

## تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان کم در حوزه آبخیز کارون شمالی

مریم شماعی زاده و سعید سلطانی\*

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۶)

### چکیده

خشکسالی هیدروژیک معمولاً بر منطقه وسیعی تأثیر گذار است و جریان حداقل رودخانه‌ای شاخص مناسبی برای مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک است. در این تحقیق جهت پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه آبخیز کارون شمالی، ۱۴ ایستگاه با طول دوره آماری مناسب و آمار ثبت شده تا سال آبی ۱۳۸۷-۸۸ انتخاب شد و ۱۳ خصوصیت فیزیوگرافی و اقلیمی از ایستگاه‌های منتخب برای انجام آزمون همگنی به روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی مد نظر قرار گرفت. سپس سری زمانی جریان حداقل ۷ روزه، برای هر ایستگاه محاسبه شد و بر اساس آزمون‌های نکویی برازش کای اسکوتر و کلموگراف اسمیرنوف و همچنین محاسبه آماره  $Z^{DIST}$  توزیع گامای ۲ پارامتره به عنوان بهترین توزیع منطقه‌ای شناسایی گردید و دبی جریان حداقل ۷ روزه با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال با استفاده از نرم‌افزار **FREQ** در هر ایستگاه برآورد گردید. سپس تحلیل منطقه‌ای جریان کم به روش رگرسیون چند متغیره انجام شد. به علاوه با ترسیم منحنی تداوم جریان در هر ایستگاه، شاخص  $Q_{95}$  نیز برای هر ایستگاه استخراج گردید و نقشه‌های ناحیه‌بندی شاخص‌های  $Q_{95}$ ،  $Q_{7.2}$ ،  $Q_{7.10}$  و  $Q_{7.100}$  تهیه شد. نتایج تحلیل منطقه‌ای نشان داد که ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوزه آبخیز کارون شمالی از عوامل مؤثر بر جریان حداقل در این حوزه می‌باشند. همچنین بررسی نقشه‌های ناحیه‌بندی جریان حداقل نیز نشان داد از میان نواحی که بیشتر خشکسالی را تجربه می‌کنند گستره جنوب شرقی حوزه، خشکسالی شدیدتری را نسبت به سایر نقاط تجربه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیک، جریان حداقل، تحلیل منطقه‌ای، رگرسیون چند متغیره، ناحیه‌بندی جریان حداقل

۱. گروه بیابان زدایی، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

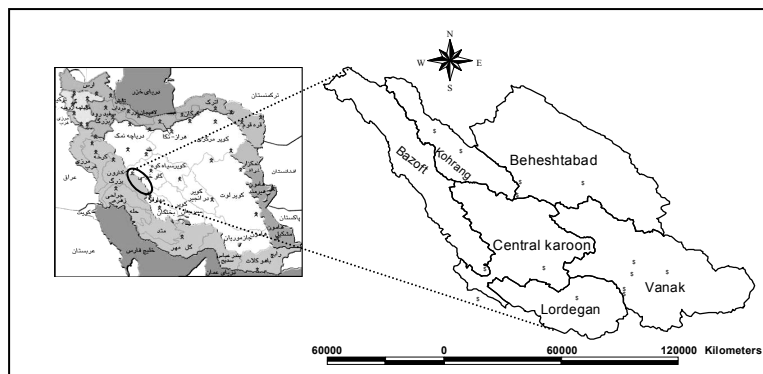
\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ssoltani@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

خشکسالی هیدرولوژیک از طریق کاهش میزان ذخیره آب دریاچه‌ها، پایین رفتن سطوح آب‌های زیرزمینی و کاهش دبی جریان رودخانه‌ای تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه وسیعی تأثیر می‌گذارد (۱). جریان حداقل یا جریان کم رودخانه‌ای یکی از شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک است. فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی جریان کم را به‌عنوان جریان آب رودخانه در طول آب و هوای خشک طولانی مدت تعریف می‌کند (۱۹). ولی تعریف عمومی‌تر آن کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۵، ۷، ۶۰، ۳۰، ۱۸۰ روزه در طول یک سال است. علت محاسبه جریان کم برای روزهای پیاپی به حداقل رساندن اثر تغییرها و نوسانات جریان است (۱۹ و ۲۱). در تخمین جریان حداقل در حوزه‌هایی با طول دوره آماری کوتاه‌مدت و حوزه‌های فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان همواره با مشکلاتی روبرو هستیم. در تحلیل فراوانی سیلاب برای کاهش برخی از این مشکلات از روش‌های منطقه‌ای کردن تحلیل فراوانی استفاده می‌کنند و این درحالی است که در مورد تخمین جریان حداقل در حوزه‌های فاقد آمار مناسب نیز می‌توان از روش منطقه‌ای بهره برد (۱۲). در تحلیل منطقه‌ای روابط یا منحنی‌هایی برای کل منطقه به‌دست می‌آید و با داشتن برخی از ویژگی‌های حوزه در محل‌هایی که اندازه‌گیری جریان صورت نمی‌گیرد جریان در محل مورد نظر تعیین می‌شود. بنابراین در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب و مسائل زیست‌محیطی بایستی به تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و جریان‌های کم رودخانه‌ای توجه ویژه مبذول داشت. برخی از شاخص‌های جریان کم از منحنی تداوم جریان استخراج می‌شوند و برخی دیگر شاخص‌های استخراجی از سری‌های زمانی هستند (۱۳). بسیاری از تحقیقات از جمله تحقیقات توماس و کرویون، تاسکر، پارکر، دینگمن، مالی و اوگاو، کرویون و همکاران جهت ایجاد مدل‌های منطقه‌ای جریان حداقل برای تهیه اطلاعات در مناطق اندازه‌گیری نشده جریان، پایه‌گذاری شده‌اند (۱۴ و ۲۰). منطقه‌ای

کردن خصوصیات جریان حداقل معمولاً بر پایه ایجاد روابط رگرسیونی بین مقدار جریان حداقل و خصوصیات حوزه‌های آبخیزی که اندازه‌گیری جریان در آن‌ها صورت نگرفته، می‌باشد (۱۸). از این رو بسیاری از محققین در تلاش هستند تا خصوصیات مختلف توپوگرافی، اقلیمی، ژئولوژیکی و ژئومورفیک از حوزه‌های آبخیز را به جریان‌های کم ارتباط بدهند. این تلاش‌ها شامل استفاده از تکنیک رگرسیون چند متغیره، روش جریان کم شاخص، منطقه‌ای کردن پارامترهای توزیع، استفاده از روش‌های میانبایی جریان حداقل و دیگر روش‌های منطقه‌ای کردن جریان حداقل می‌شود (۱۵ و ۱۶). در اکثر تحقیقات صورت گرفته در جهان، از روش رگرسیون چند متغیره برای برقراری ارتباط بین جریان کم و خصوصیات حوزه‌ها استفاده شده است. در تحقیقات اخیر استفاده از روش "شاخص سیلاب" که بیشتر برای مطالعات منطقه‌ای سیلاب کاربرد دارد، نیز به چشم می‌خورد. پایلون در تحلیل منطقه‌ای جریان کم روش شاخص سیلاب را با فرض این‌که توزیع منطقه‌ای ویبول سه پارامتره باشد، به کار برد (۱۸). هم‌چنین آربلائز و کاسترو نیز در کلمبیا با استفاده از تابع ویکی‌بی روش شاخص سیلاب را برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان حداقل به کار بستند. در این روش فرض کردند که تابع توزیع احتمال دبی در سراسر منطقه یکسان است و در نتیجه از تمامی داده‌های ثبت شده به‌عنوان یک سری زمانی طولانی مدت استفاده نمودند. آنان از مساحت حوزه برای استاندارد کردن داده‌های دبی استفاده کردند و پس از این مرحله داده‌ها را به تابع منتخب منطقه‌ای (تابع ویکی‌بی) برازش دادند (۱۱).

برخی محققین نیز مانند سمیعی، زهتاییان و همکاران و بیابانکی در مطالعات خود به مقایسه این دو روش یعنی استفاده از معادلات رگرسیونی و جریان کم شاخص پرداخته‌اند و روش رگرسیون چند متغیره را مناسب‌تر از روش جریان کم شاخص دانستند (۴ و ۶ و ۸). به‌نظر می‌رسد در روش رگرسیون چند متغیره به دلیل استفاده از خصوصیات بیشتری از حوزه آبخیز در تعیین معادلات منطقه‌ای، تخمین‌های صحیح‌تری از جریان



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کارون شمالی، زیرحوزه‌های اصلی و ایستگاه‌های منتخب آن

### داده‌های مورد استفاده

از بین ایستگاه‌های هیدرومتری در داخل حوزه آبخیز کارون شمالی ۱۳ ایستگاه که دارای طول دوره آماری مناسب (حداقل ۱۰ سال آماری پیوسته) بودند و آمار دبی روزانه آنها تا سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ثبت شده بود انتخاب شدند. از آنجا که این تحقیق به صورت منطقه‌ای انجام می‌شود ایستگاه بارز که در خارج از مرز حوزه ولی نزدیک نقطه خروجی حوزه بود به دلیل داشتن آمار طولانی مدت و همچنین افزایش تعداد ایستگاه‌ها با هدف افزایش دقت تحلیل فراوانی به جمع ایستگاه‌های منتخب افزوده شد.

برخی از شاخص‌های جریان کم مانند  $Q_{95}$ ،  $Q_{90}$  و از منحنی تداوم جریان استخراج می‌شوند. یک منحنی تداوم جریان نشان‌دهنده فراوانی وقوع برای دبی جریان رودخانه‌ای است و درصدی از زمان که یک دبی انتخابی برابر یا متجاوز از مقدار انتخابی است را معین می‌کند (۱۴). شاخص  $Q_{95}$  در مقیاس ماهانه و روزانه قابل محاسبه می‌باشد که در این تحقیق در  $Q_{95}$  در مقیاس روزانه برای ۱۴ ایستگاه منتخب در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. اما از آنجا که این شاخص توالی جریان حداقل را نشان نمی‌دهد. می‌توان برای تحلیل جریان حداقل از شاخص‌های استخراجی از سری‌های زمانی جریان حداقل با دوره‌های بازگشت مختلف بهره برد.

برای محاسبه جریان حداقل سالانه با تداوم ۷ روزه از میانگین متحرک ۷ روزه برای داده‌های دبی متوسط روزانه استفاده می‌کنیم. برای این منظور از ۷ داده اول میانگین گرفته می‌شود و این مقدار در مقابل داده ثبت شده برای روز چهارم

در حوزه‌های فاقد آمار انجام می‌گیرد. تحقیقات انجام شده در مورد جریان کم نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر بررسی جریان‌های کم در تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص اهمیت خشکسالی هیدرولوژیک و جریان کم رودخانه‌ها در دوره‌های خشکسالی، هدف از انجام این تحقیق دستیابی به مقادیر جریان کم با دوره‌های بازگشت مختلف از طریق برازش تابع توزیع منطقه‌ای مناسب به داده‌های جریان کم در حوزه آبخیز کارون شمالی و میانبایی شاخص‌های منتخب جریان حداقل در این حوزه می‌باشد.

### مواد و روش

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کارون شمالی بخشی از حوزه آبخیز بزرگ کارون می‌باشد و در محدوده جغرافیایی  $34^{\circ} 49'$  تا  $37^{\circ} 51'$  طول شرقی و  $18^{\circ} 31'$  تا  $40^{\circ} 32'$  عرض شمالی قرار دارد و این حوزه دارای ۶ زیرحوزه است. مساحت حوزه آبخیز کارون شمالی ۱۴۴۷۶ کیلومتر مربع بوده که در حدود ۲۳ درصد از سطح حوزه بزرگ کارون را شامل می‌شود. منطقه مورد مطالعه به دلیل توپوگرافی شدید و وجود مناطق برفگیر از پرآب‌ترین مناطق کشور می‌باشد، به طوری که سرچشمه مهم‌ترین رودخانه کشور یعنی کارون می‌باشد لذا این حوزه در مدیریت منابع آب کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۱۰). شکل شماره (۱) موقعیت این حوزه را در ایران نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در حوزه آبخیز کارون شمالی

ردیف	کدحوزه	نام ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول دوره آماری	ارتفاع (m)
۱	۲۱۲۳۱	ارمند	کارون	۵۰° ۴۶'	۳۱° ۴۰'	۴۸	۱۰۸۲
۲	۲۱۲۲۹	گدار کبک	آق‌بلاغ	۵۱° ۱۵'	۳۱° ۴۴'	۲۰	۲۱۵۰
۳	۲۱۴۱۹	دزک آباد	بیرگان	۵۰° ۱۹'	۳۲° ۱۴'	۲۱	۲۱۲۲
۴	۲۱۴۹۷	کوه سوخته	کیار	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۰۶'	۱۹	۱۹۷۷
۵	۲۱۹۲۹	گرد بیشه	گرد بیشه	۵۱° ۱۲'	۳۱° ۳۴'	۱۲	۱۸۱۸
۶	۲۱۹۳۱	پل کره بس	آب ونک	۵۱° ۱۲'	۳۱° ۳۲'	۱۲	۱۷۸۲
۷	۲۱۴۱۷	ماربره	ماریران	۵۰° ۱۲'	۳۲° ۲۰'	۱۲	۲۲۶۰
۸	۲۱۴۳۱	زرین درخت	خان میرزا	۵۰° ۵۷'	۳۱° ۳۲'	۱۶	۱۷۹۴
۹	۲۱۲۲۷	سولگان	سولگان	۵۱° ۱۴'	۳۱° ۳۸'	۲۷	۲۰۸۶
۱۰	۲۱۴۲۳	تنگ زرد آلو	کاسگان	۵۱° ۳۵'	۳۱° ۲۸'	۲۲	۲۱۵۰
۱۱	۲۱۴۲۹	تنگ	جونقان	۵۰° ۳۹'	۳۲° ۰۶'	۲۰	۱۹۹۶
۱۲	۲۱۲۳۳	مرغک	بازفت	۵۰° ۲۷'	۳۱° ۳۹'	۳۴	۹۱۳
۱۳	۲۱۴۲۵	بهشت آباد	بهشت آباد	۵۰° ۳۸'	۳۲° ۰۲'	۱۶	۱۶۸۰
۱۴	۲۱۲۲۵	بارز	خرسان	۵۰° ۲۵'	۳۱° ۳۱'	۴۷	۸۶۲

### بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه

تحلیل منطقه‌ای براساس مفهوم همگنی منطقه‌ای صورت می‌پذیرد. در نتیجه قبل از هرگونه تحلیل فراوانی منطقه‌ای بایستی از همگن بودن منطقه مورد مطالعه اطمینان حاصل کرد. با تقسیم منطقه به بخش‌های همگن، انتقال اطلاعات با دقت بیشتری صورت می‌گیرد. در این تحقیق جهت بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه از خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه و روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی بهره گرفته شد. به جهت کسب اطمینان بیشتر از همگنی منطقه مورد مطالعه آماره همگنی H نیز برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. آماره همگنی H دارای ۳ معیار H1، H2 و H3 است که چنانچه مقدار آن از یک کمتر باشد منطقه همگن و اگر بین یک و دو باشد منطقه نسبتاً همگن و چنانچه بیشتر از سه باشد منطقه ناهمگن است. در عمل عنوان می‌شود که معیار H1 به‌منظور این آزمون مناسب‌تر است.

یادداشت می‌شود. در مرحله بعدی از داده‌های روزهای دوم تا هشتم در سال آبی مدنظر میانگین گرفته می‌شود و میانگین در برابر داده روز پنجم یادداشت می‌شود و این روند به‌همین ترتیب ادامه پیدا می‌کند. سپس کمترین مقدار در ستون مقادیر میانگین متحرک به‌عنوان جریان حداقل ۷ روزه در سال آبی مورد نظر انتخاب می‌شود. وقتی مقدار جریان حداقل سالانه برای تمام سال‌های آبی در هر ایستگاه استخراج شد در هر ایستگاه سری زمانی جریان حداقل ۷ روزه را خواهیم داشت.

### بررسی همگنی داده‌ها در هر ایستگاه

قبل از اقدام به تحلیل داده‌ها لازم است که از کیفیت داده‌ها و هم‌چنین کامل بودن سری داده‌ها اطمینان حاصل نمود چرا که بدون ارزیابی صحیح داده‌ها، از انجام تحلیل‌های آماری نتایج قابل اطمینانی به‌دست نمی‌آید. لذا همگنی داده‌های سری زمانی جریان حداقل در هر ایستگاه با استفاده از آزمون ران تست در نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

### انتخاب مناسب‌ترین توزیع منطقه‌ای

روش‌هایی برای پرکردن فضای خالی بین نقاط اندازه‌گیری شده استفاده کرد. این روش تخمین میان‌یابی نامیده می‌شود. روش‌های میان‌یابی متداول عبارتند از نزدیک‌ترین همجوار، میانگین محلی، ارزش‌گذاری فاصله معکوس، ترازیبی، کریجینگ، مثلث‌بندی و برازش چند جمله‌ای. روش استفاده در این تحقیق روش میان‌یابی کریجینگ است. کریجینگ به‌عنوان بهترین تخمین‌زن نااریب خطی شناخته می‌شود و از مهم‌ترین ویژگی‌های آن می‌توان به امکان دست‌یابی به خطای مرتبط با هر تخمین اشاره کرد (۸).

### روش کریجینگ

بهترین تخمین خطی زمانی انجام می‌گیرد که تخمین نااریب باشد و کمترین واریانس را داشته باشد. تخمین‌گر کریجینگ به صورت روبرو تعریف می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

که در آن  $Z^*$  تخمین متغیر  $Z$  در نقطه  $x_0$ ،  $\lambda_i$  وزن‌های آماری اختصاص‌یافته به مقادیر  $Z$  در نقاط  $x_i$  و  $n$  تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ می‌باشد (۸، ۱۰).

### نتایج و بحث

در این تحقیق جریان حداقل ۷ روزه مورد تحلیل فراوانی منطقه‌ای قرار گرفت. علت استفاده از تداوم ۷ روزه این است که در تداوم‌های ۱ و ۳ روزه تا حدودی اثر جریان‌های صفر تشدید می‌شود و تداوم‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه هم باعث بالاتر تخمین زدن نتایج خواهند شد. پس از تشکیل سری زمانی جریان کم ۷ روزه در تمامی ایستگاه‌های منتخب آزمون همگنی داده‌ها در هر ایستگاه از طریق آزمون توالی و به کمک نرم‌افزار SPSS انجام گرفت و از آنجا که P-value بزرگتر از ۰/۰۱ است همگنی ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۹۹٪ محقق گردید.

### نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی

هدف از انجام تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی گروه‌بندی

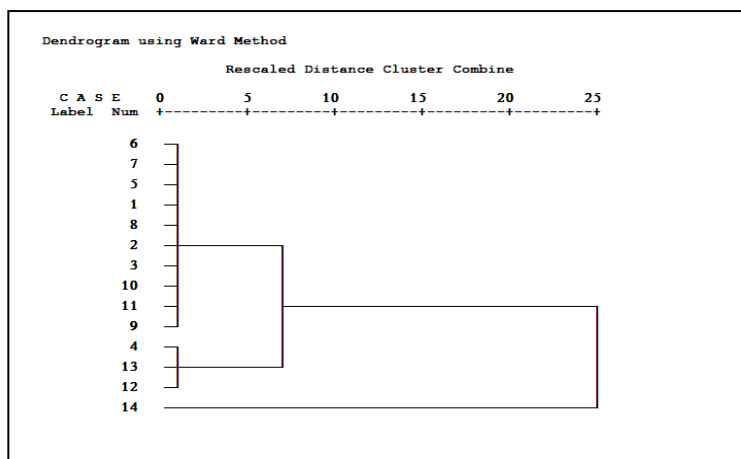
در تحلیل فراوانی منطقه‌ای مبحث توزیع مناسب منطقه‌ای مطرح می‌گردد و این توزیع، توزیعی است که در مجموع بهترین برازش را بر ایستگاه‌های موجود در یک منطقه همگن هیدرولوژیکی دارا باشد. لذا برای انتخاب بهترین توزیع منطقه‌ای می‌توان از روش امتیازدهی استفاده کرد. متداول‌ترین روش‌های نکوئی برازش در تحقیقات مختلف شامل آزمون‌های کای-اسکوئر، کلموگروف-اسمیرنوف (۷) و محاسبه مجموع مربعات باقی‌مانده (۹) می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از آزمون‌های کای-اسکوئر و کلموگروف-اسمیرنوف ۴ توزیعی که در هر ایستگاه بهترین برازش را بر منطقه داشتند امتیازدهی شدند و سپس با برآورد امتیاز توزیع‌های امتیازدهی شده مناسب‌ترین توزیع منطقه‌ای انتخاب گردید. برای اطمینان بیشتر انتخاب توزیع منطقه‌ای از طریق آزمون نکویی برازش در روش هاسکینگ و والیس، یعنی محاسبه آماره  $Z^{DIST}$  نیز صورت گرفت. تابع توزیع منطقه‌ای مناسب تابعی است که در آن  $1/64 \leq Z^{DIST} \leq 2$  باشد.

### تحلیل فراوانی جریان کم در ایستگاه‌ها

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار FREQ توزیع منطقه‌ای منتخب بر سری زمانی جریان حداقل ۷ روزه در هر ایستگاه برازش داده شد و پس از برآورد پارامترهای توزیع به‌روش حداقل‌درست‌نمایی، مقدار جریان کم برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه گردید و از این مقادیر به‌عنوان متغیر وابسته و از مقدار کمی خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز کارون شمالی به‌عنوان متغیر مستقل در ایجاد مدل منطقه‌ای جهت پیش‌بینی جریان حداقل در منطقه مورد مطالعه بهره گرفته شد.

### ناحیه‌بندی شاخص‌های خشکسالی

گسترش سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در ارتباط با آمار فضایی سبب‌شده تا روش‌های میان‌یابی در تهیه انواع نقشه‌های پهنه‌بندی رواج یابد (۳). در هنگام ترسیم نقشه‌ها بایستی از



شکل ۲. نمودار درختی گروه‌بندی ایستگاه‌ها به روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی

ایستگاه و رتبه‌بندی توابع استفاده شده است.

در جدول ۳ مشاهده می‌کنید که براساس هر دو روش کای-اسکوئر و کلموگروف-اسمیرنوف امتیازات توزیع گامای دو پارامتره نسبت به دیگر توزیع‌ها بالاتر است. علاوه بر این محاسبه آماره  $Z^{DIST}$  هاسکینگ و والیس با استفاده از برنامه نوشته‌شده به زبان FORTRAN برای تعدادی از توابع انجام گرفت و با توجه به جدول ۴ از آن‌جا که قدر مطلق تابع گامای ۲ پارامتره از دیگر توابع کوچک‌تر است توزیع گامای دو پارامتره به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع منطقه‌ای در حوزه آبخیز کارون شمالی انتخاب شد.

#### تحلیل فراوانی جریان کم در ایستگاه‌ها

در این مرحله توزیع گامای دو پارامتره که به‌عنوان توزیع مناسب منطقه‌ای بر داده‌های سری زمانی جریان حداقل ۷ روزه ایستگاه‌ها برآزش داده شده است و پس از برآورد پارامترهای توزیع به روش حداکثر درست‌نمایی، مقدار جریان کم برای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه گردیده است (جدول ۵).

#### نتایج تحلیل منطقه‌ای جریان کم

به‌منظور تحلیل منطقه‌ای جریان کم از روش ایجاد ارتباط بین جریان کم با دوره‌های بازگشت مختلف و خصوصیات حوزه، استفاده شد. در این روش دبی‌های حاصل از تحلیل فراوانی که

ایستگاه‌های منتخب داخل مناطق همگن است. در این تحقیق برای تعیین گروه‌ها از ۱۳ خصوصیت فیزیوگرافی و اقلیمی منتخب ایستگاه‌ها استفاده شد. نتیجه تحلیل خوشه‌ای را در نمودار درختی شکل ۲ مشاهده می‌کنید:

معیار تعیین مناطق همگن، مقدار فاصله واقعی یا فاصله مقیاس‌بندی شده (در فاصله ۱ تا ۲۵) است. برای تعیین مناطق همگن فاصله ۷ انتخاب شد. با در نظر گرفتن این فاصله حوزه آبخیز کارون شمالی بدون در نظر گرفتن حوزه بارز (حوزه شماره ۱۴) یک منطقه مطالعاتی همگن است. لذا انجام تحلیل منطقه‌ای جریان حداقل در این حوزه مطالعاتی با خارج کردن این ایستگاه از مجموع ایستگاه‌های دیگر، با توجه به همگن بودن منطقه بلامانع می‌باشد. از طرفی به جهت کسب اطمینان بیشتر در مورد همگنی منطقه مورد مطالعه آماره همگنی هاسکینگ و والیس (Hi) نیز برای ۱۳ ایستگاه باقی‌مانده مورد محاسبه قرار گرفت و مقادیر زیر به دست آمد.

$$1/2 = 3, H1/3 = 2, H0/43 = 1H$$

از آنجا که مقدار HI کمتر از یک می‌باشد لذا همگنی منطقه مورد مطالعه تأیید می‌شود. در این تحقیق از نرم‌افزار FREQ برای انتخاب بهترین توزیع منطقه‌ای استفاده شد و از آنجا که این نرم‌افزار قادر به انجام آزمون‌های نکویی برآزش کای-اسکوئر و کلموگروف-اسمیرنوف است، لذا از این دو آزمون جهت انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال در هر

جدول ۲. نتایج آزمون همگنی داده‌ها در هر ایستگاه

ایستگاه	P_value	ایستگاه	P_value
کوه سوخته	۰/۰۸	سولگان	۱/۰
تنگ درکش ورکش	۰/۰۸	پل کره بس	۰/۰۳
بهشت آباد	۰/۱۵	گرد بیشه	۰/۲۱
دزک آباد	۰/۰۷	تنگ زرد آلو	۰/۰۲
ماربره	۰/۷۶	مرغک	۰/۵۸
ارمند	۱/۰	زرین درخت	۰/۳۴
گدار کبک	۰/۱۳	بارز	۰/۰۱

جدول ۳. امتیازات محاسبه‌شده برای توزیع‌های مختلف

تابع / روش	مقادیر حدی تعمیم یافته	پیرسون III	لوگ نرمال ۳ پارامتره	لوجستیک تعمیم یافته	حد نهایی I	پارتو تعمیم یافته	ویبول
کای اسکوئر	۱۹	۱۱	۸	۲۱	۲۲	۱۹	۲۱
کلموگراف اسمیرنوف	۷	۱	۲	۴	۵	۵	۱۰
تابع / روش	نرمال	نمایی	لوجستیک	لوگ نرمال ۲ پارامتری	گاما ۲ پارامتری	لوگ پیرسون III	
کای اسکوئر	۲۱	۹	۲۱	۲۷	۲۹	۱۶	
کلموگراف اسمیرنوف	۲۳	۸	۲۱	۸	۲۴	۱۱	

جدول ۴. آزمون نکویی برازش آماره  $Z^{DIST}$  برای منطقه مورد مطالعاتی

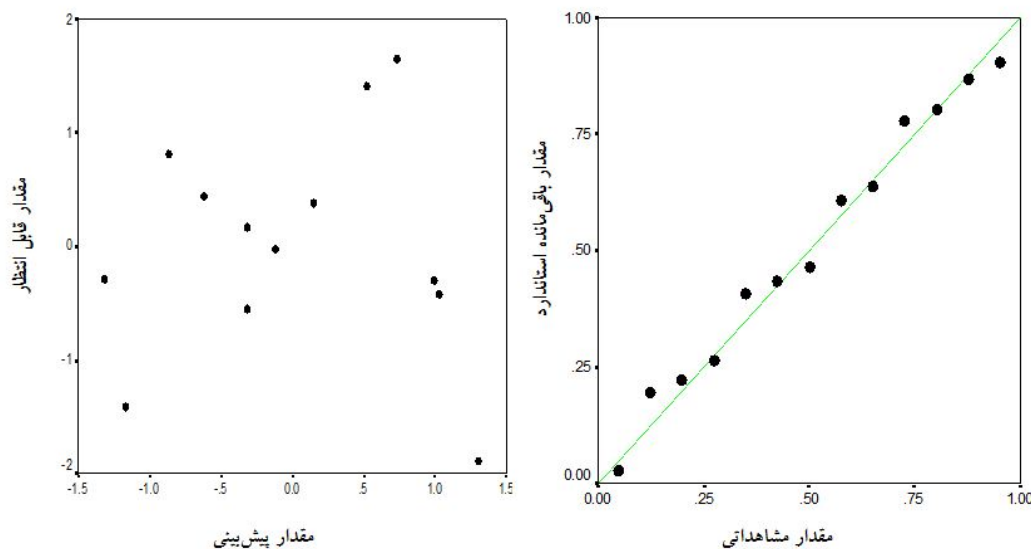
منطقه مطالعاتی	GLOG	GEV	GAMMA	P <sub>۳</sub>	GPAR
حوزه کارون شمالی	۱/۲۲	-۰/۷۵	-۰/۶۶	-۰/۹۴	-۴/۷۹

بازگشت مختلف در سطح اعتماد ۹۵ درصد انتخاب گردید. در ادامه برای بررسی صحت مدل‌ها، نمودار پراکندگی مانده‌ها در مقابل (که در این جا همان مقادیر برآوردی از معادله رگرسیون حاصله هستند) ترسیم گردید. مانده‌های استاندارد بین ۲- و ۲+ تغییر می‌کنند و هیچ روند مشخصی را دنبال نمی‌کنند. بررسی نمودار احتمال نرمال مانده‌ها و نمودار پراکندگی باقیمانده‌ها در مدل‌های به دست آمده، حاکی از مناسب بودن این مدل‌ها می‌باشد. شکل ۳ نمودارهای احتمال نرمال و پراکندگی باقیمانده‌ها را در مدل به دست آمده با دوره بازگشت ۵ سال نشان می‌دهد.

توسط نرم‌افزار FREQ محاسبه گردید به عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی استخراج‌شده از ایستگاه‌های مختلف حوزه آبخیز کارون شمالی در حالت‌های مختلف (لگاریتمی و غیرلگاریتمی) به عنوان متغیر مستقل جهت انتخاب بهترین مدل در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. ترکیبات مختلفی از پارامترهای مذکور برای ورود به مدل رگرسیون با استفاده از روش گام‌به‌گام مورد بررسی قرار گرفتند و با بررسی ضرایب همبستگی، ضرایب تبیین اصلاح‌شده و خطاهای استاندارد در مدل‌های مختلف بهترین مدل منطقه‌ای برای پیش‌بینی جریان حداقل در دوره‌های

جدول ۵. برآورد منطقه‌ای جریان کم ۷ روزه با دوره‌های بازگشت مختلف

ردیف	نام ایستگاه	دوره بازگشت					
		۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲
۱	ارمند	۲۰/۲۲	۲۲/۰۱	۲۳/۶۴	۲۵/۶۱	۲۸/۱۴	۳۳/۴۳
۲	گدارکبک	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۳۰
۳	دزک آباد	۰/۸۲	۰/۹۳	۱/۰۵	۱/۱۸	۱/۳۶	۱/۷۷
۴	کوه سوخته	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۳۸	۰/۸۲
۵	گردبیشه	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۵۳
۶	پل کره بس	۰/۹۴	۱/۰۸	۱/۲۱	۱/۳۷	۱/۵۸	۲/۰۶
۷	ماربره	۰/۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۵۳
۸	زرین درخت	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵
۹	سولگان	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۳۵	۱/۰۴
۱۰	تنگ زردالو	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۴۵
۱۱	تنگ درکش ورکش	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۱۵
۱۲	مرغک	۹/۰۱	۹/۹۲	۱۰/۷۶	۱۱/۷۸	۱۳/۱	۱۵/۸۸
۱۳	بهشت آباد	۰/۳۹	۰/۵۴	۰/۶۹	۰/۹۰	۱/۲۰	۱/۹۵



شکل ۳. نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها (سمت راست) و نمودار باقیمانده‌های مدل منطقه‌ای جریان حداقل (سمت چپ) در دوره بازگشت ۵ سال

#### منحنی تداوم جریان در ایستگاه‌ها

به منظور استخراج مقادیر  $Q_{95}$ ، به عنوان حد آستانه خشکسالی هیدرولوژیک و تهیه نقشه میان‌یابی این شاخص در سطح حوزه

آبخیز کارون شمالی، منحنی تداوم جریان در ایستگاه‌های منتخب منطقه ترسیم شد. این منحنی را برای ایستگاه ارمند در شکل ۴ مشاهده می‌کنید. هم‌چنین میزان این شاخص در تمامی ایستگاه‌ها را در جدول ۷ مشاهده می‌کنید.



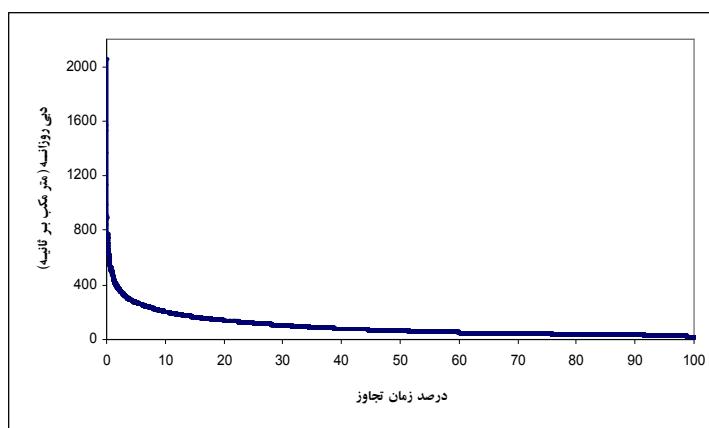
جدول ۶. مدل‌های منطقه‌ای برای پیش‌بینی جریان حداقل در دوره‌های بازگشت مختلف با سطح معنی‌داری ۵ درصد

مدل منطقه‌ای	ضریب همبستگی	ضریب تبیین اصلاح‌شده	خطای استاندارد
$Q_{0.5} = 355/43 - 106/09(\log hm) + 0/392(wsa)$	۰/۹۲	۰/۸۱	۳/۵۱
$Q_{1.0} = 323/74 - 96/66(\log hm) + 0/36(wsa)$	۰/۹۲	۰/۸۱	۳/۱۹
$Q_{2.0} = 298/94 - 89/28(\log hm) + 0/33(wsa)$	۰/۹۲	۰/۸۱	۲/۹۳
$Q_{5.0} = 35/024 + 0/338(wsa) - 0/016(hm)$	۰/۹۱	۰/۸۰	۲/۸۱
$Q_{10.0} = 32/132 + 0/31(wsa) - 0/015(hm)$	۰/۹۱	۰/۸۰	۲/۵۸

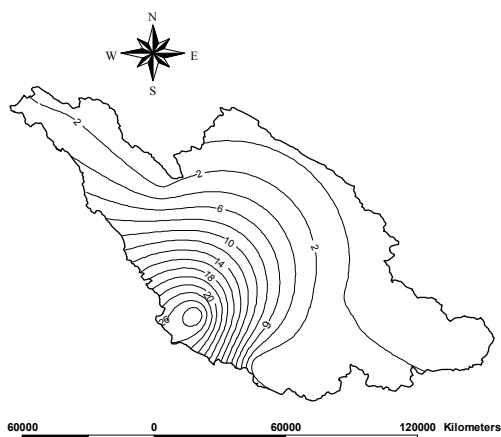
(hm): ارتفاع متوسط حوزه (wsa): شیب متوسط حوزه

جدول ۷. مقادیر شاخص Q95

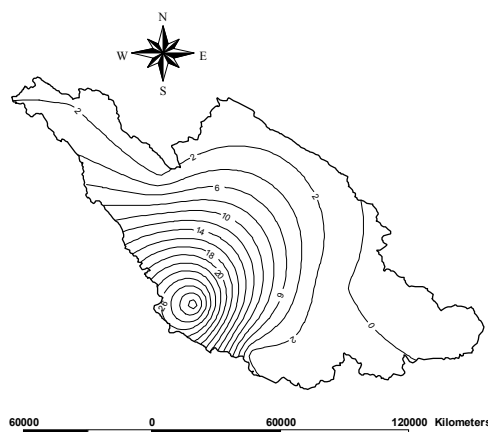
نام ایستگاه	Q95	نام ایستگاه	Q95
ارمند	۳۰/۲	تنگ درکش ورکش	۰/۱۸
گدارکبک	۰/۱۴	زرین درخت	۰/۰۲
دزک آباد	۱/۵۸	سولگان	۰/۲
کوه سوخته	۰/۶۸	تنگ زردالو	۰/۲۶
گردبیشه	۰/۴۷	مرغک	۱۵/۷
پل کره بس	۱/۷۱	بهشت‌آباد	۱/۶۷
ماربره	۰/۶		



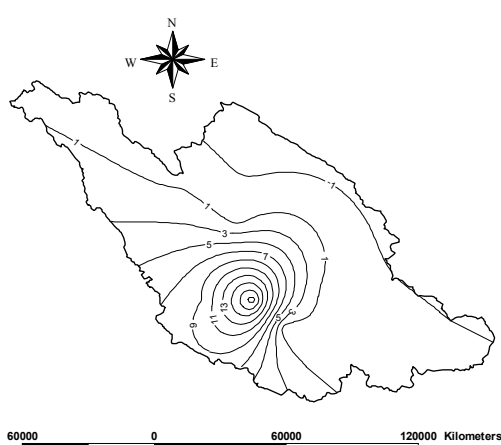
شکل ۴. منحنی شاخص Q95 در ایستگاه ارمند



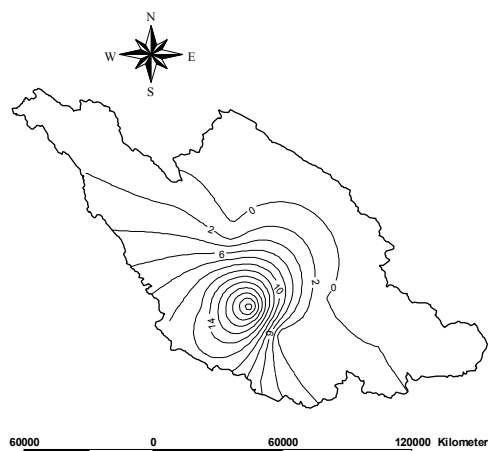
شکل ۶. نقشه ناحیه‌بندی و خطوط هم مقدار شاخص Q7,2



شکل ۵. نقشه ناحیه‌بندی و خطوط هم مقدار شاخص Q95



شکل ۸. نقشه ناحیه‌بندی و خطوط هم مقدار شاخص Q7,100



شکل ۷. نقشه ناحیه‌بندی و خطوط هم مقدار شاخص Q7,10

گرفت. نقشه‌های حاصل از این روش را در اشکال ۵ تا ۸ مشاهده می‌کنید:

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور دستیابی به مدل‌های منطقه‌ای مناسب برای پیش‌بینی جریان حداقل در حوزه‌های آبخیز بدون آمار دبی‌های حاصل از تحلیل فراوانی با دوره‌های بازگشت مختلف به‌عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی ایستگاه‌های مختلف به‌عنوان متغیر مستقل برای ورود به مدل رگرسیون چند متغیره در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که ارتفاع متوسط و شیب متوسط حوزه آبخیز کارون شمالی از

### ناحیه‌بندی منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص‌های جریان حداقل

در این قسمت سعی شد شاخص‌های محاسبه شده جریان حداقل (Q7,2، Q95، Q7,10 و Q7,100) به کمک روش میانبایی در سطح حوزه آبخیز کارون شمالی ناحیه‌بندی شوند. علت انتخاب جریان حداقل ۷ روزه با ۳ دوره‌بازگشت مذکور بررسی روند خشکسالی هیدرولوژیک از دوره‌های بازگشت پایین تا دوره‌های بازگشت بالا بود. به منظور ناحیه‌بندی شاخص‌ها ابتدا مقادیر شاخص‌ها به همراه طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها در worksheet نرم‌افزار SURFER ذخیره گردید و سپس با استفاده از روش کریجینگ ناحیه‌بندی صورت

حوزه با استفاده از شاخص Q95 شکل ۵، نشان می‌دهد که از جنوب‌غربی حوزه و در نزدیکی نقطه خروجی حوزه آبخیز کارون شمالی، به سمت شمال‌غربی، شمال، شمال‌شرقی، شرق و جنوب‌شرقی حوزه به تدریج از مقدار شاخص‌ها کاسته می‌شود و بر شدت خشکسالی افزوده می‌گردد. مقایسه نقشه‌های ناحیه‌بندی حداقل جریان ۷ روزه با دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰ و ۱۰۰ سال نشان می‌دهد که با افزایش دوره بازگشت گستره نواحی مرطوب مرکزی و جنوب غربی حوزه با نفوذ هسته‌های متعدد خشکسالی از جوانب آن تحت تأثیر قرار گرفته و محدودتر شده‌است. به‌طورکلی با افزایش دوره بازگشت خشکسالی مقادیر جریان حداقل کاهش یافته و در نتیجه شدت خشکسالی در حوزه افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در دوره‌های بازگشت زیاد خشکسالی مناطق وسیعی از حوزه را فرا می‌گیرد. از میان نواحی که بیشتر خشکسالی را تجربه می‌کنند نواحی جنوب‌شرقی حوزه خشکسالی شدیدتری را نسبت به سایر نقاط تجربه می‌کند. بنابراین این نواحی در معرض خسارات و صدمات اقتصادی-اجتماعی خشکسالی هیدرولوژیک قرار دارند و لذا در مطالعات منابع آب (تأسیسات آبی، برداشت آب از حوزه، آبرسانی و...) نیازمند توجه بیشتری می‌باشد.

عوامل مؤثر بر جریان حداقل در این حوزه می‌باشند. از طرفی عامل مساحت که در اکثر تحقیقات انجام گرفته در ایران و جهان به‌عنوان یک فاکتور کاملاً تأثیرگذار بر جریان حداقل رودخانه‌ای مطرح است، در این مطالعه از نقش مؤثری برخوردار نمی‌باشد. با توجه به کارستی بودن این حوزه آبخیز، بررسی منابع تحقیقاتی در این مورد مؤید این مسئله‌اند که در حوزه‌های کارستی مکانیسم تولید جریان سطحی نسبت به حوزه‌های غیرکارستی به دلیل زهکشی حوزه به‌طور چشمگیری کمتر است (۵ و ۱۰). لذا ویژگی‌های جریان حداقل (دبی جریان حداقل) معمولاً از طریق روش‌هایی که با استفاده از فاکتور مساحت حوزه تخمین زده می‌شود، منطبق نخواهد بود.

از طرفی ویژگی‌های فیزیوگرافیک و آب و هوایی مناطق مختلف مطالعاتی، از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر می‌کند و شکل معادلات به‌دست آمده در هر منطقه لزوماً با دیگر مناطق یکسان نیست. پس ممکن است متغیری که در مکانیسم تولید جریان حداقل در یک منطقه تأثیر زیادی دارد در منطقه‌ای دیگر از جهان اصلاً وارد معادلات نشود و این مسئله ضرورت انجام مطالعات منحصر به فرد برای هر منطقه مطالعاتی و عدم اکتفا به نتایج دیگر مطالعات را آشکار می‌سازد. هم‌چنین بررسی نقشه ناحیه‌بندی جریان حداقل در سطح

### منابع مورد استفاده

۱. اسلامیان، س.، ع. زارعی و ا. ابریشم‌چی. ۱۳۸۳. برآورد منطقه‌ای جریان کم رودخانه‌های حوزه آبریز مازندران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۱): ۲۷-۳۸.
۲. بیابانکی، م. ۱۳۸۳. تحلیل جریان کم با استفاده از روش هیبرید در حوزه آبخیز کرخه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. تالی، م.، ۱۳۸۱. ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. ۴۳: ۹۵-۱۰۸.
۴. زهتابیان، غ. ر.، ک. نصرتی و ا. شهبازی. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های تحلیل منطقه‌ای فراوانی جریان کمینه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مجله بیابان. ۹(۱): ۱۱۱-۱۲۴.
۵. سراج‌زاده، ح. ۱۳۷۲. روش محاسبه دبی‌های حداقل. انتشارات یونسکو.
۶. سمیعی، م. ۱۳۸۲. تعمیم منطقه‌ای جریان کم آبی (مطالعه موردی استان تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌داری، دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.

۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ پانزدهم، فصل هفدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
۸. قاسمی، م. ۱۳۸۶. تعیین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوزه آبریز کرخه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۹. مهدوی، م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم)، فصل دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
۱۰. مهندسین مشاور یکم. ۱۳۶۷. مطالعات جامع احیا و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوزه آبخیز شمالی رودخانه کارون، جلد سوم (آب‌های سطحی). معاونت طرح و برنامه.
11. Arbeláez, A. C. and L.M. Castro. 2007. Low flow regional analysis using Wakeby distribution in ungauged basin in Colombia. *J. Hydrology Days*: 198-208
12. Durrans, S. R. and S. Tomic. 1996, Regionalization of low flow frequency estimates: An Alabama case study, *J. American Water Resources Association* 32 (1): 23–37.
13. Fleig, A. K., Tallaksen L. M., Hisdal H. and S. Demuth. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics *Hydrology and Earth System Sciences. J. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10: 535-552
14. Fennessey, N. and R. M. Vogel. 1990. Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts, *J. Water Resources Planning and Management* 116(4): 530-549.
15. Laaha, G., J. Skoien and G. Blöschl. 2007. A comparison of Top-kriging and regional regression for low flow regionalization. *Geophysical research abstracts*, 9, 07015,1-2; ISSN1029-7006
16. Modarres, R. 2007. Regional frequency distribution type of low flow in north of iran by L-Moments. *J. Water Resources Management* 1573-1650 (Online)
17. Pilon, P.J. 1990. The Weibull distribution applied to regional low-flow frequency analysis. In: *Regionalization in Hydrology-Proceedings of the Ljubljana Symposium*, IAHS Publication 191: 227–237.
18. Önöz, B., and M. Bayazit. 2001. Power distribution for low streamflows. *J. Hydrologic Engineering*. 6 (5): 429-435
19. Parida BP, Kachroo RK. and DB. Shrestha. 1998. Regional flood frequency analysis of Mahi-Sabarmati basin (Subzon 3-a) using index flood procedure with L-moments. *J. Water resource management* 12:1–12
20. Smaktin, V. U. 2001. Low flow hydrology: A review, *J. Hydrology* 240:147-186.
21. Yu, P. S.T. C. Yang and C. W. Liu. 2002. A regional model of low flow for southern Taiwan. *J. Hydrological Processes* 16(10): 2017-2034.