# آنالیزمنطقه‌ای جریان‌های کم درحوزه‌های آبخیزاستان تهران[۱]

مسعود سمیعی[۲] محمد مهدوی[۳] بهرام ثقفیان[۴] محسن محسنی ساروی[۵]

## چکیده

درطراحی و اجرای پروژه‌های آبی کوچک در کشور عمدتا به برآورد سیل توجه شده و به مساله خشکسالی در برنامه ریزی منابع آب کمتر اهمیت داده شده است. در این تحقیق برای برآورد جریان کم با تداوم۳۰ روزه درحوزه‌های آبخیزدر استان تهران تعداد ۱۲ ایستگاه هیدرومتری که دارای شرایط مناسب از نظرطول دوره آماری بودند، انتخاب شد.سپس آمار دبی حداقل ۳۰ روزه ایستگاه‌های منتخب استخراج شد و مقادیرجریان کم در دوره بازگشت‌های مختلف تعیین گردید. به منظور تعیین حوزه‌های آبخیز همگن ۱۹ پارامتر موثر در رژیم جریان کم مانند پارامترهای مورفومتری، اقلیمی‌و زمین شناسی به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی برآورد گردید.با استفاده از روش آماری تجزیه و تحلیل عاملی از بین ۱۹ پارامتر موثر در رژیم جریان کم که کمترین همبستگی را با هم نشان دادند، انتخاب شدند. این عوامل به ترتیب اهمیت شامل مساحت، بارش متوسط سالانه، متوسط وزنی نفوذ پذیری ناچیز و شیب متوسط حوزه بودند که ۳۶/ ۹۹درصد از تغییرات در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهند. سپس مناطق همگن هیدرولوژیک با استفاده از روش تجزیه و تحلیل خوشه ای مشخص گردید. در ادامه، تحلیل منطقه‌ای به روش‌های رگرسیون چندگانه و شاخص جریان کم برای مناطق همگن و کل منطقه صورت گرفت. در نهایت به منظور مقایسه و ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های برآوردی اطلاعات چهار ایستگاه شاهد مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس مدل‌های منطقه‌ای و با مقادیر متکی بر ایستگاه‌های شاهد مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، روش رگرسیون چند متغیره دقیقتر از روش شاخص جریان کم می‌باشد. این نتایج با نتایج عمده تحقیقات همخوانی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** *تحلیل منطقه‌ای، جریان کم، تحلیل فراوانی، تجزیه و تحلیل عاملی، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای.*

---

[۱] -تاریخ دریافت:۸۱/۱۲/۲۱، تاریخ پذیرش:۸۲/۱۰/۲۹

[۲] -کارشناس ارشد مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری (E-mail:massamiee@yahoo.com)

[۳] - استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۴] - دانشیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

[۵] - دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

## مقدمه

برآورد جریان کم در مناطق با آمار محدود یا فاقد آمار یکی از مسایل مهم در برنامه‌ریزی منابع آب است. یک مسئله اساسی در تحلیل منطقه‌ای جریان کم، تخمین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف است، که بر اساس روابط منطقه‌ای صورت می‌گیرد. تعیین حوضه‌های همگن از نظر هیدرولوژیکی با استفاده از پارامترهای مورفولوژی، اقلیمی و شاخص زمین شناسی موثر بر واکنش هیدرولوژیک و برآورد و آزمون روابط منطقه‌ای جریان‌های کم با تداوم‌های مختلف و با دوره بازگشت‌های مختلف مسئله اساسی این مقاله است. آب از طرفی عامل ایجاد سیل و در پی آن خسارات مالی و جانی فراوانی می‌شود و از طرف دیگر کمبود آن (خشکسالی ) باعث نابودی و تغییر اساسی در اکوسیستم‌ها می‌شود.کاهش آثار خشکسالی نیاز به برنامه‌ریزی و تحلیل پیش بینی این پدیده دارد. جهت نیل به این هدف داشتن شناخت دوره‌های خشکسالی بخصوص در مناطق خشک، برآورد شدت خشکسالی و شناخت عوامل موثر بر جریان‌های کم لازم می‌باشد (۵). مطالعات محدودی در زمینه تحلیل منطقه‌ای جریان‌های کم در سراسر جهان و ایران نسبت به جریان‌های سیلابی صورت گرفته است.

بیشتر مطالعات نشان داده است که برآوردهای جریان کم مشکل‌تر از سایر جریان‌ها می‌باشد(۱۴). ویژگی‌های جریان‌های کم با ویژگی‌های حوزه آبخیز و متغیرهای آب و هوایی مرتبط است. عمده ویژگی‌های حوزه و آب و هوایی اثرگذار بر جریان کم عبارتند از: مساحت، بارش متوسط سالیانه، شیب رودخانه، شیب حوزه، فرکانس رودخانه یا تراکم زهکشی، درصد سطح دریاچه‌ها و نواحی جنگلی، شاخص‌های ژئولوژی و خاک، طول رودخانه اصلی، شکل حوزه و محیط آبخیز و ارتفاع متوسط حوزه (۱۳). رابطه بین جریان رودخانه و پارامترهای توپوگرافی، آب و هوایی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی برای بیشتر مناطق ایجاد شده است (۹).

تامی‌و دورانز [۱] (۱۹۹۶) با مطالعه بر روی ۱۲۸ ایستگاه در ایالت آلاباما‌ی آمریکا دریافتند که توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ می‌تواند برای مدل منطقه‌ای جریان‌های کم مورد استفاده قرار گیرد. طول متوسط آماردر آن تحقیق ۲۲ سال بود(۱۰). زارعی(۱۳۷۶ ) با مطالعه ۱۸ ایستگاه در استان مازنداران توزیع لوگ پیرسون نوع سوم را به‌عنوان بهترین توزیع برا ی تداوم‌های مختلف معرفی کرده‌اند(۳).

مطالعه‌ای در ویرجینای غربی توسط رانر وفری [۲] (۱۹۷۰) نشان داده که حداقل جریان ۷ روزه با دوره بازگشت ۱۰ ساله در حوزه اوهایو با ۵ پارامتر مساحت حوزه آبخیز، ارتفاع متوسط، درصد پوشش جنگلی، شاخص خاک و متوسط بارش برف سالانه ارتباط معنی‌داری دارد(۱۳).

رایت [۳] (۱۹۷۴) یک مدل منطقه‌ای جریان کم برای جنوب شرقی انگلستان به دست آوردکه در آن رابطه ای بین حداقل جریان متوسط ماهانه در سال و پارامترهای مساحت حوزه، بارش متوسط سالیانه، شاخص زمین‌شناسی، متوسط بارش تابستانه، متوسط بارش زمستانه (اکتبر تا مارس) برقرار شد( ۱۴). وگل [۴] (۱۹۹۲) در ۲۳ آبخیز در غرب ماساچوست رابطه جریان کم را با ویژگی‌های حوزه آبخیز برقرار کرد و در مدل نهایی مساحت حوزه(A)، شیب متوسط حوزه(S) و ثابت بازگشت جریان پایه(Kb) را به کار برد (۱۵).

مارتینو [۵] و همکاران (۱۹۹۶) در مناطق مرطوب پورتوریکو [۶] رابطه بین جریان‌های حداقل ۷روزه با دوره بازگشت ۱۰ و ۳۰ ساله و جریان ۷ روزه با دوره بازگشت ۲ ساله را با ویژگی‌های حوزه مرتبط دانسته و در مدل نهایی تراکم زهکشی، نسبت طول انشعابات به طول آبراهه اصلی، درصد مساحت با شیب شمالی و شیب متوسط حوزه بکار

---

۱-Tomie & Durrans
۲-Runner & Fery
۳-Wright
۴-Vogel
۵-Martino
۶-Puero-Rico

رفت(۱۲). یو[1] و همکاران(۲۰۰۲) مدل‌های رگرسیونی را برای ۳۴ ایستگاه در جنوب تایوان به دست آوردند و در رابطه به دست آمده، مساحت آبخیز، شیب حوزه و ضریب بازگشت به‌کار رفته است. این ۳۴ حوزه به ۳ منطقه همگن تقسیم شد(۱۸).والت مایر[2] (۲۰۰۲) برروی ۴۰ و ۵۰ ایستگاه هیدرومتری در دو منطقه درنیومکزیکو عوامل مساحت، بارش متوسط سالیانه و شیب متوسط حوزه را در مدل‌های رگرسیونی برای جریان کم ۴ روزه با دوره بازگشت ۳ سال به‌دست آورد(۱۶). وارنر[3] و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از ۱۹ ایستگاه هیدرومتری در پورتوریکو دو مدل رگرسیونی برای برآورد جریان کم۷ و۳۰ روزه با دوره بازگشت ۱۰سال به دست آورندکه عوامل آن شامل مساحت، شیب متوسط حوزه و نسبت طول انشعاب به طول آبراهه اصلی بود(۱۷). موسوی (۱۳۷۸)توزیع لوگ پیرسون نوع سوم را برای جریان‌های کم۱و۷ روزه در ۱۹ ایستگاه در حوزه آبخیز دریاچه نمک به عنوان بهترین توزیع معرفی کرد. بر اساس شش متغییر مساحت، بارندگی متوسط سالیانه، ارتفاع حداقل، ضریب گراولیوس، درصد متوسط وزنی سازندهای نفوذپذیر و تراکم آبراهه، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای انجام دادند و سه گروه همگن به‌دست آورد(۶). زارعی (۱۳۷۶) در منطقه مازندران برای ارزیابی روش‌های تحلیل منطقه‌ای که از روش رگرسیون و شاخص جریان کم استفاده کرد نشان داد که روش استفاده از رگرسیون چند متغییره برای ایجاد رابطه بین جریان کم و با یک دوره بازگشت خاص و ویژگی‌های حوضه، ساده‌ترین و دقیق‌ترین روش تحلیل منطقه‌ای جریان کم در منطقه مورد مطالعه است. همچنین در رابطه بین جریان حداقل با دوره بازگشت ۱۰ ساله عامل مساحت به‌کار برده شده است(۳).

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه بین ′۱۴ °۳۵ تا ′۱۷ °۳۶ عرض شمالی و ′۱۴ °۵۰ تا ′۶ °۵۳ طول شرقی قرار گرفته است، این استان از شمال به رشته کوه‌های البرز و از جنوب به استان قم از شرق به استان سمنان و از غرب به استان قزوین محدود می‌شود. رشته کوه‌های البرز با جهت شرقی همانند دیواری بلند این استان را از حوزه‌های شمالی آن یعنی گیلان و مازندران جدا می‌کند، شکل(۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### تعیین محدوده زیر حوزه آبخیز هر ایستگاه و استخراج ویژگی‌های فیزیوگرافی

منطقه مورد مطالعه به دوازده زیر حوزه تقسیم بندی شد و سپس در هر زیر حوزه عوامل موثر در رژیم آبی انتخاب شد.مقادیر این پارامترها در جدول (۱) آمده است.

### به‌دست آوردن سری زمانی ۳۰روزه

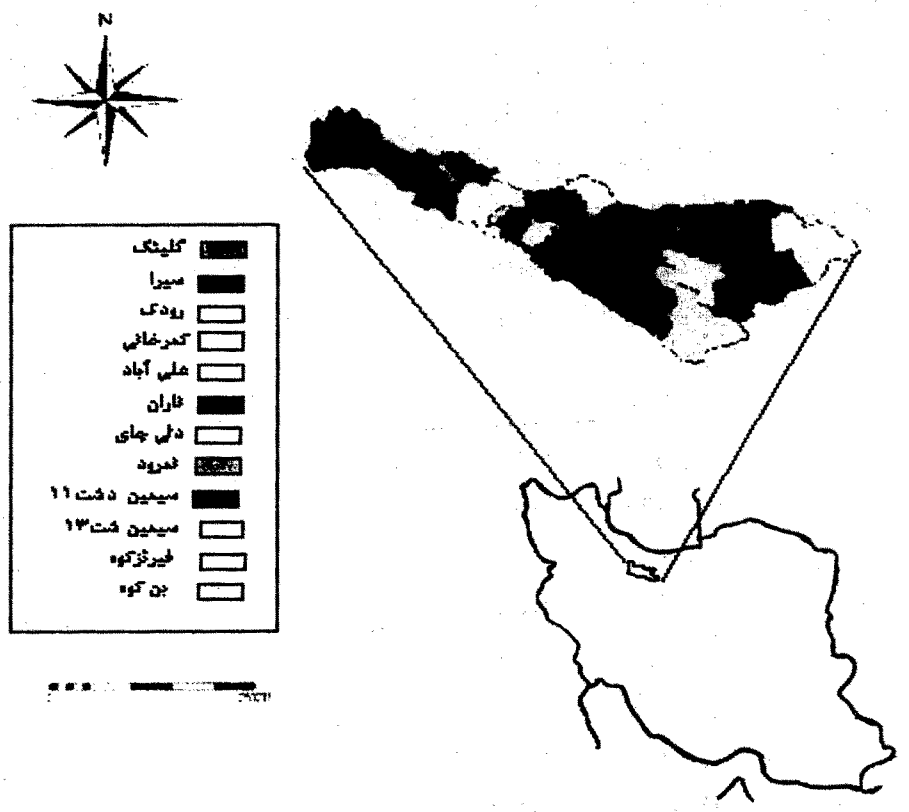
جریان کم سالیانه را می‌توان به صورت کمترین جریان متوسط روزانه در طول یک سال تعریف کرد ولی معمولاً جریان‌های کم روزانه تحت تاثیر بالا دست هستند. برای رفع این مشکل جریان کم سالانه به صورت کمترین جریان کم متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۳۰،۶۰،۹۰و..روز در طول یک سال تعریف می‌شودیعنی جریان کم d روزه (یا تداوم d روزه) در یک سال کمترین مقدار میانگین‌های متحرک d روزه جریان‌های روزانه در آن سال است. اصولا در مطالعات جریان کم از دبی‌های ۷ روزه استفاده می‌شود ولی به علت اینکه در منطقه مورد مطالعه دبی‌های ۷ روزه مقادیری نزدیک به صفر دارند، به این دلیل از میانگین متحرک ۳۰روزه در این مقاله استفاده شده است(جدول ۲).

### تعیین توزیع آماری مناسب

درمرحله اول انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال منطقه‌ای در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در هر یک از ۱۲ ایستگاه هیدرومتری صورت گرفت. هرسری آماری به هریک از هفت تابع توزیع (ذکر شده درجدول۳) مورد تحلیل قرار گرفته و از آزمون میانگین انحراف نسبی برای انتخاب بهترین برازش استفاده گردید، به طوری‌که به کمترین مقدار انحراف نسبی نمره یک و به بیشترین مقدار

---

۱_Yue
۲_Waltmeyer
۳_Warner




شکل۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز تا محل ایستگاه‌های آبسنجی منتخب در منطقه مورد مطالعه

| رودخانه | ایستگاه | بارندگی متوسط | فاکتور شکل واحد | ضریب هورتن | ضریب شیوم | ضری میلر | ضریب گراویلیوس | تراکم زهکشی | شیب آبراهه | مجموع طول آبراهه | ارتفاع متوسط حوزه | شیب متوسط حوزه | طول آبراهه اصلی | طول حوزه | محیط | مساحت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کرج | سیرا | ۵۴۸ | ۱.۲۹ | ۰/۴۲ | ۰/۷۵ | ۰/۴۱ | ۱/۵ | ۰/۷۸ | ۲۹/۹ | ۵۴۶ | ۲۸۸۵ | ۳۹/۵ | ۶۲ | ۴۰ | ۱۴۷/۵ | ۷۲۰ |
| کرج | رودک | ۵۴۵ | ۱.۳۹ | ۰/۵۱ | ۰/۸ | ۰/۵۷ | ۱/۳ | ۰/۴۹ | ۲۴/۲۶ | ۲۳۰ | ۲۷۳۸ | ۳۹ | ۳۰/۲۵ | ۳۰ | ۱۱۰/۳ | ۴۶۰/۶ |
| طالقانرود | گلینک | ۵۵۴ | ۱.۴۹ | ۰/۴۴ | ۰/۷۵ | ۰/۵۸ | ۱/۳ | ۰/۵۲ | ۱۶/۹ | ۳۷۴ | ۲۷۳۳ | ۳۱ | ۴۴ | ۴۰ | ۱۲۴ | ۷۱۲ |
| جاجرود | علی آباد | ۵۱۱ | ۱.۷ | ۰/۳۴ | ۰/۶۵ | ۰/۵۶ | ۱/۱۲ | ۰/۴۷ | ۲۴/۵ | ۵۰ | ۲۳۹۰ | ۲۵/۹ | ۱۲/۸ | ۱۷/۵ | ۴۸ | ۱۰۴/۵ |
| لار | دلی چای | ۵۷۸ | ۱.۴ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۵۷ | ۱/۳۱ | ۰/۵۷ | ۴۲/۱۵ | ۱۱۵/۵ | ۲۳۹۸ | ۲۶ | ۳۱ | ۲۰ | ۶۶/۷ | ۲۰۱/۲ |
| امامه | کمر خانی | ۵۲۴ | ۱.۹۹ | ۰/۲۵ | ۰/۵۶ | ۰/۵۵ | ۱/۳۲ | ۰/۹۶ | ۳۳/۸ | ۳۵ | ۲۶۵۸ | ۴۰ | ۱۸ | ۱۲ | ۲۸/۶ | ۳۶/۳ |
| افجه | ناران | ۵۱۱ | ۱.۹ | ۰/۲۷ | ۰/۵۸ | ۰/۵۹ | ۱/۲۹ | ۰/۷۶ | ۱۹/۹ | ۳۲/۵ | ۲۱۵۳ | ۳۰/۱۷ | ۱۲/۶ | ۱۲/۵ | ۳۰ | ۲۴/۴ |
| حبله رود | سیمین دشت | ۲۳۶ | ۱.۳ | ۰/۵۷ | ۰/۸۵ | ۰/۴۹ | ۱/۴ | ۱/۶ | ۱۰/۹ | ۳۷۰۵ | ۲۵۳۴ | ۱۶/۸ | ۷۵ | ۶۲/۵ | ۲۳۹ | ۲۲۶۵ |
| دلی چای | سیمین دشت | ۲۵۶ | ۱.۸ | ۰/۲۸ | ۰/۶ | ۰/۴۴ | ۱/۴۸ | ۲/۰۵ | ۱۷/۸ | ۶۵۹ | ۲۳۹۰ | ۱۸/۳ | ۴۳/۱۹ | ۳۳/۷ | ۹۵/۳ | ۳۲۱ |
| حبله رود | فیروز کوه | ۲۵۰ | ۱.۸ | ۰/۵۲ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۱/۳۹ | ۱/۶۶ | ۸/۳ | ۱۰۰۰ | ۲۷۴۴ | ۱۲/۸ | ۳۸/۸ | ۳۳/۷ | ۱۲۱/۹ | ۵۹۹ |
| نمرود | نمرود | ۳۰۲ | ۱.۳۶ | ۰/۵۳ | ۰/۸۲ | ۰/۶۲ | ۱/۲۵ | ۱/۲ | ۱۱ | ۹۳۴ | ۲۶۴۱ | ۲۰/۱۹ | ۴۱ | ۳۷/۵ | ۱۲۳-۲ | ۷۵۴ |
| حبله رود | بن کوه | ۲۲۵ | ۱.۴۷ | ۰/۴۵ | ۰/۷۶ | ۰/۴۸ | ۱/۴۲ | ۱/۳۹ | ۱۲/۱۲ | ۴۶۳۲ | ۲۵۳۴ | ۱۷/۷ | ۱۱۰/۴ | ۸۵ | ۲۹۴ | ۳۳۱۲ |

**جدول ۲- آمار دبی حداقل ۳۰روزه در دوره آماری مورد نظر(متر مکعب بر ثانیه)**

| نام ایستگاه | ۴۷ | ۴۸ | ۴۹ | ۵۰ | ۵۱ | ۵۲ | ۵۳ | ۵۴ | ۵۵ | ۵۶ | ۵۷ | ۵۸ | ۵۹ | ۶۰ | ۶۱ | ۶۲ | ۶۳ | ۶۴ | ۶۵ | ۶۶ | ۶۷ | ۶۸ | ۶۹ | ۷۰ | ۷۱ | ۷۲ | ۷۳ | ۷۴ | ۷۵ | ۷۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سیرا | ۴/۹ | ۲/۸ | ۳/۵ | ۴/۲ | ۳/۹ | ۳/۶ | ۳/۷ | ۳/۹ | ۳/۸ | ۳/۷ | ۴/۲ | ۳/۸ | ۴/۲ | ۴/۴ | ۴/۷ | ۳/۱ | ۵ | ۴/۳ | ۴/۵ | ۶/۷ | ۴/۷ | ۳/۸ | ۳/۱ | ۳/۱ | ۴/۴ | ۵/۳ | ۶ | ۳/۵ | ۳/۵ | ۳/۱ |
| رودک | ۴/۲ | ۳/۲ | ۱/۷ | ۲/۵ | ۲/۵ | ۲/۲ | ۲/۱ | ۱/۸ | ۲/۲ | ½ | ۲/۵ | ۱/۹ | ۲/۷ | ۱/۹ | ۳/۶ | ۲/۴ | ۲/۵ | ۲/۷ | ۲/۳ | ۴/۱ | ۲/۴ | ۱/۹ | ۱/۸ | ۲/۳ | ۳/۴ | ۳ | ۳/۴ | ۲/۲ | ۱/۵ | ۲ |
| گلینک | ۳/۶ | ۳/۲ | ۳ | ۳/۷ | ۴/۶ | ۳ | ۲/۷ | ۳/۳ | ۲/۳ | ۲/۷ | ۳/۳ | ۲/۹ | ۳/۵ | ۲/۸ | ۳/۹ | ۳/۵ | ۵/۲ | ۳/۵ | ۳/۸ | ۵/۶ | ۲/۷ | ۲/۸ | ۲/۵ | ۲/۹ | ۳/۷ | ۳/۸ | ۴/۷ | ۲/۹ | ۲/۹ | ۳/۱ |
| کمر خانی | - | ۰ | ۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ |
| دلی چای | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ۱/۱ | ۱/۳ | ۱/۵ | ۱ | ۱ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۱/۱ | ۱/۵ | ۱/۶ | ۱/۸ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۶ |
| ناران | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۰۱ |
| سیمین دشت۱۳ | - | - | - | - | - | - | - | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۰ | ۰ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰ | ۰ | ۰/۲ | ۰ | ۰ |
| سیمین دشت۱۱ | ۶/۲ | ۲/۲ | ۲/۴ | ۳/۲ | ۵/۱ | ۴/۹ | ۲/۸ | ۴/۷ | ۳/۵ | ۴/۹ | ۲/۶ | ۰/۲ | ۳/۴ | ۰ | ۵/۷ | ۲ | ۳/۱ | ۴ | ۴/۹ | ۶/۵ | ۴/۹ | ۱/۹ | ۱/۴ | ۳/۲ | ۵ | ۲/۲ | ۲/۵ | ۴/۶ | ۲/۱ | ۳/۹ |
| فیروز کوه | ۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۱/۵ | ۰/۳ | ۰/۵ |
| بن کوه | -- | ۲/۳ | ۳/۷ | ۴/۸ | ۴/۹ | ۳/۷ | ۲/۹ | ۵/۸ | ۲/۹ | ۴/۷ | ۳/۸ | ۳/۳ | ۴/۶ | ۲/۷ | ۶/۶ | ۲/۹ | ۴/۱ | ۴/۲ | ۴/۷ | ۸/۶ | ۵/۷ | ۲/۶ | ۱/۸ | ۳/۱ | ۵/۳ | ۱/۸ | ۲/۹ | ۵/۳ | ۱/۳ | ۲/۵ |
| علی آباد | - | - | - | - | - | - | ۰ | ۰ | ۰/۲ | ۰ | ۰/۴ | ۰ | ۰/۱ | ۰ | ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۴ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۹ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۸ |
| نمرود | - | ۱/۵ | ۱/۴ | ۲/۱ | ۲/۷ | ۲/۴ | ۲/۴ | ۳/۳ | ۳/۲ | ۲/۴ | ۳/۵ | ۲/۷ | ۲/۹ | ۲/۶ | ۳/۶ | ۲/۱ | ۲/۴ | ۲/۷ | ۳/۳ | ۴/۳ | ۳/۲ | ۲/۵ | ۱/۲ | ۲/۵ | ۲/۹ | ۱/۶ | ۲/۲ | ۲/۶ | ۱/۶ | ۲/۲ |

نمره ۷ داده شد. سپس نمرات داده شده برای هر توزیع جمع زده شد. بررسی نمرات به‌دست آمده مشخص کرد که توزیع لوگ پیرسون نوع سوم مناسب‌ترین توزیع است (جدول ۴). در نهایت دبی‌های میانگین متحرک ۳۰ روزه حداقل در دوره‌های بازگشت۲ تا ۱۰۰سال بر اساس توزیع آماری برای کل ایستگاه‌ها استخراج گردید.

**جدول۳- میانگین انحراف نسبی توزیع‌های مختلف در تحلیل جریان‌های حداقل ۳۰ روزه درمنطقه مورد مطالعه**

| ایستگاه | نرمال | اولویت | لوگ نرمال۲ | اولویت | لوگ نرمال ۳ | اولویت | گاما ۲پارامتر | اولویت | پیرسون تیپ۳ | اولویت | لوگ پیرسون۳ | اولویت | گمبل | اولویت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سیرا | ۲/۶۳ | ۶ | ۲/۲۱ | ۱ | ۲/۲۸ | ۴ | ۲/۲۶ | ۲ | ۲/۲۸ | ۴ | ۲/۲۷ | ۳ | ۲/۳۵ | ۵ |
| رودک | ۵/۹۲ | ۶ | ۳/۰۸ | ۳ | ۲/۵۹ | ۱ | ۴/۰۹ | ۵ | ۲/۶۶ | ۲ | ۲/۵۹ | ۱ | ۳/۲ | ۴ |
| گلینک | ۵/۷۹ | ۷ | ۳/۸۹ | ۴ | ۲/۶۷ | ۱ | ۳ | ۴ | ۲/۹۱ | ۳ | ۳/۷۲ | ۵ | ۲/۸۸ | ۲ |
| کمر خانی | ۲۲/۶۵ | ۶ | ۹/۰۲ | ۳ | ۸/۴۱ | ۱ | ۱۱/۴۷ | ۵ | ۸/۶ | ۲ | ۸/۴۱ | ۱ | ۱۰/۶۳ | ۴ |
| دلی چای | ۳/۸ | ۲ | ۴/۲۱ | ۴ | × | ۷ | ۴/۱۱ | ۳ | ۴/۲۴ | ۵ | ۳/۷ | ۱ | ۴/۲۱ | ۴ |
| ناران | ۸/۸ | ۴ | ۶/۱۹ | ۳ | ۶/۰۹ | ۲ | ۱۳ | × | ۱۳ | ۱ | ۲۰ | ۷ | ۱۵ | ۶ |
| سیمین ۱۳ | ۴۰/۲۴ | ۶ | ۱۹/۶۲ | ۴ | ۱۳/۵۱ | ۲ | ۱۴/۷ | ۳ | ۱۴/۷ | ۳ | ۱۲/۱۶ | ۱ | ۱۹/۸۹ | ۵ |
| سیمین۱۱ | ۳/۵۸ | ۱ | ۵/۳۱ | ۲ | ۰ | ۷ | ۲۰/۳۷ | ۵ | ۱۵/۱۶ | ۳ | ۲۲/۱۹ | ۶ | ۱۹/۸ | ۴ |
| فیروزکوه | ۲۵/۸۷ | ۷ | ۹/۳۷ | ۵ | ۸/۸۴ | ۴ | ۷/۷۹ | ۲ | ۲۴/۱۳ | ۶ | ۸/۸۲ | ۳ | ۷/۷ | ۱ |
| بنکوه | ۶/۴۲ | ۷ | ۵/۷ | ۶ | ۳/۵۵ | ۱ | ۴/۳ | ۴ | ۴/۱ | ۳ | ۳/۷ | ۲ | ۴/۳۱ | ۵ |
| علی آباد | ۶۱/۹ | ۶ | ۸۴/۳۸ | ۷ | ۳۵/۶۶ | ۳ | ۲۶/۵۷ | ۲ | ۵۱/۸۱ | ۵ | ۲۲/۹ | ۱ | ۴۰/۷ | ۴ |
| نمرود | ۳/۷ | ۱ | ۶/۴۶ | ۴ | ۱۹ | ۵ | ۵/۴ | ۲ | ۳/۷ | ۱ | ۳/۷ | ۱ | ۶/۴۲ | ۳ |

جدول ۴- امتیازهای محاسبه شده برای توزیع‌های گوناگون با تداوم‌های مختلف برای منطقه مورد مطالعه

| توزیع / جریان (روز) | نرمال | لوگ نرمال دو پارامتری | لوگ نرمال سه پارامتری | گامای‌دو پارامتری | پیرسون نوع سوم | لوگ پیرسون نوع سوم | گمبل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۳۰ | ۵۵ | ۴۳ | ۲۹ | ۴۰ | ۳۹ | ۲۱ | ۳۷ |

**تجزیه و تحلیل عاملی جهت شناخت مهم‌ترین عوامل موثر بر جریان کم**

تجزیه و تحلیل عاملی برای ۱۹ متغیر ذکر شده در ۱۲ حوزه منتخب در این مطالعه انجام گرفت. با انجام تجزیه و تحلیل عاملی، ماتریس وزنی عاملی با استفاده از داده ها و تحلیل عامل اصلی و همچنین به‌کارگیری روش دوران واریماکس به دست آمد. آنچه در اینجا حایز اهمیت است، محدودنمودن تعداد عامل‌هاست، چرا که به تعداد متغیرها عامل ایجاد گردیده است. با کمک معیار KMO =۰/۶۲۹ (Kalser-Meyer-Olkin)، شش متغیرشامل مساحت، بارش متوسط سالیانه، تراکم زهکشی، مجموع طول آبراهه‌ها، متوسط وزنی نفوذ پذیری ناچیز و شیب متوسط حوزه انتخاب گردید (جدول۵). در مرحله بعد آنالیز عاملی بر اساس مهم‌ترین متغیرها بر اساس ۲، ۳، ۴ و .... عامل انجام گرفت که نتیجه نشان داد ۴ فاکتور مجموعاً ۹۹/۳۶ درصد از تغییر در داده‌های اصلی را توضیح می‌دهند. بنابراین اطلاعات حول ۴ عامل خلاصه می‌گردد (جدول ۶). این چهار عامل مساحت، بارش متوسط سالیانه، متوسط وزنی نفوذپذیری ناچیز و شیب می‌باشد ( جدول۷).

جدول۵- تست کفایت مقدار داده ها در منطقه مورد مطا لعه

| ضریب تست کفایت مقدار داده‌ها | شیب متوسط حوزه | مساحت | تراکم زهکشی | بارندگی متوسط سالیانه | مجموع طول آبراهه ها | نفوذ پذیری ناچیز |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شیب متوسط حوزه (درصد) | ۰/۷۴۰ | ۰/۰۸ | -۰/۴۴ | -۰/۷۱۱ | -۰/۲۰۹ | -۰/۰۹ |
| مساحت ($Km^2$) | ۰/۰۸ | ۰/۵۴۸ | -۰/۴۶۶ | -۰/۱۵۵ | ۰/۲۷۸ | -۱ |
| تراکم زهکشی ($Km/km^2$) | -۰/۴۴ | ۰/۴۶۶ | ۰/۵۷۹ | ۰/۸۳۵ | ۰/۲۸۸ | ۰/۴۷۲ |
| بارندگی متوسط سالیانه(mm) | -۰/۷۱۱ | ۰/۱۵۵ | ۰/۸۳۵ | ۰/۵۹۵ | ۰/۵۸۲ | ۰/۱۶۰ |
| مجموع طول آبراهه( Km | -۰/۲۰۹ | ۰/۲۷۸ | ۰/۲۸۸ | ۰/۵۸۲ | ۰/۶۴۲ | -۰/۲۷۹ |
| نفوذ پذیری ناچیز ( m/s) | -۰/۰۹ | -۱ | ۰/۴۷۲ | ۰/۱۶ | -۰/۲۷۹ | ۰/۵۴۸ |

جدول۶ - مقادیر ریشه پنهان ماتریسی و در صد واریا نس عوامل

| عامل | مقادیر ویژه اولیه | | کل | در صد واریانس | مقادیر تجمعی واریانس |
|---|---|---|---|---|---|
| | کل | درصد واریانس | | | |
| مساحت ($Km^2$) | ۳/۸ | ۶۴/۱ | ۲/۱۵ | ۳۵/۸ | ۳۵/۸۷ |
| بارندگی متوسط سالیانه( mm) | ۱/۳ | ۸۶/۴ | ۱/۸۴ | ۳۰/۶ | ۶۶/۵۴ |
| نفوذ پذیری ناچیز ( m/s) | ۰/۵۳ | ۹۵/۴ | ۱/۱۲ | ۱۸/۶ | ۸۵/۲۱ |
| شیب متوسط حوزه (درصد) | ۰/۲۳ | ۹۹/۳۶ | ۰/۸۴ | ۱۴/۲ | ۹۹/۳۶ |
| تراکم زهکشی ($Km/km^2$) | ۰/۰۲ | ۹۹/۸۵ | | | |
| مجموع طول آبراهه( Km) | ۰/۰۸ | ۱۰۰ | | | |

جدول ۷ - ماتریسی دورانی به روش دورانی واریماکس

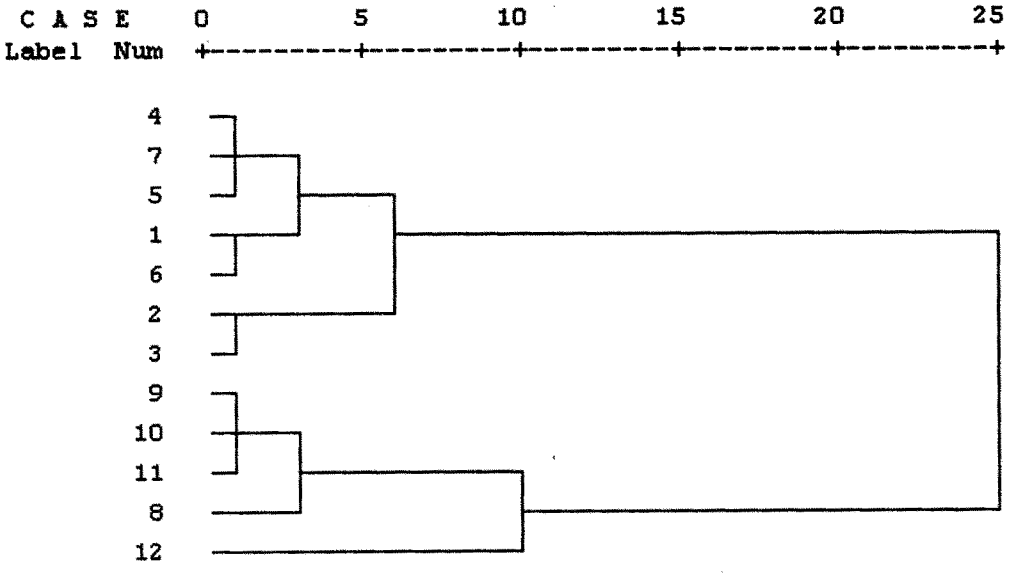
| پارامتر | عوامل | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
| شیب متوسط حوزه (درصد) | -/۲۸۸ | -۰/۴۷۲ | ۰/۳۴۷ | ۰/۷۵ |
| مساحت($Km^2$) | ۰/۹۷۴ | -۰/۱۷۷ | ۰/۰۲ | -۰/۱۲ |
| تراکم زهکشی ($Km/km^2$) | ۰/۲۱۳ | -۰/۹۳۴ | -۰/۲۰۵ | -۰/۱۸۳ |
| بارندگی متوسط سالیانه(mm) | -۰/۴۵ | ۰/۷۶۴ | ۰/۱۶۱ | ۰/۴۱۱ |
| مجموع طول آبراهه( Km) | ۰/۹۳۴ | -۲/۹۸ | -۰/۰۲ | -۰/۱۸ |
| نفوذ پذیری ناچیز ( m/s) | ۰/۰۲ | ۰/۱۹۵ | ۰/۹۶۵ | ۰/۱۷۴ |

**تعیین مناطق همگن با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای**

روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به طریق طبقاتی تجمعی برای تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک بر اساس ویژگی‌های ۱۲ حوزه شاخص آن انجام گردید. معیارهایی که برای گروه بندی در نظر گرفته شد شامل معیارهای نتایج تجزیه و تحلیل عاملی است که چهار عامل مساحت، بارش متوسط سالیانه، متوسط وزنی نفوذ پذیری و شیب متوسط حوزه به عنوان ویژگی‌های متمایز کننده مناطق همگن استفاده شد(جدول ۷). با بررسی دندروگرام حاصل و در نظر گرفتن حداکثر فاصله اقلیدسی ۱۲ دو گروه یا ۲ منطقه همگن حاصل می‌آید. حوزه‌هایی که در هر گروه قرار گرفتند به صورت زیر می‌باشند:

گروه همگن یک: سیرا(۱)، رودک(۲)، گلینک(۳)، علی اباد(۴)، دلی چای(۵)، کمر خانی(۶)، ناران(۷).

گروه همگن دو: سیمین دشت (دلی چای) (۸) و سیمین دشت (حبله رود) (۹)، فیروزکوه (۱۰)، نمرود (۱۱) و بن کوه(۱۲).




شکل۲- نمونه ای از خوشه ایجاد شده براساس مساحت، بارش، متوسط نفوذ پذیری ناچیز وشیب متوسط حوزه

## نتایج

### مدل‌های منطقه‌ای برای برآورد دبی حداقل

در این تحقیق از روش رگرسیون چند گانه و روش شاخص کم آبی استفاده شد.

### مدل‌های رگرسیون چند گانه

در تحلیل منطقه‌ای، روش رگرسیون چندگانه، عموماً برای به دست آوردن روابط بین ویژگی‌های جریان و ویژگی‌های منطقه استفاده می‌شود و مدل‌هایی به منظور برآورد جریان ارایه می‌گردد (۱، ۲و ۴). ابتدا از طریق رگرسیون گام به گام متغیرهای انتخاب شده توسط تجزیه و تحلیل عاملی (مساحت، بارندگی متوسط سالیانه، نفوذپذیری ناچیز و شیب متوسط حوزه) ضرایب هر یک از متغیرهای مستقل و ضریب ثابت مدل محاسبه گردید. نهایتاً دو دسته مدل ریاضی ارایه گردید که دسته اول مشتمل بر مدل‌های برآورد دبی حداقل با تداوم ۳۰روزه و با دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۲۵، ۱۰ و ۱۰۰ سال برای کل منطقه بدون در نظر گرفتن مناطق همگن است. (جدول ۸). دسته دوم برای ۲ گروه حوزه‌های آبخیز همگن در منطقه است که در جدول‌های (۹ و ۱۰) ارایه گردیده است.

**جدول۸- مدل‌های ارایه شده لگاریتمی‌رگرسیون چند متغیره جریان حداقل۳۰روزه کل منطقه**

| دوره بازگشت | مدل | Se | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| ۲ | LnQ= - ۱۰ / ۲ + ۱/٤٥ LnA+۲/٤٦ LnP | ۰/۲۱ | ۰/۹۲ |
| ۵ | LnQ= -۱۲ /۹۷ + ۱/۸ LnA + ۳/۰۸LnP | ۰/۲۳ | ۰/۹ |
| ۱۰ | LnQ= -۱۳ /۱۱ + ۱/۶۸ LnA + ۳/۲۲LnP | ۰/۲۴ | ۰/۸۹ |
| ۲۰ | LnQ= -۱۳ /۹ + ۱/۷ LnA + ۳/۴۷LnP | ۰/۳ | ۰/۸۵ |
| ۵۰ | LnQ= -۱۳ /۵۷ + ۱/۵ LnA + ۳/۵LnP | ۰/۴۳ | ۰/۷۸ |
| ۱۰۰ | LnQ= -۱۴ /۴۸ + ۱/۵ LnA + ۳/۸LnP | ۰/۴۳ | ۰/۷۷ |

Q : دبی حداقل بادوره بازگشت‌های مختلف است (متر مکعب بر ثانیه) A: مساحت حوزه آبخیز(کیلومتر مربع) P: بارندگی متوسط سالیانه(میلیمتر)

Se :انحراف استاندار Ln : لگاریتم طبیعی

**جدول۹ – مدل‌های ارایه شده لگاریتمی‌رگرسیون چند متغیره جریان حداقل۳۰روزه منطقه همگن یک**

| دوره بازگشت | مدل | Se | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| ۲ | LnQ= -۳/ ۵۳+ ۱/۴۶ LnA | ۰/۲۳ | ۰/۹۵ |
| ۵ | LnQ= -۴/ ۷+ ۱/۸۹ LnA | ۰/۲۴ | ۰/۹۵ |
| ۱۰ | LnQ= -۵۴ /۴ + ۱/۲۸ LnA + ۱۸/۷LnP | ۰/۲۳ | ۰/۹۸ |
| ۲۰ | LnQ= -۶۸ /۸ + ۱/۱۶ LnA + ۲۲/۸LnP+۲/۲LnS | ۰/۰۸ | ۰/۹۸ |
| ۵۰ | LnQ= -۴/ ۰۸+ ۱/۵۵ LnA | ۰/۳۴ | ۰/۸۷ |
| ۱۰۰ | LnQ= -۴/ ۱۷+ ۱/۵ LnA | ۰/۳۴ | ۰/۸۶ |

S: شیب متوسط حوزه

**جدول۱۰- مدل‌های ارایه شده لگاریتمی‌رگرسیون چند متغیره جریان حداقل۳۰روزه منطقه همگن دو**

| دوره بازگشت | مدل | Se | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| ۲ | LnQ= - ۴/ ۲۸+ ۱/۳۹ LnA | ۰/۱۲ | ۰/۹۷ |
| ۵ | LnQ= - ۴/ ۷۷+ ۱/۵ LnA | ۰/۱۵ | ۰/۹۶ |
| ۱۰ | LnQ= - ۴/ ۹۵+ ۱/۵ LnA | ۰/۲ | ۰/۹۶ |
| ۲۰ | LnQ= - ۵/ ۰۴+ ۱/۴ LnA | ۰/۳۲ | ۰/۹۵ |
| ۵۰ | LnQ= - ۵/ ۰۲+ ۱/۴۴ LnA | ۰/۴۴ | ۰/۹۲ |
| ۱۰۰ | LnQ= - ۴/ ۹+ ۱/۳۵ LnA | ۰/۲۵ | ۰/۹ |

با توجه به جداول ارایه شده، در می‌یابیم که روابط ارایه شده در مناطق همگن مقادیر $R^2$ (ضریب تبیین) بالاتر و Se (انحراف استاندارد ) کمتر نسبت به رابطه ارایه شده برای کل منطقه دارا است. با مقایسه مقادیر Se در دو دسته مدل اخیر، این طور نتیجه گرفته می‌شود که مدل‌های ارایه شده در مناطق همگن Se کمتری دارد و مدل‌های کلی منطقه مقادیر Se بالاتری دارند. در مدل‌های همگن ضریب تبیین از ۰/۹ بیشتر است. این بیانگر این است که متغییرهای مستقل وارد شده در این روابط بالاتر از ۹۰ درصد تغییرات دبی‌های کم را بیان می‌کند و تاثیر بالایی بر جریان حداقل دارند، لذا عوامل دیگر تاثیر بسیار ناچیزی در روابط به دست آمده دارند.

در مدل‌های کلی منطقه نیز در سطح ۹۵ درصد مقدار $R^2$ قابل قبول است که بیانگر این است که در کل منطقه نیز روابط به دست آمده معتبر است و متغییرهای در نظر گرفته شده موثر بر جریان به خوبی انتخاب شده‌اند. روش مناسب دیگر جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده از ایستگاه‌هایی است که در تجزیه و تحلیل شرکت نکرده‌اند. برخی از محققین به‌این منظور داده‌های در دسترس را به دو قسمت تقسیم می‌کنند که یک قسمت برای تخمین پارامترهای مدل و قسمت دیگر به عنوان نمونه شاهد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور علاوه بر ۱۲ ایستگاه منتخب دو ایستگاه مناسب از لحاظ طول دوره آماری و موقعیت مناسب حوزه (گچسروسولقان) در منطقه شناسایی گردید. به علت کم بودن ایستگاه در منطقه مورد مطالعه از دو ایستگاه دیگر از بین ۱۲ ایستگاه منتخب به منظور ارزیابی مدل‌ها استفاده گردید (سیرا و فیروزکوه). سپس مقادیر دبی با دوره برگشت‌های مختلف با توزیع لوگ پیرسون نوع سوم برای هر ایستگاه محاسبه و مقادیر ۴ عامل به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل عاملی نیز برای ایستگاه‌های ذکر شده استخراج گردید. در گروه‌بندی مناطق همگن حوزه گچسر و سولقان در گروه یک جای گرفت. سپس مقادیر دبی برآوردی برای این حوزه در دوره برگشت‌های مختلف از طریق دو دسته مدل، به دست آمد. جدول (۱۱) مقادیر دبی‌های حداقل مشاهده‌ای و برآوردی را در حوزه گچسر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر برآوردی در منطقه همگن نسبت به کل منطقه به مقادیر مشاهده‌ای نزدیکتر است. در جدول (۱۲ و ۱۳) مقادیر خطای ریشه میانگین باقی‌مانده (RMSE) علاوه بر دو شاخص $R^2$ و Se، برای حوزه‌های فوق و بر اساس مدل‌های کلی منطقه و مدل‌های مناطق همگن در دوره بازگشت‌های مختلف آمده است. با مقایسه RMSE ایستگاه‌های شاهد درمدل مناطق همگن‌بندی شده و کلی منطقه مشخص می‌شود که مقدار خطا در مدل کل منطقه بیشتر است.

**جدول۱۱- مقادیر دبی‌های حداقل مشاهده ای و برآوردی (متر مکعب بر ثانیه)در حوزه گچسر برای آزمون مدل‌ها**

| دوره بازگشت / مقادیر دبی($m^3/s$) | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مشاهده‌ای | ۱/۲۱ | ۰/۹ | ۰/۷ | ۰/۵۴ | ۰/۴۳ | ۰/۲۸ |
| براوردی همگن۱ | ۱/۰۶ | ۰/۷۳ | ۰/۵۸ | ۰/۵۲ | ۰/۴۵ | ۰/۳۹ |
| براوردی کل | ۰/۷۴ | ۰/۴۱ | ۰/۳۸ | ۰/۳۳ | ۰/۳۱ | ۰/۲۹ |

**جدول۱۲ - مقادیرRMSE حامل از مدل‌های برآوردی در ایستگاه‌های شاهد با تداوم ۳۰ روزه در کل منطقه در روش رگرسیون چند متغیره**

| دوره بازگشت / ایستگاه | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گچسر | ۰/۵۳ | ۰/۵۱ | ۰/۴۱ | ۰/۳۶ | ۰/۲۳ | ۰/۲ |
| سیرا | ۱/۱ | ۰/۷۸ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۶۵ | ۰/۷۵ |
| فیروزکوه | ۰/۳۲ | ۰/۰۹ | ۰/۳۸ | ۰/۱۹ | ۰/۲۸ | ۰/۰۸ |
| سولقان | ۰/۳۲ | ۰/۱۴ | ۰/۰۵ | ۰/۱۲ | ۰/۱۸ | ۰/۱۴ |

جدول۱۳ - مقادیر RMSE برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های برآوردی آن در مناطق همگن با تداوم ۳۰ روزه

| دوره بازگشت / ایستگاه | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گچسر | ۰/۱۳ | ۰/۱۷ | ۰/۱۴ | ۰/۲ | ۰/۰۳ | ۰/۲ |
| سیرا | ۰/۱۳ | ۰/۹ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۱۹ | ۰/۱۴ |
| فیروزکوه | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۷ | ۰/۱۲۲ | ۰/۲۷ | ۰/۰۳ |
| سولقان | ۰/۳۰ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | ۰/۱۳ | ۰/۲۳ | ۰/۱۸ |

**روش شاخص کم آبی**

در این روش ابتدا نسبت‌های بی بعد کم آبی که برابر نسبت جریان‌های کم آبی ۳۰ روزه با دوره بازگشت مختلف به کم آبی۳۰ روزه دو ساله است، برای هر ایستگاه هیدرومتری تعیین و میانه بی بعد نسبت‌های یادشده مشخص گردید. این مقادیر در جدول (۱۴) آمده است. سپس میانه‌های بی بعد برحسب دوره‌های برگشت مربوطه بر روی کاغذ لوگ پیرسون نوع سوم (توزیع غالب منطقه) منتقل و نقطه‌گذاری شده و منحنی فراوانی منطقه‌ای ترسیم گردید. با استفاده از منحنی مذکور می‌توان میانه‌های بی بعد را برای سایر دوره‌های بازگشت درونیابی کرد. مرحله بعدی مدل سازی برحسب مساحت حوزه بود که در جدول (۱۵) آمده است.

جدول ۱۴- نسبت دبی بادوره بازگشت‌های مختلف به دوره بازگشت ۲ ساله برای تداوم ۳۰روزه

| دوره بازگشت / مناطق | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کل منطقه | ۱ | ۰/۶۵ | ۰/۵۱ | ۰/۴۲ | ۰/۳۵ | ۰/۲۸ |
| همگن یک | ۱ | ۰/۸۱ | ۰/۷۲ | ۰/۶۶ | ۰/۶۳ | ۰/۵۷ |
| همگن دو | ۱ | ۰/۵۸ | ۰/۳۸ | ۰/۲۸ | ۰/۲۱ | ۰/۱۵ |

جدول۱۵- مدل‌های ارایه شده به روش شاخص کم آبی برای تداوم ۳۰ روزه

| مناطق | مدل | Se | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| منطقه همگن یک | LOG(Q2)= ۱/۴۶۵ LOG(A)-۳/۵۳۱ | ۰/۲۳ | ۰/۹۶ |
| منطقه همگن دو | LOG(Q2)= ۱/۳۹۹ LOG(A)-۴/۲۴۲ | ۰/۱۵ | ۰/۹۸ |
| کل منطقه | LOG(Q2)= ۱/۰۲۵ LOG(A)-۲/۷۲۱ | ۰/۴ | ۰/۸۵ |

کارایی سه دسته مدل ارایه شده توسط روش شاخص کم آبی در زیرحوزه‌های مورد مطالعه به شرح زیر تحلیل می‌شود:

۱- در یک دید کلی با استفاده از ضریب تعیین و خطای استاندارد مشخص می‌شود که معادلات ارایه شده در مناطق همگن دارای خطای استاندارد کم و ضریب تعیین بالاتری نسبت به مدل ارایه شده برای کل منطقه هستند.

۲- مقایسهRMSE با توجه به نتایج ایستگاه شاهد در نظر گرفته شده است. با مقایسه RMSE ایستگاه‌های شاهد در دو مدل منطقه همگن و کلی منطقه مشخص می‌شود که مقدار خطا در مناطق همگن کمتر است(جدول ۱۶و۱۷).

جدول۱۶- مقادیر RMSE جریان ۳۰ روزه در روش شاخص کم آبی ودر کل منطقه با ایستگاه‌های شاهد

| ایستگاه / دوره بازگشت | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گچسر | ۰/۶۸ | ۰/۶۴ | ۰/۵۵ | ۰/۴۵ | ۰/۳۳ | ۰/۲۲ |
| سیرا | ۱/۲۸ | ۱/۲۶ | ۱/۲۵ | ۱/۲۴ | ۱/۱۸ | ۱/۱۷ |
| فیروزکوه | ۱/۶۸ | ۱/۳۸ | ۱/۰۵ | ۱/۱۷ | ۱/۱۵ | ۱/۰۲۵ |
| سولقان | ۰/۴۶ | ۰/۱۸ | ۰/۵۹ | ۰/۷۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۲ |

جدول۱۷- مقادیر RMSE جریان ۳۰ روزه در روش شاخص کم آبی ودر منطقه همگن با ایستگاه‌های شاهد

| ایستگاه / دوره بازگشت | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گچسر | ۰/۴۲ | ۰/۳۱ | ۰/۱۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۵ |
| سیرا | ۰/۲۱ | ۰/۲۵ | ۰/۱۳ | ۰/۰۶ | ۰/۲۲ | ۰/۲۵ |
| فیروزکوه | ۰/۱۶ | /۰۷ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ |
| سولقان | ۰/۳۱ | ۰/۲۰ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۸ |

**مقایسه مدل‌های آنالیز منطقه‌ای جریان‌های کم آبی**

در این تحقیق مقایسه دو روش رگرسیون چندگانه و شاخص کم آبی انجام گرفت. نتایج به دست آمده برای میانگین انحراف نسبی برای دو روش رگرسیون چند گانه و شاخص کم آبی در جدول (۱۸) نشان داده شده است.

جدول (۱۸) نشان می‌دهد که مقادیر RMSE در روش رگرسیون چند متغییره کمتر از روش شاخص کم آبی است و روش اول نتیجه بهتری ارایه می‌دهد.

جدول ۱۸- مقایسه مقادیر خطای متوسط مدل‌های شاخص جریان کم، رگرسیون چند متغیره جریان ۳۰روزه در ایستگاه‌های شاهد در کل منطقه

| ایستگاه | دوره بازگشت / روش | ۲ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گچسر | رگرسیون | ۰/۵۳ | ۰/۵۱ | ۰/۴۱ | ۰/۳۶ | ۰/۲۳ | ۰/۲ |
| | شاخص کم | ۰/۶۸ | ۰/۶۴ | ۰/۵۵ | ۰/۴۵ | ۰/۳۳ | ۰/۲۲ |
| سیرا | رگرسیون | ۱/۱ | ۰/۷۸ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۶۵ | ۰/۷۵ |
| | شاخص کم | ۱/۲۸ | ۱/۲۶ | ۱/۲۵ | ۱/۲۴ | ۱/۱۸ | ۱/۱۷ |
| فیروزکوه | رگرسیون | ۰/۳۲ | ۰/۰۹ | ۰/۳۸ | ۰/۱۹ | ۰/۲۸ | ۰/۰۸ |
| | شاخص کم | ۱/۶۸ | ۱/۳۸ | ۱/۰۵ | ۱/۱۷ | ۱/۱۵ | ۱/۰۲۵ |
| سولقان | رگرسیون | ۰/۳۲ | ۰/۱۴ | ۰/۰۵ | ۰/۱۲ | ۰/۱۸ | ۰/۱۴ |
| | شاخص کم | ۰/۴۶ | ۰/۱۸ | ۰/۵۹ | ۰/۷۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۲ |

## بحث و نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته به طور کلی در تحقیقات مختلف (۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸) عوامل مساحت و شیب متوسط حوزه به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر جریان کم در اکثر مدل‌ها به چشم می‌خورد. در تحقیقات از عوامل موثر بر جریان اکثراً از ویژگی‌های فیزیو گرافی حوزه استفاده شده است. دراین تحقیق علاوه بر پارامترهای فیزیوگرافی، پارامترهای اقلیمی‌و زمین شناسی نیز استفاده شد، که در انجام تجزیه و تحلیل عاملی علاوه بر عوامل فیزیوگرافی، عامل اقلیمی(بارش متوسط سالیانه ) وعامل زمین شناسی(درصد متوسط وزنی نفوذپذیری ناچیز) از عوامل موثر بر جریان شناخته شد. باتوجه به نتایج تجزیه و تحلیل عاملی، مناطق همگن تعیین گردید.

نتایج نشان داد که:

۱- توزیع لوگ پیرسون نوع سوم مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال منطقه‌ای در حوزه‌های مورد مطالعه بود.

۲- عوامل موثر بر جریان کم با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی عبارتند از مساحت، بارش متوسط سالیانه، متوسط وزنی نفوذ پذیری ناچیز و شیب متوسط حوزه که ۹۹/۳۶ درصد تغییرات اصلی را توضیح می‌دهند.

۳- بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عاملی همگن بندی انجام شد و دو منطقه همگن به دست آمد.

۴- مدل‌های ارایه شده در مناطق همگن به‌علت تشابه بیشتر حوزه ها وهمبستگی بیشتر دارای ضریب تبیین بالاتر و خطای استاندارد کمتری نسبت به مدل‌های کلی منطقه هستند.

۵- در روش رگرسیون چند گانه مشاهده شد که مقادیر متوسط خطای نسبی در کل منطقه بیشتراز مناطق همگن است.

۶- مقدار خطا و برآورد دبی در روش رگرسیون چند گانه کمتر از روش شاخص کم آبی است.

۷- در مدل‌های به دست آمده مساحت عامل اصلی بود و با توجه به مقادیر $R^2$ بالا و Se پایین در روابط منطقه‌ای برای کلیه دوره بازگشت‌ها حتی اگر تنها عامل مساحت نیز به‌کار برده شود نتایج در سطح ۹۵ درصد قابل کاربرد است.

با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، پیشنهاد می‌شود:

۱- استفاده از سایر روش‌های همگنی و معیارهای همگنی برا ی افزایش اطمینان و دقت در گروه‌بندی صورت گیرد.

۲- استفاده از سایر ویژگی‌های مؤثر بر روی جریان، مانند درصد پو شش گیا هی یا شاخص‌های مربوط به خاکشناسی و کاربری اراضی صورت گیرد.

۳- دقت استخرا ج عوامل از طریق استفاده از نقشه‌های مقیاس بزرگتر و عکس هوایی و ماهواره‌ای بالا برده شود و سپس منطقه‌بندی و توسعه مدل انجام شود.

## منابع


۱-افشار، عباس، ۱۳۶۸. هیدرولوژی مهندسی، دانشگاه علم وصنعت، ص ۴۵۹.

۲- دورنکامپ و همکاران، ۱۳۷۰. تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی، ترجمه جمشید فریفته، دانشگاه تهران، ص۳۶۸.

۳-زارعی، علی رضا، ۱۳۷۶.ارزیابی آنالیز منطقه‌ای جریان کم در استان مازندران، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴-سریو استاوا-کارتر، ۱۳۷۰.آمار چند متغیره کاربردی، ترجمه ناصر رضا ارقامی‌و ابولقاسم بزرگنیا، آستان قدس رضوی.

۵-سمیعی، مسعود، ۱۳۸۲.آنالیز منطقه‌ای جریان کم در استان تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ص۱۱۲.

۶-موسوی، علی اکبر، ۱۳۷۸. بررسی و تعیین شاخص‌های هیدرولوژیک به کمک حوزه‌های آبخیز مشابه(مطالعه موردی حوزه آبخیز دریاچه نمک)، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.

7-Chang, M. & D.G.Boyer, 1977. Estimating of Low Flows Using Watershed and Climatic Parameters,Water Resourses Research,vol 13,no.6:997-1001.
8-Chow,V.T,1964. Handbook of Applied Hydrology,MC GRAW-HILL BOOK COMPANY.
9-Dingman ,S.L. & S.C.Lawlor , 1995. Estimating Low Flow Quantiles from Drainge Basin Characteristics in New Hampshire and Vermont, Water Resource Bulletin,vol.31,NO.2:243-256.
10- Durrans , S.r & S. Tomic,1996. Regionalization of Low Flow Frequency Estimates:An Albama Case Study,Water Resources Bulletin.vol.32,vol.32,NO.1,P:23-27.
11-Kroll.c.n, &j.p. Stedinger, 1999.Development of Regional Relationships with Ensored Data, Water Resourses Research.35(3),P:775-784.
12- Martino,G.A.R, F.N.Scantena, G.S.Warner, & D.L.Civco, 1996. Statistical Low Flow Estimation Using GIS Analysis in Humid Montain Regions in Puetro Rico, Water Resource Bultain, Vol 32. No 6: 1259-1271.
13-Smaktin,V.U.,2001.Low Flow Hydrology :a Review, Journal of Hydrology, P:147-186.
14-The Task Committee of Low Flows,1980, Characteristics of Low Flows, Journal of the Hydraulics Division,P:717-731.
15- Vogel, R. M. & C.N. Kro ll, 1992.Regional Geohydrologic-Geomorphic Relationships for the Estimation of Low Flow Statistics,Water Resources Research,p:2451-2458.
16-Waltmeyer,S.D.,2002.Analysis of the Magnitude and Frequency of the 4-day Annual Low Flow and Regression Equations for Estimating the4-days,3 Year Low-flow FREQUENCy at Ungaged Sites on Unregulated Streams in New Mexico,US.Geological Survey, Water Resources Investigatios Report 01-4271.
17-Warner,G.S.,Garcia-Martion,R.A.,Scatena,N.F.,2003.Watershed Chracterization by GIS for Low Flow Prediction, GIS for Water Resources and Watershed Management,chapter 9.
18-Yue,P.S. ,P.C.Yang, & C.W.Liu, 2002, A Regional Model of Low Flow for Southern Taiwan, Hydrological Processes,P:2017-2034.

# A Regional Analysis of Low Flow in Tehran Watersheds

M. Samiee[1] M. Mahdavi[2] B. Saghafian[3] M. Mohseni Saravi[4]

**Abstract**

Analysis of low flow is one of the important considerations in any water resource project. Meanwhile, as a general idea it seems that flow control is more important than drought mitigation but it is necessary to pay more attention to drought problem in future projects. In this paper, available data for 12 selected watersheds were analyzed and low flows of 30 day with different return periods were calculated for each set of flow data. Also, hydroclimatic and geomorphologic parameters were considered to obtain the most effective factors on low flows which help to separate homogeneity area. The most effective factors were: area, mean annual precipitation, average weighted infiltration and average slope of the watershed which illustrate 99.36 percent of variation of data. Then homogeneity areas were identified using cluster analysis.

Meanwhile, regression and low flow indication were obtained using the data.Results were compared with data of 4 control watersheds to evaluate accuracy of the model which showed more efficiency of multivariate regression method as compared to low flow index method in different return periods.

**Keywords :** Regional analyses, low flow, frequency analysis, cluster analysis.

*1-Senior Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Center (E-mail: massamiee@yahoo.com)*
*2-Professor, Faculty of Natural Resource University of Tehran*
*3-Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Center*
*4-Associate Professor, Faculty of Natural Resource, University of Tehran*