تجزیه و تحلیل جریان های حداقل در حوزه های نیمه خشک شمال شرق خراسان رضوی

م. حبیب نژاد روشن[۱]، م. ابراهیمی[۲]، ک. سلیمانی[۱] و م. وفاخواه[۳]

چکیده

با توجه به اثرات زیان بار خشکسالی، شناخت سنجه های فراوانی جریان های حداقل، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تجزیه و تحلیل جریان های حداقل روشی در برآورد خشکسالی هیدرولوژیک می باشد. از بین روش های برآورد در مناطق فاقد آمار کافی، آنالیز منطقه ای جریان های حداقل، روش مناسبی است که متکی بر آمار واقعی بوده، لذا نتایج بدست آمده با این روش با ضریب اطمینان بیشتری همراه است. در این مطالعه از داده های ۱۹ ایستگاه هیدرومتری واقع در شمال شرق خراسان رضوی برای تحلیل جریان های حداقل استفاده و ضمن محاسبه سری های جریان حداقل سالانه با تداوم های ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه، هشت تابع توزیع آماری داده ها برازش داده شد و توزیع لوگ پیرسون تیپ III به عنوان توزیع مناسب منطقه ای انتخاب گردید. همچنین ۱۶ پارامتر فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین شناسی برای حوزه های منتخب تعیین گردید. از روش تجزیه و تحلیل عاملی برای انتخاب متغیر های مستقل استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که از ۱۶ پارامتر ورودی، ۳ ویژگی مساحت، بارندگی متوسط سالانه و درصد سازند نفوذپذیر به عنوان مهم ترین عوامل خشکسالی هیدرولوژیک شناخته شدند که ۷۹٪ واریانس را توضیح می دهند. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل خوشه ای، دو منطقه همگن و کل منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن سه عامل مذکور انجام پذیرفت. در نهایت مدل هایی برای تداوم های مختلف روزانه و دوره بازگشت های ۲ تا۵۰ سال ارائه گردید. بررسی ها نشان می دهد که مدل های ارائه شده برای مناطق همگن دارای ضرایب تبیین بالا و خطای استاندارد کمتری نسبت به کل منطقه می باشد.

واژهای کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیک، جریان حداقل، تحلیل منطقه ای، خراسان رضوی

۱- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانش آموخته کارشناس ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس نور

مقدمه

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که رخداد آن اثرات زیانباری بر محیط اکولوژیک وارد می سازد. خشکسالی هیدرولوژیک را می توان به صورت دوره ای که در آن مقدار جریان آب رودخانه ها و مخازن آب زیرزمینی از حد بحرانی کمتر شود، تعریف نمود. شناخت سنجه های فراوانی جریان های حداقل، در مطالعات خشکسالی، طراحی سیستم های مصرف آب و حفظ شرایط مناسب محیط زیست دارای اهمیت است. ایران کشوری است که در کمربند خشک نیم کره شمالی زمین واقع شده و متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی متر است که در زمره مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد. بررسی آگراوالا و همکاران نشان می دهد که در ایران و کشورهای جنوب شرقی آسیا از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ میلادی، به مدت ۳ سال خشکسالی شدیدی رخ داده است. بروز این خشکسالی سه ساله، ۱۰ استان از ۲۸ استان ایران را تحت تأثیر قرار داد و بیش از ۳۷ میلیون نفر از جمعیت ایران را با بحران آب و کمبود مواد غذایی مواجه ساخت. ذخایر آبی ایران در جولای ۲۰۰۱ (تیر ماه ۱۳۸۰) به مقدار ۴۵٪ افت داشته است (۱)، مسأله محدودیت منابع آب از یک طرف و کمبود ریزشهای جوی با توزیع نامناسب مکانی و زمانی موجب بحران آب در ایران شده است که توجه به این مشکل را ضروری می نماید. محققین علوم مختلف مرتبط با خشکسالی تعاریف مختلفی را از این پدیده ارائه نمودند و لذا روش های مطالعاتی خاصی را با توجه به شاخص های مورد توجه خود به کار گرفتند. از میان روشهای برآورد جریان های حداقل در مناطق فاقد آمار کافی، تحلیل منطقه ای این نوع از جریان ها یکی از مهمترین روش های مطالعه خشکسالی می باشد و برای این منظور استفاده از توزیع های آماری که مبتنی بر داده های کمی بدست آمده از ایستگاه های هیدرومتری است، از قابلیت بالایی برخوردار است. با توجه به بررسی منابع بر می آید که در بین هیدرولوژیست ها هیچ توافقی در مورد استفاده از یک تابع توزیع خاص وجود ندارد و تاکنون در طراحی پروژه ها روش استانداردی در انتخاب نوع توزیع ملاحظه نشده است (۹).

ماتالاس (۱۳) با مطالعه جریان های حداقل در ۳۴ حوزه کانادا به این نتیجه رسید که توزیع ویبول بهترین نوع برای برازش داده های جریان حداقل می باشد. کراف و رانتز (۵) شش منحنی توزیع جریان های حداکثر را در کالیفرنیا بررسی و نتیجه گرفتند که توزیع پیرسون III بهترین آنها می باشد. توماس و بنسون (۲۳) با استفاده از ۷۰ پارامتر جریان رودخانه ای و ۳۱ مشخصه حوزه نتیجه گرفتند که سطح حوزه، ذخیره نزولات و شدت تواتر آن، تبخیر و حرارت مهم ترین مشخصه های یک حوزه هستند که قادرند در تدوین معادلات تناوب سیل حوزه نقش ایفا کنند. کاندای و آنیکس (۴) توزیع ویبول را برای ۳۳ رودخانه آمریکا به عنوان

بهترین توزیع معرفی کردند. تاسکر (۲۲) در ویرجینای آمریکا مطالعاتی را انجام داده و توزیع های ویبول، لوگ پیرسون III، تبدیل باکس-کاکس و روش لوگ بوتون را مقایسه کرد و نتیجه گرفت که توزیع پیرسون III و ویبول به ترتیب دارای کمترین میانگین مربعات خطا می باشد. لوگ ناتان و همکاران (۱۲) توزیع های لوگ پیرسون III و ویبول را به عنوان بهترین توزیع برای جریان های حداقل معرفی کردند. ووگل و کرول (۲۵) نشان دادند بدست آوردن مدلی که پایه و اساس فیزیکی داشته و واکنش جریان های حداقل یک حوزه را به پارامترهای ژئومتریک و ژئوهیدرلوژیک مناسب ربط دهد، منجر به بهبود مدل های رگرسیون بدست آمده خواهد شد. آنها یک مدل فیزیکی برای ثابت فروکش جریان های حداقل بدست آورند. استامی و هس (۲۱) در تحلیل منطقه ای سیلاب از آمار ۴۲۶ ایستگاه هیدرومتری موجود در ایالت جورجیا استفاده کرده که با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره با پارامترهای فیزیکی و اقلیمی حوزه مدلی را ارائه نموده اند. دینگمن و کلاولور (۶) با بررسی ۴ ایستگاه در انگلستان، توزیع لوگ نرمال دو پارامتری را به عنوان بهترین توزیع منطقه ای معرفی کردند. گارسیا و همکاران (۷) با بررسی ۱۹ ایستگاه در پرتوریکو، توزیع لوگ پیرسون III را بعنوان بهترین توزیع انتخاب کردند. برایان (۳) با مطالعه منطقه اوتاگو چنین نتیجه گرفت که روش گشتاور خطی مناسب ترین روش برای داده های منطقه ای در برازش توزیع احتمال می باشد و نتیجه گرفت توزیع لوگ نرمال سه پارامتری برتر از توزیع ویبول می باشد. بررسی های برایان کارسو (۳) در ارزیابی روش های فراوانی جریان های حداقل نشان داد که مدل های رگرسیونی حاصل از روابط ویژگی های حوزه و جریان های حداقل برتری کامل بر دیگر روش ها دارد. زیدمن و همکاران (۲۶) با مطالعه روی جریان های حداقل ۱، ۷، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۳۶۵ روزه در ۲۵ حوزه آبخیز واقع در انگلستان، به این نتیجه رسیدند که برای جریان های حداقل ۶۰ روزه و کمتر از آن در حوزه های با مقدار ذخیره بالا، توابع توزیع Gev و GL تطابق خوبی دارند درحالیکه در حوزه های با ذخیره پایین بهترین توزیع ها Gev و PE3 می باشند. لاها و بلوشل (۱۱) با استفاده از داده های ایستگا های هیدرومتری ۳۲۵ زیر حوزه در حوزه های آبخیز اتریش ضمن بر قراری یک مدل رگرسیون بین ویژه گیهای حوزه آبخیز و دبی ویژه جریان کمینه چهار روش (آنالیز باقیمانده، تحلیل خوشه ای، رگرسیون درختی و روش دیگری که براساس مناطق منطبق بر ویژگیهای رواناب فصلی می باشد)، را برای آنالیز منطقه ای جریان های کمینه به کار بردند. نتایج نشان داد که روش منطبق بر ویژگیهای رواناب مناسب ترین روش بوده و انحراف معیار آن در رابطه با دبی ویژه در حدود ۷۰ درصد می باشد. در ایران نیز وفاخواه (۲۴) در تحقیقی در حوزه آبخیز دریاچه نمک جریان های حداقل روزانه را

در دوره های بازگشت مختلف محاسبه نمود و به این نتیجه رسید که مناسب ترین توزیع منطقه ای در این حوزه توزیع لوگ نرمال سه پارامتری بوده، مهم ترین عوامل مؤثر بر جریان های حداقل متوسط بارندگی سالانه، مساحت و ارتفاع حداقل می باشد. غلامی (۸) در بررسی توزیع های احتمالی مناسب برای دبی های حداقل با استفاده از روش گشتاور L در استان مازندران به این نتیجه دست یافت که در ۸۸٪ ایستگاه ها توزیع گمبل و روش گشتاور L و در ۱۲٪ ایستگاه ها توزیع لوگ نرمال سه متغیره و روش گشتاور معمولی مناسب است. روحانی (۱۸) توزیع لوگ پیرسون III را به عنوان مناسب ترین توزیع در تحلیل منطقه ای سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک خراسان معرفی نمود. نصرتی (۱۵) در بررسی حوزه اترک، توزیع لوگ پیرسون III را به عنوان مناسب ترین توزیع منطقه ای معرفی کرد که در بین عوامل مختلف، مساحت، شیب متوسط حوزه، متوسط بارش سالانه و درصد سازندهای نفوذپذیر به عنوان مهمترین عوامل شناخته شدند. خدری تاژان و وفاخواه (۱۰) در بررسی مناسب ترین تابع توزیع آماری برای برآورد خشکسالی هیدرولوژیک در استان گلستان، به این نتیجه دست یافتند که جریان های حداقل ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه به ترتیب با توابع توزیع گامای دو پارامتری و حد نوع سوم با روش حداکثر درست نمایی، توزیع ویبول با روش گشتاور معمولی، توزیع لوگ نرمال دو پارامتری با روش گشتاور معمولی و توزیع لوگ نرمال دو پارامتری با روش برآوردی گشتاور معمولی تطابق بهتری نشان می دهند. زرین (۲۷) در بررسی جریان های کمینه در حوزه های کرخه و کارون، مهم ترین عوامل مؤثر بر این جریان ها را با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی عوامل بارش متوسط حوزه، مساحت، ارتفاع متوسط حوزه، ضریب گراولیوس و شیب آبراهه اصلی با توانایی توضیح ۸۰/۱ درصد از تغییرات در داده های اصلی به دست آورد. همچنین مدل های اراه شده توسط این محقق به منظور برآورد جریان کمینه با توجه به عوامل مؤثر مذکور، در سطح ۹۹ درصد معنی دار نشان دادند.

رئیسی (۱۶) با مطالعه ۳۵ ایستگاه هیدرومتری مناسب در حوزه های شمالی استان فارس، با برآورد حداقل جریان کمینه با تداومهای ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روزه، به این نتیجه رسیدند که توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳ مناسبترین توزیع فراوانی می باشد. پارامتر های بارش متوسط سالانه و مساحت حوزه آبخیز، تراکم زهکشی و درصد اراضی با پوشش گیایی کم مهمترین پارامترها شناخته شدند.

سمیعی و همکاران (۲۰) در مطاله ای بمنظور بررسی جریانهای کمینه با تداوم ۳۰ روزه در حوزه های آبخیز استان تهران، ۱۲ ایستگاه هیدرومتری با دوره آماری مناسب انتخاب نمودند و نتایج نشان داد که چهار عامل

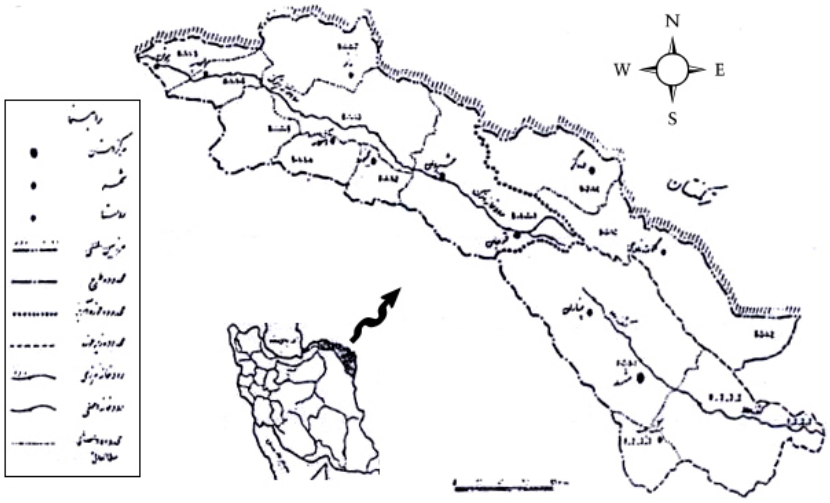
مساحت، بارش متوسط سالانه، متوسط وزنی نفوذ پذیری کم و شیب متوسط حوزه در مجموع ۹۹/۳۶ درصد از تغیرات در داده های اصلی را توضیح می دهند. همچنین در مدل های منطقه ای، مطابق با نتایج بدست آمده روش رگرسیون چند متغیره دقیقتر از روش شاخص جریان کم می باشد.

ثقفیان و همکاران (۱۹) ضمن مطالعه ۳۵ ایستگاه هیدرومتری با آمار دبی روزانه در حوزه های آبخیز استان گیلان، ضمن بر آورد حد اقل جریان کمینه با تداومهای ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ روزه، به این نتیجه رسیدند، که توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳ برای تداومهای بالاتر از ۶۰ روزه و توزیع آماری لوگ نرمال برای تداومهای کمتر از ۶۰ روزه مناسب ترین توزیع فراوانی می باشد. همچنین پارامتر های مساحت، شیب و بارش متوسط سالانه حوزه ها، مهمترین پارامتر ها شناخته شدند.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه در این بررسی در استان خراسان رضوی واقع بوده، مشتمل بر بخش هایی از حوزه آبخیز اترک، هریرود و کشف رود می باشد، حوزه آبخیز اترک در شمال شرقی ایران با مختصات ´۱۰ °۵۴ تا ´۳ °۵۹ طول شرقی و ´۵۷ °۳۷ تا ´۱۶ °۳۸ عرض شمالی بوده، مساحت آن در ایران ۲۶۵۷۸ کیلومتر مربع است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع آن در ارتفاعات کپه داغ ۲۹۰۳ متر از سطح دریا و حداقل آن در محل الحاق به دریای خزر ۲۷- متر می باشد. حوزه هریرود- کشف رود نیز در منتهی الیه شمال شرقی ایران به مختصات ´۱۲ °۵۸ تا ´۱۱ °۶۱ طول شرقی و ´۲۱ °۳۴ تا ´۴۳ °۳۷ عرض شمالی و مساحت ۴۴۱۰۷ کیلومتر مربع بوده، حداکثر ارتفاع این حوزه در کوه های بینالود، ۳۲۰۰ متر از سطح دریا می باشد (جدول ۱). با توجه به نقشه اقلیم نمای ایران، اقلیم منطقه براساس روش دمارتن، خشک و نیمه خشک و براساس روش آمبرژه خشک سرد می باشد.

در این بررسی ابتدا داده های دبی روزانه ۵۰ ایستگاه هیدرومتری مستقر در حوزه مورد مطالعه از سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) و شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی جمع آوری و پس از بررسی، ۱۹ ایستگاه مناسب تشخیص داده شد. سپس طول دوره آماری دبی روزانه کلیه ایستگاه های هیدرومتری استخراج و پایه زمانی مشترک ۲۰ ساله، از سال ۶۰-۵۹ تا ۷۹-۷۸، انتخاب و پس از کنترل صحت و همگنی داده ها (براساس ران تست)، نواقص آماری با توجه به ضریب همبستگی بین ایستگاه ها برطرف شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در ایران.

جدول ۱- مساحت محدوده مورد مطالعه

نام حوزه	نام زیر حوزه	مساحت Km^2
هریرود- کشف رود	درونگر- شورلق	۹۴۶۰
هریرود- کشف رود	کشف رود	۱۶۷۶۰
اترک	اترک علیا	۲۱۳۵
جمع محدوده مورد مطالعه		۴۷۵۷۰

برای انتخاب مناسب ترین توزیع منطقه ای از آمار دبی های حداقل ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه ایستگاه های منتخب استفاده گردید وفاخواه (۲۴). برای این منظور به کمک نرم افزار HYFA[1] هشت تابع توزیع شامل نرمال، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، پیرسون نوع III، لوگ پیرسون III، گامای دو پارامتری، گمبل و حد نوع سوم (ویبول) بر داده های ایستگاه های انتخابی برازش شد. برای تعیین بهترین توزیع از شیوه امتیازدهی استفاده شد، بطوری که پس از محاسبه متوسط انحراف نسبی حاصل از برازش هر کدام از توزیع ها در هر ایستگاه برای تداوم های مختلف، به کمترین مقدار متوسط انحراف نسبی نمره ۱ و بیشترین مقدار نمره ۸ داده شد. سپس نمرات داده شده برای هر توزیع جمع زده شد و توزیع مناسب انتخاب گردید وفاخواه (۲۴). پس از برآورد پارامترهای توزیع منتخب، مقدار جریان های حداقل با تداوم های ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه برای دوره های بازگشت مختلف محاسبه شد. در مناطق فاقد آمار هیدرومتری تحلیل منطقه ای یکی از کارآمدترین روش ها به منظور

1- Hydrological Frequency Analysis

تعیین جریان های حداقل می باشد، اما قبل از بکارگیری روش تحلیل منطقه ای باید از همگنی منطقه اطمینان حاصل نمود. کایت (۹).

در بررسی عوامل مؤثر بر جریان حداقل ۱۶ پارامتر در انجام تحلیل عاملی، داده ها با توجه به رابطه (۱) استاندارد و نیز واریانس عامل با رابطه (۲) تعیین گردید.

رابطه (۱)
$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

که در آن x_i مقدار عددی هر متغیر، $\bar{x}$ میانگین متغیرها، S انحراف معیار و Z مقدار استاندار شده متغیر می باشد.

رابطه (۲)
$$\psi = 1 - \sum_{j=1}^{k} \lambda^2 I_j$$

که در آن ψ واریانس هر عاملی، K تعداد عامل و λ بار هر عامل می باشد. سپس تعداد عامل ها به شرح رابطه (۳) انتخاب گردید (۱۷).

رابطه (۳)
$$x_f^2 = -\left[\left(n - (2p+5)/6 - 2k/3\right)\right] Ln\left[|s|/|\Sigma|\right]$$

که در آن x_f^2 توزیع کای دو، $n=N-1$ و N تعداد افراد، P تعداد کمیتهای مربوط به هر فرد، k تعداد عامل ها و S مقادیر ویژه ماتریس همبستگی می باشد.

حال فرض $H: \Sigma\Lambda\Lambda + \psi$ بررسی می شود که اگر تابع کای دو از مقدار بحرانی خود بیشتر یا مساوی باشد، فرض عدم تأثیر عامل بر وقوع پدیده، رد می شود و یک مقدار به تعداد عامل ها اضافه می شود و الگو مجدداً آزمون می شود. این عمل آنقدر تکرار می شود تا یک مقدار غیر معنی دار برای آزمون کای دو بدست آید. در برآورد امتیاز عاملی از برنامه SPSS نسخه ۱۱ استفاده گردید. پس از استاندارد کردن داده ها در گزینه Anti-Image ماتریسی ارائه شد که عناصر قطر ماتریس ضرایب خود همبستگی، یعنی مقادیر دقت نمونه گیری (MSA)[1] می باشد که با توجه به رابطه ۴ محاسبه می گردد:

رابطه (۴)
$$MSA = \frac{\sum_{i=j} r_{ij}^2}{\sum_{j=i} r_{ij}^2 + \sum_{j=i} a_{ij}^2}$$

که در آن r_{ij} ضرایب همبستگی ساده و a_{ij} ضریب همبستگی جزیی متغیرهای I و j به شرط ثابت بودن سایر متغیرها می باشد. ضریب دیگری برای نتایج تجزیه به عامل ها (KMO)[2] و مقادیر بزرگ این ضریب نشانه صحت مدل بوده که به صورت رابطه ۵ می باشد.

رابطه (۵)
$$KMO = \frac{\sum_{i=j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i=j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i=j} \sum a_{ij}^2}$$

مقادیر حدود ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵ و کمتر از ۰/۵ به ترتیب نتیجه تجزیه عاملی را بسیار مناسب، مناسب، متعادل، متوسط، ناچیز و نامناسب نشان می دهد.

در تحلیل رگرسیون چند متغیره مجموعه متغیرهایی که باید در مدل گنجانده شوند از پیش تعیین شده نیستند و غالباً بخش اولیه تحلیل شامل گزینش متغیرها می باشد. بدین منظور از روش رگرسیون گام به گام[3] استفاده گردید که دقیق ترین روش گزینش متغیرها

1- Measure of Sampling Adequacy 2- Kaiser-Meyer –Olkin 3- Stepwise Regression

است. همچنین برای بررسی کفایت مدل، از ضریب تبیین و خطای استاندارد، مطابق معادله ۶ استفاده گردید. ضریب تبیین معیاری برای اندازه گیری کفایت مدل رگرسیون است که بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد (۱۷).

رابطه (۶) $$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSD}{SST}$$

که در آن SSR مجموع مربعات رگرسیون و SST مجموع مربعات مانده ها می باشد.

نتایج و بحث

جدول ۲ نشان می دهد که در همه تداوم ها، توزیع لوگ پیرسون III برتری چشمگیری نسبت به سایر توضیحات دارد. بنابراین توزیع لوگ پیرسون III بهترین توزیع منطقه ای جریان های حداقل انتخاب گردید. در این مطالعه توزیع نرمال کمترین برازش را با سری های آماری داشته است. لذا جریان های حداقل ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه با دوره بازگشت های مختلف برای همه ایستگاه های منتخب با استفاده از توزیع مناسب منطقه ای (لوگ پیرسون III) محاسبه شد. به عنوان نمونه مقادیر به دست آمده برای ایستگاه دولت آباد در جدول ۳ ارائه شد. در جدول ۴ ماتریس ضرایب خود همبستگی در خروجی Anti-Image با استفاده از ۱۱ متغیر آمده است.

جدول ۲- جمع امتیاز بدست آمده برای توزیع ها با تداوم های مختلف در منطقه براساس متوسط انحراف نسبی

تداوم (روز)	نرمال	لوگ نرمال دو پارامتری	لوگ نرمال سه پارامتری	گمبل	حد نوع سوم	پیرسون نوع III	لوگ پیرسون III	گامای دو پارامتری
۷	۱۲۵	۹۸	۸۱	۹۸	۵۱	۷۸	۴۱	۷۶
۱۵	۱۳۸	۱۰۲	۷۱	۱۰۳	۵۷	۶۱	۳۵	۸۲
۳۰	۱۲۴	۹۸	۶۶	۸۷	۵۸	۵۵	۳۴	۷۹

جدول ۳- مقادیر جریان های حداقل ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه با دوره بازگشت های مختلف برای ایستگاه دولت آباد

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰
جریان ۷ روزه	۰/۰۸۶	۰/۰۵۹	۰/۰۴۸	۰/۰۴۰	۰/۰۳۴
جریان ۱۵ روزه	۰/۰۹۶	۰/۰۶۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳۸
جریان ۳۰ روزه	۰/۱۱۵	۰/۰۸۶	/۰۷۲	/۰۶۰	۰/۰۵۲

برای خارج کردن متغیرهای غیرضروری از ماتریس همبستگی Anti-Image کمک گرفته شد. معیار تشخیصی این متغیرها، آمار MSA است که عناصر قطری ماتریس همبستگی می باشند.

پس از انتخاب متغیرهای ورودی، تحلیل عاملی براساس این متغیرها نشان داد که ۳ فاکتور مجموعاً ۷۸/۸۸٪ از واریانس را در داده های اصلی توضیح می دهند. بنابراین اطلاعات حول ۳ عامل خلاصه شد. براساس جدول ۵، درصد هر یک از عامل ها به ترتیب ۵۲/۸، ۱۶/۸ و ۹/۲۸ می باشد. با توجه به جدول ماتریسی دورانی واریماکس[1] (جدول ۶)، مساحت حوضه با بیشترین بار وزنی (۰/۹۲) روی عامل اول و توجیه بیشترین درصد کل از واریانس، یعنی مقدار۵۲/۸ به عنوان فاکتور اول انتخاب گردید. درصد سازندهای نفوذپذیر با بار وزنی ۰/۸۸ و درصد از واریانس کل ۱۶/۸ به عنوان فاکتور دوم انتخاب شد. همچنین بارندگی سالانه با بار وزنی ۰/۸۱ و درصد از واریانس کل ۹/۳۰ به عنوان فاکتور سوم انتخاب گردید. نهایتاً مدل های ریاضی که مشتمل بر مدل های برآورد جریان های حداقل با تداوم های ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال برای کل منطقه است، ارائه شد (جداول ۷، ۸ و ۹).

جدول ۴- ماتریس ضرایب خود همبستگی در خروجی Anti-Image

عامل	مساحت	ارتفاع متوسط	ارتفاع حداقل	شیب متوسط	طول آبراهه اصلی	شیب آبراهه اصلی	بارندگی سالانه	درجه حرارت سالانه	تراکم آبراهه	درصد سازند نفوذپذیر	محیط
مساحت	۰/۷۸۵[a]										
ارتفاع متوسط	۰/۱۱۱	۰/۷۴۲[a]									
ارتفاع حداقل	-۰/۳۸۴	-۰/۴۵۳	۰/۸۲۶[a]								
شیب متوسط	۰/۲۱۲	۰/۳۷۱	۰/۴۷	۰/۵۲۴[a]							
طول براهه اصلی	۰/۲۲۲	۰/۶۲۲	۰/۲۲	۰/۶۴۴	۰/۶۹[a]						
شیب آبراهه اصلی	-۰/۳	-۰/۱۰۱	۰/۱	۰/۲۸۱	۰/۱۷	۰/۹۱۶[a]					
بارندگی سالانه	۰/۱۸۲	-۰/۳۲	۰/۲۱	-۰/۶۷۶	-۰/۵۴۵	-۰/۱۶	۰/۷۵[a]				
درجه حرارت سالانه	۰/۵۰۸	۰/۷۸۷	-۰/۱۱۶	۰/۲	۰/۵۳	۰/۲۴	-۰/۲۳	۰/۶۹۴[a]			
تراکم آبراهه	-۰/۲	۰/۴۴۶	۰/۳۳۴	-۰/۲	۰/۱۹۵	-۰/۱۱۵	۰/۲۶	۰/۴۱۷	۰/۶۶۸[a]		
درصد سازند نفوذپذیر	-۰/۲۸۱	-۰/۵۳۶	۰/۳۰۷	-۰/۶۶۴	-۰/۵۰۲	-۰/۳۴۴	۰/۴۷۵	-۰/۲۵۳	-۰/۲۶	۰/۵۲۸[a]	
محیط	-۰/۷۲۶	۰/۳۱۳	۰/۳۴۹	-۰/۴۹۶	۰/۴۵۲	۰/۳۶	۰/۵۵۹	۰/۲۸	-۰/۲۳	۰/۴۹۷	۰/۶۹۴[a]

a= Measures of Sampling Adequacy (MSA)

1- Varimax

جدول ۵- مقادیر ریشه پنهان ماتریسی و درصد واریانس عامل

عامل	مقادیر ویژه اولیه		کل	درصد واریانس	مقادیر تجمعی واریانس (٪)
	کل	مقادیر تجمعی			
۱	۵/۸۰۸	۵۲/۸۰۱	۵/۸۰۸	۵۲/۸۰۱	۵۲/۸۰۱
۲	۱/۸۴۸	۶۹/۶۰۱	۱/۸۴۸	۱۶/۸	۶۹/۶۰۱
۳	۱/۰۲۱	۷۸/۸۸۳	۱/۰۲۱	۹/۲۸۲	۷۸/۸۸۳
۴	۰/۸۳۷	۸۶/۴۹۳			
۵	۰/۵۱۹	۹۱/۲۱۱			
۶	۰/۳۶۵	۹۴/۵۲۷			
۷	۰/۶۰۳	۹۷/۲۹۲			
۸	۰/۲۰۱	۹۹/۱۲۲			
۹	۰/۰۵۵	۹۹/۷۲۰			
۱۰	۰/۰۳۴	۹۹/۸۸۱			
۱۱	۰/۰۰۸	۱۰۰			

در مطالعات انجام شده توسط برایان کارسو (۳) و نصرتی (۱۵)، مدل های رگرسیونی حاصل از روابط بین ویژگی های حوضه و جریان های حداقل برتری کامل بر روش های دیگر دارند. بنابراین تحلیل منطقه ای جریان های حداقل با استفاده از رگرسیون گام به گام و رگرسیون چند متغیره برای هر یک از مناطق همگن و کل منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن سه فاکتور مساحت، بارندگی متوسط سالانه و درصد سازند نفوذپذیر انجام پذیرفت. به منظور تعیین صحت و کفایت مدل از ضریب تبیین و خطای استاندارد استفاده گردید. بررسی ها نشان می دهد که مدل های ارائه شده برای مناطق همگن، ضریب تبیین بالا و خطای استاندارد کمتری نسبت به کل منطقه مورد مطالعه دارد.

با بررسی فراوانی جریان های حداقل در منطقه مورد مطالعه و برازش داده ها، با توزیع های مختلف مشخص گردید که توزیع لوگ پیرسون III با کسب کمترین مربعات خطا در تداوم های مختلف، مناسب ترین توزیع منطقه ای می باشد. مطالعات انجام شده توسط علیزاده و هاشمی (۲)، روحانی (۱۸) و نصرتی (۱۵) در استان خراسان نشان داد که توزیع لوگ پیرسون III مناسب ترین توزیع منطقه ای را داشت. عوامل موثر بر خشکسالی هیدرولوژیک در این مطالعه، که عبارتند از مساحت، بارندگی متوسط سالانه زرین (۲۷) و درصد سازند نفوذ پذیر، با تحقیقات انجام شده توسط ناتهن و مک ماهان (۱۴) در جنوب شرقی استرالیا، دینگمن و لاولور (۶) در نیوهمپشایر و ورمونت، گارسیا مارتینو (۷) در پرتوریکو، وفاخواه (۲۴) و نصرتی (۱۵) مطابقت دارد.

جدول ۶- ماتریس دورانی واریماکس. در این ماتریس مقادیر مربوط به عوامل مؤثر پر رنگ شده است

پارامتر استاندارد شده	عوامل		
	۱	۲	۳
مساحت	۰/۹۲	۰/۱۸۷	-۰/۱۷۹
ارتفاع متوسط	۰/۸۷۳	۰/۲۱۶	۰/۱۱
ارتفاع حداقل	-۰/۸۷۱	۰/۲۳	-۰/۱۷۳
طول آبراهه اصلی	۰/۹۱۴	۰/۲۱	-۰/۱۲
شیب آبراهه اصلی	-۰/۸۱	۰/۲۹۸	۰/۲۱
بارندگی متوسط سالانه	-۰/۴۰۲	-۰/۲۲	۰/۸۰۹
درصد سازند نفوذپذیر	۰/۱۴۳	۰/۸۸	۰/۱۴۹
تراکم آبراهه	-۰/۳۹۲	۰/۵۸۶	-۰/۲۳
درجه حرارت سالانه	۰/۸۲۲	-۰/۱۹۵	۰/۱۶۸
شیب متوسط	۰/۲۱۹	۰/۵۱۲	۰/۷۱۰
محیط	۰/۹۱	۰/۱۸۳	-۰/۱۵۳

جدول ۷- مدل های برآورد جریان های حداقل با تداوم ۷ روزه برای دوره بازگشت های مختلف در کل منطقه

دوره بازگشت	مدل	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	خطای استاندارد
۲	Log Q=0.803 log PPF- 1.716	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۳۰۴
۵	Log Q=0.117 log P+ 0.895 log PPF- 2.315	۰/۷۲	۰/۸۴	۰/۳۱۱
۱۰	Log Q=0.151 log A+0.387 log P+0.878 log PPF-3.462	۰/۷۴	۰/۸۵	۰/۳۱۹
۲۰	Log Q=0.895 log PPF-0.342 log P-1.382	۰/۶۹	۰/۸۳	۰/۳۴۵
۵۰	Log Q=0.925 log PPF-2.380	۰/۶۱	۰/۷۷	۰/۴۰۵

جدول ۸- مدل های برآورد جریان های حداقل با تداوم ۱۵ روزه برای دوره بازگشت های مختلف درکل منطقه

دوره بازگشت	مدل	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	خطای استاندارد
۲	logQ=0.148 log P+0.779 log PPF-2.059	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۳۲۲
۵	logQ=0.875 log PPF-1.962	۰/۶۹	۰/۸۳	۰/۳۱۷
۱۰	logQ=0.916 log PPF-2.108	۰/۶۹	۰/۸۳	۰/۳۳۲
۲۰	logQ=0.962 log PPF-2.245	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۳۶۱
۵۰	logQ=0.976 log PPF-2.321	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۳۸۴

جدول ۹- مدل های برآورد جریان های حداقل با تداوم ۳۰ روزه برای دوره بازگشت های مختلف در کل منطقه

دوره بازگشت	مدل	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	خطای استاندارد
۲	logQ=0.301 log P+0.801 log PPF-2.386	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۳۳۳
۵	logQ=0.993 log P+0.977 log PPF-4.513	۰/۶۴	۰/۸۰	۰/۳۶۲
۱۰	logQ=0.926 log PPF-2.094	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۳۶۸
۲۰	logQ=1.259 log P1.132 log PPF-5.576	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۳۸۵
۵۰	logQ=1.28 log P 1.183 log PPF-5.763	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۴۱۵

با توجه به نتایج به دست آمده می توان پیشنهادهای زیر را جهت پیشبرد و تداوم تحقیقات آتی در زمینه جریان های حداقل عنوان نمود: انجام آنالیز منطقه ای با آمار طولانی تر و داده های بیشتر در سراسر منطقه، بکار بردن عوامل دیگر مؤثر بر جریان حداقل نظیر خصوصیات خاک و شاخص پوشش گیاهی، استفاده از سیستم اطلباعات جغرافیایی بویژه در تعیین مناطق همگن، ارزیابی مدیریت ریسک خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی، پهنه بندی جریان های حداقل با استفاده از روش های مختلف درون یابی مکانی و تهیه نقشه های منطقه ای، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان های حداقل، بررسی اثرات فعالیت های انسانی بر جریان های حداقل و ارزیابی اثرات زیست محیطی این جریان ها روی شرایط اقتصادی و اجتماعی و اکولوژیک.

منابع

1. Agrawala, S., M. Barlow, H. Cullen and B. Lyon. 2001. The drought and humanitarian Crisis in Central and Southwest Asia, a Climate Perspective. IRI Special Raport, (01). 11-24 pp.
2. Alizadeh, A. and A. MoavenHashemi. 1995. Regional flood analysis in north of khorasan province, Nivar Journal, No. 11, 17-25 pp.
3. Brian, S.c. 2000. Evaluation of low flow frequency analysis methods. Journal of Hydrology. 39(1): 19-47.
4. Condie, R. and G. Anix. 1975. Modeling of low flow frequency distribution and parameter estimation. International Water Resources Symposium. Water for Arid Lands. Tehran, Iran.
5. Cruff, R.W. and S.E. Rantz. 1965. A comparison of methods used in flood frequency studies for coastal basin Clafornia, USGS, Water Supply. 1580-1589.
6. Dingman, S.L. and S. Claowlor. 1995. Estimaiting low quantities from drainage baisin characteristics in New Hampshier and Vermot, Water Resources Bulletin, 31(2): 243-256.
7. Garsia, M.R. and S. Martino. 1996. Statistical low flow estimation in humid mountain regions in Puertorico. Water Resources Bulletin, 32(6): 1259-1271.
8. Gholami, A. 2000. chosing of the best probabilistic distributions for maximam mean and minimum discharges using L momenthum method. (Case study: Mazandaran province) M.Sc Thesis, Tarbiat Madarres University, 112 p.
9. Kait, G.D. 1990. Risk and Frequency analisis in hidrology, translated by Bozorgnia Astan Guds Razavi, 300 p.
10. Khedritazan, B. and M. Vafakhah. 2004. Chosing the best statical distribution for hydrolic drought in Golestan province, First conferenceof watershed, soil and water resources, Kerman, Iran.
11. Laaha, G. and G. Bloschl. 2005. A comparison of low flow regionalization methods catchment grouping. J. of Hydrology, 1-22 pp.
12. Lognathan, G.V., C.Y. Kuo and T.C. Mc Cormic. 1985. Frequency analysis of flow flows. Nordic Hydrology. 16(16):105-128.
13. Matalas, N.C. 1963. Probability distribution of flows. USGS professional papers 434 pp.
14. Nathan, R.J. and T.A. Mc Mahon. 1990. Identification of homogenous regions for the purpose of regionalizing. Journal of Hydrology, No. 121: pp. 217-238.
15. osrati, K. 2002. Analysis of Regional Frequency of minimum flow in arid and semi-arid. M.Sc. Thesis University of Tehran. 106 p.
16. Raeisi, M. 2007. low flow frequency analysis with different durations (Case study : fars province catchments), M.Sc. thesis, University of Mazandaran, 136 p.
17. Rezaie, A. and A. Soltani. 1998. Applied Regression analysis, Isfahan tech. University press, 355 p.
18. Rohani, H. 2000. Flood Frequency analysis in arids and semi-arid hybrid method (Case study: Khorasan province), M.Sc. thesis, University Tehran, 98 p.

19. Saghfian, B., S. Mohammedi, B. Germezcheshme. 2005. Stimation of Low Flows in ungauged catchments using multiple regression method. Ab o Abkhiz journal, No. 2. 2005. pp: 21-34.
20. Samiei, M., M. Mahdavi, B. Saghafian and M. Mohseni. 2005. Regional analysis of low flows in Tehran province Catchments, Natural Rejourcs of Iran, 58/1, pp: 51-64.
21. Stammey, T.C. and G. Hess. 1993. theqniques for estimating magnitude and frequency of floods in rural basins in Georgia, USGS, water Resources Report 930.
22. Tasker, G.B. 1982. comparing methods of hydrologic regionalization, Water Resources Bulletin, 18(6): 965-970.
23. Thomas, W.O. and M.A. Benson. 1968. Uniform flood frequency estimating methods for Federal Agencies. Water Resources Geology, 891-908.
24. Vafakhah, M. 1998. Estimation of regional Frequency of minimum flow in seasonal River. M. Sc. Thesis, University of Theran. 145 p.
25. Vogel, R.M. and C.N. Kroll. 1992. Regional geohydrologyic-genorphil relationships for the estimation of low statistic. Water resources Research, 28(9): 2451-2458.
26. Zaidman, M., V.R. Keller, A. Young and D. Cadman. 2003. Flow-duration-frequency behavior of British rivers based on annual minima data. Journal of Hydrology, V. 277, pp: 195-213.
27. Zarrin, H. 2005. Investigation of low flows in karkhe and karoun river basins to estimate the discharge M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, 108 p.

Low Flow Analysis in Arid and Semi-Arid Areas of Northeastern of Khorasan Razavi Province

M. Habibnejad Roshan[1], M. Ebrahimi[2], K. Solaimani[1] and M. Vafakhah[3]

Abstract

Knowledge of frequency ratings of low flows is important to understand the phenomenon due to damage producing effects of drought. Low flow Analysis is a method of hydrologic estimation of drought. One of the methods in the regions without adequate data is the regional analysis of low flows, based on real data and its results have the higher reliability coefficients. In this study, the suitable stations for analysis of these flows were selected, low annual flow series with duration of 7, 15 and 30 days were calculated, 8 statistical distributions functions were fitted with the data and the Log-Pearson Type II distribution was selected as the suitable regional distribution. Also 16 physiographical, climatic and geological parameters were determined for the selected watersheds. To choose the independent variables, factor analysis was used. The results showed that among 16 input parameters, the area, mean annual rainfall and percentage of permeable formation were the most important factors, which explain 79% of variance. Two homogeneous regions were recognized in the study area with cluster analysis and the two regions were completely separated by distinguishing analysis. The regional analysis of low flows was carried out using step-wise regression and multiple regression methods for each homogeneous region and the whole study area, considering r factors of the area, mean annual rainfall and percentage of permeable formation. The low flow rates with duration of 7, 15 and 30 days and return periods of 2, 5, 10, 20 and 50 years were finally estimated. The study of the models showed that the models used for homogeneous regions have higher correlation coefficients and lower standard errors with respect to the models used for the whole area.

Keywords: Hydrological drought, Low flow, Regional analysis, Khorasan Razavi

1- Associate rofessor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Former M. Sc. Student, College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Assistant professor, College of Natural Resources, University of Guilan