

## بررسی و تحلیل فراوانی جریان‌های کمینه با تداوم‌های متفاوت در مناطق خشک و نیمه خشک (حوزه‌های آبخیز استان لرستان)\*

مسلم اکبری<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، محمد مهدوی<sup>۳</sup>، محمود حبیب نژادروشن<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۲۰

### چکیده

تحلیل منحنی‌های فراوانی جریان‌های کمینه روشی برای برآورد خشکسالی‌های هیدرولوژیک است. آنالیز منطقه‌ای از مهم‌ترین روش‌های برآورد دبی‌های کمینه در مناطق فاقد آمار است. به‌منظور تحلیل جریان‌های کمینه در این پژوهش ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب انتخاب و سپس محاسبه سری‌های جریان کمینه سالانه با تداوم‌های ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روزه صورت گرفت. با انجام تحلیل فراوانی و مقایسه با توزیع‌های مختلف، توزیع لوگ پیرسون تیپ سه، مناسب‌ترین توزیع برای منطقه شناخته شد. با تعیین پارامترهای فیزیوگرافی، اقلیمی و دیگر پارامترهای مورد نیاز برای حوزه‌های منتخب، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی، مهم‌ترین عوامل موثر بر جریان‌های کمینه، بارش متوسط سالیانه، مساحت، تراکم زهکشی و درصد اراضی با پوشش گیاهی فقیر تعیین شد. جهت تعیین مناطق همگن از روش آنالیز خوشه‌ای استفاده شد. با انجام تحلیل منطقه‌ای بر روی مناطق همگن و کل منطقه و استفاده از مدل‌های رگرسیون چند متغیره، جریان کمینه با دوره بازگشت‌های مختلف در مناطق همگن برآورد گردید. نتایج نشان داد که مدل‌های ارائه شده در مناطق همگن از دقت بیشتر و خطای استاندارد کمتری نسبت به کل منطقه برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز منطقه‌ای، خشکسالی هیدرولوژیک، استان لرستان، جریان‌های کمینه.

۱- کارشناس ارشد آبخیزداری بانک کشاورزی.

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۴- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

\* نویسنده‌ی مسوول: moslem.aki@gmail.com

## مقدمه

در سال‌های اخیر خشکسالی مستمر، خسارت جبران ناپذیری به منابع آبی، کشاورزی و پوشش گیاهی استان لرستان وارد نموده و ابعاد گسترده‌ای به خود گرفته است. خشکی و خشکسالی نتیجه اثرات متقابل ویژه بین محیط زیست طبیعی و اجتماعی است. اکوسیستم مناطق خشک و نیمه خشک جهان که بخش چشمگیری از سرزمین ما در آن قرار دارد در مجموع بوم سازه‌های حساس و شکننده‌ای هستند که در برابر عوامل تخریب به سادگی در معرض نابودی و انهدام قرار می‌گیرند (اسکانلون و همکاران، ۲۰۰۷). در چنین بوم سازه‌های وقوع خشکسالی را می‌توان به شرایط ریزش‌های جوی کمتر از حد میانگین یک منطقه دانست. خشکسالی اگرچه از نظر زمانی بطور دقیق قابل پیش‌بینی نیست اما همیشه محتمل و قابل انتظار است (سولسی و همکاران، ۲۰۰۷). اغلب در مسائل هیدرولوژیکی اتفاق می‌افتد که مقدار سیل با توجه به دوره بازگشت وقوع در منطقه‌ای مورد نیاز باشد، اما مشاهدات و داده‌های آماری در آنجا وجود نداشته باشد. راه حل این مساله معمولاً به وسیله تحلیل منطقه‌ای است (پانگ و همکاران، ۲۰۰۴). تحلیل منطقه‌ای<sup>۱</sup> در حقیقت ابزاری است که به کمک آن می‌توان این مشکل را حل کرد و به تخمین مناسبی از دبی سیل و یا کم آبی دست یافت. خدري تاژان و وفاخواه (۱۳۸۳) با استفاده از این روش روابطی جهت تحلیل منطقه‌ای خشکسالی تهیه کردند. نتایج تحلیل منطقه‌ای خشکسالی می‌تواند در طراحی دبی سازه‌های انحراف آب، تعیین آستانه کیفیت آب در رودخانه‌ها، تامین آب شهری و صنعتی در منطقه مورد مطالعه، قابل استفاده باشد (سلامت و آل یاسین، ۱۳۸۰).

زارعی (۱۳۷۸) با مطالعه ۱۸ ایستگاه هیدرومتری استان مازندران، توزیع لوگ پیرسون نوع سوم را به‌عنوان بهترین توزیع برای تداوم‌های مختلف معرفی کرد.

نصرتی (۱۳۸۱) و زهتابیان (۱۳۸۱) در مطالعاتی در حوزه آبخیز اترک به منظور تحلیل فراوانی جریان کمینه، ضمن محاسبه سری‌های جریان کمینه با تداوم‌های ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۰ روزه، توزیع لوگ پیرسون را مناسب‌ترین توزیع منطقه‌ای معرفی کردند.

سمیعی و تلوری (۱۳۸۷) به منظور تعیین رابطه بین شدت خشکسالی هیدرولوژیک با دوره بازگشت ده ساله و تداوم چهار ماهه با استفاده از خصوصیات حوزه‌های آبخیز استان تهران، از مدل رگرسیون چند متغیره استفاده نمود. نتایج نشان داد که مدل‌های حاکم در مناطق همگن از دقت بیشتری نسبت به کل منطقه برخوردار هستند، همچنین عامل مساحت شدت خشکسالی را با دقت خوبی برآورد می‌نماید.

زرین (۱۳۸۴) با مطالعه ۲۸ ایستگاه هیدرومتری در حوزه‌های کرخه و کارون، مهم‌ترین عوامل موثر بر جریان کمینه را پارامترهای بارش متوسط حوزه، مساحت، ارتفاع متوسط حوزه، ضریب گراویلیوس و شیب آبراهه معرفی کرد.

رئیس‌ی (۱۳۸۶) و سرحدی و همکاران (۱۳۸۷) به ترتیب با مطالعه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه‌های آبخیز شمالی استان فارس و شهرستان جیرفت توزیع لوگ پیرسون نوع سوم را به‌عنوان بهترین توزیع برای تداوم‌های مختلف آن مناطق معرفی کردند.

مطالعات تاسکر (۱۹۸۷) نشان داد که تفکیک مناطق مطالعاتی به نواحی همگن باعث دقت بیشتر و خطای کمتر در ارائه مدل‌های رگرسونی برای مناطق فاقد آمار می‌شود. همچنین تاسکر (۱۹۸۲) در مطالعه دیگری در ویرجینیای آمریکا به این نتیجه رسید که توزیع لوگ پیرسون تیپ سه دارای کمترین میانگین مربعات خطا بوده و نیز برتری نسبی در مقایسه با توزیع ویبول دارد.

برایان (۲۰۰۰) با استفاده از فاکتورهای بارش سالانه، پروسیته خاک، درصد اراضی لخت، متوسط شیب و پوشش گیاهی، به مطالعه روش‌های ارزیابی جریان‌های کمینه پرداخت. نتایج نشان داد که مدل‌های رگرسیون حاصل از روابط بین خصوصیات حوزه و جریان‌های کمینه برتری خوبی نسبت به سایر روش‌ها دارد.

زایدمن و همکاران (۲۰۰۳)، والتر و همکاران (۲۰۰۶) با مقایسه‌ی توابع توزیع مختلف برای شاخص‌های جریان کمینه به این نتیجه رسیدند که برای دوره‌های با تداوم کوتاه مدت توزیع لجستیک تعمیم یافته و توزیع پیرسون تیپ سه، در مجموع برتری نسبی در مقایسه با سایر توزیع‌ها دارد. همچنین ویژگی‌های حوزه آبخیز مانند میانگین بارش سالانه و نفوذ پذیری سازندها می‌تواند از عوامل اثرگذار بر تابع توزیع انتخاب شده باشند.

خشک و نیمه خشک و عمدتاً کوهستانی با دشت‌های گسترده و حاصلخیزی که ارتفاعات آن ادامه رشته کوه‌های زاگرس بوده و امتداد آن از جهت شمال غربی به جنوب شرقی است. ارتفاعات برفگیر منطقه نقش مهمی در تامین آب رودخانه‌ها، چشمه‌ها و دیگر منابع آبی ایفا می‌نماید.

### مشخصات ایستگاه‌های موجود در منطقه

بر پایه مطالعات فیزیوگرافی در محدوده مطالعاتی، حوزه آبخیز لرستان به دو بخش کرخه و دز تقسیم شده است. بر پایه نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ در حوزه کرخه تعداد ۲۱ واحد هیدرولوژیکی و تعداد ۱۶ ایستگاه هیدرومتری و در حوزه دز تعداد ۱۷ زیرحوزه و ۱۷ ایستگاه هیدرومتری موجود است (شکل ۲). در بین ۳۳ ایستگاه هیدرومتری موجود، ۲۵ ایستگاه با داشتن شرایط مناسب و انتخاب پایه زمانی مشترک ۳۰ ساله از سال آبی ۵۸-۱۳۵۷ تا ۸۷-۱۳۸۶ برای تجزیه و تحلیل در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۱). البته ایستگاه‌های دیگری در فاصله سال‌های ۷۹ تا حال تاسیس شده که به دلیل کوتاه بودن دوره آماری در این مطالعه مورد استفاده واقع نشده‌اند.

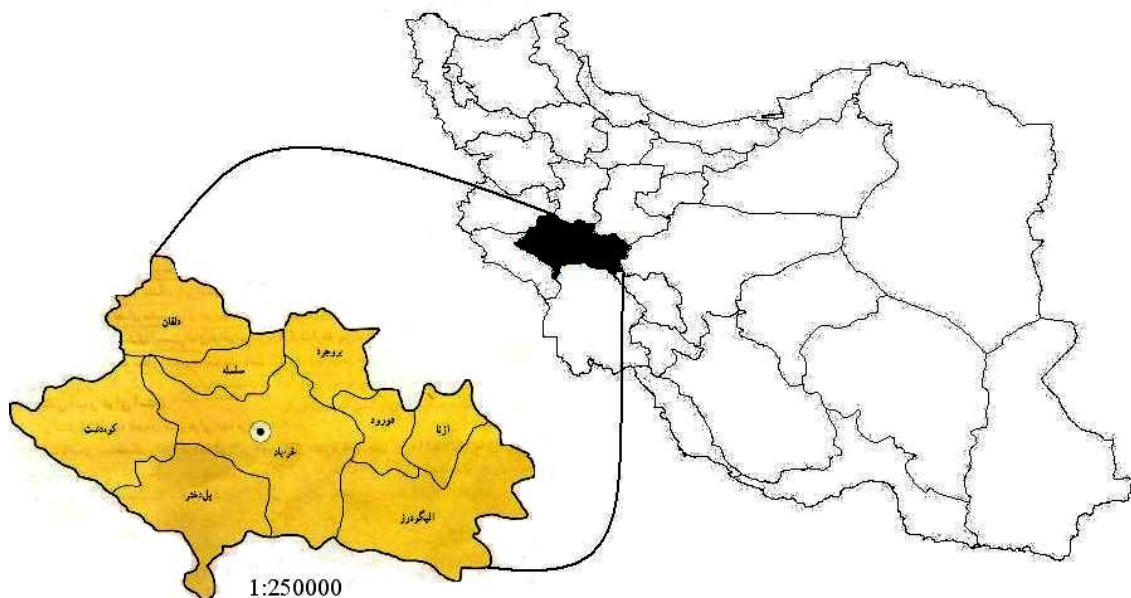
بورگان و کاین (۲۰۰۵) با مطالعه به منظور انتخاب مناسب‌ترین توابع توزیع برای بررسی جریان‌های کمینه در ایرلند به این نتیجه رسیدند که عموماً توزیع‌های گمبل و لوگ نرمال، جهت بررسی جریان‌های کمینه مناسب‌تر و برای تعداد کمی از حوزه‌های آبخیز، استفاده از توزیع‌های سه پارامتره مورد نیاز می‌باشد.

این مطالعه با هدف تحلیل فراوانی جریان‌های کمینه برای مناطقی با دوره‌های آماری کوتاه مدت و یا فاقد آمار و به منظور پایش و انتخاب بهترین تابع توزیع احتمال برای سری‌های جریان کمینه با تداوم‌های متفاوت و تعیین روابط بین جریان‌های کمینه و ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز با به‌کارگیری تکنیک‌های آنالیز خوشه‌ای و رگرسیون چندمتغیره و تعیین مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال صورت گرفته است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در غرب کشور بین طول‌های جغرافیایی ۵۰' و ۴۶' تا ۰۱' و ۵۰' شرقی و عرض‌های ۴۰' و ۳۲' تا ۲۳' و ۳۴' شمالی قرار دارد (شکل ۱). لرستان منطقه‌ای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان لرستان در ایران.

جدول ۱- وضعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه‌های آبخیز استان لرستان.

حوزه آبخیز	تعداد واحدهای هیدرولوژیک	تعداد ایستگاه	درجه ۱	درجه ۲
کرخه	۲۱	۱۶	۱۲	۴
دز	۱۷	۱۷	۱۷	-
مجموع	۳۸	۳۳	۲۹	۴



شکل ۲- محدوده واحدهای هیدرولوژیکی و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و منتخب مورد مطالعه.

## تعیین محدوده واحدهای هیدرولوژیکی و

### ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق به ۳۸ زیرحوزه یا واحد هیدرولوژیکی تقسیم شده است. ایستگاه‌های منتخب مربوط به حوزه‌های آبخیز نورآباد، کشکان، سیلاخور و آفرینه می‌باشند. تعیین مساحت و محدوده جغرافیایی هر زیرحوزه از ایستگاه‌های منتخب توسط نرم افزار Arcview در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفت. محدوده هر کدام از واحدهای هیدرولوژیک در شکل (۲) آمده است.

### استخراج خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی منطقه

عوامل فیزیکی و مرفولوژیکی حوزه آبخیز را می‌توان در دو گروه خصوصیات حوزه و خصوصیات شبکه زهکشی بررسی نمود. مشخصات و خصوصیات مختلف هر زیرحوزه از قبیل: محیط، شیب، ارتفاع، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب گرالیوس، زمان تمرکز، عوامل اقلیمی، سازندهای نفوذپذیر و وضعیت پوشش گیاهی و غیره، با استفاده از ۱- پایگاه داده‌های علوم زمین، ۲- نقشه‌های رقومی جاماب، ۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰، ۴- مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی ارتش و ۵- اطلاعات شرکت مهندسی مشاور جاماب تهیه شده است. همچنین کلیه آمار و اطلاعات اقلیمی توسط بانک اطلاعات سازمان مدیریت منابع آب کشور تهیه گردید. پس از تعیین زیرحوزه‌های آبخیز محدوده هر ایستگاه، عوامل موثر بر رژیم کم آبی در هر یک از ایستگاه‌ها تعیین شد.

### بدهت آوردن سری زمانی با تداوم‌های مختلف

خشکسالی هیدرولوژیک به دوره‌ای که جریان رودخانه به کمتر از مقدار طبیعی رسیده و رواناب یا ذخیره منابع آبی به شدت کاهش یابد تعبیر می‌شود. در حالیکه جریان کم سالیانه را می‌توان به صورت کمترین جریان متوسط روزانه در طول یک سال تعریف کرد. معمولاً جریان‌های کم روزانه تحت اغتشاشات بالا دست هستند، لذا برای رفع این مشکل جریان کم سالانه به صورت متوسط کمترین جریان در چند روز پیاپی از قبیل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روزه در طول یک سال تعریف می‌شود (سمیعی و تلوری، ۱۳۸۷). در این تحقیق دبی‌های کمینه با تداوم‌های ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روزه برای تمام ایستگاه‌های منتخب به دست آمد و برای آنالیز فراوانی از این مقادیر استفاده شده است.

### انتخاب توزیع آماری مناسب

آنالیز فراوانی منطقه‌ای همواره براساس یک توزیع واحد انجام می‌شود، لذا ضرورت دارد بهترین توزیع فراوانی برای منطقه انتخاب شود. بدین منظور از نرم‌افزار هایفا استفاده شده است. بهترین برازش با استفاده از آزمون میانگین انحراف نسبی صورت می‌گیرد، به طوری که به کمترین مقدار انحراف نسبی نمره یک و به بیشترین مقدار آن نمره هفت داده می‌شود. همچنین توزیع‌هایی که دارای مقادیر

عامل‌های چهارگانه به ترتیب عبارتند از:  $۳۷/۳۷$ ،  $۳۰/۵۹$ ،  $۹/۲۱$ ،  $۷/۴۶$ . با توجه به جدول ماتریس دورانی واریانس (جدول ۵) بارندگی با بیشترین بار وزنی ( $۰/۹۷۹$ ) روی عامل اول و توجیه بیشترین درصد از کل واریانس یعنی  $۳۷/۳۷$ ، به‌عنوان فاکتور اول انتخاب شد. همچنین عامل دوم با توجه به بار وزنی  $۰/۸۷۷$  و  $۳۰/۵۹$  درصد از واریانس کل، مساحت شناخته شد. به این ترتیب عوامل دیگر یعنی تراکم زهکشی و درصد اراضی فقیر حوزه به‌عنوان عامل‌های سوم و چهارم انتخاب می‌گردند. لذا با انجام تجزیه و تحلیل عاملی، علاوه بر محدود نمودن تعداد متغیرها در حد منطقی، متغیرهایی که حداقل همبستگی را با یکدیگر داشته باشند انتخاب می‌شود.

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی برای تعیین مناطق همگن انجام شد. برای تعیین گروه‌ها نیز از چهار روش نزدیک‌ترین همسایه، دورترین همسایه، متوسط گروه و روش واردز<sup>۲</sup> استفاده شد که نتایج روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی واردز تطابق بیشتری با واقعیات جغرافیایی طبیعی منطقه مورد مطالعه دارد. با بررسی دندوگرام و در نظر گرفتن حداکثر ضریب مشابهت ۱۷ (نمودار درختی، شکل ۳) دو گروه ممکن حاصل می‌گردد. حوزه‌هایی که در هر گروه قرار گرفتند به‌صورت زیر می‌باشند. گروه همگن یک شامل: نورآباد، کشکان، خرم‌آباد (چم انجیر)، مادیان رود، الشتر، هفت چشمه، چهول، هرود، تیره، سرآب جهانگیر، کمندان، ماربره. و گروه همگن دو شامل: سیلاخور، آب سرده، شاماش، ضرون، ازنا، نوژیان، سراب سفید، گراب، بیاتون، آب رودبار، خرم‌آباد و سبزه.

روش رگرسیون چندگانه در تحلیل منطقه‌ای، معمولاً برای تعیین روابط ویژگی‌های جریان کم و خصوصیات منطقه استفاده می‌شود (پنگ و همکاران، ۲۰۱۰). در این راستا مدل‌های به‌منظور برآورد جریان ارائه می‌شود. بدین صورت که ابتدا از طریق رگرسیون گام به گام متغیرهای انتخاب شده توسط تجزیه و تحلیل عاملی (فاکتورهای مساحت، بارندگی متوسط سالیانه، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی فقیر) که امکان ورود به مدل را دارند، مشخص و در مرحله بعد دو دسته مدل ریاضی ارائه می‌شود که دسته اول شامل مدل‌های برآورد دبی حداقل با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۵۰ ساله برای کل

انحراف نسبی مساوی هستند، نمره یک کسب کرده و در یک گروه قرار می‌گیرند. سپس امتیازات منظور شده برای هر توزیع جمع می‌شود. این روند برای سایر دبی‌های حداقل با تداوم‌های مختلف نیز صورت می‌گیرد.

### تجزیه و تحلیل عاملی<sup>۱</sup>

تجزیه و تحلیل عاملی برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در حوزه‌های منتخب این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. متغیرها شامل خصوصیات مختلف حوزه، محیط، شیب متوسط حوزه، جهات حوزه در چهار جهت اصلی، ارتفاع حداکثر، متوسط و حداقل، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب گراولوس، طول و عرض مستطیل معادل، زمان تمرکز، عوامل اقلیمی (متوسط بارش، دما و تبخیر سالیانه)، درصد سازندهای نفوذپذیر و وضعیت پوشش گیاهی است. پس از انتخاب متغیرهای ضروری (۱۵ عامل)، تجزیه عاملی بر اساس این متغیرها صورت می‌گیرد.

### تعیین مناطق همگن

در این مطالعه تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به روش طبقاتی تجمعی انجام شده است. معیارهای که برای گروه‌بندی در نظر گرفته می‌شود، همان فاکتورهای حاصل از نتایج تحلیل عاملی است که به‌عنوان خصوصیات متمایز کننده مناطق همگن استفاده می‌شود.

### نتایج و بحث

مطابق با مراحل مختلف ارائه شده در این پژوهش، امتیازهای تعیین شده برای توزیع‌های آماری مختلف منطقه‌ای برای کل ایستگاه‌ها محاسبه و استخراج گردید. در جدول (۲) آمار دبی حداقل ۹۰ روزه در دوره آماری برای ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است. مطابق با این جدول امتیاز هر کدام از توزیع‌ها به‌صورت جداگانه محاسبه و براساس آن اولویت کاربرد هر توزیع نیز تعیین شده است. بررسی امتیازات به‌دست آمده نشان داد که توزیع لوگ پیرسون تیپ سه با داشتن کمترین امتیاز در بین سایر توزیع‌ها به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع آماری برای تداوم‌های موردنظر در منطقه است (جدول ۳).

نتایج تجزیه عاملی براساس ۱۵ متغیر نشان داد که بر اساس چهار فاکتور اصلی در مجموع  $۸۴/۶\%$  از تغییر در داده‌های اصلی توجیه می‌شود (جدول ۴). درصد هر یک از

منطقه (جدول ۵) و دسته دوم برای دو منطقه همگن حوزه‌های مورد مطالعه ارائه شده است (جدول ۶ و ۷)

جدول ۲- انتخاب بهترین توزیع برای جریان‌های حداقل ۹۰ روزه در حوضه‌های آبخیز لرستان.

توزیع احتمال	نرمال	اولین	لوگ نرمال پارامتره	لوگ نرمال پارامتره	اولین	گاما	گاما پارامتره	اولین	گمبل	اولین	لوگ پیرسون	پیرسون	اولین	
مجموع امتیازات	۱۱۲	۶	۱۰۵	۵	۸۳	۲	۹۲	۳	۹۸	۴	۶۶	۱	۱۴۱	۷

جدول ۳- امتیازهای محاسبه شده برای توزیع‌های آماری با تداوم‌های مختلف (توزیع منطقه ای).

توزیع تداوم جریان (روز)	نرمال	لوگ نرمال دو پارامتری	لوگ نرمال سه پارامتری	گامای دو پارامتری	گمبل	لوگ پیرسون نوع سوم	پیرسون تیپ سوم
۷	۱۰۷	۱۱۵	۱۰۶	۷۱	۹۳	۶۳	۱۳۵
۱۰	۱۰۱	۱۲۰	۹۱	۷۹	۱۰۲	۶۱	۱۴۲
۱۵	۹۶	۱۱۷	۹۱	۷۹	۹۹	۶۳	۱۴۷
۳۰	۱۰۷	۱۱۲	۱۱۰	۸۱	۱۰۷	۶۹	۱۱۰
۶۰	۹۶	۱۱۸	۹۶	۷۳	۱۰۶	۷۱	۱۳۷
۹۰	۱۱۲	۱۰۵	۸۳	۹۲	۹۸	۶۶	۱۴۱

جدول ۴- مقادیر ریشه پنهان ماتریسی و درصد واریانس عوامل .

ضریب	عامل			مقادیر ویژه اولیه		
	کل	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۶/۴۰۲	۴۲/۶۸	۴۲/۶۸	۶/۴۰۲	۴۲/۶۸	۴۲/۶۸
۲	۴/۰۵۷	۲۷/۰۵۰	۶۹/۷۲۹	۴/۰۵۷	۲۷/۰۵۰	۶۹/۷۲۹
۳	۱/۲۰۱	۸/۰۰۵	۷۷/۷۳۴	۱/۲۰۱	۸/۰۰۵	۷۷/۷۳۴
۴	۱/۰۳۷	۶/۹۱۳	۸۴/۶۸۴	۱/۰۳۷	۶/۹۱۳	۸۴/۶۸۴
۵	۰/۸۴۸	۵/۶۵۶	۹۰/۳۰۴			
۶	۰/۵۷۸	۳/۸۵۷	۹۴/۱۶۱			
۷	۰/۳۷۴	۲/۴۹۷	۹۶/۱۶۱			
۸	۰/۲۲۶	۱/۵۰۵	۹۸/۱۶۲			
۹	۰/۱۶۱	۱/۰۷۴	۹۹/۲۳۶			
۱۰	۰/۰۶۶	۰/۴۴۰	۹۹/۶۷۶			
۱۱	۰/۰۳۲	۰/۲۱۱	۹۹/۸۸۷			
۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۹۲	۹۹/۹۷۹			
۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	۱۰۰			
۱۴	۰/۰۰۰۰۲۸	...	۱۰۰			
۱۵	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۷۸	۱۰۰			

جدول ۵- ماتریس دورانی به روش دورانی واریماکس

متغیر	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
مساحت	.۱۴۴	.۸۷۷	.۱۷۱	.۱۵۴
ضریب گراویلیوس	.۲۱۱	.۷۴۰	-.۴۲۶	-.۲۴۵
ارتفاع حداکثر	-.۶۳۴	.۴۱۹	.۴۶۹	-.۱۸
ارتفاع متوسط	-.۹۵۲	-.۱۴۷	.۱۷۸	.۰۷۹
ارتفاع حداقل	-.۸۸۸	-.۲۶۸	.۱۸۰	.۱۲۸
آبراهه اصلی	.۲۳۶	.۹۴۶	-.۱۰۹	-.۱۰۱۵
بارندگی	-.۹۷۹	-.۰۹۳	.۱۰۳	.۰۳۰
شیب	.۰۶۰	-.۸۵۳	-.۰۰۳	.۰۵۰
تبخیر	.۹۷۹	.۰۹۵	-.۱۰۳	-.۰۳۲
دما	.۹۷۹	.۰۹۹	-.۱۰۵	-.۰۲۸
جهت غربی	.۵۹۸	-.۰۰۵	.۴۱۲	.۳۱۱
تراکم زهکشی	.۳۰۸	-.۰۲۶	-.۷۹۵	.۱۲۴
محیط	.۲۰۵	.۹۵۱	.۰۵۴	.۰۳۷
درصدنفذپذیری متوسط	-.۰۶۲	.۶۷۰	.۱۷۸	-.۰۸۶
درصداراضی فقیر	-.۱۰۹	-.۰۳۶	-.۰۷۶	.۹۴۱

جدول ۶- مدل‌های لگاریتمی چند متغیره دبی حداقل ۳۰ روزه برای کل منطقه.

مدل	$S_E$	$R^2$	دوره بازگشت
$A \text{ Log } 0.669 + 2/0.08 = -2Q \text{ Log}$	۰/۲۰	۰/۷۵۴	۲
$A \text{ Log } 0.671 + 2/2.10 = -5Q \text{ Log}$	۰/۱۷	۰/۷۴۲	۵
$A \text{ Log } 0.668 + 2/3.21 = -10Q \text{ Log}$	۰/۱۹	۰/۶۸۲	۱۰
$A \text{ Log } 0.663 + 2/3.20 = -20Q \text{ Log}$	۰/۱۸	۰/۵۸۵	۲۰
$A \text{ Log } 0.600 + 2/3.18 = -40Q \text{ Log}$	۰/۲۰	۰/۵۱۸	۴۰
$A \text{ Log } 0.588 + 2/3.13 = -50Q \text{ Log}$	۰/۲۳	۰/۴۲۸	۵۰

A: مساحت (کیلومترمربع) و Q: دبی (مترمکعب بر ثانیه)

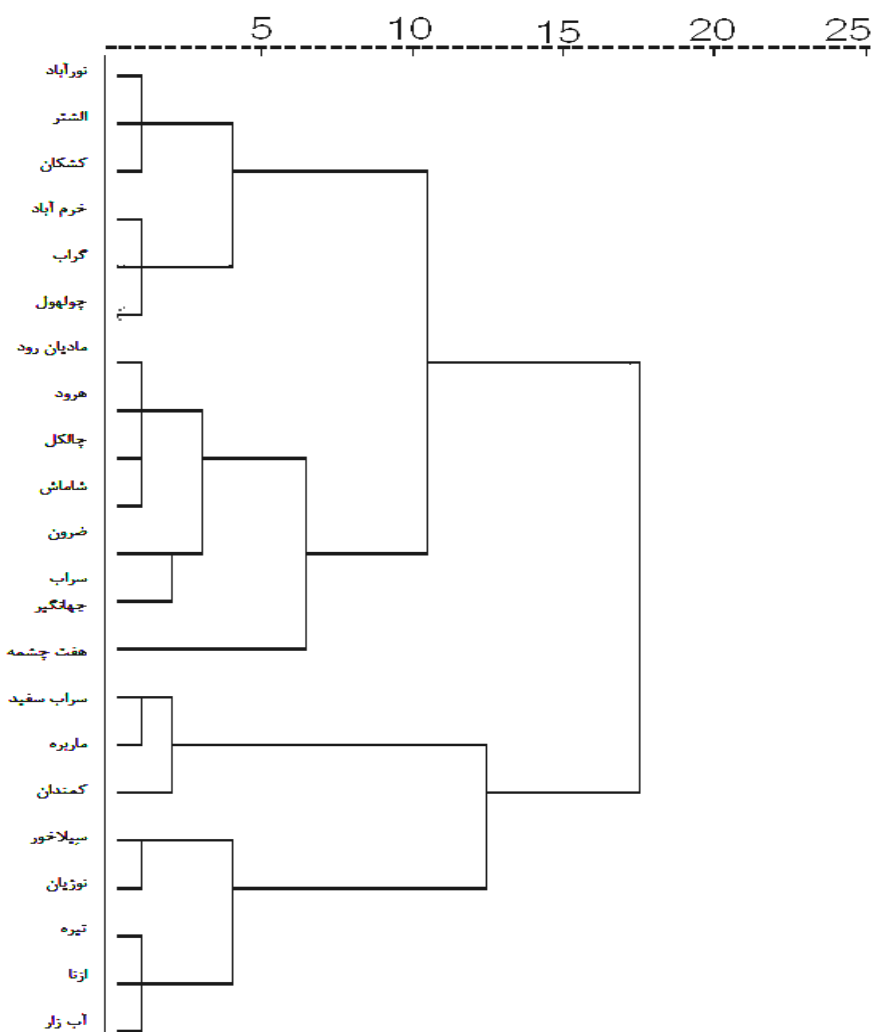
جدول ۷- مدل‌های لگاریتمی رگرسیون چند متغیره دبی حداقل ۳۰ روزه برای منطقه همگن یک

مدل	$S_E$	$R^2$	دوره بازگشت
$P \text{ Log } 0.135H + \text{Log } 31/946 + 10.7/70.4 = -2Q \text{ Log}$	۰/۱۰۹	۰/۹۸۵	
$H \text{ Log } 29/513 + 99/40.9 = -2Q \text{ Log}$	۰/۱۹۵	۰/۹۴۲	۲
$CC \text{ Log } 14/365P + \text{Log } 35/287 + 98/794 = -2Q \text{ Log}$	۰/۱۳۰	۰/۸۸۴	
$P \text{ Log } 0.188H + \text{Log } 34/667 + 117/12 = -5Q \text{ Log}$	۰/۱۴۷	۰/۹۷۶	
$H \text{ Log } 31/282 + 10.5/862 = -5Q \text{ Log}$	۰/۱۵۵	۰/۹۰۶	۵
$P \text{ Log } 0.190H + \text{Log } 32/0.5 + 111/785 = -10Q \text{ Log}$	۰/۱۰۵	۰/۹۵۹	
$H \text{ Log } 29/627 + 100/113 = -10Q \text{ Log}$	۰/۱۹۹	۰/۸۸۱	۱۰
$H \cdot 0.3E - 5/662 + 13/60.7 = -20Q \text{ Log}$	۰/۲۰۵	۰/۸۷۸	
$H \text{ Log } 27/80.8 + 94/0.94 = -20Q \text{ Log}$	۰/۲۰۵	۰/۸۴۵	۲۰
$H \cdot 0.3E - 5/284 + 12/839 = -40Q \text{ Log}$	۰/۲۲۰	۰/۸۰۲	
$H \text{ Log } 25/889 + 87/744 = -40Q \text{ Log}$	۰/۲۵۳	۰/۷۶۸	۴۰
$H \cdot 0.3E - 5/165 + 12/596 = -50Q \text{ Log}$	۰/۲۵۰	۰/۷۷۵	۵۰

P: درصد اراضی باپوشش گیاهی فقیر و CC: تراکم زهکشی

جدول ۸- مدل‌های لگاریتمی رگرسیون چند متغیره دبی حداقل ۳۰ روزه برای منطقه همگن دو

مدل	$R^2$	$SE$	دوره بازگشت
$A \text{ Log} \cdot 1/678 + 2/0.19 = -2 \text{ Log } Q$	۰/۸۷۵	۰/۱۸	۲
$A \text{ Log} \cdot 1/657 + 2/139 = -5 \text{ Log } Q$	۰/۸۸۰	۰/۱۲	۵
$A \text{ Log} \cdot 1/662 + 2/285 = -10 \text{ Log } Q$	۰/۷۵۰	۰/۱۶	۱۰
$A \text{ Log} \cdot 1/602 + 2/203 = -20 \text{ Log } Q$	۰/۷۹۰	۰/۱۷	۲۰
$A \text{ Log} 28/20 + 4/443 = -40 \text{ Log } Q$	۰/۷۳۱	۰/۱۹	۴۰
$A \text{ Log} 2/807 + 4/455 = -50 \text{ Log } Q$	۰/۷۱۲	۰/۲۱	۵۰



شکل ۳- خوشه ایجاد شده بر اساس بارش، مساحت، تراکم زهکشی و درصد اراضی فقیر

مدل‌ها وارد نمی‌کنند تا بعداً در ارزیابی مدل‌ها به کار گرفته شوند. بدین منظور علاوه بر ۳۳ ایستگاه منتخب در منطقه، ۴ ایستگاه به عنوان ایستگاه مناسب (کشکان، نوژیان، سیلاخور و دوآب) شناسایی شد. سپس مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف با توزیع لوگ پیرسون تیپ سه برای هر ایستگاه محاسبه شده و مقادیر ۴ عامل به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل عاملی نیز برای

نتایج جدول نشان می‌دهد که روابط ارائه شده در مناطق همگن دارای مقادیر  $R^2$  بالاتر و  $SE$  کمتر نسبت به رابطه ارائه شده برای کل منطقه می‌باشد. همچنین علاوه بر مقایسه  $R^2$  و  $SE$  مدل‌ها، جهت ارزیابی مدل‌ها از روش ایستگاه‌های شاهد نیز استفاده شد. در این روش یک سری ایستگاه‌ها را به‌عنوان شاهد کنار گذاشته و در استخراج



ارائه شده است (جدول ۸). با مقایسه خطای نسبی ایستگاه‌های شاهد در مدل مناطق همگن و کل منطقه مشخص می‌شود که مقدار خطای مدل در منطقه همگن کمتر است.

ایستگاه‌های ذکر شده استخراج می‌شود. سپس مقادیر دبی برآوردی برای این حوزه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف از طریق دو دسته مدل، به دست می‌آید. مقادیر خطای نسبی برای حوزه فوق و براساس مدل‌های کلی منطقه و مدل‌های گروه‌های همگن در دوره بازگشت‌های مختلف

جدول ۹- مقایسه مقادیر خطای نسبی مدل در کل منطقه و مناطق همگن با استفاده از ایستگاه‌های شاهد برای دبی کمینه ۳۰ روزه

دوره بازگشت مناطق	۲ سال	۵ سال	۱۰ سال	۲۰ سال	۴۰ سال	۵۰ سال
کل منطقه	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۵۰۳
همگن دو	۰/۱۳۵	۰/۱۴	۰/۱۴۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۴۹۸
کل منطقه	۰/۵۵	۰/۷	۰/۹۲	۰/۸۸	۱/۰۱	۰/۸۴
همگن دو	۰/۵۴۳	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۸۰۵	۱/۱۱	۰/۸۸
کل منطقه	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۴	۰/۴۸۵	۰/۵۰۶	۰/۷۹۸
همگن دو	۰/۳۱	۰/۴	۰/۳۸	۰/۴۰۳	۰/۵۰۲	۰/۷۳
کل منطقه	۰/۱۷۸	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۳۷۱	۰/۴۹	۰/۵۷۹
همگن یک	۰/۱۷۲	۰/۱۹	۰/۴۱۴	۰/۸۹۲	۰/۴۹۸	۰/۲۱۲

خصوصیات خاک بر دقت تعیین مناطق همگن افزود. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌های مساحت، بارندگی متوسط سالیانه، تراکم زهکشی و پوشش گیاهی فقیر در فراوانی جریان کمینه و به دنبال آن در ظهور خشکسالی هیدرولوژیک موثرند.

در این پژوهش همانند تحقیقات و یافته‌های علمی دورانز و تامی (۱۹۹۶)، تاسکر (۱۶۸۷)، زارعی (۱۳۷۸)، رئیسی (۱۳۸۶) و سرحدی و همکاران (۱۳۸۷)، توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ به‌عنوان توزیعی کارا برای سری جریان کمینه با تداوم‌های متفاوت و بهترین توزیع منطقه‌ای شناخته شد. با انجام تجزیه و تحلیل عاملی برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در حوزه‌های منتخب با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، نتایج پژوهش نشان داد که بر اساس چهار فاکتور اصلی مساحت، بارندگی متوسط سالیانه، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی فقیر در مجموع ۸۴/۶٪ از تغییر در داده‌های اصلی توجیه می‌شود. مدل‌های ارائه شده بر اساس تجزیه تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای در این پژوهش نشان داد که روابط ارائه شده برای مناطق همگن دارای مقادیر  $R^2$  بالاتر و  $SE$  کمتر نسبت به روابط ارائه شده برای کل منطقه می‌باشد. این نتایج با تحقیقات تاسکر (۱۹۸۲) و سمیعی و تلوری (۱۳۸۷) همخوانی دارد.

مقایسه مقادیر دبی برآوردی و مشاهده‌ای نشان می‌دهد که با افزایش دوره بازگشت میزان خطا نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتیجه می‌شود که در مناطق همگن میزان خطای برآورد در تمامی دوره بازگشت‌ها کمتر از میزان خطای برآوردی در کل منطقه می‌باشد. در بررسی‌های مختلف که توسط محققین صورت گرفته، اهمیت مناطق همگن هیدرولوژیک در افزایش دقت انتقال اطلاعات از مناطق دارای آمار به مناطق بدون آمار و همچنین افزایش دقت و کارایی مدل تحلیل منطقه‌ای بیان و اثبات شده است (دورانز و تامی، ۱۹۹۶). البته باید توجه داشت که قابلیت اعتماد یک مدل منطقه‌ای و اعتبار آن مدل در یک منطقه خاص بستگی به طول دوره آماری، داده‌های آب‌سنجی، تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده، اختلافات زمین‌شناسی حوزه‌ها که سبب ایجاد اختلاف در میزان نفوذپذیری و حرکت آب‌های زیرزمینی منطقه می‌گردد و در نهایت به همگنی و صحت داده‌ها دارد (لوگانتان و همکاران، ۱۹۸۶).

### نتیجه‌گیری

نظر به اینکه ویژگی‌های مختلف حوزه‌های آبخیز بر چرخه هیدرولوژیک تاثیر می‌گذارند، لذا بهتر است که همگنی حوزه‌ها از جنبه‌ها و معیارهای مختلف بررسی شوند (زهتاییان و همکاران، ۱۳۸۳). پس می‌توان با اضافه نمودن معیارهای مانند شاخص پوشش گیاهی و

۶- سرحدی ع، سلطانی س، مدرس ر. ۱۳۸۷. تحلیل فراوانی جریان کم در منطقه جیرفت با استفاده از روش گشتاورهای خطی. مجله پژوهش آب ایران. ۲(۳):۵۴-۴۵.

۷- سلامت ع، آل یاسین م. ۱۳۸۰. راهنمای مقابله با خشکسالی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. شماره ۴۹. ص ۶۰.

۸- سمیعی م، تلوری ع. ۱۳۸۷. بررسی شدت و تداوم خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه‌های آبخیز استان تهران. مجله پژوهش و سازندگی. ۷۹(۱): ۲۷-۲۱.

۹- نصرتی ک، زهتابیان غ، محسنی ساروی م، مهدوی م. ۱۳۸۳. تعیین مناطق همگن برای تحلیل فراوانی جریان کمینه. مجله منابع طبیعی ایران. ۵۷(۱):۵۷-۴۵.

11- Brian S C. 2000. Evaluation of low flow frequency analysis methods. *Journal of Hydrology*. 39(1): 19-47.

12- Brogan L, C Cunnane. 2005. Low Flows and Low Flow Distributions for Ireland. *National Hydrology Seminar*. 17-19 April 2005:12p.

13- Duran's S R, Tomie S. 1996. Regionalization of Lowflow frequency estimated: an Alabama case study. *Water Resource Bulletin*. 32(1): 23-37.

14- Logantan G V, Mattegat P, Kuo C Y, Diskin M H. 1986. Frequency analysis of low flows: hypothetical distribution methods and a physically based approach. *Nordic Hydro*. 285. 187-197.

15- Peng S, Xi C, Si-min Q, Zhi-cai Z and Jian-liang M. 2010. Regional Frequency Analysis of Low Flow Based on L Moments: Case Study in Karst Area, Southwest China. *J. Hydrol*. 15(5):370-377.

16- Scanlon B R, Jolly I Sophocleous, M Zhang L. 2007. Global impacts of onversion.

از سوپی نتیجه‌ای که می‌توان از مدل‌های به دست آمده در کل منطقه و مناطق همگن گرفت این است که همگن بندی باعث می‌شود که تأثیر عوامل مؤثر در جریان خود را بهتر و بیشتر نشان داده و تأثیر عوامل دیگر ناچیز گردد لذا در بهبود دقت نتایج مدل‌ها اثر گذار باشد.

در نهایت مطابق با نتایج نصرتی و همکاران (۱۳۸۳) با تعیین مناسب‌ترین تابع توزیع منطقه می‌توان با استفاده از ایجاد رابطه میان جریان کمینه و ویژگی‌های حوضه، پارامترهای توزیع احتمال، جریان‌های کمینه را مورد تحلیل منطقه‌ای قرار داد. نتایج این پژوهش می‌تواند در پیش بینی خشکسالی‌های هیدرولوژیک آینده، برنامه‌ریزی مناسب جهت آبیاری در خشکسالی‌ها و در مدیریت بهینه منابع آب به کار رود.

### منابع

۱- خدری تاژان ب، وفاخواه م. ۱۳۸۳. انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری برای برآورد خشکسالی هیدرولوژیک در استان گلستان. کنفرانس آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. دانشگاه باهنر کرمان. ۱۱ص.

۲- زارعی ع. ۱۳۷۸. ارزیابی آنالیز منطقه ای جریان کم در استان مازندران. پایان نامه کارشناسی ارشد عمران. دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۲۲ص.

۳- زرین ه. ۱۳۸۴. بررسی جریان‌های کمینه در حوزه‌های کرخه و کارون به‌منظور برآورد رواناب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تربیت مدرس.

۴- زهتابیان غ، نصرتی ک، شهبازی ا. ۱۳۸۳. تعیین مناطق همگن برای تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه در مناطق خشک و نیمه خشک مجله بیابان. ۹(۱): ۱۲۴-۱۱۱.

۵- رئیسی م. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل فراوانی جریان‌های کمینه با تداوم‌های متفاوت. مطالعه حوزه‌های آبخیز استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه مازندران. ۱۳۰ص.