



نتایج علاوه بر استفاده در سد جره، به برآورد سیلاب طرح سایر طرح‌های توسعه سدسازی درون حوزه‌ای و حوزه‌های آبخیز مجاور کمک می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فراوانی سیل، توزیع آماری، سد مخزنی جره، سیل طرح، آبنمود نمایه

## نقش بهنگام سازی سری آماری

### بر ارزیابی سیل طرح

(مطالعه موردی: سد مخزنی جره)

کازم حمادی<sup>۱</sup> و علی محمد آخوند علی<sup>۲</sup> و عبدالکریم بهنیا<sup>۳</sup>  
داود رضا عرب<sup>۴</sup>

#### مقدمه

موضوع ارزیابی سیلاب طرح از مدت‌ها پیش مورد بحث و مجادله علمی قرار گرفته است. این مسئله موضوعی دشوار، مهم و نگران کننده است. طرح ناقص سرریزها اغلب به دلیل برآوردهای نادرست سیلاب طرح می‌باشد. ایمنی آب‌سختی سد نیز، توسط کافی بودن ظرفیت سرریز برای خروج جریان سیل کنترل می‌شود. تحلیل‌های آماری سدهای تخریب شده جهان نشان می‌دهد که بسیاری از سدها به دلیل ظرفیت نامناسب سرریزها دچار زوال و تخریب شده‌اند [۳]. بیش از ۴۰ درصد سدهای تخریب شده دنیا به دلیل عدم توانایی سرریزهای آن‌ها در عبور جریان سیل می‌باشد [۱۰]. محاسبه سیل طرح سدهای بزرگ، یکی از مهمترین مراحل در مطالعات مهندسی سد محسوب می‌گردد. برای محاسبه سیل طرح روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که مهمترین این روش‌ها تحلیل فراوانی، تحلیل منطقه‌ای، مدل‌های بارش-رواناب، فرمول‌های تجربی، منحنی پوش سیلاب و استفاده از سیلاب‌های تاریخی می‌باشند [۳]. برآوردهای حاصل از نمونه‌های کوچک سیل می‌تواند عامل‌های نامعقول یا غیر واقعی داشته باشد. چنانچه در اثر تخریب ایستگاه آب‌سنجی در جریان یک سیلاب بزرگ داده‌های مفقود حاصل گردد، عدم برآورد داده مفقود می‌تواند لطمه مهمی به دقت تحلیل فراوانی وارد نماید. چنانچه انحراف معیار سری آماری زیاد و اندازه نمونه کوچک باشد این امر مضاعف می‌گردد [۱۵]. صدقی [۵] پژوهشی پیرامون ارزیابی و برآورد حداکثر بارش و سیلاب محتمل به منظور برآورد سیل طرح سرریز سد کارون ۳ را ارائه داد. ارزیابی به عمل آمده نشانگر تفاوت قابل توجه بین نتایج می‌باشد. دبی‌های اوج برآورد شده بین ۱۰۸۶۳ تا ۲۷۹۰۰ متر مکعب بر ثانیه و حجم سیلاب برای زمان پایه ۲۰ روزه بین ۵/۵ تا ۱۶ میلیارد متر مکعب بوده است. حوزه مورد پژوهش توسط ایشان و حوزه مورد مطالعه از نظر مکانی در مجاورت همدیگر بوده و به لحاظ بارش سالانه بسیار به همدیگر نزدیک هستند. اما تغییرپذیری بارش در حوزه رود زرد به مراتب بیشتر از حوزه سد مخزنی کارون ۳ می‌باشد. در هر حال مطالعه صدقی به کاهش دبی

#### چکیده

سیلاب طرح با استفاده از قوانین احتمال و داده‌های موجود، توسط تحلیل فراوانی قابل برآورد می‌باشد. طول سری آماری کوتاه و یا داده مفقود موجب بروز عدم قطعیت‌های برون‌یابی برآورد مناسب سیلاب طراحی می‌گردد. پس از انجام مطالعات سد مخزنی جره در رامهرمز؛ سیلاب‌های بزرگ و در حد دبی طراحی سرریزهای آن به وقوع پیوسته است. اعمال این داده‌ها در سری سیلاب باعث تغییرات قابل توجهی در سیلاب طرح شده است. هدف این پژوهش برآورد و ارزیابی سیلاب طرح سرریزهای سد مخزنی جره بر مبنای تکمیل سری آماری سیل در فاصله زمانی طراحی تا تدوین این مقاله می‌باشد. در این پژوهش ابتدا داده‌های مفقود و مشکوک سری آماری حداکثر لحظه‌ای سیلاب، تکمیل و اصلاح گردید. سپس از روش تحلیل فراوانی به منظور برآورد دبی‌های اوج استفاده شد. جهت تعیین آبنمود سیلاب و سیل طرح از روش نمایه سیلاب استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که افزایش اندازه نمونه آماری سیلاب، علاوه بر تغییر نوع توزیع آماری داده‌ها، مقادیر برآوردی سیلاب را به شدت تحت تاثیر گذاشته است. در این مطالعه دبی اوج سرریزها تا حد ۹۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. عمده اختلاف، به افزایش تعداد مشاهدات و بزرگی وقایع سیلاب به وقوع پیوسته بعد از دوره طراحی سد بر می‌گردد.

۱- دانشجوی دکتری هیدرولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز-

hemmadi.kazem@gmail.com

۲- استادیار دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- استادیار دانشکده مهندسی آب دانشگاه تهران

طرح منجر شده است. بررسی سیلاب رودخانه‌هایی که دارای دوره آماری بیش از ۵۰ سال بوده‌اند نشان از وقوع سیل بسیار بزرگ تر از سیلاب مشاهده‌ای اولیه دارند. تاثیر داده‌های بهنگام بر سیلاب‌های محاسباتی در مقایسه با برآوردهای قبلی از سری محدود، تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهند. برای مثال در رودخانه پروس<sup>۱</sup> در آمریکا با حوزه آبریزی به وسعت ۹۱۰۰۰ کیلومتر مربع در ۵۳ سال اول دوره آماری بزرگ‌ترین سیلاب لحظه‌ای ثبت شده ۳۲۸۵ متر مکعب بر ثانیه بود اما در سال ۱۹۵۴ رگبار مهمی در پایین دست حوزه رخ داد که منجر به سیلابی با دبی اوج ۲۶۸۵۰ مترمکعب بر ثانیه شده است [۱۶].

بایی و همکاران [۷]، اونوز و بایزیت [۱۹] ضمن استفاده از تحلیل فراوانی سیل دریافتند؛ مواقعی که حجم نمونه سیلاب کم باشد برای انتخاب و تمیز توابع توزیع احتمالاتی از همدیگر مشکل جدی پیش می‌آید. در دسترس بودن داده‌ها یکی از جنبه‌های مهم تحلیل فراوانی سیل می‌باشد. هاسکینگ و والیس [۱۳]، سینگ [۲۴]، راثو و حامد [۲۰]، گریفیس و استیدنگر [۱۲] تحلیل فراوانی سیلاب را به طور جامع مورد بررسی و استفاده قرار داده‌اند. این پژوهشگران تاکید دارند: احتمال وقوع سیلاب حدی یک برون‌یابی بر اساس داده‌های محدود می‌باشد. بنابراین هر چه اندازه نمونه بیشتر باشد صحت برآوردها مناسب‌تر خواهد بود. اکثر مطالعات، رخدادهای سیل را فقط توسط دبی اوج و یا حداکثر دبی روزانه بررسی می‌کنند. البته فرو و پرتو [۱۱] بر سهولت و برتری استفاده از دبی حداکثر لحظه‌ای سیل سالانه به جای حداکثر دبی سیل روزانه تاکید دارند. داشتن اطلاع در خصوص دبی اوج سیلاب لازم بوده اما کافی نیست. بنابراین لازم است ویژگی‌های سیل نه تنها توسط دبی اوج بلکه توسط حجم و تداوم آن نیز تعریف گردد [۱۶]. در این زمینه فقط تعداد معدودی از پژوهشگران این امر را مورد نظر قرار داده‌اند. به عنوان مثال جاوال و همکاران [۱۷] برای دست‌یابی ویژگی‌های سیلاب‌ها از دو روش تحلیل دبی اوج - حجم و دبی اوج - تداوم - فراوانی<sup>۲</sup> (QDF) استفاده نموده‌اند. تفاوت روش دوم با روش دبی اوج - حجم، در مقدار "تداوم" است که به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه "تداوم" به عنوان یک عامل ثابت منظور می‌گردد. تحلیل QDF مشابه با تحلیل شدت - تداوم - فراوانی (IDF) بارش است که به طور معمول برای دست‌یابی به باران طرح بکار برده می‌شود. البته تحلیل‌های QDF علیرغم توانمندی قوی آن نسبت به IDF کمتر مورد استفاده واقع شده است. نتایج این مدل (QDF) برای یک مطالعه موردی شامل ۱۵۸ حوزه واقع در نواحی کبک و انتاریو<sup>۳</sup> کانادا استفاده شد [۱۶]. کمبود ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوزه‌های آبریز کشور و محدودیت طول دوره آماری امکان بکارگیری این روش‌ها را کاهش داده است. ساندر [۲۲]، پژوهشی به منظور مقایسه

4- Paleo Hydrology

5- Angermanalven River

۶- رسوبات وارو (varve) ته نشست‌های رسوبی با لایه‌های مجزای سالانه هستند که تحت شرایط بی‌هوازی در دریاچه‌ها و محیط‌های دریایی و مصب رودخانه‌ها تشکیل می‌شوند.

7- Kansas City

۱- Peros River  
2- Flood-Duration-Frequency  
3- Quebec and Ontario

۱۲

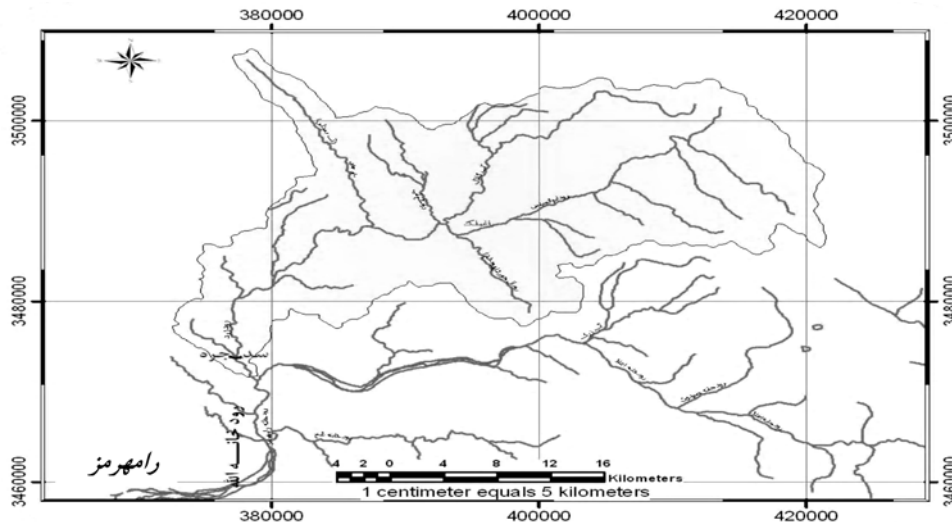
مبنای تکمیل سری آماری سیلاب در فاصله زمانی طراحی تا تدوین مقاله و مقایسه آبنمود طراحی پیشین و جدید ورودی به سد مخزنی جره می باشد. این امر در تبیین سیاست های کاربردی و عملی برای بهره برداری از سد و مدیریت سیلاب کمک می نماید.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی جره بر روی رودخانه رودزرد در ۲۰ کیلومتری شمال شرقی رامهرمز (استان خوزستان) احداث شده و در شرف بهره برداری است. این سد با حجم مخزن ۱۸۰ میلیون مترمکعب در بالادست شبکه آبیاری، سد انحرافی و شهر رامهرمز قرار دارد. بهره برداری از سد علاوه بر تامین نیاز شبکه آبیاری و زهکشی رامهرمز و تولید انرژی برقی، به منظور کاهش سیلاب پایین دست نیز صورت می گیرد [۶]. رودخانه رودزرد از دامنه های شرقی سفیدکوه و کوه منگشت واقع در شمال شرقی شهرستان رامهرمز سرچشمه می گیرد و پس از طی مسیر حدود ۸۵ کیلومتر در محلی به نام ماشین به رودخانه اعلاء ملحق شده و در این محل سامانه رودخانه ای الله را تشکیل می دهند. وسعت، محیط و ضریب گراولیوس حوزه به ترتیب حدود ۸۸۹ کیلومتر مربع، ۱۹۴ کیلومتر و ۱/۸۳ می باشد. ارتفاع متوسط و میانه حوزه ۱۲۰۰ و ۸۹۰ متر از سطح دریاست. شیب متوسط حوزه و آبراهه اصلی نیز به ترتیب ۳۱ و ۳/۵ درصد می باشد. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه را نشان می دهد.

اولیه برای دوره های بازگشت ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله به ترتیب برابر ۲۱۸۰ و ۳۶۲۰ متر مکعب بر ثانیه می باشد در صورتی که سیلاب های حادث شده در فاصله طراحی تا احداث سد در تاریخ ۱۳۷۲/۸/۲۰ و ۱۳۷۷/۱/۹ به ترتیب ۲۱۵۸ و ۳۷۶۳ متر مکعب بر ثانیه می باشد. چنانچه صحت این دو واقعه پذیرفته شود این امر بدین معنا خواهد بود؛ که در یک دوره متوالی ۵ ساله سیلاب ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله به وقوع پیوسته است. بر اساس قوانین حاکم بر احتمال وقوع این دو واقعه در فاصله زمانی کوتاه ۵ ساله بسیار ناچیز و در حد ۲/۵ در میلیون می باشد [۱۸، ۲۱]. زمان انتقال آبنمود سیل از محل سد تا دشت و شهرستان رامهرمز کم می باشد. این زمان برای دبی ۲۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه حدود ۳ ساعت است و با وجود سیلاب های شاخه اعلاء و تلخ در کل سامانه رودخانه الله این مسئله تشدید می گردد [۲]. لازم به ذکر است دو واقعه سیل ۱۳۷۷ و ۱۳۷۲ از بین سری آماری ۳۶ ساله ثبت شده، دارای رتبه های اول و دوم هستند. در سال آبی ۶۹-۱۳۶۸ نیز سیل بزرگی حادث شده و منجر به تخریب ایستگاه آب سنجی گردیده است. تخریب ایستگاه و پل رودزرد در این واقعه، دلالت بر بزرگی این سیل و قابل توجه بودن آن در سری آماری می باشد. با توجه به اهمیت سه واقعه (با بیشترین مقادیر در سری ۳۶ ساله)، نمی توان به سادگی آن ها را از سری آماری حذف نمود بلکه باید با جدیت به توجیه مقادیر کمی آن ها پرداخت. افزایش حجم نمونه آماری و داده های نادر سیل، باعث افزایش دقت برآوردها، احتمال تغییر نوع تابع توزیع آماری و تأثیر بر مقادیر سیل در دوره بازگشت های



شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز رودخانه رودزرد و سد مخزنی جره

### روش پژوهش

برای دسترسی به هدف پژوهش از روش تحلیل فراوانی به دلیل تناسب و تکامل مبانی نظری آن استفاده شد. تحلیل فراوانی شامل مراحل است که در آن ها با استفاده از دبی های حداکثر لحظه ای به

مختلف دارد. بنابراین مطالعه این موضوع و روشن نمودن تغییر یا عدم تغییر نوع توزیع و مقادیر واقعی تر سیل طرح از ملزومات مطالعات هیدرولوژیکی و پایداری سد جره خواهد بود. هدف اساسی این پژوهش برآورد و ارزیابی سیلاب طرح سد مخزنی بر

جدول ۱- دبی حداکثر لحظه‌ای مشاهده‌ای دوره آماری ۸۵-

۱۳۴۹ رودخانه رودزرد در ایستگاه ماشین \*

ردیف	سال آبی	اشل (cm)	دبی (m <sup>3</sup> /s)	ردیف	سال آبی	اشل (cm)	دبی (m <sup>3</sup> /s)
۱	۴۹-۵۰	۳۵۶	۶۰۲	۱۹	۶۷-۶۸	۱۷۰	۷۴
۲	۵۰-۵۱	۲۱۰	۲۴۱	۲۰	۶۸-۶۹	۱۰۶۵	***
۳	۵۱-۵۲	۲۶۷	۳۴۵	۲۱	۶۹-۷۰	۳۸۰	۶۹۸
۴	۵۲-۵۳	۲۷۰	۳۲۲	۲۲	۷۰-۷۱	۳۶۰	۶۲۴
۵	۵۳-۵۴	۴۲۰	۶۸۱	۲۳	۷۱-۷۲	۴۷۴	۱۰۶۶
۶	۵۴-۵۵	۳۸۰	۶۸۱	۲۴	۷۲-۷۳	۶۶۳	۲۱۵۸
۷	۵۵-۵۶	۳۸۰	۵۱۴	۲۵	۷۳-۷۴	۳۵۸	۵۰۲
۸	۵۶-۵۷	۵۹۰	۷۷۲	۲۶	۷۴-۷۵	۳۱۰	۳۰۰
۹	۵۷-۵۸	۴۵۰	۷۹۰	۲۷	۷۵-۷۶	۲۸۰	۱۵۰
۱۰	۵۸-۵۹	۵۲۰	۹۵۰	۲۸	۷۶-۷۷	۸۰۰	۳۷۶۳
۱۱	۵۹-۶۰	۲۶۰	۲۶۴	۲۹	۷۷-۷۸	۳۵۰	***
۱۲	۶۰-۶۱	۳۸۶	۴۱۰	۳۰	۷۸-۷۹	۳۳۷	۱۶۰
۱۳	۶۱-۶۲	۳۶۵	۳۳۶	۳۱	۷۹-۸۰	۳۶۰	۲۰۷
۱۴	۶۲-۶۳	۳۵۸	۳۱۶	۳۲	۸۰-۸۱	۳۳۰	۳۳۰
۱۵	۶۳-۶۴	۴۱۰	۴۶۶	۳۳	۸۱-۸۲	۳۲۰	۲۸۸
۱۶	۶۴-۶۵	۳۸۰	۳۷۳	۳۴	۸۲-۸۳	۴۴۰	۴۲۷
۱۷	۶۵-۶۶	۵۸۳	۱۱۹۹	۳۵	۸۳-۸۴	۳۵۰	۳۰۰
۱۸	۶۶-۶۷	۴۶۰	۷۸۱	۳۶	۸۴-۸۵	۲۰۰	۲۳۰

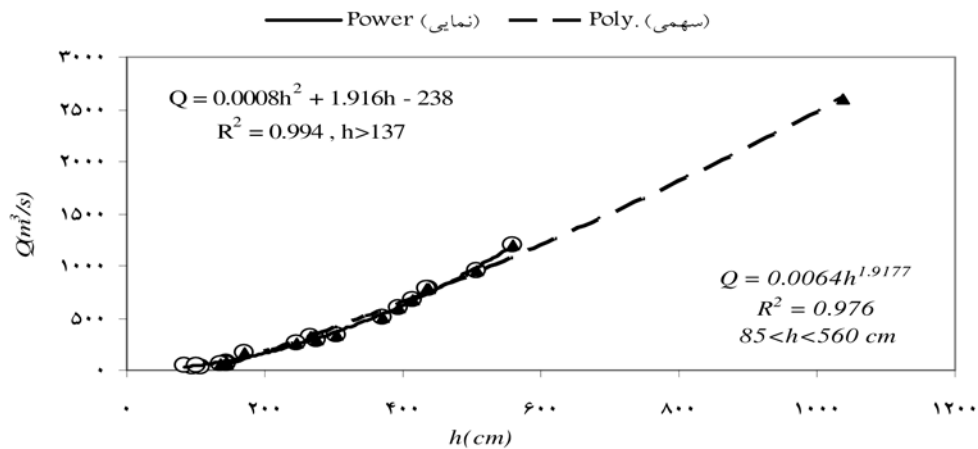
\*: آمار از بایگانی فنی مطالعات آبهای سطحی سازمان آب و برق خوزستان اخذ شده است.

\*\*\*: این سال فاقد آمار می باشد. زیرا ایستگاه در اثر سیل تخریب شده بود.

تصادفی بودن، استقلال و داده‌های پرت انجام شد. سپس تحلیل فراوانی و میزان انطباق توزیع‌های مختلف آماری بر سری داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از نرم افزار تحلیل فراوانی هیدرولوژیکی هیفا ۹ صورت گرفت. برای این منظور از توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، گاما دو پارامتری، پیرسون تیپ III، لوگ پیرسون تیپ III و گامبل استفاده شد. برآورد پارامترهای توزیع از دو روش گشتاور و حداکثر

عنوان یک متغیر مستقل از زمان و با استفاده از قوانین احتمالاتی می توان سیلاب طرح را از طول دوره آماری موجود برآورد نمود [۲۰]. به طور کلی، تحلیل فراوانی بررسی احتمالی متغیر تصادفی سیل است که شامل، جمع آوری نمونه (دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه)، تکمیل داده‌های نمونه، آزمون آماری، انتخاب توزیع مناسب آماری (تابع چگالی  $f(x)$  یا تابع توزیع  $F(x)$  برآورد عامل‌های تابع چگالی، آزمون‌های مورد نیاز برای برازش تابع چگالی و انتخاب بهترین تابع و بالاخره محاسبه دوره برگشت سیل می باشد.

قبل از پرداختن به چگونگی استخراج داده‌ها و برآوردهای سیل، آبدهی متوسط ماهانه داده‌ها در سری مطالعه پیشین و سری بهنگام شده در این پژوهش مورد مقایسه قرار گرفتند. به منظور برآورد مقادیر سیل، در مطالعات پیشین از آمار و اطلاعات ایستگاه رودزرد ماشین که در نزدیکی پایین دست محل سد واقع شده، استفاده گردید. محاسبات مطالعه پیشین بر اساس دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در فاصله سال‌های آبی ۶۱-۱۳۴۹ از دفتر بررسی‌های منابع آب وزارت نیرو (تعداد ۱۲ واقعه)، سال‌های ۶۵-۱۳۶۱ بر اساس اطلاعات دریافتی از سازمان آب و برق خوزستان (تعداد ۴ واقعه) و آمار بازسازی شده سال‌های ۴۹-۱۳۳۶ (تعداد ۱۳ واقعه) می باشد [۶]. پژوهش حاضر بر اساس دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در سازمان آب و برق خوزستان به تعداد ۳۶ مشاهده انجام گرفته است. داده‌های استفاده شده مورد نقد، بررسی، اصلاح، آزمون و تحلیل قرار گرفتند. بدین منظور تمام داده‌های مشاهداتی حداکثر سالانه، آنمودهای سیل و منحنی‌های دبی - اشل مورد بررسی قرار گرفت. دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و اشل متناظر آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در سری ۳۶ ساله تعداد ۲ واقعه مفقود و تعداد ۴ واقعه مشکوک بوده است (جدول ۲). تراز سطح آب وقایع مفقود، اندازه گیری شده و در دسترس است. مشکوک بودن داده‌ها به دلیل عدم همخوانی رواناب خالص ناشی از وقایع بارش آن‌ها و یا زوج دبی - اشل متناظر می باشد. به منظور تکمیل داده‌های مفقود و مشکوک از دو رابطه دبی - اشل استفاده شد. رابطه اول با استفاده از سری اندازه گیری‌های دبی با مقادیر بالا و سیلابی استخراج شده اند. با توجه به اینکه دامنه مشاهدات بکار رفته در این رابطه بین ۳۵ تا ۱۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه بوده اند، دامنه اعتبار آن نیز در این حد منظور و استفاده شد. لازم به ذکر است که اندازه گیری‌ها به تعداد ۲۰ مورد در سال‌های مختلف انجام شده بود که با توجه به تغییرات مقطع اشل‌های مورد استفاده به یک مرجع انتقال داده شد. در ادامه به منظور استخراج رابطه دوم، دبی‌های پایین حذف و بالاترین نقطه منحنی توسط برون‌یابی از طریق روش مانینگ برآورد گردید. اضافه می شود که در رابطه مانینگ تمام عوامل هندسی دخیل در رابطه مانینگ برداشت شده بودند و ضریب زبری از طریق بالاترین مشاهده مستقیم برآورد گردید. منحنی‌ها و روابط دبی - اشل مورد استفاده در شکل (۲) نشان داده شده است. در این پژوهش ضمن تکمیل و بررسی صحت آمار، آزمون‌های آماری لازم شامل



شکل ۲- روابط دبی- اشل در ایستگاه آب سنجی رودزرد ماشین

اساس توزیع برتر اقدام به تعیین سیلاب با دوره بازگشت های مختلف گردید. جهت تعیین آنمود سیلاب و سیل طرح از روش نمایه سیلاب ۱۱ استفاده شد. روش نمایه سیلاب برای تحلیل سیلاب های ثبت شده در ایستگاه آب سنجی کاربرد دارد. در این رابطه وجود تعداد کافی آنمود سیلاب حداکثر سالانه ضروری است. در این شیوه، آنمودهای سیلاب سالانه در طول دوره آماری، مبنای تعیین آنمود سیلاب طرح قرار گرفت. بدین ترتیب که ابتدا تمام آنمودهای سیلاب حداکثر سالانه ثبت شده از آمار و وقایع تاریخی استخراج و آنمودهای غیر متعارف حذف و آنمودهای ناقص تکمیل شد. جهت تکمیل آنمودهای ناقص از روش گرافیکی، ترسیم دبی روزانه و یا دبی نیم روزه (۱۲ ساعته) در زمان ابتدا و خاتمه سیلاب استفاده شد. با ترسیم آنمود روزانه روی آنمود ساعتی به صورت پله ای آنمودها به شکل مناسبی تکمیل و اصلاح شده اند. در مرحله بعد پس از ترسیم و بررسی مشخصات آنمودها شامل دبی اوج، زمان اوج، دبی پایه و زمان پایه از آن ها تعداد ۹ سیلاب مشاهده ای انتخاب گردید. در مطالعات پیشین به منظور محاسبه آنمود نمایه سیل از تعداد ۵ مشاهده استفاده شده بود. مشخصات سیلاب های منتخب جهت تهیه آنمود نمایه مطالعات پیشین و پژوهش حاضر به ترتیب در جداول (۳) و (۴) منعکس شده است. مشخصات سیلاب ها مربوط به زمان وقوع، دبی اوج و حجم سیل می باشند. در ادامه کار با متوسط گیری از اجزاء متناظر آنمودها

درست نمایی صورت می گیرد [۹]. بهترین توزیع آماری منطبق بر داده ها، براساس حداقل مقدار میانگین انحرافات نسبی مقادیر مشاهده ای دبی حداکثر لحظه ای و مقادیر محاسبه آن در توزیع، میانگین مربع انحرافات نسبی، آماره مربع کای ۱۰ و مقایسه برازش توزیع بر داده های مشاهده ای انتخاب گردید [۴، ۹]. در ادامه کار بر

جدول (۲): دبی های حداکثر لحظه ای ناقص و مشکوک به همراه مقادیر اصلاح شده

سال آبی	اشل (cm)	شیفت (cm)	دبی مشاهداتی (m³/s)	دبی محاسباتی (m³/s)
۱۳۵۶-۵۷	۵۹۰	-۱۰	۷۷۲	۱۱۴۲
۱۳۶۸-۶۹	۱۰۵۶	-۲۷	مفقود	۲۵۹۴
۱۳۷۱-۷۲	۴۷۴	-۳۱	۱۰۶۶	۷۶۱
۱۳۷۲-۷۳	۶۶۳	-۳۳	۲۱۵۸	۱۲۸۶
۱۳۷۶-۷۷	۸۰۰	-۳۹	۳۷۶۳	۱۶۸۳
۱۳۷۷-۷۸	۳۵۰	-۴۰	مفقود	۳۸۴

جدول ۳- مشخصات سیلاب های مشاهداتی به منظور محاسبات آنمود بارز (سری اولیه)

ردیف	تاریخ وقوع	دبی اوج (m³/s)	حجم (mcm)	ردیف	تاریخ وقوع	دبی اوج (m³/s)	حجم (mcm)
۱	۱۳۵۰/۰۱/۱۷	۱۰۵	۵/۶۹	۴	۱۳۵۴/۱۰/۲	۱۳۶	۱۵
۲	۱۳۵۱/۰۱/۲۴	۱۱۰	۹/۸۸	۵	۱۳۵۶/۰۹/۲۴	۱۳۶	۱۰/۴
۳	۱۳۵۰/۱۰/۱	۴۰۶	۲۷/۸	آنمود نمایه			

جدول ۴ - مشخصات سیلاب‌های مشاهداتی به منظور محاسبات آبنمود بارز (سری بهنگام شده)

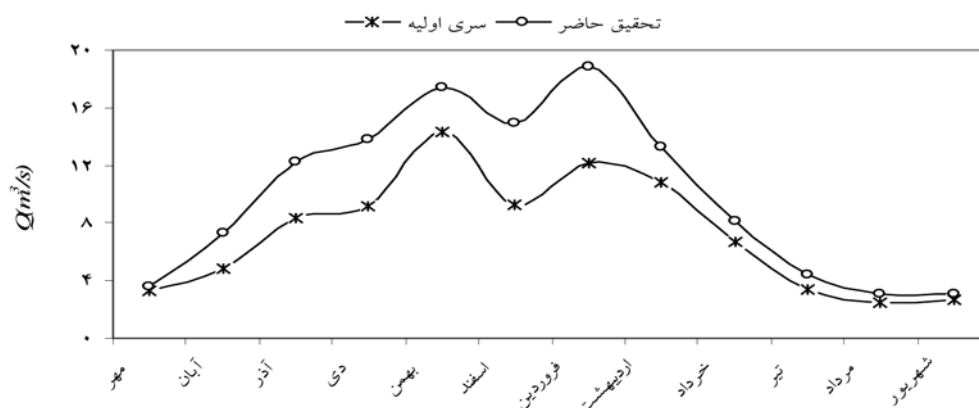
ردیف	تاریخ وقوع	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم (mcm)	ردیف	تاریخ وقوع	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم (mcm)
۱	۱۳۵۸/۱۱/۳	۹۵۰	۴۰/۶	۶	۱۳۶۶/۱۰/۳	۷۸۱	۱۹/۸
۲	۱۳۶۱/۱۱/۴	۳۳۶	۱۱/۲	۷	۱۳۶۹/۱۲/۱۴	۶۹۸	۳۲/۹
۳	۱۳۶۳/۰۱/۲	۳۱۶	۱۰/۹	۸	۱۳۷۷/۰۱/۹	۱۶۸۳	۷۰/۴
۴	۱۳۶۵/۰۹/۲۸	۱۱۹۹	۳۹/۱	۹	۱۳۷۸/۱۱/۲۵	۱۶۰	۴/۵
۵	۱۳۶۵/۱۲/۱۳	۴۳۸	۱۶/۲	آبنمود نمایه			۲۷/۳

و تقسیم عرض‌ها بر دبی اوج، آبنمود نمایه بی‌بعد استخراج گردید. با داشتن مختصات آبنمود نمایه بی‌بعد و دبی اوج با دوره بازگشت‌های مختلف حاصل از تابع توزیع برتر، مشخصات آبنمود سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. در نهایت حجم آبنمودها برای تداوم زمان پایه آبنمود محاسبه گردید. پس از کسر حجم دبی پایه آبنمودها، رواناب خالص از تقسیم حجم آبنمود با دوره بازگشت‌های مختلف بر سطح حوزه تعیین شد.

#### نتایج و بحث

بررسی داده‌های جمع‌آوری شده برای این پژوهش نشان داد که در فاصله زمانی طراحی سد تا تدوین این پژوهش تعداد ۱۸ واقعه هیدرولوژیکی حدی ثبت شده، تعداد ۱۸ سال آمار آبدهی در مقیاس روز و ساعتی برای روزهای سیلابی تولید شده است که این امر به دقت برآوردها و عامل‌های محاسبه شده کنونی منجر گردید. گرچه بحث در خصوص آبدهی متوسط ماهانه و سالانه موضوع این پژوهش نیست اما جهت روشن شدن اختلاف دو سری آماری استفاده شده اولیه و بهنگام شده مفید و سودمند می‌باشد. شکل (۳)

وجه اختلاف این دو سری را به خوبی نشان می‌دهد. آبدهی متوسط سالانه ورودی به مخزن در زمان طراحی برابر ۷/۳۰ مترمکعب بر ثانیه معادل ۲۳۰ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شده است. پژوهش حاضر این رقم را حدود ۱۰ مترمکعب بر ثانیه معادل ۳۱۵ میلیون مترمکعب در سال نشان می‌دهد. با این حساب آبدهی ورودی به مخزن سد به میزان ۸۵ میلیون مترمکعب افزایش نشان می‌دهد. افزایش مزبور برابر ۳۷ درصد حجم سالانه ورودی به مخزن محاسبه شده در مطالعات پیشین می‌باشد. این حجم آب، معادل آب مورد نیاز حدود ۶۲۰۰ هکتار از اراضی دشت رامهرمز با الگوی کشت و راندمان طراحی ارایه شده اولیه می‌باشد. بیش‌ترین درصد افزایش آبدهی ناشی از ماه‌های پر آب سال و متأثر از روزهای سیلابی است. دبی اوج با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه و به همراه دبی‌های اوج استخراج شده از مطالعات پیشین و در جدول (۵)، برای مقایسه ارایه شده است. مقادیر دبی اوج در دوره بازگشت‌های پایین‌تر از ۲۵ سال، در تمام توابع توزیع احتمالاتی نزدیک به هم برآورد شدند. اما اختلاف نتایج حاصل از توابع در دبی با دوره بازگشت‌های بالا پیش آمده است. میزان انطباق توزیع‌های مختلف



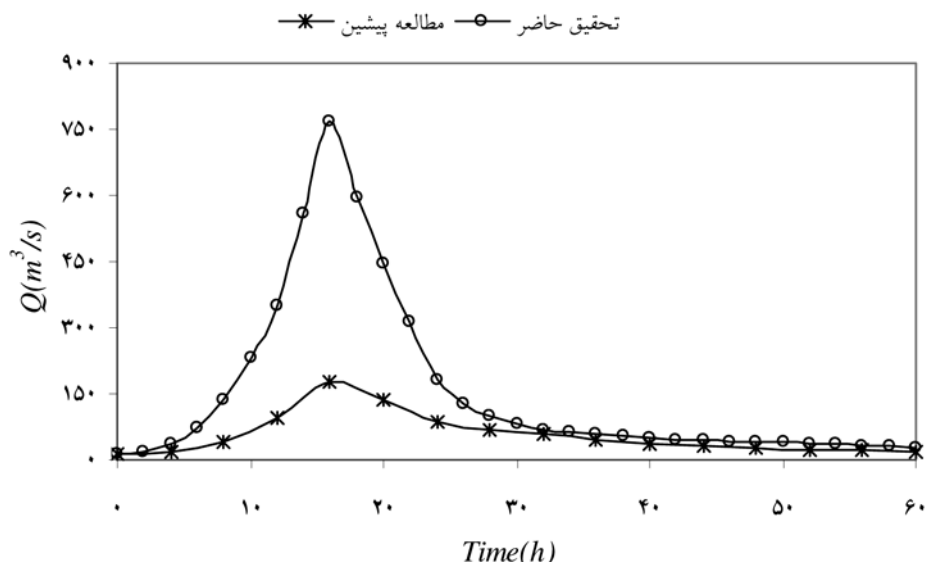
شکل ۳ - مقایسه سری‌های آبدهی ماهانه ورودی به مخزن سد جره

جدول (۵): تحلیل سیلاب رودخانه رودزرد در محل سد مخزنی جره در مطالعات پیشین و سری بهنگام شده (دی به متر مکعب بر ثانیه)

		دوره بازگشت (سال)										توزیع آماری
	روش	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۲			
۳۶۲۰	لوگ پیرسون تیپ ۳*	۲۱۸۰	-	-	۱۲۲۰	-	-	۶۲۰	-			
۲۴۳۴	نرمال	۲۱۲۳	۲۰۱۸	۱۸۶۹	۱۷۴۵	۱۶۱۰	۱۴۶۱	۱۲۲۹	۵۹۵			
۲۴۳۴		حد اکثر درست نمایی	۲۱۲۳	۲۰۱۸	۱۸۶۹	۱۷۴۵	۱۶۱۰	۱۴۶۱	۱۲۲۹	۵۹۵		
۶۷۷۹	لوگ نرمال دو پارامتری**	۴۲۹۸	۳۶۸۵	۲۹۶۰	۲۴۷۰	۲۰۲۷	۱۶۲۷	۱۱۵۸	۴۵۷			
۶۷۷۹		حد اکثر درست نمایی	۴۲۹۸	۳۶۸۵	۲۹۶۰	۲۴۷۰	۲۰۲۷	۱۶۲۷	۱۱۵۸	۴۵۷		
۵۹۴۱	لوگ نرمال سه پارامتری	۳۹۵۹	۳۴۴۹	۲۸۳۱	۲۴۰۳	۲۰۰۵	۱۶۳۷	۱۱۸۹	۴۶۷			
۶۷۰۴		حد اکثر درست نمایی	۴۲۶۳	۳۶۵۹	۲۹۴۳	۲۴۵۹	۲۰۲۱	۱۶۲۵	۱۱۵۹	۴۶۰		
۴۴۳۷	گاما دو پارامتری	۳۳۵۳	۳۰۳۱	۲۶۱۰	۲۲۹۳	۱۹۷۷	۱۶۶۲	۱۲۴۳	۴۶۸			
۳۴۹۹		حد اکثر درست نمایی	۲۷۲۱	۲۴۸۷	۲۱۷۸	۱۹۴۳	۱۷۰۶	۱۴۶۶	۱۱۴۱	۵۰۵		
۶۰۰۲	پیرسون تیپ ۳	۴۱۹۵	۳۶۸۴	۳۰۳۶	۲۵۶۷	۲۱۱۸	۱۶۹۳	۱۱۷۱	۴۱۶			
۷۶۳۱		حد اکثر درست نمایی	۴۶۴۹	۳۹۴۰	۳۱۱۸	۲۵۷۳	۲۰۸۹	۱۶۶۰	۱۱۶۷	۴۵۵		
۷۰۲۶	لوگ پیرسون تیپ ۳	۴۳۷۴	۳۷۲۲	۲۹۷۹	۲۴۷۵	۲۰۲۴	۱۶۱۹	۱۱۴۹	۴۵۷			
۳۹۲۴		حد اکثر درست نمایی	۳۰۳۶	۲۷۶۷	۲۴۱۴	۲۱۴۶	۱۸۷۷	۱۶۰۶	۱۲۴۰	۵۱۴		
۳۰۰۴	گامبل تیپ ۱	۲۳۵۵	۲۱۵۹	۱۹۰۰	۱۷۰۴	۱۵۰۷	۱۳۰۸	۱۰۴۱	۵۱۰			
۲۲۶		حد اکثر درست نمایی	۱۴۴	۱۲۳	۹۸/۹	۸۲/۵	۶۷/۷	۵۴/۳	۳۸/۷	۱۵/۳		
۲۵۵	حجم سیلاب با تداوم ۶۰ ساعته (MCM)										رواناب خالص (mm)	۱۷/۲
												۴۳/۵

\* : ارقام مربوط به مطالعات پیشین به نقل از مرجع شماره [۶].

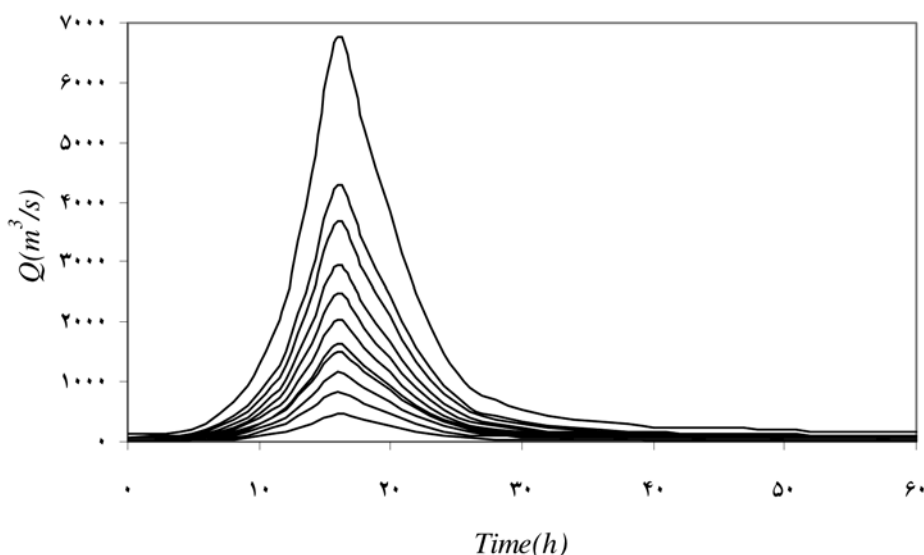
\*\* : ارقام مربوط به تابع توزیع برتر در پژوهش حاضر.



شکل ۴ - آبنمودهای بارز سیل در محل سد مخزنی جره

کنونی بوجود آید. به عنوان مثال دبی اوج سیل طرح برآورد شده اولیه برای دوره بازگشت‌های ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله (معیار طراحی سرریزها) به ترتیب برابر ۲۱۸۰ و ۳۶۲۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. این مقادیر در پژوهش حاضر، ۴۲۹۸ و ۶۷۷۹ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. تابع توزیع احتمالاتی ارجح در مطالعه پیشین لوگ پیرسون تیپ III بوده، اما در پژوهش حاضر لوگ نرمال می‌باشد. علیرغم تغییر تابع توزیع، عمده اختلاف دبی‌های اوج به افزایش تعداد مشاهدات سیل برمی‌گردد. آبنمودهای نمایه مطالعات پیشین و پژوهش حاضر در شکل (۴) ارائه شده است. آبنمود نمایه مطالعات پیشین بر مبنای ۵ مشاهده تهیه شده بود که دبی

بر سری داده‌های سیل با استفاده از معیارهای آماری بیان شده در روش کار، بر مبنای حداقل خطاها صورت گرفت. بر اساس این معیارها توزیع برتر، لوگ نرمال می‌باشد. متوسط مشاهدات سری اولیه مورد استفاده در برآورد سیلاب طرح برابر ۳۹۰، انحراف معیار آن ۲۱۲ و حداکثر آن برابر ۹۶۵ مترمکعب بر ثانیه بوده است. اما این پژوهش بر اساس مشاهدات بهنگام شده از تعداد ۳۶ واقعه با متوسط برابر ۵۹۵، انحراف معیار ۴۹۴ و حداکثر دبی لحظه‌ای برابر ۲۵۹۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. یافته‌های فوق (تفاوت بین سری‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین و پژوهش حاضر) باعث گردید که اختلاف فاحشی بین دبی‌های اوج برآورد شده اولیه و



شکل ۵ - آبنمودهای سیل در محل سد مخزنی جره با استفاده از سری بهنگام شده (آبنمودهای حاصل به ترتیب از کوچک به بزرگ مربوط به دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله می‌باشند).



مبنی بر اختلاف مقادیر حاصله از دو سری داده پیشین و بهنگام شده همخوانی دارد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر افزایش اندازه نمونه آماری سیلاب، باعث بهبود دقت برآوردهای سیل طرح شده است. افزایش طول سری آماری و تکمیل داده‌های مفقود سیلاب‌های بزرگ، نوع توزیع آماری داده‌ها را تغییر و مقادیر برآوردی سیل طرح را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. به نحوی که دبی اوج سیلاب‌های ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله طراحی سرریزها تا حد ۸۷ و ۹۷ درصد افزایش نشان می‌دهند. با این که نوع تابع توزیع آماری در سری داده‌های سیل مطالعات پیشین و پژوهش حاضر تغییر یافته، لیکن عمده اختلاف دبی‌های اوج به افزایش تعداد مشاهده‌ها و اندازه نمونه برمی‌گردد. شکل آنمود نمایه ورودی به مخزن سد جره به صورت کلی تغییر یافته است. کارایی کنترل سیلاب و ایمنی هیدرولوژیکی این سد به حجم سیلاب، شکل آنمود و دبی اوج برآورده شده در پژوهش حاضر بستگی دارد. به منظور افزایش کارایی مخزن در مدیریت سیلاب و حفظ پایداری سازه سد، تدوین و اجرای برنامه کوتاه مدت بهره‌برداری در زمان سیلاب ضروری است. نتایج این پژوهش در برآورد دبی اوج و آنمود سیل مکان‌های اندازه‌گیری نشده، حوزه آبخیز مورد مطالعه و حوزه‌های مجاور می‌تواند مفید باشد. در ادامه این پژوهش پیشنهاد می‌شود قشر رواناب خالص ایجاد شده از حجم سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله با مطالعات هواشناسی و حداکثر بارش محتمل (PMP) کنترل و مقایسه گردد.

### منابع

- ۱- افتخاریان، ل.، ابریشم چی، ا.، تجربی، م. ۱۳۸۴. تحلیل عدم قطعیت تراز سطح آب رودخانه سیستان و بررسی قابلیت اعتماد سامانه کنترل سیل. نشریه علمی - پژوهشی هیدرولیک، جلد ۱، ۳۹-۵۴.
- ۲- حمادی، ک. و نوذریان، ل. ۱۳۸۲. روندیابی سیل رودخانه الله با استفاده از مدل موج سینماتیک چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران دانشگاه شیراز، ۱۲۲۷-۱۲۳۵.
- ۳- خواجه موگهی، ع. ک. ۱۳۷۹. انتخاب سیلاب طراحی. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران. نشریه شماره ۲۶، ۱۲۱ ص.
- ۴- رضایی پزند، ح. ۱۳۸۰. کاربرد آمار و احتمال در منابع آب. انتشارات سخن گستر، ۴۵۶ ص.
- ۵- صدقی، ح. ۱۳۷۱. ارزیابی و برآورد ابعاد حداکثر بارش و سیلاب محتمل حوزه آبریز کارون در پل شالو به عنوان معیار طراحی سد کارون ۳. شرکت منابع آب و نیروی ایران، ۵۵ ص.
- ۶- مهندسین مشاور مهتاب قدس. ۱۳۶۸. طرح آبیاری و سدسازی رامهرمز - گزارش هیدرولوژی، سازمان آب و برق خوزستان، ۸۷ ص.

اوج آن ۱۷۹ مترمکعب در ثانیه و حجم سیلاب ناشی از آن ۱۳/۸ میلیون مترمکعب برای تداوم ۶۰ ساعته بوده است. در پژوهش حاضر آنمود نمایه بر مبنای ۹ واقعه استخراج شد. دبی اوج آنمود نمایه استخراج شده برابر ۷۶۷ مترمکعب در ثانیه و حجم سیل حاصل از آن ۳۳/۹ میلیون مترمکعب برای همان تداوم محاسبه گردید. این اختلاف ناشی از وقوع سیلاب‌های بعد از دوره طراحی می‌باشد. در ضمن دبی اوج آنمود نمایه استفاده شده از متوسط دبی‌های حداکثر لحظه‌ای حادث شده بیشتر می‌باشد این نکته در استخراج آنمود نمایه معمولاً رعایت می‌گردد اما در مطالعات پیشین رعایت نشده است. شکل آنمود سیلاب در طراحی سازه‌های هیدرولیکی به ویژه سرریز سدها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر مبنای توزیع آماری برتر یعنی لوگ نرمال و آنمود نمایه، آنمود سیل با دوره بازگشت‌های مختلف تعیین گردید. شکل (۵) آنمود سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. حجم آنمودها و رواناب خالص ناشی از آن‌ها مطابق روش کار ذکر شده در مواد و روش‌ها محاسبه و به جدول (۵) اضافه گردید. قشر رواناب خالص حاصل از حجم سیلاب با دوره بازگشت‌های ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ساله به ترتیب برابر ۱۶۲ و ۲۵۵ میلی‌متر در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه محاسبه گردید. مقایسه حجم آنمودهای با دوره بازگشت‌های مختلف پژوهش حاضر با حجم متناظر مطالعات پیشین [۶] نشان دهنده اختلاف کم بین آن‌ها است. دلیل این امر به انتخاب مشاهدات برای تعیین آنمود نمایه برمی‌گردد. به طور کلی خصوصیات هندسی حوزه مورد مطالعه و سیلاب‌های مشاهده‌ای آن نشان می‌دهند که حوزه از آنمودهای سیل با شیب تند (تیز) برخوردار است. این ملاحظات در تعیین آنمود نمایه فعلی مد نظر بود اما در مطالعات پیشین از آنمودهای با دبی اوج پایین استفاده شده که این موضوع به افزایش نسبی حجم آنمود نمایه اولیه منجر شده است. به عبارتی محدودیت داده‌های سیل در مطالعات پیشین باعث شده که نسبت دبی اوج به حجم آنمود نمایه اولیه تا حد دو برابر از همین نسبت در پژوهش حاضر بزرگ‌تر باشد. به طور معمول دبی اوج سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک زیاد و حجم سیلاب به طور نسبی کم می‌باشد. نتایج این پژوهش با این قاعده هیدرولوژیکی کلی مطابقت دارد.

علیرغم این که پژوهش صدقی [۵] به کاهش دبی اوج سیلاب طرح انجامید؛ لیکن مطالعه حاضر نشانگر افزایش دبی‌های اوج سیلاب ورودی به مخزن سد جره می‌باشد. این امر می‌تواند بدلیل ضریب تغییرات بالای سری سیل در حوزه آبخیز مورد مطالعه باشد. مطالعه حاضر محدودیت‌های ذکر شده توسط پژوهشگران قبلی در زمینه اندازه نمونه سری سیل، داده‌های مفقود [۱۲، ۱۵] و گزینش تابع توزیع برتر احتمال [۷، ۲۰] را تا حدی برطرف نموده است. بنابراین نتایج حاصله از تحلیل سری بهنگام شده سیل، دقت بیش‌تر نسبت به مطالعات پیشین سد جره داشته است. یافته‌های این مطالعه با پژوهش‌های برایان یانگ و مک نور [۸] در زمینه تحلیل فراوانی،

- Subcommittee, U.S. Geological Survey, Office of Water Data, Coordination, Reston, Virginia, 194p.
- 16- International Committee of Large Dams(ICOLD) - Committee on Design Flood. 1992. Selection of Design Flood-Current Methods. Bulletin 82 ICOLD, Paris, 94p.
- 17- Javelle, P. Ouarda, T. Lang, M. Bobee, B. Galea, G. and Gresillon, J. 2002. Development of regional flood- duration-frequency curves based on the index - flood method. Journal of Hydrology, 258, 249-259.
- 18- Linsley, R.K. and Franzini, J.B. 1992. Water Resources Engineering. Mc Graw Hill International Book Company, 516 p.
- 19- Onoz, B. and M. Baryazit. 1995. Best-fit Distributions of Largest Available Flood Samples. Journal of Hydrology, 167, 195-208.
- 20- Rao, A.R. and Hamed, K.H. 2000. Flood Frequency Analysis. CRC Press, Boca Raton, 350 p.
- 21- Raudkivi, A.J. 1979. An Advanced Introduction To Hydrological Processes and Modelling. Printed In Great Britain, 479 p.
- 22- Sander, M. 2002. The relationship between annual varve thickness and maximum annual discharge (1909-1971). Journal of Hydrology, 263, 23-35.
- 23- Sedghi, H. 1992. Evaluation of probable maximum precipitation and probable maximum flood (PMP/PMF) of Karun III Dam. Iran Water and Power Resources Development Co., 118 p.
- 24- Singh, V.P. 1998. Entropy-Based Parameter Estimation in Hydrology. Kluwer Academic Publishers, Boston 365 p.
- 7- Bobee, B. Caradias, G. Ashkar, F. Bernier, J. and Rasmussen, P. 1993. Towards a Systematic Approach to Comparing Distributions used in Flood Frequency Analysis. Journal of Hydraulics, 142, 121-136.
- 8- Bryan Young, C. and McEnroe, B.M. 2006. Updated Precipitation Frequency Estimates for Kansas City: Comparison with TP-40 and HYDRO-35. Journal of Hydrologic Engineering, 11, 206-213.
- 9- Chow, V.T. 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill Book Company, 572p.
- 10- De Michele, C., Salvadori, G., Canossi, M. Petaccia, A. and Rosso, R. 2005. Bivariate Statistical Approach to Check Adequacy of Dam Spillway. Journal of Hydrologic Engineering, 10, 50-57.
- 11- Ferro, V. and Porto, P. 2006. Flood Frequency Analysis for Sicily, Italy. Journal of Hydrologic Engineering, 11, 110-122.
- 12- Griffis, V.W. and Stedinger, J.R. 2007. Evolution of Flood Frequency Analysis with Bulletin 17. Journal of Hydrologic Engineering, 12, 283-297.
- 13- Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1997. Regional Flood Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments. Cambridge University Press, New York, 224p.
- 14- Huff, F. A. and Angel, J. R. 1992. Rainfall Frequency Atlas of the Midwest (Bulletin 71). Illinois State Water Survey, 141p.
- 15- Interagency Advisory Committee on Water Data. 1982. Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Bulletin 17B of the Hydrology