



وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



# نشریه فنی

## تحلیل بارش، جریان و سیل حوضه‌های اترک

نویسندگان:  
باقر قرمزچشمه، محمدرضا غریب‌رضا، کاظم صابرچناری

شماره ثبت: ۶۹۴۸۳

۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

نشریه فنی:  
تحلیل بارش، جریان و سیل حوضه‌های اترک

نویسندگان:  
باقر قرمزچشمه، محمدرضا غریب‌رضا، کاظم صابرچناری

شماره ثبت: ۶۹۴۸۳

وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

---

عنوان پروژه: تحلیل بارش، جریان و سیل حوضه‌های اترک  
نویسندگان: باقر قرمزچشمه، محمدرضا غریب‌رضا، کاظم صابرچناری  
ویراستار ادبی: سعید نبی پی لشکریان  
صفحه‌آرایی و طراحی جلد: عباس صدیق  
ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری  
شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

این اثر در مورخه ۱۴۰۵/۰۳/۳۰ با شماره ۶۹۴۸۳ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است.

## پیشگفتار

پروژه "مکان‌یابی و طراحی حوضچه رسوبگیر و ذخیره آب در رودخانه اترک و ایستگاه پمپاژ" توسط سازمان اتکا طی قرارداد شماره ۸۴۵۹۹ در تاریخ ۱۴۰۳/۸/۱۷ ابلاغ و شروع شد. شرح خدمات این پروژه متشکل از هشت بند مطالعاتی است که به ترتیب عبارت است ۱-گردآوری داده‌ها و گزارش‌ها و تحلیل اطلاعات موجود، ۲-مطالعات پایه، ۳- مطالعات مدل‌سازی و طراحی، ۴- ارائه متره و برآورد گزینه منتخب سامانه و ایستگاه پمپاژ و مخازن آب، ۵- تهیه اسناد پیمان، ۶- ارائه برنامه پایش دبی و رسوب در سامانه، ۷- ارائه برنامه نظارت بر عملیات اجرایی سامانه و ۸- ارائه برنامه ملاحظات نگهداری، لایروبی و پایش عملکرد گزینه منتخب.

گزارش حاضر شامل روند و برونداد مطالعات، بارش، هیدرولوژی و سیلاب رودخانه اترک است. در تهیه این گزارش، اهداف، چشم‌انداز، شرح خدمات و خروجی‌های متصور و نیز توصیه‌های کارشناسی سازمان اتکا- معاونت پژوهش و نوآوری برای آگاهی به‌دقت ملاحظه شده است.

## فهرست مطالب

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| چکیده:                                             | ۱  |
| ۱- کلیات                                           | ۳  |
| ۱-۱- مقدمه                                         | ۴  |
| ۲-۱- مرور منابع سیلاب حوضه اترک                    | ۵  |
| ۲- مشخصات عمومی و موقعیت منطقه                     | ۸  |
| ۳- گزارش گردآوری داده‌های هیدرولوژی رودخانه اترک   | ۹  |
| ۳-۱- سری زمانی داده‌های گردآوری شده                | ۱۱ |
| ۳-۲- معرفی ایستگاه‌های شاخص                        | ۱۳ |
| ۴- روش مطالعه                                      | ۱۴ |
| ۵- مشخصات فیزیکی حوضه                              | ۱۴ |
| ۵-۱- توپوگرافی                                     | ۱۵ |
| الف- مدل رقومی ارتفاعی (DEM)                       | ۱۵ |
| ۵-۲- بررسی شیب در حوضه و زیرحوضه‌ها                | ۱۵ |
| ۵-۳- جهت شیب                                       | ۱۷ |
| ۶- وضعیت بارش منطقه                                | ۱۹ |
| ۶-۱- محاسبه بارش حوضه                              | ۲۱ |
| ۷- سیلاب                                           | ۳۳ |
| ۷-۱- بازسازی داده‌های روزانه و لحظه‌ای             | ۳۴ |
| ۷-۲- تحلیل دبی اوج روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف | ۳۸ |
| ۷-۳- دبی پیشینه لحظه‌ای                            | ۴۲ |
| ۸- دبی و حجم آبدهی متوسط سالانه و ماهانه           | ۴۶ |
| ۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادات                          | ۵۰ |
| ملاحظات اخلاقی                                     | ۵۱ |
| منابع                                              | ۵۱ |
| ABSTRACT:                                          | ۵۳ |

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱- موقعیت حوضه بالادست چات‌گنبد در کشور ..... ۹
- شکل ۲- نقشه DEM منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰
- شکل ۳- نقشه حوضه بالادست چات‌گنبد در بستر تصاویر ماهواره‌ای ..... ۱۱
- شکل ۴- کلاس‌های شیب منطقه ..... ۱۷
- شکل ۵- نقشه جهت شیب منطقه ..... ۱۸
- شکل ۶- موقعیت ایستگاه‌های منطقه ..... ۱۹
- شکل ۷- نمودار بارش سالانه متوسط دوره آماری مشاهده‌ای با بارش برآوردی- دوره ۳۰ ساله ..... ۲۹
- شکل ۸- نمودار بارش سالانه متوسط دوره آماری مشاهده‌ای با بارش برآوردی- دوره ۴۰ ساله ..... ۲۹
- شکل ۹- نمودار بارش سالانه متوسط دوره آماری مشاهده‌ای با بارش برآوردی- دوره ۵۰ ساله ..... ۳۰
- شکل ۱۰- نقشه بارش سالانه برای دوره ۳۰ ساله ..... ۳۱
- شکل ۱۱- نقشه بارش سالانه برای دوره ۴۰ ساله ..... ۳۲
- شکل ۱۲- نقشه بارش سالانه برای دوره ۵۰ ساله ..... ۳۳
- شکل ۱۳- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای ایستگاه قازانقایه با روش‌های مختلف ..... ۴۰
- شکل ۱۴- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای ایستگاه مراوه‌تپه با روش‌های مختلف ..... ۴۰
- شکل ۱۵- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای ایستگاه هوتن با روش‌های مختلف ..... ۴۱
- شکل ۱۶- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای ایستگاه هوتن با روش‌های مختلف ..... ۴۱
- شکل ۱۷- مقایسه دبی بیشینه لحظه‌ای محاسبه‌شده برای ایستگاه قازانقایه با روش‌های مختلف ..... ۴۴
- شکل ۱۸- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای ایستگاه مراوه‌تپه با روش‌های مختلف ..... ۴۴
- شکل ۱۹- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای ایستگاه مراوه‌تپه با روش‌های مختلف ..... ۴۵
- شکل ۲۰- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه‌شده برای خروجی حوضه با روش‌های مختلف ..... ۴۵
- شکل ۲۱- نمودار وضعیت جریان سالانه ایستگاه‌های منتخب ..... ۴۷
- شکل ۲۲- تغییرات حجم دبی سالانه ایستگاه‌های منتخب ..... ۴۹

## فهرست جدول‌ها

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| جدول ۱- سری زمانی وضعیت داده‌های دبی بیشینه روزانه ایستگاه‌های اطراف منطقه .....             | ۱۲ |
| جدول ۲- مشخصات مورفومتری بالادست .....                                                       | ۱۶ |
| جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب منطقه .....                                      | ۲۰ |
| جدول ۴- مشخصات آماری رابطه بارش سالانه متوسط دوره با عوامل مورفومتری .....                   | ۲۲ |
| جدول ۵- مشخصات آماری رابطه بارش سالانه سال خشک با عوامل مورفومتری .....                      | ۲۲ |
| جدول ۶- مشخصات آماری رابطه بارش سالانه سال مرطوب با عوامل مورفومتری .....                    | ۲۳ |
| جدول ۷- متغیرهای ورودی و بارش مشاهده‌ای و برآوردی برای دوره ۳۰ ساله منتهی به ۱۳۹۷ .....      | ۲۴ |
| جدول ۸- متغیرهای ورودی و بارش مشاهده‌ای و برآوردی برای دوره ۴۰ ساله منتهی به ۱۳۹۷ .....      | ۲۶ |
| جدول ۹- متغیرهای ورودی و بارش مشاهده‌ای و برآوردی برای دوره ۵۰ ساله منتهی به ۱۳۹۷ .....      | ۲۸ |
| جدول ۱۰- بارش مشاهده‌ای و بارش برآوردی در دوره‌های زمانی مختلف (۳۰، ۴۰ و ۵۰ ساله) .....      | ۳۱ |
| جدول ۱۱- دبی بیشینه روزانه- ایستگاه‌های منتخب، قبل و بعد از بازسازی (مترمکعب بر ثانیه) ..... | ۳۵ |
| جدول ۱۲- دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌های منتخب، بعد از بازسازی (مترمکعب بر ثانیه) .....       | ۳۷ |
| جدول ۱۳- مقادیر دبی بیشینه روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف .....                             | ۳۹ |
| جدول ۱۴- مقادیر دبی بیشینه روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف .....                             | ۴۳ |
| جدول ۱۵- حجم رواناب سالانه در ایستگاه‌های منتخب (میلیون مترمکعب) .....                       | ۴۸ |
| جدول ۱۶- تغییرات دبی جریان در بازه دهه‌های مختلف ایستگاه‌های منتخب .....                     | ۴۸ |
| جدول ۱۷- دبی متوسط ماهانه ایستگاه‌های منتخب (مترمکعب بر ثانیه) .....                         | ۵۰ |

## چکیده:

گزارش حاضر ذیل پروژه سفارشی ابلاغی از سازمان اتکا تحت عنوان " مکان‌یابی و طراحی حوضچه رسوبگیر، مخزن آب و ایستگاه پمپاژ رودخانه اترک در منطقه چات‌گنبد کاووس " تهیه شد. رودخانه اترک در خلال دهه‌های اخیر دچار تغییرات زیاد هیدرولوژیکی شده است که به موجب آن برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از آن مستلزم بررسی‌های دقیق علمی است. برای برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت اراضی کشاورزی و دامی، نیازمند شناخت وضعیت بارش و رواناب است. به‌ویژه در حوضه‌هایی مانند اترک که منابع اصلی آب جریان‌های سطحی باشد، شناخت وضعیت جریان رودخانه از اهمیت بالایی برخوردار است. منطقه چات‌گنبد در پایین‌دست حوضه اترک، یکی از مناطق مهم کشاورزی و دامپروری محسوب می‌شود. این گزارش با هدف شناخت پتانسیل‌های تأمین منابع آب منطقه چات‌گنبد به تحلیل وضعیت بارش، دبی سالانه، ماهانه و سیلابی پرداخته است. بدین‌منظور، در حوضه‌های بالادست منطقه چات‌گنبد ایستگاه‌های هیدرومتری مهم که مقادیر دبی متوسط سالانه، دبی بیشینه روزانه و لحظه‌ای در آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود، در نظر گرفته شد. با استفاده از این داده‌ها در طول یک دوره آماری طولانی مدت دبی بیشینه لحظه‌ای و روزانه، دبی سالانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت. دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف ۲ تا ۲۰۰ سال محاسبه و مقادیر آنها استخراج شد. بارش منطقه نیز در سه دوره ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سال منتهی به سال ۱۳۹۷ بررسی و نقشه آنها تهیه شد. دبی سالانه نیز در دوره آماری دراز مدت مورد بررسی و روند تغییرات آنها انجام شد. نتایج نشان داد که بارش ۵۰ ساله نسبت به بارش ۳۰ ساله ۱۵ درصد بیشتر به‌دست آمد که بیانگر کاهش بارش در دوره حاضر است. دبی متوسط سالانه در سه ایستگاه مورد بررسی دارای روند کاهشی بوده به‌طوری‌که پرآب‌ترین سال، ۱۳۵۹ با بیش از ۲۰ مترمکعب در ثانیه و کم‌آب‌ترین سال، ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ کمتر از یک مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته است. مقادیر کمینه دبی در ایستگاه هوتن در فصل تابستان صفر بوده و در اغلب ماه‌ها نیز مقادیر بسیار کم بوده و فروردین پرآب‌ترین ماه به‌دست آمد. دبی بیشینه لحظه‌ای در خروجی حوضه با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله (در محیط EasyFit) در توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳، پیرسون تیپ ۶، لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته، به‌ترتیب ۷۰۲،

----- تحلیل بارش، جریان و سیل حوضه‌های اترک / ۲

۷۱۱، ۸۸۸ و ۸۸۵ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد. لازم به ذکر است که دو روش لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته، نسبت به دو روش دیگر به‌ویژه در دوره بازگشت‌های بالای ۵۰ سال برآورد بالاتری داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل دبی جریان، چات گنبد، حوضه اترک، سیل، مدیریت منابع آب.

## ۱- کلیات

مجموعه چات‌گنبد سازمان اتکا در سال ۱۳۲۰ تأسیس شده است دارای موقعیت جغرافیایی ویژه اراضی چات‌گنبد استان گلستان و متصل به نوار مرزی کشور با ترکمنستان است و در حوزه دامپروری و کشاورزی فعالیت می‌کند. مساحت این اراضی دارای ۱۹۳۰۰ هکتار است که ۱۵۰۰۰ هکتار آن، مرتع و حدود ۴۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی است.

این مجتمع در کیلومتر ۵۰ جاده مرزی داشلی‌برون به مراوه‌تپه استان گلستان در فاصله دو کیلومتری شمال رودخانه اترک و مرز ایران و ترکمنستان قرار گرفته است. منطقه در اراضی لسی نسبتاً شور تا شور و خاک عمیق با زهکش‌های داخلی و خارجی ضعیف واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۷۰ متر، بارندگی سالیانه ۱۸۰ میلی‌متر و متوسط تبخیر سطحی ۱۹۰۰ میلی‌متر است. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد، متوسط دمای کمینه ۱- درجه سانتیگراد و متوسط دمای بیشینه ۳۶/۶ درجه است. شیب منطقه مورد مطالعه دو درصد و شیب عمومی منطقه به سمت شمال است.

مهم‌ترین منبع آبی اراضی کشاورزی چات‌گنبد رودخانه فصلی اترک است. در گذشته، میزان برداشت، سه مترمکعب بر ثانیه بوده که با تدابیر و اقدامات ویژه از جمله افزایش پمپ‌های برداشت آب از ۱۷ دستگاه به ۳۶ دستگاه، این ظرفیت به ۶ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافته است. و به موجب آن ۱۲۰ هکتار اراضی کشاورزی آبیاری شده است. میزان EC آب رودخانه اترک از یک تا شش (mS/cm) در تغییر است.

اراضی تحت کشت در سال‌های مختلف متفاوت است و بستگی زیادی به میزان برداشت آب در مواقع سیلابی از رودخانه دارد. به‌طوری‌که، در سال ۱۴۰۳، ۱۷۰۰ هکتار گندم و ۱۹۰۰ هکتار جو کشت شده، فقط ۱۶۳۰ هکتار از اراضی گندم کاری شده، آبیاری شد. برنامه کشت هندوانه آجیلی، گیاهان داروئی از جمله زیره و ماشک و یونجه برای تعلیف دام را دارند.

به‌طور متوسط حدود ۷۶۰۰ رأس دام سبک و ۴۰۰ رأس دام سنگین در مجتمع نگهداری می‌شوند. مجموع دام‌ها در گله‌های هزارتایی به‌طور مجزا در دامپروری مجهز به منبع آب و سایر ضامم در محدوده اراضی سازمان اتکا استقرار دارند. این مجموعه نیازمند تأمین منابع آب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی

به‌ویژه در دوره‌های خشکسالی است. در بخش مراتع نیز افزایش میزان تولید با به‌کارگیری افزایش استفاده در آب سبز با روش‌های سطوح آبگیر باران مدنظر است.

#### ۱-۱- مقدمه

مطابق تعریف، گردش یا چرخه آب، گردش آب تبخیرشده از سطح دریاها و اقیانوس‌ها و زمین به جو و انتقال آن از جو به زمین و برعکس است. در نتیجه تابش نور خورشید بر روی دریاها و اقیانوس‌ها و دریافت انرژی حرارتی بخشی از آب این منابع به‌صورت بخار درآمده و به اتمسفر زمین صعود می‌کند. در نتیجه پدیده اشباع و تراکم بخار آب اتمسفر به‌صورت نزولات جوی بر روی سطح زمین فرود می‌آید. بخشی از نزولات جوی قبل از رسیدن به سطح زمین توسط شاخ و برگ گیاهان گرفته می‌شود که بعد از سپری‌شدن فرآیندی تبخیر شده و به هوا باز می‌گردد و یا از طریق جریان ساقه‌ای به سطح زمین می‌رسد. به‌طور کلی این بخش از بارش‌های جوی که توسط گیاهان دریافت می‌شود را، ذخیره برگ‌آبی می‌نامند. بخش دیگری از نزولات جوی که مستقیم به سطح زمین می‌رسد به اشکال مختلفی در می‌آید. ذخیره یا نگه‌داشت سطحی آن قسمت از آب است که در حفره‌ها و گودال‌های سطحی ذخیره می‌شود. این آب ممکن است تبخیر و یا صرف تأمین رطوبت خاک شود و یا به منابع آب زیرزمینی بپیوندد.

قسمت دیگری از بارش‌های دریافتی در نتیجه پدیده نفوذ به‌طور موقت در خاک ذخیره می‌شود و سپس در اثر تبخیر به هوا بر می‌گردد و یا این‌که منابع زیرزمینی را تشکیل می‌دهد که بخشی از آن به‌صورت چشمه و تراوش به‌صورت جریان پایه قسمتی از جریان رودخانه‌ها را شامل می‌شود و یا اینکه در نتیجه نفوذ به اعماق پایین‌تر وارد سفره‌های منابع آب زیرزمینی می‌شود. آن بخش از بارش‌های جوی که مستقیم بر روی منابع آب سطحی فرو ریخته و یا در نتیجه پدیده روان‌آب وارد مسیل‌ها، آبراهه‌ها، رودخانه‌های فصلی و دائمی می‌شود موضوع بخش آینده‌ای از مطالعات هیدرولوژی منابع آب سطحی به شمار می‌آید.

جریان آب رودخانه نشان‌دهنده بخش رواناب از چرخه هیدرولوژی بوده و مهم‌ترین داده‌مبنای مطالعات هیدرولوژی است. در مقایسه با اندازه‌گیری سایر پارامترهای آب‌وهوایی و هیدرولوژی نظیر بارندگی، تبخیر و بار رسوبی، اندازه‌گیری جریان رودخانه از دقت نسبی بیشتری برخوردار بوده و تنها پارامتر در چرخه آب است

که می‌تواند به‌طور دقیق‌تر اندازه‌گیری شود. رواناب یا هرز آب<sup>۱</sup> هر حوضه در نهایت توسط کانال جریان یا کانال‌های جریان شامل رودخانه‌های دائمی، فصلی و خشک‌رودها (آبراهه و مسیل‌ها) زهکشی می‌شود. به‌منظور مطالعه تغییرات جریان رودخانه‌ها از متغیری به نام دبی جریان یا آبدهی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که عبارت است از حجم آب عبوری از یک مقطعی معین در واحد زمان که برحسب مترمکعب در ثانیه، لیتر در ثانیه و یا فوت مکعب بر ثانیه بیان می‌شود، لازم به بیان است در مطالعه آبدهی از شاخص‌های دیگری نظیر ارتفاع رواناب و یا حجم جریان شامل حجم ماهیانه و سالانه نیز استفاده می‌شود.

#### ۱-۲- مرور منابع سیلاب حوضه اترک

شیخ و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی روند متغیرهای هیدرولوژیکی حوضه اترک را با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری مقایسه کرده‌اند. شناسایی وجود و یا نبود روند در جریان رودخانه‌ها و سیلاب‌ها به‌منظور دخالت‌دادن در تجزیه و تحلیل‌های آماری برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و طراحی تأسیسات زیربنایی امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین نتایج روند سه متغیر آماری دبی متوسط روزانه، بیشینه دبی روزانه و دبی بیشینه لحظه‌ای در ۱۰ ایستگاه هیدرومتری واقع در حوزه آبخیز اترک در دوره آماری ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۲ با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من- کندال، رو اسپیرمن و تیل- سن، نشان داد که آزمون‌های مختلف نتایج مشابهی ارائه دادند. به استثنای یک ایستگاه، در بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه، دبی بیشینه لحظه‌ای دارای سیر صعودی بوده ولی دبی متوسط روزانه در همه ایستگاه‌ها دارای روند نزولی بوده است. دبی بیشینه روزانه در نیمی از ایستگاه‌ها صعودی و در نیمی دیگر نزولی بوده است. در ۷۰ درصد ایستگاه‌ها، روند مشاهده‌شده دبی متوسط روزانه و در ۳۰ درصد ایستگاه‌ها روند مشاهده‌شده دبی بیشینه لحظه‌ای در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. درحالی‌که روندهای مشاهده‌شده دبی بیشینه روزانه در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که رژیم آبدهی حوزه آبخیز اترک دستخوش تغییر شده و این تغییرات باعث کاهش آبدهی حوضه و افزایش

<sup>۱</sup> . Run off

<sup>۲</sup> . Discharge

شدت طغیان‌های سیلابی شده است. رضائزادکشتلی و همکاران (۱۳۹۵) برازش الگوی فصلی سری زمانی به میزان آبدهی رودخانه‌ها در دامنه زمان را برای رودخانه اترک انجام دادند. شش ایستگاه هیدرومتری از سال آبی ۵۲-۵۳ تا سال آبی ۸۱-۸۲ از حوزه آبخیز رودخانه اترک مورد استفاده قرار گرفته است. آن‌ها در برازش الگو و برآورد پارامترهای موجود در الگو معیار اطلاعاتی آکاییک (AIC)، معیار اطلاعاتی بیزی (BIC) و میانگین مربعات خطا (MSE) به کار بردند. از آنجاکه حوزه آبخیز رودخانه اترک دارای دو بخش کوهستانی و دشت بوده و همچنین آب‌وهوای آن همواره در حال تغییر است، بنابراین توجه ویژه به تغییرات روند و تغییرات فصلی در ایستگاه‌های هیدرومتری این حوضه قبل از برازش یک الگوی سری زمانی و پیش‌بینی ضروری به نظر می‌رسد. در غیراین‌صورت تحلیل سری زمانی ممکن است به نتایجی اریب منجر شود.

مفتاح‌هلقی (۱۳۹۰) به‌منظور بررسی وضعیت کیفی بخشی از آب رودخانه اترک واقع در استان گلستان، تعداد شش ایستگاه و تعداد سه نوبت نمونه‌برداری در فصل‌های مختلف را انجام داد. پهنه‌بندی یا طبقه‌بندی کیفی آب این رودخانه براساس روش شاخص‌های NSFQI، BCWQI و همچنین روش شاخص ساده مدیریتی سید بررسی شد. شاخص‌های کیفی نشان داد به جز ایستگاه قازانقایه (اولین ایستگاه بالادست) که در تمامی فصل‌ها از وضعیت به نسبت خوبی برخوردار است، سایر ایستگاه‌ها در شرایط متوسط تا بد بودند. روش NSFQI شرایط را به نسبت مناسب و روش سید به‌طور عمده با تغییر جزئی سیاست‌های مدیریتی نتیجه می‌دهد، بنابراین نتایج این دو روش در این منطقه یکسان به نظر می‌رسد ولی نتایج روش BCWQI که شرایط را مناسب تا ضعیف نتیجه می‌دهد، کمی محافظه‌کارانه‌تر از دو روش دیگر است.

در تحقیق اکبرزاده و همکاران (۱۳۹۴) رواناب حوضه بالایی آبخیز اترک با استفاده از الگوریتم SUFI-2 مدل SWAT مدل‌سازی کردند. مدل SWAT یک مدل مفهومی و توزیعی است که برای پیش‌بینی و برآورد رواناب سطحی، آورد رسوب، خصوصیات کیفی آب و نیز برای پیش‌بینی اثر انجام اقدامات مدیریتی مختلف در سطح حوضه گسترش داده شده است. بهترین نتایج در ایستگاه شیرآباد و ضعیف‌ترین نتایج در ایستگاه قره‌خان‌بندی به‌دست آمد. نتایج کلی واسنجی نشان می‌دهد که مدل SWAT می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه باشد.

در تحقیق تیموری و صادقی (۱۴۰۲) مدل سازی تصادفی جریان رودخانه با استفاده از تحلیل سری های زمانی مورد بررسی قرار گرفت. مدل سازی تصادفی به عنوان یک چارچوب قدرتمند برای درک طبیعت پیچیده، پویا و عدم قطعیت جریان رودخانه عمل می کند. این تحقیق به تحلیل دو مدل تصادفی سری زمانی شامل مدل های خودهمبسته میانگین متحرک و تحلیل طیفی در سری داده های جریان رودخانه می پردازد. مدل های مزبور در مدل سازی و پیش بینی داده های ماهانه جریان رودخانه در برخی ایستگاه های هیدرومتری حوزه آبخیز اترک در بازه زمانی سال های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۸ به کار گرفته شده است. برآوردهای خطای پیش بینی ها یعنی ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطاهای مطلق برای مقایسه دو مدل مزبور به منظور شناسایی مناسب ترین آن ها استفاده شد. نتایج نشان داد مدل تجزیه و تحلیل طیفی جریان با وجود سادگی، حاکی از توصیف تغییرپذیری نسبتاً خوبی از جریان است. در مرحله صحت سنجی، مدل خودهمبسته میانگین متحرک، خطای کمتری از سایر مدل ها نشان داد و لذا برای پیش بینی جریان ماهانه رودخانه در ایستگاه های مشابه توصیه می شود. در مجموع روش های کلاسیک داده کاوی ابزارهای ارزشمندی برای بهبود دقت پیش بینی های جریان رودخانه و فهم ارتباطات غیرخطی در سامانه های هیدرولوژیکی ارائه می دهند.

غلامی و نصیری (۱۳۹۴) جریان ماهانه ایستگاه مراوه تپه در رودخانه اترک را با استفاده از مدل SWAT شبیه سازی کرده اند. به منظور مشخص کردن عوامل مهم و حساس مدل، تحلیل حساسیت مدل با استفاده از روش "هر بار یک عامل" انجام شد. نتایج نشان داد که عوامل شماره منحنی، هدایت هیدرولیکی کانال، ضریب تأخیر رواناب سطحی، ثابت تخلیه آب زیرزمینی و عامل جبران تبخیر در خاک در بخش های مختلف بیشترین تأثیر را داشتند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از برنامه 2-SUFI به ترتیب برای سال های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ صورت پذیرفت. دقت شبیه سازی با استفاده از شاخص های ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تبیین در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۴ و در دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۶ برآورد شد که کارایی مدل SWAT را در برآورد رواناب را با مطلوبیت نسبتاً خوبی نشان می دهد.

در یکی از جدیدترین تحقیقات انجام شده توسط Majidi و همکاران (۲۰۲۴) تحلیل جامعی از اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر خسارات سیل آق قلا در استان گلستان ارائه شده است. در این پژوهش، پیش بینی

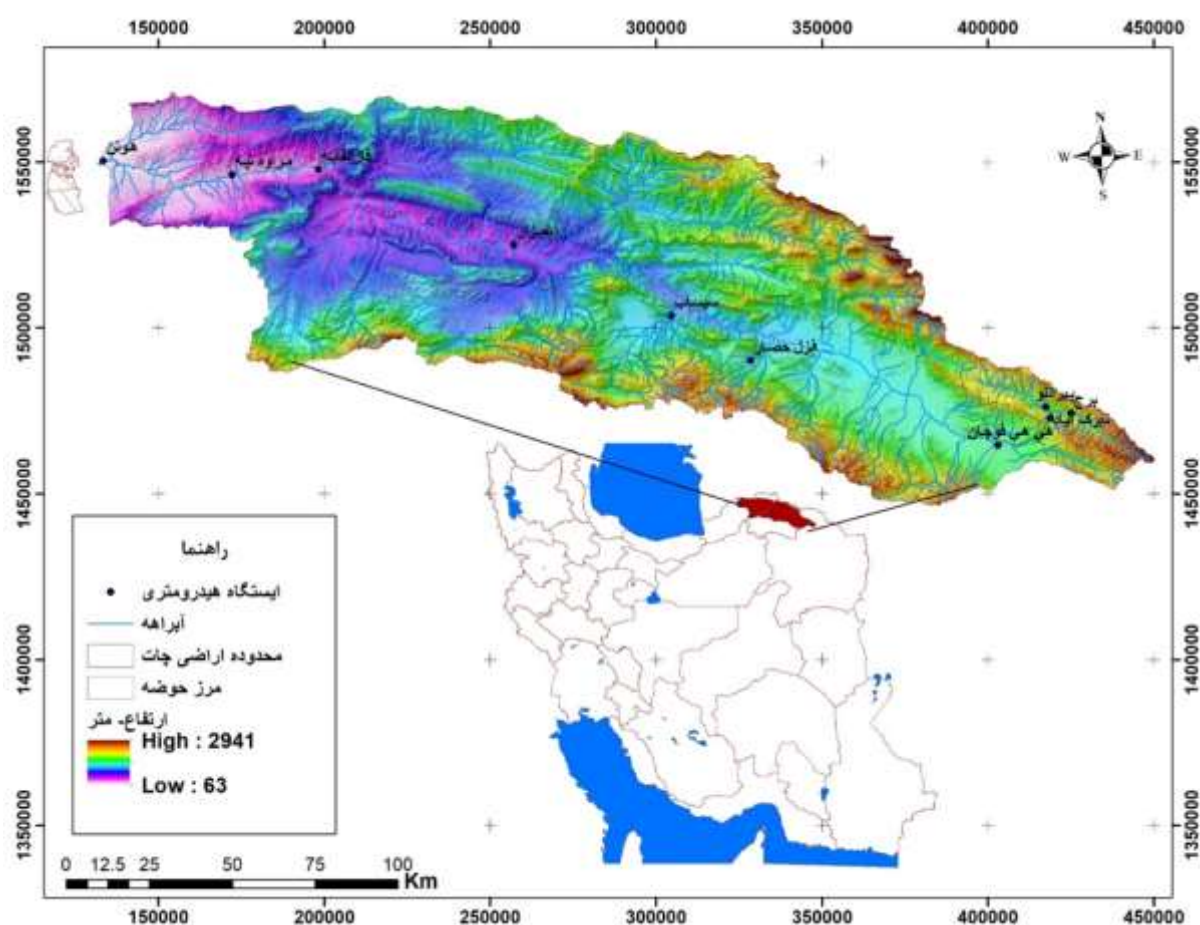
تغییرات آب‌وهوا با استفاده از مدل CMCC-ESM2 تحت مسیرهای اجتماعی- اقتصادی مشترک (SSPs) 126، ۳۷۰ و ۵۸۵ از ششمین گزارش ارزیابی پانل بین دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC) انجام می‌شود. مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی اطلاعات اقلیمی استفاده شد و نقشه‌برداری کاربری زمین از طریق تصاویر ماهواره‌ای Landsat در ENVI 5.3 پردازش شد. روش زنجیره مارکوف برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ از طریق TerrSet پیاده‌سازی شده است. هیدروگراف‌ها و نقشه‌های سیل توسط مدل‌های Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA) و سامانه تجزیه و تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی (HEC-RAS) تولید شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش میانگین بارندگی سالانه (تا ۴۶٪) و دما (تا ۳.۳۹ درجه سانتیگراد) تحت سناریوهای مختلف SSP تا سال ۲۰۸۰ است. اوج تخلیه سیل و خسارات ممکن است در بدترین سناریو به ترتیب ۳۸ و ۲۹ درصد افزایش یابد. طراحی و اجرای سازگار با محیط زیست برای بهبود وضعیت بسیار مهم است.

میانگین بارش در سال آبی ۱۴۰۲-۰۳ استان گلستان ۴۸۹ میلی‌متر به ثبت رسید، در حالی که میانگین بارش در سال آبی ۱۴۰۱-۰۲ برابر ۳۰۳ میلی‌متر بوده و میانگین بلند مدت نیز ۴۷۵ میلی‌متر بدست آمد. منابع مورد بررسی در حوضه اترک با روشهای مختلف سیل را مورد ارزیابی قرار داده اند. نتایج روش‌های مختلف متفاوت بوده و در سال‌های اخیر سیلاب منطقه منتنی بر داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری انجام نشده است. در راستای تأمین آب بخش کشاورزی منطقه چات‌گنبد نیاز به تحلیل سیلاب با دقت مناسب است تا بر مبنای آن میزان پمپاژ آب در مواقع سیلاب به‌صورت بهینه صورت پذیرد. لذا در این گزارش به تحلیل وضعیت بارش و سیل پرداخته می‌شود.

## ۲- مشخصات عمومی و موقعیت منطقه

حوزه‌های آبخیز بالادست اراضی کشاورزی و مرتعی سازمان اتکا در چات‌گنبد با مساحت حدود ۱۸۷۷۳ کیلومتر مربع در شمال‌شرق کشور و در محدوده شرق استان گلستان، شمال استان خراسان شمالی و بخشی از شمال استان خراسان رضوی را به‌خود اختصاص داده است. حاشیه مختصات جغرافیایی آن‌ها از (۳۷°، ۵۵°) تا (۲۶°، ۵۹°) طول جغرافیایی و (۳°، ۳۷°) تا (۳°، ۳۸°) عرض شمالی قرار دارد. این حوضه بین ارتفاع ۶۳ متر

در خروجی تا ۲۹۴۷ متر در ارتفاعات شرقی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه در راستای شرقی- غربی کشیده شده و شامل یک رودخانه میانی با شیب کم و دامنه‌های نسبتاً پرشیب آن است. از نظر اقلیمی خشک تا نیمه‌مرطوب بوده و در بخش خروجی به دلیل قرارگرفتن در نزدیکی دریای خزر از رطوبت نسبی مناسبی برخوردار است. رژیم رودخانه در پایین‌دست در سال‌های گذشته دائمی و در حال حاضر با رژیم فصلی است. رودخانه دارای سیلاب‌های تند و همراه با گل‌آلودگی بالا است.

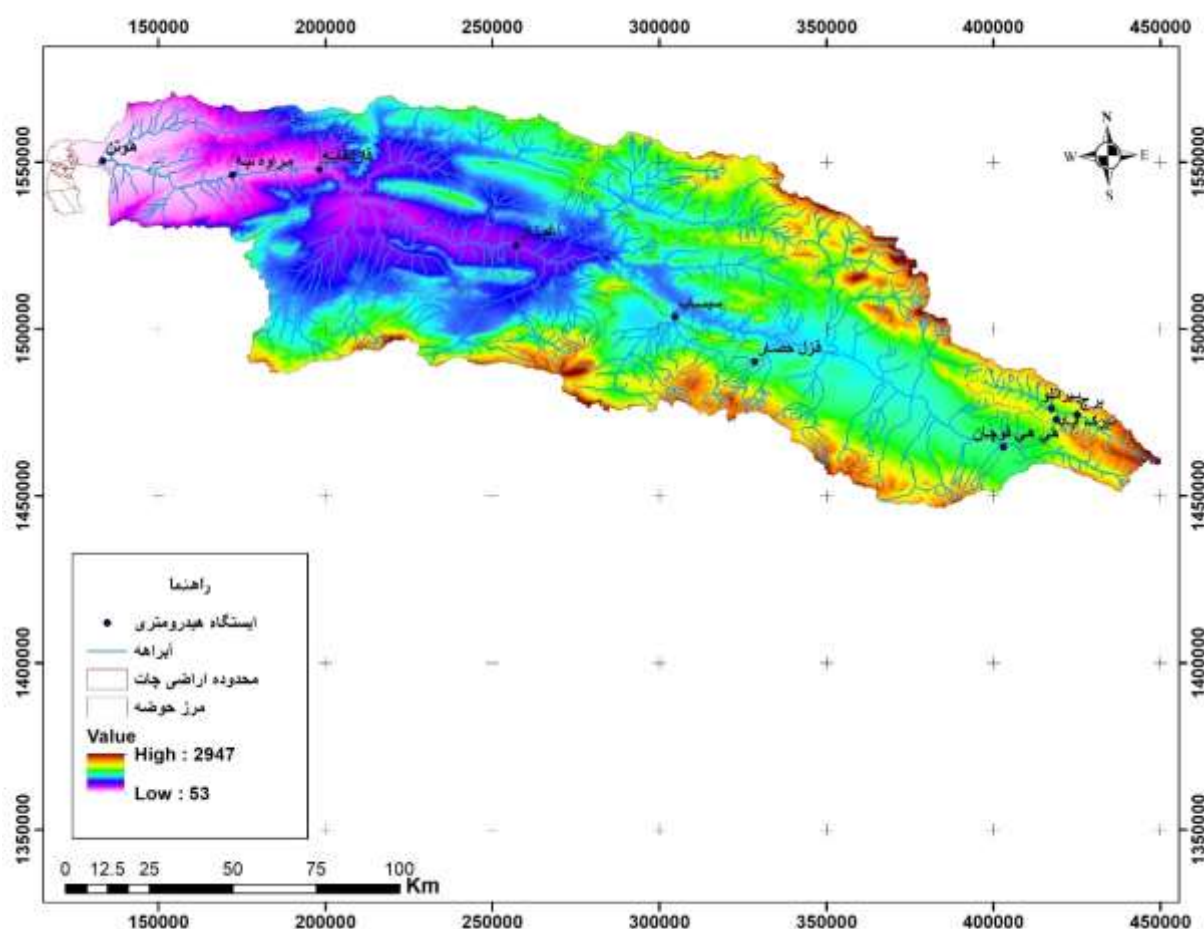


شکل ۱- موقعیت حوضه بالادست چات‌گنبد در کشور

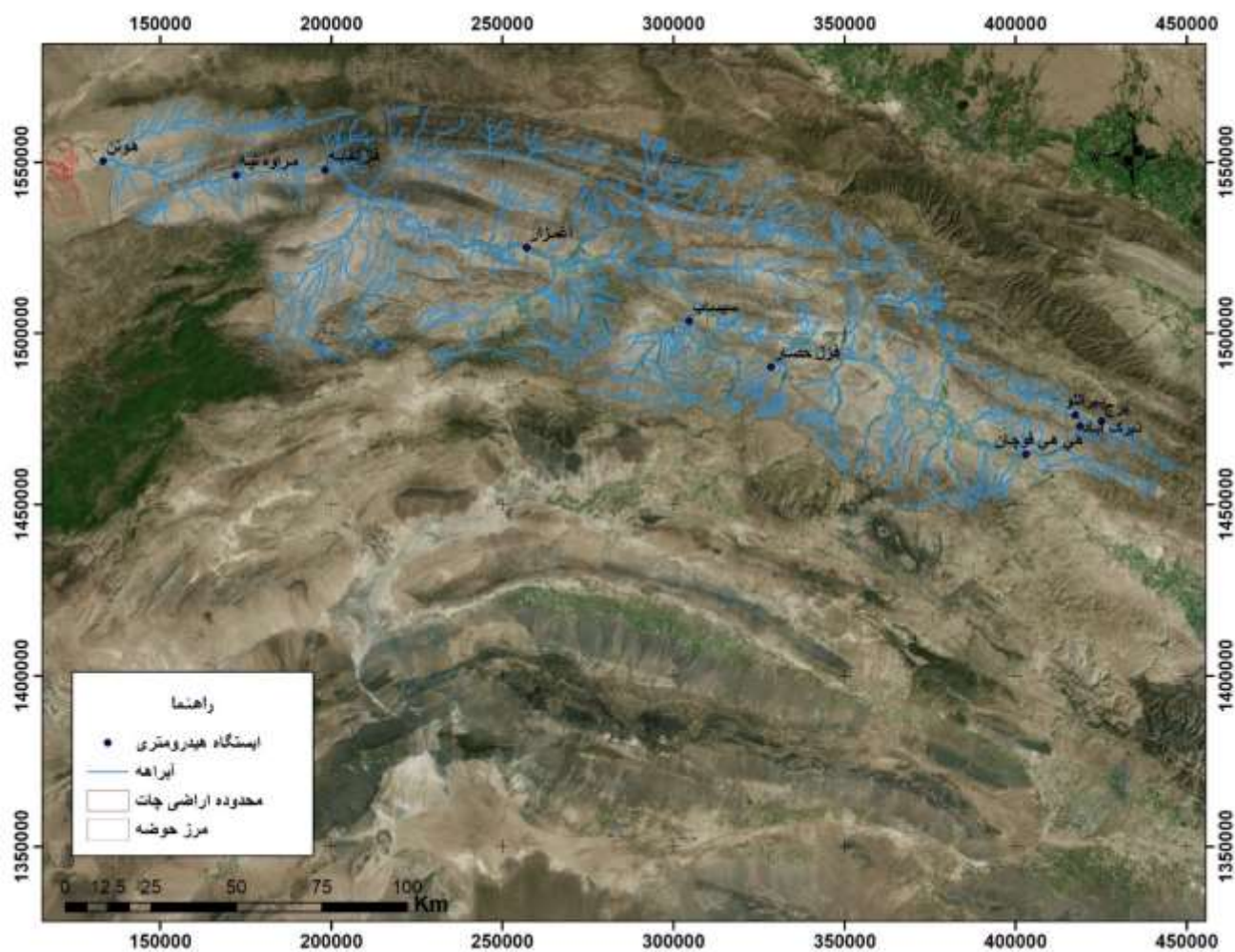
### ۳- گزارش گردآوری داده‌های هیدرولوژی رودخانه اترک

برای داده‌های هیدرولوژی و سیل، نیاز به اطلاعات مکانی مورفومتری و اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری است. این منظور داده‌های هندسی حوضه بالادست از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) که از داده‌های SRTM با ابعاد سلولی ۳۰ متری بود، از سایت USGS اخذ شد. DEM فوق از دقت مناسب برخوردار است. داده‌های

موردنیاز برای محاسبات هیدرولوژی شامل داده‌های هندسی، داده‌های اقلیمی و داده‌های دبی رودخانه است. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های مختلف مانند کوهی و عزیزیان (۱۴۰۰) حاکی از آن است که DEM 30 متری SRTM از قابلیت به مراتب مناسب‌تری در تخمین رقوم ارتفاعی برخوردار است. به‌طوری که شاخص RMSE این منبع در هردو بازه استان قزوین و مازندران به‌ترتیب برابر با  $\frac{3}{8}$  و  $\frac{5}{8}$  متر است. همچنین ارزیابی دقت ارتفاعی منابع مختلف در کاربری‌های گوناگون حاکی از عملکرد قابل قبول منبع ۳۰ متری SRTM در بیشتر کاربری‌ها و پوشش‌ها به غیر از نواحی کوهستانی و جنگلی است. علت اصلی این عملکرد پایین به‌ویژه در اراضی با پوشش جنگلی، عدم نفوذ امواج راداری در سطوح دارای پوشش و همچنین تراکم کم داده‌های برداشت‌شده توسط سنجنده SRTM است. در شکل ۲، DEM دریافت‌شده از منطقه و شکل ۳ قرارگیری حوضه و منطقه چات در تصویر ماهواره‌ای آورده شده است.



شکل ۲ - نقشه DEM منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه حوضه بالادست چات گنبد در بستر تصاویر ماهواره‌ای

### ۱-۳- سری زمانی داده‌های گردآوری شده

داده‌های مورد استفاده در این گزارش برای بررسی هیدرولوژی شامل داده‌های روزانه و دبی بیشینه سالانه از بدو تأسیس تا سال آبی ۴۰۱-۱۴۰۰ از آب منطقه ای استان گلستان برای سه ایستگاه هوتن، مراوه‌تپه و قازانقایه دریافت شد. داده‌های ایستگاه‌های هوتن، مراوه‌تپه و قازانقایه به ترتیب از سال‌های ۱۳۴۹، ۱۳۳۷ و ۱۳۵۰ (جدول ۱) در دسترس بوده، ولی افتادگی داده در برخی از سال‌ها در دو ایستگاه مراوه‌تپه و قازانقایه وجود داشت. سری زمانی کلیه ایستگاه‌های باران سنجی وزارت نیرو از بدو تأسیس تا سال ۱۳۹۸ منطقه حوضه بالادست مزرعه چات گنبد و اطراف آن برای بررسی بارش از شرکت مادر تخصصی منابع آب ایران دریافت شد.

جدول ۱- سری زمانی وضعیت داده‌های دبی بیشینه روزانه ایستگاه‌های اطراف منطقه

| سال آبی | قازانقایه | مراوه‌تپه | هوتن  |
|---------|-----------|-----------|-------|
| ۱۳۳۷    |           | ۵۴۱/۵     |       |
| ۱۳۳۸    |           | ۳۸۰       |       |
| ۱۳۳۹    |           | ۴۴۰       |       |
| ۱۳۴۰    |           | ۲۲۲/۵     |       |
| ۱۳۴۱    |           | ۳۴۴/۵     |       |
| ۱۳۴۲    |           | ۵۳۴       |       |
| ۱۳۴۳    |           | ۳۹۰/۸     |       |
| ۱۳۴۴    |           | ۳۷۹       |       |
| ۱۳۴۵    |           | ۲۵۰/۸     |       |
| ۱۳۴۶    |           | ۳۰۹       |       |
| ۱۳۴۷    |           | ۴۶۳/۲     |       |
| ۱۳۴۸    |           | ۳۵۲       |       |
| ۱۳۴۹    |           | ۲۴۰/۵     | ۱۲۹/۵ |
| ۱۳۵۰    | ۳۵۳/۵     | ۴۹۶/۵     | ۳۲۹   |
| ۱۳۵۱    | ۲۳۳/۵     | ۳۲۸/۵     | ۲۶۲/۵ |
| ۱۳۵۲    | ۳۵۵       | ۴۶۵/۵     | ۳۳۴/۵ |
| ۱۳۵۳    | ۲۹۰/۵     | ۳۲۸       | ۲۶۲   |
| ۱۳۵۴    | ۱۸۹/۴     | ۳۰۹/۵     | ۲۸۶/۵ |
| ۱۳۵۵    | ۲۸۶       | ۳۱۲       | ۲۶۳/۵ |
| ۱۳۵۶    | ۲۷۰       | ۴۱۲/۵     | ۳۷۰/۵ |
| ۱۳۵۷    | ۱۶۴       | ۳۹۷       | ۳۳۰/۵ |
| ۱۳۵۸    | ۱۳۱       | ۳۵۱/۲     | ۲۷۰   |
| ۱۳۵۹    | ۲۱۷/۵     | ۵۸۳/۵     | ۴۵۲/۵ |
| ۱۳۶۰    | ۷۵        | ۳۱۳/۵     | ۱۷۵   |
| ۱۳۶۱    | ۹۱        | ۲۲۶/۵     | ۱۳۵/۴ |
| ۱۳۶۲    | ۱۱۹       | ۳۹۵/۵     | ۲۶۳/۹ |
| ۱۳۶۳    | ۱۴۱       | ۲۹۰/۵     | ۲۱۳   |
| ۱۳۶۴    | ۱۶۷       | ۳۸۸       | ۲۴۱   |
| ۱۳۶۵    | ۲۶۰       | ۳۰۷/۵     | ۲۵۲   |
| ۱۳۶۶    | ۲۹۰       | ۴۳۲/۵     | ۳۶۱/۵ |
| ۱۳۶۷    | ۳۰۷       | ۳۱۹/۵     | ۲۹۰   |
| ۱۳۶۸    | ۲۵۵/۵     | ۳۱۸       | ۲۱۹/۵ |
| ۱۳۶۹    | ۲۶۷/۵     | ۳۸۳       | ۲۸۲/۵ |
| ۱۳۷۰    | ۳۷۵       | ۵۱۹/۵     | ۳۴۷/۵ |
| ۱۳۷۱    | ۳۲۱/۵     | ۳۲۶       | ۲۷۴   |
| ۱۳۷۲    | ۲۹۶/۵     | ۳۰۵       | ۳۰۶   |

| سال آبی | قازانقایه | مراوه تپه | هوتن  |
|---------|-----------|-----------|-------|
| ۱۳۷۳    | ۳۵۷/۵     | ۳۴۲       | ۲۴۲   |
| ۱۳۷۴    | ۲۷۶       | ۳۱۲/۵     | ۳۰۹   |
| ۱۳۷۵    | ۳۴۷       | ۲۵۴       | ۲۱۴   |
| ۱۳۷۶    | ۴۴۸       | ۴۱۴       | ۴۱۰/۵ |
| ۱۳۷۷    | ۳۲۵       | ۳۰۴       | ۲۰۱   |
| ۱۳۷۸    | ۳۲۶       | ۴۱۶       | ۱۹۸/۵ |
| ۱۳۷۹    | ۲۳۵       | ۱۹۲/۵     | ۱۵۷/۵ |
| ۱۳۸۰    | ۳۸۱       | ۳۱۹       | ۳۲۱/۵ |
| ۱۳۸۱    | ۵۲۲       | ۳۸۱       | ۳۵۲   |
| ۱۳۸۲    | ۳۷۵       | ۳۶۸       | ۳۲۹   |
| ۱۳۸۳    | ۴۲۵       | ۴۶۶       | ۳۴۲/۵ |
| ۱۳۸۴    | ۲۹۶       | ۳۰۷/۵     | ۲۲۸   |
| ۱۳۸۵    | ۳۵۸/۵     | ۳۸۰       | ۱۹۴/۵ |
| ۱۳۸۶    | ۳۰۰       | ۳۷۰/۵     | ۲۱۲/۵ |
| ۱۳۸۷    | ۲۸۵       | ۶۳۱       | ۲۰۶   |
| ۱۳۸۸    | ۳۷۵       | ۶۵۴       | ۲۷۸/۵ |
| ۱۳۸۹    | ۲۳۳/۲     | ۳۰۹/۳     | ۲۶۲   |
| ۱۳۹۰    | ۴۴۷/۵     | ۸۱۶/۸     | ۶۶۵   |
| ۱۳۹۱    | ۳۰۶       | ۶۹۲       | ۲۵۱/۵ |
| ۱۳۹۲    | ۲۱۵       | ۲۳۱       | ۱۸۹/۵ |
| ۱۳۹۳    | ۴۷۴       | ۴۸۹       | ۳۳۵   |
| ۱۳۹۴    | ۶۹۶       | ۸۶۹       | ۵۹۷   |
| ۱۳۹۵    | ۲۱۵       | ۶۳۳       | ۲۱۳   |
| ۱۳۹۶    | ۴۴۰       | ۴۸۳       | ۱۸۵   |
| ۱۳۹۷    | ۱۰۸۷      | ۱۱۸۴      | ۸۷۳   |
| ۱۳۹۸    | ۲۸۹       | ۳۵۷/۵     | ۲۲۹   |
| ۱۳۹۹    | ۳۲۸       | ۳۲۹/۵     | ۱۹۲   |
| ۱۴۰۰    | ۳۴۰       | ۳۵۲       | ۲۰۶/۵ |

### ۳-۲- معرفی ایستگاه‌های شاخص

مزرعه چات گنبد در حدود هفت کیلومتری پایین دست ایستگاه هیدرومتری هوتن قرار گرفته است. این ایستگاه دارای داده‌های طولانی مدت بوده و می‌تواند برای بررسی وضعیت جریان در محل پمپاژ مورد استفاده قرار گیرد. برای اطمینان بیشتر دو ایستگاه بالادست آن (مراوه تپه و قازانقایه) نیز مورد بررسی قرار گرفت تا در تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. برای تحلیل بارش نیز ایستگاه‌های بالادست حوضه که سه استان

گلستان، خراسان شمالی و بخشی از شمال خراسان رضوی شامل می‌شوند، دوره ۵۲ ساله ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ بررسی و ایستگاه‌های با طول آماری مناسب، مورد استفاده قرار گرفت.

#### ۴- روش مطالعه

در بررسی و مطالعه جریان‌های سطحی اعم از حوضه‌های شهری و غیرشهری، بررسی پارامترهای هواشناسی و به‌ویژه ریزش‌های جوی از اهمیت خاصی برخوردار است و عملاً بدون مطالعه و تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه نمی‌توان هیدرولوژی جریان‌های سطحی و زیرزمینی را انجام داد. برای تهیه گزارش هیدرولوژی ضمن شناسایی کامل وضعیت موجود منطقه و بررسی خروجی واحدهای هیدرولوژیکی با جمع‌آوری اطلاعات محلی و آمار ایستگاه‌های هیدرومتری داخل و مجاور آن و بررسی گزارشات و مطالعات انجام شده سعی شد تا گزارشی کاربردی ارائه شود. بدین‌منظور ابتدا وضعیت فیزیوگرافی، هوا و اقلیم و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. واحدهای هیدرولوژیک مبتنی بر ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست تعریف شد. در بازدید صحرایی و بررسی میدانی آبراهه و داغاب، شیب و رسوبات باقیمانده از سیلاب سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفت.

- با توجه به وجود ایستگاه هیدرومتری در منطقه مطالعه از داده‌های روزانه و بیشینه لحظه‌ای سالانه استفاده شد. برای این منظور سه ایستگاه بالادست منطقه شامل ایستگاه هوتن تقریباً در هفت کیلومتری بالادست حوضه، ایستگاه مراوه‌تپه و قازنقایه در بالادست به‌ترتیب در فواصل ۵۰ و ۷۵ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت.

- برآورد سیلاب در خروجی حوضه‌ها به کمک روش‌های تحلیل فروانی رایج با دوره برگشت‌های مختلف انجام شد.

- نتیجه برآوردها مقایسه و پیشنهاد استفاده از بهترین روش برآوردی ارائه شد.

#### ۵- مشخصات فیزیکی حوضه

به‌منظور محاسبات جریان و سیلاب زیرحوضه‌ها اطلاعات مورفومتری، نقشه‌های مستخرج از داده‌های توپوگرافی استخراج شد. بر این اساس سه حوضه در بالادست ایستگاه‌های یادشده و بالادست مزرعه چات‌گنبد

در محل ایستگاه پمپاژ نیز تحدید و براساس نقشه های توپوگرافی و DEM ۳۰ متری راداری، نقشه های مختلف شیب، جهت و ارتفاع استخراج شد.

## ۵-۱- توپوگرافی

ارتفاع عبارت است از پستی و بلندی یک حوضه از سطح دریای آزاد. ارتفاع یک حوضه در میزان وقوع بارندگی، درجه حرارت و تغییرات آن، میزان تبخیر و تعرق، شدت تشعشعات خورشیدی و به طور کلی در آب و هوای منطقه و به همراه آن در تشکیل و توسعه خاک، نوع و تراکم پوشش گیاهی مؤثر بوده و به همین دلیل دانستن ارتفاع متوسط یک حوضه و اختلاف ارتفاع و به خصوص نحوه توزیع سطوح حوضه در ارتفاعات مختلف (توزیع سطح- ارتفاع) می تواند در شناخت رژیم آبدهی حوضه کمک به سزایی کند. ضمناً میزان بارندگی عمدتاً با ارتفاع افزایش می یابد و همین طور که از درجه حرارت کاسته می شود، بارندگی ها بیشتر به صورت برف خواهد بود که در این صورت حوضه ها دارای جریان بادوام تر و رژیم آبدهی متعادل تری خواهند بود.

## الف- مدل رقومی ارتفاعی (DEM)

برای محاسبه پارامترهای توپوگرافی منطقه از مدل رقومی ارتفاعی SRTM ۳۰ متر استفاده شد. بدین منظور توپوگرافی رقومی سه بعدی (منحنی میزان و نقاط ارتفاعی دارای ارزش ارتفاعی) از سایت های مورد نظر دانلود و با تبدیل سامانه تصویر آن ها به UTM برای استخراج پارامترهای مورفومتری به کار گرفته شد. تمامی فرآیندهای تهیه نقشه ها در محیط ArcGIS 10.8 صورت گرفت (شکل ۲). پارامترهای ارتفاعی هریک از حوضه ها نیز محاسبه و در جدول ۲ آورده شد.

## ۵-۲- بررسی شیب در حوضه و زیر حوضه ها

شیب حوضه یکی از فاکتورهای بسیار مهم در واکنش هیدرولوژیکی و همچنین زمان تمرکز آبخیز است و بنا به تعریف عبارت است از اختلاف ارتفاع در واحد طول، هرچه شیب عمومی آبخیز افزایش یابد زمان تمرکز کمتر می شود؛ زیرا آب در شیبهای تندتر سریعتر حرکت می کند و زودتر به خروجی حوضه می رسد. بنابراین آبخیزهای با شیب تند از مقدار دبی بیشتری نسبت به آبخیزهای کم شیب و یا تقریباً مسطح برخوردار هستند.

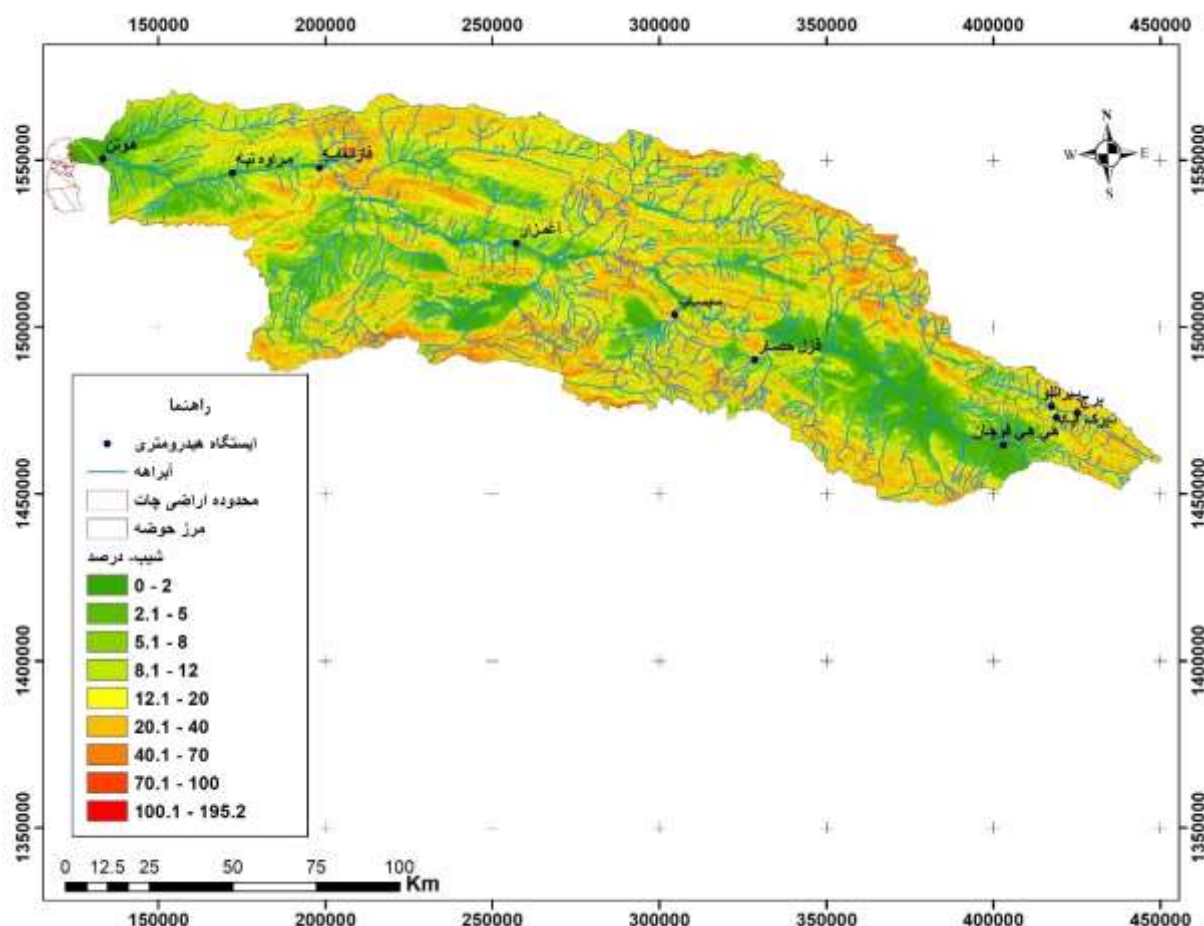
به‌طوری که به علت نفوذ کمتر آب در شیب‌های تند می‌توان انتظار دبی بالاتری را داشت. از طرفی عامل شیب را می‌توان یکی از فاکتورهای بسیار مهم در میزان فرسایش و مقدار رسوبدهی آبخیز دانست. هرچند فاکتورهای دیگری نظیر شکل آبخیز، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و غیره هر کدام به‌نحوی در وقوع جریان‌ات سطحی و فرسایش تأثیر می‌گذارند، ولی عامل شیب و توپوگرافی حوضه، شدت تمامی عوامل تخریب را سرعت می‌بخشد. بدین‌منظور با استفاده از فیلترهای مناسب و دستورات موجود در نرم افزار ArcGIS بر حسب درصد محاسبه شده است. در این روش هر سلول شبکه دارای شیب خاصی بوده و نقشه شیب به‌دست‌آمده دارای تنوع زیادی است. بنابر این لازم است با در نظر گرفتن دامنه کلاسهای شیب موردنیاز سایر بخشهای مطالعاتی، نقشه شیب را طبقه‌بندی کرد. دامنه کلاس‌های شیب به‌کاررفته در این مطالعه بر حسب درصد عبارتند از: ۰-۲، ۲-۵، ۵-۸، ۸-۱۲، ۱۲-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۷۰، ۷۰-۱۰۰ و بالاتر از ۱۰۰.

بدیهی است که با استفاده از امکانات GIS امکان هرگونه تقسیم‌بندی جدید وجود دارد. برای طبقه‌بندی نقشه شیب از دستور Reclassify در محیط ArcGIS استفاده شده است. دقت این روش بستگی زیادی به نحوه ورود اطلاعات (تراکم خطوط منحنی میزان و نقاط ارتفاعی وارده) دارد لذا برای ازبین‌بردن سلول‌های شبکه‌ای منفرد ناخواسته از یک فیلتر با ابعاد مناسب<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. در شکل ۴ پراکندگی کلاس‌های شیب کل محدوده مطالعاتی و همچنین مرز و محدوده زیرحوضه نمایش داده شده است. متوسط شیب هریک از حوضه‌ها نیز محاسبه و در جدول ۲ آورده شد.

جدول ۲- مشخصات مورفومتری بالادست

| نام ایستگاه | کد ایستگاه | مساحت    | محیط    | ارتفاع - متر |        |         | شیب - درصد |
|-------------|------------|----------|---------|--------------|--------|---------|------------|
|             |            |          |         | کمینه        | بیشینه | میانگین |            |
| قازانقایه   | ۱۱۰۴۵      | ۱۶۵۶۹/۰۱ | ۹۲۹/۳   | ۲۹۲          | ۲۹۴۷   | ۱۲۷۳/۸  | ۱۶/۵۹      |
| مراوه‌تپه   | ۱۱۰۴۷      | ۱۷۱۱۴/۱۷ | ۹۳۹/۲   | ۱۹۵          | ۲۹۴۷   | ۱۲۴۵/۵  | ۱۶/۵۳      |
| هوتن        | ۱۱۰۷۳      | ۱۸۷۷۳/۰۸ | ۱۰۳۲/۴  | ۱۳۴          | ۲۹۴۷   | ۱۲۰۹/۱  | ۱۵/۹۹      |
| حوضه        | ---        | ۱۸۸۹۲/۰۹ | ۱۰۵۵/۶۴ | ۵۳           | ۲۹۴۷   | ۱۲۰۱    | ۱۵/۹۲      |

<sup>۱</sup>. Remove noise



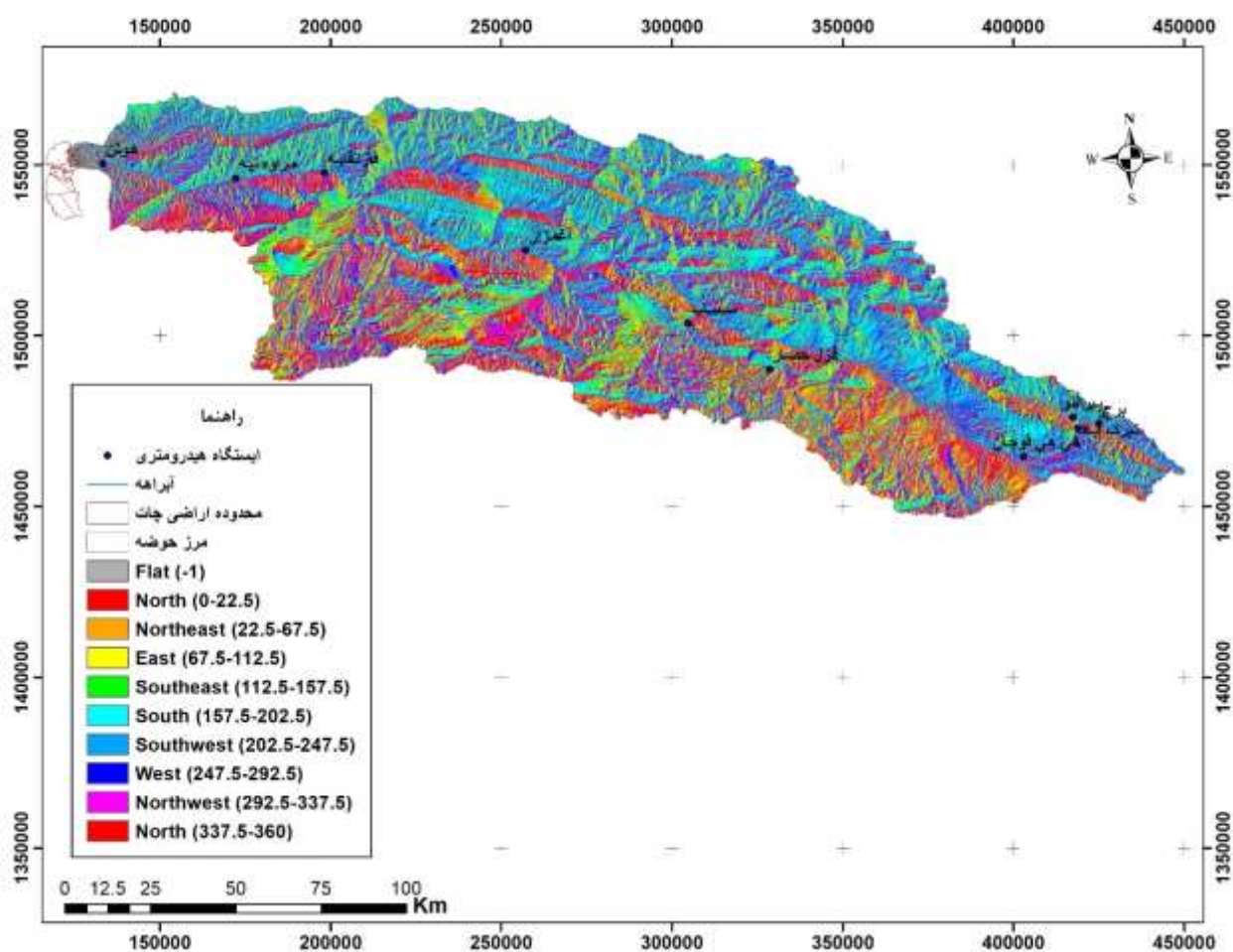
شکل ۴- کلاس‌های شیب منطقه

### ۵-۳- جهت شیب

علاوه بر میزان شیب منطقه، جهت شیب‌های غالب منطقه نیز اثر غیرمستقیمی در آبدوی و فرسایش دارد. شیب‌های هم‌درجه ولی با جهات متفاوت یک منطقه معمولاً به‌طور یکسان با خطر فرسایش روبرو نیستند. اثر عمده جهت شیب در میزان آبدوی و فرسایش به‌علت اختلاف میکروکلیمای موجود در شیب‌های مختلف است. به‌عنوان مثال وضع قرارگرفتن شیب نسبت به خورشید در حرارتی که شیب دریافت می‌کند تأثیر دارد. با استفاده از فیلترها و توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS که بر روی لایه مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) اعمال می‌شود، برای هر سلول شبکه وجه شیب بر حسب درجه به‌دست می‌آید که میزان صفر درجه معرف جهت شمال، ۹۰ درجه جهت شرق، ۱۸۰ درجه جهت جنوب، ۲۷۰ درجه جهت غرب و مجدداً ۳۶۰ درجه جهت شمال است. با تعیین دامنه مناسب می‌توان نقشه جهت شیب را به چهار کلاس اصلی و یا هشت کلاس (شمال، شمال غربی، ... شمال شرقی) تقسیم کرد. لازم به ذکر است که برای مناطق مسطح (شیب صفر) میزان

وجه شیب<sup>۱</sup> توسط سامانه نامشخص گزارش می‌شود که در نقشه وجه شیب، با کلاس اراضی مسطح (flat) نمایش می‌شوند.

نهایتاً از قطع‌دادن نقشه جهت شیب با نقشه محدوده واحدهای کاری در محیط ArcGIS مساحت کلاس‌های هشت‌گانه جهت شیب در هر یک از زیرحوضه‌ها به‌دست می‌آید. شکل ۵ وضعیت جهت شیب را در واحدهای کاری منطقه نمایش می‌دهد.



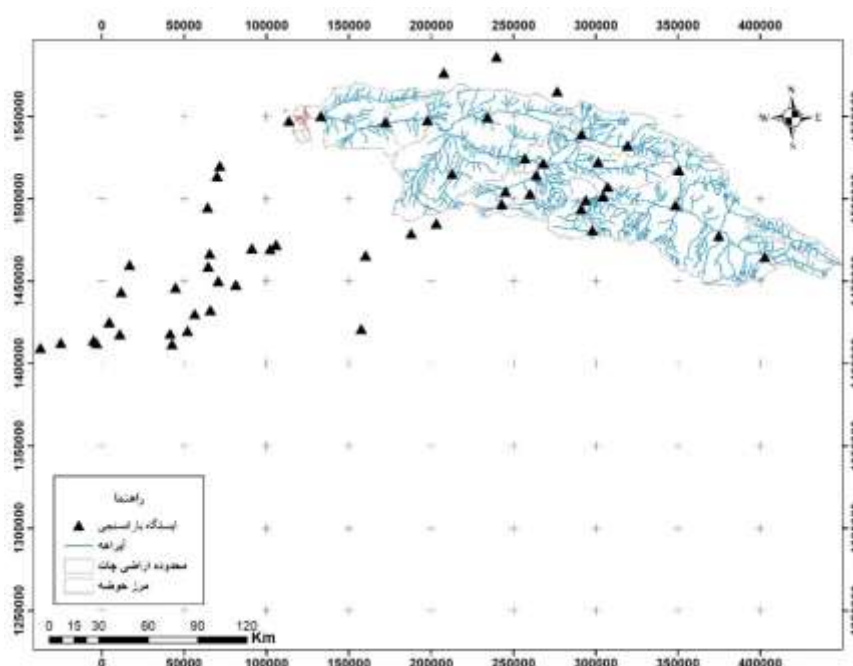
شکل ۵- نقشه جهت شیب منطقه

---

<sup>۱</sup> . Aspect

## ۶- وضعیت بارش منطقه

برای مطالعه وضعیت بارش از ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیر سنجی وزارت نیرو استفاده شد (جدول ۳). برای این منظور کلیه ایستگاه‌های منطقه مورد بررسی و در نهایت ۵۵ ایستگاه که برای دوره ۳۰ ساله دارای صحت و کفایت داده داشتند، مورد بازسازی قرار گرفتند. لازم به ذکر است که تعداد ایستگاه‌های دارای کفایت داده برای دوره آماری ۴۰ و ۵۰ ساله، به ترتیب ۵۲ و ۳۸ به دست آمد. لازم به توضیح است که با توجه به شرایط توپوگرافی و سامانه‌های بارشی مؤثر بر منطقه سعی شد از ایستگاه‌های مناسب استفاده شود. بعد از انتخاب ایستگاه‌های مناسب، داده‌های پرت با روش باکس-پلات و نظر کارشناسی حذف و با روش همبستگی بین ایستگاه‌ها بازسازی داده‌های مفقود انجام شد. در شکل ۶ موقعیت ایستگاه‌های منطقه آورده شده است. بعد از بازسازی داده‌های مفقود شده، بارش سالانه ایستگاه‌ها محاسبه و میانگین ایستگاه‌ها به عنوان رفتار بارش سالانه مدنظر قرار گرفت. برای تحلیل بارش نیز ایستگاه‌های بالادست حوضه که سه استان گلستان، خراسان شمالی و بخشی از شمال خراسان رضوی شامل می‌شوند، دوره ۵۲ ساله ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۷ بررسی و ایستگاه‌های با طول آماری مناسب، مورد استفاده قرار گرفت. بعد از بازسازی داده‌های مفقود شده بارش سالانه ایستگاه‌ها محاسبه و میانگین ایستگاه‌ها به عنوان رفتار بارش سالانه مدنظر قرار گرفت.



شکل ۶- موقعیت ایستگاه‌های منطقه

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب منطقه

| کد ایستگاه | ارتفاع- متر | طول جغرافیایی- درجه | عرض جغرافیایی- درجه | دوره ۳۰ ساله | دوره ۴۰ ساله | دوره ۵۰ ساله |
|------------|-------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| ۱۱-۰۰۳     | ۱۳۳۳        | ۵۸/۵۲۹۴۴            | ۳۷/۱۱۱۳۹            | *            | *            |              |
| ۱۱-۰۰۶     | ۱۱۳۸        | ۵۷/۹۳۲۲۲            | ۳۷/۴۱۴۱۷            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۰۸     | ۱۲۵۵        | ۵۷/۶۱۸۰۶            | ۳۷/۷۴۸۶۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۱۱     | ۱۴۲۲        | ۵۷/۹۶۳۸۹            | ۳۷/۶۰۳۶۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۱۶     | ۸۴۲         | ۵۶/۷۷۱۳۹            | ۳۷/۵۱۷۷۸            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۱۸     | ۷۴۸         | ۵۶/۴۰۷۵             | ۳۷/۶۲۱۱۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۰     | ۷۰۸         | ۵۶/۶۶۰۲۸            | ۳۷/۹۲۶۱۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۱     | ۱۰۱۹        | ۵۷/۴۳۸۸۹            | ۳۷/۴۷۵۸۳            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۳     | ۱۰۵۲        | ۵۷/۴۱۲۵             | ۳۷/۶۶۴۱۷            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۷     | ۹۷۷         | ۵۷/۳۰۶۶۷            | ۳۷/۸۱۶۱۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۸     | -۲۰         | ۵۴/۱۹۱۶۷            | ۳۷/۱۴۵۲۸            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۹     | ۶۴۰         | ۵۷/۰۳۵              | ۳۷/۶۶۷۲۲            | *            | *            |              |
| ۱۱-۰۳۱     | ۱۱۰۵        | ۵۶/۷۴۳۸۹            | ۳۷/۴۴۶۶۷            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۳۳     | ۹۲۶         | ۵۶/۹۳۷۷۸            | ۳۷/۵۰۰۸۳            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۳۵     | ۶۹۵         | ۵۶/۹۸۴۴۴            | ۳۷/۶۰۳۳۳            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۳۸     | ۱۲۳۹        | ۵۷/۱۴۵۵۶            | ۳۸/۰۵۵۵۶            | *            |              |              |
| ۱۱-۰۳۹     | ۵۶۷         | ۵۶/۹۱۰۲۸            | ۳۷/۶۹۵۲۸            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۴۴     | ۱۷۴۲        | ۵۷/۳۵۹۱۷            | ۳۷/۲۹۱۹۴            | *            | *            |              |
| ۱۱-۰۴۵     | ۳۱۰         | ۵۶/۲۴۶۱۱            | ۳۷/۹۱۶۱۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۴۷     | ۱۹۰         | ۵۵/۹۵۵۵۶            | ۳۷/۹۱۰۸۳            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۵۱     | ۵۸۴         | ۵۶/۳۶۵۵۶            | ۳۸/۱۷۳۳۳            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۵۳     | ۹۴۳         | ۵۶/۷۳۴۷۲            | ۳۸/۲۵۳۸۹            | *            | *            |              |
| ۱۱-۰۵۴     | ۱۱۹۴        | ۵۷/۲۸۵              | ۳۷/۴۱۱۱۱            | *            | *            |              |
| ۱۱-۰۷۳     | ۸۰          | ۵۵/۵۱۲۷۸            | ۳۷/۹۵۱۳۹            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۸۶     | ۱۱۲۳        | ۵۷/۳۲               | ۳۷/۴۵۷۷۸            | *            | *            |              |
| ۱۱-۲۰۴     | ۹۴۶         | ۵۷/۴۷۱۱۱            | ۳۷/۵۲۶۳۹            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۲۰۶     | ۱۱۷۹        | ۵۸/۲۱۹۴۴            | ۳۷/۲۳۶۱۱            | *            | *            |              |
| ۱۱-۹۰۲     | ۸۰          | ۵۵/۲۹۱۳۹            | ۳۷/۹۲۵۵۶            | *            | *            |              |
| ۱۲-۰۰۲     | ۱۲۸۹        | ۵۶/۲۹۱۶۷            | ۳۷/۳۵۱۹۴            | *            | *            |              |
| ۱۲-۰۰۴     | ۱۲۰۵        | ۵۶/۱۱۷۵             | ۳۷/۳                | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۳۳     | ۱۰۰         | ۵۴/۶۳۳۳۳            | ۳۶/۸۷۵۵۶            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۳۷     | -۱۲         | ۵۴/۵۰۵۵۶            | ۳۷/۰۲۱۹۴            | *            | *            |              |
| ۱۲-۰۴۳     | ۵۵۰         | ۵۴/۴۶۶۶۷            | ۳۶/۷۶۸۶۱            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۴۹     | ۱۴۷۰        | ۵۵/۷۶۶۶۷            | ۳۶/۷۸۳۳۳            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۵۳     | ۹۴          | ۵۳/۹۶۷۲۲            | ۳۶/۷۱۸۶۱            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۵۶     | ۵۹          | ۵۴/۱۲۴۷۲            | ۳۶/۷۶۷۲۲            | *            |              |              |
| ۱۲-۰۸۵     | ۴۶۵         | ۵۴/۵۸۳۶۱            | ۳۶/۷۸۳۸۹            | *            | *            |              |
| ۱۲-۲۰۰     | ۹۰۰         | ۵۴/۴۸۰۲۸            | ۳۶/۷۱۱۶۷            | *            | *            |              |
| ۱۲-۴۴۶     | ۱۳۴۵        | ۵۵/۸۰۴۱۷            | ۳۷/۱۸۵۵۶            | *            |              |              |

| کد ایستگاه | ارتفاع- متر | طول جغرافیایی- درجه | عرض جغرافیایی- درجه | دوره ۳۰ ساله | دوره ۴۰ ساله | دوره ۵۰ ساله |
|------------|-------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| ۱۲-۵۳۱     | ۱۸۰         | ۵۴/۷۴۰۵۶            | ۳۶/۸۹۷۲۲            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۵۳۹     | -۲۰         | ۵۴/۱۳۵              | ۳۶/۷۷۸/۹۹           | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۲۶     | ۱۰          | ۵۴/۷۲۷۷۸            | ۳۷/۴۵۸۳۳            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۵۷     | ۳۱          | ۵۴/۸۱۲۷۸            | ۳۷/۶۸۳۶۱            | *            | *            | *            |
| ۱۱-۰۶۹     | ۲۳          | ۵۴/۷۹۲۷۸            | ۳۷/۶۲۸۳۳            | *            | *            |              |
| ۱۲-۰۱۱     | ۳۶          | ۵۵/۱۹۳۰۶            | ۳۷/۲۵               | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۱۴     | ۲۴          | ۵۴/۷۹۶۹۴            | ۳۷/۰۵۶۶۳۹           | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۱۹     | ۳۴/۵        | ۵۵/۱۵۲۷۸            | ۳۷/۲۲۶۶۷            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۳۱     | ۲۰          | ۵۴/۷۲۷۵             | ۳۷/۱۳۵۵۶            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۲۳     | ۳۰          | ۵۵/۰۲۷۵             | ۳۷/۲۳۳۳۳            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۲۵     | ۱۲          | ۵۴/۷۴۰۸۳            | ۳۷/۲۰۶۳۹            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۳۰     | ۳۰          | ۵۳/۷۲۳۰۶            | ۳۶/۷۲۰۲۸            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۰۵۵     | ۳۰          | ۵۳/۹۴۵۵۶            | ۳۶/۷۳۳۳۳            | *            | *            |              |
| ۱۲-۰۹۷     | -۲۶         | ۵۴/۰۵۳۳۳            | ۳۶/۸۳۳۳۳            | *            | *            | *            |
| ۱۲-۹۰۱     | ۳۱          | ۵۴/۹۱۶۶۷            | ۳۷/۰۳۵۲۸            | *            | *            | *            |

#### ۱-۶- محاسبه بارش حوضه

با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی رابطه بارش با عوامل مورفومتری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، محاسبه بارش حوضه از رابطه چندمتغیره با متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی استفاده شد. پارامترهای آماری مدل سازی در جدول های ۴ تا ۶ و نتایج آماری آن برای دوره های آماری ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ساله به ترتیب در جدول های ۷ تا ۹ آورده شد. میزان ضریب همبستگی بدست آمده بیانگر دقت مناسب روابط یاد شده است.

جدول ۴- مشخصات آماری رابطه بارش سالانه متوسط دوره با عوامل مورفومتری

دوره آماری ۳۰ ساله منتهی ۹۷

| Regression Statistics |              |                |             |         |                |            |             |             |
|-----------------------|--------------|----------------|-------------|---------|----------------|------------|-------------|-------------|
| Multiple R            | 0.8040       |                |             |         |                |            |             |             |
| R Square              | 0.6463       |                |             |         |                |            |             |             |
| Adjusted R Square     | 0.6255       |                |             |         |                |            |             |             |
| Standard Error        | 93.4776      |                |             |         |                |            |             |             |
| Observations          | 55           |                |             |         |                |            |             |             |
| ANOVA                 |              |                |             |         |                |            |             |             |
|                       | df           | SS             | MS          | F       | Significance F |            |             |             |
| Regression            | 3            | 814432.3937    | 271477.4646 | 31.0684 | 0.0000         |            |             |             |
| Residual              | 51           | 445640.8442    | 8738.0558   |         |                |            |             |             |
| Total                 | 54           | 1260073.237    |             |         |                |            |             |             |
|                       | Coefficients | Standard Error | t Stat      | P-value | Lower 95%      | Upper 95%  | Lower 95.0% | Upper 95.0% |
| Intercept             | 10418.4930   | 1174.2033      | 8.8728      | 0.0000  | 8061.1816      | 12775.8045 | 8061.1816   | 12775.8045  |
| e                     | 0.0297       | 0.0461         | 0.6447      | 0.5220  | -0.0628        | 0.1222     | -0.0628     | 0.1222      |
| Lo                    | -43.8578     | 22.0030        | -1.9933     | 0.0516  | -88.0307       | 0.3151     | -88.0307    | 0.3151      |
| La                    | -203.7001    | 43.0261        | -4.7343     | 0.0000  | -290.0787      | -117.3216  | -290.0787   | -117.3216   |

جدول ۵- مشخصات آماری رابطه بارش سالانه سال خشک با عوامل مورفومتری

دوره آماری ۴۰ ساله منتهی ۹۷

| Regression Statistics |              |                |             |         |                |            |             |             |
|-----------------------|--------------|----------------|-------------|---------|----------------|------------|-------------|-------------|
| Multiple R            | 0.8137       |                |             |         |                |            |             |             |
| R Square              | 0.6621       |                |             |         |                |            |             |             |
| Adjusted R Square     | 0.6405       |                |             |         |                |            |             |             |
| Standard Error        | 88.1733      |                |             |         |                |            |             |             |
| Observations          | 51           |                |             |         |                |            |             |             |
| ANOVA                 |              |                |             |         |                |            |             |             |
|                       | df           | SS             | MS          | F       | Significance F |            |             |             |
| Regression            | 3            | 715948.6143    | 238649.5381 | 30.6963 | 0.0000         |            |             |             |
| Residual              | 47           | 365403.1189    | 7774.5344   |         |                |            |             |             |
| Total                 | 50           | 1081351.733    |             |         |                |            |             |             |
|                       | Coefficients | Standard Error | t Stat      | P-value | Lower 95%      | Upper 95%  | Lower 95.0% | Upper 95.0% |
| Intercept             | 10479.8775   | 1153.7829      | 9.0831      | 0.0000  | 8158.7658      | 12800.9892 | 8158.7658   | 12800.9892  |
| e                     | 0.0490       | 0.0487         | 1.0063      | 0.3194  | -0.0489        | 0.1469     | -0.0489     | 0.1469      |
| Lo                    | -47.0853     | 22.3791        | -2.1040     | 0.0408  | -92.1063       | -2.0643    | -92.1063    | -2.0643     |
| La                    | -201.0054    | 43.3754        | -4.6341     | 0.0000  | -288.2655      | -113.7453  | -288.2655   | -113.7453   |

## جدول ۶- مشخصات آماری رابطه بارش سالانه سال مرطوب با عوامل مورفومتری

دوره آماری ۵۰ ساله منتهی ۹۷

| Regression Statistics |               |                |            |         |                |           |             |             |
|-----------------------|---------------|----------------|------------|---------|----------------|-----------|-------------|-------------|
| Multiple R            | 0.8272        |                |            |         |                |           |             |             |
| R Square              | 0.6842        |                |            |         |                |           |             |             |
| Adjusted R Square     | 0.6563        |                |            |         |                |           |             |             |
| Standard Error        | 87.1063       |                |            |         |                |           |             |             |
| Observations          | 38            |                |            |         |                |           |             |             |
| ANOVA                 |               |                |            |         |                |           |             |             |
|                       | df            | SS             | MS         | F       | Significance F |           |             |             |
| Regression            | 3             | 558932.8952    | 186310.965 | 24.555  | 0.0000         |           |             |             |
| Residual              | 34            | 257975.2552    | 7587.5075  |         |                |           |             |             |
| Total                 | 37            | 816908.1505    |            |         |                |           |             |             |
|                       | Coefficient s | Standard Error | t Stat     | P-value | Lower 95%      | Upper 95% | Lower 95.0% | Upper 95.0% |
| Intercept             | 11284.921     |                |            |         |                | 14102.069 |             |             |
| e                     | 6             | 1386.2246      | 8.1408     | 0.0000  | 8467.7743      | 0         | 8467.7743   | 14102.0690  |
| Lo                    | 0.1324        | 0.0755         | 1.7529     | 0.0886  | -0.0211        | 0.2858    | -0.0211     | 0.2858      |
| La                    | -70.7691      | 36.6771        | -1.9295    | 0.0620  | -145.3060      | 3.7678    | -145.3060   | 3.7678      |
|                       | -187.5770     | 65.3585        | -2.8700    | 0.0070  | -320.4015      | -54.7526  | -320.4015   | -54.7526    |

دقت مدل بارش با عوامل مورفومتری برای روابط یادشده به ترتیب محاسبه و نمودار بارش مشاهده‌ای با برآوردی ترسیم شد که نتایج آن به ترتیب در شکل‌های ۷ تا ۹ آورده شده است. همان‌گونه که در شکل‌های بالا مشاهده می‌شود دقت مدل بسیار خوب است و داده‌ها نزدیک خط ۴۵ درجه قرار گرفته‌اند.

جدول ۷- متغیرهای ورودی و بارش مشاهده‌ای و برآوردی برای دوره ۳۰ ساله منتهی به ۱۳۹۷

| کد ایستگاه | ارتفاع- متر | طول جغرافیایی- درجه | عرض جغرافیایی- درجه | میانگین مشاهده‌ای- میلی‌متر | میانگین برآوردی- میلی‌متر |
|------------|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|
| ۱۱-۰۰۳     | ۱۱۳۳        | ۵۸/۵۳               | ۳۷/۱۱               | ۲۴۹/۶                       | ۳۳۱/۵                     |
| ۱۱-۰۰۶     | ۱۱۳۸        | ۵۷/۹۳               | ۳۷/۴۱               | ۲۶۲/۸                       | ۲۹۰/۲                     |
| ۱۱-۰۰۸     | ۱۲۵۵        | ۵۷/۶۲               | ۳۷/۷۵               | ۳۵۲/۱                       | ۲۳۹/۴                     |
| ۱۱-۰۱۱     | ۱۴۲۲        | ۵۷/۹۶               | ۳۷/۶                | ۳۱۵/۸                       | ۲۵۸/۷                     |
| ۱۱-۰۱۶     | ۸۴۲         | ۵۶/۷۷               | ۳۷/۵۲               | ۳۰۳/۳                       | ۳۱۱/۳                     |
| ۱۱-۰۱۸     | ۷۴۸         | ۵۶/۴۱               | ۳۷/۶۲               | ۲۴۶/۸                       | ۳۰۳/۴                     |
| ۱۱-۰۲۰     | ۷۰۸         | ۵۶/۶۶               | ۳۷/۹۳               | ۲۴۵/۹                       | ۲۲۹                       |
| ۱۱-۰۲۱     | ۱۰۱۹        | ۵۷/۴۴               | ۳۷/۴۸               | ۲۸۴/۲                       | ۲۹۵/۸                     |
| ۱۱-۰۲۳     | ۱۰۵۲        | ۵۷/۴۱               | ۳۷/۶۶               | ۲۵۳/۸                       | ۲۵۹/۶                     |
| ۱۱-۰۲۷     | ۹۷۷         | ۵۷/۳۱               | ۳۷/۸۲               | ۲۴۳/۳                       | ۲۳۱                       |
| ۱۱-۰۲۸     | -۲۰         | ۵۴/۱۹               | ۳۷/۱۵               | ۳۷۹/۷                       | ۴۷۴/۷                     |
| ۱۱-۰۲۹     | ۶۴۰         | ۵۷/۰۴               | ۳۷/۶۷               | ۳۲۸/۱                       | ۳۶۳/۳                     |
| ۱۱-۰۳۱     | ۱۱۰۵        | ۵۶/۷۴               | ۳۷/۴۵               | ۴۵۲                         | ۳۳۴/۸                     |
| ۱۱-۰۳۳     | ۹۲۶         | ۵۶/۹۴               | ۳۷/۵                | ۳۹۸/۳                       | ۳۰۹/۹                     |
| ۱۱-۰۳۵     | ۶۹۵         | ۵۶/۹۸               | ۳۷/۶                | ۲۸۱/۹                       | ۲۸۰/۱                     |
| ۱۱-۰۳۸     | ۱۲۳۹        | ۵۷/۱۵               | ۳۸/۰۶               | ۲۹۶/۱                       | ۱۹۷/۱                     |
| ۱۱-۰۳۹     | ۵۶۷         | ۵۶/۹۱               | ۳۷/۷                | ۲۵۴/۶                       | ۲۶۰/۸                     |
| ۱۱-۰۴۴     | ۱۷۴۲        | ۵۷/۳۶               | ۳۷/۲۹               | ۳۴۰/۷                       | ۲۵۸/۲                     |
| ۱۱-۰۴۵     | ۳۱۰         | ۵۶/۲۵               | ۳۷/۹۲               | ۳۲۳/۵                       | ۲۳۷/۴                     |
| ۱۱-۰۴۷     | ۱۹۰         | ۵۵/۹۶               | ۳۷/۹۱               | ۳۳۹/۷                       | ۲۴۷/۶                     |
| ۱۱-۰۵۱     | ۵۴۸         | ۵۶/۳۷               | ۳۸/۱۷               | ۳۲۶/۴                       | ۱۸۷/۹                     |
| ۱۱-۰۵۳     | ۹۴۳         | ۵۶/۷۳               | ۳۸/۲۵               | ۲۵۴/۵                       | ۱۶۵/۹                     |
| ۱۱-۰۵۴     | ۱۱۹۴        | ۵۷/۲۹               | ۳۷/۴۱               | ۲۳۷/۱                       | ۳۲۰/۹                     |
| ۱۱-۰۷۳     | ۸۰          | ۵۵/۵۱               | ۳۷/۹۵               | ۲۶۱/۱                       | ۲۵۵/۵                     |
| ۱۱-۰۸۶     | ۱۱۲۳        | ۵۷/۳۲               | ۳۷/۴۶               | ۲۰۷/۴                       | ۳۰۷/۸                     |
| ۱۱-۲۰۴     | ۹۴۶         | ۵۷/۴۷               | ۳۷/۵۳               | ۲۷۸/۴                       | ۲۸۱/۹                     |
| ۱۱-۲۰۶     | ۱۱۷۹        | ۵۸/۲۲               | ۳۷/۲۴               | ۲۶۱/۲                       | ۳۱۵/۱                     |
| ۱۱-۹۰۲     | ۸۰          | ۵۵/۲۹               | ۳۷/۹۳               | ۱۸۶/۷                       | ۲۷۰/۵                     |
| ۱۲-۰۰۲     | ۱۲۸۹        | ۵۶/۲۹               | ۳۷/۳۵               | ۱۹۸/۴                       | ۳۷۹/۴                     |
| ۱۲-۰۰۴     | ۱۲۰۵        | ۵۶/۱۲               | ۳۷/۳                | ۲۲۳/۴                       | ۳۹۵/۱                     |
| ۱۲-۰۳۳     | ۱۰۰         | ۵۴/۶۳               | ۳۶/۸۸               | ۵۳۹/۹                       | ۵۱۳/۸                     |
| ۱۲-۰۳۷     | -۱۲         | ۵۴/۵۱               | ۳۷/۰۲               | ۴۰۸                         | ۴۸۶/۳                     |
| ۱۲-۰۴۳     | ۵۵۰         | ۵۴/۴۷               | ۳۶/۷۷               | ۷۳۶/۲                       | ۵۵۶/۳                     |
| ۱۲-۰۴۹     | ۱۴۷۰        | ۵۵/۷۷               | ۳۶/۷۸               | ۵۷۶/۸                       | ۵۲۳/۶                     |
| ۱۲-۰۵۳     | ۹۴          | ۵۳/۹۷               | ۳۶/۷۲               | ۶۷۷/۴                       | ۵۷۴/۸                     |
| ۱۲-۰۵۶     | ۵۹          | ۵۴/۱۲               | ۳۶/۷۷               | ۶۸۲/۷                       | ۵۵۷                       |
| ۱۲-۰۸۵     | ۴۶۵         | ۵۴/۵۸               | ۳۶/۷۸               | ۷۱۹/۳                       | ۵۴۵/۵                     |
| ۱۲-۲۰۰     | ۹۰۰         | ۵۴/۴۸               | ۳۶/۷۱               | ۵۹۰/۶                       | ۵۷۷/۷                     |
| ۱۲-۴۴۶     | ۱۳۴۵        | ۵۵/۸                | ۳۷/۱۹               | ۳۰۰/۴                       | ۴۳۶/۳                     |

| کد ایستگاه | ارتفاع - متر | طول جغرافیایی - درجه | عرض جغرافیایی - درجه | میانگین مشاهده‌ای - میلی‌متر | میانگین برآوردی - میلی‌متر |
|------------|--------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|
| ۱۲-۵۳۱     | ۱۸۰          | ۵۴/۷۴                | ۳۶/۹                 | ۶۸۵                          | ۵۰۷/۱                      |
| ۱۲-۵۳۹     | -۲۰          | ۵۴/۱۴                | ۳۷                   | ۴۵۰/۹                        | ۵۰۷/۲                      |
| ۱۱-۰۲۶     | ۱۰           | ۵۴/۷۳                | ۳۷/۴۶                | ۲۵۷/۵                        | ۳۸۸/۳                      |
| ۱۱-۰۵۷     | ۳۱           | ۵۴/۸۱                | ۳۷/۶۸                | ۲۳۳/۹                        | ۳۳۹/۳                      |
| ۱۱-۰۶۹     | ۲۳           | ۵۴/۷۹                | ۳۷/۶۳                | ۱۹۵                          | ۳۵۱/۲                      |
| ۱۲-۰۱۱     | ۳۶           | ۵۵/۱۹                | ۳۷/۲۵                | ۴۶۴/۵                        | ۴۱۱/۱                      |
| ۱۲-۰۱۴     | ۲۴           | ۵۴/۸                 | ۳۷/۰۶                | ۳۸۹/۲                        | ۴۶۷/۵                      |
| ۱۲-۰۱۹     | ۳۵           | ۵۵/۱۵                | ۳۷/۲۳                | ۴۶۲/۹                        | ۴۱۷/۶                      |
| ۱۲-۰۳۱     | ۲۰           | ۵۴/۷۳                | ۳۷/۱۴                | ۳۷۹/۳                        | ۴۵۴/۳                      |
| ۱۲-۰۲۳     | ۳۰           | ۵۵/۰۳                | ۳۷/۲۳                | ۳۵۹/۳                        | ۴۲۱/۶                      |
| ۱۲-۰۲۵     | ۱۲           | ۵۴/۷۴                | ۳۷/۲۱                | ۳۴۵/۷                        | ۴۳۹/۱                      |
| ۱۲-۰۳۰     | ۳۰           | ۵۳/۷۲                | ۳۶/۷۲                | ۶۰۸/۱                        | ۵۸۳/۳                      |
| ۱۲-۰۴۰     | ۲۰           | ۵۳/۵۸                | ۳۶/۶۹                | ۵۸۳/۷                        | ۵۹۵/۱                      |
| ۱۲-۰۵۵     | ۳۰           | ۵۳/۹۵                | ۳۶/۷۳                | ۵۲۷/۶                        | ۵۷۰/۹                      |
| ۱۲-۰۹۷     | -۲۶          | ۵۴/۰۵                | ۳۶/۸۳                | ۵۳۷/۴                        | ۵۴۴/۱                      |
| ۱۲-۹۰۱     | ۳۱           | ۵۴/۹۲                | ۳۷/۰۴                | ۴۸۷/۵                        | ۴۶۶/۸                      |

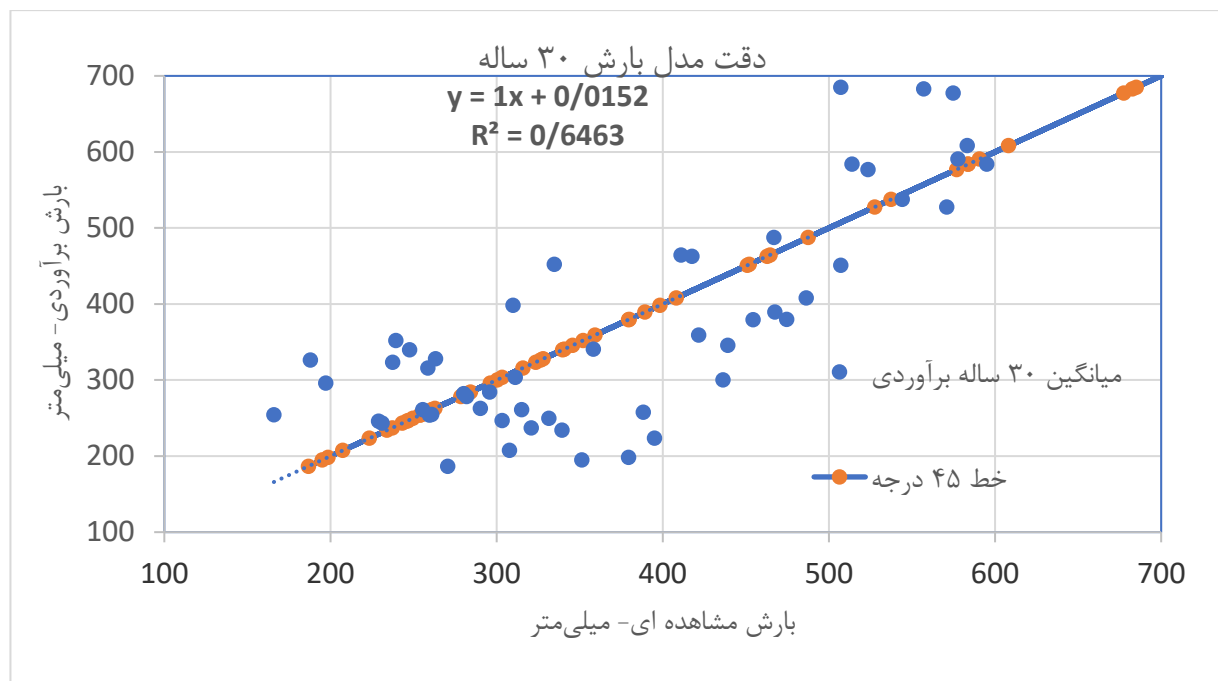
جدول ۸- متغیرهای ورودی و بارش مشاهده‌ای و برآوردی برای دوره ۴۰ ساله منتهی به ۱۳۹۷

| کد ایستگاه | ارتفاع- متر | طول جغرافیایی- درجه | عرض جغرافیایی- درجه | میانگین مشاهده‌ای- میلی‌متر | میانگین برآوردی- میلی‌متر |
|------------|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|
| ۱۱-۰۰۳     | ۱۳۳۳        | ۵۸/۵۳               | ۳۷/۱۱               | ۲۵۴/۸                       | ۳۲۹/۶                     |
| ۱۱-۰۰۶     | ۱۱۳۸        | ۵۷/۹۳               | ۳۷/۴۱               | ۲۵۵                         | ۲۸۷/۳                     |
| ۱۱-۰۰۸     | ۱۲۵۵        | ۵۷/۶۲               | ۳۷/۷۵               | ۳۴۰/۶                       | ۲۴۰/۶                     |
| ۱۱-۰۱۱     | ۱۴۲۲        | ۵۷/۹۶               | ۳۷/۶                | ۲۹۲/۹                       | ۲۶۱/۷                     |
| ۱۱-۰۱۶     | ۸۴۲         | ۵۶/۷۷               | ۳۷/۵۲               | ۲۹۴/۱                       | ۳۰۶/۷                     |
| ۱۱-۰۱۸     | ۷۴۸         | ۵۶/۴۱               | ۳۷/۶۲               | ۲۴۵/۶                       | ۲۹۸/۵                     |
| ۱۱-۰۲۰     | ۷۰۸         | ۵۶/۶۶               | ۳۷/۹۳               | ۲۵۵/۱                       | ۲۲۳/۳                     |
| ۱۱-۰۲۱     | ۱۰۱۹        | ۵۷/۴۴               | ۳۷/۴۸               | ۲۷۵/۶                       | ۲۹۲/۳                     |
| ۱۱-۰۲۳     | ۱۰۵۲        | ۵۷/۴۱               | ۳۷/۶۶               | ۲۵۳/۷                       | ۲۵۷/۳                     |
| ۱۱-۰۲۷     | ۹۷۷         | ۵۷/۳۱               | ۳۷/۸۲               | ۲۲۷/۷                       | ۲۲۸/۱                     |
| ۱۱-۰۲۸     | -۲۰         | ۵۴/۱۹               | ۳۷/۱۵               | ۳۷۴/۵                       | ۴۶۰/۹                     |
| ۱۱-۰۲۹     | ۶۴۰         | ۵۷/۰۴               | ۳۷/۶۷               | ۳۲۱/۵                       | ۲۵۴/۴                     |
| ۱۱-۰۳۱     | ۱۱۰۵        | ۵۶/۷۴               | ۳۷/۴۵               | ۴۴۸/۱                       | ۳۳۵/۱                     |
| ۱۱-۰۳۳     | ۹۲۶         | ۵۶/۹۴               | ۳۷/۵                | ۳۹۷/۵                       | ۳۰۶/۴                     |
| ۱۱-۰۳۵     | ۶۹۵         | ۵۶/۹۸               | ۳۷/۶                | ۲۸۱/۹                       | ۲۷۲/۳                     |
| ۱۱-۰۳۹     | ۵۶۷         | ۵۶/۹۱               | ۳۷/۷                | ۲۵۲/۳                       | ۲۵۱                       |
| ۱۱-۰۴۴     | ۱۷۴۲        | ۵۷/۳۶               | ۳۷/۲۹               | ۳۴۵/۶                       | ۳۶۸/۴                     |
| ۱۱-۰۴۵     | ۳۱۰         | ۵۶/۲۵               | ۳۷/۹۲               | ۲۸۳/۵                       | ۲۲۵/۳                     |
| ۱۱-۰۴۷     | ۱۹۰         | ۵۵/۹۶               | ۳۷/۹۱               | ۳۴۳/۲                       | ۲۳۴/۲                     |
| ۱۱-۰۵۱     | ۵۸۴         | ۵۶/۳۷               | ۳۸/۱۷               | ۳۳۲/۲                       | ۱۸۱/۴                     |
| ۱۱-۰۵۳     | ۹۴۳         | ۵۶/۷۳               | ۳۸/۲۵               | ۲۴۸/۲                       | ۱۶۵/۴                     |
| ۱۱-۰۵۴     | ۱۱۹۴        | ۵۷/۲۹               | ۳۷/۴۱               | ۲۴۹/۳                       | ۳۲۱/۲                     |
| ۱۱-۰۷۳     | ۸۰          | ۵۵/۵۱               | ۳۷/۹۵               | ۲۶۳/۱                       | ۲۴۱/۵                     |
| ۱۱-۰۸۶     | ۱۱۲۳        | ۵۷/۳۲               | ۳۷/۴۶               | ۲۱۶/۶                       | ۳۰۶/۷                     |
| ۱۱-۲۰۴     | ۹۴۶         | ۵۷/۴۷               | ۳۷/۵۳               | ۲۸۲/۸                       | ۲۷۷/۱                     |
| ۱۱-۲۰۶     | ۱۱۷۹        | ۵۸/۲۲               | ۳۷/۲۴               | ۲۷۲/۲                       | ۳۱۱/۶                     |
| ۱۱-۹۰۲     | ۸۰          | ۵۵/۲۹               | ۳۷/۹۳               | ۱۸۲/۱                       | ۲۵۷/۲                     |
| ۱۲-۰۰۲     | ۱۲۸۹        | ۵۶/۲۹               | ۳۷/۳۵               | ۱۹۸/۴                       | ۲۸۴/۵                     |
| ۱۲-۰۰۴     | ۱۲۰۵        | ۵۶/۱۲               | ۳۷/۳                | ۲۲۸/۸                       | ۳۹۰                       |
| ۱۲-۰۳۳     | ۱۰۰         | ۵۴/۶۳               | ۳۶/۸۸               | ۵۸۰/۱                       | ۵۰۰/۲                     |
| ۱۲-۰۳۷     | -۱۲         | ۵۴/۵۱               | ۳۷/۰۲               | ۴۰۶/۹                       | ۴۷۱/۳                     |
| ۱۲-۰۴۳     | ۵۵۰         | ۵۴/۴۷               | ۳۶/۷۷               | ۷۳۷/۴                       | ۵۵۱/۵                     |
| ۱۲-۰۴۹     | ۱۴۷۰        | ۵۵/۷۷               | ۳۶/۷۸               | ۵۸۱/۵                       | ۵۳۲/۳                     |
| ۱۲-۰۵۳     | ۹۴          | ۵۳/۹۷               | ۳۶/۷۲               | ۶۱۷/۵                       | ۵۶۲/۸                     |
| ۱۲-۰۸۳     | ۴۶۵         | ۵۴/۵۸               | ۳۶/۷۸               | ۶۸۶                         | ۵۳۸/۸                     |
| ۱۲-۲۰۰     | ۹۰۰         | ۵۴/۴۸               | ۳۶/۷۱               | ۵۶۶/۷                       | ۵۷۹/۴                     |
| ۱۲-۵۳۱     | ۱۸۰         | ۵۴/۷۴               | ۳۶/۹                | ۶۶۸                         | ۴۹۴/۷                     |
| ۱۲-۵۳۹     | -۲۰         | ۵۴/۱۴               | ۳۷                  | ۴۵۵/۸                       | ۴۹۳/۲                     |

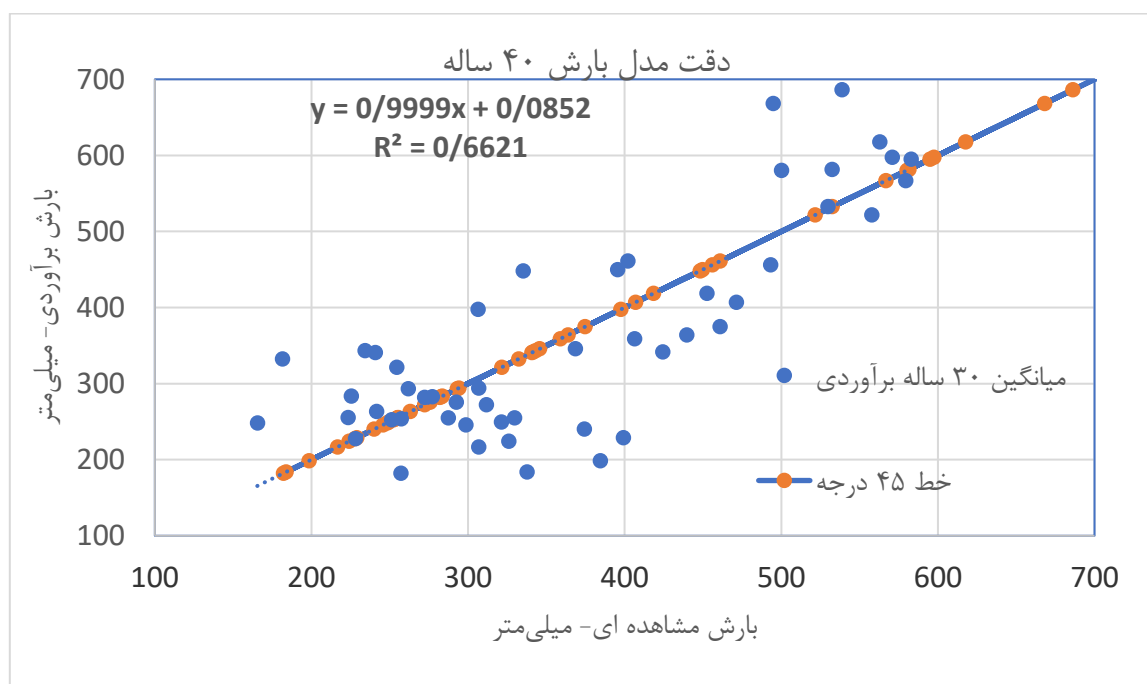
| کد ایستگاه | ارتفاع - متر | طول جغرافیایی - درجه | عرض جغرافیایی - درجه | میانگین مشاهده ای - میلی متر | میانگین برآوردی - میلی متر |
|------------|--------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|
| ۱۱-۰۲۶     | ۱۰           | ۵۴/۷۳                | ۳۷/۴۶                | ۲۳۹/۹                        | ۳۷۴/۲                      |
| ۱۱-۰۵۷     | ۳۱           | ۵۴/۸۱                | ۳۷/۶۸                | ۲۲۳/۹                        | ۳۲۵/۹                      |
| ۱۱-۰۶۹     | ۲۳           | ۵۴/۷۹                | ۳۷/۶۳                | ۱۸۳/۷                        | ۳۳۷/۶                      |
| ۱۲-۰۱۱     | ۳۶           | ۵۵/۱۹                | ۳۷/۲۵                | ۴۴۹/۶                        | ۳۹۵/۴                      |
| ۱۲-۰۱۴     | ۲۴           | ۵۴/۸                 | ۳۷/۰۶                | ۴۱۸/۴                        | ۴۵۲/۴                      |
| ۱۲-۰۱۹     | ۳۵           | ۵۵/۱۵                | ۳۷/۲۳                | ۴۶۰/۹                        | ۴۰۱/۹                      |
| ۱۲-۰۳۱     | ۲۰           | ۵۴/۷۳                | ۳۷/۱۴                | ۳۶۳/۷                        | ۴۳۹/۶                      |
| ۱۲-۰۲۳     | ۳۰           | ۵۵/۰۳                | ۳۷/۲۳                | ۳۵۸/۹                        | ۴۰۶/۳                      |
| ۱۲-۰۲۵     | ۱۲           | ۵۴/۷۴                | ۳۷/۲۱                | ۳۴۱/۵                        | ۴۲۴/۳                      |
| ۱۲-۰۳۰     | ۳۰           | ۵۳/۷۲                | ۳۶/۷۲                | ۵۹۷/۴                        | ۵۷۰/۸                      |
| ۱۲-۰۴۰     | ۲۰           | ۵۳/۵۸                | ۳۶/۶۹                | ۵۹۴/۹                        | ۵۸۲/۸                      |
| ۱۲-۰۵۵     | ۳۰           | ۵۳/۹۵                | ۳۶/۷۳                | ۵۲۱/۶                        | ۵۵۷/۷                      |
| ۱۲-۰۹۷     | -۲۶          | ۵۴/۰۵                | ۳۶/۸۳                | ۵۳۲/۳                        | ۵۲۹/۸                      |

جدول ۹- متغیرهای ورودی و بارش مشاهده‌ای و برآوردی برای دوره ۵۰ ساله منتهی به ۱۳۹۷

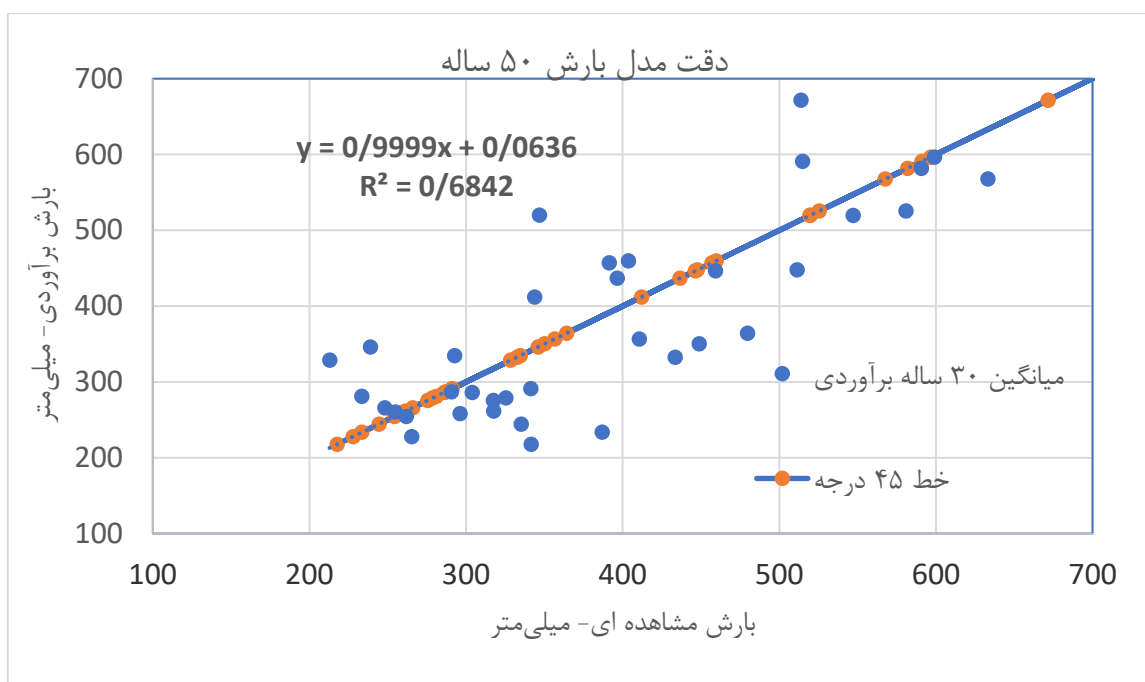
| کد ایستگاه | ارتفاع- متر | طول جغرافیایی- درجه | عرض جغرافیایی- درجه | میانگین مشاهده‌ای- میلی‌متر | میانگین برآوردی- میلی‌متر |
|------------|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|
| ۱۱-۰۰۶     | ۱۱۳۸        | ۵۷/۹۳               | ۳۷/۴۱               | ۲۶۱/۴                       | ۳۱۷/۶                     |
| ۱۱-۰۰۸     | ۱۲۵۵        | ۵۷/۶۲               | ۳۷/۷۵               | ۳۳۴/۶                       | ۲۹۲/۶                     |
| ۱۱-۰۰۱۱    | ۱۴۲۲        | ۵۷/۹۶               | ۳۷/۶                | ۲۷۵/۵                       | ۳۱۷/۴                     |
| ۱۱-۰۰۱۶    | ۸۴۲         | ۵۶/۷۷               | ۳۷/۵۲               | ۲۹۰/۹                       | ۳۴۱/۲                     |
| ۱۱-۰۰۱۸    | ۷۴۸         | ۵۶/۴۱               | ۳۷/۶۲               | ۲۴۴/۳                       | ۳۳۵/۱                     |
| ۱۱-۰۰۲۰    | ۷۰۸         | ۵۶/۶۶               | ۳۷/۹۳               | ۲۶۰/۱                       | ۲۵۴/۷                     |
| ۱۱-۰۰۲۱    | ۱۰۱۹        | ۵۷/۴۴               | ۳۷/۴۸               | ۲۷۸/۶                       | ۳۲۵/۲                     |
| ۱۱-۰۰۲۳    | ۱۰۵۲        | ۵۷/۴۱               | ۳۷/۶۶               | ۲۵۸                         | ۲۹۶/۱                     |
| ۱۱-۰۰۲۷    | ۹۷۷         | ۵۷/۳۱               | ۳۷/۸۲               | ۲۲۷/۹                       | ۲۶۵/۲                     |
| ۱۱-۰۰۲۸    | -۲۰         | ۵۴/۱۹               | ۳۷/۱۵               | ۳۶۴/۲                       | ۴۷۹/۶                     |
| ۱۱-۰۰۳۱    | ۱۱۰۵        | ۵۶/۷۴               | ۳۷/۴۵               | ۴۵۶/۹                       | ۳۹۱/۳                     |
| ۱۱-۰۰۳۳    | ۹۲۶         | ۵۶/۹۴               | ۳۷/۵                | ۴۱۱/۹                       | ۳۴۵/۷                     |
| ۱۱-۰۰۳۵    | ۶۹۵         | ۵۶/۹۸               | ۳۷/۶                | ۲۸۶/۹                       | ۲۹۰/۶                     |
| ۱۱-۰۰۳۹    | ۵۶۷         | ۵۶/۹۱               | ۳۷/۷                | ۲۵۴/۲                       | ۲۶۱/۷                     |
| ۱۱-۰۰۴۵    | ۳۱۰         | ۵۶/۲۵               | ۳۷/۹۲               | ۲۸۱                         | ۲۳۳/۳                     |
| ۱۱-۰۰۴۷    | ۱۹۰         | ۵۵/۹۶               | ۳۷/۹۱               | ۳۴۶                         | ۲۳۸/۹                     |
| ۱۱-۰۰۵۱    | ۵۸۴         | ۵۶/۳۷               | ۳۸/۱۷               | ۳۲۸/۵                       | ۲۱۲/۸                     |
| ۱۱-۰۰۷۳    | ۸۰          | ۵۵/۵۱               | ۳۷/۹۵               | ۲۶۵/۸                       | ۲۴۸/۱                     |
| ۱۱-۲۰۴     | ۹۴۶         | ۵۷/۴۷               | ۳۷/۵۳               | ۲۸۶/۱                       | ۳۰۳/۸                     |
| ۱۲-۰۰۳۳    | ۱۰۰         | ۵۴/۶۳               | ۳۶/۸۸               | ۵۹۱/۱                       | ۵۱۴/۸                     |
| ۱۲-۰۰۴۳    | ۵۵۰         | ۵۴/۴۷               | ۳۶/۷۷               | ۷۵۰                         | ۶۰۶/۲                     |
| ۱۲-۰۰۴۹    | ۱۴۷۰        | ۵۵/۷۷               | ۳۶/۷۸               | ۵۶۷/۵                       | ۶۳۳/۱                     |
| ۱۲-۰۰۵۳    | ۹۴          | ۵۳/۹۷               | ۳۶/۷۲               | ۵۸۱/۸                       | ۵۹۰/۶                     |
| ۱۲-۵۳۱     | ۱۸۰         | ۵۴/۷۴               | ۳۶/۹                | ۶۷۱/۵                       | ۵۱۳/۷                     |
| ۱۲-۵۳۹     | -۲۰         | ۵۴/۱۴               | ۳۷                  | ۴۴۷/۶                       | ۵۱۱/۳                     |
| ۱۱-۰۰۲۶    | ۱۰          | ۵۴/۷۳               | ۳۷/۴۶               | ۲۳۳/۴                       | ۳۸۶/۹                     |
| ۱۱-۰۰۵۷    | ۳۱          | ۵۴/۸۱               | ۳۷/۶۸               | ۲۱۷/۶                       | ۳۴۱/۴                     |
| ۱۲-۰۰۱۱    | ۳۶          | ۵۵/۱۹               | ۳۷/۲۵               | ۴۳۶/۶                       | ۳۹۶/۵                     |
| ۱۲-۰۰۱۴    | ۲۴          | ۵۴/۸                | ۳۷/۰۶               | ۴۴۶/۳                       | ۴۵۹/۲                     |
| ۱۲-۰۰۱۹    | ۳۵          | ۵۵/۱۵               | ۳۷/۲۳               | ۴۵۹/۵                       | ۴۰۳/۵                     |
| ۱۲-۰۰۳۱    | ۲۰          | ۵۴/۷۳               | ۳۷/۱۴               | ۳۵۰/۱                       | ۴۴۸/۸                     |
| ۱۲-۰۰۲۳    | ۳۰          | ۵۵/۰۳               | ۳۷/۲۳               | ۳۵۶/۵                       | ۴۱۰/۵                     |
| ۱۲-۰۰۲۵    | ۱۲          | ۵۴/۷۴               | ۳۷/۲۱               | ۳۳۲/۴                       | ۴۳۳/۵                     |
| ۱۲-۰۰۳۰    | ۳۰          | ۵۳/۷۲               | ۳۶/۷۲               | ۵۹۶/۵                       | ۵۹۹/۱                     |
| ۱۲-۰۰۵۵    | ۳۰          | ۵۳/۹۵               | ۳۶/۷۳               | ۵۲۵/۴                       | ۵۸۰/۹                     |
| ۱۲-۰۰۹۷    | -۲۶         | ۵۴/۰۵               | ۳۶/۸۳               | ۵۱۹/۱۶                      | ۵۴۷/۱                     |
| ۱۲-۰۰۰۵    | ۱۷۲         | ۵۵/۵                | ۳۷/۴۹               | ۵۱۹/۷                       | ۳۴۶/۸                     |
| ۱۲-۰۰۴۵    | ۲۷۵         | ۵۴/۳۷               | ۳۶/۷۹               | ۷۳۲/۱                       | ۵۷۳/۷                     |



شکل ۷- نمودار بارش سالانه متوسط دوره آماری مشاهده‌ای با بارش برآوردی- دوره ۳۰ ساله



شکل ۸- نمودار بارش سالانه متوسط دوره آماری مشاهده‌ای با بارش برآوردی- دوره ۴۰ ساله



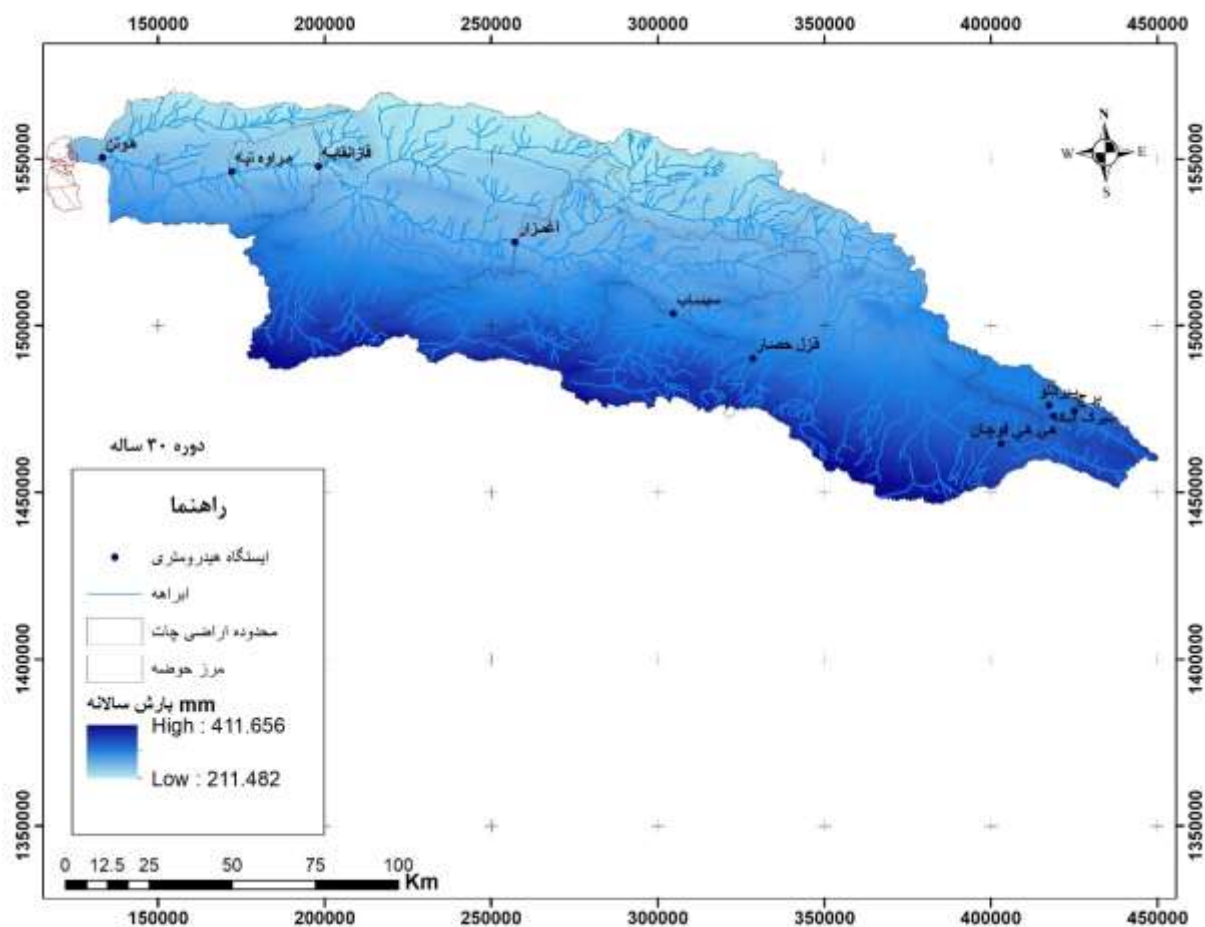
شکل ۹- نمودار بارش سالانه متوسط دوره آماری مشاهده‌ای با بارش برآوردی - دوره ۵۰ ساله

در سه بازه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ساله مبتنی بر مدل‌سازی فوق، در محیط ArcGIS10.8 نقشه بارش کل حوضه استخراج شد. نتایج نشان داد که بارش در دوره ۳۰ ساله نسبت به دو دوره دیگر بارش کمتر بوده است. در دوره ۵۰ ساله بارش متوسط منطقه حدود ۱۵ درصد نسبت به دو دوره دیگر بالاتر به دست آمد که بیانگر کاهش بارش در سال‌های اخیر است. در جدول ۱۰ مقادیر بارش متوسط حوضه آورده شده است.

بارش حوضه بین ۲۱۱ تا ۴۱۱ میلی‌متر در دوره ۳۰ ساله متغیر بوده و با افزایش ارتفاع تا حدودی بارش افزایش یافته است. کمترین بارش در خروجی حوضه و بیشترین بارش در بخش جنوب و جنوب شرقی حوضه رخ داده است. بارش دوره ۴۰ ساله نیز شباهت به الگوی دوره ۳۰ ساله داشته، ولی دامنه تغییرات مکانی آن ۲۰۹ تا ۴۴۶ میلی‌متر بدست آمد. در دوره ۵۰ ساله تغییرات مکانی، ۲۲۲ تا ۶۴۶ میلی‌متر در سال حاصل شد که نسبت به دو دوره قبل بیشتر بدست آمد. در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نقشه بارندگی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ به ترتیب آورده شده است.

جدول ۱۰- بارش مشاهده‌ای و بارش برآوردی در دوره‌های زمانی مختلف (۳۰، ۴۰ و ۵۰ ساله)

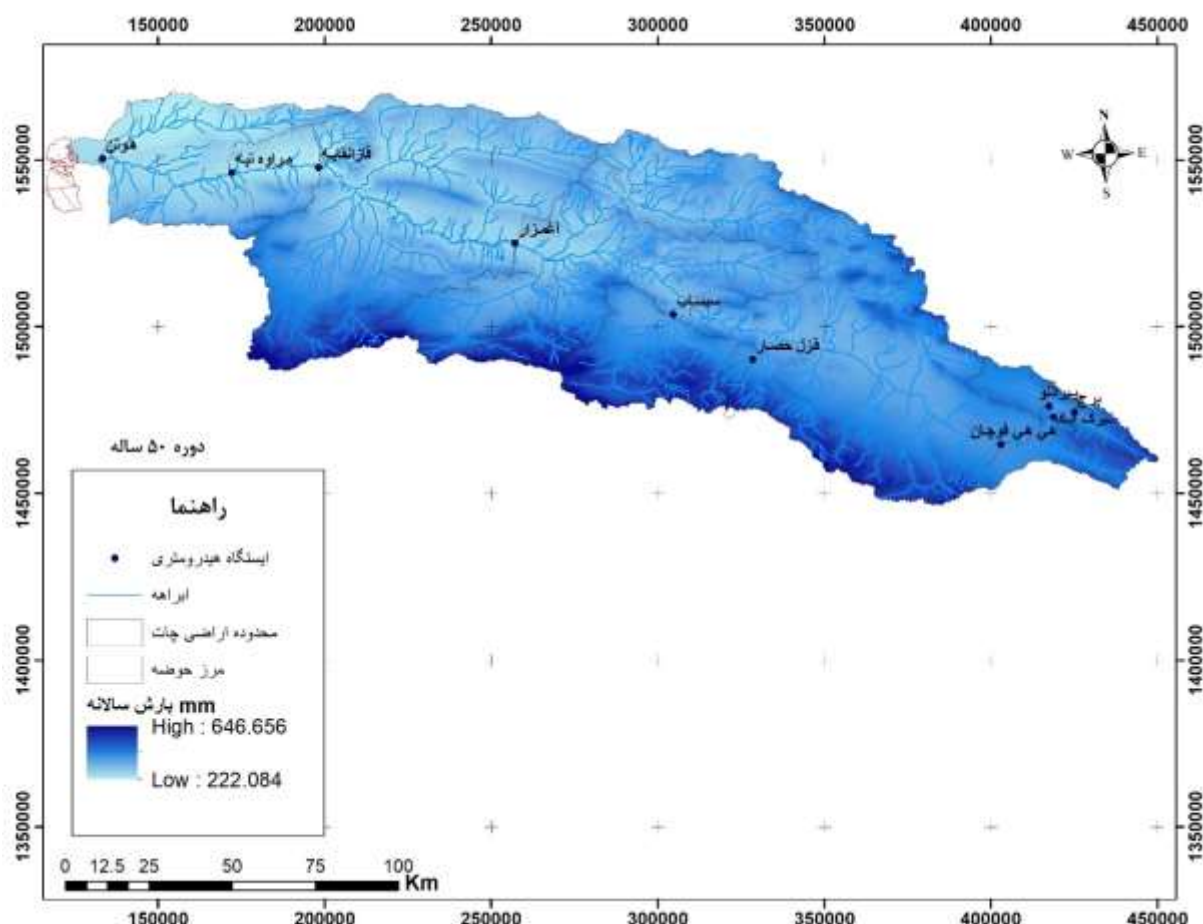
| بارش متوسط سالانه - میلی‌متر |                      |                      | مساحت    | کد ایستگاه | نام ایستگاه |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------|------------|-------------|
| میانگین دوره ۵۰ ساله         | میانگین دوره ۴۰ ساله | میانگین دوره ۳۰ ساله |          |            |             |
| ۳۵۵/۹                        | ۲۹۵/۸                | ۲۳۹                  | ۱۶۵۶۹/۰۱ | ۱۱۰۴۵      | قازانقایه   |
| ۳۵۳/۲                        | ۲۹۴/۱                | ۲۹۱/۷                | ۱۷۱۱۴/۱۷ | ۱۱۰۴۷      | مراوه‌تپه   |
| ۳۴۵/۵                        | ۲۸۹/۶                | ۲۸۸/۲                | ۱۸۷۷۳/۰۸ | ۱۱۰۷۳      | هوتن        |
| ۳۴۵/۴                        | ۲۸۹/۴                | ۲۸۸                  | ۱۸۸۹۲/۰۹ |            | حوضه        |



شکل ۱۰- نقشه بارش سالانه برای دوره ۳۰ ساله



شکل ۱۱- نقشه بارش سالانه برای دوره ۴۰ ساله



شکل ۱۲- نقشه بارش سالانه برای دوره ۵۰ ساله

## ۷- سیلاب

در پروژه‌های آبی یکی از نکات مهمی که بایستی مورد توجه قرار می‌گیرد، بحث ایمنی سازه‌های هیدرولیکی و سازه‌های ایجادشده در مسیر و حاشیه رودخانه است. از عوامل طبیعی تهدیدکننده سازه‌های آبی می‌توان به سیلاب‌های استثنایی اشاره کرد. وقوع چنین سیلاب‌هایی علاوه بر امکان تخریب سازه‌های موجود در مسیر خود، باعث تلفات جانی نیز می‌شود. از آنجایی که وقوع سیلاب امری تصادفی است. از این‌رو، برای اظهارنظر در مورد سیلاب‌ها از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های موجود استفاده می‌شود. چنانچه تحلیل فراوانی پدیده موردنظر به طریق صحیح و مناسبی صورت گیرد مقدار برآوردشده تطابق بیشتری با مقدار حقیقی پیدا کرده و علاوه بر کم کردن خطر سیلاب، ابعاد سازه‌های هیدرولیکی در حد معقولی طراحی شده و از هزینه‌های اجرایی نیز کاسته می‌شود.

برآورد سیلاب در طرح‌های مختلف به‌ویژه استحصال آب از جریان رودخانه، از اهمیت خاصی برخوردار است، به‌خصوص در پروژه‌های احداث سازه‌های مکانیکی، سلامت و بقای هرگونه سازه‌های احداثی در گرو داشتن اطلاعات درستی از وضعیت دبی اوج و سیلاب‌های حوضه است.

باید توجه داشت که آب و چرخش آن در طبیعت جزئی از نظام اکوسیستم محیطی است و هرگونه رفتار با آن باید براساس اصول اکولوژی باشد. بنابراین هرگز نباید بدون شناخت هیدرولوژیکی حوزه‌ها اقدام به اجرای طرح‌های آبی کرد، زیرا ممکن است پیامدهای جبران‌ناپذیری از قبیل: پرشدن سریع مخازن از رسوب، باتلاقی شدن اراضی، کاهش ذخیره مخازن زیرزمینی، پیدایش مسایل زیست محیطی، تخریب ساختمان‌ها و سازه‌ها در اثر طغیان‌ها و جریان‌های سیلابی و... را به‌دنبال داشته باشد.

#### ۷-۱- بازسازی داده‌های روزانه و لحظه‌ای

در بعضی از ایستگاه‌ها، به علل گوناگون نظیر خرابی دستگاه‌های اندازه‌گیری، عدم برداشت داده‌ها و ...، بعضی از اندازه‌گیری‌ها انجام نمی‌شود و یا ثبت نمی‌شود. از طرفی در محاسبات آماری داده‌ها، لازم است که در یک مجموعه تمامی ارقام و اعداد مربوط به آن کمیت، در یک دوره معین وجود داشته باشد. بنابراین سعی بر این است که به جای مقادیر و ارقام گمشده، از اعدادی استفاده شود که نتیجه محاسبات را اشتباه نکند. در واقع راهی که در آن، این اعداد به جای ارقام واقعی انتخاب می‌شوند، برآورد داده‌های گمشده می‌نامند.

برای تحلیل برای برآورد مقادیر دبی‌های گمشده، از روش ضریب همبستگی بین آمار دبی ایستگاه‌ها استفاده شد. در جدول ۱۱ داده‌های خام و بازسازی‌شده دبی بیشینه روزانه در ایستگاه‌های منتخب (قازانقایه، مراوه‌تپه و هوتن) توسط روابط به‌دست آمده آورده شده است. علاوه بر دبی بیشینه روزانه، دبی بیشینه لحظه‌ای نیز مورد بررسی قرار گرفت. در سه ایستگاه منتخب مقادیر دبی لحظه‌ای در بازه سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۴۰۰ فقط سال ۱۳۵۲ در ایستگاه هوتن افتادگی داده وجود داشت که بازسازی شد و نتایج آن در جدول ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۱- دبی بیشینه روزانه- ایستگاه‌های منتخب، قبل و بعد از بازسازی (مترمکعب بر ثانیه)

| سال<br>اماری | قبل از بازسازی |           |        | بعد از بازسازی |           |        |
|--------------|----------------|-----------|--------|----------------|-----------|--------|
|              | قازانقایه      | مراوه‌تپه | هوتن   | قازانقایه      | مراوه‌تپه | هوتن   |
| ۱۳۵۳         | ۵۹/۴           | ۷۶/۲      | ۱۰۹/۹  | ۵۹/۴           | ۷۶/۲      | ۱۰۹/۹  |
| ۱۳۵۴         |                |           | ۳۱۷    | ۱۸۲/۶۰.۱۶      | ۲۵۱/۴۲۶۸  | ۳۱۷    |
| ۱۳۵۵         |                |           | ۳۶۱/۶۹ | ۲۰۴/۲۲۲۶       | ۲۸۴/۸۷۲۸  | ۳۶۱/۶۹ |
| ۱۳۵۶         | ۲۴۶            |           | ۹۴/۳   | ۲۴۶            | ۸۴/۷۵۸۱۲  | ۹۴/۳   |
| ۱۳۵۷         |                | ۱۶۳/۱۶    | ۱۷۱/۸۷ | ۱۱۲/۳۸۷۷       | ۱۶۳/۱۶    | ۱۷۱/۸۷ |
| ۱۳۵۸         | ۶۹/۷           | ۱۷۶/۶     | ۱۰۸/۵  | ۶۹/۷           | ۱۷۶/۶     | ۱۰۸/۵  |
| ۱۳۵۹         | ۱۵۳            | ۱۵۹/۴     | ۱۵۲/۶۸ | ۱۵۳            | ۱۵۹/۴     | ۱۵۲/۶۸ |
| ۱۳۶۰         |                | ۲۷۵       | ۱۱۳/۱  | ۸۳/۹۵۴۷۸       | ۲۷۵       | ۱۱۳/۱  |
| ۱۳۶۱         | ۶۳/۹           | ۵۰/۴      | ۱۱۹    | ۶۳/۹           | ۵۰/۴      | ۱۱۹    |
| ۱۳۶۲         | ۷۵/۲           | ۳۸/۱      | ۵۳     | ۷۵/۲           | ۳۸/۱      | ۵۳     |
| ۱۳۶۳         | ۱۹۲            | ۱۲۸       | ۱۷۴    | ۱۹۲            | ۱۲۸       | ۱۷۴    |
| ۱۳۶۴         | ۱۵۲            | ۲۳۷       | ۳۰۰    | ۱۵۲            | ۲۳۷       | ۳۰۰    |
| ۱۳۶۵         |                | ۸۶/۹      | ۲۱۱    | ۸۶/۹           | ۹۶/۹      | ۲۱۱    |
| ۱۳۶۶         |                | ۱۰۱       | ۱۷۱    | ۹۶/۳۱          | ۱۰۱       | ۱۷۱    |
| ۱۳۶۷         |                | ۵۸/۴      | ۵۵     | ۶۸/۰۵۱۴        | ۵۸/۴      | ۵۵     |
| ۱۳۶۸         |                | ۱۲۳       | ۱۴۳    | ۱۱۰/۷۵۲        | ۱۲۳       | ۱۴۳    |
| ۱۳۶۹         |                |           | ۴۶/۲   | ۵۱/۵۸۸۵۶       | ۴۸/۷۶۰۰۸  | ۴۶/۲   |
| ۱۳۷۰         |                | ۴۳۲       | ۴۷۸    | ۳۱۵/۰۰۱        | ۴۳۲       | ۴۷۸    |
| ۱۳۷۱         |                | ۱۴۸       | ۱۵۸    | ۱۲۷/۲۷۷        | ۱۴۸       | ۱۵۸    |
| ۱۳۷۲         | ۴۱/۴           | ۴۰/۷      | ۱۵۲    | ۴۱/۴           | ۴۰/۷      | ۱۵۲    |
| ۱۳۷۳         | ۵۸/۲           | ۳۷/۷      | ۳۸/۳   | ۵۸/۲           | ۳۷/۷      | ۳۸/۳   |
| ۱۳۷۴         | ۳۷/۷           |           | ۷۴/۵   | ۳۷/۷           | ۶۹/۹۳۹۸   | ۷۴/۵   |
| ۱۳۷۵         | ۱۴۴            | ۱۸۰       | ۲۲۲    | ۱۴۴            | ۱۸۰       | ۲۲۲    |
| ۱۳۷۶         | ۱۷۳/۴          | ۱۶۸       | ۹۵/۸   | ۱۷۳/۴          | ۱۶۸       | ۹۵/۸   |
| ۱۳۷۷         | ۲۶۰/۸          | ۱۰۴       | ۲۳۶/۹  | ۲۶۰/۸          | ۱۰۴       | ۲۳۶/۹  |
| ۱۳۷۸         | ۲۲۱/۳          | ۴۴۸/۸     | ۲۷۶    | ۲۲۱/۳          | ۴۴۸/۸     | ۲۷۶    |
| ۱۳۷۹         | ۱۹۸/۴          |           | ۳۹۰/۳  | ۱۹۸/۴          | ۳۰۶/۲۸۴۵  | ۳۹۰/۳  |
| ۱۳۸۰         | ۴۷/۲۸          | ۴۱/۰۷     | ۱۱۵/۴۵ | ۴۷/۲۸          | ۴۱/۰۷     | ۱۱۵/۴۵ |
| ۱۳۸۱         | ۷۸/۱           | ۱۷۴       | ۱۴۴    | ۷۸/۱           | ۱۷۴       | ۱۴۴    |
| ۱۳۸۲         | ۶۳/۴           | ۶۳/۹      | ۷۰     | ۶۳/۴           | ۶۳/۹      | ۷۰     |
| ۱۳۸۳         | ۱۴۳            | ۱۴۷       | ۲۷۹    | ۱۴۳            | ۱۴۷       | ۲۷۹    |
| ۱۳۸۴         | ۲۵/۲           | ۶۵/۳      | ۲۷     | ۲۵/۲           | ۶۵/۳      | ۲۷     |
| ۱۳۸۵         | ۵۲/۳           | ۱۰۷       | ۶۴/۴   | ۵۲/۳           | ۱۰۷       | ۶۴/۴   |
| ۱۳۸۶         | ۲۱/۸           | ۶۴/۴      | ۹۲/۳   | ۲۱/۸           | ۶۴/۴      | ۹۲/۳   |
| ۱۳۸۷         | ۵۵/۱           | ۶۵/۴      | ۵۱/۴   | ۵۵/۱           | ۶۵/۴      | ۵۱/۴   |

| سال<br>اماری | قبل از بازسازی |           |      | بعد از بازسازی |           |      |
|--------------|----------------|-----------|------|----------------|-----------|------|
|              | قازانقایه      | مراوه‌تپه | هوتن | قازانقایه      | مراوه‌تپه | هوتن |
| ۱۳۸۸         | ۹۲/۱           | ۱۳۴       | ۱۷۳  | ۹۲/۱           | ۱۳۴       | ۱۷۳  |
| ۱۳۸۹         | ۷۹/۷           | ۱۰۷       | ۲۵۶  | ۷۹/۷           | ۱۰۷       | ۲۵۶  |
| ۱۳۹۰         | ۸۴/۱           | ۱۱۸       | ۱۸۷  | ۸۴/۱           | ۱۱۸       | ۱۸۷  |
| ۱۳۹۱         | ۳۸/۳           | ۵۰/۳      | ۵۲/۱ | ۳۸/۳           | ۵۰/۳      | ۵۲/۱ |
| ۱۳۹۲         | ۵۷/۴           | ۸۵/۳      | ۵۴/۱ | ۵۷/۴           | ۸۵/۳      | ۵۴/۱ |
| ۱۳۹۳         | ۶۹/۷           | ۹۵/۹      | ۹۶/۶ | ۶۹/۷           | ۹۵/۹      | ۹۶/۶ |
| ۱۳۹۴         | ۱۰۷            | ۵۶/۴      | ۷۴   | ۱۰۷            | ۵۶/۴      | ۷۴   |
| ۱۳۹۵         | ۱۱/۲           | ۱۴/۳      | ۲۶/۸ | ۱۱/۲           | ۱۴/۳      | ۲۶/۸ |
| ۱۳۹۶         | ۳۱/۶           | ۱۴/۲      | ۱۰۸  | ۳۱/۶           | ۱۴/۲      | ۱۰۸  |
| ۱۳۹۷         | ۲۲۲            | ۳۲۳       | ۴۲۸  | ۲۲۲            | ۳۲۳       | ۴۲۸  |
| ۱۳۹۸         | ۵۱/۴           | ۳۷/۴      | ۷۶   | ۵۱/۴           | ۳۷/۴      | ۷۶   |
| ۱۳۹۹         | ۳۰/۲           | ۵۱/۲      | ۵۵/۸ | ۳۰/۲           | ۵۱/۲      | ۵۵/۸ |
| ۱۴۰۰         | ۱۲             | ۲۳/۵      | ۹/۷۵ | ۱۲             | ۲۳/۵      | ۹/۷۵ |

جدول ۱۲- دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌های منتخب، بعد از بازسازی (مترمکعب بر ثانیه)

| سال آبی | قازانقایه | مراوه‌تپه | هوتن  | سال آبی | قازانقایه | مراوه‌تپه | هوتن  |
|---------|-----------|-----------|-------|---------|-----------|-----------|-------|
| ۱۳۵۴    | ۴۲۰       | ۲۶۳/۹     | ۵۸۹   | ۱۳۷۸    | ۳۰۲       | ۷۵۵       | ۴۸۴   |
| ۱۳۵۵    | ۴۵۱/۸     | ۲۴۸       | ۴۸۸   | ۱۳۷۹    | ۵۸۲       | ۱۵۰       | ۴۶۸/۲ |
| ۱۳۵۶    | ۳۴۶       | ۲۷۹/۴     | ۱۴۰   | ۱۳۸۰    | ۶۸/۲      | ۴۳/۴      | ۳۳۳/۵ |
| ۱۳۵۷    | ۴۹۰       | ۳۶۰/۴     | ۳۹۸   | ۱۳۸۰.۱  | ۱۸۰       | ۲۷۰       | ۴۵۹   |
| ۱۳۵۸    | ۸۱        | ۲۷۹       | ۱۱۷/۸ | ۱۳۸۲    | ۸۳        | ۱۳۷       | ۱۹۱/۳ |
| ۱۳۵۹    | ۱۶۴       | ۲۰۱/۶     | ۲۰۶   | ۱۳۸۳    | ۱۸۹       | ۲۶۶       | ۴۲۰   |
| ۱۳۶۰    | ۱۴۷۰      | ۴۲۹       | ۱۱۳۳  | ۱۳۸۴    | ۸۰        | ۸۳/۲      | ۴۰    |
| ۱۳۶۱    | ۹۸        | ۶۵/۶      | ۱۳۹   | ۱۳۸۵    | ۱۴۳       | ۲۰۳       | ۱۸۰   |
| ۱۳۶۲    | ۸۱/۲      | ۵۶/۸      | ۶۰/۳  | ۱۳۸۶    | ۴۱/۴      | ۲۵۹       | ۲۵۷/۶ |
| ۱۳۶۳    | ۳۸۴       | ۴۰۰       | ۴۳۶   | ۱۳۸۷    | ۹۳        | ۱۰۳       | ۱۱۰   |
| ۱۳۶۴    | ۶۰۶       | ۴۷۳       | ۵۵۵   | ۱۳۸۸    | ۴۰۳       | ۴۷۰       | ۴۳۵   |
| ۱۳۶۵    | ۲۶۶/۳     | ۳۸۹       | ۳۳۰   | ۱۳۸۹    | ۴۰۳       | ۴۷۰       | ۷۵۸   |
| ۱۳۶۶    | ۳۳۰       | ۲۰۴       | ۱۹۲   | ۱۳۹۰    | ۴۹۳       | ۴۲۰       | ۵۴۴   |
| ۱۳۶۷    | ۲۱۸/۴     | ۸۴        | ۷۵/۵  | ۱۳۹۱    | ۹۲/۵      | ۸۷/۲      | ۱۸۹   |
| ۱۳۶۸    | ۳۸۳/۷     | ۲۹۰       | ۱۸۸   | ۱۳۹۲    | ۳۰۰       | ۲۳۰       | ۲۲۰   |
| ۱۳۶۹    | ۱۴۰/۵     | ۴۵        | ۲۶۳   | ۱۳۹۳    | ۶۲۰       | ۴۶۰       | ۵۰۰   |
| ۱۳۷۰    | ۴۳۵/۵     | ۴۱۵/۴     | ۴۷۸   | ۱۳۹۴    | ۲۴۵       | ۲۳۰       | ۲۴۰   |
| ۱۳۷۱    | ۲۷۲/۹     | ۲۱۹/۸     | ۲۱۲   | ۱۳۹۵    | ۹۱        | ۱۵۰       | ۱۵۳   |
| ۱۳۷۲    | ۵۶        | ۵۰        | ۳۴۰   | ۱۳۹۶    | ۵۸/۶      | ۶۱        | ۲۸۶   |
| ۱۳۷۳    | ۱۰۰       | ۸۰        | ۱۰۰   | ۱۳۹۷    | ۳۳۸       | ۴۱۵       | ۵۵۸   |
| ۱۳۷۴    | ۶۰        | ۹۵/۶      | ۹۴/۸  | ۱۳۹۸    | ۳۱۰       | ۸۵        | ۳۵۰   |
| ۱۳۷۵    | ۳۸۰/۲     | ۳۷۶       | ۴۱۸/۴ | ۱۳۹۹    | ۱۳۵       | ۱۵۰       | ۵۴۰   |
| ۱۳۷۶    | ۶۱۰       | ۲۴۰       | ۴۳۴   | ۱۴۰۰    | ۳۹/۵      | ۶۳/۹      | ۱۹    |
| ۱۳۷۷    | ۵۰۰       | ۲۴۶       | ۲۹۰   |         |           |           |       |

## ۷-۲- تحلیل دبی اوج روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف

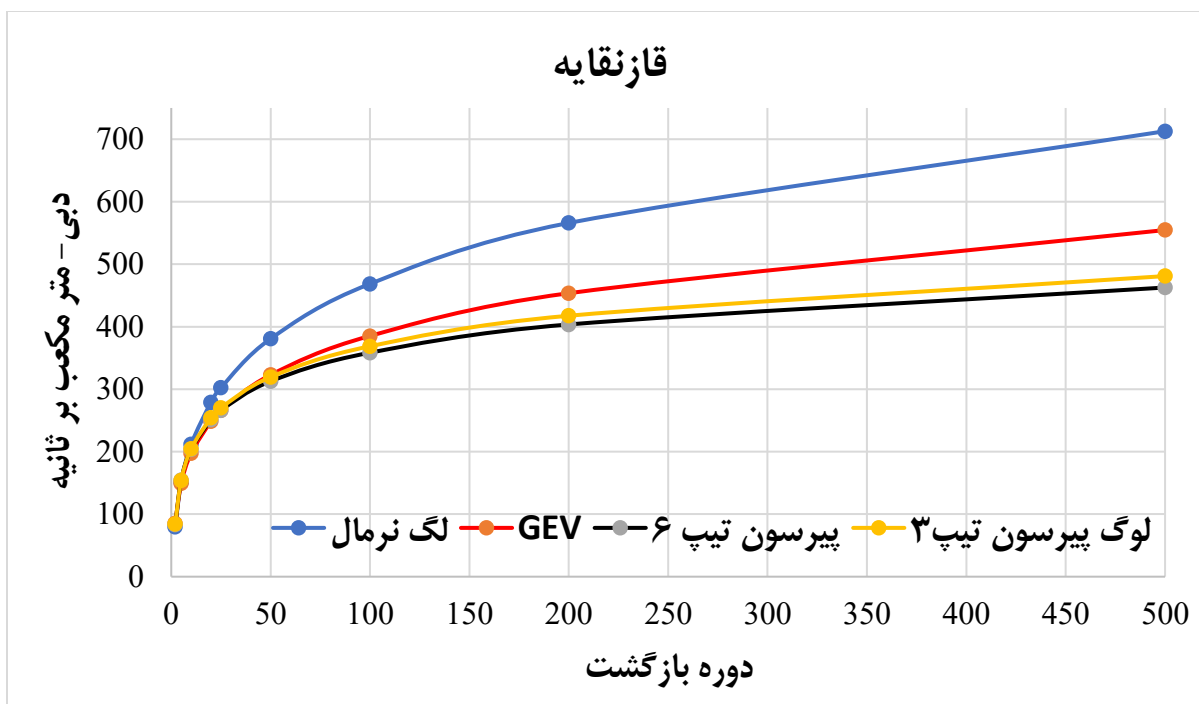
با توجه به اینکه داده‌های مشاهده‌ای ثبت شده دارای محدودیت زمانی دارند و فقط برای طول دوره آماری، امکان استفاده مستقیم از آن‌ها وجود دارد، لذا برای تعمیم داده‌های ثبت‌شده به دوره طولانی‌تر از روش‌های احتماتی و به تبع آن از توزیع‌های آماری استفاده می‌شود. در این مطالعه از نرم افزار Easyfit برای محاسبه احتمالاتی دبی بیشینه روزانه و لحظه‌ای استفاده شد. براساس مطالعات و تحقیقات مرتبط با سیل از ۵۱ رابطه احتمالاتی، توزیع‌های مرتبط انتخاب و توزیع احتمالاتی آن محاسبه و با سه روش (معیار)  $\chi^2$ ، کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون برای بررسی دقت و انتخاب روش مناسب، استفاده شد. با توجه به اینکه هر یک از معیارها، توزیع‌های متفاوتی را مناسب تشخیص دادند، چهار روش برتر از دیدگاه معیارهای ذکرشده انتخاب و دبی با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. برای دبی بیشینه روزانه توزیع‌های آماری لوگ پیرسون تیپ ۳، پیرسون تیپ ۶، لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته ( $GEV^1$ ) نسبت به دیگر توزیع‌ها، مناسب به‌دست آمدند. در محاسبات برای برآورد حجم سیلاب توصیه می‌شود از توزیع‌های منتخب، توزیعی که برآورد کمتری داشته است، استفاده و برای طراحی سازه‌های داخل و حاشیه رودخانه، جانب احتیاط به عمل آمده و از توزیع با مقادیر برآورد بالا استفاده شود. نتایج دبی اوج روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۱۳ و نمودارهای آن‌ها در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ ارائه شده است. براین‌اساس در محل ایستگاه‌های پمپاژ (خروجی حوضه) دبی بیشینه با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله در توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳، پیرسون تیپ ۶، لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته، به‌ترتیب ۷۰۲، ۷۱۱، ۸۸۸ و ۸۸۵ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد. لازم به ذکر است که دو روش لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته، نسبت به دو روش دیگر به‌ویژه در دوره بازگشت‌های بالای ۵۰ سال برآورد بالاتری داشتند.

---

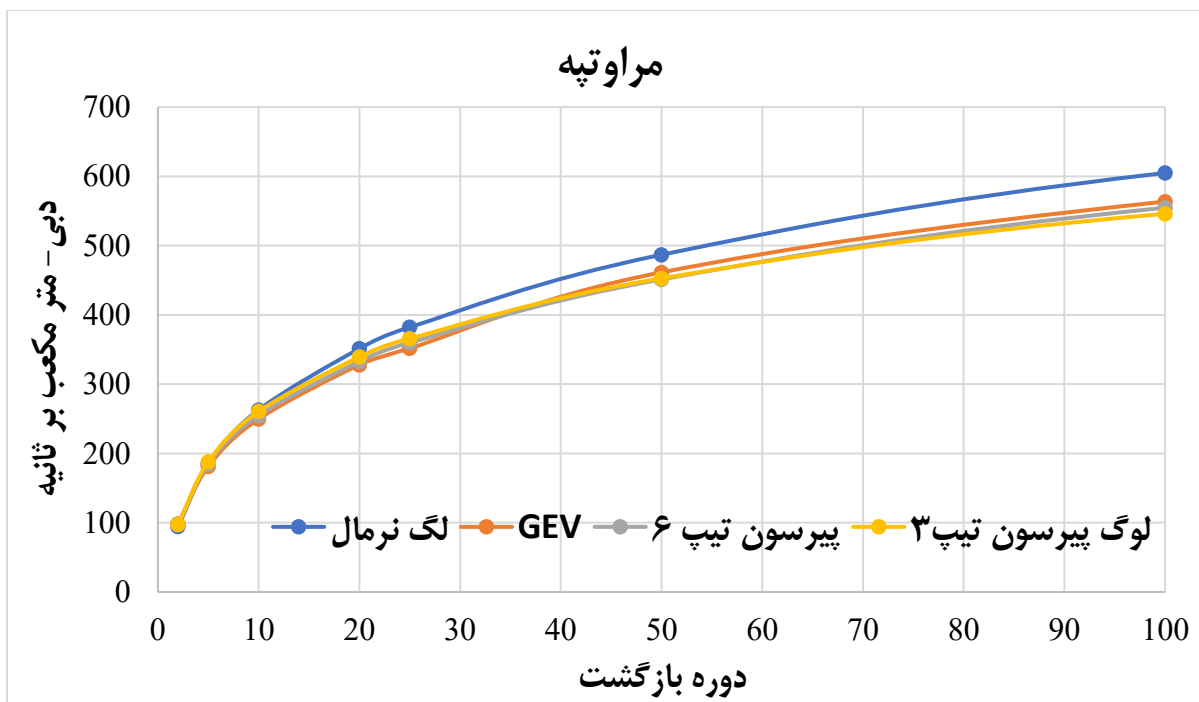
<sup>1</sup> Generalized Extreme Value

جدول ۱۳- مقادیر دبی بیشینه روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف

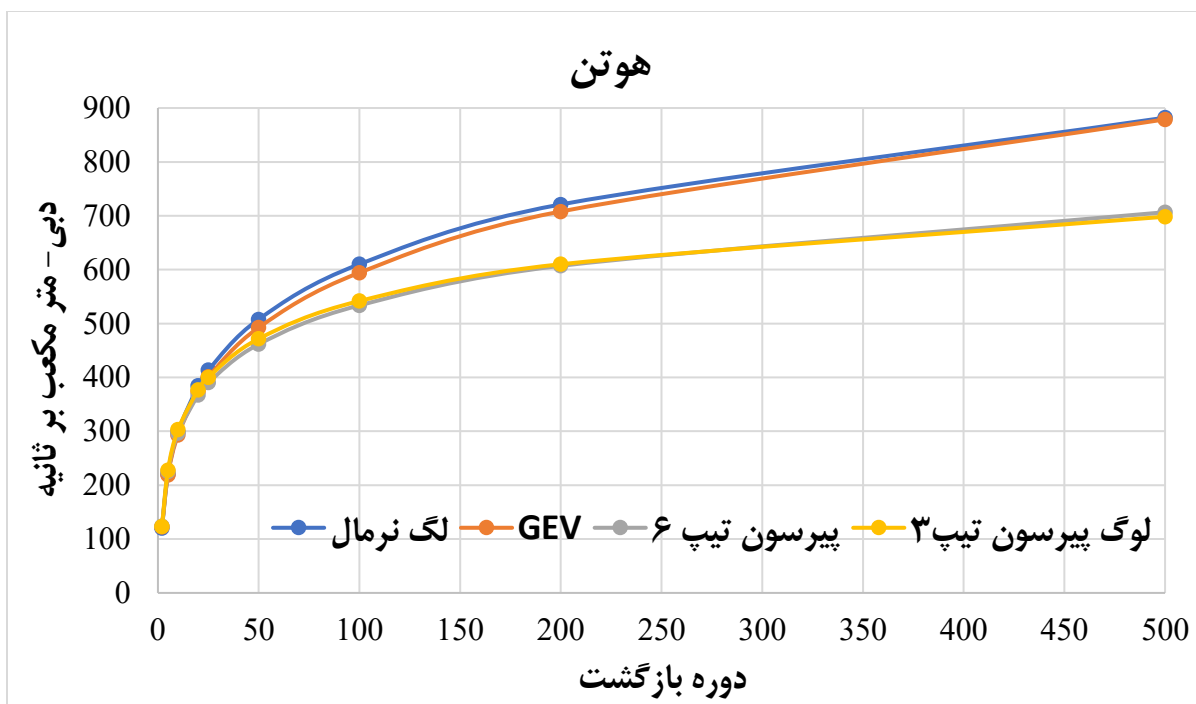
| نوع توزیع آماری | دوره بازگشت | احتمال | واحد: مترمکعب بر ثانیه |           |       |            |
|-----------------|-------------|--------|------------------------|-----------|-------|------------|
|                 |             |        | قازانقایه              | مراوه‌تپه | هوتن  | خروجی حوضه |
| لوگ‌پرسون تیپ ۳ | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۴۸۱                    | ۷۸۸/۵     | ۶۹۸/۲ | ۷۰۲/۶      |
|                 | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۴۱۷/۵۵                 | ۶۴۵/۹     | ۶۱۰   | ۶۱۳/۹      |
|                 | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۳۶۸/۷                  | ۵۴۶       | ۵۴۱/۷ | ۵۴۵/۱      |
|                 | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۳۱۹/۵                  | ۴۵۲/۷     | ۴۷۱/۷ | ۴۷۴/۷      |
|                 | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۲۷۰/۲                  | ۳۶۵/۹     | ۴۰۰/۳ | ۴۰۲/۸      |
|                 | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۲۵۴/۲                  | ۳۳۹/۳     | ۳۷۷   | ۳۷۹/۴      |
|                 | ۱۰          | ۰/۹    | ۲۰۴/۵                  | ۲۶۰/۷     | ۳۰۳   | ۳۰۴/۹      |
|                 | ۵           | ۰/۸    | ۱۵۴                    | ۱۸۷/۷     | ۲۲۸   | ۲۲۹/۴      |
|                 | ۲           | ۰/۵    | ۸۴/۶                   | ۹۷/۳      | ۱۲۳   | ۱۲۳/۸      |
|                 | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۴۶۲/۷                  | ۸۵۳/۱     | ۷۰۶/۶ | ۷۱۱/۱      |
| پرسون تیپ ۶     | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۴۰۳/۶                  | ۶۷۲/۳     | ۶۰۷/۱ | ۶۱۰/۹      |
|                 | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۳۵۸/۴                  | ۵۵۴/۷     | ۵۳۳/۶ | ۵۳۷        |
|                 | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۳۱۲/۷                  | ۴۵۱/۲     | ۴۶۱/۵ | ۴۶۴/۴      |
|                 | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۲۶۶/۴                  | ۳۵۹/۹     | ۳۹۰/۳ | ۳۹۲/۸      |
|                 | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۲۵۱/۳                  | ۳۳۲/۷     | ۳۶۷/۵ | ۳۶۹/۸      |
|                 | ۱۰          | ۰/۹    | ۲۰۳/۷                  | ۲۵۴/۶     | ۲۹۶/۸ | ۲۹۸/۷      |
|                 | ۵           | ۰/۸    | ۱۵۴/۵                  | ۱۸۴/۲     | ۲۲۵/۲ | ۲۲۶/۶      |
|                 | ۲           | ۰/۵    | ۸۳/۳                   | ۹۷/۸      | ۱۲۴   | ۱۲۴/۸      |
|                 | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۷۱۲/۸                  | ۹۳۹/۲     | ۸۸۲/۱ | ۸۸۷/۷      |
|                 | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۵۶۶                    | ۷۳۸       | ۷۲۱   | ۷۲۵/۶      |
| لگ نرمال        | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۴۶۸/۵                  | ۶۱۴/۹     | ۶۱۰   | ۶۱۳/۹      |
|                 | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۳۸۰/۸                  | ۴۸۶/۸     | ۵۰۷/۸ | ۵۱۱        |
|                 | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۳۰۲/۴                  | ۳۸۲/۲     | ۴۱۳/۵ | ۴۱۶/۱      |
|                 | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۲۷۹/۱                  | ۳۵۱/۳     | ۳۸۴/۷ | ۳۸۷/۱      |
|                 | ۱۰          | ۰/۹    | ۲۱۱/۷                  | ۲۶۲/۹     | ۲۹۹   | ۳۰۰/۹      |
|                 | ۵           | ۰/۸    | ۱۵۱/۴                  | ۱۸۵/۲     | ۲۲۰/۶ | ۲۲۲        |
|                 | ۲           | ۰/۵    | ۷۹/۸                   | ۹۴/۶      | ۱۲۰   | ۱۲۰/۸      |
|                 | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۵۵۴/۷                  | ۹۰۶/۴     | ۸۷۸/۹ | ۸۸۴/۵      |
|                 | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۴۵۳/۶                  | ۶۹۵/۴     | ۷۰۷/۹ | ۷۱۲/۴      |
|                 | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۳۸۵/۲                  | ۵۶۳/۶     | ۵۹۴/۲ | ۵۹۸        |
| GEV             | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۳۲۲/۹                  | ۴۶۱/۴     | ۴۹۲/۵ | ۵۹۵/۶      |
|                 | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۲۶۵/۹                  | ۳۵۱/۸     | ۴۰۱/۱ | ۴۰۳/۶      |
|                 | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۲۴۸/۶                  | ۳۲۸       | ۳۷۳/۶ | ۳۷۶        |
|                 | ۱۰          | ۰/۹    | ۱۹۷/۴                  | ۲۴۹/۸     | ۲۹۳/۳ | ۲۹۵/۲      |
|                 | ۵           | ۰/۸    | ۱۴۹/۳                  | ۱۸۱/۲     | ۲۱۹/۱ | ۲۲۰/۵      |
|                 | ۲           | ۰/۵    | ۸۵/۵                   | ۹۸/۴      | ۱۲۲/۹ | ۱۲۳/۷      |



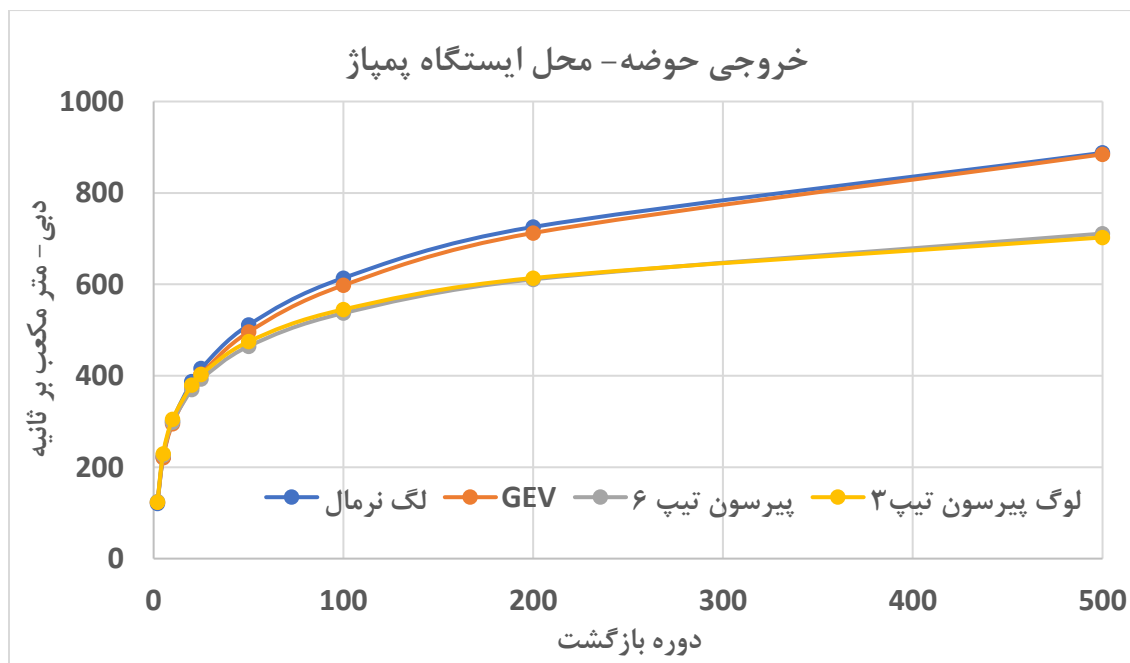
شکل ۱۳- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای ایستگاه قازنقایه با روش‌های مختلف



شکل ۱۴- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای ایستگاه مراوتپه با روش‌های مختلف



شکل ۱۵- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای ایستگاه هوتن با روش های مختلف



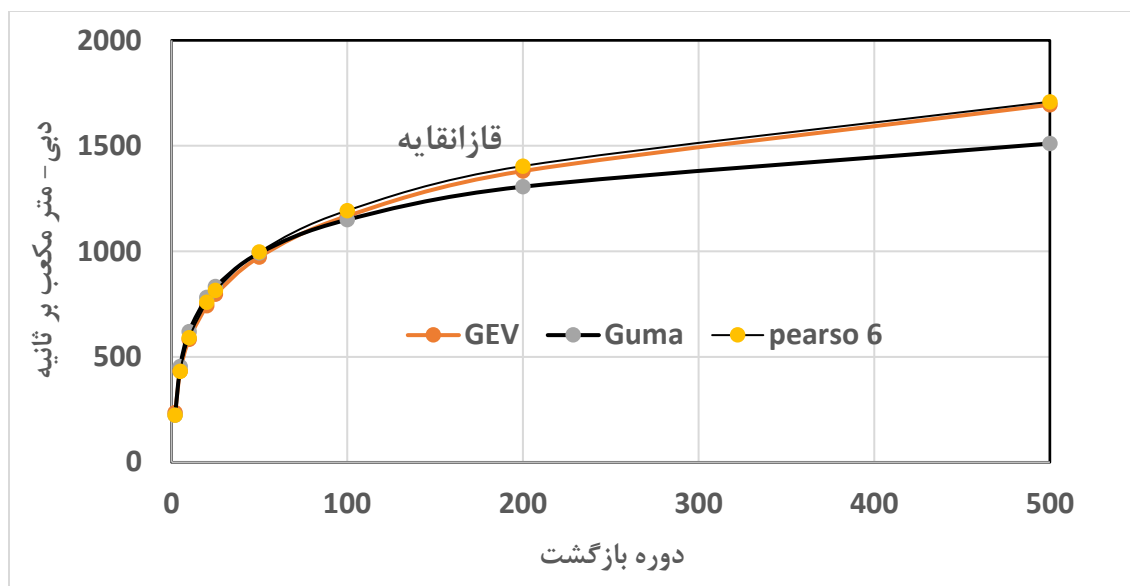
شکل ۱۶- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای ایستگاه هوتن با روش های مختلف

### ۳-۷- دبی بیشینه لحظه‌ای

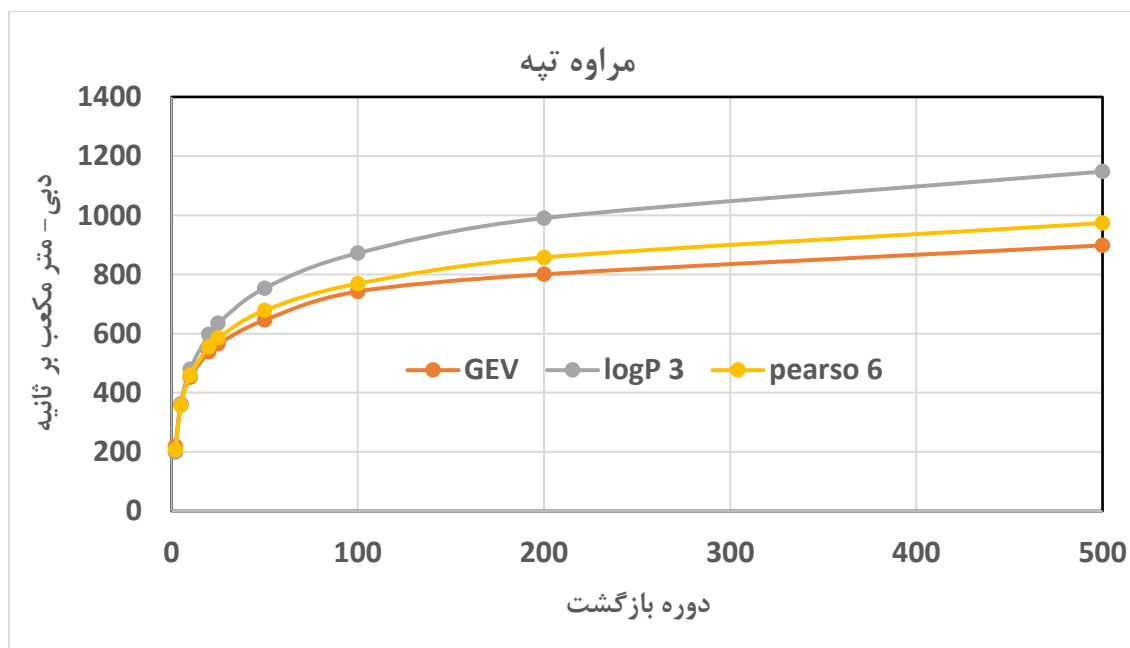
در محاسبات برای برآورد حجم سیلاب توصیه می‌شود از توزیع‌های منتخب، توزیعی که برآورد کمتری داشته است، استفاده و برای طراحی سازه‌های داخل و حاشیه رودخانه، جانب احتیاط به عمل آمده و از توزیع با مقادیر برآورد بالا استفاده شود. در برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای در سه ایستگاه یادشده روش فرین تعمیم‌یافته روش بهتر بوده و سپس روش گاما، لوگ‌نرمال و لوگ‌پیرسون تیپ ۳ روش‌های بهتری تشخیص داده شد. در ایستگاه هوتن که آخرین ایستگاه و نزدیک‌ترین به خروجی حوضه است، توزیع لوگ‌نرمال، فرین تعمیم‌یافته و لوگ‌پیرسون تیپ ۳ به ترتیب از بیشترین به کمترین برآورد را در دوره بازگشت‌های مختلف به خود اختصاص دادند. لذا، برای طراحی سازه نیاز است که روش لوگ‌نرمال در نظر گرفته شود. نتایج دبی اوج روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف در جدول ۱۴ و نمودارهای آن‌ها در شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ ارائه شده است. براین اساس در محل ایستگاه‌های پمپاژ (خروجی حوضه) دبی بیشینه با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله در توزیع لوگ‌پیرسون تیپ ۳، لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته، به ترتیب ۹۹۷، ۱۳۴۹ و ۱۱۶۳ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد. لازم به ذکر است که دو روش لوگ‌نرمال و توزیع فرین تعمیم‌یافته، نسبت به روش‌های دیگر به‌ویژه در دوره بازگشت‌های بالای ۵۰ سال برآورد بالاتری داشتند.

جدول ۱۴- مقادیر دبی بیشینه روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف

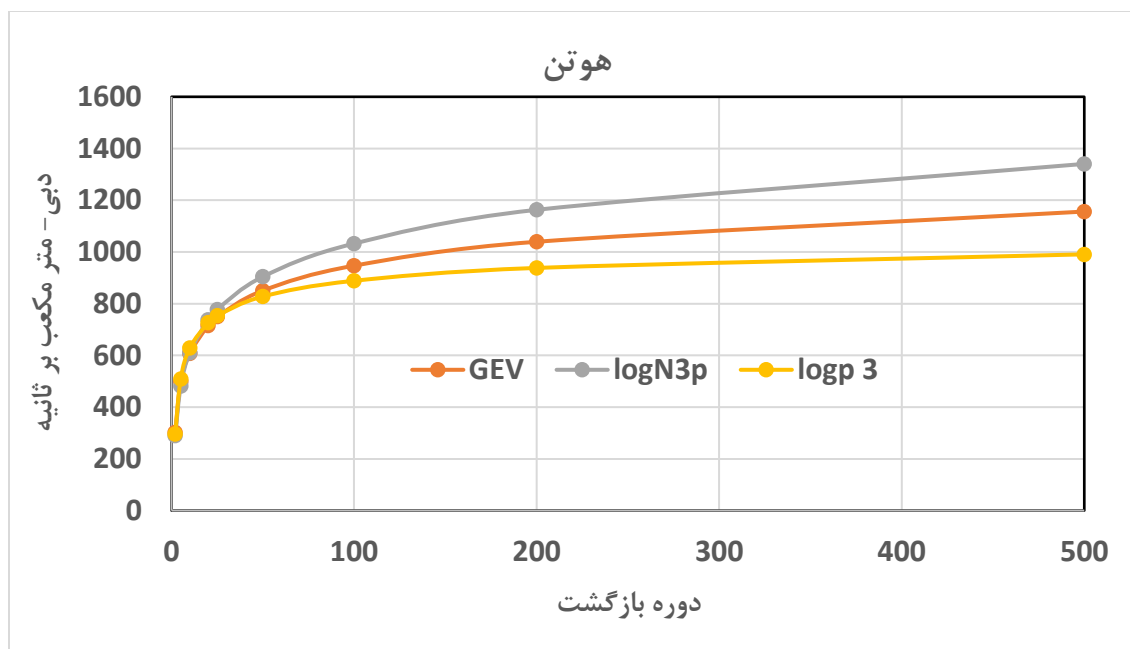
| نوع توزیع آماری                                                                | دوره بازگشت | احتمال | دبی به مترمکعب بر ثانیه |           |        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|-------------------------|-----------|--------|------------|
|                                                                                |             |        | قازانقایه               | مراوه‌تپه | هوتن   | خروجی حوضه |
| لوگ‌پیرسون تیپ ۳ (هوتن و خروجی حوضه)                                           | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۱۷۰۹/۱                  | ۹۷۳/۵     | ۹۹۰/۷  | ۹۹۷        |
|                                                                                | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۱۴۰۴/۳                  | ۸۵۷/۵     | ۹۳۸/۳  | ۹۴۴/۲      |
|                                                                                | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۱۱۹۳/۳                  | ۷۶۸/۷     | ۸۸۸/۵  | ۸۹۴/۱      |
|                                                                                | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۹۹۷/۳                   | ۶۷۸/۳     | ۸۲۷/۸  | ۸۳۳        |
|                                                                                | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۸۱۴/۷                   | ۵۸۵/۹     | ۷۵۳/۷  | ۷۵۸/۵      |
|                                                                                | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۷۵۸/۴                   | ۵۵۵/۶     | ۷۲۶    | ۷۳۰/۶      |
|                                                                                | ۱۰          | ۰/۹    | ۵۹۰/۶                   | ۴۵۹/۱     | ۶۲۹/۲  | ۶۳۳/۲      |
|                                                                                | ۵           | ۰/۸    | ۴۳۱/۲                   | ۳۵۷/۴     | ۵۰۸/۶  | ۵۱۱/۸      |
|                                                                                | ۲           | ۰/۵    | ۲۲۳/۹                   | ۲۰۶/۳     | ۲۹۶/۴  | ۲۹۸/۳      |
| گاما (قازانقایه)، لوگ‌پیرسون تیپ ۳ (مراوه‌تپه) و لوگ‌نرمال (هوتن و خروجی حوضه) | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۱۵۱۱                    | ۱۱۴۷/۷    | ۱۳۴۰/۵ | ۱۳۴۹       |
|                                                                                | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۱۳۰۶/۴                  | ۹۹۰/۴     | ۱۱۶۳   | ۱۱۷۰/۴     |
|                                                                                | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۱۱۴۹/۹                  | ۸۷۱/۷     | ۱۰۳۲/۴ | ۱۰۳۸/۹     |
|                                                                                | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۹۹۲/۲                   | ۷۵۳/۲     | ۹۰۴/۳  | ۹۱۰        |
|                                                                                | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۸۳۳/۱                   | ۶۳۵/۲     | ۷۷۷/۸  | ۷۸۲/۷      |
|                                                                                | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۷۸۱/۵                   | ۵۹۷/۳     | ۷۳۷/۳  | ۷۴۲        |
|                                                                                | ۱۰          | ۰/۹    | ۶۱۹/۵                   | ۴۷۹/۷     | ۶۱۰/۸  | ۶۱۴/۷      |
|                                                                                | ۵           | ۰/۸    | ۴۵۳/۷                   | ۳۶۱/۵     | ۴۸۱    | ۴۸۴        |
|                                                                                | ۲           | ۰/۵    | ۲۲۲/۸                   | ۱۹۹/۲۵    | ۲۸۹/۷  | ۲۹۱/۵      |
| GEV                                                                            | ۵۰۰         | ۰/۹۹۸  | ۱۶۹۴/۸                  | ۸۹۸/۲     | ۱۱۵۶/۲ | ۱۱۶۳/۵     |
|                                                                                | ۲۰۰         | ۰/۹۹۵  | ۱۳۸۰/۴                  | ۸۰۰/۴     | ۱۰۳۹/۴ | ۱۰۴۶       |
|                                                                                | ۱۰۰         | ۰/۹۹   | ۱۱۶۷/۴                  | ۷۴۲/۲     | ۹۴۶/۹  | ۹۵۲/۹      |
|                                                                                | ۵۰          | ۰/۹۸   | ۹۷۳/۴                   | ۶۴۵/۸     | ۸۵۰/۵  | ۸۵۵/۹      |
|                                                                                | ۲۵          | ۰/۹۶   | ۷۹۶/۲                   | ۵۶۴/۹     | ۷۴۹/۶  | ۷۵۵/۴      |
|                                                                                | ۲۰          | ۰/۹۵   | ۷۴۲/۳                   | ۵۳۸/۲     | ۷۱۶    | ۷۲۰/۵      |
|                                                                                | ۱۰          | ۰/۹    | ۵۸۳/۲                   | ۴۵۲/۶     | ۶۰۷/۲  | ۶۱۱        |
|                                                                                | ۵           | ۰/۸    | ۴۳۳/۴                   | ۳۶۱/۱     | ۴۹۸/۳  | ۵۰۱/۵      |
|                                                                                | ۲           | ۰/۵    | ۲۳۴/۹                   | ۲۱۸/۲     | ۳۰۱/۷  | ۳۰۳/۶      |



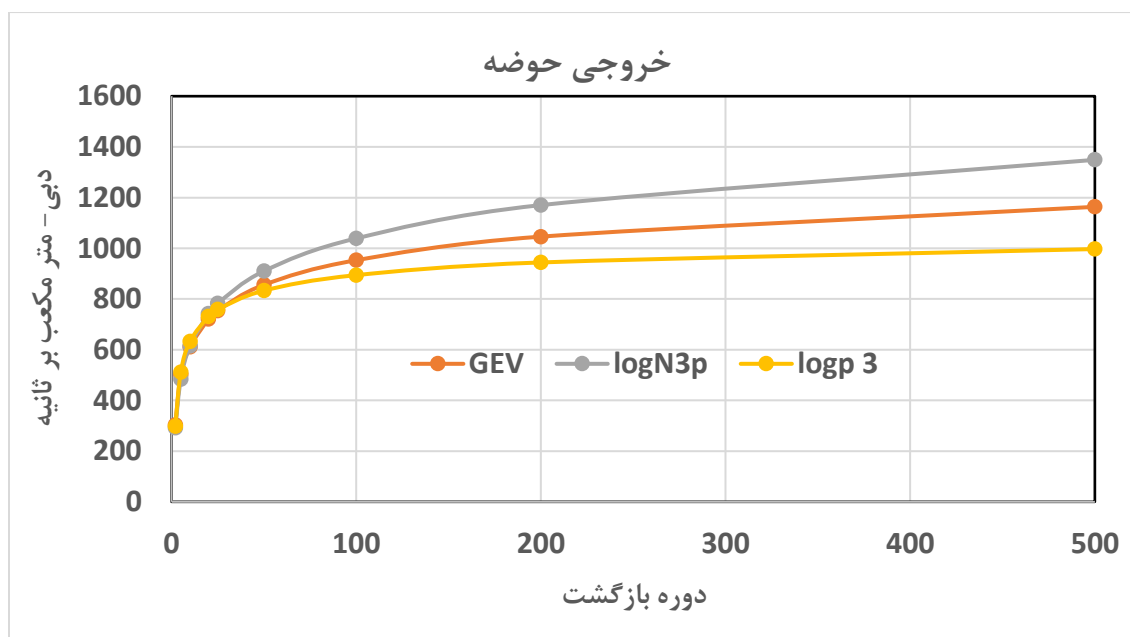
شکل ۱۷- مقایسه دبی بیشینه لحظه‌ای محاسبه شده برای ایستگاه قازانقایه با روش‌های مختلف



شکل ۱۸- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای ایستگاه مراوه تپه با روش‌های مختلف



شکل ۱۹- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای ایستگاه مراوه هوتن با روش های مختلف



شکل ۲۰- مقایسه دبی بیشینه روزانه محاسبه شده برای خروجی حوضه با روش های مختلف

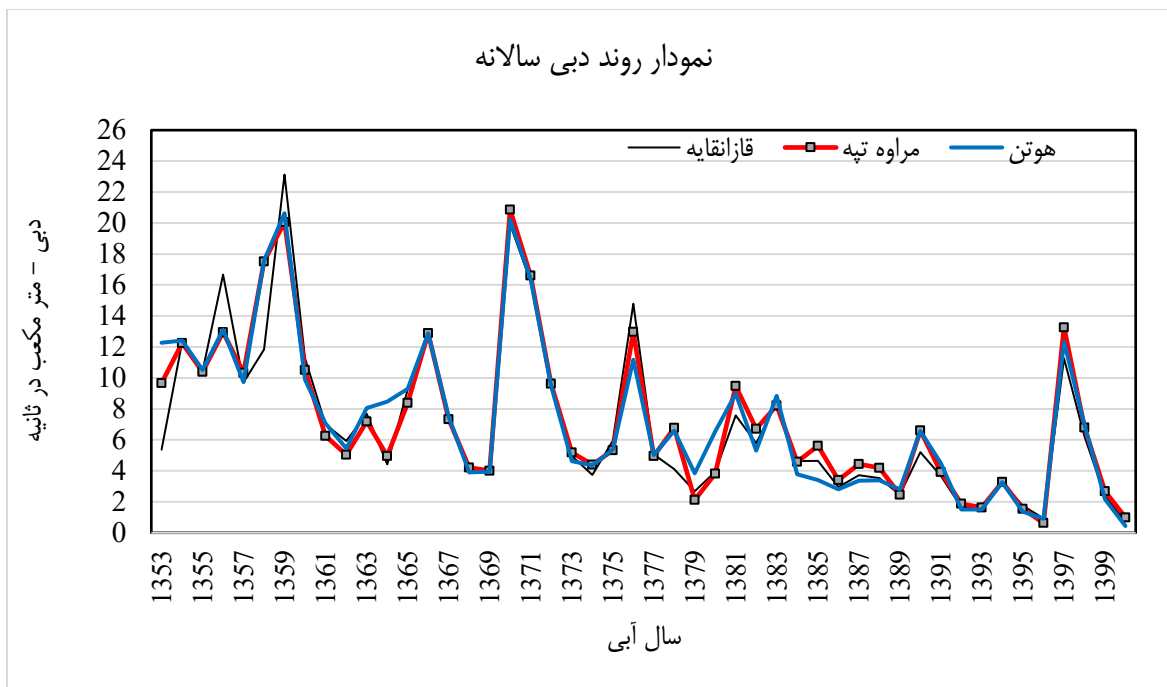
## ۸- دبی و حجم آبدهی متوسط سالانه و ماهانه

به‌منظور مطالعه تغییرات جریان رودخانه‌ها از متغیری به نام دبی جریان یا آبدهی<sup>۱</sup> استفاده می‌شود که عبارت است از حجم آب عبوری از یک مقطعی معین در واحد زمان که برحسب مترمکعب در ثانیه، لیتر در ثانیه و یا فوت مکعب بر ثانیه بیان می‌شود، لازم به بیان است در مطالعه آبدهی از شاخص‌های دیگری نظیر ارتفاع رواناب و یا حجم جریان شامل حجم ماهیانه و سالانه نیز استفاده می‌شود. در شکل ۲۱ نمودار تغییرات دبی متوسط سالانه و در شکل ۵۰ نمودار تغییرات حجم رواناب سالانه در سه ایستگاه منتخب آورده شده است. دبی در سیر زمان نزولی بوده و پرآب‌ترین سال، ۱۳۵۹ با بیش از ۲۰ مترمکعب در ثانیه و کم‌آب‌ترین سال، ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ کمتر از یک مترمکعب بر ثانیه بدست آمد. به‌ویژه از سال ۱۳۷۶ به بعد، سیر نزولی دبی رخ داده و فقط در سال ۱۳۹۷ یک اوج دبی مشاهده می‌شود (جدول ۱۵).

نتایج نشان داد که در مقیاس دهه نیز دبی به شدت نزولی بوده است، به‌طوری که متوسط دبی در دهه ۵۰ حدود ۱۳ مترمکعب بر ثانیه و در دهه ۱۳۹۰، به کمتر از ۳/۶ مترمکعب کاهش یافته است. این کاهش جریان می‌تواند نتیجه تغییرات کاربری اراضی و برداشت‌های غیرمجاز از رودخانه تا تغییرات اقلیم است. دبی متوسط سالانه و حجم رواناب متوسط سالانه در هر دهه ارائه شده است (جدول ۱۶). روند تغییرات حجم دبی سالانه هر یک از ایستگاه‌ها نیز در شکل ۲۲ آورده شده است.

---

<sup>۱</sup> . Discharge



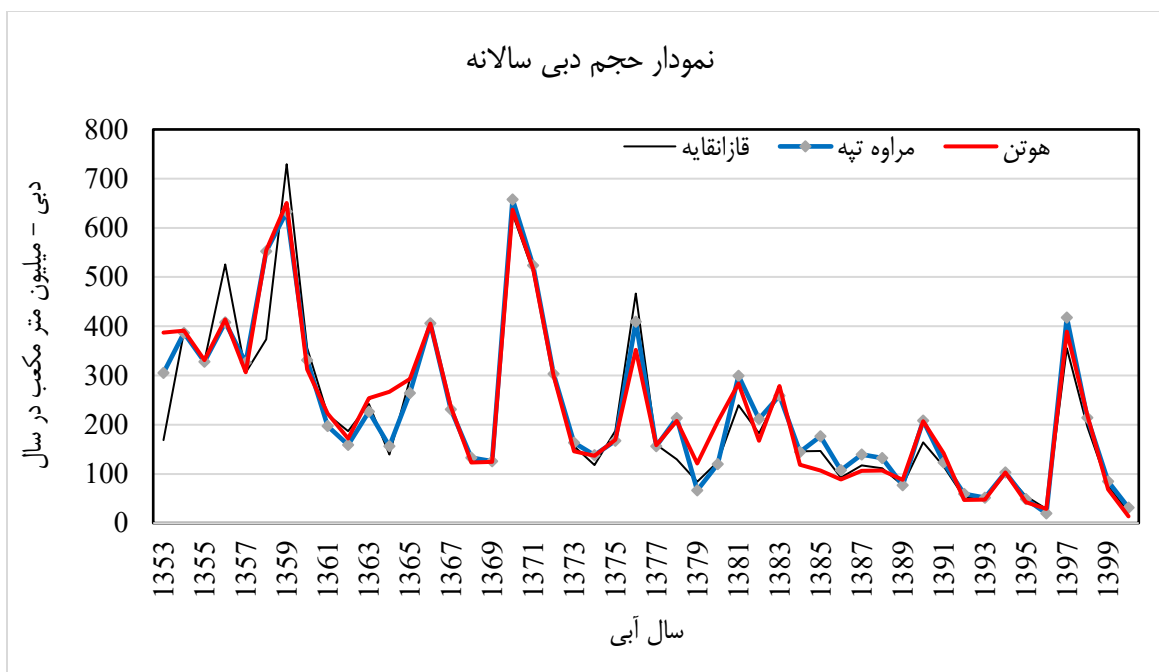
شکل ۲۱- نمودار وضعیت جریان سالانه ایستگاه‌های منتخب

جدول ۱۵- حجم رواناب سالانه در ایستگاه‌های منتخب (میلیون مترمکعب)

| سال  | قازانقایه | مراوه‌تپه | هوتن   | سال  | قازانقایه | مراوه‌تپه | هوتن   |
|------|-----------|-----------|--------|------|-----------|-----------|--------|
| ۱۳۵۳ | ۱۶۸/۹۹    | ۳۰۵       | ۳۸۷/۲۳ | ۱۳۷۷ | ۱۵۹/۵۲    | ۱۵۶/۱۳    | ۱۵۸/۲۹ |
| ۱۳۵۴ | ۳۸۸/۱۷    | ۳۸۶/۳۲    | ۳۹۱/۳۳ | ۱۳۷۸ | ۱۲۹/۵۳    | ۲۱۳/۵۶    | ۲۰۷/۷۳ |
| ۱۳۵۵ | ۳۲۹/۵۷    | ۳۲۷/۸۷    | ۳۳۱/۳۹ | ۱۳۷۹ | ۸۴/۳      | ۶۶/۷۲     | ۱۲۱/۲۲ |
| ۱۳۵۶ | ۵۲۵/۸۸    | ۴۰۸/۱۳    | ۴۱۳/۷  | ۱۳۸۰ | ۱۲۴/۱۵    | ۱۲۰/۱۱    | ۲۰۶/۲۳ |
| ۱۳۵۷ | ۳۰۵/۸۹    | ۳۲۵/۹۵    | ۳۰۶/۷۹ | ۱۳۸۱ | ۲۳۹/۲۶    | ۲۹۹/۱۵    | ۲۸۳/۴۶ |
| ۱۳۵۸ | ۳۷۳/۵۳    | ۵۵۲/۵۴    | ۵۵۴/۶  | ۱۳۸۲ | ۱۸۲/۶۱    | ۲۱۱/۶     | ۱۶۷/۳۸ |
| ۱۳۵۹ | ۷۲۹/۳۹    | ۶۳۲/۷     | ۶۵۰/۵۱ | ۱۳۸۳ | ۲۶۴/۸     | ۲۵۹/۱     | ۲۷۸/۷۹ |
| ۱۳۶۰ | ۲۵۵/۶۵    | ۳۳۱/۲۷    | ۳۱۲/۱۶ | ۱۳۸۴ | ۱۴۵/۷۶    | ۱۴۴/۳۱    | ۱۱۸/۷۹ |
| ۱۳۶۱ | ۲۲۰/۶۷    | ۱۹۷/۲۳    | ۲۲۲/۶۵ | ۱۳۸۵ | ۱۴۶/۶۴    | ۱۷۶/۷۷    | ۱۰۷/۱۱ |
| ۱۳۶۲ | ۱۸۶/۷۴    | ۱۵۹/۱۳    | ۱۷۲/۰۳ | ۱۳۸۶ | ۹۲/۷۱     | ۱۰۷/۳۵    | ۸۸/۵۲  |
| ۱۳۶۳ | ۲۴۲/۲۸    | ۲۲۶/۵۲    | ۲۵۳/۷۲ | ۱۳۸۷ | ۱۱۷/۱۲    | ۱۳۹/۶۳    | ۱۰۶/۰۷ |
| ۱۳۶۴ | ۱۳۹/۲۲    | ۱۵۶/۳۹    | ۲۶۶/۷  | ۱۳۸۸ | ۱۱۱/۵۷    | ۱۳۲/۱۸    | ۱۰۶/۵۹ |
| ۱۳۶۵ | ۲۹۱/۹۷    | ۲۶۴/۴۹    | ۲۹۲/۹۲ | ۱۳۸۹ | ۷۷/۱۲     | ۷۷/۱      | ۸۸/۲۱  |
| ۱۳۶۶ | ۴۰۲/۰۲    | ۴۰۶/۱۴    | ۴۰۵/۵۱ | ۱۳۹۰ | ۱۶۴/۰۳    | ۲۰۸/۵     | ۲۰۷/۲۳ |
| ۱۳۶۷ | ۲۳۶/۵۷    | ۲۳۱/۲۶    | ۲۳۶/۲۳ | ۱۳۹۱ | ۱۱۵/۶۲    | ۱۲۳/۴     | ۱۴۲/۰۳ |
| ۱۳۶۸ | ۱۲۵/۹۴    | ۱۳۲/۹۹    | ۱۲۳/۰۵ | ۱۳۹۲ | ۵۱/۹۶     | ۵۹/۳۸     | ۴۷/۲۴  |
| ۱۳۶۹ | ۱۲۷/۲۹    | ۱۲۶/۰۶    | ۱۲۴/۴۲ | ۱۳۹۳ | ۵۰/۶۹     | ۵۱/۳۵     | ۴۷/۵۱  |
| ۱۳۷۰ | ۶۲۸/۲۲    | ۶۵۷/۹     | ۶۳۶/۹۴ | ۱۳۹۴ | ۱۰۲/۶۴    | ۱۰۳/۱۳    | ۱۰۲/۶۸ |
| ۱۳۷۱ | ۵۱۱/۴۵    | ۵۲۳/۹۳    | ۵۱۷/۴۷ | ۱۳۹۵ | ۵۵/۱۴     | ۴۸/۹۷     | ۴۲/۶۸  |
| ۱۳۷۲ | ۳۰۵/۷۱    | ۳۰۳/۳۹    | ۲۹۹/۸۶ | ۱۳۹۶ | ۲۸/۹۱     | ۱۹/۷۸     | ۲۸/۷۵  |
| ۱۳۷۳ | ۱۵۶/۴۸    | ۱۶۳/۶۶    | ۱۴۵/۵۹ | ۱۳۹۷ | ۳۵۴/۹۹    | ۴۱۷/۹۶    | ۳۸۸/۸۵ |
| ۱۳۷۴ | ۱۱۸/۰۸    | ۱۳۸/۳۵    | ۱۳۷/۰۳ | ۱۳۹۸ | ۱۹۵/۸۳    | ۲۱۴/۲۳    | ۲۱۹/۳۱ |
| ۱۳۷۵ | ۱۸۷/۵۱    | ۱۶۷/۶۲    | ۱۶۹/۰۹ | ۱۳۹۹ | ۷۴/۹۲     | ۸۴/۸۳     | ۶۸/۳۲  |
| ۱۳۷۶ | ۴۶۶/۷۲    | ۴۰۹       | ۳۵۲/۲۲ | ۱۴۰۰ | ۲۲/۸۱     | ۳۱/۷۳     | ۱۳/۷۴  |

جدول ۱۶- تغییرات دبی جریان در بازه دهه‌های مختلف ایستگاه‌های منتخب

| دهه  | دبی: مترمکعب بر ثانیه |           |       | حجم متوسط دوره: میلیون مترمکعب بر سال |           |        |
|------|-----------------------|-----------|-------|---------------------------------------|-----------|--------|
|      | قازانقایه             | مراوه‌تپه | هوتن  | قازانقایه                             | مراوه‌تپه | هوتن   |
| ۱۳۵۰ | ۱۲/۵۹                 | ۱۲/۹۶     | ۱۳/۲۷ | ۳۹۳/۱۳                                | ۴۰۸/۷۲    | ۴۱۸/۴۶ |
| ۱۳۶۰ | ۸/۲۵                  | ۸/۱۱      | ۸/۶۷  | ۲۶۰/۰۹                                | ۲۵۵/۸۱    | ۲۷۳/۴۲ |
| ۱۳۷۰ | ۷/۱۱                  | ۷/۱۷      | ۷/۳۴  | ۲۲۴/۳۴                                | ۲۲۶/۲۵    | ۲۳۱/۴۷ |
| ۱۳۸۰ | ۴/۸۹                  | ۵/۵۷      | ۴/۹۲  | ۱۵۴/۱۶                                | ۱۷۵/۵۷    | ۱۵۵/۲۱ |
| ۱۳۹۰ | ۳/۳۴                  | ۳/۶۶      | ۳/۴۹  | ۱۰۵/۳۵                                | ۱۱۵/۴۴    | ۱۱۰/۱۱ |



شکل ۲۲- تغییرات حجم دبی سالانه ایستگاه‌های منتخب

نتایج بررسی دبی در مقیاس ماهانه نشان داد که فروردین پر آب‌ترین و تیرماه کم آب‌ترین ماه سال بوده است. کمینه، متوسط و بیشینه دبی متوسط ماهانه در طول دوره آماری در جدول ۱۷ ارائه شده است. براین اساس، مقادیر کمینه دبی در ایستگاه هوتن در فصل تابستان صفر بوده و در اغلب ماه‌ها نیز مقادیر بسیار کم به دست آمده است. این موضوع بیانگر تغییرات زیاد ماهانه دبی در طول دوره آماری بوده است، به طوری که در فروردین که پرآب‌ترین ماه است، در یک سال فاقد جریان بوده و در یک سال پرآب، دبی آن به ۷۸ مترمکعب رسیده است. لذا، در برنامه‌ریزی منابع و برداشت از رودخانه باید دقت شود و در سال‌های پر آبی برداشت مناسب صورت گرفته و برای سال‌های خشک ذخیره‌سازی صورت پذیرد.

جدول ۱۷- دبی متوسط ماهانه ایستگاه‌های منتخب (مترمکعب بر ثانیه)

| نام زیرحوضه | مهر    | آبان  | آذر   | دی    | بهمن  | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر   | مرداد | شهریور | سالانه |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|-------|-------|-------|--------|--------|
| قازنقایه    | متوسط  | ۳/۴۸  | ۵/۶۹  | ۶/۲۷  | ۵/۶۷  | ۶/۶۸  | ۹/۸۶    | ۱۱/۹۶    | ۸/۸۸  | ۵/۷۴  | ۲/۶۷  | ۳/۹۳   | ۶/۱۶   |
|             | بیشینه | ۹/۹۵  | ۱۹/۹۲ | ۱۹/۲۸ | ۱۷/۱۶ | ۲۱/۳۷ | ۴۰/۲۷   | ۶۳/۱۸    | ۶۳    | ۴۴/۱۶ | ۲۳/۴  | ۲۶/۵۲  | ۲۳/۱۳  |
|             | کمینه  | ۰/۰۳  | ۰/۲۱  | ۰/۷۴  | ۰/۵۵  | ۰/۶۶  | ۰/۵۷    | ۰/۰۳     | ۰/۰۹  | ۰     | ۰     | ۰      | ۰/۷۲   |
| مراوه تپه   | متوسط  | ۳/۹۹  | ۵/۸۱  | ۶/۹۵  | ۶/۷۳  | ۷/۷۹  | ۱۲/۱۵   | ۱۵/۳۳    | ۱۱/۱۸ | ۵/۷۹  | ۲/۵۲  | ۳/۲    | ۷/۰۹   |
|             | بیشینه | ۱۱/۹۷ | ۱۸/۲۲ | ۲۱/۷۶ | ۱۷/۰۴ | ۲۱/۱۴ | ۴۶/۹    | ۸۳/۶۴    | ۹۳/۲۹ | ۴۶/۲۸ | ۱۷/۵۹ | ۱۹/۱۳  | ۲۰/۸۶  |
|             | کمینه  | ۰/۰۷  | ۰/۲۶  | ۰/۷۷  | ۰/۶۹  | ۰/۹۷  | ۰/۷۳    | ۰        | ۰     | ۰     | ۰     | ۰      | ۰/۶۳   |
| هوتن        | متوسط  | ۴/۱۴  | ۵/۷۸  | ۷     | ۶/۷۷  | ۷/۹۳  | ۱۲/۱    | ۱۴/۳۱    | ۱۱/۴۸ | ۷/۰۳  | ۲/۷۵  | ۴/۵۶   | ۷/۳    |
|             | بیشینه | ۱۲/۲۹ | ۱۸/۲۹ | ۱۵/۳۸ | ۱۷/۲۷ | ۲۲/۹۱ | ۴۳/۶۵   | ۷۱/۴۷    | ۱۰۲/۸ | ۴۸/۸۹ | ۲۱/۴۱ | ۲۷/۵۵  | ۲۰/۶۳  |
|             | کمینه  | ۰/۰۳  | ۰     | ۰/۱۴  | ۰/۰۷  | ۰/۰۷  | ۰/۱     | ۰        | ۰/۰۱  | ۰     | ۰     | ۰      | ۰/۴۴   |

## ۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

حوضه اترک در یک گستره اقلیمی توپوگرافی و زمین شناسی زیادی واقع شده است. منطقه دارای اقلیم غالب نیمه خشک با تغییرات مکانی و زمانی بارش زیاد است. با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی غالب مارنی و شیلی در حوضه ویژه در پایین‌دست آن شرایط هیدرولوژیکی بسیار متغیری را به وجود آورد است. تغییرات اقلیمی و به‌ویژه تغییرات رفتار بارش که در آن، بارش‌های شدید، روند افزایشی یافته بوده دلیل افزایش دما نوع بارش از برف به باران تغییر یافته است. دلیل‌های ذکر شده باعث شد است تا جریان رودخانه به‌شدت از جریان دائمی به فصلی و سیلابی سوق داده شود. در چنین شرایطی در بخش خروجی حوضه‌ای که دارای تبخیر و تعرق بالا است، ذخیره آب همراه و کاهش در اثر تبخیر خواهد. در این گونه مناطق، کشاورزی به به‌ویژه زراعت آبی همراه با ریسک زیاد است. لذا نیاز به کارگیری فناوری‌های مختلف سازگاری (استفاده از گونه‌های سازگار و مقاوم به خشکی گرما) جزء اولویت‌های کشاورزی است. استفاده از فناوری‌های مهار و استحصال سیلاب و ذخیره آن در مخازن مناسب از دیگر راهکارهای پایداری در کشاورزی است. برنامه‌ریزی مناسب زمان‌های کاش داشت و برداشت نیز می‌تواند در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری مؤثر است. حرکت به سمت کشاورزی در محیط‌هایی کنترل

شده مانند گلخانه و به کارگیری روش‌های نوین آبیاری به‌ویژه روش‌های زیرسطحی پایداری کشاورزی و کاهش ریسک را به همراه خواهد داشت. در پایان امید است با توجه به کاهش منابع آب، با افزایش بهره‌وری می‌توان تا حد زیادی کاهش منابع آب را جبران کرد.

### ملاحظات اخلاقی

**تضاد منافع نویسندگان:** نویسندگان اعلام می‌دارند که این اثر بخشی از گزارش هیدرولوژی پروژه "مکان‌یابی و طراحی حوضچه رسوبگیر و ذخیره آب در رودخانه اترک و ایستگاه پمپاژ" توسط سازمان اتکا طی قرارداد شماره ۸۴۵۹۹ بوده و با رعایت کامل اخلاق نشر تهیه شده و هیچ‌گونه سرقت ادبی، رفتار سوء، جعل داده‌ها، ارسال یا انتشار هم‌زمان در جای دیگر صورت نپذیرفته است. همچنین هیچ منافع تجاری در راستای آن وجود نداشته و وجهی بابت ارائه اثر پیش از این دریافت نشده است.

**مشارکت نویسندگان:** نویسنده اول: نویسنده مسئول، تدوین اثر، انجام اصلاحات؛ نویسنده دوم: مشارکت در بازدید میدانی، کنترل نهایی؛ نویسنده سوم: تهیه نقشه، جمع‌آوری اطلاعات.

**بیانیه:** در طول تهیه این اثر، نویسندگان مسئولیت کامل محتوای منتشرشده را بر عهده می‌گیرند.

### منابع

- اکبرزاده، م.، خداشناس، س.، اسماعیلی، ک. ۱۳۹۴. مدل‌سازی رواناب حوزه آبخیز اترک با استفاده از الگوریتم SUFI-2 مدل SWAT. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۵): ۶۹۰-۶۷۸.
- تیموری، م.، صادقی، س. ۱۴۰۲. مدل‌سازی تصادفی جریان رودخانه با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. چهارمین کنفرانس ملی داده‌کاوی در علوم زمین. دانشگاه صنعتی اراک. اراک، ۷ ص. <https://civilica.com/doc/2027674>.
- شیخ، و.، بهره‌مند، ع.، موشیخان، ی. ۱۳۹۰. مقایسه روند متغیرهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اترک با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۸: ۱-۲۳.

- غلامی، ش.، نصیری، م. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه اترک با استفاده از مدل SWAT، مطالعه موردی: حوزه آبخیز مراوه‌تپه استان گلستان. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷: ۱۳۵-۱۲۶.
- رضائزادکشتلی، م.، بابانژاد، م. و امینی، آ.، ۱۳۹۵. برازش الگوی فصلی سری زمانی به میزان آب‌دهی رودخانه‌ها در دامنه زمان (مطالعه موردی: رودخانه اترک). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۶): ۳۰۷-۳۱۵.
- کوهی، س.، عزیزیان، ا. ۱۴۰۰. بررسی دقت ارتفاعی مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) مبتنی بر سنجش از دور در کاربری‌ها. مجله اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۳۰(۱۱۸): ۷-۲۴. doi: 10.22131/sepehr.2021.246102.
- مفتاح‌هلقی، م. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص‌های متفاوت کیفی مطالعه موردی: رودخانه اترک (گزارش کوتاه علمی). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۸: ۲۱۱-۲۲۱.
- Majidi, A., Hosseini, S.A., Nazif, S. and Ghermezcheshmeh, B. 2024. Comprehensive analysis of the impacts of climate and land use changes on flood damage (Case study: AqQala, Iran). Journal of Water and Climate Change. 15: 3260-3275.

**Abstract:**

This report was prepared within the framework of a commissioned project by the Eteka Organization entitled “Site Selection and Design of a Sediment Retention Basin, Water Reservoir, and Pumping Station on the Atrak River in the Chat-Gonbad Region.” During recent decades, the Atrak River has experienced substantial hydrological changes, making scientific investigations essential for sustainable water resources planning and utilization. Effective management of water resources and agricultural lands requires a comprehensive understanding of precipitation and runoff conditions. This issue is particularly important in watersheds such as the Atrak Basin, where surface water constitutes the primary source of water supply. The Chat-Gonbad region, located in the downstream part of the Atrak Basin, is recognized as an important agricultural and livestock production area. The present study aimed to assess the water resources potential of the Chat-Gonbad region through the analysis of precipitation patterns, annual and monthly streamflow, and flood characteristics. For this purpose, major hydrometric stations located upstream of the study area, where annual mean discharge, maximum daily discharge, and peak instantaneous discharge are recorded, were selected. Long-term hydrological records were analyzed to evaluate annual and monthly streamflow regimes as well as maximum daily and instantaneous flood discharges. Flood quantiles corresponding to return periods ranging from 2 to 200 years were estimated and extracted. In addition, precipitation characteristics of the region were examined for 30, 40, and 50-year periods ending in 2018, and spatial distribution maps were produced. Long-term trends in annual discharge were also investigated. The results indicated that the 50-year mean precipitation was approximately 15% higher than the corresponding 30-year value, suggesting a decline in precipitation during recent decades. The mean annual discharge at the three investigated hydrometric stations exhibited a decreasing trend, with the wettest year (1980) recording more than  $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , whereas the driest years (2018 and 2021) showed values below  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Minimum discharge values at the Hootan station reached zero during summer months and remained very low throughout most of the year, while April was identified as the wettest month. Estimation of peak instantaneous flood discharge at the watershed outlet for a 500-year return period using EasyFit software yielded values of 702, 711, 888, and  $885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  based on the Log-Pearson Type III, Pearson Type VI, Log-Normal, and Generalized Extreme Value (GEV) distributions, respectively.

The Log-Normal and GEV distributions produced notably higher estimates than the other distributions, particularly for return periods exceeding 50 years.

**Keywords:** Atrak basin, Chat-Gonbad, Flood, Streamflow Analysis, Water Resources Management.

**Ministry of Agriculture-Jahad**  
**Agricultural Research, Education and Extension Organization**  
**Soil Conservation and Watershed Management Research Institute**

---

**Title:** Analysis of precipitation, annual discharge and flooding in Atrak basin

**Author:** Bagher Ghermezcheshmeh, Mohammadreza Gharibreza, Kazem Saber Chenari

**Editor:** Saeed Nabipay Lashkarian

**Layout and Cover Designer:** Abbas Seddigh

**Publisher:** Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

**Circulation:** 10 Copies

**Date of Publication:** Spring 2026

This work was registered on **2026-06-20** under number **69483** at the Center for Agricultural Scientific Information and Documentation. All rights reserved. Reproduction of text, images, tables, curves, and charts with proper citation is permitted.

**Ministry of Agriculture-Jahad**  
**Agricultural Research, Education and Extension Organization**  
**Soil Conservation and Watershed Management Research Institute**

**Technical Manuscript:**  
Analysis of precipitation, annual discharge and flooding in Atrak  
basin

**Authors:**  
Bagher Ghermezcheshmeh, Mohammadreza Gharibreza, Kazem Saber Chenari

**Series Number: 69483**

**2026**



Ministry of Agriculture - Jihad  
Agriculture Research, Education and Extension Organization  
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



# Technical Manuscript

**Analysis of precipitation, annual discharge  
and flooding in Atrak basin**

**Authors:**

Bagher Ghermezcheshmeh, Mohammadreza Gharibreza,  
Kazem Saber Chenari

Series Number: 69483

2026