

بررسی مقایسه‌ای روش‌های تحلیل فراوانی و هیدرو اقلیمی برای برآورد دبی حداکثر سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بختیاری)

- ❖ محمد بشیر گنبد؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ علیرضا مقدم‌نیا*؛ دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی؛ دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ محمد مهدوی؛ استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ امانوئل پاکه؛ بخش تحقیق و توسعه، EDF، گرنوبل، فرانسه
- ❖ میشل لانگ؛ بخش هیدرولوژی و هیدرولیک، مرکز ملی علوم محیطی (IRSTEA)، لیون، فرانسه

چکیده

روش‌های زیادی برای تخمین دبی حداکثر سیل اعم از روش‌های تحلیل فراوانی وجود دارد و مطالعه خطر سازه‌های آبی مبتنی بر تحلیل فراوانی سیل، غالباً نسبت به مشاهدات و توزیع آماری منتخب حساسیت دارد که باعث بروز خطا در طراحی می‌شود. از آنجایی که بارش‌های سنگین عامل اصلی سیل‌ها هستند و داده‌های بارش نسبت به داده‌های جریان دارای طول دوره آماری بیشتری هستند، از این رو در این تحقیق از آمار درازمدت بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه آبخیز بختیاری در یک دوره ۶۶ ساله و آمار دبی حداکثر روزانه در یک دوره ۵۸ ساله استفاده شد. در این تحقیق دبی حداکثر و دبی اوج روزانه با استفاده از روش‌های هیدرو اقلیمی آگرژه و گرادکس برآورد شد. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مبتنی بر رویکرد هیدرو اقلیمی در دوره بازگشت‌های مختلف با روش‌های معمول آماری گمبل و توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از اطلاعات اضافی مانند داده‌های بارش علاوه بر داده‌های آب‌سنجی در روش‌های هیدرو اقلیمی برآوردهای بهتری نسبت به روش‌های تحلیل فراوانی ارائه می‌دهد، به این دلیل که هر سه معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب نش-ساتکلیف و ضریب کلینگ - گوپتا کارایی روش‌های هیدرو اقلیمی را در مقایسه با توزیع‌های گمبل و مقادیر حدی تعمیم یافته تأیید می‌کند. در نهایت تبدیل تابع توزیع تجمعی دبی‌های حداکثر روزانه به دبی‌های اوج با استفاده از نسبت اوج به حجم مستخرج از ۲۶ واقعه ساعتی سیل ثبت گردیده در ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج بختیاری انجام شد.

کلید واژگان: دبی حداکثر، تحلیل فراوانی سیل، روش هیدرو اقلیمی، نسبت اوج به حجم، حوزه آبخیز بختیاری

۱. مقدمه

توزیع آماری مناسب که برآزش بهتری بر داده‌ها داشته باشد، می‌توان بارندگی یا دبی با دوره بازگشت‌های مختلف را با روش تحلیل فراوانی به دست آورد. روش تحلیل فراوانی از تفسیر اطلاعات سیل‌های تاریخی برای تخمین و پیش‌بینی رویدادهای آینده استفاده می‌کند. اگر اطلاعات موجود طولانی‌مدت و قابل‌اعتماد باشند، تخمین‌های رضایت‌بخشی می‌دهند؛ اما در عمل، آمار طولانی‌مدت وجود ندارد و اغلب باید تخمین سیل برای دوره‌های بازگشت بیشتر از طول دوره آماری موجود صورت گیرد. بعضی از هیدرولوژیست‌ها معتقدند که می‌توان آمار موجود را فقط تا دو برابر طول مدت آن بسط داد. متأسفانه در بیشتر کشورهای در حال توسعه، میانگین طول دوره آماری ممکن است به ۳۰ سال هم نرسد، در حالی که برای تحلیل فراوانی سیل نیازمند ۱۰۰ سال یا بیشتر آمار دبی است [۱۲].

یکی از معایب روش تحلیل فراوانی این است که در بیشتر موارد طول دوره آماری داده‌های سیل کوتاه می‌باشد و یا اینکه داده‌ها ایستایی لازم را ندارند (به دلیل تأثیر انسان بر حوضه و تغییر در محیط فیزیکی خود، تغییر اقلیم و...) و همچنین داده‌های مربوطه معرف داده‌های سیل نیستند. چرا که سیل‌های شدید و بزرگ به دلایل مختلف مثل نبود امکانات مناسب، کمبود تجهیزات و وسایل اندازه‌گیری، نیروی انسانی مجرب، دوری مسیر به طوری که تا رسیدن به ایستگاه مورد نظر سطح آب افت می‌کند و اندازه‌گیری دقیقی صورت نمی‌گیرد و در این موارد با استفاده از رابطه دبی-اشل، روابط هیدرولیکی و محاسبه سطح مقطع، داغ آب سیل و امتداد منحنی دبی-اشل برون‌یابی و محاسبه می‌شود. این موضوع موجب افزایش خطا و کاهش دقت در سیل برآورد شده می‌شود. دقت محاسبات در روش تحلیل منطقه‌ای به طول دوره آمار مشاهداتی، شرایط یکنواخت آب‌وهوایی و مشخصات فیزیکی حوضه بستگی دارد و آمار طولانی‌مدت برای محاسبات الزامی است [۱۰].

به‌منظور محاسبه دبی طراحی با استفاده از

به‌منظور طراحی سازه‌های آبخیزداری و هیدرولیکی بر روی یک آبراهه یا رودخانه، برآورد سیل حداکثر موردنیاز است و بیش برآورد دبی طرح منجر به افزایش هزینه سازه و کم برآورد آن نیز سبب تهدید سازه و جمعیت ساکن در برابر خطر سیل و در نهایت منجر به تلفات جانی و خسارات مالی زیادی می‌شود. روش‌های گوناگونی برای برآورد دبی حداکثر استفاده می‌شود که با توجه به آمار و اطلاعات قابل‌دسترس، نوع، ابعاد، اقتصاد طرح و شرایط خاص در هر کشور و استانداردهای موجود در محاسبه دبی حداکثر سیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های متداولی که در کشور ما برای برآورد دبی حداکثر سیل استفاده می‌شوند شامل روش‌های تجربی، روش تحلیل فراوانی سیل و روش حداکثر سیلاب محتمل می‌باشد. انتخاب و کاربرد هر یک از این روش‌ها، دارای محدودیت‌هایی هستند که باعث کاهش دقت محاسبه در برآورد دبی حداکثر سیل شده و یا اینکه به جهت پایداری سازه با اعمال ضریب اطمینان به دبی طرح، هزینه‌های زیادی را برای احداث سازه مورد نظر تحمیل می‌کنند و در نتیجه طرح مورد نظر دچار مخاطراتی می‌شود. فرمول‌های تجربی به طور کلی روابطی را میان پارامترهای فیزیوگرافی و اقلیمی با دبی سیل برقرار می‌کنند. در روش‌های تجربی، در یک منطقه با شرایط هیدرولوژیکی همگن، سیل‌های حداکثر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های آب‌سنجی با توجه به مساحت حوزه آبخیز آن‌ها محاسبه می‌شود و یک منحنی پوش^۱ ترسیمی برای این نقاط به‌عنوان حد بالایی سیل حداکثر برآزش داده می‌شود. از معایب روابط تجربی محدودیت به کارگیری آن‌هاست. به این معنی که هر فرمول تجربی برای منطقه‌ای خاص بوده و برای مناطق دیگر باید با احتیاط به کار گرفته شود. در صورت استفاده چنان‌چه برای منطقه مورد نظر واسنجی نگردد، ممکن است با خطای بیش برآورد توأم گردد [به نقل از ۱۵].

با استفاده از آمار مشاهده‌شده در یک ایستگاه و یافتن

^۱ - Envelope Curve

خطای نسبی نیز افزایش خواهد یافت و در نهایت نیاز به اطلاعات اضافی علاوه بر داده‌های آب‌سنجی برای برآوردهای با دوره بازگشت بالاتر ضروری است [۴].

برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوزه‌های آبخیز کوچک با استفاده از روش‌های مبتنی بر سطح حوضه و روش‌های مبتنی بر فیزیوگرافی حاکی از این است که روش‌های مبتنی بر سطح حوضه در مناطق مختلف با شرایط فیزیکی یکسان حوضه، تفاوت محسوسی ندارند، در صورتی که در روش دوم، بارش عامل عمده تفاوت ایجادشده در برآوردهای مناطق مختلف است [۱۷].

در تحقیقی برای برآورد دبی حداکثر سیل چندین روش تجربی، تحلیل فراوانی و حداکثر سیل محتمل، با روش گرادکس مقایسه شد و نیاز به اطلاعات بارش برای واقع بینانه‌تر بودن برآوردها در دوره بازگشت‌های بالا ضروری ذکر شد و نیز نتیجه‌گیری شد که برآوردهای گرادکس می‌تواند جایگزینی برای روش حداکثر سیل محتمل باشد [۱۵].

در این تحقیق از دو توزیع متداول گمبل^۲ و توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV^۳) که در اغلب مطالعات برای برآورد مقادیر حدی کاربرد دارد، استفاده شد. اما با توجه به اینکه که سیل‌های شدید و بزرگ به دلایلی که در بالا ذکر شد کفایت و صحت لازم برای برآوردهای با دوره‌های بازگشت بیشتر از توزیع تجربی را ندارند، استفاده از اطلاعات بارش یکی از راهکارهایی است که می‌تواند مشکلات ناشی از کمبود داده‌ها با طول دوره آماری مناسب و خطای احتمالی ناشی از انتخاب توزیع مناسب در روش‌های تحلیل فراوانی سیل را به مقدار قابل قبولی کاهش دهد [۶]. از این رو در این تحقیق از دو روش گرادکس و آگرژه^۱ که علاوه بر اطلاعات آب‌سنجی از اطلاعات بارش نیز برای مدل‌سازی و برون‌یابی سیل

هیدروگراف سیل و جریان حوضه‌ای در مراکش از روش گرادکس^۱ استفاده شد و استفاده از اطلاعات بارش در زیر حوضه‌های مختلف برای برآوردهای با دوره بازگشت بیشتر از ۱۰۰ سال توصیه شد [۸]. پژوهشگران در قالب پروژه‌ای در کل اروپا روش‌های مختلف برآورد سیل را مورد بررسی قرار دادند، در این تحقیق علاوه بر اطلاعات آب‌سنجی از اطلاعات بارش نیز استفاده شد و نتایج برآورد دبی حداکثر سیل در دوره بازگشت‌های مختلف و مقایسه آن با سیل‌های تاریخی استفاده از اطلاعات بارش را تأیید کردند [۱]. در فرانسه با استفاده از اطلاعات دو قرن اخیر، تحلیل فراوانی سیل در حوضه‌ای در قالب یک پروژه بررسی شد، استفاده از ارتفاع آب در طی وقوع سیل‌های تاریخی از سال ۱۶۴۴ به بعد در رودخانه و تبدیل آن به دبی با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی انجام شد و کاهش عدم قطعیت وقایع سیل ثبت‌شده با استفاده از این اطلاعات سبب کاهش عدم قطعیت برآورد نهایی دبی حداکثر با استفاده از رویکرد هیدرو اقلیمی شد [۱۱]. محققان روش تحلیل فراوانی و یک مدل هیدرو اقلیمی را به‌منظور مقایسه برآوردهای دبی حداکثر سیل در حوضه‌ای در فرانسه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش هیدرو اقلیمی به دلیل استفاده از اطلاعات سیل‌های تاریخی و نیز داده‌های بارش، برآوردهایی با اطمینان بیشتر نسبت به روش‌های تحلیل فراوانی دارد [۷]. نتایج بررسی روش‌های تحلیل فراوانی و مدل‌سازی بارش رواناب دبی حداکثر سیل حاکی از آن است که به دلیل انتخاب نامناسب توزیع آماری، برآوردهای تحلیل فراوانی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی بیشتر است، خصوصاً در دوره بازگشت‌های بیشتر از ۲۰۰ سال که این اختلاف در حد ۳۰/۴ درصد می‌باشد [۱۴].

استفاده از روش هیبرید و تحلیل فراوانی رگرسیون برای برآورد دبی حداکثر سیل در دوره بازگشت‌های مختلف، نشان داد که کمترین خطای نسبی در برآورد مربوط به دوره بازگشت ۵۰ سال است و هرچه دوره بازگشت زیاد شود

^۱ - Gradex

^۲ - Gumbel

^۳ - Generalized extreme value distribution

مجاورت استان‌های چهارمحال و بختیاری، اصفهان، لرستان و خوزستان با مساحت ۶۳۹۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این حوضه در محدوده حوزه آبخیز رودخانه دز واقع است که خود زیرمجموعه‌ای از حوزه آبخیز درجه دوم رودخانه کارون بزرگ و حوزه آبخیز درجه یک خلیج فارس می‌باشد. برخی خصوصیات این حوضه در جدول (۱) ارائه شده است، همچنین شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی را نشان می‌دهد.

در این تحقیق از آمار روزانه دبی ایستگاه تنگ پنج بختیاری متعلق به شرکت آب و برق خوزستان با ارتفاع ۶۰۰ متر از سطح دریا و در دوره آماری سال‌های ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۳ استفاده شد، همچنین داده‌های بارش مورد استفاده در این تحقیق در مقیاس روزانه و مربوط به ۱۶ ایستگاه باران‌سنجی متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو است که جدول (۲) مشخصات و طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

حداکثر بهره می‌گیرند، استفاده شد. این روش‌ها مانند روش‌های تحلیل فراوانی با توجه به یکسری مفروضات که به‌طور اختصاصی به بارش‌های شدید مربوط می‌شوند، می‌تواند دبی حداکثر سیل با دوره بازگشت‌های مورد استفاده در طراحی سازه‌های آبخیزداری و هیدرولیکی را برآورد نمایند. در گام دیگر حدود اطمینان تخمین‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف در روش آگرزه با استفاده از بسط سری تیلور^۲ محاسبه شد. برآورد حدود اطمینان توزیع‌های گمبل و مقادیر حدی تعمیم یافته با استفاده از رویکرد بیزی^۳ از نوآوری‌های این تحقیق است که می‌تواند به کارشناسان در انتخاب روش‌های ذکر شده کمک نماید.

۲. روش شناسی

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه بختیاری در جنوب غرب کشور و در محدوده مختصات جغرافیایی $15^{\circ} 48'$ تا $20^{\circ} 50'$ طول شرقی و $30^{\circ} 32'$ تا $33^{\circ} 30'$ عرض شمالی و در

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی و هیدرواقليمی منطقه مطالعاتی*

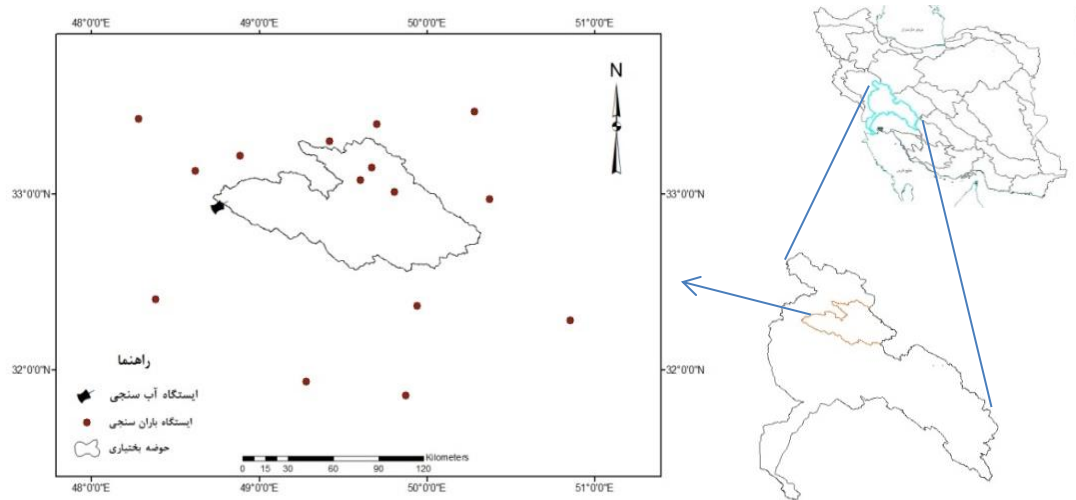
آب‌وهوا	فیزیوگرافی
۶۳۹۰	مساحت (کیلومتر مربع)
۲۲۹۵	ارتفاع متوسط (متر از سطح دریا)
۴۰۴۹	بیشترین ارتفاع (متر از سطح دریا)
۳۹۴	کمترین ارتفاع (متر از سطح دریا)
مرتع	وضعیت هیدرولوژی
۷۱۰	میانگین رواناب سالیانه (میلی‌متر)
۸۰۱/۰۸	میانگین حداکثر سالیانه دبی ۲۴ ساعته (مترمکعب در ثانیه)
۳۱۹۱	حداکثر جریان روزانه مشاهده شده (مترمکعب در ثانیه)
مناطق با سطوح غیرقابل نفوذ	حداکثر جریان سالانه مشاهده شده
آب‌بندان‌ها	
۷۵۸/۱۴	میانگین بارش سالیانه حوضه (میلی‌متر)
۱۰/۲۸	میانگین دمای بهمن‌ماه
۳۸/۴۳	میانگین دمای مردادماه
۵۳	کاربری اراضی (درصد)
۳۴/۶	انواع جنگل شامل جنگل انبوه، متراکم و تنک
۲/۶۵	بیرون‌زدگی سنگی
۹/۰۶	کشاورزی
۰/۶۵	
۰/۰۴	

* دفتر مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب سد بختیاری، شرکت توسعه آب و نیروی ایران

¹ - Agregee

² - Taylor series

³ - Bayesian approach



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز بختیاری در ایران و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مطالعاتی

کد ایستگاه	متولی ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال‌های آماری	تعداد روزهای بدون آمار	درصد فاقد آمار
۲۱۲۸۹	وزارت نیرو	کشور	۴۸/۶۱	۳۳/۱۳	۷۷۰	۴۷	۲۲۶۸	۱۳/۲۴
۲۱۲۸۵	وزارت نیرو	سپیددشت زاز	۴۸/۸۸	۳۳/۲۱	۹۷۰	۴۶	۲۱۵۴	۱۲/۸۱
۲۱۲۹۳	وزارت نیرو	تنگ پنج بختیاری	۴۸/۷۶	۳۲/۹۳	۵۴۰	۴۶	۱۹۹۴	۱۱/۸۶
۲۱۲۷۳	وزارت نیرو	کمندان	۴۹/۴۱	۳۳/۳	۱۹۳۰	۴۶	۴۳۳۱	۲۵/۷۷
۲۱۴۰۰	وزارت نیرو	کاظم‌آباد	۴۹/۶۶	۳۳/۱۵	۲۰۰۰	۳۳	۳۱۱۷	۲۵/۸۵
۲۱۹۶۸	وزارت نیرو	سکانه	۴۹/۶۰	۳۳/۰۸	۱۷۵۰	۳۲	۲۹۸۳	۲۵/۵۱
۲۱۴۰۲	وزارت نیرو	زرد فهره	۴۹/۸۰	۳۳/۰۱	۲۳۹۲	۳۱	۲۷۸۱	۲۴/۵۶
۲۱۴۳۵	وزارت نیرو	آب ترکی	۴۹/۹۴	۳۲/۳۶	۱۷۱۲	۲۸	۱۰۷۶	۱۰/۵۲
۴۰۷۸۲	سازمان هواشناسی	خرم‌آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۷	۶۶	۶۰	۰/۲۵
۴۰۷۸۳	سازمان هواشناسی	الیگودرز	۴۹/۷	۳۳/۴	۲۰۲۲	۳۱	۳۷	۰/۳۳
۹۹۴۱۷	سازمان هواشناسی	گلپایگان	۵۰/۲۸	۳۳/۴۷	۱۸۷۰	۲۲	۰	۰
۴۰۷۸۷	سازمان هواشناسی	داران	۵۰/۳۷	۳۲/۹۷	۲۲۹۰	۲۵	۰	۰
۴۰۷۹۸	سازمان هواشناسی	شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۲۸	۲۰۴۸	۵۸	۳۵	۰/۱۶
۹۹۴۵۵	سازمان هواشناسی	ایذه	۴۹/۸۷	۳۱/۸۵	۷۶۷	۲۱	۰	۰
۴۰۸۱۲	سازمان هواشناسی	مسجدسلیمان	۴۹/۲۸	۳۱/۹۳	۳۲۰/۵	۳۲	۶۷	۰/۵۸
۴۰۷۹۵	سازمان هواشناسی	فرودگاه دزفول	۴۸/۳۸	۳۲/۴	۱۴۳	۵۱	۱۵۷۰	۸/۴۵

۲،۲. روش تحقیق

استفاده شود. توانایی به‌کارگیری توزیع گمبل برای تخمین توزیع مقادیر حدی به تئوری مقادیر حدی برمی‌گردد و در مواردی که توزیع داده‌های نمونه از توزیع نرمال و یا نمایی تبعیت کند، نتایج قابل قبولی از برآوردهای آن مشاهده شده است [۵]. تابع توزیع تجمعی^۱ (CDF) این توزیع به صورت زیر است:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-(x - x_0)/a]\} \quad (۱)$$

که در آن: $x_0 = \bar{x} - 0.45 s_x$ ، $a = 0.78 s_x$ ، \bar{x} و s_x به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.

۲،۳،۲. توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)

این توزیع یک روش استاندارد برای مدل‌سازی اوج سیل برای سری‌های حداکثر سالانه (AMS^۲) و همچنین سری‌های تداوم جزئی (PDS^۳) است. توسعه روش‌های غیرقطعی در حوزه‌های آبخیز برای بررسی خصوصیات دبی اوج سیل از اهداف آمار کلاسیک برای حل مسائل مربوط به تئوری مقادیر حدی است. توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته به‌طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی توزیع اوج سیل در شرایط یک حوضه بخصوص و یا در مقیاس منطقه‌ای به کار گرفته شده است [۵، ۱۳ و ۱۶].

توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته شکل ساده شده سه توزیع مقادیر حدی دیگر شامل توزیع گمبل، توزیع فرچت^۴ و ویبول^۵ است که تابع توزیع تجمعی آن به صورت زیر است:

$$F(x) = \exp\{-[1 + \gamma \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)]^{-\frac{1}{\gamma}}\} \quad (۲)$$

که در آن:

پارامتر مکان = γ ، پارامتر شکل = μ و پارامتر مقیاس = σ می‌باشند.

در این مطالعه توزیع‌های گمبل و مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) از سری روش‌های تحلیل فراوانی و روش گرادکس و آگرزه از روش‌های هیدرو اقلیمی در برآورد دبی حداکثر سالانه برای دوره بازگشت‌های مختلف مقایسه شدند. برای این منظور، از محیط برنامه RStudio3.4.2 و GIS JBay و نیز بسته ArcMap10.3 از سری برنامه‌های استفاده شد. همچنین علاوه بر آمار ۵۸ سال دبی حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه تنگ پنج، از آمار بارش ۶۶ ساله ثبت شده در ایستگاه‌های داخل و پیرامون حوضه بختیاری استفاده شد که پس از بازسازی با روش رگرسیون خطی چندگانه و با استفاده از برنامه نوشته شده در محیط R واجد پایه زمانی مشترک قابل قبولی شدند. روش رگرسیون چندگانه، همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده که در اینجا ایستگاه‌های دارای آمار می‌باشند را در نظر می‌گیرد و اثر هر متغیر پیش‌بینی را هنگامی که سایر متغیرها حذف می‌شوند بررسی می‌کند. به عبارت دیگر رگرسیون خطی از یک متغیر پیش‌بینی برای توضیح و یا پیش‌بینی نتایج متغیرهای پاسخ استفاده می‌کند، در حالی که رگرسیون چندگانه از دو یا چند متغیر پیش‌بینی برای پیش‌بینی نتایج استفاده می‌کند [۹].

در نهایت با استفاده از روش چندضلعی‌های تیسن متوسط بارش منطقه مطالعاتی محاسبه گردید.

۳،۲. روش‌های تحلیل فراوانی

۱،۳،۲. توزیع گمبل

این توزیع که در آمار و تئوری احتمال توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته نوع یک نامیده می‌شود، برای مدل‌سازی توزیع حداکثر (حداقل) فضای نمونه‌ای از داده‌ها استفاده می‌شود. این توزیع برای محاسبه حداکثر تراز سطح آب در یک رودخانه یا حداکثر سیل در یک حوزه آبخیز که آمار حداکثر داده‌های آن در سال‌های گذشته موجود باشد، استفاده می‌شود و همچنین می‌تواند برای زلزله‌ها و یا سیل‌های بزرگ و یا سایر بلایای طبیعی

^۱ - Cumulative distribution function

^۲ - Annual maximum series

^۳ - Partial duration series

^۴ - Frechet

^۵ - Weibull

۳,۳,۲. روش‌های هیدرو اقلیمی

با توجه به اینکه در بیشتر موارد طول دوره آماری داده‌های سیل کوتاه می‌باشد و یا اینکه داده‌ها ایستایی لازم را ندارند، روش‌های تحلیل فراوانی در دوره بازگشت‌های بیشتر از توزیع تجربی داده‌های مشاهده‌ای، از اطمینان قابل ملاحظه‌ای برای تخمین دبی حداکثر سیل برخوردار نیستند. ولی روش‌های هیدرو اقلیمی به کمک آمار بارندگی و سیلاب و تجربه کارشناسی تا حدودی معایب روش‌های تحلیل فراوانی را برطرف می‌کنند. روش‌های مزبور ضمن در نظر گرفتن بارندگی و لحاظ نمودن دبی حداکثر روزانه در حوضه مورد مطالعه و با استفاده از روابط ریاضی و توزیع‌های آماری، دبی‌های حداکثر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف را محاسبه می‌کنند. مزیت این روش‌ها استفاده از بارندگی در کنار دبی می‌باشد، به طوری که ضمن سرعت بخشیدن به محاسبات، نتایج به دست آمده را می‌توان در طراحی‌ها اعمال نمود [۱۵].

۴,۳,۲. مدل گرادکس (Gradex)^۱

مدل گرادکس اولین بار توسط گلیوت^۲ و دوباند^۳ از مدرسان و هیدرولوژیست‌های بخش کمیته سدهای بزرگ فرانسه ارائه گردید و از واژه توزیع نمایی شیب بارش مشتق شده است. این مدل به داده‌های بارندگی و رواناب نیاز دارد در این روش یک توزیع نمایی بر داده‌های بارش روزانه فصولی که حداکثر خطر سیلاب را در حوضه ایجاد می‌کنند، برازش داده می‌شود و پارامتر گرادکس که همان شیب خط نمایی در نمودار گمبل است بر حسب میلی‌متر در ۲۴ ساعت به دست می‌آید.

فرضیه اصلی روش گرادکس این است که وقتی خاک به اندازه کافی به وسیله بارش اشباع شود، بعد از این آستانه تابع توزیع احتمال دبی با تابع توزیع احتمال بارش در دیاگرام گمبل موازی می‌شود و شیب این خط راست به عنوان گرادکس بارش در نظر گرفته می‌شود [۲ و ۳].

مراحل روش گرادکس به شرح زیر است:

- انتخاب پایه زمانی با توجه به داده‌های بارش و سیل
- محاسبه گرادکس بارش در دوره پایه

مشخص شده و تبدیل آن به مترمکعب بر ثانیه مطابق رابطه زیر:

$$= \text{گرادکس بارش (میلی‌متر)} \times \text{مساحت حوضه (کیلومتر مربع)} \times \left\{ \frac{3}{6} \times \text{پایه زمانی داده‌های بارش (ساعت)} \right\}$$

- برازش توزیع نمایی به داده‌های حداکثر دبی و مشخص کردن دبی با دوره بازگشت مشخص در نقطه آستانه که این دوره بازگشت برابر با دوره بازگشت بارشی است که سبب اشباع حوضه می‌شود.
- برونیابی دبی در دوره بازگشت‌های بیشتر از دوره بازگشت نقطه آستانه با استفاده از رابطه (۳)

$$Q_v(T) = Q_v(T_g) + a_p \ln \left(\frac{T}{T_g} \right) \quad (3)$$

در نهایت برای بهتر شدن رابطه موازی بودن تابع توزیع احتمال دبی و بارش، لانگ^۴ [۷]، رابطه (۴) را برای برونیابی روش گرادکس پیشنهاد کرد:

$$Q_v(T) = Q_v(T_g) + a_p \ln \left[1 + \frac{a_{qg} T - T_g}{a_p T_g} \right] \quad (4)$$

که در آن:

$Q_v(T)$: دبی حداکثر در دوره بازگشت مورد نظر (مترمکعب در ثانیه)

$Q_v(T_g)$: دبی در دوره بازگشت نقطه آستانه (مترمکعب در ثانیه)

a_p : گرادکس تبدیل شده بارش (مترمکعب در ثانیه)

T_g : دوره بازگشت دبی در نقطه آستانه (سال)

a_{qg} : پارامتر مقیاس در توزیع برازش داده شده به دبی حداکثر می‌باشد.

¹ - Gradient of the exponential distribution

² - Guillot

³ - Duband

⁴ - Lang

۵،۳،۲. روش آگرزه (Agreee)

این روش فرم توسعه یافته روش گرادکس است که در آن علاوه بر اطلاعات بارش، از اطلاعات جریان نیز برای تخمین هیدروگراف سیل در دوره بازگشت‌های مختلف استفاده می‌شود. در این روش، علاوه بر برآورد دبی در دوره بازگشت‌های متفاوت می‌توان حدود اطمینان مقادیر برآوردی را نیز محاسبه نمود. این روش نیز مانند روش گرادکس دارای فرضیاتی به شرح زیر است [۷]:

- منحنی توزیع فراوانی بارش از یک توزیع نمایی پیروی کند.
 - وقتی حوضه به شرایط اشباع نزدیک می‌شود، هر مقدار افزایش در حجم بارش در زمان d برابر با همان مقدار افزایش در دبی در مدت زمان مشابه است.
 - سومین فرضیه در خصوص هیدروگراف مصنوعی است که با دبی اوج سیل با استفاده از رابطه (۷) و آستانه سیل با استفاده از رابطه (۸) توجیه می‌شود.
- فرمول‌های ریاضی این فرضیات به ترتیب زیر است:

$$a_p(T) = \frac{a_e T}{(T+K_p)} \quad T > T_g \quad (5)$$

$$a_q(T) = \frac{a_p(T) \cdot T}{(T+K_q)} \quad T > T_g \quad (6)$$

$$F(QIX) = \iint f(VCXd, RXd) \cdot d(VCXd) \cdot d(RXd) \quad (7)$$

$$RXd = \frac{QIX}{VCXd} \quad (8)$$

$$F(QCXd) = \iint f(VCXd, CXd) \cdot d(VCXd) \cdot d(CXd) \cdot d(CXd)$$

$$CXd = \log\left(\frac{VCXd}{QCXd}\right)$$

که در آن:

$a_p(T)$ و $a_q(T)$ گرادکس توزیع بارش و توزیع دبی با مقیاس لگاریتمی در محور دوره بازگشت هستند که از روابط (۵) و (۶) به دست می‌آیند و تابع توزیع دبی

$F(VCXd)$ که با استفاده از روابط (۷) و (۸) به دست می‌آید.

رابطه (۵) گرادکس بارش $a_p(T)$ را با استفاده از a_e و با توجه به مفروضات شکل (۲) و تابع دوره بازگشت بین a_e و a_{pg} تولید می‌کند.

رابطه (۷) تابع توزیع دبی اوج (QIX) و دبی نقطه آستانه ($QCXd$) را با استفاده از یک توزیع دوجمله‌ای از حجم دبی ($VCXd$) و نسبت اوج به حجم (RXd) یا (CXd) به وجود می‌آورد.

a_e : مقدار گرادکس بارش وقتی که دوره بازگشت به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و:

$$K_p = \left(\frac{a_e}{a_{pg}-1}\right) \cdot T_g \quad \text{و} \quad K_q = \left(\frac{a_{pg}}{a_{pg}-1}\right) \cdot T_g \quad (9)$$

می‌باشد. نتایج مدل آگرزه دارای سه محدوده به شرح ذیل می‌باشد:

محدوده قابل مشاهده که این محدوده وابسته به داده‌های بارش و دبی و برخی اوقات داده‌های تاریخی سیل است، البته در صورتی که وقایع تاریخی وجود داشته باشد ($T < T_g$).

محدوده دوم محدوده حدی است که بیشتر تحت کنترل وقایع بارش است.

محدوده سوم محدوده بین دو محدوده اول و دوم می‌باشد و تحت کنترل بارش و دبی است.

با مشخص شدن مقادیر کلیه پارامترهای مدل آگرزه می‌توان با استفاده از رابطه (۱۰)، مقادیر دبی برای دوره بازگشت‌های موردنظر را محاسبه نمود:

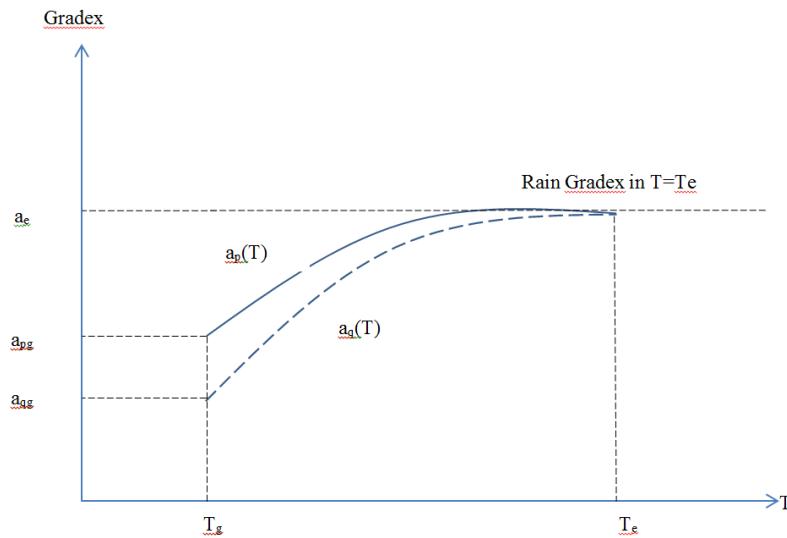
$$Q(T) = Q(T_g) + \frac{a_e}{k_p - k_q} \cdot \left(k_p \cdot \log \frac{T+k_p}{T_g+k_p} - k_q \cdot \log \frac{T+k_q}{T_g+k_q} \right) \quad (10)$$

در صورتی که توزیع برازش داده شده بر بارش یک توزیع نمایی یا گمبل باشد و همچنین $T \geq T_g$ باشد، رابطه (۱۰) به صورت رابطه (۱۱) خواهد بود [۸]:

$$Q(T) = Q(T_g) + a_p \cdot \ln \left[1 + \left(\frac{a_{pg}}{a_p} \right) \cdot \frac{T-T_g}{T_g} \right] \quad (11)$$

با a_p باشد، آنگاه $K_p = 0$ خواهد بود.

به این دلیل که بر اساس رابطه (۱)، در صورتی که گرادکس بارش در دوره بازگشت‌های متفاوت ثابت و برابر



شکل (۱): نمایش ترسیمی پارامترهای مختلف روش آگرزه

$$\begin{aligned} \text{Var} \hat{Q}(T) \approx & \frac{a_q^2}{NF} \cdot [1 + \text{Log}^2 \left(\frac{NF}{NY} \cdot T_g \right)] \quad (13) \\ & + a_p^2 \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{NR}} \left(\log(1+\alpha) - \frac{\alpha}{1+\alpha} \right) + \frac{1}{\sqrt{NF}} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha} \right]^2 \\ & + 2 \cdot \frac{a_p \cdot a_q}{\sqrt{NF \cdot NR}} \cdot \left[\left(\log(1+\alpha) - \frac{\alpha}{1+\alpha} \right) \cdot \sqrt{1 + \text{Log}^2 \left(\frac{NF}{NY} \cdot T_g \right)} \right. \\ & \left. + \sqrt{\frac{NR}{NF}} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \log \left(\frac{NF}{NY} \cdot T_g \right) \right] \end{aligned}$$

و اگر $T < T_g$ باشد:

$$\text{Var} \hat{Q}(T) \approx \frac{a_q^2}{NF} \cdot [1 + \text{Log}^2 \left(\frac{NF}{NY} \cdot T \right)] \quad (14)$$

که در آن:

a_q : گرادکس دبی (مترمکعب در ثانیه)

NF : تعداد سیل‌های اتفاق افتاده در طی NY سال

T_g : دوره بازگشت نقطه آستانه

a_p : گرادکس بارش (مترمکعب در ثانیه)

NR : تعداد سال‌های فضای نمونه‌ای داده‌های بارش

یکی از مسائل مهم در برآورد دبی طرح، خصوصاً در سازه‌های آبی مانند سد‌های بزرگ، اطمینان از برآوردهایی است که در دوره بازگشت‌های بالا انجام می‌شود. مزیت روش آگرزه در تعیین حدود اطمینان ۹۵ درصد بر اساس سه فرضیه ارائه‌شده به شرح زیر است [۷]:

- فرضیه کلاسیک نرمال بودن داده‌ها
- ثابت بودن گرادکس بارش

$$\text{Prob} \left[\hat{Q}(T) - u_{0.95} \cdot \sqrt{\text{Var}(\hat{Q}(T))} < Q(T) < \hat{Q}(T) + u_{0.95} \cdot \sqrt{\text{Var}(\hat{Q}(T))} \right] = 0.95 \quad (12)$$

$$\hat{Q}(T) + u_{0.95} \cdot \sqrt{\text{Var}(\hat{Q}(T))} = 0.95$$

- بسط واریانس بر اساس سری تیلور برای دوره بازگشت‌های بیشتر و کمتر از نقطه آستانه مطابق

روابط (۱۳) و (۱۴)،

اگر $T > T_g$ باشد:

۴،۲. معیارهای ارزیابی توزیع‌ها و مدل‌های مورد

استفاده در تحقیق

پس از برآورد مقادیر دبی حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روش‌های تحلیل فراوانی گمبل و توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته و همچنین روش‌های هیدرو اقلیمی گرادکس و آگرزه، عملکرد مدل‌های مختلف با استفاده از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف^۲ (NSE) و ضریب کلینگ - گوپتا^۳ (KGE) که به صورت زیر بیان می‌شوند محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{N}} \quad (17)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (18)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2} \quad (19)$$

این ضریب توسط سه محتوای همبستگی، انحراف معیار و میانگین با توجه به رابطه (۲۰) تعریف می‌شود و حداکثر مقدار این ضریب در بهترین حالت یک است.

$$r = \frac{cov(Q_{sim}, Q_{obs})}{\sigma(Q_{sim})\sigma(Q_{obs})} \text{ و } \beta = \frac{\mu(Q_{sim})}{\mu(Q_{obs})} \quad (20)$$

$$\gamma = \frac{\sigma(Q_{sim})/\mu(Q_{sim})}{\sigma(Q_{obs})/\mu(Q_{obs})}$$

که در آن Q_i دبی حداکثر مشاهده شده، \hat{Q}_i دبی حداکثر برآورد شده در دوره بازگشت i ، N تعداد مشاهدات یا برآوردها، $cov(Q_{sim}, Q_{obs})$ کوواریانس مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای دبی‌های حداکثر در دوره بازگشت‌های مختلف و μ و σ هم به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر مربوطه می‌باشد.

T: دوره بازگشت (سال) و $\alpha = \frac{a_q}{a_p} \cdot \frac{T-T_g}{T_g}$ می‌باشد.

در آخرین مرحله با استفاده از ۲۶ رویداد سیل ثبت شده (برحسب ساعت) در ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج بختیاری بر اساس رابطه (۱۵) نسبت اوج به حجم برای هر رویداد شاخص محاسبه شده و میانگین یا میانه این نسبت به عنوان شاخص نهایی استفاده شد:

$$K = E \left[\frac{QX_i}{QJ_i} \right] \quad (15)$$

که در آن:

K: نسبت اوج به حجم

QX(i): دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)

QJ(i): دبی حداکثر ۲۴ ساعته متناظر با دبی اوج

(مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد.

در مرحله بعد با استفاده از میانگین یا میانه نسبت اوج به حجم می‌توان در دوره‌های بازگشت موردنظر تابع توزیع تجمعی دبی‌های حداکثر ۲۴ ساعته (QJ) شبیه‌سازی شده را با استفاده از رابطه (۱۶) به تابع توزیع تجمعی دبی اوج (QX) تبدیل کرد.

$$QX(T) = K \cdot QJ(T) \quad (16)$$

با توجه به اینکه زمان پایه هیدروگراف سیل‌های شاخص ثبت شده در خروجی منطقه مورد مطالعه در اغلب موارد بیشتر از ۲۴ ساعت می‌باشد، محاسبه حداکثر حجم دبی ۲۴ ساعته نیاز به محاسبات جزئی در بازه‌های یک‌ساعته داشت، به همین منظور در محیط R برنامه‌ای نوشته شده که بتواند با استفاده از یک پنجره متحرک در بازه‌های زمانی - که به فاصله زمانی بین آماربرداری‌ها در ایستگاه آب‌سنجی بستگی دارد - حجم‌های جزئی محدوده زیر منحنی‌های هیدروگراف را محاسبه کرده و با محاسبه مجموع حجم‌های جزئی، حجم کل و درنهایت حداکثر حجم دبی ۲۴ ساعته را محاسبه کند. با محاسبه نسبت اوج به حجم برای هر رویداد و درنهایت میانگین‌گیری از نسبت‌های محاسبه شده یک مقدار برای نسبت اوج به حجم استخراج شد.

¹ - RMSE

² - Nash - Sutcliffe

³ - Kling-Gupta

۳. نتایج

دبی حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه تنگ پنج (جدول ۳) به ترتیب مبنای محاسبه گرادکس بارش و دبی قرار گرفت و نتایج این مقایسه در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شد. در این شکل‌ها علاوه بر توزیع تجربی، حدود اطمینان ۹۵ درصد برای هریک از روش‌های یادشده نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حدود اطمینان روش آگرزه می‌تواند یکی از وقایع حدی را در محدوده اطمینان ۹۵ درصد خود پوشش دهد، از این‌رو نسبت به روش‌های تحلیل فراوانی دارای برتری می‌باشد.

در مورد مدل گرادکس، مطابق شکل (۵) خطوط نقطه‌چین کم‌رنگ نشان‌دهنده توزیع برآزش داده شده بر بارش می‌باشد. بر اساس رابطه (۴) مقادیر $Q_v(T)$ و $Q_v(T_g)$ به ترتیب ۱۳۹۳ مترمکعب در ثانیه و ۱۱۰۹۳/۳۷ مترمکعب در ثانیه و دوره بازگشت در نقطه آستانه برابر با ۱۰ سال است. خط پیوسته کم‌رنگ شکل (۵) نشان‌دهنده برآوردهای دبی حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل گرادکس می‌باشد.

برآورد دبی‌های حداکثر و دبی‌های اوج با استفاده از روش‌های تحلیل فراوانی سابقه زیادی در اغلب مطالعات و در حوضه اجرا به‌منظور محاسبه دبی طراحی سازه‌ها دارد. در این تحقیق نیز به این روش‌ها پرداخته شد که از میان تعداد زیاد این روش‌ها دو توزیع گمبل و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته انتخاب شد. با استفاده از روابط (۱) و (۲) و داده‌های حداکثر ۲۴ ساعته جدول (۳) توزیع‌های گمبل و توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته به داده‌ها برآزش داده شد که نتایج آن در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شد.

به‌منظور مقایسه روش‌های تحلیل فراوانی و روش آگرزه با استفاده از روابط (۵) و (۶) به ترتیب گرادکس بارش $a_p(T)$ و دبی $a_q(T)$ برای دوره بازگشت‌های بیشتر از نقطه آستانه و با به‌کارگیری رابطه (۱۰) مقادیر K_p و K_q محاسبه شد که جدول (۴) پارامترهای محاسبه شده روش آگرزه در این تحقیق را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته (جدول ۵) و مقادیر

جدول ۳. تاریخ و مقادیر دبی حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه تنگ پنج بختیاری

دبی حداکثر [m ³ /s]	تاریخ	دبی حداکثر [m ³ /s]	تاریخ	دبی حداکثر [m ³ /s]	تاریخ	دبی حداکثر [m ³ /s]	تاریخ
۵۵۲	۲۰۰۰/۱۲/۱۱	۸۸۲	۱۹۸۵/۰۳/۲۰	۷۴۵	۱۹۷۰/۰۴/۱۳	۵۹۲	۱۹۵۵/۰۴/۱۹
۹۱۸	۲۰۰۱/۱۲/۲۱	۹۹۲	۱۹۸۶/۱۱/۳۰	۸۳۷	۱۹۷۱/۰۳/۱۵	۵۸۵	۱۹۵۶/۰۵/۰۱
۱۱۹۱	۲۰۰۲/۰۴/۲۲	۹۱۶	۱۹۸۷/۰۳/۰۳	۳۴۶/۷۳	۱۹۷۲/۱۱/۰۴	۴۳۰	۱۹۵۷/۰۳/۲۵
۱۱۲۵	۲۰۰۳/۰۴/۲۶	۹۹۴	۱۹۸۸/۰۳/۰۵	۶۹۶/۹	۱۹۷۳/۱۱/۰۴	۷۶۲	۱۹۵۸/۰۴/۰۶
۵۱۲	۲۰۰۴/۰۱/۱۳	۸۸۶	۱۹۸۹/۰۴/۰۲	۵۴۴/۵	۱۹۷۴/۰۳/۰۱	۴۵۶	۱۹۵۹/۰۴/۳۰
۲۷۲۵	۲۰۰۵/۰۳/۱۲	۷۱۹	۱۹۹۰/۰۳/۱۴	۱۲۴۹	۱۹۷۵/۰۴/۲۰	۴۸۳	۱۹۶۰/۰۵/۰۱
۳۱۹۱	۲۰۰۶/۰۲/۰۹	۹۳۹	۱۹۹۱/۰۴/۲۷	۹۰۷	۱۹۷۶/۰۲/۱۱	۶۵۹	۱۹۶۱/۰۴/۲۱
۳۶۱	۲۰۰۷/۰۲/۰۴	۹۳۶	۱۹۹۲/۰۵/۱۵	۶۳۴	۱۹۷۷/۱۲/۱۴	۶۱۹	۱۹۶۲/۰۴/۱۲
۱*	۲۰۰۸	۱۳۷۲	۱۹۹۳/۰۱/۰۸	۵۸۴	۱۹۷۸/۱۲/۱۳	۴۷۷	۱۹۶۳/۰۲/۱۰
۳۹۴	۲۰۰۹/۰۵/۰۳	۹۶۶	۱۹۹۴/۱۱/۰۶	۸۸۰	۱۹۷۹/۱۲/۲۶	۴۶۵	۱۹۶۴/۰۳/۱۳
۲۵۷	۲۰۱۰/۰۲/۰۵	۸۳۵	۱۹۹۵/۰۴/۱۵	۷۳۴	۱۹۸۰/۰۳/۲۷	۴۲۵	۱۹۶۵/۰۱/۲۰
۸۶۵	۲۰۱۱/۰۳/۱۴	۹۲۰	۱۹۹۶/۰۱/۰۵	۶۲۶	۱۹۸۱/۰۱/۱۲	۶۳۸	۱۹۶۶/۰۲/۰۳
۴۳۴	۲۰۱۲/۰۲/۰۲	۳۱۷۶	۱۹۹۷/۰۳/۳۰	۶۷۹	۱۹۸۲/۰۴/۲۵	۵۵۲	۱۹۶۷/۰۴/۲۵
۴۳۵	۲۰۱۳/۰۱/۳۰	۹۸۰	۱۹۹۸/۰۳/۲۰	۷۶۷	۱۹۸۳/۰۳/۲۷	۱۰۷۷	۱۹۶۸/۰۴/۱۳
		۸۶۹	۱۹۹۹/۰۳/۲۶	۶۱۷	۱۹۸۴/۰۳/۲۵	۹۴۳	۱۹۶۹/۰۳/۱۵

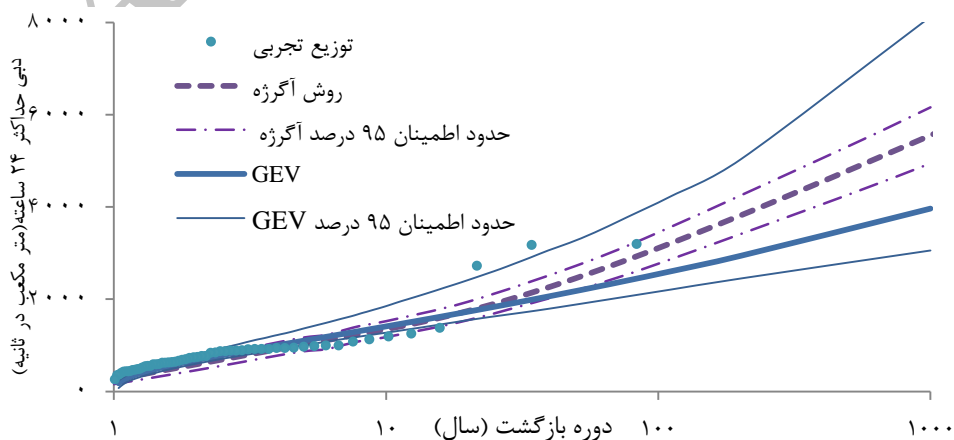
۱ فاقد آمار

جدول ۴. مقادیر پارامترهای مدل آگرزه

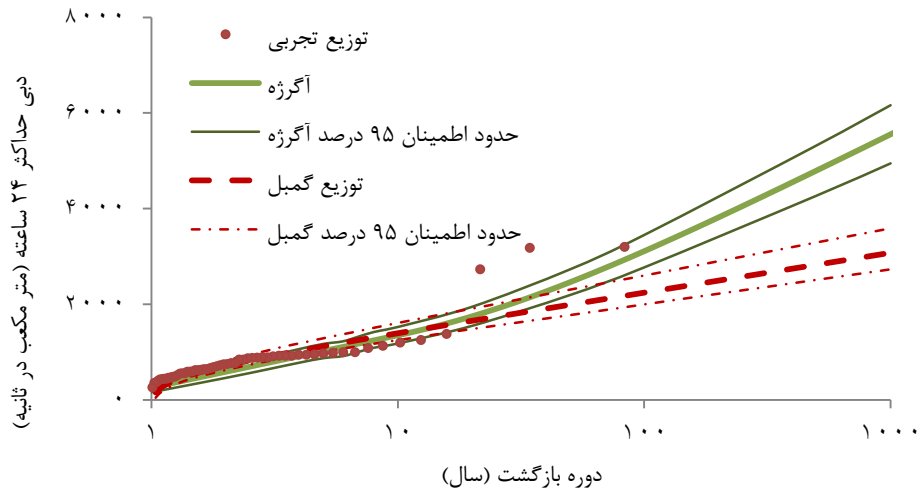
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
ap (m ³ /s)	۱۱۱۶/۷۷	NR(year)	۶۶
a _q (m ³ /s)	۴۷۵	NY(year)	۵۸
k _q	۱۳/۵۱	NF(year)	۵۸
Tg(year)	۱۰	Q(Tg) (m ³ /s)	۱۳۵۰/۷۳

جدول ۵. تاریخ و مقادیر بارش حداکثر ۲۴ ساعته در منطقه مورد مطالعه

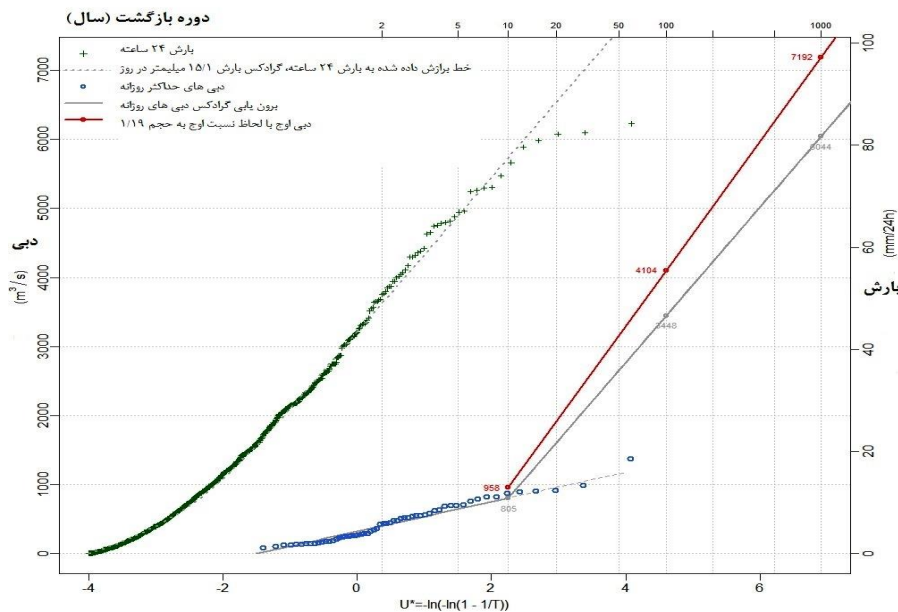
بارش حداکثر (mm)	تاریخ	بارش حداکثر (mm)	تاریخ	بارش حداکثر (mm)	تاریخ	بارش حداکثر (mm)	تاریخ
۸۲/۵	۲۰۰۲/۰۱/۰۷	۸۲/۲	۱۹۸۵/۱۲/۱۹	۲۸	۱۹۶۸/۰۱/۰۷	۳۹/۵	۱۹۵۱/۱۲/۱۸
۵۴/۳	۲۰۰۳/۰۴/۲۵	۶۷/۱	۱۹۸۶/۱۱/۳۰	۷۶/۶	۱۹۶۹/۰۱/۲۰	۶۴/۵	۱۹۵۲/۰۴/۲۲
۶۲/۶	۲۰۰۴/۰۱/۱۳	۶۳/۶	۱۹۸۷/۰۳/۰۳	۵۹/۸	۱۹۷۰/۱۲/۱۳	۷۱/۱	۱۹۵۳/۰۴/۲۲
۸۲/۸	۲۰۰۵/۰۳/۱۲	۵۹/۵	۱۹۸۸/۰۳/۰۴	۶۶	۱۹۷۱/۱۱/۱۸	۵۶/۶	۱۹۵۴/۱۱/۲۴
۱۰۷/۶	۲۰۰۶/۰۲/۰۹	۴۹/۳	۱۹۸۹/۱۲/۰۴	۷۱/۷	۱۹۷۳/۱۱/۰۴	۵۵/۳	۱۹۵۵/۰۴/۲۸
۶۶/۹	۲۰۰۷/۱۲/۰۷	۳۴/۹	۱۹۹۰/۰۳/۲۴	۴۱/۴	۱۹۷۳/۰۲/۲۲	۳۰/۹	۱۹۵۶/۱۲/۲۱
۳۳/۷	۲۰۰۸/۰۲/۲۸	۴۴/۲	۱۹۹۱/۱۲/۰۹	۸۰/۹	۱۹۷۴/۱۲/۰۵	۴۸/۹	۱۹۵۷/۰۲/۲۷
۳۸/۸	۲۰۰۹/۱۰/۳۱	۴۹/۷	۱۹۹۲/۰۲/۲۴	۷۱/۲	۱۹۷۵/۱۲/۲۳	۵۲/۴	۱۹۵۸/۰۱/۳۰
۲۷/۵	۲۰۱۰/۰۲/۰۴	۶۸/۸	۱۹۹۳/۰۲/۲۱	۴۲/۶	۱۹۷۶/۰۲/۱۰	۴۱/۷	۱۹۵۹/۰۳/۲۶
۵۶/۴	۲۰۱۱/۱۱/۲۰	۶۴/۹	۱۹۹۴/۱۱/۲۵	۷۰/۹	۱۹۷۷/۱۲/۱۴	۵۲	۱۹۶۰/۰۱/۰۳
۴۰/۹	۲۰۱۲/۱۲/۲۱	۲۹/۱	۱۹۹۵/۰۲/۰۵	۴۱/۹	۱۹۷۸/۱۲/۱۲	۶۴/۲	۱۹۶۱/۰۱/۲۱
۴۹/۱	۲۰۱۳/۱۲/۱۳	۴۹/۷	۱۹۹۶/۰۱/۰۶	۳۸/۷	۱۹۷۹/۰۱/۲۲	۴۸/۲	۱۹۶۲/۱۲/۱۰
۶۳/۳	۲۰۱۴/۰۳/۱۲	۶۶/۶	۱۹۹۷/۰۳/۲۹	۶۴/۳	۱۹۸۰/۰۱/۲۳	۵۳/۳	۱۹۶۳/۱۲/۳۱
۵۳/۲	۲۰۱۵/۰۳/۲۲	۳۴/۱	۱۹۹۸/۰۱/۱۲	۲۴/۷	۱۹۸۱/۰۲/۲۰	۸۴/۲	۱۹۶۴/۱۲/۱۳
۶۰/۱	۲۰۱۶/۰۴/۱۴	۶۲/۶	۱۹۹۹/۰۳/۲۵	۴۷/۵	۱۹۸۲/۰۱/۰۶	۷۹/۶	۱۹۶۵/۰۱/۱۳
		۷۴	۲۰۰۰/۱۲/۰۱	۵۵/۶	۱۹۸۳/۱۱/۱۴	۵۰/۱	۱۹۶۶/۰۲/۰۲
		۶۵/۱	۲۰۰۱/۱۲/۲۰	۳۱	۱۹۸۴/۱۱/۰۹	۲۴/۳	۱۹۶۷/۰۲/۱۲



شکل ۳. برآورد روش‌های آگرزه و توزیع مقادیر حدی به همراه توزیع تجربی دبی‌های حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف و حدود اطمینان ۹۵ درصد هر یک از آن‌ها



شکل ۴. برآورد روش‌های آگرزه و توزیع گمبل به همراه توزیع تجربی دبی‌های حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف و حدود اطمینان ۹۵ درصد هر یک از آنها



شکل ۵. برآورد دبی حداکثر ۲۴ ساعته و دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روش گرادکس

جدول باهم برابر است، به این معنی که وقتی خاک به اندازه کافی به وسیله بارش اشباع شود؛ بعد از این آستانه، تابع توزیع احتمال دبی با تابع توزیع احتمال بارش در دیاگرام گمبل موازی می‌شود و شیب این خط راست به عنوان گرادکس بارش در نظر گرفته می‌شود.

پس از جمع‌بندی، جدول (۶) نتایج اجرای روش‌های تحلیل فراوانی و هیدرو اقلیمی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه توزیع برازش داده شده به داده‌های دبی با دوره بازگشت کمتر از ۱۰ سال در روش گرادکس، توزیع گمبل می‌باشد، مقادیر دبی‌های حداکثر ۲۴ ساعته در این

در مقابل روش های گرادکس و آگرزه مطابق جدول (۷) می باشد. روش های هیدرو اقلیمی در هر سه معیار ارزیابی نسبت به روش های تحلیل فراوانی دارای مقادیر قابل قبول تری هستند.

نتایج ارزیابی مدل در دوره بازگشت های مختلف با استفاده از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب نش- ساتکلیف و ضریب کلینگ - گوپتا برای روش های تحلیل فراوانی گمبل و توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته

جدول ۶. مقایسه دبی حداکثر ۲۴ ساعته برآوردی با استفاده از روش های تحلیل فراوانی و هیدرو اقلیمی

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
آگرزه	۵۸۶/۲۵	۱۰۲۱/۴۹	۱۳۵۰/۷۳	۱۷۴۶/۵۳	۲۴۶۰/۵۲	۳۱۰۹/۰۲	۴۷۹۴/۶۴	۵۵۵۳/۹۴
GEV	۶۷۹/۳۷	۱۱۰۲/۳۰	۱۴۱۰/۸۱	۱۷۳۰/۰۷	۲۱۸۰/۱۶	۲۵۴۶/۹۹	۳۵۰۳	۳۹۶۵/۵۵
دبی (مترمکعب در ثانیه)	۷۱۲/۴۷	۱۱۲۱/۹۹	۱۳۹۳/۱۳	۱۶۵۳/۲۱	۱۹۸۹/۸۶	۲۲۴۲/۱۳	۲۸۲۵/۰۹	۳۰۷۵/۷۱
گمبل	۷۱۲/۴۷	۱۱۲۱/۹۹	۱۳۹۳/۱۳	۱۶۵۳/۲۱	۱۹۸۹/۸۶	۲۲۴۲/۱۳	۲۸۲۵/۰۹	۳۰۷۵/۷۱
گرادکس	۷۱۲/۴۷	۱۱۲۱/۹۹	۱۳۹۳/۱۳	۱۶۱۴/۹۴	۲۶۶۳	۳۴۴۸/۳۸	۵۲۶۳/۲۷	۶۰۴۳/۵۱

جدول ۷. نتایج ارزیابی روش های استفاده شده در تحقیق

معیار ارزیابی	RMSE	NSE	KGE
آگرزه	۴۰۷/۱۸	۰/۸۴	۰/۷۹
GEV	۵۶۶/۸۶	۰/۶۹	۰/۵۷
گمبل	۶۹۹/۲۳	۰/۵۳	۰/۴۵
گرادکس	۴۰۸/۹	۰/۸۴	۰/۸۷

۴. بحث و نتیجه گیری

برای برآورد سیل حداکثر به خصوص در مواقعی که از نتایج آن برای طراحی سازه های آبی استفاده می شود، نمی توان فقط با اتکای به آمار ایستگاه های آب سنجی طراحی ها را عاری از خطر دانست. از طرف دیگر، برداشت دبی در ایستگاه های آب سنجی دارای عدم قطعیت های زیادی است که می تواند ناشی از تغییر پروفیل رودخانه در محل ایستگاه یا محل نصب اشل، بعد از سیل های تاریخی و بزرگ باشد که منشأ عدم قطعیت در نتایج حاصله از روش های تحلیل فراوانی می گردد.

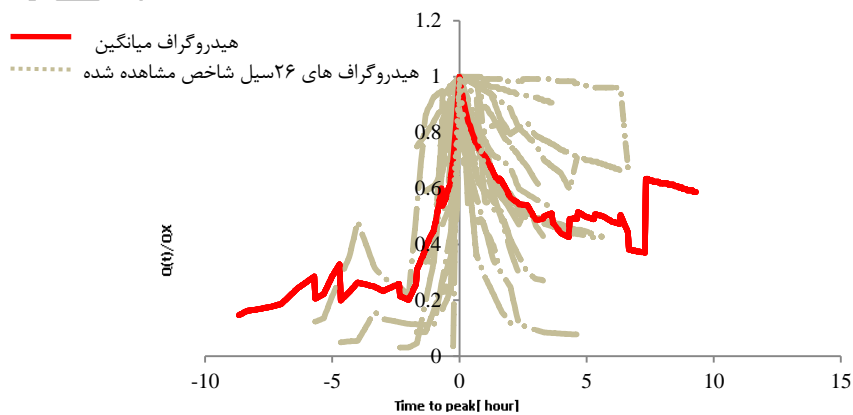
افت سطح آب در طی وقوع سیل های بزرگ ناشی از رگبارهای تند و دیر رسیدن متصدی در ایستگاه های غیر خودکار یکی دیگر از منابع عدم قطعیت در برآوردهایی است که صرفاً مبتنی بر داده های دبی است.

پس از محاسبه مقادیر دبی های حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت های مختلف با استفاده از مدل گرادکس، نسبت اوج به حجم ۲۶ رویداد سیل ساعتی ایستگاه تنگ پنج بختیاری با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه شد. با محاسبه میانگین نسبت اوج به حجم ۲۶ هیدروگراف جدول (۸) و با استفاده از رابطه (۱۶) تابع توزیع تجمعی دبی های اوج محاسبه شد که خط پیوسته تیره رنگ شکل (۵) مقادیر مربوط به دبی های اوج در دوره بازگشت های مختلف را نشان می دهد.

شکل (۶) مشخصات ۲۶ هیدروگراف شاخص سیل و هیدروگراف میانگین استفاده شده در این مرحله را نشان می دهد.

جدول ۸. مشخصات و حجم ۲۶ رویداد شاخص سیل در ایستگاه تنگ پنج بختیاری

شماره	تاریخ شروع	تاریخ پایان	دبی اوج [m ³ /s]	دبی حداکثر ۲۴ ساعته [m ³ /s]	نسبت اوج به حجم
۱	۲۰۰۹/۱۰/۳۱ ۰۰:۰۰	۲۰۰۹/۱۱/۰۶ ۱۶:۰۰	۲۳۳	۲۱۳/۶۳	۱/۰۹
۲	۲۰۰۹/۱۱/۱۸ ۰۰:۰۰	۲۰۰۹/۱۱/۲۰ ۲۳:۰۰	۱۲۳	۱۰۷/۰۳	۱/۱۵
۳	۲۰۰۹/۱۲/۰۱ ۰۰:۰۰	۲۰۰۹/۱۲/۰۲ ۲۳:۰۰	۲۴۰	۱۷۹/۷۹	۱/۳۳
۴	۲۰۰۹/۱۲/۰۸ ۰۰:۰۰	۲۰۰۹/۱۲/۱۲ ۲۳:۰۰	۱۴۴	۱۴۳/۸۸	۱
۵	۲۰۰۹/۱۲/۱۹ ۰۰:۰۰	۲۰۰۹/۱۲/۲۱ ۲۳:۰۰	۱۳۴	۱۳۲	۱/۰۲
۶	۲۰۱۰/۰۱/۲۶ ۰۰:۰۰	۲۰۱۰/۰۱/۲۹ ۲۳:۰۰	۱۶۷	۱۵۰/۷۱	۱/۱۱
۷	۲۰۱۰/۰۲/۰۴ ۰۰:۰۰	۲۰۱۰/۰۲/۱۱ ۲۳:۰۰	۲۸۷	۲۶۵/۱۷	۱/۰۸
۸	۲۰۱۰/۰۲/۲۵ ۰۰:۰۰	۲۰۱۰/۰۲/۲۸ ۲۳:۰۰	۱۶۲	۱۵۹/۷۹	۱/۰۱
۹	۲۰۱۰/۰۵/۰۲ ۰۰:۰۰	۲۰۱۰/۰۵/۰۹ ۲۳:۰۰	۴۴۰	۳۹۸/۰۸	۱/۱۱
۱۰	۲۰۱۰/۱۲/۱۲ ۰۰:۰۰	۲۰۱۰/۱۲/۱۷ ۰۸:۰۰	۲۲۱	۱۵۰/۱۰	۱/۴۷
۱۱	۲۰۱۱/۰۱/۱۵ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۰۱/۱۸ ۲۳:۰۰	۷۴/۲	۶۱/۱۵	۱/۲۱
۱۲	۲۰۱۱/۰۱/۲۷ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۰۲/۰۶ ۲۳:۰۰	۱۵۴	۱۴۸/۵۸	۱/۰۴
۱۳	۲۰۱۱/۰۲/۲۴ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۰۲/۲۴ ۲۳:۰۰	۸۶	۷۰/۵۲	۱/۲۲
۱۴	۲۰۱۱/۰۳/۰۱ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۰۳/۰۷ ۲۳:۰۰	۱۲۶	۱۲۵/۸۸	۱
۱۵	۲۰۱۱/۰۳/۰۹ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۰۳/۲۰ ۱۰:۰۰	۱۱۴۳	۱۰۰۳/۱۳	۱/۱۴
۱۶	۲۰۱۱/۰۴/۲۵ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۰۴/۳۰ ۲۳:۰۰	۲۱۷	۲۱۲/۵۰	۱/۰۲
۱۷	۲۰۱۱/۱۱/۱۶ ۰۰:۰۰	۲۰۱۱/۱۱/۲۴ ۲۳:۰۰	۴۴۵	۳۱۵/۴۶	۱/۴۱
۱۸	۲۰۱۲/۰۱/۱۲ ۰۰:۰۰	۲۰۱۲/۰۱/۱۲ ۲۳:۰۰	۴۵	۳۳/۷۵	۱/۳۳
۱۹	۲۰۱۲/۰۱/۳۱ ۰۰:۰۰	۲۰۱۲/۰۲/۰۶ ۲۳:۰۰	۵۳۵	۴۹۶/۷۱	۱/۰۸
۲۰	۲۰۱۲/۰۳/۱۷ ۰۰:۰۰	۲۰۱۲/۰۳/۱۸ ۲۳:۰۰	۷۸/۶	۶۸/۸۵	۱/۱۴
۲۱	۲۰۱۲/۰۴/۱۵ ۰۰:۰۰	۲۰۱۲/۰۴/۲۴ ۲۳:۰۰	۱۹۴	۱۶۹/۱۳	۱/۱۵
۲۲	۲۰۱۲/۱۲/۲۱ ۰۰:۰۰	۲۰۱۲/۱۲/۲۱ ۲۳:۰۰	۳۷۱	۲۰۴/۴۶	۱/۸۱
۲۳	۲۰۱۲/۱۲/۲۶ ۰۰:۰۰	۲۰۱۲/۱۲/۲۶ ۲۳:۰۰	۲۰۰	۱۴۵/۱۳	۱/۳۸
۲۴	۲۰۱۳/۰۱/۱۰ ۰۰:۰۰	۲۰۱۳/۰۱/۱۰ ۲۳:۰۰	۱۱۱	۷۴/۸۷	۱/۴۸
۲۵	۲۰۱۳/۰۱/۲۹ ۰۰:۰۰	۲۰۱۳/۰۲/۰۱ ۲۳:۰۰	۵۰۵	۴۴۸/۲۹	۱/۰۳
۲۶	۲۰۱۳/۰۵/۰۷ ۰۰:۰۰	۲۰۱۳/۰۵/۰۷ ۲۳:۰۰	۱۸۰	۱۵۴/۲۵	۱/۱۷
میانگین			۲۵۴/۴۵	۲۱۸/۱۹	۱/۱۹



شکل ۶. هیدروگراف ۲۶ رویداد شاخص سیل و هیدروگراف میانگین آن‌ها در ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج بختیاری

گرادکس کارایی بهتری برای برآورد دبی‌های حداکثر نسبت به سایر روش‌ها دارد که با نتایج [۸] مطابقت دارد. هرچند توزیع گمبل به‌عنوان توزیع مقادیر حدی برای محاسبه حداکثر سیل در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]؛ اما نتایج این تحقیق کمترین معیار ارزیابی را به این توزیع اختصاص داد. در نتیجه احتیاط لازم در به‌کارگیری این توزیع در طراحی سازه‌های آبی ضروری است.

نتایج مقایسه روش‌های تحلیل فروانی و هیدرو اقلیمی در این تحقیق با توجه به معیارهای سه‌گانه ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب نش-ساتکلیف و ضریب کلینگ - گوپتا به ترتیب روش‌های گرادکس، آگرزه، توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته و گمبل را واجد کارایی لازم برای برآورد دبی‌های حداکثر معرفی نمود.

در حوزه آبخیز بختیاری و ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج نیز متأسفانه به دلیل اینکه ایستگاه درجه‌دو بوده و فقط دارای اشل و تله فریک است، آمار ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج مستقر در رودخانه بختیاری و ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج مستقر در رودخانه سزار از طریق مسیر دسترسی تونل یک کیلومتری راه آهن شبکه ریلی تهران به جنوب توسط یک نفر متصدی برداشت می‌شود (شکل ۷). در نتیجه افت سطح آب در وقایع سیل دور از انتظار نیست. با توجه به این مطالب استفاده از آمار بارش که در اغلب موارد پایه زمانی بیشتری نسبت به داده‌های دبی دارد، راهکار مناسبی به نظر می‌رسد و نتایج جدول (۷) نشان داد روش‌های گرادکس و آگرزه برآوردهای قابل‌اطمینان‌تری دارد که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت داشت [۱۰، ۱۱]. در مجموع نتایج ارزیابی روش‌های مورد استفاده در این تحقیق نشان داد که روش



شکل ۷. موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی و راه‌های دسترسی به آن‌ها در منطقه (منبع: گوگل ارث ۲۰۱۷)

جزء داده‌های پرت به حساب می‌آید، ولی با بازدید از منطقه و پرس‌وجو از اهالی و مسئولین ایستگاه راه آهن منطقه تنگ پنج و تأیید این وقایع، بررسی شرایط مقادیر بارش ثبت‌شده سه روز قبل هر یک از این وقایع را ضروری نمود. با بررسی بارش و نسبت حجم بارش به حجم دبی که برای هر یک از وقایع به ترتیب ۱/۱۱، ۲/۲۲

مطلب قابل‌بحث دیگر اینکه هرچند حداکثر دبی ۲۴ ساعته سه رویداد سیل تاریخ‌های ۱۹۹۷/۰۳/۳۰، ۲۰۰۵/۰۳/۱۲ و ۲۰۰۶/۰۲/۰۹ با مقادیر به ترتیب ۳۱۷۶، ۲۷۲۵ و ۳۱۹۱ مترمکعب در ثانیه در هر یک از روش‌های گمبل و GEV که در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است؛ با اینکه روش‌های باکس پلات و دامنه میان چارکی

بارش تجمعی هر یک از وقایع به ترتیب ۱۳۱/۱، ۱۶۷/۱ و ۱۴۵/۶ میلی‌متر گزارش شده است.

و ۲/۴۷ می‌باشد و جدول (۹) که نشان‌دهنده میزان بارش سه روز قبل برای هریک از وقایع یادشده است، وقوع این رویدادهای سیل دور از انتظار نیست به طوری که مقادیر

جدول ۹. تاریخ‌ها و مقادیر بارش در روز وقوع سیل‌های شاخص و ۳ روز قبل از آن

تاریخ	بارش [mm/24h]	دبی [m3/s]	دبی [mm]	تاریخ	بارش [mm/24h]	دبی [m3/s]	دبی [mm]	تاریخ	بارش [mm/24h]	دبی [m3/s]	دبی [mm]
۱۹۹۷/۰۳/۲۷	۱۰/۹	۵۳۵	۷/۳۳	۲۰۰۵/۰۳/۰۹	۱	۷۰	۰/۹۴	۲۰۰۶/۰۲/۰۶	۰	۶۰۸	۸/۲۲
۱۹۹۷/۰۳/۲۸	۵/۳	۵۰۷	۶/۸۵	۲۰۰۵/۰۳/۱۰	۱۸/۶	۲۴۰	۳/۲۴	۲۰۰۶/۰۲/۰۷	۶/۹	۵۹۶	۸/۰۵
۱۹۹۷/۰۳/۲۹	۶۶/۶	۱۳۴۷	۱۶/۸۶	۲۰۰۵/۰۳/۱۱	۶۴/۷	۱۰۷۹	۱۴/۸۵	۲۰۰۶/۰۲/۰۸	۳۱/۱	۸۶۱	۱۱/۶۴
۱۹۹۷/۰۳/۳۰	۴۸/۳	۳۱۷۶	۴۲/۹۴	۲۰۰۵/۰۳/۱۲	۸۲/۸	۲۷۲۵	۳۶/۸۴	۲۰۰۶/۰۲/۰۹	۱۰۷/۶	۳۱۹۱	۴۳/۱۴
جمع	۱۳۱/۱	۵۴۶۵	۷۳/۸۹		۱۶۷/۱	۴۱۱۴	۵۵/۶۲		۱۴۵/۶	۵۲۵۶	۷۱/۰۶

ایران و با تأکید بر حدود اطمینان آن‌ها می‌تواند در سایر حوضه‌های کشور در شرایط اقلیمی متفاوت آزمون شده و مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به ارتباط پیچیده بین اجزای یک سیستم آبخیز و عوامل تأثیرگذار بر تولید رواناب و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، استفاده از یک مدل بارش-رواناب که بتواند شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت از کلیه پارامترهای دخیل در تولید رواناب به خصوص شرایط رطوبتی پیشین و رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های با رژیم برفی-بارانی را تولید کند، ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران و دفتر مطالعات به‌هم‌پیوسته حوضه کارون انجام شده است که به این وسیله از سرکار خانم کاپیان و آقای مهندس لطفی سپاسگزاری به عمل می‌آید.

با توجه به جدول (۶) مقادیر خطای نسبی در برآورد دبی حداکثر ۲۴ ساعته با روش‌های تحلیل فراوانی با افزایش دوره بازگشت افزایش خواهد یافت، به طوری که برای دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ به ترتیب ۷۷، ۱۹۱، ۳۰۴، ۶۷۸ و ۸۹۰ مترمکعب در ثانیه است و در نهایت نیاز به اطلاعات اضافی علاوه بر داده‌های آب‌سنجی را برای برآوردهایی با دوره‌های بازگشت بالاتر ضروری می‌نماید. استفاده از داده‌های بارش در روش‌های هیدرو اقلیمی گرادکس و آگرزه این خطای نسبی را بسیار ملایم‌تر می‌سازد که این موضوع نتایج سایر محققان را تأیید می‌کند [۴].

نکته قابل‌بحث دیگر اینکه حدود اطمینان در هر برآوردی جزء ابزارهایی است که سبب اعتماد بیشتر دستگاه‌های اجرایی به محققان و کارشناسان شده و می‌تواند در مواقع تصمیم‌گیری به خصوص در برآورد مقادیر حدی پدیده‌هایی مانند سیل اتخاذ تصمیم قبل از بروز بحران را آسان‌تر نماید. در این تحقیق استفاده از روش‌های هیدرو اقلیمی برای برآورد دبی حداکثر روزانه و دبی اوج بر اساس روش‌های آگرزه و گرادکس در شرایط

References

- [1] Garavaglia, F., Paquet, E., Lang, M. and Renard, B. 2012. Flood Risk Assessment in France: Comparison of Extreme Flood Estimation Methods (EXTRAFLO Project, Action 7). *Journal of Geophysical Research Abstracts*, 14(2).
- [2] Guillot, D. 1993. The arguments of the Gradex method: a logical support to assess extreme floods. *Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts*, July, Yokohama, Japan, 287–298.
- [3] Guillot, P. and Duband, D. 1967. La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. *Symposium International d'Hydrologie*, 15–22 Aout, Leningrad, Russia, pp. 560–569.
- [4] Hoseini, H., Abbaszadeh, M. and Khalegi, M. 2012. Flood frequency analysis based on hybrid regression method for providing regional flood model. *Iranian journal of natural resources*, 65(4), 495-506.
- [5] Hosking, J.R.M. and Wallis, J. 1997. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments* Cambridge University Press.
- [6] Klemes, vit. 2000. Tall tales about tails of hydrological distribution. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(3):227–231.
- [7] Lang, M. 1995. Confidence interval of quantile estimates of the Agregee Model. *National reports of national committees for the International hydrological programme*, September, Thessaloniki, Greece, pp 181-187.
- [8] Layan, B., Dridri, A., Benaabidate, L. and Zemzami, M. 2013. Determination of Design Floods by Aspects of Peak Flow and Flood Hydrograph in Watershed of Larbaâ River, Taza (Morocco). *Journal of Hydrogeology and Hydrologic Engineering*, 2(1), 1-6.
- [9] Miles, J. and Shevlin, M. 2001. *Applying Regression and Correlation: A Guide for Students and Researchers*, SAGE press, Thousand Oaks, Calif, USA.
- [10] Najmaee, M. 1990. *Engineering Hydrology*, University of Science and Technology press.
- [11] Naulet, R., Lang, M., Ouarda, T. and Coeur, D. 2005. Flood frequency analysis on the Ardeche River using French documentary sources from the last two centuries. *Journal of Hydrology*, 313(1), 58-78.
- [12] Paquet, E., Garavaglia, F., Garçon, R., and Gailhard, J. 2013. The SCHADEX Method: A Semi-Continuous Rainfall-Runoff Simulation for Extreme Flood Estimation. *Journal of Hydrology*, 495, 23-37.
- [13] Rosbjerg, D. and Madsen, H. 1995. Uncertainty Measures of Regional Flood Frequency Estimators. *Journal of Hydrology*, 167(4), 209-224.
- [14] Saghafian, B., Ghasemi, A. and Golyan, S. 2013. Flood frequency analysis by Rainfall-Runoff modeling and statistical distributions. *Iranian journal of soil and water research*, 44(1), 21-32.
- [15] Soltani, A., Behbahani, M.R. and Ghobadi, A. 2005. Comparison between some statistical distributions and Gradex model for flood estimation. M.Sc Thesis. University of Tehran.
- [16] Stedinger, J.R. and Lu, L.H. 1995. Appraisal of regional and index flood quantile estimators. *Journal of Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 9(1) 49-75.
- [17] Yazdani, M.R., Mahdavi, M. and vafakhah, M. 2009. Maximum flood discharge estimation for small watersheds. *Iranian journal of natural resources*, 59(2), 353-363.