

## تعیین مدل تجربی برآورد بده اوج لحظه‌ای چند حوزه‌ای آبخیز غرب ایران

سید سعید اسلامیان<sup>۱</sup>، والی سلیمانی<sup>۲</sup> و ستار چاوشی بروجنی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از عوامل اساسی در طراحی پروژه‌های آبی، بده اوج لحظه‌ای سیل است. روش‌های مختلفی برای تخمین بده اوج لحظه‌ای سیل با دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است. در روش‌های منطقه‌ای تخمین سیلاب، عموماً از خصوصیات فیزیکی، اقلیمی و هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز به منظور تعیین مدل‌های فراوانی سیل استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق، ارائه یک مدل برآورد بده لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مورد نظر، در حوزه‌های آبخیز غرب ایران، شامل زیرحوزه‌های قره‌سو، گاماسیاب، کشکان، سیمراه، سزار و آبشنیه، که تنها دارای آمار بده حداقل متوسط روزانه هستند، می‌باشد.

آمار بده اوج لحظه‌ای و بده حداقل متوسط روزانه، در یک دوره آماری ۲۱ سال، از سالنامه‌های وزارت نیرو، برای ۱۱ استگاه آب سنجی حوزه‌های آبخیز استخراج گردید. نسبت بده اوج لحظه‌ای به بده حداقل متوسط روزانه (پارامتر  $R$ )، میانگین و انحراف معیار این نسبت در طول دوره‌های آماری هیدرومتری، و خصوصیات فیزیوگرافیک حوزه‌ها شامل مساحت، طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط، شبیه متوسط، طول مستطیل معادل، نسبت گردی، نسبت طولی، ضریب گراولیوس، تراکم شبکه، زمان تمرکز، نسبت بر جستگی و قطر دایره معادل محاسبه گردید. با ایجاد رگرسیون خطی بین متغیرهای فیزیوگرافیک و میانگین و انحراف معیار پارامتر  $R$  معادلات مدل شامل معادلات محاسبه میانگین و انحراف معیار پارامتر  $R$  به دست آمد. مهم‌ترین نتیجه تحقیق حاضر این است که از آمار استگاه‌های آب سنجی دارای اشل (استگاه‌های درجه ۲)، می‌توان با دقت نسبتاً خوبی بده اوج لحظه‌ای را با دوره‌های بازگشت مختلف برآورد نمود.

**واژه‌های کلیدی:** بده اوج لحظه‌ای سیل، تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیل، حداقل بده متوسط روزانه

### مقدمه

با تحلیل داده‌ها و آمار متغیرهایی که در گذشته اتفاق افتاده و آینده تعمیم داده شود، سبب سهولت در تصمیم‌گیری خواهد اندازه‌گیری شده است می‌توان به نتایج مفیدی رسید، که اگر به شد.

۱. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام اصفهان

لحظه‌ای به بدنه حداکثر متوسط روزانه (پارامتر R)، به خصوصیات فیزیوگرافی حوزه ارتباط داده شده و روابط منطقه‌ای فراوانی سیل به دست آمده است. منطقه مورد مطالعه، حوزه‌های آبخیز غرب ایران، شامل زیر حوزه‌های گاماسیاب، قره‌سو، سیمره، کشکان، سزار و آبشینه، با حداقل ۲۱ سال دوره آماری ثبت بدنه اوج لحظه‌ای و حداکثر بدنه متوسط روزانه انتخاب گردیده است.

### مواد و روش‌ها

برای برآورد بدنه اوج لحظه‌ای در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، روش‌های متعددی ارائه شده است. از آن جمله می‌توان به تخمین آماری، روش شاخص سیل، روش روندیابی سیل، معادلات تجربی، روش استدلالی، هیدروگراف واحد مصنوعی و روش شبیه‌سازی اشاره کرد. هر کدام از روش‌های فوق دارای مزایا و معایبی است. روش تحقیق حاضر بدین صورت است که میانگین و انحراف معیار نسبت بدنه اوج لحظه‌ای به بدنه حداکثر متوسط روزانه (پارامتر R)، به خصوصیات فیزیوگرافی حوزه ربط داده می‌شود. با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی حوزه، میانگین و انحراف معیار پارامتر R محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از میانگین و انحراف معیار بدنه حداکثر متوسط روزانه، می‌توان میانگین و انحراف معیار بدنه اوج لحظه‌ای را با دقت نسبتاً مناسبی برآورد نمود.

در این تحقیق برای حوزه‌های غرب ایران، شامل زیر حوزه‌های گاماسیاب، قره‌سو، سیمره، کشکان، سزار و آبشینه، که دارای ایستگاه هیدرومتری مجهز به دستگاه لیمنوگراف هستند، آمار بدنه اوج لحظه‌ای و بدنه حداکثر متوسط روزانه، در یک دوره آماری ۲۱ سال از سالنامه‌های وزارت نیرو استخراج گردید. نسبت بدنه اوج لحظه‌ای به بدنه حداکثر متوسط روزانه (پارامتر R)، و میانگین و انحراف معیار بدنه اوج لحظه‌ای و بدنه حداکثر متوسط روزانه در طول دوره آماری، برای تمام ایستگاه‌های آب‌سنگی حوزه‌های مورد تحقیق محاسبه گردید. مقدار بدنه اوج لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۲۵، ۵۰ و

۵۰۰ (۷) در سال ۱۹۴۴، رابطه بین بدنه اوج لحظه‌ای و بدنه حداکثر جریان ۲۴ ساعته را برای حوزه‌های شرق آمریکا به دست آورد. لانگبین (۸) در سال ۱۹۴۴، با استفاده از داده‌های مربوط به بدنه اوج و بدنه حداکثر متوسط روزانه، برای سراسر آمریکا نموداری ارائه داد که در آن نسبت بدنه اوج لحظه‌ای به بدنه حداکثر متوسط روزانه، و نیز زمان وقوع بدنه اوج، به صورت تابعی از نسبت‌های بدنه متوسط در روز قبل و بعد از وقوع حداکثر به بدنه متوسط روز وقوع حداکثر، داده شده است.

سنگال (۹) بر اساس اصول هیدروگراف مثلثی، و با استفاده از بدنه حداکثر متوسط روزانه و بدنه روز قبل و روز بعد از حداکثر روزانه، عاملی را به نام عامل پایه بدنه اوج برآورد کرد. عامل پایه در واقع نمایانگر زمان پایه هیدروگراف مثلثی است، و مقدار آن از صفر تا دو متغیر بوده، برای حوزه‌های آبخیز قابل محاسبه است.

در ایران، عمده‌تاً از رگرسیون چندگانه برای برآورد بدنه اوج لحظه‌ای استفاده شده است. عرب خدری (۳) رابطه بین سیلاب‌های اوج لحظه‌ای و حداکثر بدنه متوسط روزانه را در حوزه‌های آبخیز البرز شمالی مورد مطالعه قرار داد. وی سیلاب‌های اوج لحظه‌ای را با روش‌های فولر، لانگبین، سنگال و همبستگی آماری برآورد نمود، و نتیجه گرفت که مناسب‌ترین روش برآورد بدنه اوج لحظه‌ای در منطقه، روش همبستگی آماری است. اسلامیان (۱) در سال ۱۳۶۹، روش‌های فولر، لانگبین، سنگال و همبستگی را برای حوزه‌های مرکزی ایران مورد بررسی قرار داد، و نتیجه گرفت که روش همبستگی آماری و روش سنگال برای مناطق کوهستانی ایران مناسب است. باقری (۲) برای حوزه‌های آبخیز فاقد آمار سد زاینده‌رود در اصفهان، با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی حوزه و بارندگی، مدل‌هایی برای برآورد بدنه اوج لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف ارائه کرد.

در این تحقیق از روش رگرسیون چندگانه استفاده شده است. بدین صورت که میانگین و انحراف معیار نسبت بدنه اوج

با جایگزین کردن دو رابطه [۵] و [۶] در رابطه [۴]، واریانس مقادیر  $Q$  به دست می‌آید:

$$\text{Var}(Q) = \text{Var}(R)[(\text{Var}(q) + E^*(q)) - E^*(R)\text{Var}(q)] \quad [7]$$

در صورتی که روش لگاریتمی به کار رود، رابطه [۱] را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{Ln}Q = \text{Ln}R + \text{Ln}q \quad [8]$$

$$\text{Var}(\text{Ln}Q) = \text{Var}(\text{Ln}R) + \text{Var}(\text{Ln}q) + 2\text{Cov}(\text{Ln}R, \text{Ln}q) \quad [9]$$

مشخصات عمومی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه حوزه کرخه در چین خودگی زاگرس میانی قرار داشته، و بخش بزرگی از وسعت آن را نواحی کوهستانی و مرتفع تشکیل می‌دهد. کوه الوند با ارتفاع ۳۵۸۰ متر، در منتهی‌الیه شمال خاوری حوزه قرار دارد. دشت‌های آبرفتی در نواحی شمالی حوزه شمالي حوزه می‌باشند. حوزه دز عمدتاً منطقه‌ای کوهستانی است، که مهم‌ترین ارتفاعات آن اشتران‌کوه در جنوب ازنا با ارتفاع ۴۰۵۰ متر، کازنستان با ارتفاع ۴۰۸۲ متر و ارتفاعات گرین با ارتفاع ۳۶۴۵ متر است. حوزه‌های مورد تحقیق عبارتند از: زیر حوزه‌های گاماسیاب، فرهسو، سیمه و کشکان در حوزه کرخه، زیر حوزه سزار در حوزه دز، و زیر حوزه آبشنبه در حوزه قره‌چای (شکل‌های ۱ و ۲). جداول ۱ و ۲ مشخصات و خصوصیات فیزیوگرافیک حوزه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

## نتایج و بحث

انتخاب دوره پایه آماری مشترک، به منظور کاهش دادن تأثیر زمانی غیر یکنواخت سری‌های آماری می‌باشد. در حقیقت با انتخاب دوره مشترک، اثر عوامل هیدرومئورولوژیک، که از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند، کاهش یافته و تفاوت عوامل جوی برای هر سال در سطح حوزه‌های مختلف، به عنوان پارامتر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق طول دوره

۱۰۰ سال، از روش‌های احتمالات با استفاده از برنامه کامپیوتری هایفا<sup>۱</sup> برآورد گردید. آنگاه با آزمون‌های برازنده‌گی (کلموگرف اسمیرنوف، کای اسکوئر و روش حداقل مربعات)، از میان ۸ تابع توزیع احتمال نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع ۳، لوگ پیرسون نوع ۳، گامبل، لوگ گامبل، گاما و لوگ گاما، بهترین تابع توزیع برای هر ایستگاه آب‌سنگی انتخاب گردید. خصوصیات فیزیوگرافی و میانگین بارندگی سالیانه حوزه‌ها جمع‌آوری شد و بعضی از پارامترهای فیزیوگرافی با نقشه توپوگرافی، با مقیاس  $\frac{1}{25000}$  کنترل، و بارندگی متوسط سالیانه با نقشه‌های اطلس هم‌باران وزارت نیرو کنترل گردید.

به کمک برنامه کامپیوتری استات‌گرافیکز<sup>۲</sup>، تحلیل رگرسیون خطی بین متغیرهای مستقل حوزه آبخیز و میانگین و انحراف معیار پارامتر  $R$  ایجاد شد. در پایان، مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی که بر میانگین و انحراف معیار پارامتر  $R$  مؤثر باشند، مشخص و در مدل وارد گردید. این مدل برای سایر حوزه‌های مشابه از لحاظ اقلیمی قابل استفاده می‌باشد.

روابط بین بده اوج لحظه‌ای و بده حداکثر متوسط روزانه اگر بده اوج لحظه‌ای با  $Q$  و بده حداکثر روزانه با  $q$  و نسبت بین آنها با  $R$  نشان داده شود، می‌توان روابط زیر را نوشت (۵):

$$Q = Rq \quad [1]$$

اگر  $E(Q)$ ،  $E(R)$  و  $E(q)$  متوسط متغیرهای بالا باشد می‌توان نوشت:

$$E(Q) = E(R)E(q) \quad [2]$$

واریانس  $Q$  برابر است با:

$$\text{Var}(Q) = E(Q^2) - E^*(Q)^2 \quad [3]$$

و یا:

$$\text{Var}(Q) = E(R^2)E(q^2) - E^*(R)E^*(q)^2 \quad [4]$$

$$\text{Var}(q) = E(q^2) - E^*(q)^2 \quad [5]$$

$$\text{Var}(R) = E(R^2) - E^*(R)^2 \quad [6]$$

جدول ۱. حوزه‌های آبخیز و ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در منطقه مورد مطالعه

حوزه	زیرحوزه	موقعیت جغرافیایی	آبراهه اصلی		ایستگاه‌های هیدرومتری
			عرض	طول	
دوآب - پل چهر	گاماسیاب	۳۳°۵۰'	۴۷°۴'	۴۹°۱۲'	دوآب - پل چهر
			۴۹°۱۲'		
دوآب میرگ - پل کنه - قوریاغستان	قره سو	۳۴°۱'	۴۶°۲۲'	۴۷°۲۲'	دوآب میرگ - پل کنه - قوریاغستان
			۴۷°۲۲'		
هولیلان - تنگ سازین	سمیره	۳۲°۰۲۶'	۴۶°۷'	۴۸°۰۲۵'	هولیلان - تنگ سازین
			۴۸°۰۲۵'		
پل کشکان - آفرینه - پل دختر	کشکان	۳۳°۵'	۴۷°۱۲'	۴۸°۰۵۸'	پل کشکان - آفرینه - پل دختر
			۴۸°۰۵۸'		
سپیددشت	سزار	۳۲°۰۳۶'	۴۸°۲۱'	۴۹°۰۲۹'	سپیددشت
			۴۹°۰۲۹'		
سد آبشنیه	آبشنیه	۳۴°۴۵'	۴۸°۳۰'	۴۸°۰۴۰'	سد آبشنیه
			۴۸°۰۴۰'		

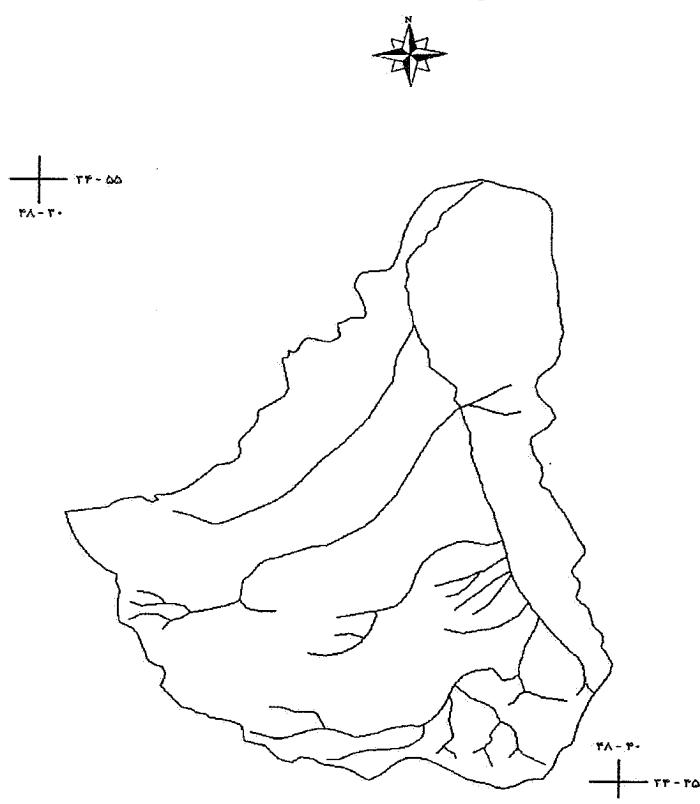
جدول ۲. خصوصیات فیزیوگرافی زیر حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه<sup>۱</sup>

ایستگاه هیدرومتری										خصوصیات	
فیزیوگرافی										مساحت	محیط
دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب	دوآب
پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر	پل چهر
سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه	سد آبشنیه
پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر	پل دختر
هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان	هولیلان
قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو	قره سو
قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان	قوریاغستان
آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه	آفرینه
پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان	پل کشکان
میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ	میرگ
۲۶۰	۳۱۳۹/۳	۹۱۶۶/۲۵	۷۵۸۸/۷۵	۳۷۱۱/۷	۲۰۴۷۴/۴	۵۲۱۶/۲۵	۴۹۷۳	۲۶۵۶/۲۵	۱۰۸۸۴	۷۷۵۴	فیزیوگرافی
۷۸/۷۵	۳۵۰	۵۴۷/۵	۴۴۰	۴۱۰	۹۵۲/۵	۴۰۰/۵	۴۰۴/۲۵	۳۶۲/۵	۶۵۲/۱	۵۰۲/۵	مساحت
۳۳/۴	۱۲۳	۲۸۷/۵	۲۴۵	۱۹۷/۵	۳۶۵/۵	۲۰۷/۷۵	۱۹۰	۱۲۲/۵	۲۴۵/۲۵	۱۷۷/۵	محیط
۲۴۰۸/۲	۱۸۷۴	۱۷۱۰	۱۸۶۰	۱۷۹۰	۹۵۲	۱۵۴۵	۱۵۱۳	۱۵۲۳	۱۸۲۷	۱۸۸۹	طول آبراهه اصلی
۲۲/۵	۲۷/۲	۲۹/۵	۳۰/۹	۳۳/۲	۲۲/۴۱	۱۶/۲۵	۱۶/۲۲	۱۱/۲۶	۲۴/۱	۱۷/۸۹	ارتفاع متوسط
۳۱/۱	۱۵۴/۸	۲۳۴/۴	۱۷۶/۲۹	۱۸۴/۴	۴۲۷/۲۵	۱۷۲/۱۹	۱۷۴/۲	۱۶۵/۳	۲۸۸/۲۷	۲۱۵/۶۳	شیب متوسط
۰/۵۳	۰/۳۲	۰/۳۸۴	۰/۴۹	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۹۹	۰/۳۷۹	۰/۲۵۴	۰/۳۲	۰/۳۹	طول مستطیل معادل
۰/۶۱	۰/۷۲۷	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۷۷۸	۰/۷۳	۰/۸۱	نسبت طولی
۱/۳۷	۱/۷۵	۱/۶	۱/۴۱	۱/۸۸	۱/۸۶	۱/۵۷	۱/۶۱	۱/۹۷	۱/۷۵	۱/۶	ضریب گراولیوس
۱/۱	۰/۳۸	۱/۲۴	۱/۳۷	۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۲۳	۱/۱۱	۱/۱	۱/۲۴	۱/۴۱	تراکم شبکه
۵	۹/۴	۲۸/۲	۲۴/۵	۱۹/۶	۴۰/۳	۱۱/۵	۷/۶	۱/۳۶	۲۶/۷	۱۹/۰۲	زمان تمکز
۰/۰۲۲	۰/۰۱	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۲۵۵	۰/۰۰۵۲۴	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳۹	نسبت برجستگی
۱۸/۲	۶۳/۲۲	۱۰۸/۰۳	۹۸/۳	۶۸/۷۵	۱۶۱/۵	۸۱/۰	۷۹/۵۷	۵۸/۱۶	۱۱۷/۷	۹۹/۴	قطر دایره معادل
۳۹۵	۶۹۷	۴۱۷	۴۸۲	۲۰۷	۴۳۲	۲۹۳	۴۹۰	۴۴۳	۴۹۰	۴۹۰	بارندگی متوسط

<sup>۱</sup>. در مورد واحد پارامترهای مورد استفاده در جدول فوق، به جدول ضمیمه مقاله مراجعه گردد.



شکل ۱. حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه



شکل ۲. موقعیت حوزه آبشنیه

$R = \text{میانگین پارامتر}$	۱۳۶۷-۶۸
$S(R) = \text{انحراف معیار پارامتر}$	۱۳۴۶-۴۷
$Rr = \text{نسبت برجستگی}$	تابع انتخاب
$Di = \text{قطر دایره معادل بر حسب کیلومتر}$	نرم‌افزارهای توابع نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع ۳، لوگ پیرسون نوع ۵، گامبل، لوگ گامبل، گاما و لوگ گاما، مقادیر بدینجای لحظه‌ای برای رودخانه‌های مورد تحقیق در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ سال تعیین شد.
$Gr = \text{ضریب گراولیوس}$	سپس به منظور گزینش بهترین تابع احتمال برای برازش به داده‌های بدینجای لحظه‌ای از روش‌های متداول آزمون برازنده‌گی شامل روش‌های کلموگرف اسمیرنوف، کای اسکوئر و روش حداقل مربعات استفاده گردید (جدول ۳). انتخاب توزیع مناسب در ستون آخر جدول ۳، براساس غالیت و یا سادگی توزیع‌های مختلف در سه روش فوق می‌باشد.
$Cr = \text{نسبت دایره‌ای}$	در ایستگاه‌های آب‌سنگی مورد تحقیق، میانگین و انحراف معیار پارامتر $R$ (نسبت بدینجای لحظه‌ای به بدینجای حداقل متوسط روزانه)، با استفاده از معادله رگرسیون خطی چند متغیره، به خصوصیات فیزیوگرافی و کلیماتولوژی حوزه آبخیز ربط داده شد. متغیرهای مستقل به صورت تناوبی وارد برنامه کامپیوتراست. گرافیکز شده، و با توجه به حالت‌های مختلف از قبیل پیش رو <sup>۱</sup> ، پس رو <sup>۲</sup> و پله‌ای <sup>۳</sup> ، رگرسیون خطی و لگاریتمی، مقدار ثابت و بدون مقدار ثابت، و با وارد و خارج کردن یک متغیر مستقل به صورت دلخواه در مدل، امتحان گردید. در نهایت بهترین مدل برای برآورد میانگین و انحراف معیار پارامتر $R$ به صورت زیر تعیین شد:
$SE = \text{خطای معیار}$	$E(R) = ۷۲/۶Rr + ۰/۰۰۳۳Di + ۸/۱۸Cr - ۷/۹۱$
از بین چهار عامل مؤثر در مدل میانگین و انحراف معیار پارامتر $R$ ، نسبت برجستگی بیشترین تأثیر را در مدل داشت. در مدل میانگین، علاوه بر نسبت برجستگی، به ترتیب پارامترهای قطر دایره معادل، نسبت دایره‌ای حوزه و ضریب گراولیوس در مدل مؤثر بودند، و هر چهار عامل با میانگین $R$ رابطه مستقیم داشتند. در مدل انحراف معیار پارامتر $R$ ، علاوه بر نسبت برجستگی، قطر دایره معادل و نسبت طولی نیز در مدل مؤثر بودند. نسبت برجستگی و قطر دایره معادل رابطه مستقیم، و نسبت طولی رابطه عکس با انحراف معیار داشت. با توجه به $r^2$ و $SE$ مدل و مطابقت با جداول آماری، هر دو مدل از نظر آماری در حد خوبی (۹۳٪ و ۹۴٪) معنی دار هستند.	
آماری در حد خوبی (۹۳٪ و ۹۴٪) معنی دار هستند.	با استفاده از نتایج جدول ۲ مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز، به وسیله معادلات ۱۰ و ۱۱، میانگین و انحراف معیار پارامتر $R$ محاسبه گردید. سپس میانگین و انحراف معیار بدینجای حداقل متوسط روزانه در طول دوره آماری ۲۱ ساله محاسبه شد، که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. آن‌گاه، با استفاده از روابط ۲ تا ۷، میانگین و انحراف معیار بدینجای لحظه‌ای، برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برآورد شد. با داشتن میانگین و انحراف معیار بدینجای لحظه‌ای برای اکثر توابع توزیع احتمال، می‌توان مقدار بدینجای لحظه‌ای را برای دوره‌های بازگشت مختلف برآورد نمود (جدول ۵).

1. Forward    2. Backward    3. Stepwise

که:

جدول ۳. آزمون برازنده‌گی و توابع توزیع منتخب در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

ایستگاه	کلموگراف - اسمیرنوف	کای اسکوئر	حداقل مربعات	آزمون برازنده‌گی	توزیع منتخب
دوآب	لوگ گامبل - لوگ کاما	لوگ گامبل - لوگ نرمال	لوگ گامبل - لوگ پرسون	لوگ گامبل - گامبل	لوگ گامبل - لوگ گامبل
پل چهر	لوگ چهر - لوگ پرسون	لوگ گامبل - گامبل	لوگ چهر - لوگ پرسون	لوگ چهر - گامبل	لوگ چهر - لوگ گامبل
دوآب میرگ	لوگ میرگ - لوگ پرسون	لوگ گامبل - لوگ گاما	لوگ میرگ - لوگ پرسون	لوگ میرگ - گامبل	لوگ میرگ - لوگ گامبل
پل کنه	لوگ کنه - لوگ پرسون	لوگ گامبل - پرسون	لوگ کنه - لوگ پرسون	لوگ کنه - گامبل	لوگ کنه - لوگ گامبل
قوریاگستان	لوگ قوریاگستان - لوگ نرمال	لوگ گامبل - پرسون	لوگ قوریاگستان - لوگ پرسون	لوگ قوریاگستان - گامبل	لوگ قوریاگستان - لوگ گامبل
هولیلان	لوگ هولیلان - لوگ گامبل	لوگ گامبل - پرسون	لوگ هولیلان - لوگ گاما	لوگ هولیلان - گامبل	لوگ هولیلان - لوگ گامبل
پل کشکان	لوگ کشکان - لوگ پرسون	لوگ گامبل - پرسون	لوگ کشکان - لوگ نرمال	لوگ کشکان - گامبل	لوگ کشکان - لوگ گامبل
آفرینه	لوگ آفرینه - لوگ پرسون	لوگ گامبل - پرسون	لوگ آفرینه - لوگ نرمال	لوگ آفرینه - گامبل	لوگ آفرینه - لوگ گامبل
پل دختر	لوگ دختر - گامبل	لوگ نرمال - گامبل	لوگ دختر - پرسون	لوگ دختر - گامبل	لوگ دختر - لوگ گامبل
سپیددشت	لوگ سپیددشت - لوگ گاما	لوگ گامبل - پرسون	لوگ سپیددشت - لوگ گاما	لوگ سپیددشت - گامبل	لوگ سپیددشت - لوگ گامبل
سد آبشنیه	لوگ آبشنیه - لوگ پرسون	لوگ گامبل - گامبل	لوگ آبشنیه - لوگ نرمال	لوگ آبشنیه - گامبل	لوگ آبشنیه - لوگ گامبل

جدول ۴. خصوصیات جریان در ایستگاه‌های آب‌سنگی حوزه‌های آبخیز مورد تحقیق

S(R)	E(R)	S(q)	E(q)	S(Q)	E(Q)	ایستگاه
۰/۱۲	۱/۱۴	۵۹/۷	۷۶/۶	۷۸/۴	۸۰/۹	دوآب
۰/۰۲	۱/۰۲	۲۴۸/۰۱	۱۹۹/۴	۲۵۳/۵	۲۰۴/۷۵	پل کنه
۰/۰۹	۱/۰۵	۲۱۴	۲۰۴/۵	۲۸۷	۲۲۸/۹	قوریاگستان
۰/۱۲	۱/۱۸	۹۶/۴	۱۳۸/۹۶	۱۲۱/۴	۱۶۵/۳	دوآب
۰/۲۹	۱/۲۲	۱۲۵/۰۴	۲۶۹/۹	۱۵۵/۷	۳۲۴/۲	پل چهر
۰/۰۹	۱/۰۷	۵۴۶/۳	۶۲۱/۷	۵۵۲/۲	۶۰۹/۳	هولیلان
۰/۲۷	۱/۴۲	۲۵۴/۵	۳۹۱/۰۶	۲۶۲/۴	۵۱۹/۰۶	آفرینه
۰/۲۷	۱/۴۷	۳۳۰/۸	۵۲۸/۶	۵۱۲/۰۶	۷۸۰/۱	پل دختر
۰/۲۵	۱/۳۱	۱۷۹/۸	۲۷۶/۴	۲۳۰/۸	۳۵۷/۲	پل کشکان
۰/۲۳	۱/۲۶	۲۱۰/۴	۳۳۱/۰۱	۲۵۹/۴	۴۰۷/۰۱	سپیددشت
۱/۸۲	۲/۶۱	۲۰/۱۶	۲۲/۵۲	۳۷/۷۲	۴۹/۰۱	آبشنیه

جدول ۵. پارامترهای بده اوچ لحظه‌ای با استفاده از مدل

E(Q)	S(Q)	E(R)	E(q)	S(q)	S(R)	ایستگاه
۷۷/۱	۶۸/۱	۱/۱۴	۶۷/۷	۵۹/۷	۰/۰۰۴۹	دوآب
۲۲۲/۲	۲۷۶/۶	۱/۱۱۴	۱۹۹/۴	۲۴۸/۰۱	۰/۰۳۸۱	پل کنه
۲۳۶/۳	۲۵۰/۲	۱/۱۰۵	۲۰۴/۵	۲۱۴	۰/۱۲۹	قوریاگستان
۱۵۸/۶	۱۱۱/۲	۱/۱۴۱	۱۳۸/۹۶	۹۶/۴	۰/۰۹۶۸	دوآب
۲۹۱/۰۳	۱۴۲/۹	۱/۰۷۸	۲۶۹/۹	۱۲۵/۰۴	۰/۱۵۸۹	پل چهر
۷۴۶/۶	۶۶۶/۲	۱/۲	۶۲۱/۷	۵۴۶/۳	۰/۱۴۰۰۵	هولیلان
۵۸۲/۸	۳۹۲/۶	۱/۴۹	۳۹۱/۰۶	۲۵۴/۵	۰/۲۱۶۶	آفرینه
۶۰۳/۷	۴۲۵/۶	۱/۲۲۶	۵۲۸/۶	۳۳۰/۸	۰/۲۴۰۲	پل دختر
۳۳۹/۹	۲۴۱/۹	۱/۲۲۹	۲۷۶/۴	۱۷۹/۸	۰/۲۹۷۵	پل کشکان
۴۰۹/۳	۳۸۰/۲	۱/۳۸۷	۳۳۱/۰۲	۲۱۰/۴	۰/۶۲۱۲	سپیددشت
۵۸/۱	۷۳/۵	۳/۵۷۹	۲۲/۵۲	۲۰/۱۶	۱/۷۱۸۷	آبشنیه

جدول ۶. خطای مدل در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت						ایستگاه
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
۲۱	۱۹	۱۹	۱۷	۱۴	۳	دوآب
۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۶	۱۱	پل کنه
۲۴	۲۱	۱۲	۲۱	۱۸	۴	قورباغستان
۹	۸	۸	۶	۴	۷	دوآب مرگ
۲۴	۲۳	۲۲	۲۰	۱۶	۶	پل چهر
۲	۱	۱	۲	۴	۱۱	هولیلان
۱۲	۱۲	۱۲	۱۱	۱۰	۱۴	آفرینه
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۳	۸	پل دختر
۲۷	۲۷	۲۶	۲۵	۲۳	۱۷	پل کشکان
۱۶	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۸	سپیددشت
۴۸	۴۶	۴۳	۳۹	۳۲	۷	آبشته

جدول ۷. خطای متوسط مدل برای دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت (سال)	خطای متوسط مدل (درصد)
۸/۷	۲
۱۴/۸	۵
۱۷	۱۰
۱۷/۵	۲۵
۱۹	۵۰
۲۰	۱۰۰

### نتیجه گیری و پیشنهادها

با توجه به مدل به دست آمده (رابطه ۱۰)، ملاحظه می‌شود که بین میانگین پارامتر  $R$  و نسبت برجستگی، قطر دایره هم سطح، نسبت دایره‌ای و ضریب گراویلوس حوزه رابطه مستقیم وجود دارد. یعنی با افزایش مقدار هر کدام از پارامترهای فوق، میانگین پارامتر  $R$  نیز افزایش می‌یابد. بین پارامترهای فوق، نسبت برجستگی بیشترین اثر را در مدل دارد. دلیل آن ممکن است کاهش عملکرد مخازن کوچک در افزایش این پارامتر در حوزه آبخیز باشد، که باعث نوک تیز شدن هیدروگراف بدء اوج لحظه‌ای، و در نهایت سبب افزایش میانگین پارامتر  $R$  می‌گردد (۵ و ۶). نسبت برجستگی با میزان فرسایش حوزه آبخیز رابطه

با استفاده از نتایج جدول ۳، بدء اوج لحظه‌ای برای دوره‌های بازگشت مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال پرآورد گردید، و با بدء اوج لحظه‌ای به دست آمده از آمار ۲۱ ساله مورد مقایسه قرار گرفت. با استفاده از رابطه زیر، خطای مدل برای هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه، و متوسط خطای برای تمام ایستگاه‌ها و دوره‌های بازگشت مورد نظر محاسبه گردید (به ترتیب جداول ۶ و ۷).

$$ei = \frac{QA - QM}{QA} \times 100 \quad [۱۲]$$

که در آن:

$$ei = \text{درصد خطای مدل}$$

$QA$  = مقدار بدء اوج لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت معین، با استفاده از آمار اندازه‌گیری شده

$QM$  = مقدار تخمینی بدء اوج لحظه‌ای با دوره بازگشت معین، با استفاده از مدل

درصد متوسط خطای مدل از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ei| \quad [۱۳]$$

که در آن:

$$ei = \text{قدر مطلق درصد خطای}$$

$n$  = تعداد ایستگاه‌های آب سنجی

بازگشت است. دلیل خطای مربوط به حوزه آبشنیه ممکن است مربوط به خصوصیات زمین‌شناسی حوزه باشد. باشد. این حوزه، در بین حوزه‌های مورد تحقیق تنها حوزه غیرکارستی است. همان طوری که در جدول ۴ نشان داده شده، میانگین پارامتر  $R$  در حوزه آبشنیه  $2/6$  است، در حالی که میانگین پارامتر  $R$  سایر حوزه‌های آبخیز بین  $1/02$  تا  $1/47$  می‌باشد. میانگین خطای برای تمام دوره‌های بازگشت ایستگاه‌های مورد مطالعه  $16/2$  درصد می‌باشد.

مهم‌ترین نتیجه‌گیری تحقیق حاضر این است که از آمار ایستگاه‌های آب‌سنگی دارای اشل (ایستگاه درجه ۲) می‌توان بده اوج لحظه‌ای را با دقت نسبتاً خوبی برآورد کرد. یعنی آمار ایستگاه‌های درجه ۲ را به ایستگاه درجه ۱ (ایستگاه آب‌سنگی مجهز به دستگاه لیمنوگراف) تبدیل کرد. هم‌چنین، پارامترهای مؤثر در آن به آسانی قابل اندازه‌گیری و محاسبه بوده و حداقل خطای اندازه‌گیری را دارند.

در نهایت، پیشنهاد می‌گردد که با انتخاب تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری بیشتر، و نیز شرایط اقلیمی متفاوت، کارایی روش فوق به طور جامع‌تری مطالعه شود. هم‌چنین، توصیه می‌گردد تا با انجام تحقیقی مشابه در حوزه‌های غیرکارستی، و مقایسه نتایج حاصله با حوزه‌های کارستی، جامعیت روش در شرایط مختلف زمین‌شناسی بررسی گردد.

مستقیم دارد (۴). قطر دایره هم سطح، نسبت دایره‌ای و ضریب گراولیوس، هر کدام به نحوی با شکل حوزه ارتباط دارند. هر چه حوزه کشیده‌تر باشد هیدروگراف حالت پهن‌تری خواهد داشت. در رابطه  $11$ ، انحراف معیار پارامتر  $R$  با نسبت برجستگی و قطر دایره هم سطح رابطه مستقیم، و با نسبت طولی حوزه رابطه عکس دارد. دلیل ذکر شده در مورد نسبت برجستگی در میانگین پارامتر  $R$ ، می‌تواند در مورد انحراف معیار نیز صادق باشد. پارامتر نسبت طولی حوزه تقریباً قرینه پارامتر نسبت دایره‌ای است. این پارامتر نیز مربوط به شکل و کشیدگی حوزه آبخیز می‌باشد. هر چه این پارامتر بزرگ‌تر باشد حوزه کمتر کشیده بوده، در نتیجه هیدروگراف حالت تیزتری داشته و بالاخره انحراف معیار آن کمتر می‌گردد.

مقدار برآورده اوج لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل، و مقایسه آن با بده اوج لحظه‌ای به دست آمده از آمار اندازه‌گیری شده، نشان داد که کمترین خطای مدل مربوط به دوره برگشت  $2$  سال (با خطای متوسط  $8/7$  درصد برای تمام ایستگاه‌های مورد تحقیق)، و بیشترین خطای مدل مربوط به دوره برگشت  $100$  سال (با میانگین خطای متوسط  $20/2$  درصد) است. بیشترین خطای مربوط به رودخانه آبشنیه می‌باشد. میانگین خطای این حوزه برای تمام دوره‌های بازگشت  $35/8$  درصد به دست آمد. کمترین خطای مربوط به رودخانه سیمه را میانگین خطای متوسط  $3/5$  درصد برای تمام دوره‌های

#### منابع مورد استفاده

۱. اسلامیان، س. ۱۳۶۹. کاربرد مدل‌های تجربی و احتمالاتی در برآورده جریان سطحی و دبی‌های اوج سیلان برای حوزه‌های مرکزی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. باقری، ر. ۱۳۷۲. تعیین دبی ماکزیمم لحظه‌ای در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار سد زاینده‌رود. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. عرب خدری، م. ۱۳۷۰. بررسی رابطه سیلان‌های حداکثر لحظه‌ای و حداکثر متوسط روزانه. مجله آب، شماره  $۱۰$ ، انتشارات وزارت نیرو، ص  $۲۳-۲۱$ .
۴. عرب خدری، م. ۱۳۷۴. برآورده سیلان‌های طرح با استفاده از ویژگی‌های حوزه آبخیز. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص  $۲۱۳-۲۲۸$ .
5. Caanti, P. and U. Moisello. 1982. Relationship between the yearly maxima of peak and daily discharge for some basins in Tuscany. Hydrol. Sci. J. 27: 111-128.

6. Caanti, P. and U. Moisello. 1987. A method for estimating the peak discharge through the records of mean daily discharge. *Hydrol. Sci. J.* 27: 177-184.
7. Fuller, W. E. 1914. Flood flows. *Trans. ASCE* 77: 564-617.
8. Langbein, W. D. 1944. Peak discharge from daily records. U.S. Geological Survey, Water Resources Bulletin, p . 145.
9. Sangal, B. P. 1983. Practical method of estimating peak flow. *Proc. ASCE, J. Hydraulic* 109: 549-563.

جدول ضمیمه. اصطلاحات و معادلات به کار رفته در تحقیق

معادله	شرح	پارامتر
-	سطح حوزه آبخیز (کیلومتر مربع)	A
-	محیط حوزه آبخیز (کیلومتر)	P
$F = \frac{A}{L}$	ضریب شکل	F
-	طول حوزه (کیلومتر)	L
$Gr = \frac{\circ / 2\pi P}{\sqrt{A}}$	ضریب گراولیوس	Gr
$B = \frac{Gr\sqrt{A} \pm \sqrt{GrA - 1/25A}}{1/12}$	مستطیل معادل (کیلومتر)	B
$Di = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}, (\pi = 3/14)$	قطر دایره معادل حوزه (کیلومتر)	Di
$Lr = \frac{Di}{Ls}$	نسبت طولی	Lr
$Cr = \frac{A}{Ac}$	نسبت دایره‌ای	Cr
-	مساحت دایره هم محیط با حوزه (کیلومتر)	Ac
-	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	Ls
-	شیب متوسط (درصد) - میانگین شیب در دو جهت افقی و عمودی	S
-	ارتفاع حد اکثر حوزه (متر)	HMax
-	ارتفاع حداقل حوزه (متر)	HMin
$H = HMax - HMin$	اختلاف ارتفاع حوزه (متر)	H
$Rr = \frac{H}{1000P}$	نسبت برجستگی	Rr
$Tc = \frac{Lr^{1/15}}{3.8 \cdot H^{0.385}}$	زمان تمرکز حوزه (ساعت) - رابطه کریج	Tc