

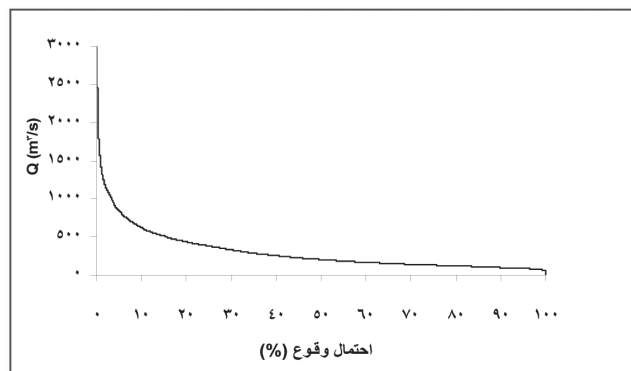
$$R = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n \quad (7)$$

محاسبه شد که در آن n عمر پروژه های آبی می باشد. در بخش پایانی با استخراج سری های حداکثر سالانه حجم کمبود خشک سالی های هیدرولوژیکی برای تداوم های مختلف و انجام تحلیل های آماری و انتخاب بهترین توزیع احتمالاتی بر آنها، منحنی های بزرگی - تداوم - فراوانی خشک سالی هیدرولوژیکی تهیه گردید.

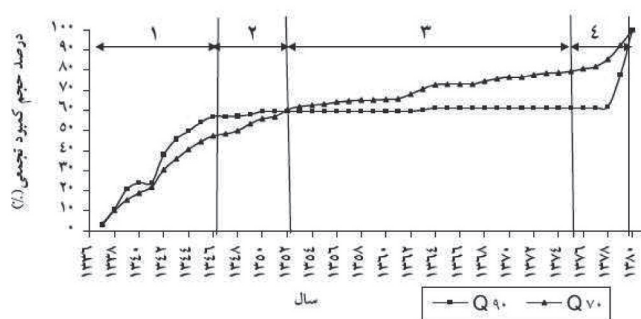
نتایج و بحث

انتخاب حد آستانه

انتخاب مقدار حد آستانه در منطقه تحقیق باید به دقت انجام شود. جهت تعیین مقادیر حد آستانه بر اساس تحقیقات قبلی (۱۱) پس از رسم منحنی تداوم جریان روزانه مقادیر Q_9 و Q_7 انتخاب گردیدند. شکل شماره ۵ منحنی تداوم جریان برای داده های روزانه ایستگاه هیدرومتری پل شالو را نشان می دهد. بر اساس این منحنی مقادیر Q_9 و Q_7 به ترتیب معادل ۹۸ و ۱۴۲ متر مکعب در ثانیه به دست می آید.

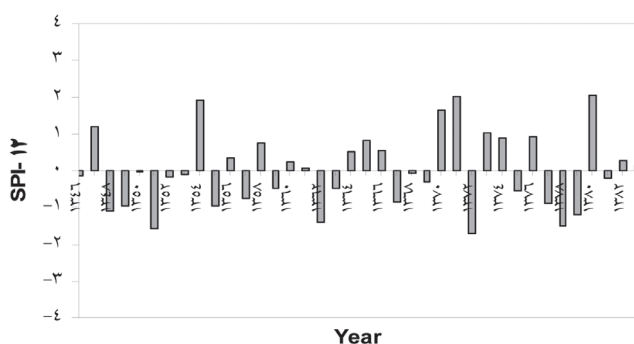


شکل ۵ - منحنی تداوم جریان (FDC) ایستگاه پل شالو



شکل ۸ - نمودار توزیع فراوانی تجمعی حجم کمبود خشک سالی هیدرولوژیکی بازای حدود آستانه Q_v و Q_a

را به چهار بازه زمانی (دوره) کلی تقسیم نمود. جدول ۲ چگونگی تغییرات خشک سالی و شیب منحنی شکل ۸ را طی چهار دوره یاد شده نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود بیشترین میزان خشک سالی به ۱۱ سال اول دوره اختصاص داشته است به طوری که در این مدت به ازای حد آستانه Q_a ، ۵۷ درصد کل خشک سالی ها با نسبت متوسط سالانه ۵/۲ درصد و به ازای حد آستانه Q_v ، ۵۰ درصد کل خشک سالی با نسبت متوسط ۴/۵ درصد در هر سال اتفاق افتاده است. منحنی توزیع احتمالاتی سری های حداکثر سالانه (AMS) تداوم و حجم کمبود در اشکال ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۹ - شاخص بارش استاندارد شده ۱۲ ماهه (SPI-۱۲) منتهی به خرداد ماه در ایستگاه پل شالو

مقدار خشک سالی را به ازای حدود آستانه Q_v و Q_a طی دوره آماری مذکور نشان می دهد. با در نظر گرفتن حد آستانه Q_v شیب تغییرات شدت خشک سالی در زمان یکنواخت تر می شود زیرا در این حالت فراوانی رخدادها افزایش یافته و در برخی سال ها یا دوره هایی که با حد آستانه Q_a خشک سالی وجود ندارد در این حالت (Q_v) دوره های خشک سالی اتفاق می افتد. جهت مقایسه خشک سالی هیدرولوژیکی با خشک سالی هواشناسی شاخص بارش استاندارد شده ۱۲ ماهه (SPI-۱۲) منتهی به خرداد ماه از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۳ برای ایستگاه پل شالو در شکل ۹ ارائه گردیده است. با توجه به شکل مذکور در دوره ۱۳۴۸ تا ۱۳۵۳ (معادل دوره ۲ از شکل ۸) خشک سالی به صورت متوالی وجود داشته و در دوره ۱۳۵۴ تا ۱۳۷۶ (معادل دوره ۳ از شکل ۸) خشک سالی ها نسبت به ترسالی ها کمتر بوده و به استثنای سال ۱۳۷۲ در بقیه موارد خشک سالی ضعیف بوده است و بالاخره در دوره ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ (معادل دوره ۴ شکل ۸) خشک سالی به صورت متوالی وجود داشته که منجر به خسارت شده و هر دو شکل موبد موضوع می باشند.

تجزیه و تحلیل خشک سالی هیدرولوژیکی

با بررسی نحوه تغییرات شیب منحنی نمودار توزیع فراوانی تجمعی نسبی بزرگی خشک سالی طی ۴۵ سال شکل ۸ می توان تغییرات خشک سالی

جدول ۱- مجموع و میانگین پارامترهای خشک سالی

حد آستانه	$Q_a = 98$ (m^3/s)	$Q_v = 142$ (m^3/s)
تعداد وقایع خشک سالی	۲۳	۶۳
مجموع حجم کمبود (میلیون متر مکعب)	۱۸۱۴	۱۳۹۱۲
متوسط حجم کمبود (میلیون متر مکعب در روز)	۰/۸	۱/۷۵
مجموع تداوم (روز)	۱۵۷۷	۴۷۸۵
متوسط تداوم (روز)	۶۸	۷۶

جدول ۲- نرخ تغییرات بزرگی خشک سالی در زمان های مختلف

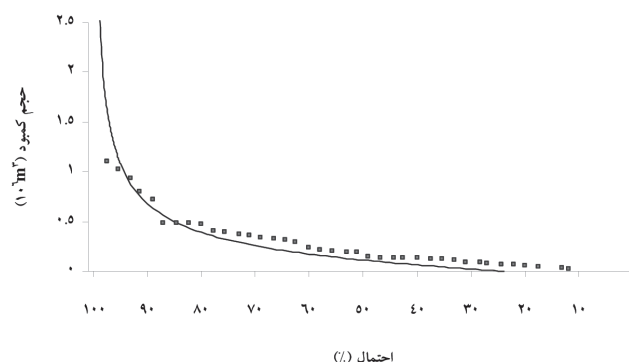
دوره	بازه زمانی	درصد فراوانی تجمعی نسبی حجم کمبود (%)		مدت (سال)	نسبت متوسط سالانه حجم کمبود		نسبت مقدار بزرگی (حجم کمبود) در هر دوره (%)	
		Q_v	Q_a		Q_v	Q_a	Q_v	Q_a
۱	۱۳۳۶-۱۳۳۶	۵۰	۵۷	۱۱	۴/۵۰	۵/۲۰	Q_v	Q_a
۲	۱۳۴۷-۱۳۵۲	۶۰	۶۰	۶	۱/۶۷	۰/۵۰	۱۰	۳
۳	۱۳۵۳-۱۳۷۵	۸۰	۶۰	۲۳	۰/۸۷	۰/۰۰	۲۰	۰
۴	۱۳۷۶-۱۳۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۵	۴/۰۰	۸/۰۰	۲۰	۴۰

جدول ۳- نتایج آزمون نکویی برازش برای سری های حجم کمبود و تداوم خشک سالی بازای حد آستانه Q_p .

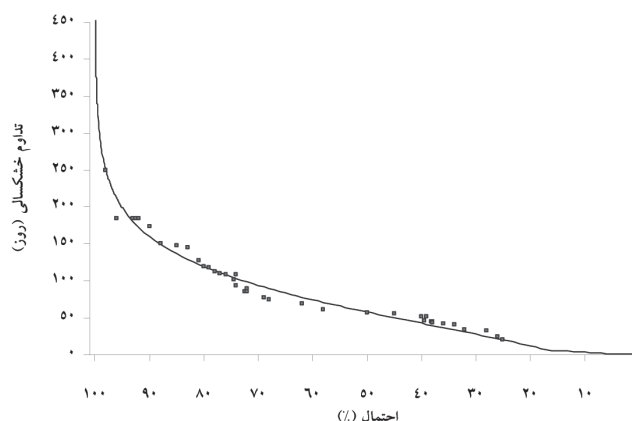
K^2		توزیع احتمالاتی
تداوم	حجم کمبود	
۰/۰۰۵۷	۰	دوگانه نمایی
۰/۴۷۷	۰/۲۶۳	لوگ نرمال
۰/۵۲۶	۰/۱۰۵	ویبول
۰/۶۳	۰/۷۲۳	GP
۰/۵۴۱	۰/۰۴۶	پیرسون
۰/۴۷۹	۰	جانسون

از خشک سالی شدید سال ۱۳۴۳-۱۳۴۲ عمدتاً زیر ۲۰ سال بوده است. شدیدترین خشک سالی‌ها به ترتیب در سال ۱۳۸۰ و ۱۳۷۹ با شدت ۵/۹۱ و ۵/۰۹ و کمترین دوره خشک سالی در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ و با شدت ۱/۱۲ اتفاق افتاده است. این بدان معناست که این منطقه در معرض خشک سالی‌های مکرر ولی با شدت‌های کم تا ملایم بوده و باید در برنامه ریزی‌های بلندمدت، میان مدت و کوتاه مدت این مسئله مد نظر قرار گرفته و در توسعه مناطق شهری، صنعتی و کشاورزی و برنامه ریزی‌های عرضه و تقاضای آب توجه کافی به آن مبذول گردد. همان طور که ملاحظه می‌شود دوره بازگشت در دو نوع تحلیل دارای اختلافات معنی داری هستند. این بدان علت است که در بعضی از سال‌ها دوره خشکی با حداکثر حجم کمبود درای حداکثر تداوم نبوده است. دوره بازگشت خشک سالی بر اساس تداوم بیشتر بوده ولی روند تغییرات آن مشابه حالت قبلی (شکل ۱۲). به منظور محاسبه ریسک ابتدا تداوم و حجم کمبود مربوط به دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ سال از توزیع‌های احتمالاتی اشکال ۹، ۱۰ (و با استفاده از رابطه ۶) استخراج و در جدول ۴ نشان داده شده است، سپس با استفاده از رابطه ۷ مقدار ریسک محاسبه گردید که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. لذا با استفاده از این شکل می‌توان ریسک خشک سالی را (با حجم کمبود مشخص و یا تداوم مشخص) با دوره بازگشت T برای پروژه با عمر n سال به دست آورد. با استفاده از توزیع‌های احتمالاتی و رسم منحنی‌های بزرگی-تداوم - فراوانی خشک سالی (SDF) قادر خواهیم بود که دوره بازگشت خشک سالی‌های تاریخی را بر آورد نماییم.

منحنی‌های بزرگی-تداوم-فراوانی خشک سالی هیدرولوژیکی (SDF)
 با توجه به نتایج به دست آمده حد آستانه Q_p جهت تجزیه و تحلیل خشک سالی هیدرولوژیکی منطقه معیار مناسبتری می‌باشد، بنابراین بر اساس این معیار و پس از استخراج خشک سالی‌های مختلف تداوم di ، حداکثر خشک سالی‌های n روز (n= $\leq di$) از سری کامل خشک سالی استخراج و بزرگترین خشک سالی n روز در هر سال در نظر گرفته شد



شکل ۱۰- توزیع احتمالاتی GP به عنوان بهترین توزیع حاکم بر سری های AMS حجم کمبود خشک سالی هیدرولوژیکی بازای حد آستانه Q_p .



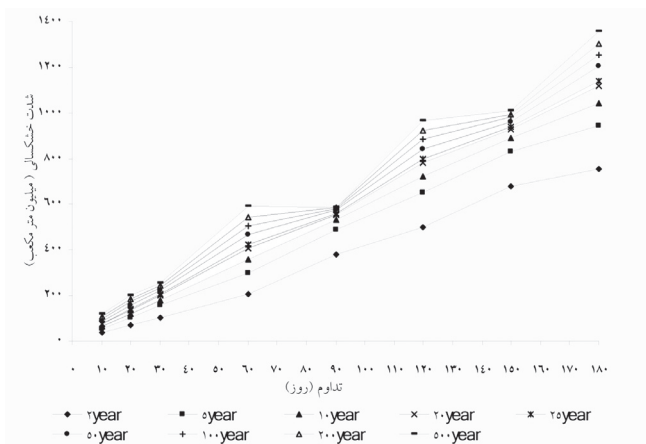
شکل ۱۱- توزیع احتمالاتی GP به عنوان بهترین توزیع حاکم بر سری های AMS تداوم خشک سالی هیدرولوژیکی برای حد آستانه Q_p .

با توجه به وجود سال‌های بدون خشک سالی در حالت Q_p ، توزیع آماری مربوط به آن نامناسب بوده و بنابراین ارائه نگردید و در ادامه تحلیل‌ها فقط بر اساس حد آستانه Q_p انجام گردید. پس از تحلیل‌های آماری مشخص گردید که بهترین توزیع احتمالاتی مناسب برای سری‌های حداکثر سالانه حجم کمبود و تداوم خشک سالی بر اساس حد آستانه Q_p ، توزیع GP می‌باشد. روش برآورد پارامترها در این تحلیل حداکثر درست نمایی و آزمون نکویی برازش، K^2 بود. نتایج مقایسه توزیع‌های آماری مختلف بر اساس K^2 در جدول ۳ ارائه شده است. برای قبول فرض صفر که همانا تناسب برازش بوده بایستی مقدار K^2 بیشتر از ۰/۰۵ باشد و بهترین توزیع دارای حداکثر مقدار K^2 می‌باشد که با توجه به نتایج در هر دو حالت توزیع GP انتخاب گردید.

با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ دوره بازگشت و شدت خشک سالی‌های شدید تاریخی بازای حد آستانه Q_p در جدول ۴ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد دوره بازگشت حجم کمبود خشک سالی‌ها به غیر

نتایج برازش های انجام شده بر داده های سری های حداکثر سالانه بزرگی خشک سالی در تداوم های مختلف با سطح معنی دار ۹۵ درصد نشان داد که سری های ۱۰ روزه از توزیع گامبل I، سری های ۲۰ روزه، ۴ ماهه و ۵ ماهه از پیرسون تیپ ۳ و سری های ۱، ۲، ۳ و ۶ ماهه از لوگ پیرسون تیپ ۳ تبعیت می کنند. جدول ۶ بزرگی های خشک سالی در تداوم ها و دوره های بازگشت مختلف را بر اساس بهترین توزیع نشان می دهد. نمودار بزرگی - تداوم - فراوانی خشک سالی (SDF) نیز در شکل ۱۵ ارائه شده است.

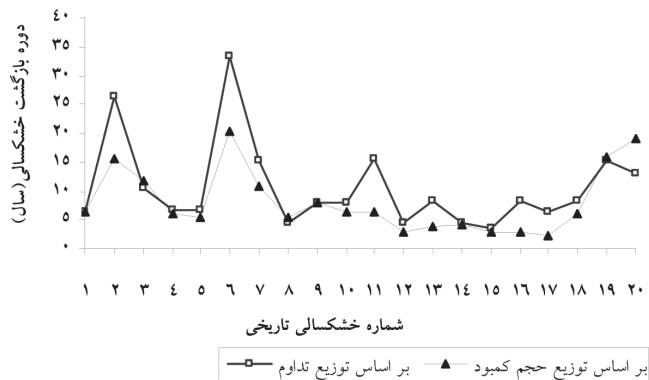
افزافه می نماید با توجه به اینکه انتخاب Q_p منجر به پیدایش سال های بدون خشک سالی متوالی می گردد، در نتیجه جهت تحلیل خشک سالی معیار مناسبی نمی باشد. بنابراین در این منطقه در استخراج منحنی های SDF از حد آستانه Q_p استفاده شده است.



شکل ۱۵ - منحنی های بزرگی-تداوم-فراوانی خشک سالی هیدرولوژیکی (SDF) ایستگاه پل شالو

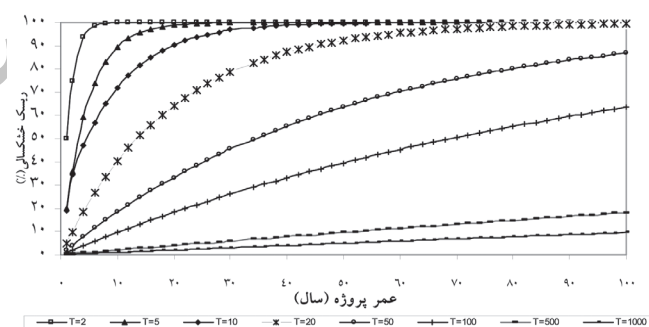
نتیجه گیری

پس از تحلیل و بررسی خشک سالی های هیدرولوژیکی حوضه کارون در محل ایستگاه پل شالو در دوره ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۰ از روش جدید حد آستانه مشاهده گردید که سری های حداکثر سالانه خشکسالی شامل تداوم و حجم کمبود بر اساس حد آستانه Q_p از توزیع GP تبعیت می نمایند. جهت مقایسه با سایر تحقیقات می توان به نتایج پژوهش فلاگ اشاره نمود که با بررسی خشک سالی هیدرولوژیکی در برخی از روستا های آمریکا و اروپا توزیع GP را به عنوان بهترین مدل جهت برازش بر سری های حجم کمبود و تداوم خشک سالی توصیه نمود (۱۱) در حالی که جلدسن و همکاران در تحقیقی مشابه، توزیع دوگانه نمایی را برای خشک سالی هیدرولوژیکی رودخانه های زیمباوه معرفی نمودند (۱۵). با توجه به اینکه انتخاب Q_p منجر به پیدایش سال های بدون خشک سالی متوالی می گردد، در نتیجه جهت تحلیل خشک سالی معیار مناسبی نبوده و نتایج آن قابل توصیه نمی باشد بنابراین تحلیل های نهایی فقط بر اساس حد آستانه Q_p انجام گردید. دوره بازگشت خشک سالی های تاریخی به استثنای خشک سالی سال ۱۳۴۳-۱۳۴۲ با تداوم ۲۴۹ روز، کمتر از ۳۰ سال بوده اند، به عنوان

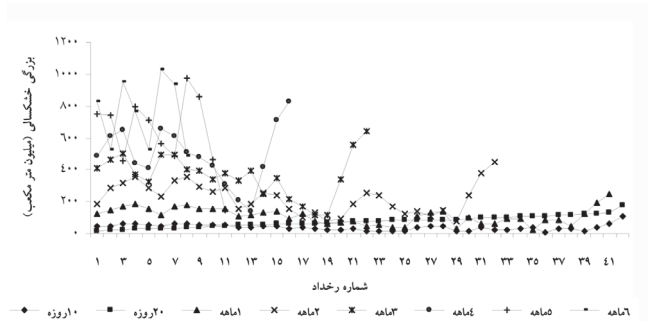


شکل ۱۲ - تغییرات دوره بازگشت برای حد آستانه Q_p

(سری حداکثر سالانه). سپس توزیع آماری مناسب توسط نرم افزارهای SMADA و HYFA بر این سری ها برازش یافت و دوره بازگشت های مختلف آن محاسبه شد. مقدار تداوم Π معادل ۱۰ روز، ۲۰ روزه، ۴ ماه، ۳ ماه، ۴ ماه، ۵ ماه و ۶ ماه در نظر گرفته شد و سری های حداکثر سالانه بزرگی خشک سالی (بر اساس حد آستانه Q_p) در تداوم های مختلف محاسبه گردید (شکل ۱۴). ذکر این نکته ضروری است که هیچ توزیع آماری نمی تواند کاملاً بر داده های مشاهده ای برازش خوبی داشته باشد و انتخاب یک توزیع بهینه با توجه به مقایسه نتایج آزمون نکویی برازش توزیع ها انتخاب می گردد.



شکل ۱۳ - ریسک خشک سالی در برابر عمر پروژه ها برای دوره بازگشت های مختلف خشک سالی



شکل ۱۴ - سری های حداکثر سالانه بزرگی خشک سالی بر اساس حد آستانه Q_p و بازای دوره های تداوم مختلف

جدول ۴- دوره بازگشت خشک سالی‌های شدید تاریخی دوره مورد بررسی براساس Q_p و از طریق توزیع احتمالاتی AMS های تداوم و حجم کمبود

ردیف	سال وقوع	تداوم (day)	حجم کمبود $10^6 m^3$	شدت خشکی $day^{-1} m^3$	دوره بازگشت بر اساس توزیع تداوم	(سال) بر اساس توزیع حجم کمبود
۱	۱۳۳۷	۱۳۲	۴۷۶	۳/۶۱	۶/۳	۶/۵
۲	۱۳۳۸-۳۹	۲۱۵	۸۸۱	۴/۱۰	۲۶/۳	۱۵/۴
۳	۱۳۳۹-۴۰	۱۶۵	۷۴۸	۴/۵۳	۱۰/۵	۱۱/۸
۴	۱۳۴۰	۱۳۶	۴۵۴	۳/۳۳	۶/۵	۵/۹
۵	۱۳۴۱	۱۳۷	۴۲۰	۳/۰۶	۶/۷	۵/۵
۶	۱۳۴۲-۴۳	۲۴۹	۱۱۰۰	۴/۴۲	۳۳/۳	۲۰/۲
۷	۱۳۴۳-۴۴	۱۸۴	۷۲۴	۳/۹۴	۱۵/۴	۱۰/۹
۸	۱۳۴۴	۱۱۰	۴۱۱	۳/۷۳	۴/۳	۵/۵
۹	۱۳۴۵	۱۴۶	۵۶۳	۳/۸۵	۸/۰	۷/۹
۱۰	۱۳۴۹	۱۴۵	۴۸۹	۳/۳۷	۷/۹	۶/۵
۱۱	۱۳۵۲-۵۳	۱۸۵	۴۸۵	۲/۶۲	۱۵/۶	۶/۵
۱۲	۱۳۴۹	۱۱۳	۲۰۷	۱/۸۳	۴/۵	۲/۸
۱۳	۱۳۶۲	۱۵۰	۳۱۰	۲/۰۷	۸/۴	۳/۹
۱۴	۱۳۶۳	۱۱۳	۳۵۹	۳/۱۸	۴/۵	۴
۱۵	۱۳۶۸	۹۸	۲۰۰	۲/۰۴	۸/۱	۲/۸
۱۶	۱۳۶۹	۱۴۸	۲۰۱	۱/۳۵	۶/۳	۲/۸
۱۷	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۲	۱۴۸	۱/۱۲	۶/۳	۲/۳
۱۸	۱۳۷۸	۱۴۹	۴۵۵	۳/۰۵	۸/۲	۵/۹
۱۹	۱۳۷۹	۱۸۴	۹۳۶	۵/۰۹	۱۵/۴	۱۵/۹
۲۰	۱۳۸۰	۱۷۴	۱۰۲۸	۵/۹۱	۱۳/۰	۱۹/۲

تجربه شده به طوری که مقدار حجم کمبود در این دوره برای Q_p و Q_p به ترتیب معادل صفر و ۲۰ درصد کل دوره مطالعاتی بوده است. نتایج این تحقیق برای مطالعات و برنامه ریزی منابع آب و احداث پروژه‌های آبی از قبیل سد، نیروگاه و تامین آب کشاورزی و شهری حائز اهمیت بوده و گامی مفید در راستای برنامه جامع خشک سالی و مدیریت بحران می باشد. تحلیل منطقه‌ای با روش حد آستانه و مقایسه نتایج با شاخص‌های خشک سالی هواشناسی منجر به ارائه نتایج مطمئن تر و قضاوت دقیقتری خواهد شد.

نمونه خشک سالی سال ۱۳۸۰ که اغلب مناطق کشور را فراگرفت بر اساس تحلیل حجم کمبود و تداوم به ترتیب دارای دوره بازگشت ۱۹/۲ و ۱۳ سال می باشد. بیشترین مقادیر حجم کمبود خشک سالی‌ها به ۱۱ سال اول و ۵ سال آخر دوره مورد بررسی اختصاص داشته به طوری که در ۱۱ سال اول دوره بازای حد آستانه Q_p ، ۵۷ درصد و بازای حد آستانه Q_p ، ۵۰ درصد کل خشک سالی‌ها اتفاق افتاده است. و در ۵ سال آخر بازای حد آستانه Q_p ، حدود ۴۰ درصد و بازای حد آستانه Q_p ، حدود ۲۰ درصد کل خشک سالی‌ها رخ داده است. در دوره ۱۳۴۵-۱۳۵۳ کمترین دوره خشک سالی‌ها

جدول ۵- تداوم و حجم کمبود خشک سالی هیدرولوژیکی
برای دوره بازگشت های مختلف و حد آستانه Q_v

تداوم (روز)	حجم کمبود (میلیون متر مکعب)	احتمال $P(X < x)$	دوره بازگشت
۶۲	۱۱۲/۵	۰/۵۰	۲
۱۵۲	۳۹۱/۱	۰/۸۰	۵
۱۹۲	۶۸۰/۹	۰/۹۰	۱۰
۲۱۷	۱۰۷۴/۴	۰/۹۵	۲۰
۲۳۶	۱۸۵۰/۳	۰/۹۸	۵۰
۲۴۵	۲۷۰۷/۵	۰/۹۹	۱۰۰
۲۵۵	۶۲۵۸/۹	۰/۹۹۸	۵۰۰
۲۵۷	۸۸۸۱/۷	۰/۹۹۹	۱۰۰۰
۲۶۱	۲۷۸۲۲/۹	۰/۹۹۹۹	۱۰۰۰۰

جدول ۶- بزرگی خشک سالی های هیدرولوژیکی (میلیون متر مکعب) بر مبنای حد آستانه Q_v در تداوم ها و دوره بازگشت های

تداوم (روز)								دوره بازگشت (سال)
۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰	۹۰	۶۰	۳۰	۲۰	۱۰	
۷۵۴/۵	۶۷۶/۲	۵۰۱/۷	۳۷۹/۲	۲۰۸/۵	۱۰۵/۴	۷۱/۲	۳۵/۸	۲
۹۴۲/۰	۸۲۹/۸	۶۴۹-۰	۴۸۸/۱	۳۰۰/۶	۱۵۴/۷	۱۰۲/۸	۲۵/۵	۵
۱۰۴۰/۴	۸۸۸/۹	۷۲۲/۲	۵۲۹/۲	۳۵۶/۵	۱۸۰/۵	۱۲۱/۳	۶۳/۵	۱۰
۱۱۱۸/۴	۹۲۸/۱	۷۸۰/۳	۵۵۶/۹	۴۰۶/۱	۲۰۰/۷	۱۳۷/۸	۷۴/۱	۲۰
۱۱۴۰/۶	۹۳۸/۱	۷۹۶/۰	۵۵۹/۶	۴۲۱/۱	۲۰۶/۳	۱۴۲/۸	۷۷/۵	۲۵
۱۲۰۲/۴	۹۶۳/۱	۸۴۳/۴	۵۷۲/۶	۴۶۵/۳	۲۲۱/۴	۱۵۷/۶	۸۷/۸	۵۰
۱۲۵۵/۶	۹۸۱/۵	۸۸۴/۲	۵۸۰/۳	۵۰۶/۵	۲۳۳/۷	۱۷۱/۵	۹۸/۱	۱۰۰
۱۳۰۲/۰	۹۹۵/۴	۹۲۰/۶	۵۸۴/۶	۵۴۵/۰	۲۴۳/۸	۱۸۴/۸	۱۰۸/۳	۲۰۰
۱۳۵۵/۰	۱۰۰۸/۷	۹۶۳/۵	۵۸۷/۳	۵۹۲/۷	۲۵۴/۵	۲۰۱/۶	۱۲۱/۹	۵۰۰

پاورقی ها

- 9- Mann-whitney
- 10-Wald-wolfitez
- 11-Trend
- 12-Runs theory
- 13-Severity
- 14-Drought intensity
- 15-Flow duration curve
- 16-Partial duration series
- 17-Annual maximum series

- 1-Generalized Pareto
- 2-Drought
- 3-Aridity
- 4-Threshold(s)
- 5-Reference Discharge
- 6-Truncation Level
- 7-Severity-Duration-Frequency Curve
- 8- Run test

definition. ARIDE Tech. Report no. 6 University of Oslo, Oslo, Norway.

13-Jacobowski, W. and Radczuk, L. (2003) *NIZOWKA* 2003 Software, Agricultural University of Wroclaw, Poland.

14-Jeng-Tzong, S., Hsieh-Wen, S. (2001) Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v 127(1), p 30-40.

15-Kjeldsen, R.T., Lundroff, A., Rosbjerg, D. (2000) Use of a two-component exponential distribution in partial duration modeling of hydrological drought in Zimbabwean rivers. *Hydrological science journal*, 45(2), pp. 285-298.

16- Nutzmann, G. and Mey, S. (2007) Model-based estimation of runoff changes in a small lowland watershed of north-eastern Germany, *Journal of Hydrology*, Volume 334, Issues 3-4, Pages 467-476.

17-Pandey, R.P., Mishra, S.K., Singh, R., and Ramasastri, K.S. (2008) Streamflow Drought Severity Analysis of Betwa River System (India), *Water Resour Manage*, 22:1127-1141.

18- Salas, J.D., Chongjin F., Cancelliere, A., Dustin, D., Bode, D., Pineda, A. and Vincent, E. (2005) Characterizing the Severity and Risk of Drought in the Poudre River, Colorado. *Journal of Water Resource. Planning. and Management.*, Volume 131, Issue 5, pp. 383-393.

19-Wilhite, D.A. & Glantz, M.H. (1985) Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10 (3), 111-120.

20-Yevjevich, V. (1967) *An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts*, Hydrology papers, 23, Colorado State University, Fort Collins, USA.

21-Zelenhasic, E. & Salvai, A. (1987) A Method of Streamflow Drought Analysis, *Water. Resource. Research*. 23 (1), 156-168.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □

18-Pooling procedures

19-Intervent criterion

20-Sequent peak algorithm

21-Minor droughts

22-Extreme Distributions

منابع مورد استفاده

۱- پرهمت، ج. ثقفیان، ب. و صدقی، ح. (۱۳۷۹) بررسی روند خشک سالی ها و تر سالی ها در حوزه کارون با استفاده از آمار دراز مدت، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشک سالی. کرمان. ۹-۱۰ اسفند.

۲- حسینی زارع، ن.، سعادت، ن. (۱۳۸۱) اثر خشک سالی بر کیفیت منابع آب رودخانه های کارون و دز در استان خوزستان، همایش بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، ۱۸۹-۱۷۱.

۳- رضایی پزند، ح. (۱۳۸۰) کاربرد آمار و احتمال در منابع آب، انتشارات سخن گستر، ص ۴۵۶.

۴- صفدری، ع.ا. محسنی ساروی، م. ثقفیان، ب. و مهدوی، م. (۱۳۸۲) پهنه بندی فراوانی خشک سالی های حوزه کارون به کمک شاخص بارش استاندارد (SPI) در محیط GIS. سومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، ۲۲۸-۲۲۱.

۵- مرید، س. مقدسی، م. پایمزد، ش. و قائمی، ه. (۱۳۸۴) طراحی سیستم پایش خشک سالی استان تهران. وزارت نیرو، شرکت سهامی مدیریت منابع آب. ص ۱۹۴.

6- Dezman, L.E., Shafer, B.A., Simpson, H.D., and Danilson, J.A. (1982) *Development of a surfer water supply index – a drought severity Indicator for colorado*, in Proceedings Int. Symp. on Hydrometeorology, American Water Resource Assosiation (AWRA), June 13-17, 1982, Colorado, USA, 337-341.

7-Dracup, J.A., Lee, K.S. & Paulson, E.G. Jr. (1980) On the definition of droughts, *Water. Resource. Research*. 16 (2), 297-302.

8-Fleig, A. (2004) *Hydrological drought – a comparative study using daily discharge series from around world*, Master thesis, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg.

9-Gerold, R., Wolfdietrich, S. (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. p 495-500.

10-Hisdal, H. (2002) *Regional aspects of drought*. Ph.D. thesis, No. 221, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, Oslo.

11-Hisdal, H., Tallaksen, L.M. (2003) Estimation of regional, meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. *Journal of Hydrology*, 281 pp. 230-247.

12-Hisdal, H. & Tallaksen, L.M. (eds.) (2000) *Drought event*