تعیین مدل تجربی برآورد بده اوج لحظه‌ای چند حوزهٔ آبخیز غرب ایران

سید سعید اسلامیان[۱]، والی سلیمی[۲] و ستار چاوشی بروجنی[۳]

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، سیمره، سزار و آبشینه، که تنها دارای آمار بده حداکثر متوسط روزانه هستند، می‌باشد.

آمار بده اوج لحظه‌ای و بده حداکثر متوسط روزانه، در یک دورهٔ آماری ۲۱ سال، از سالنامه‌های وزارت نیرو، برای ۱۱ ایستگاه آب سنجی حوزه‌های آبخیز استخراج گردید. نسبت بده اوج لحظه‌ای به بده حداکثر متوسط روزانه(پارامتر R)، میانگین و انحراف معیار این نسبت در طول دوره‌های آماری برای ایستگاه‌های هیدرومتری، و خصوصیات فیزیوگرافیک حوزه‌ها شامل مساحت، طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط، شیب متوسط، طول مستطیل معادل، نسبت گردی، نسبت طولی، ضریب گراولیوس، تراکم شبکه، زمان تمرکز، نسبت برجستگی 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 ایستگاه‌های آب‌سنجی دارای اشل (ایستگاه‌های 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، حداکثر بده متوسط روزانه*

مقدمه

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

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

سنگال (۹) بر اساس اصول هیدروگراف مثلثی، و با استفاده از بده حداکثر متوسط روزانه و بده روز قبل و روز بعد از حداکثر روزانه، عاملی را به نام عامل پایه بده 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، عمدتاً از رگرسیون چندگانه برای برآورد بده اوج لحظه‌ای استفاده شده است. عرب خدری (۳) رابطه بین سیلاب‌های اوج لحظه‌ای و حداکثر بده 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 بده 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 بده 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 بده اوج لحظه‌ای به بده حداکثر متوسط روزانه (پارامتر R)، به خصوصیات فیزیوگرافی حوزه ارتباط داده شده و روابط منطقه‌ای فراوانی سیل به‌دست 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 بده اوج لحظه‌ای و حداکثر بده متوسط روزانه انتخاب گردیده است.

مواد و روش‌ها

برای برآورد بده 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 بده اوج لحظه‌ای به بده 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 بده حداکثر متوسط روزانه، می‌توان میانگین و انحراف معیار بده 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 بده اوج لحظه‌ای و بده حداکثر متوسط روزانه، در یک دورهٔ آماری ۲۱ سال از سالنامه‌های وزارت نیرو استخراج گردید. نسبت بده اوج لحظه‌ای به بده حداکثر متوسط روزانه(پارامتر R)، و میانگین و انحراف معیار بده اوج لحظه‌ای و بده حداکثر متوسط روزانه در طول دوره آماری، برای تمام ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه‌های مورد تحقیق محاسبه گردید. مقدار بده اوج لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۲۵، ۵۰ و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

۱۰۰ سال، از روش‌های احتمالات با استفاده از برنامه کامپیوتری هایفا[1] برآورد گردید. آنگاه با آزمون‌های برازندگی (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 آب‌سنجی 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 استات گرافیکز[2]، 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):

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

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

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

واریانس Q برابر است با:

$$Var(Q) = E(Q^2) - E^2(Q) \qquad [3]$$

و یا:

$$Var(Q) = E(R^2)E(q^2) - E^2(R)E^2(q) \qquad [4]$$

$$Var(q) = E(q^2) - E^2(q) \qquad [5]$$

$$Var(R) = E(R) - E^2(R) \qquad [6]$$

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

$$Var(Q)=Var(R)[(Var(q)+E^2(q)]-E^2(R)Var(q) \qquad [7]$$

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

$$LnQ = LnR + Lnq \qquad [8]$$

$$Var(LnQ)=Var(LnR)+Var(Lnq)+2Cov(LnR,Lnq) \qquad [9]$$

مشخصات عمومی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

حوزه کرخه در چین خوردگی 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 شمالی حوزه می‌باشند. حوزه دز عمدتاً منطقه‌ای کوهستانی است، که مهم‌ترین ارتفاعات آن اشتران‌کوه در جنوب ازنا با ارتفاع ۴۰۵۰ متر، کازنستیان با ارتفاع ۴۰۸۲ متر و ارتفاعات گرین با ارتفاع ۳۶۴۵ متر است. حوزه‌های مورد تحقیق عبارتند از: زیر حوزه‌های گاماسیاب، قره‌سو، سیمره و کشکان در حوزه کرخه، زیر حوزه سزار در حوزه دز، و زیر حوزه آبشنیه در حوزه قره‌چای (شکل‌های ۱و ۲). جداول ۱ و ۲ مشخصات و خصوصیات فیزیوگرافیک حوزه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

نتایج و بحث

انتخاب دورهٔ پایه آماری مشترک، به منظور کاهش دادن تأثیر زمانی غیر یک‌نواخت سری‌های آماری می‌باشد. در حقیقت با انتخاب دورهٔ مشترک، اثر عوامل هیدرومتئورولوژیک، 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

1. HYFA
2. STATGRAPHICS

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

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

حوزه	زیرحوزه	موقعیت جغرافیایی		آبراهه اصلی	ایستگاه‌های هیدرومتری
		طول	عرض		
کرخه	گاماسیاب	۴۷°۴′	۳۳°۵۰′	گاماسیاب	دوآب - پل چهر
		۴۹°۱۲′	۳۴°۵۷′		
	قره‌سو	۴۶°۲۲′	۳۴°۱′	قره‌سو	دوآب مِرگ - پل‌کهنه -
		۴۷°۲۲′	۳۴°۵۰′		قورباغستان
	سمیره	۴۶°۷′	۳۲°۲۶′	سیمره	هولیلان - تنگ سازین
		۴۸°۲۵′	۳۴°۲۲′		
دز	کشکان	۴۷°۱۲′	۳۳°۵′	کشکان	پل‌کشکان - آفرینه - پل‌دختر
		۴۸°۵۸′	۳۴°۲′		
	سزار	۴۸°۲۱′	۳۲°۳۶′	سزار	سپیددشت
		۴۹°۲۹′	۳۳°۲۹′		
قره‌چای	آبشینه	۴۸°۳۰′	۳۴°۴۵′	آبشینه	سدآبشینه
		۴۸°۴۰′	۳۴°۵۵′		

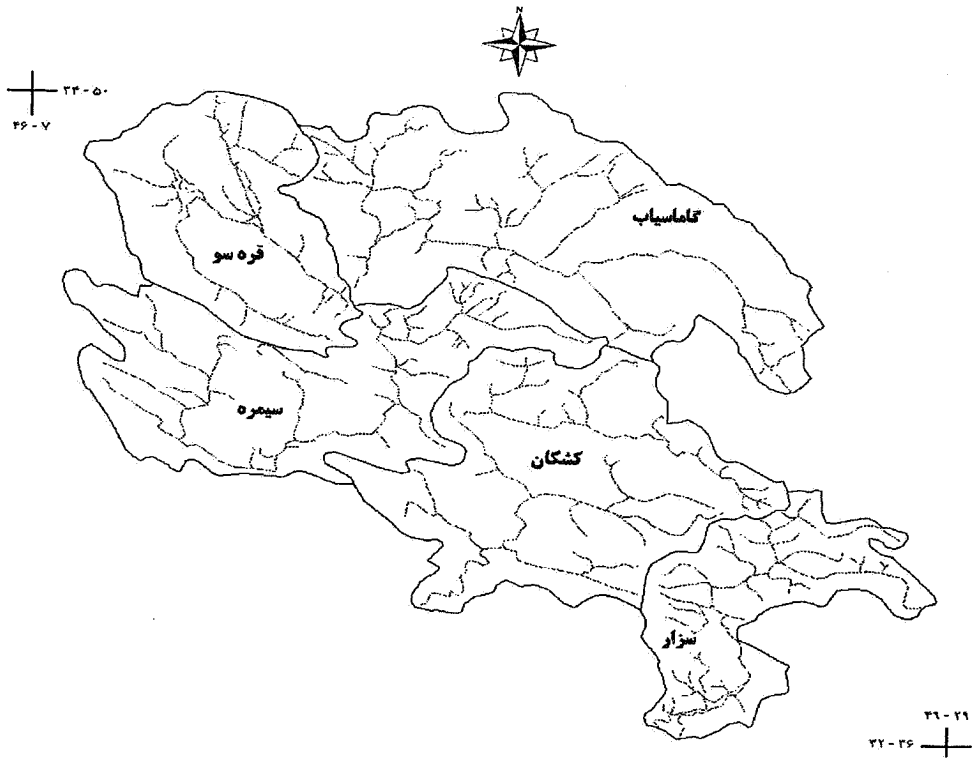
جدول ۲. خصوصیات فیزیوگرافی زیر حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه[1]

خصوصیات فیزیوگرافی	ایستگاه هیدرومتری									
	دوآب	پل چهر	دوآب مِرگ	پل‌کهنه	قورباغستان	هولیلان	پل‌کشکان	آفرینه	پل‌دختر	سپیددشت	سدآبشینه
مساحت	۷۷۵۴	۱۰۸۸۴	۲۶۵۶/۲۵	۴۹۷۳	۵۲۱۶/۲۵	۲۰۴۷۴/۴	۳۷۱۱/۷	۷۵۸۸/۷۵	۹۱۶۶/۲۵	۳۱۳۹/۳	۲۶۰
محیط	۵۰۲/۵	۶۵۲/۱	۳۶۲/۵	۴۰۴/۲۵	۴۰۵/۵	۹۵۲/۵	۴۱۰	۴۴۰	۵۴۷/۵	۳۵۰	۷۸/۷۵
طول آبراهه اصلی	۱۷۷/۵	۲۴۵/۲۵	۱۲۲/۵	۱۹۰	۲۰۷/۷۵	۳۶۵/۵	۱۹۷/۵	۲۴۵	۲۸۷/۵	۱۲۳	۳۳/۴
ارتفاع متوسط	۱۸۸۹	۱۸۲۷	۱۵۲۳	۱۵۱۳	۱۵۴۵	۹۵۲	۱۷۹۰	۱۸۶۰	۱۷۱۰	۱۸۷۴	۲۴۰۸/۲
شیب متوسط	۱۷/۸۹	۲۴/۱	۱۱/۲۶	۱۶/۲۲	۱۶/۲۵	۲۳/۴۱	۳۳/۲	۳۰/۹	۲۹/۵	۲۷/۲	۲۴/۵
طول مستطیل معادل	۲۱۵/۶۳	۲۸۸/۲۷	۱۶۵/۳	۱۷۴/۲	۱۷۲/۱۹	۴۲۷/۲۵	۱۸۴/۴	۱۷۶/۲۹	۲۳۴/۴	۱۵۴/۸	۳۱/۱
نسبت گردی	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۲۵۴	۰/۳۷۹	۰/۳۹۹	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۴۹	۰/۳۸۴	۰/۳۲	۰/۵۳
نسبت طولی	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۷۷۸	۰/۹۸	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۷۲۷	۰/۶۱
ضریب گراولیوس	۱/۶	۱/۷۵	۱/۹۷	۱/۶۱	۱/۵۷	۱/۸۶	۱/۸۸	۱/۴۱	۱/۶	۱/۷۵	۱/۳۷
تراکم شبکه	۱/۴۱	۱/۲۴	۱/۱	۱/۱۱	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۹	۱/۳۷	۱/۲۴	۰/۳۸	۱/۱
زمان تمرکز	۱۹/۰۲	۲۶/۷	۱/۳۶	۷/۶	۱۱/۵	۴۰/۳	۱۹/۶	۲۴/۵	۲۸/۲	۹/۴	۵
نسبت برجستگی	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۲۴	۰/۰۰۲۵۵	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۵۵	۰/۰۱	۰/۰۲۲
قطر دایره معادل	۹۹/۴	۱۱۷/۷	۵۸/۱۶	۷۹/۵۷	۸۱/۵	۱۶۱/۵	۶۸/۷۵	۹۸/۳	۱۰۸/۰۳	۶۳/۲۲	۱۸/۲
بارندگی متوسط	۴۹۰	۴۴۳	۴۹۰	۴۹۰	۳۹۳	۴۳۲	۳۰۷	۴۸۲	۴۱۷	۶۹۷	۳۹۵

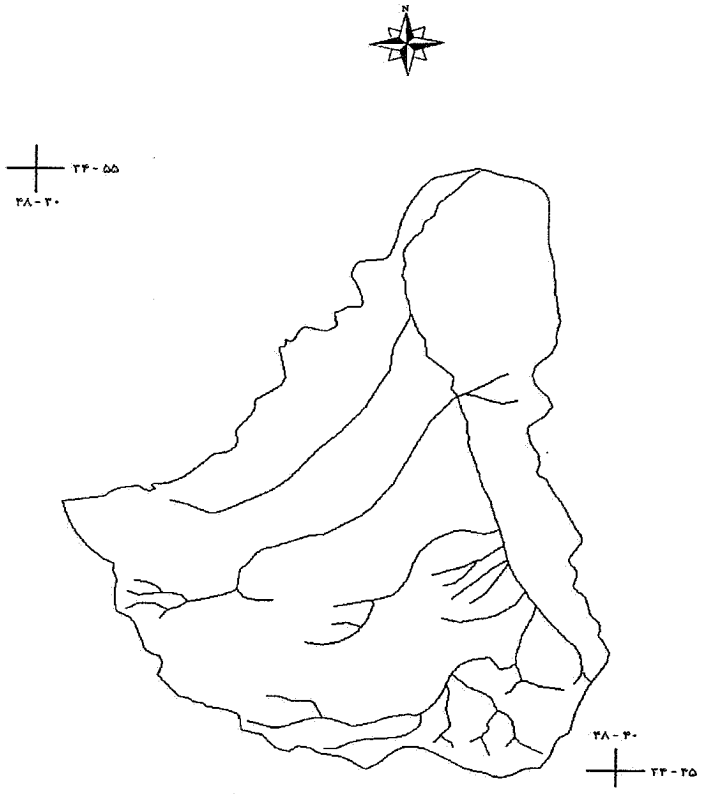
۱. در مورد واحد پارامترهای مورد استفاده در جدول فوق، به جدول ضمیمه مقاله مراجعه گردد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]



شکل ۱. حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه



شکل ۲. موقعیت حوزه آبشینه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

آماری ۲۱ ساله از سال آبی ۴۷-۱۳۴۶ تا سال آبی ۶۸-۱۳۶۷ انتخاب گردید. با توجه به هشت تابع توزیع احتمال، شامل توابع نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع ۳،لوگ پیرسون نوع ۳، گامبل، لوگ گامبل، گاماو لوگ گاما، مقادیر بده اوج لحظه‌ای برای رودخانه‌های مورد تحقیق، در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال تعیین شد. سپس به منظور گزینش بهترین تابع توزیع احتمال برای برازش به داده‌های بده اوج لحظه‌ای، از روش‌های متداول آزمون برازندگی، شامل روش‌های کلموگرف‌اسمیرنوف، کای اسکوئر و روش حداقل مربعات استفاده گردید (جدول ۳). انتخاب توزیع مناسب در ستون آخر جدول ۳، براساس غالبیت و یا سادگی توزیع‌های مختلف در سه روش فوق می‌باشد.

در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد تحقیق، میانگین و انحراف معیار پارامتر R (نسبت بده اوج لحظه‌ای به بده حداکثر 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 کامپیوتری استات‌گرافیکز شده، و با توجه به حالت‌های مختلف از قبیل پیش رو[1]، پس‌رو[2] و پله‌ای[3]، 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:

$$E(R)= ۷۲/۶Rr+۰/۰۰۳۳Di+۸/۱۸Cr+۳/۲۹Cr-۷/۹۱ \quad [۱۰]$$

$r^2 = ۰/۹۳$

$SE = ۰/۱۵۲$

$$S(R)=۹۸/۸۵Rr+۰/۰۰۳۷Di-۰/۶۶۹Lr-۰/۱۱۶ \quad [۱۱]$$

$r^2 = ۰/۹۴۵$

$SE = ۰/۱۴$

که:

E(R) = میانگین پارامتر R

S(R) = انحراف معیار پارامتر R

Rr = نسبت برجستگی

Di = قطر دایره معادل بر حسب کیلومتر

Gr = ضریب گراولیوس

Cr = نسبت دایره‌ای

Lr = نسبت طولی

r^2 = ضریب تشخیص

SE =خطای معیار

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% و۹۴%) معنی‌دار 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 بده حداکثر متوسط روزانه در طول دورهٔ آماری ۲۱ ساله محاسبه شد،که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. آن گاه، با استفاده از روابط ۲ تا ۷، میانگین و انحراف معیار بده اوج لحظه‌ای، برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برآورد شد. با داشتن میانگین و انحراف معیار بده اوج لحظه‌ای برای اکثر توابع توزیع احتمال، می‌توان مقدار بده اوج لحظه‌ای را برای دوره‌های بازگشت مختلف برآورد نمود (جدول ۵).

1. Forward 2. Backward 3. Stepwise

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

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

ایستگاه	آزمون برازندگی			توزیع منتخب
	کلموگراف - اسمیرنوف	کای اسکوئر	حداقل مربعات	
دوآب	لوگ‌گامبل - لوگ گاما	لوگ گامبل - لوگ نرمال	لوگ پیرسون - لوگ گامبل	لوگ گامبل - لوگ نرمال
پل چهر	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - گامبل	گامبل - لوگ پیرسون	گامبل - لوگ گامبل
دوآب مِرگ	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ پیرسون - لوگ گاما	لوگ پیرسون - لوگ گامبل
پل کهنه	لوگ پیرسون - لوگ گامبل	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون
قورباغستان	لوگ گامبل - گامبل	لوگ پیرسون - لوگ نرمال	لوگ گامبل - پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون
هولیلان	لوگ پیرسون - لوگ گامبل	لوگ نرمال - لوگ گاما	لوگ گامبل - پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون
پل کشکان	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ نرمال - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - پیرسون	لوگ پیرسون - لوگ گامبل
آفرینه	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ نرمال - پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون
پل‌دختر	لوگ گامبل - گامبل	نرمال - گامبل	لوگ نرمال - گامبل	گامبل - لوگ نرمال
سپیددشت	لوگ پیرسون - لوگ گاما	لوگ گاما - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ پیرسون - لوگ گاما
سد آبشینه	لوگ گامبل - لوگ پیرسون	لوگ گامبل - لوگ نرمال	لوگ نرمال - گامبل	لوگ گامبل - لوگ نرمال

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

ایستگاه	E(Q)	S(Q)	E(q)	S(q)	E(R)	S(R)
دوآب مِرگ	۸۰/۹	۷۸/۴	۷۶/۶	۵۹/۷	۱/۱۴	۰/۱۲
پل کهنه	۲۰۴/۷۵	۲۵۳/۵	۱۹۹/۴	۲۴۸/۰۱	۱/۰۲	۰/۰۲
قورباغستان	۲۲۸/۹	۲۸۷	۲۰۴/۵	۲۱۴	۱/۰۵	۰/۰۹
دوآب	۱۶۵/۳	۱۲۱/۴	۱۳۸/۹۶	۹۶/۴	۱/۱۸	۰/۱۲
پل چهر	۳۲۴/۲	۱۵۵/۷	۲۶۹/۹	۱۲۵/۰۴	۱/۲۲	۰/۲۹
هولیلان	۶۵۹/۳	۵۵۲/۲	۶۲۱/۷	۵۴۶/۳	۱/۰۷	۰/۰۹
آفرینه	۵۱۹/۰۶	۲۶۲/۴	۳۹۱/۰۶	۲۵۴/۵	۱/۴۲	۰/۲۷
پل دختر	۷۸۰/۱	۵۱۲/۰۶	۵۲۸/۶	۳۳۰/۸	۱/۴۷	۰/۲۷
پل کشکان	۳۵۷/۲	۲۳۰/۸	۲۷۶/۴	۱۷۹/۸	۱/۳۱	۰/۲۵
سپیددشت	۴۰۷/۰۱	۲۵۹/۴	۳۳۱/۰۱	۲۱۰/۴	۱/۲۶	۰/۳۳
آبشینه	۴۹/۰۱	۳۷/۷۲	۲۲/۵۲	۲۰/۱۶	۲/۶۱	۱/۸۲

جدول ۵. پارامترهای بده اوج لحظه‌ای با استفاده از مدل

ایستگاه	S(R)	S(q)	E(q)	E(R)	S(Q)	E(Q)
دوآب مِرگ	۰/۰۰۴۹	۵۹/۷	۶۷/۷	۱/۱۴	۶۸/۱	۷۷/۱
پل کهنه	۰/۰۳۸۱	۲۴۸/۰۱	۱۹۹/۴	۱/۱۱۴	۲۷۶/۶	۲۲۲/۲
قورباغستان	۰/۱۲۹	۲۱۴	۲۰۴/۵	۱/۱۵۵	۲۵۰/۲	۲۳۶/۳
دوآب	۰/۰۹۶۸	۹۶/۴	۱۳۸/۹۶	۱/۱۴۱	۱۱۱/۲	۱۵۸/۶
پل چهر	۰/۱۵۸۹	۱۲۵/۰۴	۲۶۹/۹	۱/۰۷۸	۱۴۲/۹	۲۹۱/۰۳
هولیلان	۰/۱۴۰۰۵	۵۴۶/۳	۶۲۱/۷	۱/۲	۶۶۶/۲	۷۴۶/۶
آفرینه	۰/۲۱۶۶	۲۵۴/۵	۳۹۱/۰۶	۱/۴۹	۳۹۲/۶	۵۸۲/۸
پل دختر	۰/۲۴۰۲	۳۳۰/۸	۵۲۸/۶	۱/۲۳۶	۴۳۵/۶	۶۵۳/۷
پل کشکان	۰/۲۹۷۵	۱۷۹/۸	۲۷۶/۴	۱/۲۲۹	۲۴۱/۹	۳۳۹/۹
سپیددشت	۰/۶۲۱۲	۲۱۰/۴	۳۳۱/۰۲	۱/۳۸۷	۳۸۰/۲	۴۵۹/۳
آبشینه	۱/۷۱۸۷	۲۰/۱۶	۲۲/۵۲	۳/۵۷۹	۷۳/۵	۵۸/۱

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

جدول ۶. خطای مدل در دوره‌های بازگشت مختلف

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

با استفاده از نتایج جدول ۳، بده اوج لحظه‌ای برای دوره‌های بازگشت مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال برآورد گردید، و با بده 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 خطا برای تمام ایستگاه‌ها و دوره‌های بازگشت مورد نظر محاسبه گردید(به ترتیب جداول ۶ و ۷).

$$ei = \frac{QA - QM}{QA} \times ۱۰۰ \qquad [۱۲]$$

که در آن :

ei = درصد خطای مدل

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

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

درصد متوسط خطای مدل از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$E = \frac{۱}{n} \sum_{i=۱}^{n} | ei | \qquad [۱۳]$$

که در آن:

ei = قدر مطلق درصد خطا

n = تعداد ایستگاه‌های آب سنجی

جدول ۷. خطای متوسط مدل برای دوره‌های بازگشت مختلف

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

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 گراولیوس 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 حوزهٔ آبخیز باشد، که باعث نوک تیز شدن هیدروگراف بده اوج لحظه‌ای، و در نهایت سبب افزایش میانگین پارامتر R می‌گردد (۵ و ۶). نسبت برجستگی با میزان فرسایش حوزه آبخیز رابطه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

مستقیم دارد (۴). قطر دایره هم سطح، نسبت دایره‌ای و ضریب گراولیوس، هرکدام به نحوی با شکل حوزه ارتباط دارند. هر چه حوزه کشیده‌تر باشد هیدروگراف حالت پهن‌تری خواهد داشت.

در رابطهٔ ۱۱، 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 برآورد بده 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 ۲ سال (با خطای متوسط ۸/۷ درصد برای تمام ایستگاه‌های مورد تحقیق)، و بیشترین خطای مدل مربوط به دوره برگشت ۱۰۰ سال (با میانگین خطای متوسط ۲۰/۲ درصد) است. بیشترین خطا مربوط به رودخانه آبشینه می‌باشد. میانگین خطای این حوزه برای تمام دوره‌های بازگشت ۳۵/۸ درصد به دست آمد. کمترین خطا مربوط به رودخانه سیمره با میانگین خطای متوسط ۳/۵ درصد برای تمام دوره‌های بازگشت است. دلیل خطای مربوط به حوزه آبشینه ممکن است مربوط به خصوصیات زمین‌شناسی حوزه باشد. این حوزه، در بین حوزه‌های مورد تحقیق تنها حوزه غیر کارستی است. همان طوری که در جدول ۴ نشان داده شده، میانگین پارامتر R در حوزه آبشینه ۲/۶ است، در حالی‌که میانگین پارامتر R سایر حوزه‌های آبخیز بین ۱/۰۲ تا ۱/۴۷ می‌باشد. میانگین خطا برای تمام دوره‌های بازگشت ایستگاه‌های مورد مطالعه ۱۶/۲ درصد می‌باشد.

مهم‌ترین نتیجه‌گیری تحقیق حاضر این است که از آمار ایستگاه‌های آب‌سنجی 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 آب‌سنجی مجهز به دستگاه لیمنوگراف) تبدیل کرد. هم چنین، 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 غیر کارستی، و مقایسه نتایج حاصله با حوزه‌های کارستی، جامعیت روش در شرایط مختلف زمین شناسی بررسی گردد.

منابع مورد استفاده

۱. اسلامیان، س. ۱۳۶۹. کاربرد مدل‌های تجربی و احتمالاتی در برآورد جریان سطحی و دبی‌های اوج سیلاب 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 سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای و حداکثر متوسط روزانه. مجله آب، شماره ۱۰، انتشارات وزارت نیرو، ص ۲۳-۳۱.

۴. عرب خدری، م. ۱۳۷۴. برآورد سیلاب‌های طرح با استفاده از ویژگی‌های حوزه آبخیز. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص ۲۱۳ - ۲۲۸.

5. Caunti, 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

6. Caunti, 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]

جدول ضمیمه. اصطلاحات و معادلات به‌کار رفته در تحقیق

پارامتر	شرح	معادله
A	سطح حوزه آبخیز (کیلومتر مربع)	-
P	محیط حوزه آبخیز (کیلومتر)	-
F	ضریب شکل	$F=\frac{A}{L^{۲}}$
L	طول حوزه (کیلومتر)	-
Gr	ضریب گراولیوس	$Gr=\frac{۰/۲۸P}{\sqrt{A}}$
B	مستطیل معادل (کیلومتر)	$B=\frac{Gr\sqrt{A}\pm\sqrt{GrA-۱/۲۵A}}{۱/۱۲}$
Di	قطر دایره معادل حوزه (کیلومتر)	$Di=۲\frac{\sqrt{A}}{\pi}$, $(\pi=۳/۱۴)$
Lr	نسبت طولی	$Lr=\frac{Di}{Ls}$
Cr	نسبت دایره‌ای	$Cr=\frac{A}{Ac}$
Ac	مساحت دایره هم محیط با حوزه (کیلومتر)	-
Ls	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	-
S	شیب متوسط (درصد) - میانگین شیب در دو جهت افقی و عمودی	-
HMax	ارتفاع حداکثر حوزه (متر)	-
HMin	ارتفاع حداقل حوزه (متر)	-
H	اختلاف ارتفاع حوزه (متر)	$H = HMax - HMin$
Rr	نسبت برجستگی	$Rr=\frac{H}{۱۰۰۰P}$
Tc	زمان تمرکز حوزه (ساعت) - رابطه کرپیچ	$Tc=\frac{Lr^{۱/۱۵}}{۳۰۸۰H^{۰/۳۸۵}}$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.2.1.1]