

واژه‌های کلیدی: توزیع گاما، جریان کمینه، خشکسالی  
هیدرولوژیک، مدیریت منابع آب، استان اردبیل

#### مقدمه

بدون شک خشکسالی ازجمله اصلی‌ترین بلایای طبیعی است که از دیرباز زندگی بشر را تحت تاثیر قرار داده است. بر خلاف سیل و بارندگی که می‌توان زمان شروع و پایان آن را تعیین نمود، توصیف زمانی و مکانی خشکسالی دشوار است. خشکسالی هیدرولوژیک را می‌توان به صورت دوره‌ای با مقدار جریان آب رودخانه‌ها و مخازن آب زیرزمینی کم‌تر از حد بحرانی، تعریف کرد [۷]. خشکسالی‌های مستمر، آسیب‌ها و خسارت‌های جبران‌ناپذیری به منابع آبی، کشاورزی و پوشش گیاهی وارد می‌کند و پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی زیادی به دنبال دارد. در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک زیست‌بوم‌ها حساس و شکننده‌اند و در برابر عوامل تخریب به‌سادگی در معرض نابودی و انهدام قرار می‌گیرند. اگر چه وقوع پدیده خشکسالی به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست، اما همیشه و در هر اقلیمی احتمال وقوع آن وجود دارد [۱]. محاسبه جریان حداقل رودخانه و همچنین آگاهی از ویژگی‌های آن در مطالعات هیدرولوژیکی مختلف مانند مدیریت کیفیت آب، تعیین حداقل دبی موردنیاز برای تولید برق، طراحی سیستم‌های آبیاری و ارزیابی تاثیر دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت بر اکوسیستم‌های آبی حائز اهمیت است [۱۵]. تعریف‌های متفاوتی از پدیده خشکسالی براساس روش‌های مطالعاتی و شاخص‌های موجود ارائه شده است [۷] که این تعاریف در واژه‌نامه بین‌المللی هیدرولوژی در سال ۱۹۷۴، به این صورت بیان شده است که، جریان کم به‌عنوان جریانی از آب رودخانه که در دوره خشک آب و هوایی تداوم دارد، تعریف شده است. این تعریف تفاوتی بین جریان‌های کم و خشکسالی قائل نمی‌شود. در صورتی که خشکسالی با جریان کم متفاوت است. جریان‌های کم پدیده‌ای فصلی هستند ولی خشکسالی پدیده‌ای است که در نتیجه کاهش بارندگی یا جریان رودخانه در دوره‌ی طولانی از زمان اتفاق می‌افتد [۵]. از طرفی نیز فیزیوگرافی حوزه آبخیز اثر تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات هیدرولوژیک و رژیم آبی آن دارد. در همین راستا، ارائه مدل‌های تخمین و برآورد دبی‌های مختلف جریان با تعیین ارتباط عوامل فیزیوگرافی با دبی‌های جریان رودخانه امکان‌پذیر است [۷]. شناخت شاخص‌های جریان‌های کمینه، در مطالعات خشکسالی، طراحی سیستم‌های مصرف آب و حفظ شرایط مناسب محیط‌زیستی

برآورد دبی‌های حداقل ماهانه با دوره بازگشت‌های مختلف در رودخانه‌های استان اردبیل

حامد امینی<sup>۱</sup>، اباذر اسمعیلی عوری<sup>۲</sup>، رئوف مصطفی زاده<sup>۳</sup>، معراج شرری<sup>۴</sup>

و محسن ذبیحی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۳

#### چکیده

شناخت و بررسی شاخص‌های فراوانی جریان‌های کمینه با توجه به اثرات زیان‌بار خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجزیه و تحلیل جریان‌های کمینه به‌عنوان روشی در برآورد خشکسالی هیدرولوژیک مطرح می‌باشد. در همین ارتباط، پژوهش فعلی با هدف تحلیل شدت جریان‌های کمینه ۳۳ ایستگاه هیدرومتری واقع در استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است. در همین راستا، از توزیع گامای دوپارامتره استفاده گردید و ارتباط بین جریان‌های کمینه با احتمال وقوع و دوره‌های بازگشت مختلف، رسم و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد. که شدت مقادیر دبی‌های کمینه و شدت خشکسالی با افزایش دوره بازگشت به‌ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. دامنه مقادیر دبی با دوره بازگشت ۲ ساله در ایستگاه‌های مورد مطالعه از ۰/۰۱ تا ۰/۹۵ به‌ترتیب در ایستگاه‌های آتشگاه و بوران متغیر است. مقدار جریان کمینه برآوردی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نیز در ایستگاه‌های بوران و نیر به‌ترتیب کم‌ترین (۰) و بیش‌ترین (۰/۲۱) مقدار را به خود اختصاص داد. با توجه به آسیب‌های متعدد منتج از خشکسالی در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و سیاسی کشور، لحاظ و بررسی پدیده مذکور به‌منظور رسیدن به اهداف توسعه پایدار امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

- ۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
- ۲- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
- ۳- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، نویسنده مسئول  
Email: Raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
- ۴- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
- ۵- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در همین ارتباط، تحلیل فراوانی جریان‌های کمینه به‌عنوان یکی از روش‌های پیش‌بینی خشکسالی مدنظر می‌باشد [۵]. مطالعات متعددی به‌دلیل اهمیت موضوع در داخل و خارج از کشور صورت پذیرفته است که از اهم آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: حبیب‌نژادروشن و همکاران [۷] اشاره کرد ایشان از داده‌های ۱۹ ایستگاه هیدرومتری و ۱۶ پارامتر فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی در شمال شرق خراسان رضوی برای تحلیل جریان‌های کمینه استفاده کرده و مدل‌هایی برای تداوم‌های مختلف روزانه و دوره بازگشت‌های دو تا ۵۰ سال ارائه کردند. بررسی‌ها نشان داد که مدل‌های ارائه شده برای مناطق همگن ضرایب تبیین بالا و خطای استاندارد کم‌تری نسبت به کل منطقه دارد. چوگان و همکاران [۴] به تحلیل فراوانی جریان‌های کمینه در پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک (در حوزه آبریز کارون شمالی در استان چهارمحال و بختیاری) پرداختند. در پژوهش مذکور از ۱۱ ایستگاه هیدرومتری واقع در حوضه کارون شمالی برای برآورد جریان‌های حداقل بهره بردند و توزیع گامای دو پارامتره و ویبول را به‌عنوان بهترین توزیع فراوانی معرفی کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که مقادیر جریان کمینه با افزایش دوره بازگشت کاهش می‌یابد و شدت خشکسالی هیدرولوژیک با افزایش می‌یابد. آذرخشی و همکاران [۲]، از داده‌های ۲۰ ایستگاه آب‌سنجی واقع در حوزه آبخیز کشف‌رود با دوره آماری ۲۵ سال در خراسان رضوی برای تحلیل جریان‌های کمینه استفاده نمودند. ایشان کمینه جریان ایستگاه با تداوم‌های ۷ و ۱۵ روزه را محاسبه و توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳ را به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع برگزیدند. سپس جریان‌های حداقل با دوره بازگشت‌های مختلف را محاسبه و با استفاده از رگرسیون چندمتغیره خطی مدل‌های منطقه‌ای را استخراج کردند. ضمناً مدل‌های ارائه شده برای مناطق همگن در مقایسه با مدل‌های کل منطقه، با توجه به ضریب تبیین بالا و خطای استاندارد کم‌تر دقت بیش‌تری داشتند. ماتالاس [۱۲] با مطالعه جریان‌های کمینه در ۳۴ حوضه کانادا به این نتیجه رسید که توزیع ویبول بهترین نوع برای برازش داده‌های جریان کمینه می‌باشد. زیدمن و همکاران [۱۸]، با مطالعه جریان‌های حداقل ۱، ۷، ۳۰، ۹۰، و ۳۶۵ روزه در ۲۵ حوضه آبخیز واقع در انگلستان به این نتیجه رسیدند که برای جریان‌های حداقل ۶۰ روزه و کم‌تر از آن در حوضه‌های با مقدار ذخیره بالا، توابع توزیع مقدار حدی تعمیم‌یافته (GEV) و توزیع عمومی لجر (GL<sup>2</sup>) تطابق خوبی دارند. درحالی‌که در حوضه‌های با ذخیره پایین توزیع‌های GEV و پیرسون نوع ۳ (PE3<sup>3</sup>) بهترین بودند. پیرسون [۱۴] با آنالیز جریان‌های حداقل در ۵۰۰ ایستگاه هیدرومتری در نیوزیلند توزیع‌های احتمالاتی متفاوت دو و یا سه پارامتره برای جریان‌های حداقل را به‌کار برد. شی و همکاران [۱۶]، با بررسی ۱۲ ایستگاه هیدرومتری در جنوب چین، توزیع احتمالاتی لجستیک تعمیم یافته را به‌عنوان توزیع فراوانی دبی حداقل هفت روزه معرفی کرد. چارون و اواردا [۳]، در

1. Generalized Extreme Value
2. General Ledger
3. Pearson Type III

پژوهشی در ۱۹۰ ایستگاه هیدرومتری در ایالت کبک کانادا به تحلیل جریان‌های حداقل پرداختند. آن‌ها مدل‌های خطی و غیرخطی را به‌صورت جداگانه استفاده کردند که نتایج نشان‌دهنده برتری عملکرد مدل غیرخطی است. بهره‌برداری صحیح از آب و جلوگیری از اتلاف آن با توجه به وقوع خشکسالی‌های متعدد و کمبود شدید منابع آبی در اقصی نقاط کشور، از جمله مسائل مهم و اساسی مطرح در کشور به‌شمار می‌رود. حصول اطمینان از شرایط خشکسالی و جریان‌های کم برای اهداف برنامه‌ریزی منابع آب، توجیه اقتصادی پروژه‌های آبی که در مسیر رودخانه‌ها احداث می‌شود، حمایت از زندگی جانوران و گیاهان، تولید انرژی برق آبی، حفظ محیط زیست، مدیریت کیفی آب، مدیریت آب‌های زیرزمینی، آب‌رسانی شهری و غیره ضروری است. خشکسالی‌ها مشکلات زیادی را در زمینه‌های اقتصادی و اجتماعی به‌وجود می‌آورد که مهم‌ترین اثر آن در بخش کشاورزی کاهش تولید محصولات زراعی است [۶]. مسأله محدودیت منابع آب از یک طرف و کمبود ریزش‌های جوی با توزیع نامناسب مکانی و زمانی موجب بحران شدید آبی در ایران شده است که نیازمند توجه جدی و ضروری به این مقوله مهم می‌باشد. از میان روش‌های برآورد جریان‌های کمینه در مناطق فاقد آمار کافی، تحلیل منطقه‌ای این نوع از جریان‌ها یکی از مهم‌ترین روش‌های مطالعه خشکسالی می‌باشد و برای این منظور استفاده از توزیع‌های آماری که مبتنی بر داده‌های کمی بدست آمده از ایستگاه‌های هیدرومتری است، از قابلیت بالایی برخوردار است. بررسی پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد که پدیده‌های مختلف هیدرولوژیک از توزیع‌های متفاوتی پیروی می‌کنند و تاکنون در طراحی پروژه‌های مرتبط با مدیریت منابع آب توزیع واحدی مد نظر نبوده است [۱۱]. مشکل کم‌آبی و نیز بهره‌برداری بیش‌از حد جریان رودخانه‌ای به یک مشکل و مسأله حیاتی در کشور از جمله در رودخانه‌های استان اردبیل تبدیل شده است که این امر خشکی جریان در فصول کم‌آب را سبب شده است. چوگان و همکاران [۴] و هم‌چنین اسلامیان و همکاران [۵] به مطالعه ارتباط بین جریان‌های حداقل با احتمال وقوع و دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته‌اند، در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف تحلیل شدت کم‌ترین جریان (خشکسالی هیدرولوژیک) و هم‌چنین ارتباط جریان‌های کمینه با احتمال وقوع و دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه‌های مختلف دارای آمار دبی جریان رودخانه‌های استان اردبیل برنامه‌ریزی شده است.

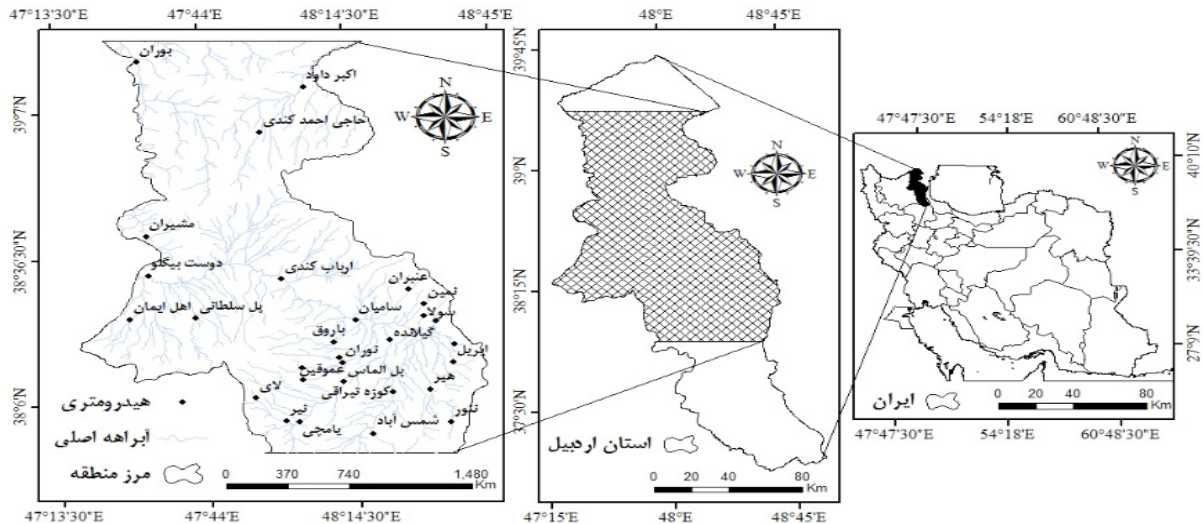
## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل به‌عنوان یکی از استان‌های مرزی کشور در شمال‌غربی ایران بین مختصات  $37^{\circ}$  و  $45^{\circ}$  تا  $39^{\circ}$  و  $42^{\circ}$  عرض شمالی و  $47^{\circ}$  و  $30^{\circ}$  تا  $48^{\circ}$  طول شرقی واقع شده است. استان اردبیل جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی در استان اردبیل به طور متوسط بین

۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی متر در سال می باشد که در بخش های مختلف استان نوسان دارد [۱۰]. باید اشاره شود که ایستگاه های مورد مطالعه استان شامل سه حوضه اصلی ارس، بال هارود و قزل اوزن را شامل می شود که می توان گفت معادل حدود ۹۰ درصد مساحت استان اردبیل را شامل می شود. هم چنین مبنای انتخاب ایستگاه ها در تحقیق حاضر، پراکنش مناسب براساس استفاده حداکثری از آمار دبی ثبت شده

بوده است. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه های هیدرومتری منتخب در استان اردبیل نشان داده شده است. آمار دبی ۳۳ ایستگاه هیدرومتری در آبخیزهای استان اردبیل به منظور دستیابی به اهداف در پژوهش فعلی استفاده شده است که برخی از خصوصیات آن ها در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت کشوری و استانی ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه در منطقه مطالعاتی

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه در ارزیابی جریان کمینه در رودخانه های استان اردبیل

| ردیف | محدوده مطالعاتی | نام رودخانه   | نام ایستگاه   | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | مساحت حوضه (کیلومترمربع) |
|------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|
| ۱    | اردبیل          | بالخوچای      | پل الماس      | ۴۸-۱۱-۱۹      | ۴۸-۰۸-۱۶      | ۱۰۷۰                     |
| ۲    |                 | قره سو        | سامیان        | ۴۸-۱۴-۴۸      | ۳۸-۲۲-۵۳      | ۴۰۰۴                     |
| ۳    |                 | نوران چای     | آتشگاه        | ۴۸-۰۳-۲۳      | ۳۸-۱۳-۰۵      | ۴۴                       |
| ۴    |                 | بالخوچای      | یامچی         | ۴۸-۰۲-۱۱      | ۳۸-۰۲-۰۵      | ۷۱۰                      |
| ۵    |                 | نیر چای       | نیر           | ۴۷-۵۹-۳۸      | ۳۸-۰۲-۰۲      | ۲۵۶                      |
| ۶    |                 | قره سو        | آلادیزگه      | ۴۸-۳۵-۲۲      | ۳۸-۱۷-۰۰      | ۲۲                       |
| ۷    |                 | نوران چای     | نوران         | ۴۸-۱۱-۳۷      | ۳۸-۱۳-۵۹      | ۱۲۶                      |
| ۸    |                 | نمین چای      | نمین          | ۴۸-۲۹-۰۶      | ۳۸-۲۵-۴۵      | ۴۴                       |
| ۹    |                 | قورچچای       | کوزه تیراقی   | ۴۸-۲۲-۰۱      | ۳۸-۰۷-۲۸      | ۵/۸۱۲                    |
| ۱۰   |                 | بالخوچای      | گیلانده       | ۴۸-۲۱-۴۳      | ۳۸-۱۸-۲۶      | ۱۶۳۸                     |
| ۱۱   |                 | هیرچای        | هیر           | ۴۸-۳۰-۲۸      | ۳۸-۰۴-۵۵      | ۱۷۸                      |
| ۱۲   |                 | لای چای       | لای           | ۴۷-۵۴-۰۳      | ۳۸-۰۷-۰۰      | ۳۶                       |
| ۱۳   |                 | ویلادرق چای   | ویلادرق       | ۴۸-۰۳-۱۹      | ۳۸-۱۰-۳۸      | ۹۴                       |
| ۱۴   |                 | شهریورچای     | باروق         | ۴۸-۱۰-۰۶      | ۳۸-۱۸-۱۷      | ۹۶                       |
| ۱۵   |                 | سفزچی چای     | ایربیل        | ۴۸-۳۴-۳۰      | ۳۸-۱۳-۲۳      | ۸                        |
| ۱۶   |                 | نرگس چای      | ننه کران      | ۴۸-۳۱-۳۲      | ۳۸-۲۲-۱۷      | ۴۰                       |
| ۱۷   |                 | سولاچای       | سولا          | ۴۸-۲۹-۰۴      | ۳۸-۲۳-۱۴      | ۴۴                       |
| ۱۸   |                 | خروجی سد      | نئور          | ۴۸-۳۳-۴۳      | ۳۸-۰۰-۵۳      | ۴۴                       |
| ۱۹   |                 | یدی بولیک چای | عموقین        | ۴۸-۱۰-۴۰      | ۳۸-۱۵-۰۷      | ۱۱۰                      |
| ۲۰   |                 | آغ چای        | شمس آباد      | ۴۸-۱۵-۱۴      | ۳۷-۵۹-۵۳      | ۱۲۸                      |
| ۲۱   |                 | عنبران چای    | عنبران        | ۴۸-۲۹-۰۶      | ۳۸-۲۹-۴۰      | ۳۶                       |
| ۲۲   | مشکین شهر       | قره سو        | دوست بیگلو    | ۴۷-۳۲-۱۸      | ۳۸-۳۳-۰۲      | ۷۳۱۱                     |
| ۲۳   |                 | قره سو        | ارباب کندی    | ۴۸-۰۱-۵۸      | ۳۸-۲۹-۴۱      | ۴۸۰۰                     |
| ۲۴   |                 | خیابوچای      | پل سلطانی     | ۴۷-۴۱-۳۹      | ۳۸-۲۳-۵۶      | ۹۸                       |
| ۲۵   |                 | هندالوچای     | اهل ایمان     | ۴۷-۲۸-۰۵      | ۳۸-۲۴-۰۲      | -                        |
| ۲۶   |                 | برزندچای      | حاجی احمدکندی | ۴۷-۵۶-۱۷      | ۳۹-۰۲-۱۰      | ۱۵۷                      |
| ۳۷   | مغان            | ساریقمیش      | اکبرداود      | ۴۸-۰۵-۳۱      | ۳۹-۱۱-۴۵      | ۷۱۰                      |
| ۲۸   |                 | دره رود       | بوران         | ۴۷-۳۱-۸       | ۳۹-۱۷-۴۱      | ۱۳۶۷۰                    |
| ۲۹   |                 | دره رود       | مشیران        | ۴۷-۳۲-۰۱      | ۳۸-۴۱-۱۰      | ۱۱۲۶۷                    |
| ۳۰   |                 | شاهرود        | درود          | ۴۸-۴۱-۴۸      | ۳۷-۲۴-۳۸      | ۱۵۸                      |
| ۳۱   |                 | هریوچای       | آبگرم         | ۴۸-۲۴-۲۵      | ۳۷-۴۱-۴۵      | ۵۹۰                      |
| ۳۲   |                 | بفراجرد چای   | بفراجرد       | ۴۸-۳۴-۳۷      | ۳۷-۳۲-۱۵      | ۳۶                       |
| ۳۳   |                 | فیروزآبادچای  | فیروزآباد     | ۴۸-۱۳-۳۵      | ۳۷-۳۵-۰۸      | ۱۵۱۵                     |

$$R = \ln\left[\frac{\bar{X}}{G_m}\right] \quad (3)$$

که در آن،  $\bar{X}$  میانگین داده‌های دبی کمینه و  $G_m$  نیز میانگین هندسی این داده‌ها می‌باشد. این در حالی است که اگر پارامتر  $R$  در محدوده  $0 \leq R \leq 0.5772$  باشد، در مرحله بعد، پارامتر  $\gamma$  با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد. در غیر این صورت اگر پارامتر  $R$ ، در محدوده  $0.5772 < R \leq 17$  باشد از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$\gamma = R^{-1}(0.5000876 + 0.1648852R - 0.0544274R^2) \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{8.898919 + 9.059950R + 0.9775373R^2}{R(17.79728 + 11968477R + R^2)} \quad (5)$$

در صورتی که  $R > 17$  باشد، برای حل آن شاید از توزیع لوگ نرمال استفاده گردد. انحراف معیار و چولگی ( $G$ ) را می‌توان از طریق  $\gamma$  و میانگین به دست آورد که فرمول‌های محاسباتی آن‌ها به ترتیب در رابطه‌های (۶) و (۷) ارائه شده است.

$$S = \frac{\bar{x}}{\sqrt{\gamma}} \quad (6)$$

$$G = \frac{2}{\sqrt{\gamma}} \quad (7)$$

پس از محاسبه مقدار چولگی ( $G$ )، با توجه به مقادیر آن و استفاده از جدول (۲) می‌توان در احتمالات مختلف انحراف معیار آن‌ها را نیز به دست آورد و سپس با توجه به رابطه (۸)، مقادیر متغیر تصادفی در احتمالات مختلف ( $Q$ ) را محاسبه کرد.

$$Q = \bar{X} + KS \quad (8)$$

که در آن  $Q$  مقدار متغیر تصادفی در احتمالات منتخب،  $K$  یا  $K_p$  انحراف معیار طراحی شده برای توزیع نرمال یا پیرسون و  $S$  نیز همان انحراف معیار ساده یا واحد می‌باشد [۱۳].

شایان یادآوری است که مقادیر  $G$  تا بازه عددی  $G=9$  ادامه دارد. لکن به دلیل تعدد جداول و محدودیت صفحات از ارائه همه آن‌ها خودداری شده است. در همین راستا به منظور مشاهده جزئیات بیشتر می‌توان به منبع [۱۳] رجوع نمود. پس از اجرا و انجام کلیه روابط فوق در محیط نرم افزار Excel، نمودار فراوانی تجمعی جریان‌های کمینه مربوط به هر ایستگاه ترسیم و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در ادامه به منظور مقایسه دامنه تغییرات مقادیر جریان‌های کمینه در ایستگاه‌های مطالعاتی از نمودارهای جعبه‌ای و موجود در محیط نرم افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

با توجه به افزایش دقت نتایج تحلیل فراوانی در صورت وجود دوره آماری طولانی سعی شد تا از حداکثر دوره آماری موجود و قابل استفاده در هر ایستگاه بهره برده شود. جدول (۳) نتایج مربوط به فراوانی رخداد در دوره‌های بازگشت مختلف را نشان می‌دهد.

به منظور انجام پژوهش حاضر از آمار دبی ۳۳ ایستگاه هیدرومتری با حداکثر دوره آماری موجود هر ایستگاه (۱۳۹۲-۱۳۵۳) استفاده شده است. شایان ذکر است که دبی‌های حداقل ماهانه مورد استفاده در تحقیق حاضر از طریق بررسی دبی‌های روزانه طی سال‌های مورد نظر، و همچنین انتخاب متوسط دبی سی روز از سال که کم‌ترین می‌باشد به دست آمده است، همچنین برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه به علت وجود نواقص متعدد آماری داده‌های آن از ادامه بررسی کنار گذاشته شدند. کلیه آزمون‌های آماری مرتبط به منظور بررسی صحت و درستی داده‌ها صورت پذیرفت. در مرحله بعد جریان کمینه یا کم‌ترین دبی جریان برای هر سال آماری و در هر رودخانه با استفاده از نرم افزار Excel استخراج شد. سپس احتمال وقوع هر یک از دبی‌های جریان پس از مرتب‌سازی داده‌های استخراج شده به صورت صعودی و با استفاده از رابطه ویبول (به صورت درصد) محاسبه شد [۱۳].

$$PP = \frac{100(M)}{N+1} \quad (1)$$

که در آن  $M$ ، شماره موقعیت قرارگیری داده و  $N$  نیز تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

در گام بعدی، مقادیر متغیر تصادفی در احتمالات انتخاب شده ( $Q$ ) با استفاده از روش توسعه یافته منحنی‌های گامای دو پارامتره و از طریق روابط زیر محاسبه شد. در مورد انتخاب توزیع آماری باید ذکر شود که ابتدا داده‌های مورد استفاده با نرم افزار Easy fit مورد آزمون قرار گرفته است و بر اساس معیارهای نکوئی برازش توزیع مذکور در اکثر ایستگاه‌ها مناسب بوده و مبنای انتخاب بوده است. قابل ذکر است که روش مطالعاتی پژوهش حاضر مشابه با مطالعه چوگان و همکاران [۴] و خدیری تاژان و وفاخواه [۹] و همچنین جوشی و هیالیر [۸]، در تأیید استفاده از توزیع گامای دو پارامتره می‌باشد.

## روابط تجربی توزیع گامای دو پارامتره

توزیع گاما یک توزیع نامتقارن با متغیرهای تصادفی پیوسته بوده که متناسب با داده‌های دبی، دارای مراحل و تداوم حجمی کم و زیاد می‌باشد. تابع چگالی احتمالی آن دارای حد پایین‌تر از صفر و یک حد بالایی تعریف شده از بی نهایت ( $\infty$ ) است، برای برازش توزیع مذکور دو پارامتر  $\beta$  (مقیاس توزیع) و  $\gamma$  (شکل توزیع) مورد نیاز است که در آن باید میانگین و  $\gamma$  محاسبه و تبدیل به پارامترهای انحراف معیار ( $S$ ) و چولگی گردد. گرین وود و دوراند در سال ۱۹۶۰، یک روشی را برای محاسبه تقریبی  $\gamma$  که یک تابع ارتباطی ( $R$ ) بین میانگین حسابی و میانگین هندسی ( $G_m$ ) ارائه نمودند که فرمول‌های محاسباتی مورد نیاز برای تابع گامای دو پارامتره به ترتیب به شرح زیر است [۱۳].

$$G_m = [X_1(X_2)(X_3) \dots (X_N)]^{\frac{1}{N}} \quad (2)$$

که در آن  $G_m$  میانگین هندسی،  $X$  داده‌ها یا همان مقادیر دبی کمینه و  $N$  نیز تعداد کل داده‌ها می‌باشد. سپس تابع ارتباطی با



جدول ۲: مقادیر نقاط درصدی توزیع پیرسون نوع III

| P        | G1=0.0   | G1=0.1   | G1=0.2   | G1=0.3   | G1=0.4   | G1=0.5   | G1=0.6   | Q      | T      |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| 0.000100 | -3.71902 | -3.50703 | -3.29921 | -3.09631 | -2.89907 | -2.70836 | -2.52507 | 0.9999 | 1.0001 |
| 0.000500 | -3.29053 | -3.12767 | -2.96698 | -2.80889 | -2.65390 | -2.50257 | -2.35549 | 0.9995 | 1.0005 |
| 0.001000 | -3.09023 | -2.94834 | -2.80786 | -2.66915 | -2.53261 | -2.39867 | -2.26780 | 0.9990 | 1.0010 |
| 0.002000 | -2.87816 | -2.75706 | -2.63672 | -2.51741 | -2.39942 | -2.28311 | -2.16884 | 0.9980 | 1.0020 |
| 0.005000 | -2.57583 | -2.48187 | -2.38795 | -2.29423 | -2.20092 | -2.10825 | -2.01644 | 0.9950 | 1.0050 |
| 0.010000 | -2.32635 | -2.25258 | -2.17840 | -2.10394 | -2.02933 | -1.95472 | -1.88029 | 0.9900 | 1.0101 |
| 0.020000 | -2.05375 | -1.99973 | -1.94499 | -1.88959 | -1.83361 | -1.77716 | -1.72033 | 0.9800 | 1.0204 |
| 0.025000 | -1.95996 | -1.91219 | -1.86360 | -1.81427 | -1.76427 | -1.71366 | -1.66253 | 0.9750 | 1.0256 |
| 0.040000 | -1.75069 | -1.71580 | -1.67999 | -1.64329 | -1.60574 | -1.56740 | -1.52830 | 0.9600 | 1.0417 |
| 0.050000 | -1.64485 | -1.61594 | -1.58607 | -1.55527 | -1.52357 | -1.49101 | -1.45762 | 0.9500 | 1.0526 |
| 0.100000 | -1.28155 | -1.27037 | -1.25824 | -1.24516 | -1.23114 | -1.21618 | -1.20028 | 0.9000 | 1.1111 |
| 0.200000 | -0.84162 | -0.84611 | -0.84986 | -0.85285 | -0.85508 | -0.85653 | -0.85718 | 0.8000 | 1.2500 |
| 0.300000 | -0.52440 | -0.53624 | -0.54757 | -0.55839 | -0.56867 | -0.57840 | -0.58757 | 0.7000 | 1.4286 |
| 0.400000 | -0.25335 | -0.26882 | -0.28403 | -0.29897 | -0.31362 | -0.32796 | -0.34198 | 0.6000 | 1.6667 |
| 0.429624 | -0.17733 | -0.19339 | -0.20925 | -0.22492 | -0.24037 | -0.25558 | -0.27047 | 0.5704 | 1.7532 |
| 0.500000 | 0.00000  | -0.01662 | -0.03325 | -0.04993 | -0.06651 | -0.08302 | -0.09945 | 0.5000 | 2.0000 |
| 0.570376 | 0.17733  | 0.16111  | 0.14472  | 0.12820  | 0.11154  | 0.09478  | 0.07791  | 0.4296 | 2.3276 |
| 0.600000 | 0.25335  | 0.23763  | 0.22168  | 0.20552  | 0.18916  | 0.17261  | 0.15589  | 0.4000 | 2.5000 |
| 0.700000 | 0.52440  | 0.51207  | 0.49927  | 0.48600  | 0.47228  | 0.45812  | 0.44352  | 0.3000 | 3.3333 |
| 0.800000 | 0.84162  | 0.83639  | 0.83044  | 0.82377  | 0.81638  | 0.80829  | 0.79950  | 0.2000 | 5.0000 |
| 0.900000 | 1.28155  | 1.29178  | 1.30105  | 1.30936  | 1.31671  | 1.32309  | 1.32850  | 0.1000 | 10.000 |
| 0.950000 | 1.64485  | 1.67279  | 1.69971  | 1.72562  | 1.75048  | 1.77428  | 1.79701  | 0.0500 | 20.000 |
| 0.960000 | 1.75069  | 1.78462  | 1.81756  | 1.84949  | 1.88039  | 1.91022  | 1.93896  | 0.0400 | 25.000 |
| 0.975000 | 1.95996  | 2.00688  | 2.05290  | 2.09795  | 2.14202  | 2.18505  | 2.22702  | 0.0250 | 40.000 |
| 0.980000 | 2.05375  | 2.10697  | 2.15935  | 2.21081  | 2.26133  | 2.31084  | 2.35931  | 0.0200 | 50.000 |
| 0.990000 | 2.32635  | 2.39961  | 2.47226  | 2.54421  | 2.61539  | 2.68572  | 2.75514  | 0.0100 | 100.00 |
| 0.995000 | 2.57583  | 2.66965  | 2.76321  | 2.85636  | 2.94900  | 3.04102  | 3.13232  | 0.0050 | 200.00 |
| 0.998000 | 2.87816  | 2.99978  | 3.12169  | 3.24371  | 3.36566  | 3.48737  | 3.60872  | 0.0020 | 500.00 |
| 0.999000 | 3.09023  | 3.23322  | 3.37703  | 3.52139  | 3.66608  | 3.81090  | 3.95567  | 0.0010 | 1000.0 |
| 0.999500 | 3.29053  | 3.45513  | 3.62113  | 3.78820  | 3.95605  | 4.12443  | 4.29311  | 0.0005 | 2000.0 |
| 0.999900 | 3.71902  | 3.93453  | 4.15301  | 4.37394  | 4.59687  | 4.82141  | 5.04718  | 0.0001 | 10000. |

جدول ۳: مقادیر دبی جریان کمینه با احتمال وقوع‌های مختلف در ایستگاه‌های مطالعاتی استان اردبیل

| ایستگاه/P٪    | ۹۹/۹ | ۹۹/۸ | ۹۹/۵ | ۹۹  | ۹۸  | ۹۶  | ۹۰  | ۸۰  | ۷۰  | ۶۰  | ۵۰  | ۴۰  | ۳۰  | ۲۰  | ۱۰  | ۴   | ۲   | ۱   | ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۱ |
|---------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| نیر           | ۱/۰  | ۱/۰  | ۰/۹  | ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ |
| آبگرم         | ۱/۰  | ۰/۹  | ۰/۷  | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| آتشگاه        | ۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ارباب‌کنندی   | ۱/۰  | ۰/۹  | ۰/۸  | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| اکبر داود     | ۰/۵  | ۰/۴  | ۰/۳  | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| آلادیزگه      | ۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰  | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| اهل ایمان     | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ایربیل        | ۰/۴  | ۰/۴  | ۰/۳  | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| باروق         | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| بفرآجرده      | ۰/۲  | ۰/۲  | ۰/۱  | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| بوران         | ۱۳/۳ | ۱۲/۰ | ۱۰/۲ | ۸/۹ | ۷/۵ | ۶/۲ | ۴/۴ | ۲/۹ | ۲/۱ | ۱/۵ | ۱/۰ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| پل الماس      | ۲/۶  | ۲/۴  | ۲/۱  | ۱/۹ | ۱/۷ | ۱/۴ | ۱/۱ | ۰/۹ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| پل سلطانی     | ۰/۸  | ۰/۸  | ۰/۶  | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| حاج‌احمدکنندی | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| درو           | ۰/۳  | ۰/۳  | ۰/۲  | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| دوست‌بیگللو   | ۳/۶  | ۳/۳  | ۲/۸  | ۲/۴ | ۲/۱ | ۱/۷ | ۱/۲ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| سامیان        | ۳/۱  | ۲/۸  | ۲/۳  | ۲/۰ | ۱/۶ | ۱/۳ | ۰/۹ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| سد نور        | ۰/۹  | ۰/۸  | ۰/۷  | ۰/۶ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| سولا          | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱  | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| شمس آباد      | ۰/۳  | ۰/۳  | ۰/۲  | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |

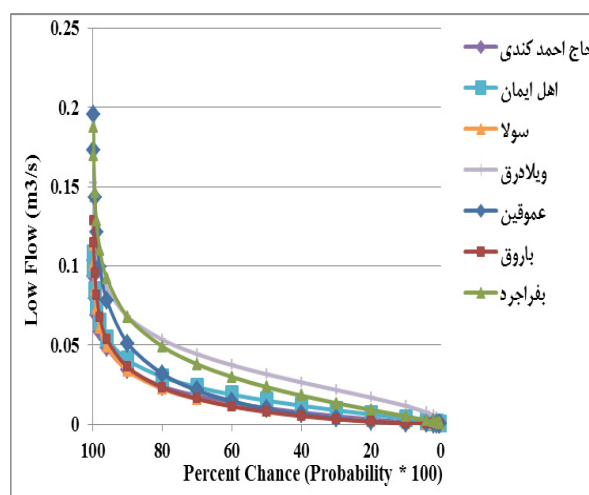
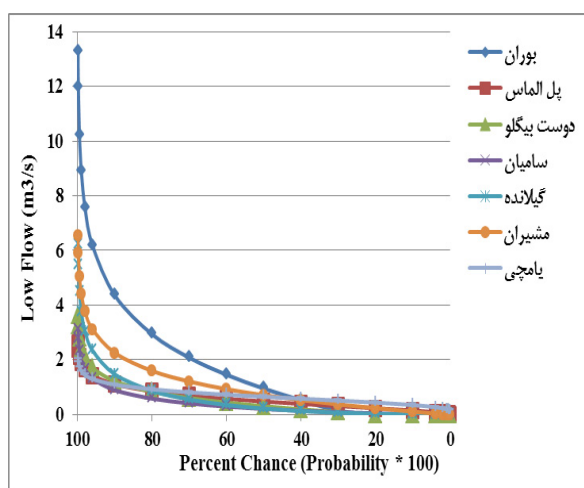
ادامه جدول ۳: مقادیر دبی جریان کمینه با احتمال وقوع‌های مختلف در ایستگاه‌های مطالعاتی استان اردبیل

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | عموقین      |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۱/۰ | ۱/۱ | فیروزآباد   |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۱/۳ | کوزه تیراقي |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۹ | ۱/۵ | ۲/۳ | ۳/۰ | ۳/۸ | ۴/۵ | ۵/۵ | ۶/۲ | گیلانده     |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | لاى         |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۱/۶ | ۲/۳ | ۳/۱ | ۳/۸ | ۴/۴ | ۵/۱ | ۵/۹ | ۶/۶ | مشیران      |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | نمین        |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ننه کران    |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | نوران       |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ویلادرق     |
| ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۴ | هیر         |
| ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۱/۱ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۶ | ۱/۷ | ۱/۹ | ۲/۰ | نامچی       |

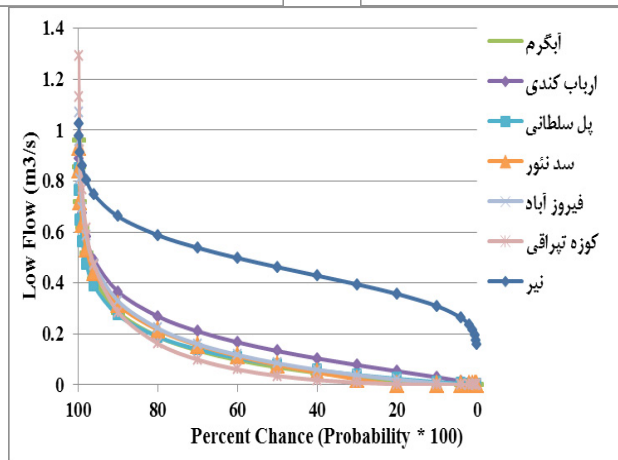
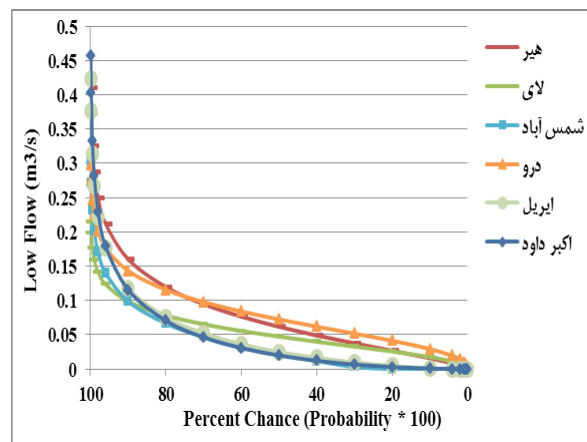
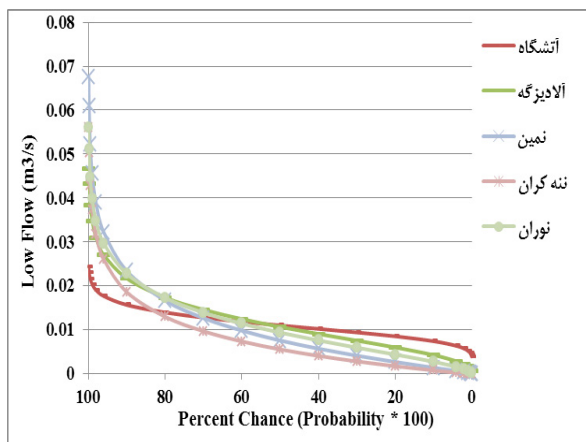
به ایستگاه آتشگاه و بیش‌ترین مقدار جریان کمینه در همین احتمال وقوع مربوط به ایستگاه بوران می‌باش. در شکل (۲)، نتایج نمودار تجمعی دبی کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. جهت نمایش بهتر نتایج، ایستگاه‌هایی که در یک محدوده جریان کمینه بوده‌اند به صورت جداگانه ارائه شده است.

با توجه به تحلیل نتایج نشان داده شده در شکل (۲) و جدول (۳)، می‌توان گفت که با افزایش دوره بازگشت، مقادیر جریان‌های حداقل کم‌تر شده و شدت خشکسالی هیدرولوژیک نیز افزایش می‌یابد. به بیان دیگر با کاهش احتمال وقوع، شدیدترین جریانات کمینه با کم‌ترین مقادیر خود روبه‌رو هستند. نتایج به‌دست آمده با نتایج چوگان و همکاران [۴] و اسلامیان و همکاران [۶] در خصوص افزایش شدت خشکسالی هیدرولوژیک و کاهش مقادیر دبی‌های

با توجه به اطلاعات و نتایج موجود در جدول (۳)، می‌توان اذعان داشت که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه با افزایش احتمال وقوع جریان‌ها، دبی‌های کمینه نیز طی دوره آماری در هر ایستگاه دارای مقادیر بیش‌تری خواهند بود. به‌عبارتی با افزایش دوره بازگشت، مقدار جریان‌های کمینه نیز کاهش پیدا می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر، دامنه تغییرات دبی‌های کمینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه از ۰ تا ۱۳/۳ می‌باشد. تنها ایستگاه‌هایی که دارای مقادیر دبی کمینه بالاتر از صفر در تمام دوره بازگشت‌ها می‌باشد، ایستگاه یامچی و نیر هست و این بیان‌گر این است که این ایستگاه‌ها دارای مقادیر دبی کمینه (دبی پایه) همیشگی بوده، هرچند که این مقادیر کم باشد. کم‌ترین مقدار جریان کمینه در احتمال وقوع ۹۹/۹ درصد (با دوره بازگشت تقریباً ۱ ساله) مربوط



شکل ۲: مقادیر جریان کمينه با احتمال وقوع‌های مختلف در استگاه‌های مورد مطالعه

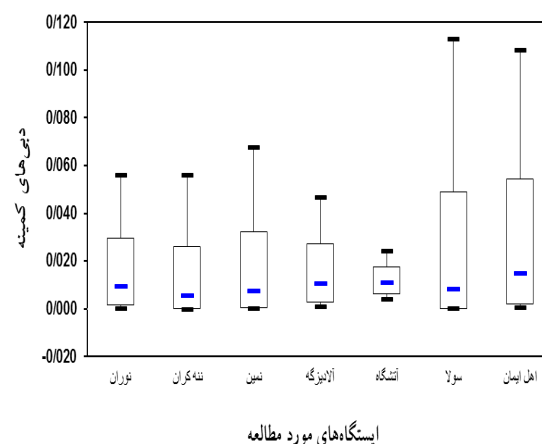
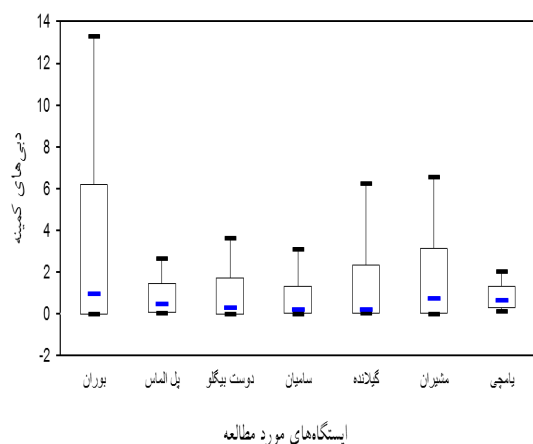


ادامه شکل ۲: مقادیر جریان کمینه با احتمال وقوع های مختلف در ایستگاه های مورد مطالعه

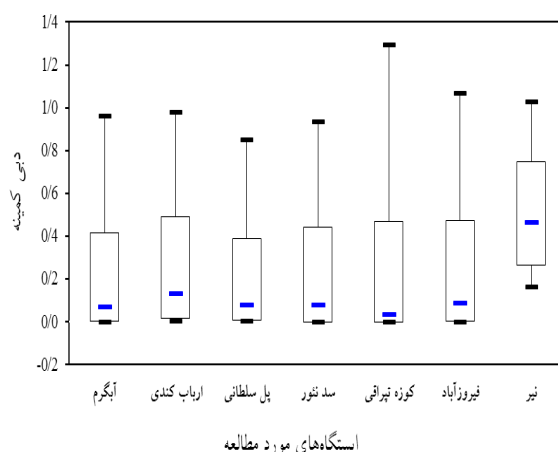
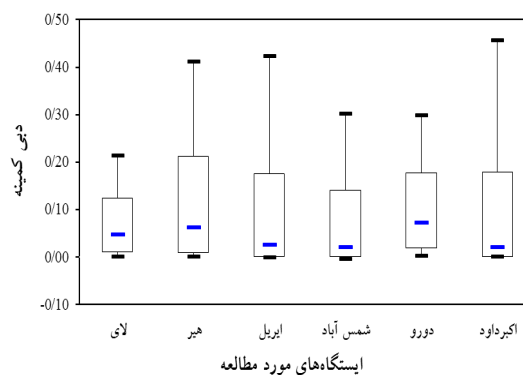
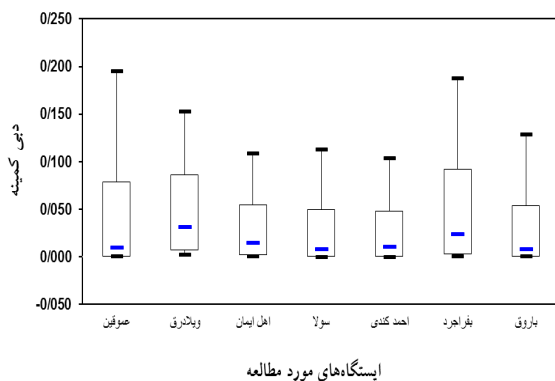
چارک اول، چارک دوم یا میانه، چارک سوم و حداکثر را نشان می دهد. طول این نمودار را که اختلاف بین چارک های اول و سوم است، فاصله چارکی می نامند [۱۷]. در شکل (۳) نتایج پراکندگی داده ها با استفاده از نمودارهای جعبه در نرم افزار Excel، نشان داده شده است.

کمینه با افزایش دوره بازگشت مطابقت دارد. با توجه به مطالب بیان شده در بخش مواد و روش ها، در این مطالعه برای بیان پراکندگی داده ها و نمایش هرچه بهتر این پراکندگی از سری نمودارهای جعبه ای یا ویسکرز استفاده شد.

نمودار جعبه ای مقادیر داده ها را به ۴ قسمت مساوی (با توجه به میانه داده ها) تقسیم می کند. این نمودار شامل پنج آماره ی حداقل،



شکل ۳: مقایسه پراکندگی دبی های کمینه با استفاده از نمودارهای جعبه ای



ادامه شکل ۳: مقایسه پراکندگی دبی‌های کمینه با استفاده از نمودارهای جعبه‌ای

و شدت خشکسالی هیدرولوژیک با احتمال وقوع‌های مختلف در دوره‌های بازگشت‌های متفاوت بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه با کاهش احتمال وقوع و به طبع آن افزایش دوره بازگشت، مقادیر دبی‌های کمینه کم‌تر شده و شدت خشکسالی هیدرولوژیک افزایش می‌یابد و هم‌چنین شدت خشکسالی هیدرولوژیک به‌ترتیب در ایستگاه‌های بوران، مشیران، گیلانده و دوست بیگلو بیش‌تر از سایر ایستگاه‌های هیدرومتری بوده و به‌ترتیب در ایستگاه‌های آتشگاه، آلاذیزگه، ننه‌کران، نمین، نوران و باروق شدت خشکسالی در طول دوره مطالعاتی کم‌تر بوده است و در ادامه نمودارهای جعبه‌ای رسم شده نیز نتایج بالا را تصدیق کرده و نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقادیر دبی کمینه در ایستگاه بوران و کم‌ترین مقادیر در ایستگاه آتشگاه رخ داده است. به‌طور می‌توان نتیجه گرفت که پراکندگی یا تمرکز غالب داده‌ها در دبی‌های کمینه بالاتر از میانه می‌باشد. از آنجایی که وقوع خشکسالی صدمات زیادی را به بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و سیاسی کشور وارد می‌کنند، توجه به این پدیده به‌منظور رسیدن به اهداف توسعه پایدار امری ضروری است.

#### منابع

- 1- Akbari, M., Soleymani, K., Mahdavi, M and

به‌دلیل محدودیت صفحات از ارائه جداگانه همه نمودارها خودداری شده است. نمودارهای فوق به‌صورتی که در نمودارهای تجمعی مربوطه به‌دلیل نمایش بهتر، از طریق یکسان بودن محدوده جریان‌های کمینه دسته‌بندی شدند. به‌طور کلی با توجه به شکل (۳)، در محور افقی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در محور عمودی مقادیر دبی کمینه واقع شده است، که در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر حداقل داده‌های دبی کمینه، عدد صفر می‌باشد و بیش‌ترین دبی کمینه مربوط به ایستگاه بوران با مقدار عددی ۱۳/۳ می‌باشد. هم‌چنین می‌توان گفت که بیش‌ترین تمرکز داده‌ها در چارک سوم یعنی بالاتر از میانه می‌باشد و این بدین معنی است که اکثر داده‌های کمینه ما مقادیری بالاتر از میانه دارند و این‌که در ایستگاه آتشگاه مقدار حداقل و میانه آن یکسان بوده و همه داده‌ها بالاتر از میانه تجمع داشته‌اند و مقدار حداکثر موثر و حداکثر واقعی این ایستگاه یکسان می‌باشد و باید این نکته را نیز متذکر شد که با توجه به شکل (۳)، در اکثر ایستگاه‌ها، حداقل واقعی با حداقل موثرشان برابر است.

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت جریان‌های کم در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل از داده‌های کم رودخانه‌ای استفاده شد و با استفاده از توزیع گامای دو پارامتره تغییرات مقادیر دبی‌های کمینه



- 9- Khedri taghan, B., Vafakhah, M. 2004. Selection of the most suitable statistical distribution function for estimating hydrological drought in Golestan province, First National Conference on watershed management and soil and water resources management, Shahid Bahonar University of Kerman, 304 pp. (In Persian)
- 10- Khoruoshi, S., Mostafazadeh, R., Esmali, A., Raoof, M. 2013. Assessment of temporal and spatial variations of the hydrological healthy index of the river in the watersheds of Ardabil province, *Ecohydrology*, 4(2): 393-379 (In Persian)
- 11- Kite, G.D. 1990. Frequency analysis and risk events in hydrology, Translation of Bozorgnia and et.al, Astan Gods Razavi, 300pp (In Persian)
- 12- Matalas, N.C. 1963. Probability distribution of flows. USGS professional papers, 434 pp.
- 13- Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2012. Hydrology, National Engineering Handbook, Chapter 18, Selected Statistical Methods. Natural Resources Conservation Service U.S.D.A., Washington, D.C. 93p
- 14- Pearson C.P. 1993. Application of L-Moments to maximum river flows. *The New Zealand Statistician*. 28: 2-10.
- 15- Sarhadi, A., Soltani, S and Modares, R. 2008. Regional frequency analysis of low flow in jiroft region using linear torque method, *Iranian Water Research*, 2(3): 45-54 (In Persian)
- 16- Shi P, Chen X, Qu S, Zhang Z. & Ma J. 2010. Regional frequency analysis of low flow based on L Moments: Case Study in karst area, southwest china. *Journal of Hydrologic Engineering*. 15 (5): 370-377.
- 17- Tukey J. 1977. Exploratory data analysis, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 506pp.
- 18- Zaidman, M., V.R. Keller, A. Young and D. Cadman. 2003. Flow-duration-frequency behavior of British rivers based on annual minima data. *Journal of Hydrology*, 277: 195-213.
- Habibnejhad Roshan, M. 2010. Analysis of Frequency of low flow with different duration in arid and semi-arid of Lorestan Province, Iran, *Water Resources Engineering*, 3(6): 17-26 (In Persian)
- 2- Azarakhshi, M., Saadatpoor, S.J., Eslami, A.R. 2016. The Relationship between physical characteristics of watersheds basin and low flow with Different Returns (case study: watershed area of kashf river), *Ecohydrology*, 3(2): 267-277 (In Persian)
- 3- Charron C. and Ouarda T.B.M.J. 2015. Regional low-flow frequency analysis with a recession parameter from a non-linear reservoir model. *Journal of Hydrology*. 524: 468-475.
- 4- Chogan, M., Honarbakhsh, A., Zare Bidaki, R., Pajhooesh, M. 2013. Frequency analysis of low flow the way to forecast hydrological Drought (Case study: north caroon basin in chaharmahal and bakhtiari province), National Conference on Engineering and Agricultural Management, Environment and Sustainable Natural Resources (Hamadan), 1-13 (In Persian)
- 5- Eslamian, S.S, Ghasemi, S., Gerdefaramarzi S. 2012. Calculation and zonation of low flow indices and determination of hydrological periods (Case study: Karkheh watershed basin), *Water and Soil Science*, 16(59): 1-14 (In Persian)
- 6- Eslamian, S.S., Zarei, A., Abrishamchi, A. 2004. Regional Estimation of low flow in Mazandaran Basin, *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 1(8): 27-37 (In Persian)
- 7- Habibnejhad Roshan, M., Ebrahimi, M., Soleymani, K and Vafakhah, M. 2010. Analysis of low flow in semi-arid North East areas of Khorasan Razavi, *Watershed Management Research*, 1(1): 44-58 (In Persian)
- 8- Joshi, D., St-Hilaire, A, 2013. Low Flow Frequency analysis of three rivers in Eastern Canada, *Centre Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)*, 1-33.



## Abstract

**Estimation of Monthly Low Flow Rates During Different Return Periods in Rivers of Ardabil Province**H. Amini<sup>1</sup>, A. Esmali-Ouri<sup>2</sup>, R. Mostafazadeh<sup>\*3</sup>, M. Sharari<sup>4</sup> and M. Zabihi<sup>5</sup>

Received: 2018/07/15 Accepted: 2019/02/22

Considering the harmful effects of drought, it is important to recognize and evaluate the frequency of low flow. Analysis of low flow is a method for estimating hydrologic drought. In this study, 33 hydrometric stations used in Ardebil province for hydrological droughts survey. The purpose of this study was to analyze the intensity of the low flow (hydrologic drought) using the gamma distribution of two parameter and the relationship between low flow with the percentage of occurrences and the return periods and plotting the curves in different basins have discharge statistics in Ardebil province. The results of this study showed, with increasing the return period, the intensity of the low flow decreases and the severity of drought increases. The discharge values at the two-year return period change from 0.01 to 0.95 at the stations of the booran and atashghah respectively. In the return period of 100 years, the low flow rate at Bouran and Nair stations are the lowest (0) and maximum (0.21) of the value respectively. Since the occurrence of drought causes significant damage to the economic, social, political and environmental sectors of the country, consideration of this phenomenon is necessary in order to achieve the goals of sustainable development.

**Keywords:** Low flow, Hydrological drought, Two-parameter gamma distribution, Water resource management, Ardabil province

1- M.Sc. student of Watershed Engineering, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,

2- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,

3- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Corresponding Author, Email: Raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

4- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

5- Ph.D. student of Watershed Science and Engineering, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tarbiat Modares,