برآورد جریان‌های کم در نقاط فاقد ایستگاه هیدرومتری با استفاده از مدل رگرسیونی چند متغیره

بهرام ثقفیان[1]، استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
سامان محمدی، کارشناس ارشد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
باقر قرمزچشمه، کارشناس ارشد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۰۸/۲۵ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۸/۰۲/۱۶

چکیده

محاسبه ویژگی‌های جریان کم در طراحی دبی سازه‌های انحراف آب، تأمین آب نیروگاه‌های برق‌آبی، تعیین آستانه کیفیت آب در رودخانه‌ها، برآورد بار مجاز برای دفع فاضلاب، تأمین آب شهری و صنعتی بسیار مهم است. تحلیل جریان‌های کم با تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف و استخراج روابط منطقه‌ای حاصل به‌منظور برآورد جریان‌های کم در نقاط فاقد ایستگاه هیدرومتری استان گیلان، هدف اصلی این مقاله است. این تحقیق در محدوده حوضه‌های بالادست استان گیلان با ۳۵ ایستگاه هیدرومتری با آمار دبی روزانه نسبتا طولانی مدت صورت گرفت. پس از انتخاب دوره آماری مشترک و بازسازی داده‌ها، حداقل جریان ایستگاه‌ها با تداوم‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ روزه برآورد گردید. با استفاده از تحلیل فراوانی و مقایسه توزیع‌های مختلف، توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳ برای تداوم‌های بالای ۶۰ روز و توزیع آماری لوگ نرمال برای تداوم‌های کم‌تر از ۶۰ روز، مناسب‌ترین توزیع‌ها تشخیص داده شدند. سپس، جریان‌های کم با دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله محاسبه گردید. از طرف دیگر با استخراج پارامترهای مؤثر بر جریان‌های کم و با استفاده از تحلیل عاملی و همبستگی مشخصات فیزیکی حوضه با مقادیر جریان‌های کم، پنج پارامتر مساحت حوضه، متوسط بارش سالانه، شیب حوضه، ارتفاع متوسط و تراکم زهکشی به‌عنوان پارامترهای مستقل شناخته شدند. سپس به‌وسیله تحلیل خوشه‌ای حوضه‌های منطقه به دو گروه همگن تقسیم گردید. پس از تعیین حوضه‌های همگن با استفاده از رگرسیون گام به گام، به‌ترتیب مساحت حوضه، بارش متوسط سالانه و شیب حوضه به‌عنوان مؤثرترین پارامترها در تخمین جریان‌های کم شناسایی شدند . با درنظر گرفتن مقادیر جریان کم با تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف، مدل‌های ریاضی منطقه‌ای چند متغیره برآورد جریان‌های کم استخراج شدند.

واژه‌های کلیدی: ایران، تحلیل منطقه‌ای، تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای، گیلان

مقدمه

بحران کم‌آبی ابتدا با وقوع پدیده خشکسالی هواشناسی ناشی از کم‌بود بارندگی روی می‌دهد که به‌دنبال آن کم شدن جریان آب در رودخانه‌ها را در بر دارد. کاهش جریان آب در رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلفی باعث وارد شدن خسارت زیادی به محصولات کشاورزی، آبزیان و شیلات و صنعت می‌شود. با کاهش جریان آب رودخانه‌ها علاوه بر مشکل تامین آب، غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد و مرگ و میر آبزیان و به‌هم‌خوردن تعادل زیست محیطی در منطقه را به‌دنبال دارد. همچنین در تأمین آب شهری، صنعتی و مصارف کشاورزی، کم‌آبی باعث مسائل متعددی از جمله رقابت در مصرف خواهد شد. از طرفی در مدیریت بهره‌برداری از سدهای مخزنی و نیروگاه‌های برق‌آبی در طول دوره

[1] b.saghafian@gmail.com

کم آبی، تحلیل جریان کم بسیار حائز اهمیت است. معمولاً تحلیل‌های فراوانی، منحصراً در محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی انجام می‌گیرد و روابط منطقه‌ای به‌منظور امکان انتقال نتایج به سایر نقاط مورد نظر باید توسعه یابند. در اغلب تحقیقات انجام شده ابتدا تحلیل‌های فراوانی در محل ایستگاه‌ها انجام و روابط منطقه‌ای برای داده‌های با دوره بازگشت مختلف استخراج شده‌اند که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

وفاخواه و مهدوی (۱۳۷۸) به تحقیق حوضه دریاچه نمک برای انتخاب بهترین توزیع آماری به‌منظور برآورد جریان‌های کم در تداوم‌های یک و هفت روزه پرداختند. آنان با بررسی ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه، ۲۲ ایستگاه مناسب را انتخاب نمودند و برای انتخاب بهترین توزیع آماری از آزمون متوسط انحراف نسبی استفاده کردند. در نهایت توزیع لوگ پیرسون تیپ سه با دوره‌های آماری کوتاه مدت ۱۵ و ۳۰ ساله و توزیع لوگ نرمال سه پارامتری با سری‌های جریان حداقل با طول دوره آماری بالای ۳۰ سال برازش مناسب داشت.

اسلامیان و همکاران (۱۳۷۹) به بررسی چگونگی برآورد جریان کم و تحلیل فراوانی آن و همچنین تفاوت آن با تحلیل فراوانی سیلاب پرداختند. آنان با انتخاب ۱۸ ایستگاه هیدرومتری در استان مازندران جریان‌های کم سالانه با تداوم‌های هفت، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روزه را تعیین نمودند. با تحلیل فراوانی مقادیر به‌دست آمده، جریان‌های کم با تداوم‌های مختلف و دوره بازگشت ۱۰ ساله محاسبه و منحنی شدت - مدت - فراوانی مربوط به ایستگاه‌های مورد استفاده ترسیم شد.

در تحقیقی، Thomas و Benson (۱۹۷۰)با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره جریان حداقل هفت روزه با دوره بازگشت ۲۰ ساله را در چهار منطقه از ایالات متحده آمریکا محاسبه نمودند. در این تحقیق پارامترهای مساحت و بارش به‌عنوان مؤثرترین پارامترها شناخته شدند. Rozhdestvenki و Chebotarer (۱۹۷۴) عوامل مؤثر در حداقل جریان رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و مدل رگرسیونی چند متغیره‌ای براساس پارامترهای مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، مساحت دریاچه (در صورت وجود در حوزه آبخیز) و مساحت برفی تهیه نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که برای نقاط فاقد ایستگاه، استفاده از دو متغیر کافی است و اضافه کردن متغیرهای بیش‌تر در مدل میزان خطا را تا حد قابل توجهی افزایش می دهد.

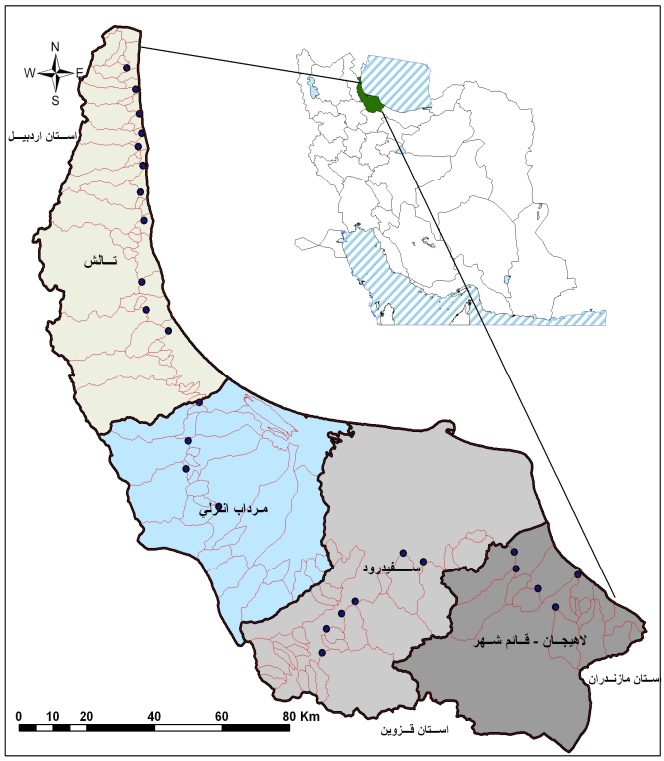
در تحقیق دیگری، Riggs (۱۹۹۰) دو روش را برای تخمین جریان‌های کم با تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف در نقاط فاقد ایستگاه به‌کار بردند. در روش اول مقادیر جریان بین نقاط دارای ایستگاه میان‌یابی و منحنی‌های هم دبی در حوضه‌ها ترسیم شد. در روش دوم از مدل رگرسیونی چند متغیره استفاده شد که پارامترهای آن شامل مساحت و شیب متوسط وزنی حوضه بودند. McMahon و Nathan (۱۹۹۱) یک تحلیل منطقه‌ای جریان‌های کم در استرالیا انجام دادند. آن‌ها با استفاده از رگرسیون چند متغیره، مدل‌های لگاریتمی برای جریان‌های کم در تداوم‌های مختلف با پارامترهای شاخص جریان، سازندهای زمین شناسی و بارش ارائه نمودند.

برای تخمین جریان‌های کم، Warner و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از مدل رگرسیونی چند متغیره در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری حوضه‌های پورتوریکو تحقیق نمودند. آن‌ها ۵۳ ویژگی فیزیوگرافیک و اقلیمی حوضه‌ها را با استفاده از GIS تعیین کردند و همبستگی و تأثیر آن‌ها را بر جریان حداقل بررسی نمودند. آن‌ها در نهایت دو مدل رگرسیونی دبی هفت و ۳۰ روزه با دوره بازگشت ۱۰ ساله با چهار پارامتر مساحت زهکشی، شیب متوسط حوضه، نسبت طول انشعابات به طول آبراهه اصلی و مساحت حوضه ارائه کردند، به‌طوری که ضریب تعیین در هر دو مدل بالا و به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۶ برآورد شد. Waltemeyer (۲۰۰۲) با تحقیق بر روی ایستگاه‌های هیدرومتری در نیومکزیکو مدل‌های رگرسیونی چند متغیره‌ای را برای جریان کم چهار روزه و سه ساله در دو ناحیه با ۴۰ و ۵۰ ایستگاه هیدرومتری ارائه نمودند. پارامترهای مؤثر در این مدل‌ها، سطح زهکشی، بارش متوسط زمستانه و شیب متوسط حوضه شناخته شدند.

در این تحقیق، هدف این است که بر اساس داده‌های روزانه ایستگاه هیدرومتری و با استفاده از پارامترهای مرفولوژی و اقلیمی، روابط منطقه‌ای جریان‌های کم استخراج شود تا امکان استخراج دبی‌های کم با دوره بازگشت‌های مختلف برای حوضه‌های فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری فراهم شود.

مواد و روش‌ها

شرح عمومی منطقه و ایستگاه‌های هیدرومتری: استان گیلان با مساحتی معادل ۱۳۷۹۱ کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیایی ´۴۸،۳۲ تا ´۵۰،۳۳ طول شرقی و ´۳۶،۳۳ تا ´۳۸،۲۹ عرض شمالی واقع است. قسمت کم عرض آن در شمال غرب و بخش عریض آن که به دشت گیلان معروف است در شرق استان قرار دارد. سراسر شمال و شمال شرقی را آب‌های ساحلی دریای خزر فرا گرفته و از سه سوی دیگر به اردبیل در غرب، مازندران در شرق و استان‌های قزوین و زنجان در جنوب و جنوب غرب محدود می‌شود (شکل۱). در این تحقیق، پس ازشناسایی ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی منطقه، داده‌های دبی و بارش سالانه تهیه شد.



شکل ۱- چهار حوضه اصلی و زیر حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌های هیدرومتری در استان گیلان

در حوزه‌های آبخیز خزر غربی در محدوده استان گیلان و مجاور آن، ۵۶ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که با توجه به تعداد سال‌های آماری موجود وکیفیت داده‌های جریان، ۳۵ ایستگاه هیدرومتری انتخاب شد. تعداد سال‌های آماری متفاوت برای ایستگاه‌ها مربوط به تأسیس آن‌ها در سال‌های مختلف است. در منطقهٔ تحقیق میزان پراکندگی سال‌های دارای آمار ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با توجه به اینکه بیش‌ترین تراکم سال‌های آماری در سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۷۵ مشاهده شد، این فاصله زمانی با طول دوره‌ی آماری ۲۸ سال به‌عنوان بهترین پایه زمانی مشترک انتخاب شد.

روش تحقیق

در منابع علمی هیدرولوژی معمولاً تحلیل فراوانی سیل (مقادیر حداکثر) بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته و کم‌تر به تحلیل فراوانی جریان‌های کم (مقادیر حداقل) پرداخته شده است. گر چه تئوری تحلیل فراوانی جریان کم تفاوت چندانی با تئوری تحلیل فراوانی مقادیر حداکثر ندارد، ولی باید به این نکته مهم توجه شود که در تحلیل فراوانی مقادیر حداکثر، پیشامدهای بزرگ‌تر، متناظر با دورهٔ بازگشت بزرگ‌تر هستند. در حالی‌که در تحلیل فراوانی مقادیر کم، مقادیر کوچک‌تر متناظر با دوره‌های بازگشت بزرگ‌تر هستند (McMahon و Nathan ، ۱۹۹۱). به‌طورکلی می‌توان جریان

کم سالانه را به‌عنوان کم‌ترین جریان متوسط روزانه در طول یک سال تعریف کرد. معمولاً جریان‌های کم روزانه تحت تأثیر اغتشاشات کوچک جریان بالا دست هستند، لذا جریان کم سالانه به‌صورت کم‌ترین جریان متوسط در چند روز متوالی از قبیل ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ روز و بیش‌تر در طول یک‌سال تعریف می‌شود. بنابراین برای تعیین سری‌های زمانی جریان کم با تداوم‌های مختلف، کم‌ترین مقدار میانگین متحرک جریان‌های روزانه با تداوم مورد نظر در هر سال محاسبه می‌شود.

به‌وسیله تحلیل فراوانی جریان‌های کم با تداوم‌های مختلف و دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون مانند جریان کم ۱۰ روزه - ۱۰ساله (جریان کم با تداوم ۱۰ روزه و دوره بازگشت ۱۰ ساله) محاسبه شد. گاهی اوقات ممکن است در طول دوره آماری تعداد معدودی دبی جریان روزانه صفر گزارش شده باشد. وجود این مقادیر در استفاده از توزیع‌های لگاریتمی ایجاد مشکل می‌کند. زیرا لگاریتم صفر، منفی بی‌نهایت است (Maidment، ۱۹۹۳). در این موارد روش‌های مختلفی برای حل این مشکل پیشنهاد شده است که در این مقاله از روش مدل احتمال شرطی[1] استفاده شد. در این روش اگر P_0 احتمال (درصد) مقادیر صفر باشد و $G(x)$ نیز تابع توزیع تجمعی داده‌های بدون صفر باشد (از طریق روش‌های معمول توزیع آماری)، در این صورت احتمال $F(x)$ یا تابع توزیع تجمعی *(cdf)* کل داده‌ها (با صفر و بدون صفر) برابر است با (Maidment، ۱۹۹۳):

$$F(x) = P_0 + (1 - P_0)\,G(x) \qquad (1)$$

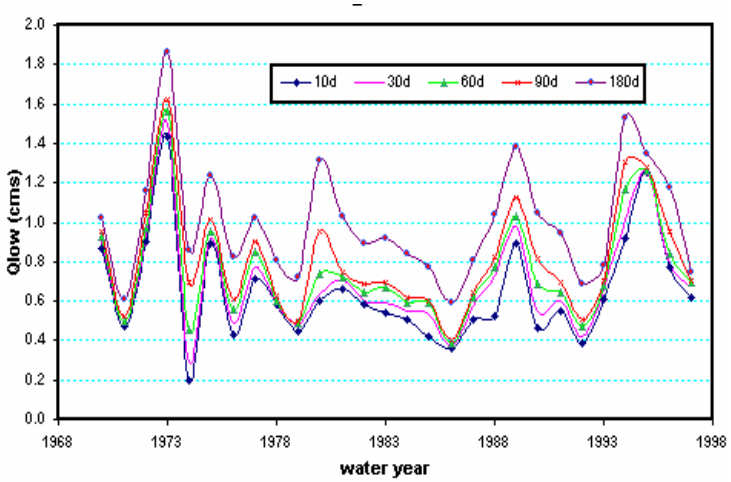
آنالیز منطقه‌ای از جمله روش‌های برآورد ویژگی‌های جریان کم در نقاط فاقد داده‌های مشاهده‌ای محسوب می‌شود. در این روش مقادیر جریان‌های کم با دوره برگشت‌های معین به ویژگی‌های حوضه ارتباط داده می‌شود. در ادامه تحقیق داده‌های موجود برای توزیع فراوانی مناسب برازش داده شد و جریان‌های کم با دوره برگشت‌های مورد نظر برآورد شد. سپس خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی برای حوضه‌های منتهی به ایستگاه‌ها تعیین شد و خصوصیات مستقل و با اهمیت با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی برای ایستگاه‌ها شناسایی شد. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل همگنی براساس روش خوشه‌ای، کل منطقه به نواحی همگن تقسیم و از روش رگرسیون چند متغیره جریان‌های کم با احتمال معین به این خصوصیات ارتباط داده شد و روابط منطقه‌ای استخراج شد.

نتایج و بحث

سری‌های زمانی جریان کم: به‌دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌ها، نمونه نتایج برای یک ایستگاه نمونه (سموش) ارائه می‌شود. داده‌های جریان روزانه در طول دوره آماری از شروع سال آبی تا پایان آن مرتب شد. سپس میانگین متحرک ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ روزه برای هر سال استخراج و در هر کدام از میانگین‌های متحرک کم‌ترین مقدار برای آن سال آبی با تداوم مورد نظر محاسبه شد (شکل ۲).

تحلیل فراوانی: در تحلیل فراوانی برای رفع مشکل اعداد صفر در سری زمانی جریان‌های کم از روش مدل احتمال شرطی (CPM) استفاده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار HYFA توابع توزیع آماری مختلف با روش مربع کای بررسی شد که نتایج آن در جدول (۱) آمده است. با استفاده از نتایج این آزمون، توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳ برای تداوم‌های بالای ۶۰ روز و توزیع آماری لوگ نرمال ۲ برای تداوم‌های کم‌تر از ۶۰ روز، مناسب‌ترین توزیع‌ها تشخیص داده شدند (جدول ۲).

[1] Conditional Probability Model



شکل ۲- تغییرات دبی جریان کم با تداوم‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ روزه در ایستگاه سموش

جدول ۱- خروجی نرم افزار HYFA در انتخاب بهترین توزیع تداوم بالای ۶۰ روز در ایستگاه سموش

توزیع آماری	ارزش مربع کای
Log Normal 2	۴/۵
Log Normal 3	۴/۸۵
Pearson 3	۰/۹۲
Log Pearson 3	۰/۳۵

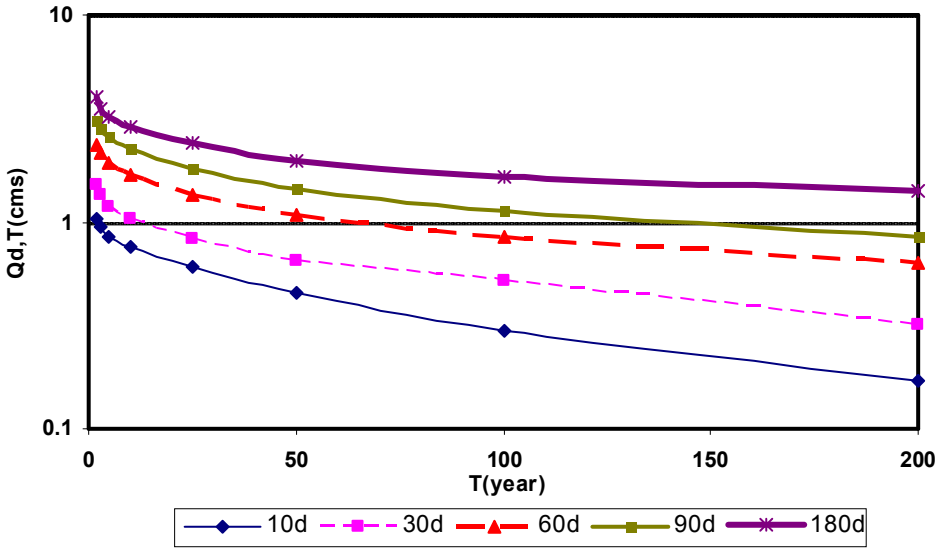
پس از استخراج دبی با تداوم و دورهٔ بازگشت‌های مورد نظر، منحنی‌های دبی- مدت – فراوانی هر ایستگاه ترسیم شد. در شکل ۳ منحنی‌های دبی- مدت- فراوانی ایستگاه سموش مشاهده می‌شود. همچنین منحنی دبی- تداوم برای ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه ترسیم شد که شکل ۴ نحوهٔ تغییرات دبی را با افزایش تداوم کم آبی نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر جریان کم سالانه (مترمکعب بر ثانیه) با دوره بازگشت‌ها و تداوم‌های مختلف در ایستگاه سموش

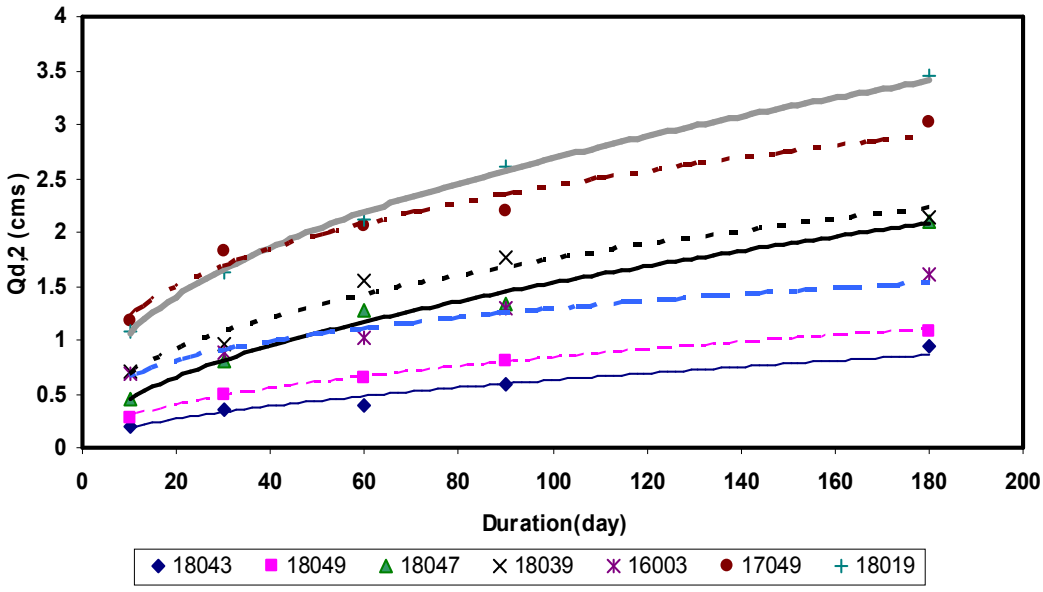
احتمال وقوع	دوره بازگشت (سال)	۱۰ روزه	۳۰ روزه	۶۰روزه	۹۰ روزه	۱۸۰ روزه
۰/۵	۲	۱/۰۴	۱/۵۲	۲/۳۸	۳/۰۹	۳/۹۸
۰/۳۳۳	۳	۰/۹۵	۱/۳۵	۲/۱۷	۲/۸۲	۳/۵۳
۰/۲	۵	۰/۸۵	۱/۱۹	۱/۹۴	۲/۵۵	۳/۲۴
۰/۱	۱۰	۰/۷۵	۱/۰۳	۱/۷	۲/۲۴	۲/۸۹
۰/۰۴	۲۵	۰/۶۱	۰/۸۲	۱/۳۶	۱/۸	۲/۴
۰/۰۲	۵۰	۰/۴۹	۰/۶۵	۱/۰۷	۱/۴۳	۱/۹۶
۰/۰۱	۱۰۰	۰/۳	۰/۵۲	۰/۸۵	۱/۱۳	۱/۶۶
۰/۰۰۵	۲۰۰	۰/۱۷	۰/۳۲	۰/۶۴	۰/۸۵	۱/۴

تحلیل منطقه‌ای: در این تحقیق، ۱۲ پارامتر فیزیوگرافیکی ویک پارامتر اقلیمی حوضه‌های استان گیلان با استفاده از نرم افزار Arcview تعیین و میزان تأثیر آن‌ها در جریان کم رودخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این پارامترها عبارتند از مساحت حوضه، محیط حوضه، طول آبراهه اصلی، ضریب گراویلیوس، ضریب شکل، شیب متوسط وزنی حوضه، شیب آبراهه اصلی، طول حوضه، تراکم زهکشی، نسبت دایره‌ای، ضریب کشیدگی، ارتفاع متوسط حوضه و بارش متوسط سالانه. جدول ۳ خلاصه مشخصات فیزیوگرافی ۳۵ حوضه‌ی انتخابی در استان گیلان را نشان می‌دهد. لازم به ذکر

است که منحنی‌های هم باران سالانه از روش میان‌یابی عکس فاصله ترسیم شد و متوسط آن در ۳۵ حوضه محاسبه شد.



شکل ۳- منحنی دبی - مدت- فراوانی برای ایستگاه سموش



شکل ۴- منحنی‌های دبی- تداوم برای دوره بازگشت ۲ ساله در چند ایستگاه

پس از تعیین پارامترهای فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز منطقه، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی در نرم‌افزار SPSS، پارامترهای مستقل شناسایی شدند. به‌طورکلی برای تعیین متغیرهای مستقل، تحلیل عاملی در دو مرحله اجرا می‌شود: استخراج عاملی[1] و چرخش عامل[2].

[1] Factor extraction
[2] Factor rotation

برای تعیین تعداد عامل‌های استخراجی باید مقدار ارزش ویژه[1] را بر اساس روش مؤلفه‌های اصلی به‌منظور ارزیابی مقدار نسبی و مطلق پارامترها به‌دست آورد. جدول ۴ نتایج محاسبات استخراج عامل اولیه را نشان می‌دهد. جمع کل واریانس متغیرها در یک تحلیل عاملی، با مجموع تک تک متغیرها (۱۳ متغیر) برابر است. یک ارزش ویژه برای یک عامل برابر یا بزرگ‌تر از صفر است و نمی‌تواند از کل واریانس‌ها بزرگ‌تر باشد. درصد واریانس متغیرها بر مبنای عامل، همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود برابر است با ارزش ویژه هر عامل تقسیم بر تعداد کل واریانس متغیرها ضرب‌در ۱۰۰ . برای مثال ارزش ویژه در ارتباط با اولین عامل ۴/۸۴ است و درصد کل واریانس‌ها برای اولین عامل از ۴/۸۴ تقسیم بر ۱۳ ضرب‌در ۱۰۰ یعنی۳۷/۲۵ محاسبه می‌شود.

ارزش ویژه در تصمیم‌گیری تعداد عامل‌هایی که در تحلیل بایستی استفاده شوند نقش مهمی دارد. برای تعیین تعداد عامل‌ها بر اساس بزرگی ارزش ویژه، تمام عامل‌هایی که دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک باشند، استخراج می‌شود. با توجه به جدول ۴ نتیجه‌گیری می‌شود که چهار عامل باید چرخش شوند. ماتریس عامل چرخش شده در جدول ۵ مشاهده می‌شود. این ماتریس بارگذاری‌های عامل را که همبستگی‌های بین هر یک از متغیرها و عامل‌ها برای یک چرخش ورماکس[2] هستند، نشان می‌دهد. نسبت واریانس منظور شده برای هر عامل چرخش شده در اغلب مقالات برای نشان دادن اهمیت نسبی هر عامل گزارش می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار SPSS این محاسبات انجام و در جدول با نام (Total Variance Explained) گزارش شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، عامل‌های اول تا چهارم به‌ترتیب ۳۴/۴، ۱۸/۸، ۱۵/۸ و ۱۱/۷ درصد واریانس و در مجموع ۸۰/۸ درصد واریانس‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

در نهایت با توجه به جدول ۵ شش پارامتر مستقل انتخاب شدند که چهار عامل طول آبراهه اصلی، ضریب کشیدگی حوضه، تراکم زهکشی و شیب حوضه بر اساس بیش‌ترین ضریب همبستگی و دو عامل مساحت حوضه و بارش متوسط سالانه در ستون ۱ جدول ۵ به‌دلیل بالا بودن ضریب همبستگی و مستقل بودن ماهیت آن‌ها انتخاب شد.

جدول ۳- مشخصات پارامترهای فیزیکی حوضه‌های مورد استفاده در آنالیز منطقه‌ای

ردیف	ویژگی	علامت (واحد)	حداقل	حداکثر	متوسط
۱	ارتفاع متوسط	Have (m)	۱۲۵	۲۷۷۷	۱۱۴۲
۲	مساحت	A (km^2)	۳۳	۱۶۵۴	۳۰۱
۳	بارش متوسط سالانه	P (mm)	۴۴۶	۱۴۹۲	۹۹۳
۴	شیب متوسط وزنی	SB (%)	۱۲۲	۴۸۷	۳۱۳
۵	ضریب فشردگی	Rc	۰/۱	۰/۶۴	۰/۴۵۸
۶	ضریب کشیدگی	Re	۰/۴۲	۰/۹۳	۰/۶۱
۷	شیب رودخانه	SR (%)	۳/۱۳	۱۶/۹۷	۸/۰۱
۸	تراکم زهکشی	Dd ($kmkm^{-2}$)	۰/۱۸	۳/۸۲	۱/۰۰۹
۹	طول حوضه	LB (km)	۵/۹۸	۶۸/۷۵	۲۷/۵
۱۰	طول رودخانه	LR (km)	۱۰/۲۵	۸۱/۳۵	۳۲/۴۷
۱۱	محیط حوضه	Pir (km)	۱۵/۱۴	۳۰۹/۱	۸۶/۹۳
۱۲	ضریب گراویلیوس	Cc	۰/۳۰	۰/۶۸	۰/۴۲
۱۳	ضریب شکل	Ff	۰/۱۴	۰/۶۸	۰/۳۱

[1] Eigan value
[2] Varimax

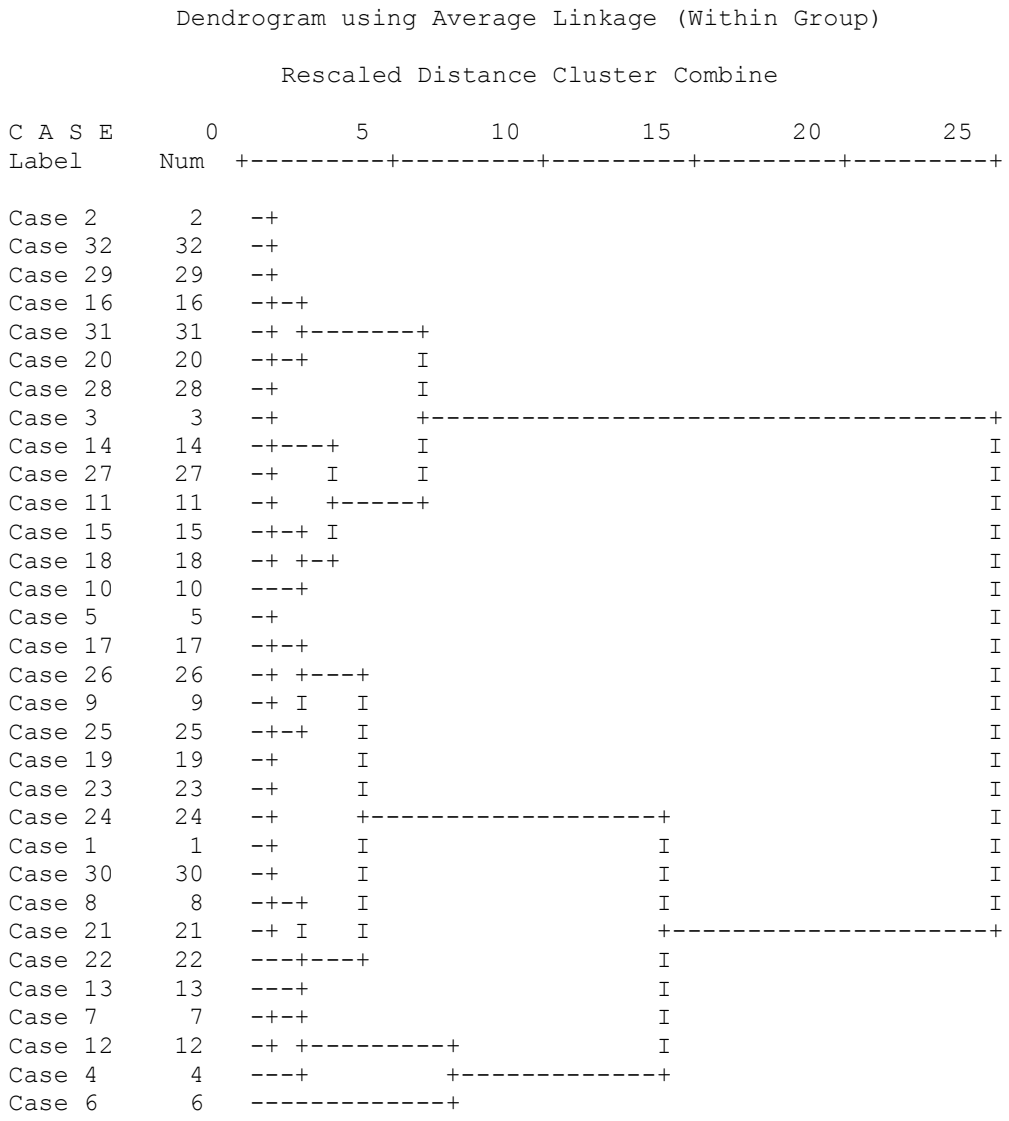
جدول ۴- استخراج عامل اولیه در آنالیز عامل

مؤلفه	ارزش ویژه اولیه			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Cum (%)	Var (%)	total	Cum (%)	Var (%)	total	Cum (%)	Var (%)	total
۱	۳۷/۲۸۵	۳۷/۲۸۵	۴/۸۴۴	۳۷/۲۸۵	۳۷/۲۸۵	۴/۸۴۸	۳۴/۴۴۳	۳۴/۴۴۳	۴/۴۷۸
۲	۵۶/۳۱۰	۱۹/۰۲۴	۲/۴۷۳	۵۶/۲۸۲	۱۹/۰۲۴	۲/۴۷۳	۵۳/۵۲۳	۱۸/۸۰۹	۲/۴۴۵
۳	۷۲/۳۴۹	۱۶/۰۳۹	۲/۰۸۵	۷۲/۳۲۱	۱۶/۰۳۹	۲/۱۸۵	۶۹/۱۱۹	۱۵/۸۶۶	۲/۰۶۳
۴	۸۰/۷۰۲	۸/۳۵۳	۱/۱۱۰	۸۰/۸۵۶	۸/۵۳۵	۱/۱۱۰	۸۰/۸۵۶	۱۳/۷۳۷	۱/۵۲۶
۵	۸۷/۸۸۱	۷/۱۷۹	۰/۹۳۳						
۶	۹۲/۸۸۳	۵/۰۰۲	۰/۶۵۰						
۷	۹۶/۰۶۶	۳/۱۸۳	۰/۴۱۴						
۸	۹۷/۸۳۶	۱/۷۷۰	۰/۲۱۷						
۹	۹۹/۰۲۹	۱/۱۹۳	۰/۱۵۵						
۱۰	۹۹/۴۸۶	۰/۴۵۷	۰/۰۰۵						
۱۱	۹۹/۷۴۹	۰/۲۶۱	۰/۰۰۳						
۱۲	۹۹/۹۲۸	۰/۱۷۹	۰/۰۰۲						
۱۳	۱۰۰	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰۵						

جدول ۵- ماتریس عامل چرخش شده از تحلیل عامل

پارامترها	Component			
	۱	۲	۳	۴
A	-۰/۸۱۲	۰/۴۴۰	۰/۰۹۸	-۰/۲۳۱
Cc	-۰/۴۸۴	-۰/۰۲۵	۰/۵۴۰	-/۰۲۳
Dd	-۰/۵۸۴	-۰/۰۰۷	۰/۸۲۱	-۰/۰۰۰۶
Ff	۰/۰۷۶	۰/۹۶۹	-۰/۰۸۱	-۰/۱۳۰
Have	۰/۵۲۵	-۰/۷۰۲	-۰/۱۴۵	۰/۳۴۷
LB	۰/۹۶۴	۰/۰۲۶	۰/۰۷۶	-۰/۱۱۶
LR	۰/۸۷۸	۰/۱۸۷	۰/۱۰۴	-۰/۲۵۰
P	۰/۸۹	۰/۰۶۴	۰/۰۰۹	-۰/۰۱۱
Pir	۰/۵۱۰	۰/۳۲۱	۰/۷۱۸	-۰/۱۱۷
Rc	-۰/۰۳۱	۰/۴۰۵	-۰/۸۵۴	-۰/۰۵۸
Re	۰/۰۰۸	۰/۹۷۹	-۰/۰۸۲	-۰/۱۱۰
SB	۰/۰۹۸	-۰/۰۸۳	۰/۱۲۴	۰/۸۶۳
SR	-۰/۳۴۵	-۰/۱۸۷	-۰/۱۹۰	۰/۶۸۲

در تعیین زیرحوضه‌های همگن، ۳۵ زیرحوضه گیلان با استفاده از پارامتر دبی ویژه جریان‌های کم ۱۰ روزه- ۱۰ساله مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای دو بار خوشه‌بندی در نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. در بار اول از پارامتر مساحت و دبی ویژه و در بار دوم از شش پارامتر مستقل و دبی ویژه جریان استفاده شد. در شکل ۵ دندروگرام حوضه‌ها که اساس همگن‌بندی است، ملاحظه می‌شود و در شکل ۶ موقعیت حوضه‌های همگن در استان گیلان نمایش داده شده است. در مجموع محدوده همگن A شامل ۱۴ زیر حوضه و محدوده B شامل ۱۸ زیر حوضه است و تعداد سه زیر حوضه نیز در مناطق همگن A و B قرار نگرفتند.



شکل ۵- دندروگرام حوضه‌های همگن

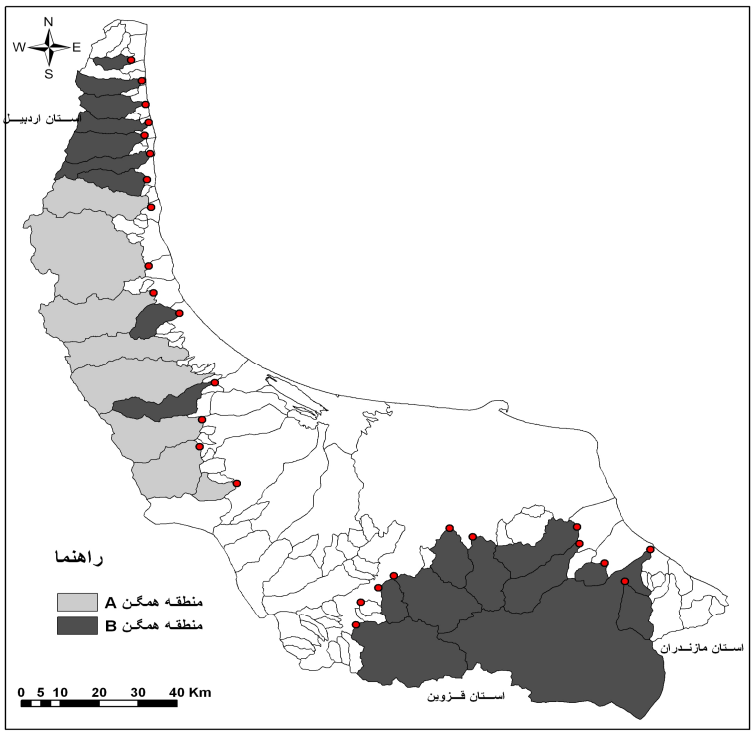
با استفاده از آزمون t، مؤثرترین پارامترها برای تخمین جریان‌های کم تعیین شد و مدل‌های منطقه‌ای جریان کم در دو حالت یکی بر اساس مساحت و دیگری بر اساس پارامترهای اصلی (چند متغیره)، بسط داده شد. همان‌گونه که جداول (۶ و ۷) نشان می‌دهد، دقت روش چند متغیره نسبت به روش مساحت، بیش‌تر است. شکل ۷ روند تغییرات صعودی دبی نسبت به مساحت حوضه را در محدوده همگن A و B را نشان می‌دهد.

با توجه به این که مساحت حوضه مهم‌ترین پارامتر در تخمین جریان کم شناخته شد، ابتدا مدل رگرسیونی منطقه‌ای بر اساس مساحت حوضه در محدوده‌های همگن A و B استخراج شد. در منطقهٔ همگن A و B، مدل‌های منطقه‌ای با تداوم‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و۱۸۰ روزه و دورهٔ بازگشت دو ساله با انواع مختلف خطی، توانی، لگاریتمی و نمایی به‌وسیله نرم افزار SPSS تهیه شد. جدول (۶) به‌عنوان نمونه، مدل‌های منطقه‌ای جریان کم ۳۰روزه با دوره بازگشت ۱۰ ساله مربوط به منطقه همگن A و B را نشان می‌دهد.

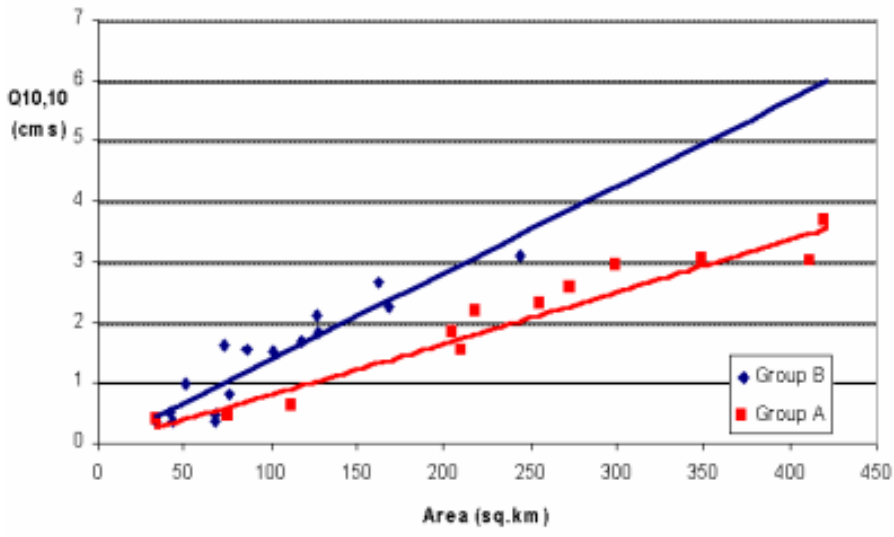
همچنین، پس از انتخاب پارامترهای مستقل و تشخیص مؤثرترین عوامل در برآورد جریان‌های کم، با استفاده از روش رگرسیون گام به گام پارامترهای مساحت (A)، بارش متوسط سالانه (P) و شیب متوسط وزنی (SB) حوضه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها انتخاب شدند. با انتخاب این عوامل، مدل منطقه‌ای چند متغیره از نوع خطی، نیمه لگاریتمی و لگاریتمی برای برآورد جریان‌های کم با تداوم‌ها و دورهٔ بازگشت‌های مختلف تهیه شد. جداول ۷ و ۸

به‌ترتیب مدل‌های چند متغیره برای جریان کم با تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف در مناطق همگن A و B را نشان می‌دهند.

برای بررسی دقت مدل دبی- مساحت و مدل چند متغیره، از یک ایستگاه شاهد با دوره آماری نسبتاً طولانی و با خصوصیات فیزیکی نزدیک به مقدار متوسط خصوصیات حوضه‌ها استفاده شد. مقدار دبی‌های کم با دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه شاهد بر اساس تحلیل فراوانی با دبی کم حاصل از روابط منطقه‌ای مقایسه شد. نتیجه مقایسه نشان‌دهنده نزدیک بودن مقادیر است (جدول ۹). شکل ۸ میزان دقت مدل نسبت به افزایش دوره بازگشت و شکل ۹ همبستگی میان دبی‌های مشاهده‌ای (بر اساس تحلیل فراوانی) و برآورد مدل چند متغیره را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نقشه نواحی همگن استان گیلان



شکل ۷- تغییرات جریان کم ده روزه- ده ساله ($Q_{10,10}$) نسبت به مساحت در حوضه‌های همگن A و B

جدول ۶- مدل دبی- مساحت برای جریان کم ۳۰ روزه ۱۰ ساله در محدوده همگن A و B

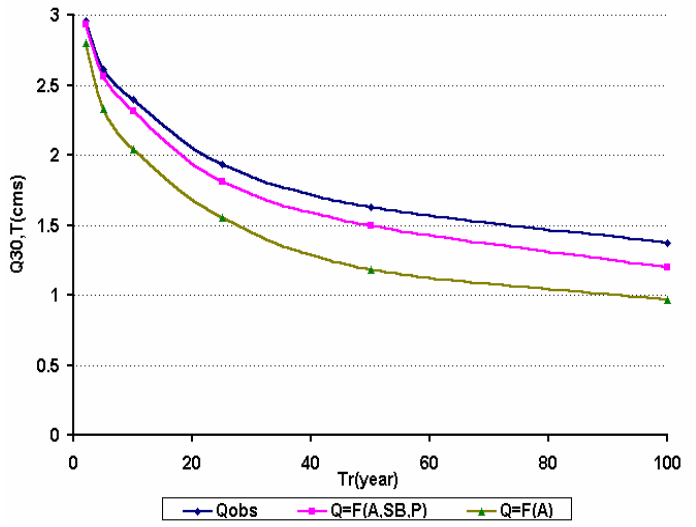
مدل	رابطه منطقه‌ای (ناحیه A)	مربع ضریب همبستگی (R^2)	خطای استاندارد (SE)	سطح معنی داری (sig)
خطی	$0.0333A + 0.0096Q =$	۰/۸۵	۰/۴۹	۰/۰۱
توانی	$A^{0.9035} + 0.0161Q =$	۰/۸۴	۰/۲۹	۰/۰۱
لگاریتمی	$5.4667\,Ln(A) - 1.474Q =$	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۰۲
نمایی	$A^{0.0056}e0.5041Q =$	۰/۸۵	۰/۲۸	۰/۰۲
(ناحیه B)				
خطی	$0.0401A + 0.0094Q =$	۰/۷۹	۰/۳۱	۰/۰۱
توانی	$A^{1.1914} + 0.0034Q =$	۰/۷۸	۰/۴۵	۰/۰۱
لگاریتمی	$3.2619\,Ln(A) - 1.9331Q =$	۰/۷۳	۰/۳۲	۰/۰۱
نمایی	$A^{0.0112}e0.2249Q =$	۰/۶۲	۰/۵۰	۰/۰۲

جدول ۷- بهترین مدل چند متغیره برای تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف جریان کم منطقه همگن A

تداوم جریان (روز)	دوره بازگشت (سال)	معادله چند متغیره	ضریب تعیین
۱۰	2	$Q = 0.010A + 0.002P + 0.006SB - 2.2227$	0.96
	10	$Q = 0.008A + 0.001P + 0.005SB - 1.281$	0.98
	50	$Q = 0.006A + 0.0005P - 0.0016SB - 0.612$	0.86
۳۰	2	$Q = 0.0115A + 0.0034P - 0.0026SB - 2.3261$	0.94
	10	$Q = 0.0095A + 0.0019P - 0.0032SB - 1.4775$	0.94
	50	$Q = 0.0068A + 0.0005P + 0.0073SB - 0.5403$	0.9
۶۰	2	$Q = 0.0154A + 0.004P - 0.0154SB - 2.6448$	0.91
	10	$Q = 0.0116A + 0.0021P - 0.0041SB - 1.6144$	0.94
	50	$Q = 0.008A + 0.0007P + 0.0082SB - 0.7967$	0.93
۹۰	2	$Q = 0.0191A + 0.0056P - 0.0136SB - 4.0532$	0.94
	10	$Q = 0.0134A + 0.0029P - 0.0002SB - 2.3192$	0.93
	50	$Q = 0.0094A + 0.0015P + 0.0069SB - 1.3895$	0.92
۱۸۰	2	$Q = 0.0221A + 0.0063P - 0.0034SB - 4.804$	0.93
	10	$Q = 0.016A + 0.004P + 0.0105SB - 3.3160$	0.92
	50	$Q = 0.011A + 0.002P + 0.0156SB - 1.822$	0.9

جدول ۸- مدل‌های بهترین مدل چند متغیره برای تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف جریان کم منطقه همگن B

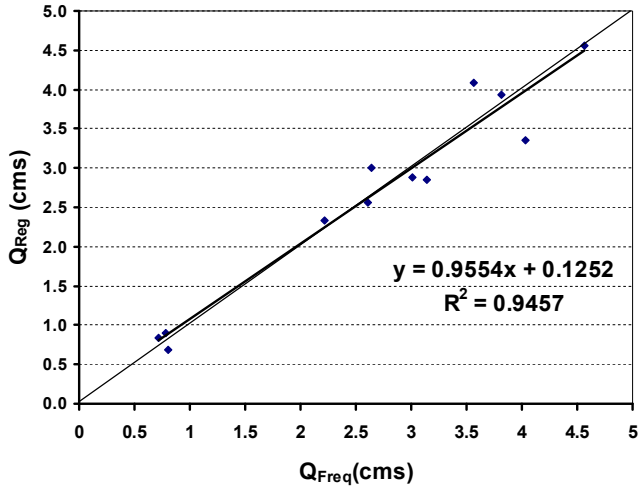
تداوم جریان (روز)	دوره بازگشت (سال)	معادله چند متغیره	ضریب همبستگی
۱۰	2	$Q = 0.0146A - 0.0007SB - 0.0004P + 0.1592$	0.90
	10	$Q = 0.0079A + 0.0046SB - 0.00008P - 0.2141$	0.85
	50	$Q = 0.0048A + 0.0006SB - 0.0001P + 0.0159$	0.8
۳۰	2	$Q = 0.0151A + 0.0082SB - 0.00042P + 0.1067$	0.93
	10	$Q = 0.0089A + 0.0101SB + 0.00052P - 0.9404$	0.88
	50	$Q = 0.0068A - 0.0015SB + 0.000008P - 0.06666$	0.87
۶۰	2	$Q = 0.0186A + 0.0195SB + 0.00024P - 0.9659$	0.91
	10	$Q = 0.0160A + 0.0050SB + 0.00029P - 0.7917$	0.92
	50	$Q = 0.0116A - 0.0033SB + 0.0002P - 0.4298$	0.91
۹۰	2	$Q = 0.0264A - 0.0071SB + 0.00015P - 0.1592$	0.93
	10	$Q = 0.0190A + 0.0130SB + 0.00159P - 2.5043$	0.93
	50	$Q = 0.0153A - 0.00088SB + 0.00055P - 0.99916$	0.93
۱۸۰	2	$Q = 0.0334A - 0.0037SB + 0.00013P - 0.1661$	0.92
	10	$Q = 0.0267A + 0.0013SB + 0.00085P - 1.3519$	0.94
	50	$Q = 0.0167A + 0.0180SB + 0.0016P - 2.5878$	0.92



شکل ۸- مقایسه دبی تحلیل فراوانی با مدل دبی- مساحت $Q=f(A)$ و مدل چند متغیره $Q=f(A, SB, P)$

جدول ۹- مقادیر حاصل از تحلیل فراوانی (Q_{Freq}) و مدل منطقه ای (Q_{Reg}) جریان کم ۳۰ روزه در ایستگاه شاهد (کد۱۶۰۸۹)

T (سال)	Q_{Freq} (cms) مشاهده‌ای	Q_{Reg} (cms) مدل چند متغیره	قدر مطلق خطا (cms)	درصد خطا
۲	۲/۹۶	۲/۹۳	۰/۰۳	۱/۰۱
۵	۲/۶۱	۲/۵۶	۰/۰۵	۲/۰۶
۱۰	۲/۴۰	۲/۳۱	۰/۱۶	۶/۶۷
۲۵	۱/۹۳	۱/۸۱	۰/۱۲	۶/۲۲
۵۰	۱/۶۳	۱/۵۰	۰/۱۳	۶/۹۸
۱۰۰	۱/۳۷	۱/۲۰	۰/۱۷	۱۲/۴۱



شکل ۹- همبستگی دبی تحلیل فراوانی و تخمینی بر اساس مدل چند متغیره در ناحیه A و دوره بازگشت ۱۰ ساله برای جریان ۳۰ روزه

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که پارامترهای مساحت، شیب متوسط و بارش متوسط سالانه از جمله عوامل مؤثر اصلی در مقدار جریان‌های کم سالانه در حوضه‌های استان گیلان هستند. همچنین مدل رگرسیونی چند متغیره مدل دقیق‌تری نسبت به مدل دبی- مساحت در برآورد مقدار جریان کم در نقاط بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه و حوضه‌های فاقد ایستگاه منطقه مورد تحقیق است. همچنین روش خطی در مدل رگرسیونی تک متغیره مساحت و چندمتغیره نسبت به روش‌های نمایی، لگاریتمی و توانی دقت بیش‌تری را نشان می‌دهد. سایر نتایج عمده عبارتند از:

۱. در منطقه مورد تحقیق با توجه به اقلیم مرطوب و پر باران کوهستانی، توزیع لوگ پیرسون تیپ III برای تداوم‌های بالای ۶۰ روز و لوگ نرمال برای تداوم‌های کم‌تر از ۶۰ روز مناسب تشخیص داده شد.
۲. در منطقه گیلان سه پارامتر مساحت، بارش متوسط سالانه و شیب متوسط حوضه بیش‌ترین تأثیر در مقادیر دبی‌های کم دارند. با وجود آن‌که مدل چند متغیره نسبت به مدل دبی- مساحت به مراتب دقت بیش‌تری ارائه می‌کند، لیکن مدل جریان با مساحت نیز در مجموع قابل قبول بوده و انجام محاسبات تعمیم مکانی را تسهیل می‌نماید.
۳. مدل‌های منطقه‌ای توسعه یافته در این تحقیق خاص منطقه گیلان است و باید اعتبار آن‌ها در مناطق با اقلیم‌های متفاوت مورد آزمون قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. اسلامیان، س.، ر. زارعی و ا. ابریشم‌چی. ۱۳۷۹. پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک. کنفرانس بین المللی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان.

۲. وفاخواه، م.، م. مهدوی و م.ر. قنادها. ۱۳۷۸. انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع آماری جهت بر آورد جریان‌های حداقل یک و هفت روزه. پژوهش و سازندگی، شماره ۴۴، صفحه ۳۰-۲۶.

3. Maidment, D.R. 1993. Handbook of Hydrology. McGraw Hill International.
4. McMahon, T.A. and R.J. Nathan. 1991. Estimating low flow characteristic in ungaged catchments. Center for Environmental Applied Hydrology, University of Melbourne, 60 p.
5. Riggs, H.C. 1990. Estimation of flow characteristics at ungauged sites. In: M.A. Beran, M. Brilly, A. Becker and O. Bonaca (Eds.), Regionalization in Hydrology, IAHS, 190:159-170.
6. Rozhdestvenski, A.V. and A.I. Chebotarer. 1974. Statistical Methods in Hydrology. Gidrometeoizdat, Leningrad, 422 p.
7. Thomas, D.M. and M.A. Benson. 1970. Generalization of streamflow characteristics from drainage basin characteristics. USGS Water Supply Paper 1975.

8. Waltemeyer, S.D. 2002. Analysis of the magnitude and frequency of the 4-day annual low flow and regression equations for estimating the 4-day, 3-year low-flow frequency at ungaged sites on unregulated streams in New Mexico. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 01-4271.
9. Warner, G.S., R.A. Garcia-Martion and N.F. Scatena. 2003. Watershed characterization by GIS for low flow prediction. GIS for Water Resources and Watershed Management. Chap 9. John Wiley, Inc.

Estimation of low flows in un-gauged location using multivariate regression model

Bahram Saghafian[1], Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
Saman Mohammadi, MSc, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
Bagher Ghermezchshme, MSc, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 15 November 2008 **Accepted**: 05 May 2009

Abstract

Calculating low flow characteristics is very important for planning of water diversions; providing water for hydropower, water quality threshold in streams, water supply for cities and industries and estimate of sewerage discharge threshold. The objective of this research is analyzing low flow with different duration and return periods and extracting low flow regional models for locations without hydrometric station. This research was carried out in Gilan province where 35 hydrometric stations with long-term and reliable daily discharge data were selected. Low flows of durations 10, 30, 60, 90 and 180 days were estimated. Using frequency analysis, several statistical distributions were examined and log Parson Type 3 was found the best distribution for flow duration over 60 days and log normal best fitted flow durations shorter than 60 days. Then low flows of different return periods including 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 200 year were calculated. Independent factors were identified using factor analysis that included basin area, mean annual rainfall, slope, average elevation, and drainage density. Cluster analysis divided the basins in two homogeneous regions. In each homogeneous region, multivariate regression through step-by-step method determined basin area, mean annual rainfall and slope as independent influential parameters in low flow regional models. Regional models were extracted for low flow with various durations and return periods.

Key words: Cluster analysis, Factor analysis, Gilan, Iran, Regional analysis

[1] b.saghafian@gmail.com