# آنالیز منطقه ای جریان‌های کمینه در حوزه‌های آبخیز کرخه و کارون

هدایت اله زرین[*1]، فرود شریفی[2] و مهدی وفاخواه[3]
1)دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس.
2)عضو هئیت علمی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.
3)عضو هئیت علمی، گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس.

*نویسنده مسئول مکاتبات: Zarrin132000@gmail.com

تاریخ دریافت: 90/05/17 تاریخ پذیرش:90/07/20

**چکیده**

**در طراحی و اجرای پروژه‌های آبی کوچک در کشور، عمدتا به برآورد سیل توجه شده است و به مساله خشک سالی در برنامه ریزی منابع آب، کمتر اهمیت داده شده است. در این تحقیق به منظور برآورد جریان کمینه، از آمار موجود 28 ایستگاه هیدرومتری در حوزه‌های کرخه و کارون که دارای شرایط مناسب از نظر طول دوره آماری بودند، استفاده شد. سپس منحنی تداوم جریان برای هر کدام از ایستگاه‌ها ترسیم گردید ومقادیر دبی جریان‌های کمینه مورد نیاز آنها استخراج گردید. به منظور تعیین مهمترین عوامل مؤثر بر جریان کمینه، 21 پارامتر مؤثر بر جریان کمینه مانند پارامترهای فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین شناسی به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی برآورد گردید. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی، عواملی که کمترین هم بستگی را با هم نشان دادند، انتخاب شدند. این عوامل به ترتیب اهمیت، شامل شیب متوسط حوزه، مساحت، ارتفاع متوسط حوزه، ضریب گراولیوس و شیب آبراهه اصلی بوند، که 80/1 درصد از تغییرات در داده‌های اصلی را توضیح می دهند. در ادامه، تحلیل منطقه ای به روش رگرسیون چند گانه برای به دست آوردن روابطی بین جریان کمینه و ویژگی‌های حوزه آبخیز صورت گرفت. در نهایت به منظور مقایسه و ارزیابی صحت مدل‌های برآوردی، اطلاعات 9 ایستگاه شاهد مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر دبی جریان کمینه بر اساس مدل‌های به دست آمده و با مقادیر متکی بر ایستگاه‌های شاهد، مقایسه گردید و در نهایت، نتایج نشان دادند که مدل‌های به دست آمده در این منطقه، در سطح معنی داری 99 درصد، قابل قبول می باشند. در نهایت بررسی جریان‌های کمینه و تهیه مدل‌های منطقه ای جریان‌های کمینه، در مقیاس سراسری، برای برنامه ریزی مدیریت آبی کشور و استفاده از سایر خصوصیات مؤثر بر روی جریان‌های کمینه، مانند درصد پوشش گیاهی یا شاخص‌های مربوط به خاک شناسی و کاربری اراضی و در نهایت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان‌های کمینه، پیشنهاد می گردد.**

**واژه‌های کلیدی:** منحنی تداوم جریان، جریان کمینه، تجزیه و تحلیل عاملی، رگرسیون چندگانه، کرخه و کارون.

**مقدمه**

هرگاه هدف طراحی، بهره‌برداری از آب‌های جاری رودخانه باشد، هم چنین اگر رژیم رودخانه در نتیجه دخالت‌های ساکنین منطقه به هم خورده باشد، در این صورت شناسایی و درک کافی از وضعیت و مشخصات جریان‌های کمینه در حوزه مورد نظر، امری حیاتی به شمار می‌رود. این شناخت بایستی به طور کمی بیان شود زیرا این مسئله به خصوص در مناطق شهری که مشکل سلامت مردم مطرح است و رودخانه در معرض بیماری‌های واگیردار و آلودگی‌های شیمیایی و حرارتی باشد، حائز اهمیت بیشتر خواهد بود. مسلم است که بحران آب، در سال‌هایی نمایان‌تر می‌شود که پدیده خشک سالی روی می‌دهد و یکی از تبعات خشک سالی، کم شدن جریان آب رودخانه‌ها است. به حداقل رسیدن جریان آب رودخانه‌ها، از جنبه‌های مختلفی باعث وارد شدن خسارت می‌شود. به عنوان مثال، کاهش جریان آب رودخانه‌ها، باعث افزایش غلظت آلودگی و در نتیجه کاهش اکسیژن محلول می‌شود که پیامد آن مرگ و میر آبزیان و وارد شدن خسارت به محیط زیست می شود. هم چنین در آبرسانی شهری و صنعتی و در مصارف کشاورزی، کم‌آبی باعث مسائل عدیده‌ای خواهد شد. از طرفی در مدیریت بهره‌وری سدهای مخزنی ونیروگاه‌های برقابی در طول دوره خشکی، تحلیل جریان کمینه بسیار با اهمیت می‌باشد.

بیشتر مطالعات نشان داده که برآورد جریان کمینه، مشکل تر از سایر جریان‌ها می باشد. ویژگی‌های جریان کمینه با ویژگی‌های حوزه آبخیز و متغیرهای آب و هوایی مرتبط است (The Task Committee of Low Flows, 1980). عمده ترین ویژگی‌های حوزه آب و هوایی اثر گذار بر جریان کمینه: مساحت، بارش متوسط سالانه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، شیب حوزه و درصد سطح دریاچه‌ها و نواحی جنگلی، شکل حوزه، محیط حوزه، ارتفاع متوسط حوزه می باشند (Smakhtin,2001). در مطالعه‌ای که در ویرجینیای غربی انجام گرفت، نشان داده شد که جریان کمینه در حوزه اهایو با پنج پارامتر: مساحت حوزه آبخیز، ارتفاع متوسط، درصد پوشش جنگلی، شاخص خاک و متوسط بارش برف سالیانه، ارتباط معنی‌داری دارد. Vogel and Kroll در سال 1992 در 23 حوزه آبخیز در غرب ماساچوست، رابطه جریان کمینه را با ویژگی‌های حوزه آبخیز، مورد بررسی قرار دادند و سه پارامتر: مساحت، شیب متوسط حوزه و ثابت بازگشت جریان را به عنوان عوامل اصلی به کار بردند. در مطالعه‌ای که بر روی 63 ایستگاه هیدرومتری رودخانه تگزاس آمریکا به منظور بررسی جریان‌های کمینه توسط (Rifai and et al,. 2001) انجام گرفت، معلوم شد که عوامل مؤثر بر جریان کمینه در این حوزه‌ها، سطح زهکشی، طول کانال، شیب حوزه، فاکتور شکل حوزه، متوسط بارندگی سالانه، گروه هیدرولوژیکی خاک غالب منطقه و بارندگی 24 ساعته با دوره بازگشت دوساله می باشد. در مطالعه‌ای در جنوب تایوان، (Yue et al,. 2002) مدل‌های رگرسیونی را برای 34 حوزه بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که بین جریان کمینه با مساحت حوزه آبخیز، شیب حوزه و ضریب بازگشت، بیشترین هم بستگی وجود دارد. (Suresh and et al,. 2003) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز هیمالیا در نپال به منظور بررسی منابع آب و تخمین جریان کمینه، از روش تجزیه و تحلیل منطقه‌ای استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بین جریان‌های کمینه با توپوگرافی و زمین شناسی حوزه آبخیز، همبستگی معنی‌داری وجود دارد. در زیمباوه، مطالعه‌ای بر روی رودخانه‌های فصلی به منظور بررسی جریان کمینه در 52 حوزه انجام داده و به این نتیجه رسیدند که جریان کمینه، هم بستگی نسبی با متوسط بارندگی سالانه، شیب حوزه آبخیز و تراکم زهکشی و هم چنین هم بستگی منفی با تبخیر و تعرق سالانه حوزه دارند. اسلامیان و همکاران (1383)، به منظور برآورد جریان‌های کمینه در حوزه آبریز مازندران، از روش رگرسیون چندگانه برای به دست آوردن روابطی بین جریان‌های کمینه و ویژگی‌های حوزه آبخیز

استفاده کردند که در نهایت سه پارامتر مساحت، ارتفاع متوسط حوزه و شیب متوسط حوزه را به عنوان عوامل مهم معرفی نمودند. سمیعی و همکاران(1384) در مطالعه ای به منظور آنالیز منطقه ای جریان‌های کمینه در حوزه‌های آبخیز استان تهران، تعداد 12 ایستگاه هیدرومتری را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و در نهایت چهار پارامتر مساحت، بارش متوسط سالانه، متوسط وزنی نفوذپذیری و شیب متوسط حوزه را به عنوان عوامل مؤثر بر جریان کمینه معرفی کردند. در مطالعه‌ای که Zinanlo در سال 2003 به منظور برآورد منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه انجام داد دریافت که منحنی تداوم جریان با هشت پارامتر، تراکم زهکشی، مساحت حوزه آبخیز، حداقل ارتفاع حوزه، درجه حرارت، اندیس پوشش برف، ارتفاعات داخلی، نفوذ پذیری و متوسط بارش سالیانه نسبت به سایر پارامترها، هم بستگی بالایی دارند. در مطالعه ای در غرب ایران، (Zarrin et al,. 2009) ، به این نتیجه رسیدند که جریان‌های کمینه، بیشتر تحت تأثیر 5 پارامتر فیزیکی حوزه می باشد. در مطالعه ای که Giuseppe and Caporali در سال 2012 بر روی چندین رودخانه در منطقه توسکانی ایتالیا به منظور تخمین جریان حداقل 7 روزه بر روی 65 ایستگاه هیدرومتری انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که این جریان با 5 پارامتر طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط حوزه آبخیز، اختلاف ارتفاع حداکثر و حداقل حوزه، بارش متوسط سالانه و ضریب نفوذپذیری خاک، بیشترین همبستگی را دارد. در این تحقیق اهداف اصلی کار عبارتنداز : شناخت عوامل اصلی مؤثر در مدیریت منابع آب حوزه‌های آبخیز، جهت تجزیه و تحلیل جریان‌های کمینه و در نهایت توسعه روابط و مدل‌های منطقه ای قابل کاربرد در حوزه‌های فاقد آمار.

## مواد و روش‌ها

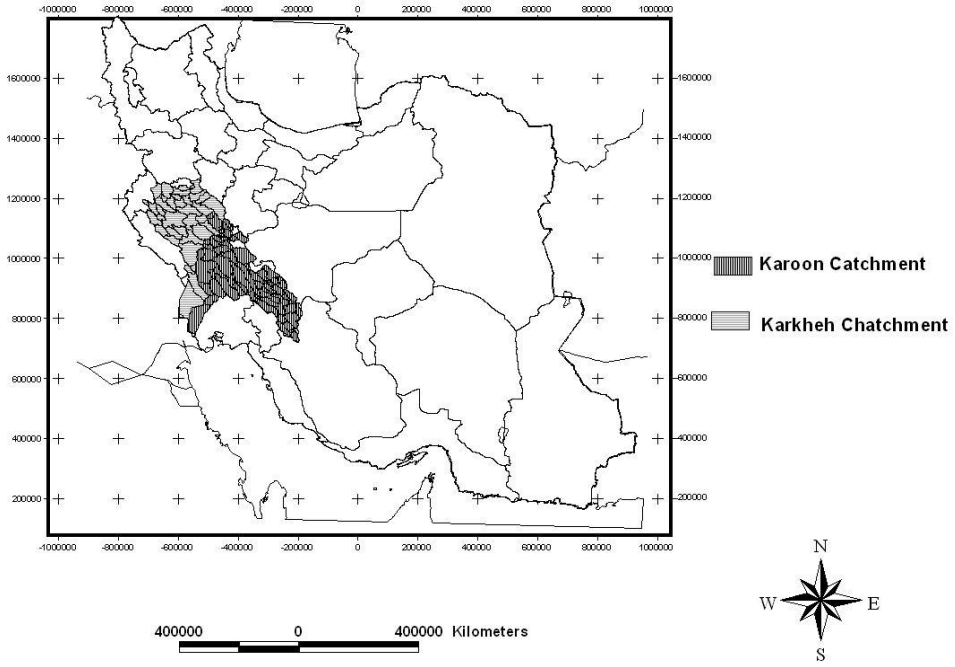
### مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از دو حوزه آبخیز کرخه و کارون که از لحاظ تقسیم بندی کلی هیدرولوژی ایران، جزئی از حوزه آبخیز خلیج فارس می‌باشند تشکیل شده است. حوزه آبخیز کرخه از نظر مختصات جغرافیایی بین °46 و ´60 تا °49 و ´10 طول شرقی و°30 و ´58 تا °34 و ´56 عرض شمالی قرار گرفته‌است و حوزه آبخیز کارون بین °48 و ´10 الی ° 52 و ´30 طول شرقی و °30 و ´20 الی °34 و ´5 عرض شمالی قرار گرفته است. شکل شماره (1) منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

### انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب

ابتدا کلیه ایستگاههای هیدرومتری موجود در منطقه مورد مطالعه، شناسایی شد. در حوزه آبخیز کرخه و کارون در حدود 138 ایستگاه هیدرومتری وجود دارد. در تحلیل جریانهای کمینه هر چه دوره آماری ایستگاه‌ها بیشتر باشد، دقت نتایج، قابل اعتمادتر خواهد بود. بنابراین با توجه به موارد زیر ایستگاههای مناسب انتخاب شدند:

الف- در بالا دست ایستگاه انتخابی سد، بند انحرافی یا تأسیسات دیگر که باعث ناهمگنی داده‌ها می‌شوند، وجود نداشته باشد تا شرط مربوط به یکنواخت بودن داده‌ها تأمین شود



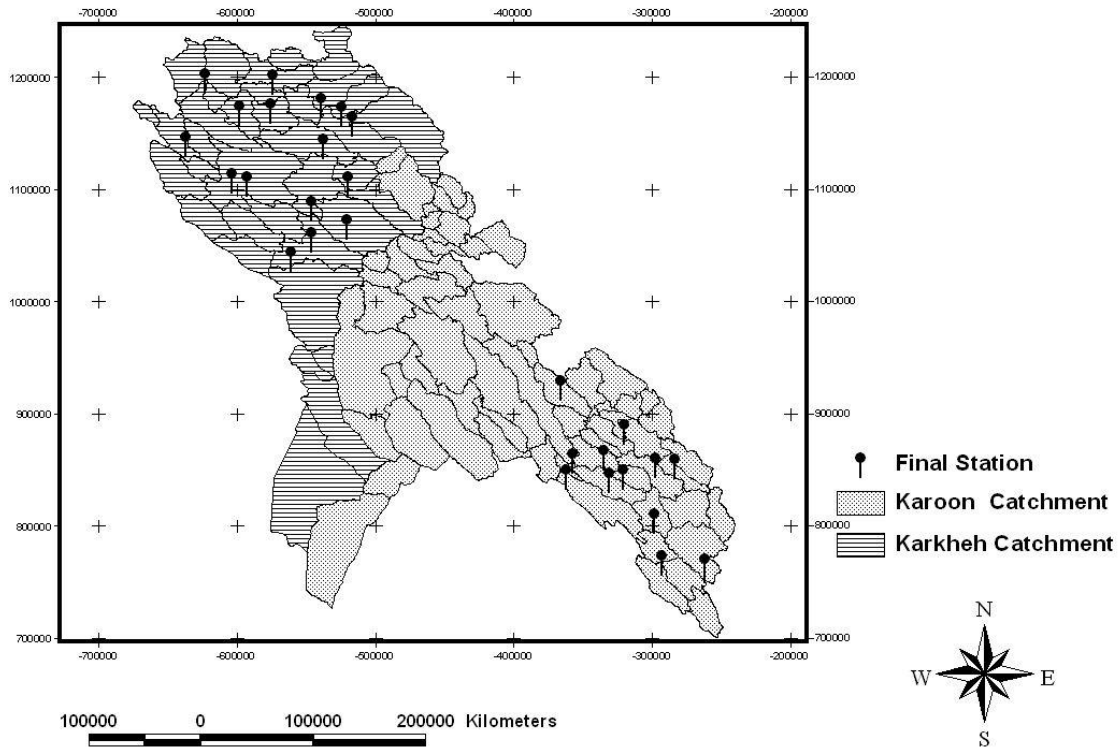

**شکل شماره 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه**

ب- ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که دارای آمار طولانی مدت باشند تا شرط مربوط به کفایت داده‌ها را تأمین کند(حداقل 10سال).

ج- ایستگاه‌های انتخابی دارای آمارهای جدید و مربوط به زمان اخیر باشند، تاجدیدترین تغییرات در نظر گرفته شوند (آمار مورد استفاده مربوط به بازه زمان 1347- 1346 الی 1389-1387 می باشند).

د- نواقص آماری ایستگاه انتخاب شده کم باشد.

هم چنین جریان، در محل ایستگاه‌ها بایستی دائمی باشد، یعنی رودخانه‌های مورد نظر فصلی نباشند زیرا در این صورت جریان کمینه سالیانه، صفر خواهد بود. البته گاهی ممکن است در طول دوره آماری در یک ایستگاه، جریان کم روزانه، فقط در تعداد معدودی از روزها صفر گزارش شده باشد. در این موارد، معمولا جریان‌های صفر را حذف و یا یک مقدار خیلی کوچک به تمامی داده‌ها اضافه می کنیم و یا یک مقدار خیلی کوچک را جای گزین داده‌های صفر می کنیم و ایستگاه‌های مورد نظر را جزو ایستگاه‌های انتخابی قرار می دهند. ممکن است مقادیر جریان کمینه به علت عدم دقت کافی وسایل اندازه گیری و یا قصور شخص قرائت کننده، صفر ثبت شده باشد. دلیل دیگر برای عدم حذف چنین ایستگاه‌هایی از محاسبات این است که تعداد معدود جریان صفر حذف شده، اثر چندانی در تحلیل فراوانی نخواهد داشت. در این تحقیق، یک مقدار خیلی کوچک (0/001) جایگزین داده‌های صفر گردید. از مجموع 138 ایستگاه در منطقه مورد مطالعه، 28 ایستگاه شرایط بالا را تامین می کنند که برخی از مشخصات آنها در جدول شماره 1 نشان داده شده است.




**شکل 2: موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه**

## پارامترهای مورد استفاده

جهت دست یابی به مدل‌های برآورد جریان‌های کمینه، اقدام به برقراری رگرسیون چند متغیره، بین داده‌های جریان‌های کمینه و پارامترهای مختلف شده است. لذا در این مرحله کلیه نقشه‌های مورد نیاز جمع آوری گردید. متغیر وابسته در این تحقیق، جریان‌های کمینه با فراوانی‌های مختلف می باشد و متغیرهای مستقل، شامل متغییرهای فیزیوگرافی، زمین شناسی، اقلیمی و هیدرولوژیکی می باشد. متغییرهای فیزیوگرافی شامل مساحت، محیط، شیب متوسط وزنی حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، شیب آبراهه اصلی، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، فاکتور شکل و ضریب گراویلیوس و چهار متغیر اقلیمی متوسط درجه حرارت ماهانه، متوسط بارندگی سالانه، اندیس پوشش برف برای هفت ماه (آبان ماه لغایت اردیبهشت ماه) و متوسط تبخیر و تعرق سالانه، می باشند. پارامترهای هیدرولوژیکی مستقل به کار گرفته شده در این تحقیق، اندیس دبی پایه و ثابت تخلیه روزانه دبی پایه می باشد و در نهایت، نفوذپذیری، به عنوان متغیر زمین شناسی مورد استفاده قرار گرفت.

### محاسبه دبی با تداوم‌های مختلف

برای استخراج پارامترهای مورد نیاز دبی‌های مربوطه( $Q_{75\%}$ ، $Q_{90\%}$ ، $Q_{92\%}$، $Q_{95\%}$ و $Q_{99\%}$ )، ابتدا منحنی تداوم جریان تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، ترسیم گردید و سپس با استفاده از منحنی‌های مربوطه، نسبت به استخراج پارامترهای ذکر شده دبی اقدام گردید. همچنین در همین راستا و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نسبت به استخراج پارامترهای فیزیوگرافی مورد نیاز ایستگاه‌های هیدرومتری اقدام گردید. در جدول شماره 1- برخی از ویژگی‌های مورد استفاده در تحقیق ارائه شده است.

**جدول شماره 1: برخی ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز تا ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه**

| نام ایستگاه | نام رودخانه | کد ایستگاه | طول جغرافیایی | | عرض جغرافیایی | | شیب متوسط | ضریب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | دقیقه | درجه | دقیقه | درجه | (%) | گراولیوس |
| مرغک | بازفت | 34221 | 28 | 50 | 39 | 31 | 41/5 | 2/12 |
| بارز بختیاری | خرسان | 34121 | 25 | 50 | 31 | 31 | 38/8 | 1/99 |
| دزک | بیرگان | 34227 | 19 | 50 | 15 | 32 | 30/9 | 1/66 |
| زرین درخت | خان میرزا | 34228 | 57 | 50 | 32 | 31 | 25/7 | 1/51 |
| کوه سوخته | کیار | 34226 | 40 | 50 | 06 | 32 | 18/9 | 1/61 |
| تنگ زردآلو | کسگان | 34211 | 21 | 51 | 38 | 31 | 17/2 | 1/23 |
| ارمند | کارون | 34219 | 46 | 50 | 41 | 31 | 28/7 | 0/46 |
| تنگ درکش | جونقان | 34225 | 39 | 50 | 06 | 32 | 25/7 | 1/66 |
| بطاری کبکیان | کبکیان | 34118 | 20 | 51 | 51 | 30 | 29/2 | 1/45 |
| پاتاوه | گرم رود | 34120 | 15 | 51 | 57 | 30 | 29/2 | 0/7 |
| دهکده شهید | ماربره | 34110 | 44 | 51 | 50 | 30 | 30/1 | 1/43 |
| کتا | ماربره | 34113 | 15 | 51 | 11 | 31 | 30/1 | 1/41 |
| سنگ سوراخ | سراب گاماسیاب | 32110 | 23 | 48 | 03 | 34 | 20/7 | 1/56 |
| فیروزآباد | تویسرکان | 32114 | 07 | 48 | 21 | 34 | 12/3 | 1/5 |
| آران | خرم رود | 32116 | 55 | 47 | 25 | 34 | 17/8 | 1/42 |
| پل چهر | گاماسیاب | 32125 | 25 | 47 | 20 | 34 | 25/3 | 1/64 |
| خرس آباد | آب مرک | 32216 | 44 | 46 | 30 | 34 | 15/4 | 1/53 |
| دوآب مرک | قره سو | 32217 | 47 | 46 | 31 | 34 | 15/4 | 0/98 |
| پل کهنه | قره سو | 32221 | 08 | 47 | 19 | 34 | 28/0 | 1/55 |
| نورآباد | بادآور | 32310 | 58 | 47 | 05 | 34 | 26/1 | 1/86 |
| کاکا رضا | هررود | 32411 | 16 | 48 | 43 | 33 | 26/7 | 1/68 |
| سراب سید علی | دوآباشتر | 32412 | 12 | 48 | 47 | 33 | 28/5 | 1/29 |
| چم انجیر | خرم آباد | 32414 | 14 | 48 | 46 | 33 | 28/5 | 1/4 |
| پل دختر | کشکان | 32418 | 43 | 47 | 09 | 33 | 22/7 | 1/59 |
| قره باغستان | قره سو | 32222 | 15 | 47 | 14 | 34 | 28/0 | 3/79 |
| هولیان سیمره | سیمره | 32312 | 15 | 47 | 45 | 33 | 15/8 | 2/11 |
| آفرینه (کشکان) | کشکان | 32416 | 53 | 47 | 20 | 33 | 22/8 | 3/57 |
| آفرینه (چلهول) | چلهول | 32415 | 53 | 47 | 19 | 33 | 22/8 | 1/56 |

**ادامه جدول شماره 1: برخی ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز تا ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه**

| نام ایستگاه | مساحت (کیلومترمربع) | محیط (کیلومتر) | ارتفاع حوضه (متر از سطح دریا) | | | رواناب متوسط سالانه (مترمکعب بر ثانیه) | بارش (میلی متر) | اندیس برف (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین | حداکثر | حداقل | | | |
| مرغک | 2355 | 367 | 2269 | 3962 | 860 | 72/09 | 743/73 | 85/33 |
| بارز بختیاری | 8900 | 668/9 | 2108 | 4409 | 815 | 111/78 | 680/6 | 88/64 |
| دزک | 626/2 | 147/3 | 2722 | 4221 | 1804 | 8/72 | 760/76 | 69/77 |
| زرین درخت | 397 | 112/3 | 2458 | 3022 | 1750 | 1/13 | 681/75 | 94/64 |
| کوه سوخته | 2910 | 307/1 | 2410 | 3229 | 2074 | 7/29 | 609/94 | 88/07 |
| تنگ زردآلو | 1045 | 142 | 2705 | 3658 | 2120 | 4/01 | 508/73 | 66/03 |
| ارمند | 9900 | 162/2 | 2303 | 4221 | 1050 | 118/38 | 622/14 | 75/63 |
| تنگ درکش | 944/8 | 182/4 | 2561 | 3353 | 1805 | 98/64 | 696/16 | 92/62 |
| بطاری کبکیان | 650 | 131/9 | 225 | 3962 | 1509 | 10/07 | 730/04 | 76/53 |
| پاتاوه | 2800 | 131/9 | 225 | 3962 | 1509 | 17/95 | 770/8 | 92/17 |
| دهکده شهید | 1678/5 | 208/8 | 2824 | 3962 | 2075 | 51/94 | 730/2 | 92/17 |
| کتا | 845/7 | 146 | 2475 | 3962 | 1516 | 5/24 | 759/4 | 76/07 |
| سنگ سوراخ | 802/4 | 30/2 | 2465 | 3638 | 1700 | 38/98 | 632/9 | 91/27 |
| فیروزآباد | 844 | 154/1 | 1945 | 3548 | 1450 | 23/23 | 870/16 | 87/14 |
| آران | 2320 | 243/1 | 1775 | 3263 | 1440 | 2/32 | 710/21 | 91/03 |
| پل چهر | 10860 | 606/3 | 1889 | 3638 | 1280 | 37/28 | 459/39 | 87/18 |
| خرس آباد | 1420 | 205 | 1576 | 2347 | 1320 | 1/8 | 420/58 | 92/67 |
| دوآب مرک | 2670 | 180 | 1563 | 2500 | 1290 | 6/7 | 420/58 | 92/67 |
| پل کهنه | 5040 | 390 | 1565 | 3400 | 1260 | 21/97 | 466/55 | 92/74 |
| نورآباد | 590 | 160/5 | 1990 | 3090 | 1780 | 3/7 | 413/02 | 68/78 |
| کاکا رضا | 1130 | 200 | 2129 | 3585 | 1530 | 11/93 | 687/35 | 66/48 |
| سراب سید علی | 776 | 127 | 2115 | 3645 | 1520 | 8/03 | 678/31 | 71/05 |
| چم انجیر | 1590 | 198/5 | 1630 | 2820 | 1140 | 10/77 | 611/94 | 91/89 |
| پل دختر | 9140 | 540 | 1653 | 3638 | 650 | 51/41 | 529/49 | 100 |
| قره باغستان | 5370 | 517 | 1460 | 3130 | 1230 | 23/46 | 466/55 | 92/74 |
| هولیان سیمره | 1315/2 | 251/4 | 1521 | 2134 | 914 | 80/13 | 451/64 | 96/4 |
| آفرینه (کشکان) | 6700 | 1048 | 1734 | 2743 | 820 | 44/36 | 538/51 | 95/75 |
| آفرینه (چلهول) | 1358/1 | 204/7 | 1730 | 2743 | 800 | 3/65 | 538/51 | 95/75 |

## روش‌های آماری مورد استفاده

### تجزیه وتحلیل عاملی

در این روش، تعداد زیادی از متغیرها را می‌توان به چند عامل، کاهش داده و به این طریق خلاصه‌ای از داده‌های اصلی را تهیه نمود (فتوحی اردکانی، 1381). تجزیه و تحلیل عاملی برای 16 متغیر از متغیرهای ذکر شده، در 28 ایستگاه منتخب در مطالعات انجام گرفت. با توجه به آنکه نتایج حاصل از تحلیل عاملی، در ابتدا پیچیده بوده و راه حل بهینه ای بدست نمی دهد، لذا به منظور به حداکثر رساندن واریانس بارهای هر یک از عامل‌ها و تسهیل در تفسیر ساختار عاملی، محورهای عاملی با روش انتخاب یک نماینده در هر محور ارائه شده است. روش نهایی مورد قبول جهت انجام تجزیه و تحلیل عاملی استفاده از داده‌های معمولی و روش استخراج اجزای اصلی می باشد که در حالت چرخشی( روش Varimax)، حالت بدون چرخش, حالت Quartimax و حالت Equamax دارای جواب مشابهی بودند. در نهایت روش دوران واریماکس که یکی از روش‌های مرسوم می باشد، به عنوان روش برگزیده برای گزینش عاملها انتخاب گردید (فتوحی اردکانی، 1381). نامگذاری عامل‌ها نیز بر اساس بارهای عاملی دوران یافته صورت می گیرد. پس از انتخاب متغیرهای ضروری، تجزیه عاملی، بر اساس این متغیرها صورت گرفت و نتایج نشان داد که پنج متغیر، مجموعا" 80/6 درصد واریانس داده‌ها را توضیح می دهد. و بدین ترتیب اطلاعات حول پنج عامل خلاصه می گردند.

**جدول شماره2: مقادیر ویژه واریانس توجیه شده**

| عامل | مقادیر ویژه اولیه | | کل | درصد واریانس | مقادیر تجمعی واریانس (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | کل | مقادیر تجمعی | | | |
| 1 | | 29/285 | 4/686 | 29/285 | 29/285 |
| 2 | 4/686 | 53/659 | 3/9 | 24/374 | 53/659 |
| 3 | 3/9 | 64/519 | 1/738 | 10/86 | 64/519 |
| 4 | 1/738 | 74/255 | 1/558 | 9/736 | 74/255 |
| 5 | 1/558 | 80/567 | 1/010 | 6/312 | 80/567 |
| 6 | 1/010 | 84/722 | | | |
| 7 | 0/665 | 88/348 | | | |
| 8 | 0/58 | 91/327 | | | |
| 9 | 0/477 | 93/883 | | | |
| 10 | 0/409 | 96/073 | | | |
| 11 | 0/35 | 97/549 | | | |
| 12 | 0/236 | 98/567 | | | |
| 13 | 0/163 | 99/160 | | | |
| 14 | 0/09476 | 99/606 | | | |
| 15 | 0/07137 | 99/938 | | | |
| 16 | 0/05311 | 100 | | | |
| | 0/009959 | | | | |

بر اساس جدول شماره (2) درصد هر یک از عامل‌ها به ترتیب عبارتنداز:29/3، 24/4، 10/9، 9/7 و 6/3. این بدان معناست که حدود 19/4 درصد از کل واریانس، بیان نشده است که می توانست با بررسی متغیرهای اضافی افزایش یابد. با توجه به جدول ماتریس دورانی واریماکس (جدول شماره 3)، شیب متوسط وزنی حوزه با بیشترین بار وزنی (0/844) روی عامل اول و توجیه بیشترین درصد واریانس، از کل واریانس یعنی مقدار 29/3، به عنوان فاکتور اول انتخاب شد. هم چنین عامل دوم با توجه به بار وزنی 0/941 و درصد از واریانس کل 24/4 به مساحت حوزه داده شد. بدین ترتیب 3 عامل دیگر، یعنی ارتفاع متوسط حوزه آبخیز، ضریب گراولیوس و شیب آبراهه اصلی به عنوان عامل‌های سوم، چهارم و پنجم انتخاب شدند.

**جدول شماره 3: ماتریس دورانی واریماکس**

| پارامتر استاندارد شده | عامل | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **مساحت** | 0/01664 | 0/941 | 0/09309 | 0/08216 | -0/0884 |
| **طول آبراهه اصلی** | 0/07793 | 0/936 | 0/09311 | 0/09199 | -0/125 |
| **شیب آبراهه اصلی** | 0/04247 | -0/149 | -0/136 | 0/07947 | 0/908 |
| **ارتفاع حداکثر** | 0/676 | 0/315 | -0/273 | -0/308 | -0/0448 |
| **ارتفاع حداقل** | 0/05212 | -0/564 | -0/648 | -0/278 | -0/135 |
| **ارتفاع متوسط** | 0/197 | -0/0111 | -0/735 | 0/174 | 0/141 |
| **محیط** | -0/0257 | 0/624 | 0/126 | 0/719 | -0/0511 |
| **ضریب گراولیوس** | -0/0353 | 0/05847 | 0/01118 | 0/971 | 0/03596 |
| **شیب متوسط وزنی** | 0/844 | 0/256 | 0/07613 | 0/07128 | -0/0586 |
| **شاخص دبی پایه** | 0/592 | -0/0477 | -0/195 | -0/24 | 0/563 |
| **نفوذپذیری** | 0/729 | 0/05649 | 0/223 | 0/03242 | 0/536 |
| **ثابت تخلیه روزانه دبی پایه** | 0/543 | 0/163 | 0/557 | 0/333 | 0/168 |
| **بارش متوسط سالانه** | 0/826 | -0/0793 | -0/162 | 0/0474 | 0/187 |
| **تبخیر سالانه** | 0/439 | 0/04491 | 0/661 | 0/24 | -0/134 |
| **شاخص برف** | -0/163 | 0/325 | 0/779 | 0/04591 | -0/08320 |
| **رواناب متوسط سالانه** | 0/355 | 0/715 | /315 | 0/01769 | 0/01020 |

## نتایج

### مدل‌های رگرسیون چندگانه

برای اعتبار داشتن نتایج رگرسیون، آزمون‌های F و t باید معنی دار باشند (F=t2). جهت معنی دار بودن وجود یک عامل رگرسیونی ( متغیر مستقل) در یک مدل، بایستی آزمون t برای ضریب آن عامل یعنی ضریب رگرسیون آن معنی دار باشد . قاعده کلی تجربی در این مورد این است، چنانچه مقدار مطلق t بیش از 2 باشد، از نظر آماری، ضریب معنی دار است و آن عامل رگرسیون، در مدل باقی می ماند (فتوحی اردکانی 1381).

متغیرهایی که در یک حوزه آبخیز، جریان کمینه را تحت تأثیر قرار می دهند، متنوع و فراوان هستند. لذا استفاده از روش رگرسیون چند متغیره، به منظور دست یابی به معادله ای که مبین ارتباط مناسب جریان کمینه و هر یک از این عوامل باشد، مناسب به نظر می رسد.

بدین منظور اقدام به انجام رگرسیون چند متغیره بین جریان کمینه به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مختلف زمین شناسی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی به عنوان متغیرهای مستقل گردید . در این تحقیق، داده‌های ورودی به فرآیند مدل سازی رگرسیونی، شامل 14 متغیر وابسته(Y) و 21 متغیر مستقل(X) می باشد.

در تحلیل منطقه ای، روش رگرسیون چندگانه، عموما برای به دست آوردن روابط، بین ویژگی‌های جریان و ویژگیهای منطقه استفاده می شود و مدل‌هایی به منظور برآورد جریان ارائه می گردد(اسلامیان و همکاران 1383، افشار 1368 و ارقامی و بزرگ نیا 1370). برای انجام رگرسیون، پارامترهای انتخابی ذکر شده در جدول شماره (1) به عنوان متغیرهای برآوردکننده و دبی‌های تداوم جریان، به عنوان متغیرهای اصلی به کار گرفته شد. متغیرهای اصلی با دو مقیاس مترمکعب بر ثانیه و میلی متر و با دو مقیاس لگاریتمی و ساده، در آنالیزها آورده شدند. در نهایت با این شیوه، به شصت مدل برای پنج پارامتر دبی با تداوم‌های مختلف، دست یافتیم. نتایج حاصل از این عملیات، برتری مدل‌هایی با مقیاس مترمکعب برثانیه و حالت لگاریتمی بوده است. برای هر یک از تداوم‌های مورد بررسی، یک مدل ارائه شد که این مدل‌ها در جدول شماره (4) مشاهده می گردد.

**جدول شماره 4: مدل‌های ارائه شده رگرسیون چندمتغیره برای منطقه مورد مطالعه**

| $R^2$ | $C_E$ | SE | P-Value | مدل | دبی با تداوم های مختلف(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0/743 | 0/53 | 0/386 | 0/99 | $Q75\% = 10^{-0.656\,I+4.265\,BFI\,-0.00115\,H_{\min}+0.569\log A-0.982}$ | 75 |
| 0/749 | 0/75 | 0/400 | 0/99 | $Q90\% = 10^{-0.68\,I+4.983\,BFI\,-0.00119\,H_{\min}+0.562\log A-1.483}$ | 90 |
| 0/753 | 0/82 | 0/405 | 0/99 | $Q92\% = 10^{-0.704\,I+5.116\,BFI\,-0.001221\,H_{\min}+0.567\log A-1.516}$ | 92 |
| 0/750 | 0/82 | 0/410 | 0/99 | $Q95\% = 10^{-0.703\,I+5.258\,BFI-0.00123\,H_{\min}+0.572\log A-1.651}$ | 95 |
| 0/746 | 0/78 | 0/436 | 0/99 | $Q99\% = 10^{-0.737\,I+5.516\,BFI-0.00128\,H_{\min}+0.594\log A-1.815}$ | 99 |

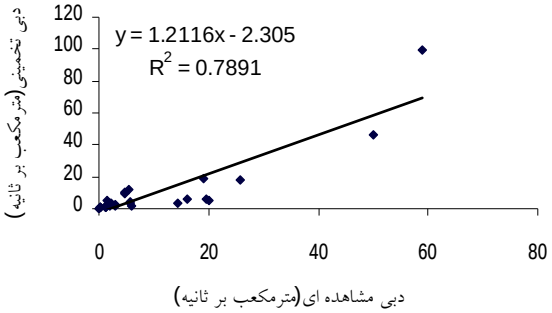
در جدول فوق: G: ضریب گراولیوس، $H_{min}$ : ارتفاع حداقل،I: نفوذپذیری، A : مساحت ،BFI : اندیس دبی پایه می باشند هم چنین روابط ضریب تبیین، ضریب کارایی و اشتباه استاندارد به شکل زیر می باشد:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSD}{SST}$$

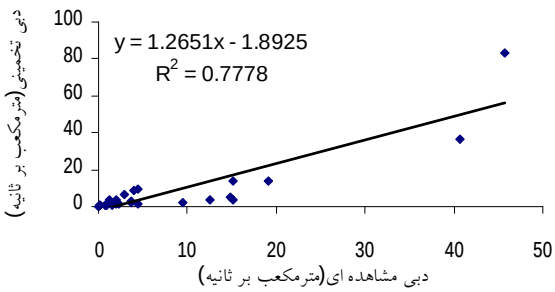
$$C_E = \frac{1/n\sum_{l}^{x}(Y_o - \overline{Y}_o)^2 - 1/n\sum_{l}^{x}(Y_o - Y_e)^2}{1/n\sum_{l}^{x}(Y_o - \overline{Y}_o)^2}$$

**مقایسه دبی‌های محاسبه شده و دبی‌های مشاهداتی**

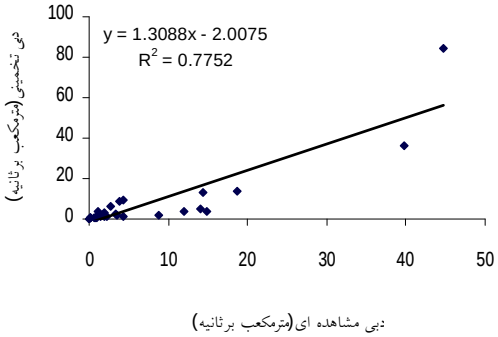
با استفاده از معادلات حاصل، به عنوان مدلهای نهایی، دبی‌هایی با تداوم‌های 75 تا99 درصد زمان، برای 28 ایستگاه مطالعاتی حوزه‌های آبخیز کرخه و کارون حاصل از مدل، با آمار دبی تداوم جریان مشاهده شده با هم مورد مقایسه قرار گرفتند، که **در سطح معنی داری** 99 درصد و ضریب تبیین حاصل از آنها، در فاصله 80 تا 83 درصد بوده است. نتایج حاصله در اشکال شماره 3 تا 7 مشاهده می گردد.



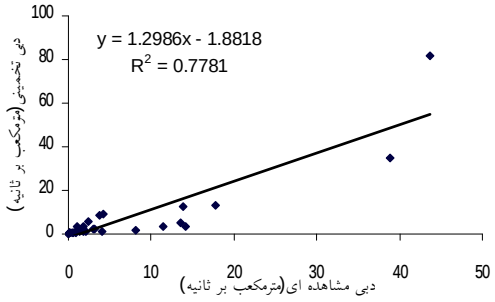

**شکل ۳: نمودار مشاهده ای - تخمینی برای دبی با فراوانی۷۵ درصد زمان**



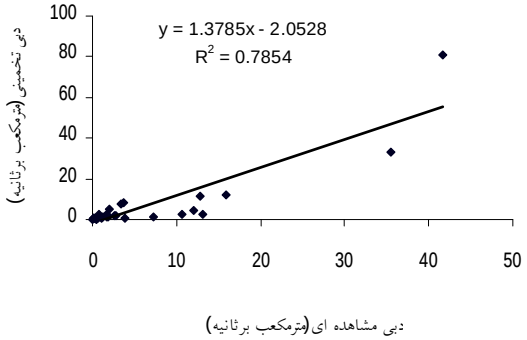

**شکل ۴: نمودار مشاهده ای - تخمینی برای دبی با فراوانی۹۰ درصد زمان**




**شکل ۵: نمودار مشاهده ای - تخمینی برای دبی با فراوانی۹۲ درصد**




**شکل شماره ۶: نمودار مشاهده ای – تخمینی برای دبی با فراوانی ۹۵ درصد**




**شکل۷ :نمودار مشاهده ای - تخمینی برای دبی با فراوانی۹۹ درصد زمان**

### ارزیابی و آزمایش دقت مدل‌ها

کارایی مدل‌ها در مراحل تخمین و تأیید، با استفاده از شاخصهای ضریب تبیین(R2)، اشتباه استاندارد مدل(SE) و ضریب کارایی(CE) محاسبه گردید. در جدول شماره (4) نتایج محاسبه شاخص‌های فوق برای مدل‌های انتخابی نشان داده شده است. هرچه ضریب تبیین بالاتر باشد، اشتباه استاندارد کمتر است و هرچه ضریب کارایی به یک نزدیک تر باشد، بیانگر بهتر بودن مدل می باشد. علاوه بر پارامترهای ذکر شده، برای ارزیابی مدل‌های حاصله، از پارامترهای 9 ایستگاهی استفاده شد که در حوزه‌های آبخیز کرخه و کارون واقع هستند. ولی جزو 28 ایستگاه مورد مطالعه نبوده و در آنالیز رگرسیونی دخالت نداشتند. برای این هدف از معادلات به دست آمده در جدول شماره (4) و پارامترهای 9 حوزه یادشده استفاده گردیده. دبی‌های تداوم جریان 75 تا 99 درصد زمان برای این ایستگاه‌ها محاسبه شده و سپس با دبی‌های مشاهداتی همان ایستگاه‌ها مقایسه گردیدند که در سطح معنی داری 99 درصد و ضریب تبیین حاصل از آنها در فاصله 94 تا 95 درصد بوده است. نتایج حاصله در اشکال شماره 3 تا 7 مشاهده می گردد.

### بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور به دست آوردن مدل‌های رگرسیونی، جهت برآورد جریان‌های کمینه، اقدام به رگرسیون گیری به سه شیوه پسرو، پیشرو و گام به گام گردید. برای انجام رگرسیون، پارامترهای انتخابی ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها به عنوان متغیرهای برآوردکننده و دبی‌های تداوم جریان، به عنوان متغیرهای اصلی به کار گرفته شد. متغیرهای اصلی با دو مقیاس مترمکعب بر ثانیه و میلی متر و با دو مقیاس لگاریتمی و ساده در آنالیزها آورده شدند. با این شیوه به 168 مدل، برای 14پارامتر دبی با تداوم‌های مختلف دست یافتیم. نتایج حاصل از این عملیات برتری مدل‌هایی با مقیاس مترمکعب برثانیه و حالت لگاریتمی بوده است. برای هر یک از تداوم‌های مورد بررسی بر اسا س پارامترهای ذکر شده، جهت انتخاب مدل مناسب، یک مدل ارائه شد که این مدل‌ها در جدول شماره 4 مشاهده می گردد.

در اکثر تحقیقات انجام شده از عوامل مؤثر بر جریان‌های کمینه،به عنوان ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه استفاده شده است، اسلامیان و همکاران(1383)، سمیعی وهمکاران (1385)، The Task Committee of Low Flows (1980) ، Vogel and Kroll (1992)، Suresh et al,. (2003). در این تحقیق علاوه بر پارامترهای فیزیوگرافی از پارامترهای اقلیمی و زمین شناسی نیز استفاده شده است. در این تحقیق، 21 پارامتر جهت انتخاب عوامل مؤثر بر جریان‌های کمینه، مورد استفاده قرار گرفت. هم چنین از دو پارامتر شاخص دبی پایه و ثابت تخلیه روزانه دبی پایه، که هرگز در مطالعات داخلی استفاده نشده است اند، استفاده گردید. شاخص دبی پایه، به عنوان نماینده پاسخ حوزه و شرایط خاص آن می‌باشد. این شاخص، ممکن است برای هر سال یا برای کل پریود مشاهده شده، دارای تغییراتی باشد. هم چنین با استفاده از این شاخص می توان ویژگی‌های جریان را در حوزه‌های مختلف با هم مقایسه کرد.

در این تحقیق پنج پارامتر به عنوان عوامل مؤثر بر جریان‌های کمینه معرفی گردید که عبارتنداز: مساحت، شیب متوسط، ارتفاع متوسط حوزه، ضریب گراولیوس و شیب آبراهه اصلی.

به طور کلی اکثر تحقیقات، سه ویژگی مساحت، شیب متوسط و ارتفاع متوسط حوزه را مهم تر از سایر پارامترها معرفی کرده اند اسلامیان و همکاران(1383)، سمیعی و همکاران (1385)، The Task Committee of Low Flows (1980)، Vogel and Kroll, (1992)،

Smakhtin (2001)، Rifai et al,. (2001)، Yue et al,. (2002)، Zinanlo (2003) و Suresh et al,. (2003). در این تحقیق علاوه بر پارامترهای فوق، دو پارامتر ضریب گراولیوس و شیب آبراهه اصلی هم جزو پارامترهای مهم معرفی شدند. هر چند ارتفاع متوسط حوزه رابطه مستقیمی با جریان کمینه ندارد ولی می تواند معرف میزان برفی بودن حوزه باشد. هم چنین علت دیگر راهیابی این پارامتر به مدل را می توان تغییر ویژگی‌های زمین شناسی حوزه در ارتفاعات مختلف دانست اسلامیان و همکاران (1383)، (Dingman and et al.,) و (Vogel and Kroll, (1992). همچنین می توان علت راه یابی شیب متوسط حوزه به مدل را می توان تاثیر شیب متوسط بر روی سرعت زهکشی حوزه بیان نمود اسلامیان و همکاران (1383)، Dingman et al,. (1995) و Vogel and Kroll, (1992).

## منابع


- **اسلامیان، س. زارعی، ع، و ابریشم چی، ا. (1383).** برآورد منطقه ای جریان‌های کم رودخانه‌های حوضه آبریز مازندران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 8 (1): 27-38.
- **افشار، ع. (1368).** هیدرولوژی مهندسی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، 459 ص.
- **فتوحی، اردکانی، ا.(1381).** کتاب آموزشی SPSS. 10 (ترجمه)، انتشارات شایگان، 448ص.
- **رضا ارقامی، ن. و بزرگ نیا ا، (1370).** آمار چندمتغیره کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- **سمیعی، م، مهدوی، م. ثقفیان، ب. و محسنی ساروی، م. (1384).** آنالیز منطقه ای جریان‌های کم در حوزه‌های آبخیز استان تهران، مجله منابع طبیعی ایران، 58 (1): 51-64.
- **Dingman, S.L and Lawlor, S. C. (1995).** Estimating low flow quantiles from drainge basin characteristics in New Hampshire and Vermont, Water Resource Bulletin, Vol. 31(2),pp. 243-2456.
- **Giuseppe R and Caporali, E. (2012).** Regional estimation of rivers low flow from river basin characteristics . Journal of Hydrology, Vol, pp. 194, 239- 262.
- **Rifai, HS, SM. Brock, KB. Ensor, PB. Bedient,(2001).** Determination of Low Flow Characteristics for Texas Streams. Water Resources Planning and Management, Vol: 126(5), 310-319.
- **Smakhtin, V. U.(2001).** Low flow Hydrology : a Review, Journal of Hydrology, 240,pp. 147-186.
- **Suresh, C. S. R., G. Kansakar, K. R., Croker., M., Zaidman. (2003).** Management of Water Resources and Low Flow Estimation for the Himalayan Basins of Nepal. Journal of Hydrology, Vol, 282, pp.25-35.
- **The Task Committee of Low Flows. (1980).** Characteristics of low flows, Journal of Hydraulics Division, P: 717-731.
- **Vogel, R. M and Kroll , C. N. (1992).** Regional Geohydrologic- Geomorphic relationships for the estimation of low flow statistics, Water Resources Research, Vol. 28(9), pp. 2451-2458.

- **Yue. P. S, P. C. Yang, P.C . and Liu. C. W. (2002).** Aregional Model of Low Flow for Southern Taivan. Hydrological Processes, pp. 2017-2034.

- **Zarrin H, Sharifi F Vafakhah M and Mahdiyan M.(2009).** Regional Analysis Low Flow in Karkheh and Karoon Watersheds. of Applied Science, 9(6), pp. 1141-1146.

- **Zinanlo, A. O. ( 2003).** Low Flow and Duration Curve Analysis Aming at Predicting Runoff fromUngauged Catchments. Thesis submitted for degree of Master Science ( M. Sc), International Institute for Geo- Information Science and Earth Observation (ITC.)