مدل‌های برآورد حداکثر دبی میانگین روزانه با برخورداری از ویژگی‌های فیزیوگرافیک برای حوزه‌های آبریز غرب ایران

محمدعلی ایزدبخش، سیدسعید اسلامیان و سیدفرهاد موسوی[۱]

چکیده

سیل از جمله پدیده‌هایی است که همواره مورد توجه پژوهشگران هیدرولوژی قرار دارد. در این بررسی، مدل برآورد یکی از شاخص‌های مهم بیان‌کننده سیلاب، یعنی حداکثر دبی میانگین روزانه در چند حوزه آبریز غرب ایران تعیین گردید. زیر حوزه‌های مورد بررسی عبارتند از گاماسیاب، قره‌سو، سیمره، کشکان (حوزه آبریز کرخه)، سزار (حوزه آبریز دز) و آبشینه (حوزه آبریز قره چای).

پس از تهیه آمار دبی‌های میانگین روزانهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری، از سال‌های آماری موجود ۳۰ سال دوره مشترک آماری انتخاب شد، و با کمک نرم‌افزارهای HYFA و TR تحلیل فراوانی روی داده‌های سیلاب انجام گرفت، و بهترین توزیع آماری توسط آزمون‌های نیکویی برازش برگزیده شد. سپس دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساله برآورد گردید. مدل سازی توسط تحلیل منطقه‌ای و به کمک روش رگرسیون چندگانه میان دبی و ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوزه‌ها انجام شد. معیار اصلی گزینش مدل، ضریب تبیین اصلاح شده بود، و سطح معنی دار بودن، خطای استاندارد و نمودارهای دبی مشاهده شده و محاسبه شده، درستی مدل را کنترل نمودند. بدین ترتیب، مدل‌هایی با شکل‌ها و پارامترهای گوناگون از میان مدل‌های توانی، نمایی، خطی و لگاریتمی انتخاب شد، ولی مدل توانی بیشتر از دیگر مدل‌ها برای منطقه به کار رفت. بر پایهٔ نتایج این پژوهش، پارامترهای طول آبراهه اصلی، تراکم زه‌کشی، و زمان تمرکز بیشترین تأثیر را در تولید دبی داشتند. از تحلیل خطا چنین برآمد که هرچه دوره بازگشت افزایش پیدا کند میزان خطای برآورد مدل‌ها نیز افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله مقدار خطا به ۳۲/۲ درصد رسید.

واژه‌های کلیدی: *سیل، حوزه‌های آبریز، حداکثر دبی میانگین روزانه، تحلیل فراوانی سیل، مدل سازی سیل، ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوزه‌ها*

مقدمه

هر ساله در گوشه و کنار جهان، مانند مناطق غرب ایران جان و مال بسیاری از مردم توسط سیل به مخاطره می‌افتد. بنابراین، چه از نظر طراحی تأسیسات آب‌رسانی و چه از نظر مهار سیلاب‌های طغیانگر، لازم است که شاخص‌های بیان سیلاب بررسی گردد.

یکی از پارامترهایی که در برنامه ریزی منابع آب کاربرد

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

فراوان دارد، حداکثر دبی میانگین روزانه است. حداکثر دبی میانگین روزانه عبارت است از بزرگ‌ترین دبی میانگین اندازه‌گیری شده روزانه در هر سال (۳و۱۰). در بسیاری از پروژه‌های برآورد دبی‌های حدی از حداکثر دبی‌های میانگین روزانه به جای دبی حداکثر لحظه‌ای استفاده می‌شود، زیرا در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، تعداد داده‌های موجود دبی لحظه‌ای برای انجام تحلیل آماری معتبر کافی نیست.

برای برآورد دبی سیلاب از روش‌های گوناگونی در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. به خاطر اهمیت زیاد در طرح‌های آبی، بیشتر پژوهشگران بررسی‌های خود را روی دبی حداکثر لحظه‌ای، و به دنبال آن حداکثر دبی میانگین روزانه انجام داده‌اند.

اکرمن (۵) رابطه‌ای برای محاسبه حداکثر دبی میانگین روزانه، با استفاده از داده‌های ۶۸ ایستگاه هیدرومتری در اسکاتلند پیشنهاد نمود:

$$Q=C(A)^{0/94}(R)^{1/03}(F)^{0/27}(S_o)^{1/23}$$

$$\times(S_{10-85})^{0/16}(L_a+1)^{-0/85} \qquad [1]$$

که در آن:

Q = حداکثر دبی میانگین روزانه (متر مکعب در ثانیه)

C = ضریب منطقه‌ای

A = مساحت حوزه (کیلومتر مربع)

R = ارتفاع بارندگی یک روزه با دوره بازگشت پنج ساله، منهای کمبود رطوبتی مؤثر خاک (میلی‌متر)

F = فرکانس آبراهه (تقاطع در هر کیلومتر مربع)

S_o = شاخص نوع خاک

S_{10-85} = شیب ۱۰ تا ۸۵ درصد آبراهه (متر در کیلومتر)

L_a = نسبتی از سطح حوزه که توسط دریاچه‌ها یا مخازن پوشیده شده است.

این معادله در اسکاتلند و حتی در کشورهای دیگر با تغییر ضریب C به عنوان ضریب منطقه‌ای با دقت قابل قبولی استفاده شده است، زیرا ویژگی‌های مؤثر در تولید سیلاب (به رغم مشکلات موجود در محاسبه برخی از آنها) در آن به کار رفته است.

میمیکو و گوردیوس (۹) مدل زیر را برای ۱۱ حوزه آبریز یونان ارائه دادند:

$$Q=2/73\times10^{-8}(A)^{1/072}(P)^{2/317}(S)^{0/982}$$

$$(F)^{0/216}(S_o)^{3/266} \qquad [2]$$

که در آن:

P = بارندگی میانگین سالیانه (میلی‌متر)

S = شیب میانگین آبراهه اصلی (متر در کیلومتر)

موسوی و سپاسخواه (۴) با برخورداری از داده‌های ۴۹ ایستگاه هیدرومتری، معادله زیر را برای تعیین میزان حداکثر دبی میانگین روزانه در حوزه‌های استان فارس ارائه نمودند:

$$Q_i=a_0A^{a_1}P^{a_2} \qquad [3]$$

که در آن:

Q_i = حداکثر دبی میانگین روزانه با دوره بازگشت i (مترمکعب در ثانیه)

A = مساحت حوزه آبخیر (کیلومتر مربع)

P = بارندگی میانگین سالیانه (میلی‌متر)

a_0، a_1 و a_2 = ضریب و نماهای منطقه‌ای

هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی حداکثر دبی میانگین روزانه برای برخی از حوزه‌های آبریز غرب ایران، شامل زیرحوزه‌های گاماسیاب، قره‌سو، سیمره و کشکان (حوزه آبریز کرخه)، زیرحوزه سزار (حوزه آبریز دز) و زیرحوزه آبشینه (حوزه آبریز قره‌چای) است. این پیش بینی از راه ایجاد ارتباط بین دبی‌های حداکثر میانگین روزانه با ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوزه‌ها انجام می‌گیرد.

مواد و روش ها

در مناطقی که آمار سیلاب موجود باشد، می‌توان حداکثر دبی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

میانگین روزانه را به سادگی تعیین کرد، ولی در مناطق بدون آمار باید از روش‌های برآورد سیلاب استفاده نمود. بعضی از روش‌هایی که در حال حاضر برای پیش بینی سیلاب در مناطق بدون آمار استفاده می‌شود عبارتند از:

۱. روش شاخص سیل
۲. روندیابی سیل
۳. معادلات تجربی
۴. هیدروگراف واحد مصنوعی
۵. شبیه سازی
۶. روش آمار و احتمالات

از بین گزینه‌های مذکور باید روشی انتخاب گردد که دارای شرایط زیر باشد:

الف) نیاز به داده‌های پیچیده و غیر قابل دسترسی نداشته باشد
ب) تا حد امکان نیاز به داوری شخصی نباشد
ج) از لحاظ تئوری محدودیت نداشته باشد
د) زمان‌بر نباشد

با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد بررسی و داده‌های موجود و پس از بررسی‌های لازم، بهترین روش در برآورد حداکثر دبی میانگین روزانه، روش آمار و احتمالات انتخاب گردید. برای انجام این روش بایستی این مراحل را گذراند:

تهیه منابع و مدارک و نقشه‌های موجود در منطقه طرح

کلیه منابعی که برای برآورد دبی‌های روزانه در منطقه موجود است، مانند نقشه‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، جمع آوری شده و ایستگاه‌های هیدرومتری روی نقشه پیاده می‌شوند. هم چنین، آمار ایستگاه‌های هیدرومتری برگزیده فراهم می‌گردد.

کنترل، تصحیح و تکمیل آمار

برای آن که تحلیل‌های آماری معتبر باشند، باید سری داده‌های هیدرولوژیک کنترل گردند. هم چنین، آمار از بین رفته، توسط روابط هم بستگی میان ایستگاه‌های مجاور دارای آمار کامل‌تر به دست می‌آید، و آمار برخی از ایستگاه‌ها توسط این روش تطویل می‌گردد.

تعیین ویژگی‌های فیزیوگرافیک و بارندگی حوزه

ویژگی‌های فیزیکی حوزه به دسته پارامترهایی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوزه در طول زمان نسبتاً ثابت است. با به کار بردن این پارامترها به عنوان متغیر مستقل در معادلات رگرسیون، می‌توان حداکثر دبی میانگین روزانه را به دست آورد. در این پژوهش، پارامترهایی چون طول آبراهه، شیب میانگین حوزه، درصد تراکم زه‌کشی، نسبت برجستگی، نسبت کشیدگی و پیرامون حوزه به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده است. جدول ۱ ویژگی‌های فیزیوگرافیک و بارندگی حوزه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در این جدول، ایستگاه‌های دوآب و پل‌چهر در زیر حوزه گاماسیاب، ایستگاه‌های دوآب مرگ، پل کهنه و قورباغستان در زیر حوزه قره‌سو، ایستگاه هلیلان در زیر حوزه سیمره، ایستگاه‌های پل کشکان، آفرینه و پل‌دختر در زیر حوزه کشکان، ایستگاه یالفان در زیر حوزه آبشینه، و ایستگاه سپیددشت در زیر حوزه سزار قرار دارند.

تحلیل فراوانی سیلاب

برای تحلیل فراوانی سیل‌ها از روش احتمالات استفاده می‌شود. در مطالعات فراوانی از تفسیر اطلاعات گذشته برای برآورد و پیش بینی رویدادهای آینده استفاده می‌کنند. اگر اطلاعات موجود، دراز مدت و قابل اعتماد باشد، برآوردهای رضایت‌بخشی می‌دهد. ولی در عمل، آمار طولانی وجود ندارد، و اغلب باید برآورد سیل برای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر از مدت آمار صورت گیرد.

بنا به تعریف، میانگین زمان بین وقوع یک رویداد مشخص و رویدادهای برابر یا بزرگ‌تر از آن را دوره بازگشت میانگین، یا به‌طور خلاصه دوره بازگشت گویند (۱، ۷ و ۸). باید توجه داشت که مفهوم دوره بازگشت یک مفهوم احتمالی است، و هیچ‌گونه مفهوم دوره تناوبی را نمی‌رساند. برای تحلیل فراوانی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیوگرافیک و بارندگی حوزه‌های آبخیر مورد بررسی در غرب ایران

ایستگاه / پارامتر	آفرینه	پل چهر	پل‌دختر	پل‌کشکان	پل‌کهنه	دوآب	دوآب مرگ	سپیددشت	قورباغستان	هلیلان	یالفان
مساحت حوزه (کیلومترمربع)	۷۵۸۸/۸	۱۰۸۸۴/۴	۹۱۶۶/۳	۳۷۱۱/۷	۴۹۷۳/۱	۷۷۵۳/۸	۲۶۵۶/۳	۳۱۳۹/۳	۵۲۱۶/۳	۲۰۴۷۴/۴	۲۶۰/۰
محیط حوزه (کیلومتر)	۴۴۰/۰	۶۵۲/۱	۵۴۷/۵	۴۱۰	۴۰۶/۳	۵۰۲/۵	۳۶۲/۵	۳۵۰/۰	۴۰۵/۵	۹۵۲/۵	۷۸/۸
ارتفاع میانگین حوزه (متر)	۱۸۶۰	۱۸۲۷	۱۷۱۰	۱۷۹۰	۱۵۱۳	۱۸۸۹	۱۵۲۳	۱۸۷۴	۱۵۴۵	۹۵۲	۲۴۰۸
طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۲۴۵/۰	۲۴۵/۳	۲۸۷/۵	۱۹۷/۵	۱۹۰/۰	۱۷۷/۵	۱۲۲/۵	۱۲۳/۰	۲۰۷/۸	۳۶۵/۵	۳۳/۴
طول کل آبراهه‌ها (کیلومتر)	۱۰۳۹۶/۶	۱۳۴۹۶/۷	۱۱۳۶۶/۲	۵۱۵۹/۳	۵۵۲۰/۲	۱۰۹۳۲/۸	۲۹۲۱/۹	۱۱۹۲/۹	۵۸۹۴/۴	۲۷۲۳۱/۰	۲۸۶/۰
شیب میانگین حوزه (درصد)	۳۰/۹	۲۴/۱	۲۹/۵	۳۳/۲	۱۶/۲	۱۷/۹	۱۱/۳	۲۷/۲	۱۶/۳	۲۳/۴	۲۴/۵
نسبت برجستگی	۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۰۰	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۲۲۰
نسبت گردی	۰/۴۹۰	۰/۳۲۰	۰/۳۸۴	۰/۲۸۰	۰/۳۷۹	۰/۳۹۰	۰/۲۵۴	۰/۳۲۰	۰/۳۹۹	۰/۲۸۰	۰/۵۳۰
نسبت کشیدگی	۰/۹۵۰	۰/۷۳۰	۰/۸۸۰	۰/۶۸۰	۰/۹۸۰	۰/۸۱۰	۰/۷۷۸	۰/۷۲۷	۰/۸۶۰	۰/۸۹۰	۰/۶۱۰
قطر دایره هم‌سطح (کیلومتر)	۹۸/۳	۱۱۷/۷	۱۰۸/۰	۶۸/۸	۷۹/۶	۹۹/۴	۵۸/۲	۶۳/۲	۸۱/۵	۱۶۱/۵	۱۸/۲
ضریب گراولیوس	۱/۴۱	۱/۷۵	۱/۶۰	۱/۸۸	۱/۶۱	۱/۶۰	۱/۹۷	۱/۷۵	۱/۵۷	۱/۸۶	۱/۳۷
طول مستطیل معادل (کیلومتر)	۱۷۶/۳	۲۸۸/۳	۲۳۴/۴	۱۸۴/۴	۱۷۴/۲	۲۱۵/۶	۱۶۵/۳	۱۵۴/۸	۱۷۲/۲	۴۲۷/۳	۳۱/۱
تراکم زه‌کشی (کیلومتر درکیلومترمربع)	۱/۳۷	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۳۹	۱/۱۱	۱/۴۱	۱/۱۰	۰/۳۸	۱/۱۳	۱/۳۳	۱/۱۰
زمان تمرکز (ساعت)	۲۴/۵	۲۶/۷	۲۸/۲	۱۹/۶	۷/۶	۱۹/۰	۱۳/۶	۹/۴	۱۱/۵	۴۰/۳	۵/۰
بارندگی میانگین سالیانه (میلی‌متر)	۴۸۲	۴۴۳	۴۱۷	۳۰۷	۴۸۹/۶	۴۹۰	۴۹۰	۶۹۷	۳۹۳	۴۳۳	۳۹۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

سیلاب، نخست باید توزیع فراوانی مربوط به هر سری داده را مشخص نمود. معروف‌ترین توزیع‌های فراوانی که در هیدرولوژی به کار می‌روند، عبارتند از توزیع نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع ۳، لوگ پیرسون نوع ۳، گامبل، لوگ گامبل، گاما و لوگ گاما. سیسیونی و همکاران (به نقل از ۲) آمار ۱۰۸ رودخانه در ایتالیا را با توزیع‌های لوگ نرمال ۲ و ۳ پارامتری، گامای ۲ پارامتری، پیرسون نوع ۳ و گامبل بررسی نمودند، و نتیجه گرفتند که میان توزیع‌های فوق، توزیع لوگ نرمال ۲ پارامتری بهترین برازش را دارد. موسوی و سپاسخواه (۴) نیز توزیع لوگ نرمال ۲ پارامتری را بهترین توزیع برای برازش به داده‌های حداکثر دبی میانگین روزانه ۱۱ ایستگاه استان فارس برگزیدند.

پاسخ به این پرسش که کدام‌یک ازتوزیع‌های فوق بهترین برازش را به داده‌های حداکثر دبی میانگین روزانه نشان می‌دهد، از طریق آزمون‌های نیکویی برازش میسر می‌گردد (۲). در واقع، هیچ کدام از این توزیع‌ها به‌طور کامل بر داده‌ها برازش داده نمی‌شوند، و تنها مقایسه نسبی آنها امکان‌پذیر است. معمول‌ترین روش‌هایی که می‌توانند میان توزیع‌های مختلف مقایسه به عمل آورده و بهترین را انتخاب کنند، عبارتند از روش کای اسکوئر، روش کلموگروف-اسمیرنف و روش حداقل مربعات.

تحلیل منطقه‌ای

تحلیل منطقه‌ای روشی است که تحلیل نقطه‌ای را در کل منطقه گسترش می‌دهد. با این کار می‌توان اطلاعات را از نقاط دارای آمار به نقاط بدون آمار منتقل نمود. به دلیل شرکت کلیه ایستگاه‌های آمار برداری در تحلیل منطقه‌ای، روش رگرسیون چندگانه برای برآورد حداکثر دبی میانگین روزانه و گسترش آن برای مناطق بدون آمار به کار می‌رود.

کراف و رانتز (به نقل از ۲) روش‌های گوناگون را برای تحلیل سیل‌های منطقه‌ای بررسی نموده و این گونه نتیجه گرفتند که روش رگرسیون چندگانه برای پیش بینی سیلاب بهتر از روش‌های دیگر است. روش رگرسیون چندگانه در واقع دبی‌ها را از روی متغیرهای مستقل حوزه تخمین زده و باقی‌مانده‌ها را به عنوان عامل شانس به حساب می‌آورد (۱ و ۱۱).

برای مدل سازی توسط رگرسیون، باید به دو پرسش مهم پاسخ داد، نخست آن که چه متغیرهایی باید وارد مدل شوند؟ و دیگر آن که شکل مدل انتخابی چگونه باشد؟ در پاسخ به پرسش نخست، باید گفت که در بسیاری از موارد دسته متغیرهایی که می‌بایست در مدل گنجانده شوند از پیش تعیین شده نیستند، بنابراین باید متغیرهایی وارد مدل شوند که بیشترین سهم را در تولید سیلاب داشته و نیز کمترین وابستگی را نسبت به هم داشته باشند. در انتخاب شکل مدل باید دقت کرد مدلی انتخاب شود که افزون بر سادگی، بهترین برآورد را از داده‌های گزارش شده ارائه دهد. در این پژوهش از چهار شکل مدل به عنوان مدل‌های مبنا استفاده می‌گردد، که عبارتند از مدل‌های خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی، به ترتیب معادلات زیر:

$$Q=B_0+B_1X_1+B_2X_2+.....+B_kX_k \qquad [۴]$$

$$Q=EXP\left[B_0+B_1X_1+B_2X_2+....+B_KX_k\right] \qquad [۵]$$

$$Q=B_0+B_1LnX_1+B_2LnX_2+...+B_kLnX_k \qquad [۶]$$

$$Q=B_0(X_1)^{B_1}(X_2)^{B_2}....(X_k)^{B_k} \qquad [۷]$$

معیارارزیابی درگزینش مدل‌ها ضریب تبیین (r^2) و ضریب تبیین اصلاح شده (r^2_a) است (۶). هم چنین، معیارهای سطح معنی‌دار بودن، خطای استاندارد مدل و نمودارهای دبی مشاهده شده و محاسبه شده به عنوان کنترل کننده مورد استفاده قرار گرفتند.

تحلیل خطا

به منظور برآورد خطای حاصل از برآورد دبی توسط معادله رگرسیون، از تحلیل خطا استفاده می‌گردد. این‌کار به دو صورت انجام می‌گیرد:

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

الف) خطای استاندارد برآورد

خطای استاندارد از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$SE=\left[\frac{\sum(Q_o-Q_E)^2}{n-p-1}\right]^{0/5} \quad [8]$$

ب) میانگین خطای مدل

در این روش ابتدا درصد خطا محاسبه شده، و سپس میانگین درصد خطا به عنوان میانگین خطای مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$E_i=\frac{Q_o-Q_E}{Q_o}\times 100 \quad [9]$$

$$ME=\frac{1}{n}\sum E_i \quad [10]$$

SE = خطای استاندارد

ME = خطای میانگین

Q_o = دبی گزارش شده

Q_E = دبی محاسبه شده

n و p = به ترتیب تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و پارامترهای مدل

E_i = درصد خطا

نتایج و بحث

پس از تکمیل و تطویل آمار، دوره پایه آماری ۳۰ سال برای حداکثر دبی‌های میانگین روزانه انتخاب گردید. تحلیل نقطه‌ای سیلاب توسط نرم افزارهای HYFA و TR انجام گرفت و توابع توزیع احتمال بر داده‌های سیلابی برازش داده شد. نتایج آزمون برازش توابع توزیع بر داده‌های سیلاب در جدول ۲ آورده شده است. همان گونه که در این جدول دیده می‌شود، معیار گزینش تابع توزیع، مقدار آماره RSS (مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها) آن می‌باشد، که هرچه این پارامتر کمتر باشد، توزیع آماری مناسب‌تر است. معیارهای کلموگروف-اسمیرنف و کای اسکوئر به عنوان کنترل کننده عمل می‌نمایند.

در تمامی گزینه‌ها مقدار آماره کلموگروف-اسمیرنف کمتر از میزان بحرانی است. بنابراین، از لحاظ این آزمون هیچ تابع توزیعی رد نمی‌شود. در ایستگاه پل کهنه، گرچه توزیع پیرسون نوع ۳ دارای RSS کمتری نسبت به توزیع لوگ گامبل است، ولی چون مقدار کای اسکوئر به دست آمده این توزیع از کای اسکوئر جدول بزرگ‌تر است، توزیع لوگ گامبل انتخاب می‌شود. چون برای هر ایستگاه توزیع جداگانه‌ای به دست آمده است، نمی‌توان برای کل منطقه مورد بررسی یک توزیع واحد را پیشنهاد کرد، و باید برای هر ایستگاه از توزیع جداگانه‌ای استفاده نمود.

مرحله بعدی، تعیین مدل‌های برآورد سیلاب است. این کار با کمک نرم‌افزار SPSS و شاخه گام به گام آن انجام گرفت. با استفاده از تحلیل آماری، بهترین مدل از میان مدل‌های خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی برگزیده شد. از این چهار گزینه، مدلی انتخاب گردید که دارای ویژگی‌های زیر باشد:

۱. مقادیر ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده آن به یک نزدیک‌تر باشد.

۲. فرض معنی‌دار بودن ضرایب معادله رگرسیون را محقق نماید. این کار توسط مقایسه F فیشر محاسبه شده از مدل، و F فیشر به دست آمده از جدول انجام می‌گیرد.

۳. خطای معیار آن کوچک باشد.

۴. در صورت نقطه‌یابی مقادیر دبی گزارش شده در مقابل دبی محاسبه شده، خط راست برازش داده شده بین نقاط، دارای شرایط زیر باشد:

الف) خط، تقریب خوبی از پراکنش نقاط باشد.

ب) شیب خط رسم شده به یک، و مقدار عرض از مبدأ به صفر نزدیک باشد.

ج) در صورت رسم منحنی‌های دامنهٔ اعتماد، مقدار داده‌های خارج ازاین منحنی کمترین باشد.

۵. مدل ساده (دارای کمترین تعداد متغیر مستقل) باشد.

با توجه به آنچه گفته شد، یک قضاوت مهندسی میان معیارهای یاد شده انجام گرفت و بهترین مدل برگزیده شد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

جدول ۲. نتایج آزمون برازندگی توابع توزیع حداکثر دبی میانگین روزانه

ایستگاه	توزیع	درجه آزادی	مجموع مربعات	کلموگروف-اسمیرنف	کلموگروف-اسمیرنف بحرانی	کای اسکوئر	کای اسکوئر بحرانی	بهترین توزیع
آفرینه	گاما	۳	۳۸/۰۱	۰/۰۹۷	۰/۱۸۸	۱/۰۹۷	۷/۸۱	گاما
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۳۸/۰۵	۰/۰۹۳	۰/۱۸۸	۱/۰۹۷	۳/۸۴	
	گامبل	۲	۳۹/۱۷	۰/۰۸۵	۰/۱۸۸	۰/۴۵۲	۵/۹۹	
پل چهر	لوگ گاما	۲	۲۱/۲۹	۰/۰۷۰	۰/۱۸۸	۰/۷۷۴	۵/۹۹	لوگ گاما
	لوگ نرمال	۲	۲۳/۳۳	۰/۰۷۵	۰/۱۸۸	۱/۰۹۷	۵/۹۹	
	گامبل	۲	۲۸/۴۹	۰/۱۱۶	۰/۱۸۸	۴/۹۶۸	۵/۹۹	
پل دختر	گامبل	۲	۶۲/۱۰	۰/۱۲۸	۰/۱۸۸	۲/۰۶۵	۵/۹۹	گامبل
	گاما	۳	۶۴/۰۷	۰/۱۴۳	۰/۱۸۸	۷/۸۷۱	۷/۸۱	
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۶۵/۸۷	۰/۱۳۴	۰/۱۸۸	۶/۹۰۳	۳/۸۴	
پل کشکان	لوگ نرمال	۲	۳۵/۲۱	۰/۰۹۲	۰/۱۸۸	۱/۰۹۷	۵/۹۹	لوگ نرمال
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۳۸/۰۶	۰/۰۱۱	۰/۱۸۸	۲/۰۶۵	۳/۸۴	
	لوگ گاما	۲	۳۸/۲۹	۰/۰۷۸	۰/۱۸۸	۱/۰۹۷	۵/۹۹	
پل کهنه	پیرسون	۲	۷۴/۹۲	۰/۱۲۱	۰/۱۸۸	۷/۵۴۸	۵/۹۹	لوگ گامبل
	لوگ گامبل	۱	۱۰۹/۱۱	۰/۳۰۲	۰/۱۸۸	۱/۲۷۰	۳/۸۴	
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۱۱۲/۶۲	۰/۰۷۸	۰/۱۸۸	۰/۴۵۲	۳/۸۴	
دوآب	لوگ گاما	۲	۱۶/۷۳	۰/۰۶۱	۰/۱۸۸	۲/۳۸۶	۵/۹۹	لوگ گاما
	لوگ نرمال	۲	۱۸/۶۶	۰/۰۸۰	۰/۱۸۸	۲/۳۸۶	۵/۹۹	
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۱۹/۷۲	۰/۰۸۴	۰/۱۸۸	۲/۳۸۶	۳/۸۴	
دوآب مرگ	لوگ نرمال	۲	۱۱/۲۷	۰/۰۹۶	۰/۱۸۸	۱/۰۹۷	۵/۹۹	لوگ نرمال
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۱۱/۲۹	۰/۰۹۱	۰/۱۸۸	۱/۷۴۲	۳/۸۴	
	لوگ گاما	۲	۱۲/۳۹	۰/۰۷۵	۰/۱۸۸	۱/۷۴۲	۵/۹۹	
سپید دشت	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۵۳/۴۳	۰/۰۷۹	۰/۱۸۸	۰/۷۷۴	۳/۸۴	لوگ پیرسون نوع ۳
	لوگ گاما	۲	۵۵/۷۰	۰/۰۸۳	۰/۱۸۸	۰/۷۷۴	۵/۹۹	
	پیرسون	۱	۶۰/۴۰	۰/۰۹۴	۰/۱۸۸	۶/۲۵۸	۳/۸۴	
قورباغستان	لوگ گامبل	۲	۴۴/۳۷	۰/۱۱۷	۰/۱۸۸	۵/۲۶۰	۵/۹۹	لوگ گامبل
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۷۹/۵۴	۰/۱۰۳	۰/۱۸۸	۴/۹۶۸	۳/۸۴	
	پیرسون	۱	۸۱/۰۰	۰/۲۳۰	۰/۱۸۸	۱۵/۲۹۰	۳/۸۴	
هلیلان	لوگ گامبل	۲	۷۸/۰۸	۰/۰۹۱	۰/۱۸۸	۰/۷۷۴	۵/۹۹	لوگ گامبل
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۱۸۸/۶۰	۰/۰۷۳	۰/۱۸۸	۰/۷۷۴	۳/۸۴	
	پیرسون	۱	۱۹۸/۰۲	۰/۱۱۹	۰/۱۸۸	۲/۰۶۵	۳/۸۴	
یالفان	گامبل	۲	۰/۱۸	۰/۰۸۱	۰/۱۸۸	۲/۴۷۱	۵/۹۹	گامبل
	لوگ پیرسون نوع ۳	۱	۰/۲۴	۰/۰۴۹	۰/۱۸۸	۱/۲۹۴	۳/۸۴	
	پیرسون	۱	۰/۲۵	۰/۱۶۸	۰/۱۸۸	۱/۲۹۴	۳/۸۴	

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

شکل ۱ گزینش مدل با دوره بازگشت دو ساله را نشان می‌دهد. در این جا دو مدل خطی و نمایی با هم مقایسه شده است. گرچه مدل نمایی دارای ضریب تبیین ۰/۹۹۳ و مدل خطی دارای ضریب تبیین ۰/۹۴ است، اما مدل خطی انتخاب می‌گردد، زیرا مدل خطی نسبت به مدل نمایی دارای خطای کمتری بوده، و نیز خط رسم شده از میان نقاط دبی‌های گزارش شده و محاسبه شده دارای شرایط بهتری است (ضریب زاویه یک و عرض از مبدأ نزدیک به صفر دارد). هم چنین، تعداد نقاط بیرون از منحنی‌های دامنهٔ اعتماد برای مدل خطی کمتر از مدل نمایی است، و سرانجام این که مدل خطی ساده‌تر از مدل نمایی می‌باشد. یادآوری می‌شود که این دو مدل از نظر هم‌راستایی مشکلی ندارند، و تلرانس[1] پارامترها بحرانی نیست (مقادیر تلرانس نزدیک به یک نیستند).

جدول ۳ نشان‌دهنده ویژگی‌های مدل‌های چهارگانه پایه برای دوره‌های بازگشت گوناگون و نحوه گزینش آنها می‌باشد. همان گونه که دیده می‌شود، معیار اصلی گزینش مدل، ضریب تبیین اصلاح شده است، و مقادیر F فیشر و تعداد پارامترهای مدل به صورت کنترلی عمل نموده‌اند.

نتایج نهایی گزینش مدل‌های حداکثر دبی میانگین روزانه در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول دیده می‌شود که حداکثر دبی میانگین روزانه با دوره‌های بازگشت دو و پنج ساله توسط مدل‌های خطی و نمایی، و دوره‌های دیگر بازگشت توسط مدل توانی برآورد می‌شود. پارامترهای طول آبراهه اصلی و تراکم زه‌کشی بیشترین سهم را در تولید دبی نشان می‌دهند. این نتیجه ممکن است به دلیل کوهستانی بودن منطقه به دست آمده باشد. پارامتر زمان تمرکز در برخی معادلات با توان منفی نمایان شده است. بنابراین، در حوزه‌های به شکل کشیده (عرض کم) و در یک سطح مساوی، میزان دبی تولید شده کمتر از حوزه‌های پهن و بادبزنی است.

همان گونه که دیده می‌شود، شکل مدل‌های به دست آمده با مدل‌های پژوهشگران دیگر (مانند معادلات ۱ تا ۳) تفاوت دارد، زیرا ویژگی‌های فیزیوگرافیک به کار رفته در معادلات، و معادلات مشابه در دیگر نقاط جهان، با آنچه در این پژوهش به کار رفته است متفاوت می‌باشد. ویژگی‌های فیزیوگرافیک و آب و هوایی همچون مساحت حوزه، ارتفاع میانگین حوزه، ارتفاع حداکثر و حداقل حوزه، طول آبراهه اصلی، مجموع طول آبراهه‌ها، شاخص نوع خاک، شیب میانگین حوزه، شیب ۱۰ تا ۸۵ درصد آبراهه اصلی، نسبت برجستگی، نسبت گردی، نسبت کشیدگی، قطر دایره هم سطح، ضریب گراولیوس، طول مستطیل معادل، تراکم زه‌کشی، فرکانس آبراهه، زمان تمرکز، نسبت دریاچه‌ها، ارتفاع بارندگی و غیره از منطقه‌ای به منطقهٔ دیگر تغییر می‌کند، بنابراین شکل معادلات به دست آمده لزوماً با دیگر مناطق همانند نیست. پس ممکن است متغیری که در یک منطقه در تولید سیلاب تأثیر زیادی دارد، در منطقه دیگری از جهان اصلاً وارد معادلات نشود.

بیشترین ضریب تبیین مربوط به معادله دبی با دوره بازگشت پنج ساله است. این معادله، هم‌چنین دارای بیشترین تعداد پارامتر فیزیکی است، که باعث زیاد شدن ضریب تبیین در معادله رگرسیون می‌شود. بعد از تحلیل خطا دیده شد که با افزایش دوره بازگشت، مقدار خطای میانگین افزایش پیدا می‌کند. این موضوع در شکل ۲ نمایان است. دامنهٔ مورد استفاده برای محاسبه دبی با دوره بازگشت دو ساله، با در نظر گرفتن حداکثر مقدار تراکم زه‌کشی در حوزه‌های غرب کشور ($D=1/5$ کیلومتر در کیلومترمربع) و حداقل مقدار شیب ($S = \%10$)، $L>175$ کیلومتر می‌باشد.

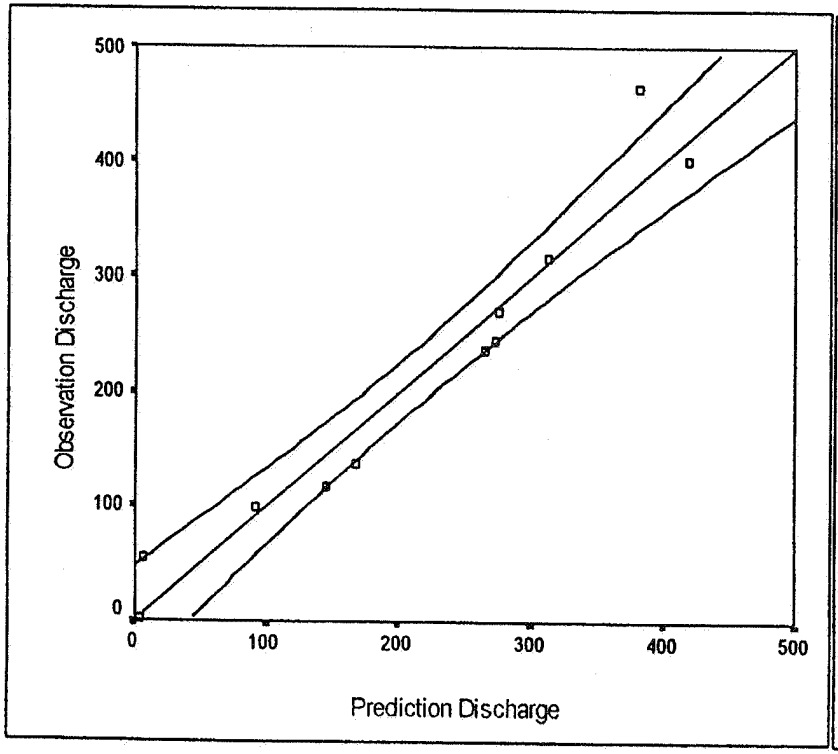
برای دبی با دوره بازگشت پنج ساله، با توجه به این که نسبت برجستگی به ندرت از ۰/۰۱ بزرگ‌تر است و مقدار ضریب زه‌کشی در حوزه‌های غرب ایران کمتر از ۱/۵ می‌باشد، می‌توان بدون محدودیت از این معادله استفاده کرد. دیگر معادلات را می‌توان بدون محدودیت به کار برد.

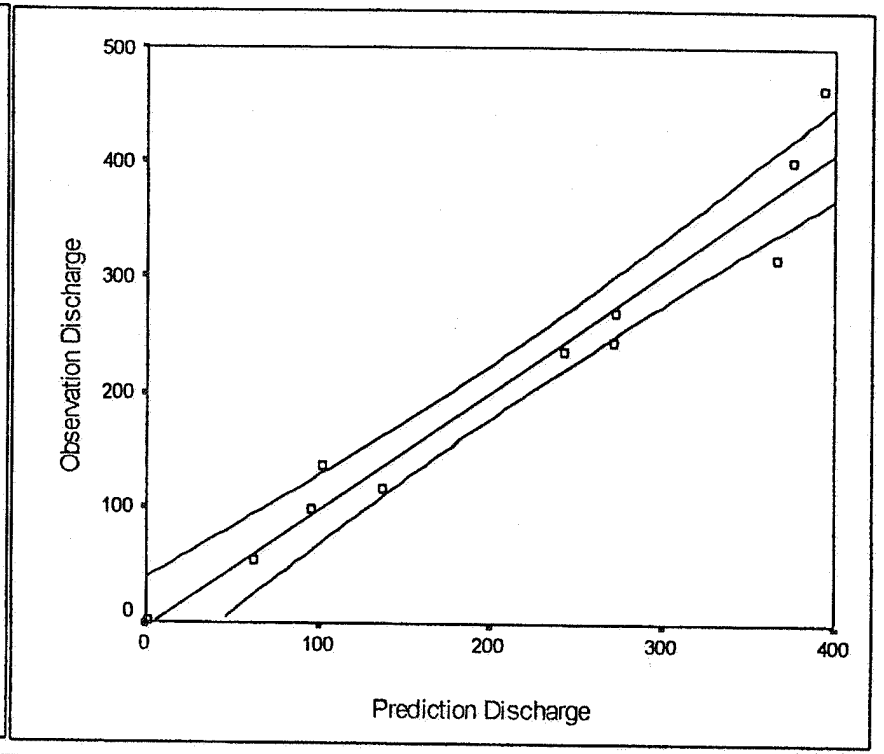
به طور کلی، پارامتر طول آبراههٔ اصلی (با توان مثبت) و تراکم زه‌کشی (با توان منفی) بیش از پارامترهای دیگر بر حداکثر دبی میانگین روزانه تأثیر می‌گذارند. پارامتر زمان تمرکز نیز با

1. Tolerance

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]





Equation	$Q = a_0+a_1(H)+a_2(S)+a_3(D)$
r^2	0.94
SE	42.6
E	19.36
Tolerance H	0.36
Tolerance S	0.4
Tolerance D	0.37
Tg(B)	1
Intercept	$5*10^{-7}$

Equation	$Q = \exp[a_0+a_1(R_r)+a_2(S)+a_3(D)+a_4(R_s)]$
r^2	0.993
SE	99.8
E	35.3
Tolerance R_r	0.298
Tolerance S	0.658
Tolerance D	0.536
Tolerance R_s	0.325
Tg(B)	0.82
Intercept	4.04

شکل ۱. مقایسه معادله خطی با نمایی در دوره بازگشت دوساله

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

جدول ۳. ویژگی‌های مدل‌های چهارگانه و گزینش بهترین مدل برای دبی‌های روزانه

دوره بازگشت	نوع مدل	ویژگی‌های مدل: ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	تعداد پارامترهای مدل	F فیشر مدل	F فیشر از جدول	سطح معنی دار بودن	مدل برگزیده
۲	خطی	۰/۹۴	۰/۹۱۴	۳	۳۶	۴/۳۵	۰/۰۰۰۱۲	خطی
	نمایی	۰/۹۹۳	۰/۹۸۸	۴	۱۹۹	۴/۵۳	۰/۰۰۰۰۰۱۶	
	لگاریتمی	۰/۵۷۵	۰/۵۲۸	۱	۱۲	۵/۱۲	۰/۰۰۷	
	توانی	۰/۹۵۹	۰/۹۴۹	۲	۹۴	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۰۲۷	
۵	خطی	۰/۹۳۳	۰/۹۰۴	۳	۳۳	۴/۳۵	۰/۰۰۰۱۷	نمایی
	نمایی	۰/۹۸۸	۰/۹۸۰	۴	۱۲۳	۴/۵۳	۰/۰۰۰۰۰۶۹	
	لگاریتمی	۰/۷۵۴	۰/۶۹۲	۲	۱۲	۴/۴۶	۰/۰۰۴	
	توانی	۰/۹۶۷	۰/۹۵۹	۲	۱۱۸	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۰۱۱	
۱۰	خطی	۰/۸۷۸	۰/۸۴۸	۲	۲۹	۴/۴۶	۰/۰۰۰۲	توانی
	نمایی	۰/۹۸۲	۰/۹۷۱	۴	۸۴	۴/۵۳	۰/۰۰۰۰۲۱	
	لگاریتمی	۰/۵۵۹	۰/۵۰۹	۱	۱۱	۵/۱۲	۰/۰۰۸	
	توانی	۰/۹۷۴	۰/۹۶۸	۲	۱۵۱	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۰۰۴	
۲۵	خطی	۰/۸۶۸	۰/۸۳۶	۲	۲۶	۴/۴۶	۰/۰۰۰۳	توانی
	نمایی	۰/۷۵۷	۰/۷۳۰	۱	۲۸	۵/۱۲	۰/۰۰۰۵	
	لگاریتمی	۰/۹۰۳	۰/۸۷۹	۲	۳۷	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۸۷	
	توانی	۰/۹۷۵	۰/۹۶۹	۲	۱۵۷	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۰۰۴	
۵۰	خطی	۰/۷۰۱	۰/۶۶۸	۱	۲۱	۵/۱۲	۰/۰۰۱	توانی
	نمایی	۰/۷۵۸	۰/۷۳۱	۱	۲۸	۵/۱۲	۰/۰۰۰۴۸	
	لگاریتمی	۰/۹۰۹	۰/۸۸۷	۲	۴۰	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۶۸	
	توانی	۰/۹۶۸	۰/۹۵۹	۲	۱۱۹	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۰۱۱	
۱۰۰	خطی	۰/۶۹۸	۰/۶۶۴	۱	۲۱	۵/۱۲	۰/۰۰۱	توانی
	نمایی	۰/۷۵۱	۰/۷۲۳	۱	۲۷	۵/۱۲	۰/۰۰۱	
	لگاریتمی	۰/۸۹۱	۰/۸۶۴	۲	۳۳	۴/۴۶	۰/۰۰۰۱۴	
	توانی	۰/۹۷۶	۰/۹۶۶	۳	۹۶	۴/۳۵	۰/۰۰۰۰۰۴۶	
۵۰۰	خطی	۰/۹۷۲	۰/۹۵۴	۴	۵۳	۴/۵۳۰	۰/۰۰۰۰۸۳	توانی
	نمایی	۰/۷۰۱	۰/۶۶۸	۱	۲۱	۵/۱۲	۰/۰۰۱	
	لگاریتمی	۰/۸۰۲	۰/۷۸۰	۱	۳۶	۵/۱۲	۰/۰۰۰۱۹	
	توانی	۰/۹۵۴	۰/۹۳۴	۳	۴۸	۴/۳۵	۰/۰۰۰۰۴۸	
۱۰۰۰	خطی	۰/۸۲۹	۰/۷۸۶	۲	۱۹	۴/۴۶	۰/۰۰۱	توانی
	نمایی	۰/۶۹۶	۰/۶۶۴	۱	۲۱	۵/۱۲	۰/۰۰۱	
	لگاریتمی	۰/۷۹۱	۰/۷۶۸	۱	۳۴	۵/۱۲	۰/۰۰۰۲	
	توانی	۰/۹۰۶	۰/۸۸۲	۲	۳۸	۴/۴۶	۰/۰۰۰۰۷۹	

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]

جدول ۴. مدل‌های انتخابی حداکثر دبی میانگین روزانه

معادله	ضریب تبیین
$Q_{۲}=-۸۳/۳۷+۱/۴(L)+۹/۲(S)-۱۶۷/۹۸(D)$	۰/۹۴۰
$Q_{۵}=Exp(۴/۸۶-۲۸۹/۹۱(R_r)+۰/۱۱(S)-۱/۸۸(D)+۲/۶۲(R_S))$	۰/۹۸۸
$Q_{۱۰}=۲۸/۶۷\times۱۰^{-۵}(L)^{۲/۷۲۲}(D)^{-۱/۵۴۱}$	۰/۹۷۴
$Q_{۲۵}=۳۷/۴\times۱۰^{-۵}(L)^{۲/۷۴۶}(D)^{-۱/۵۷۱}$	۰/۹۷۵
$Q_{۵۰}=۴۶/۲۴\times۱۰^{-۵}(L)^{۲/۷۵۷}(D)^{-۱/۵۹۰}$	۰/۹۶۷
$Q_{۱۰۰}=۲۰/۴\times۱۰^{-۵}(L)^{۳/۴۱}(D)^{-۱/۳۰۴}(T_C)^{-۰/۸۴۴}$	۰/۹۷۶
$Q_{۵۰۰}=۷۶/۱\times۱۰^{-۷}(P)^{۲/۴۱۲}(T_C)^{-۲/۱۳}(L)^{۲/۰۰۸}$	۰/۹۵۴
$Q_{۱۰۰۰}=۱۶/۵\times۱۰^{-۷}(P)^{۴/۴۵۵}(T_C)^{-۲/۱۸۸}$	۰/۹۰۶

Q_i = حداکثر دبی میانگین روزانه با دوره بازگشت i ساله (مترمکعب در ثانیه)

L = طول آبراهه اصلی (کیلومتر)

S = شیب میانگین حوزه (درصد)

D = تراکم زه‌کشی (کیلومتر در کیلومترمربع)

R_r = نسبت برجستگی

R_s = نسبت کشیدگی

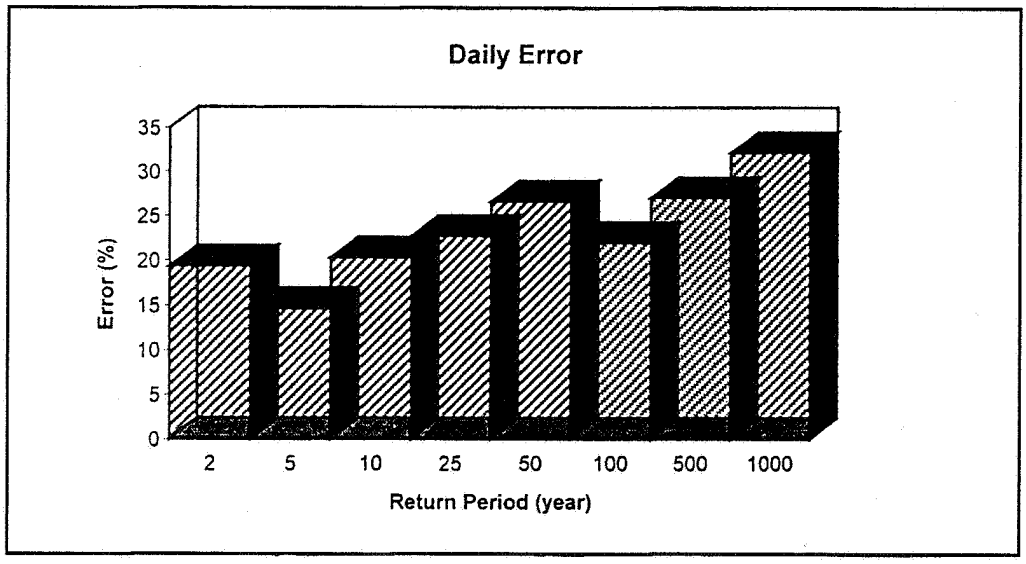
T_C = زمان تمرکز (ساعت)

P = محیط حوزه (کیلومتر)

نمای منفی بر این شاخص سیل مؤثر است. وجود پارامترهای زمان تمرکز و طول آبراهه در فرمول دبی ۵۰۰ ساله اشکالی ندارد، زیرا زمان تمرکز فقط تابعی از طول آبراهه نیست و به پارامترهای دیگری نیز بستگی دارد. نبود پارامتر میانگین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]



شکل ۲. رابطهٔ درصد خطا و دوره‌های بازگشت

بارندگی سالیانه در مدل‌ها به این معنی نیست که اصلاً تأثیری بر حداکثر دبی میانگین روزانه ندارد، بلکه تأثیر آن کمتر از دیگر پارامترها بوده است. موسوی و سپاسخواه (۴) نیز در برخی از حوزه‌های آبخیر مورد بررسی خود با چنین مسئله‌ای روبه رو شده‌اند.

منابع مورد استفاده

۱. باقری، ر. ۱۳۷۲. تعیین دبی ماکزیموم لحظه‌ای در حوزه‌های آبریز فاقد آمار سد زاینده رود. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. کایت، ج. دبلیو (ترجمه بزرگ‌نیا، ا.، ا. علیزاده، م. نقیب‌زاده و ح. خیابانی). ۱۳۶۹. *تحلیل وقایع و ریسک در هیدرولوژی*. انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ اول، ۳۰۰ صفحه.

۳. مهدوی، م. ۱۳۷۴. *هیدرولوژی کاربردی*. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۶۲ صفحه.

۴. موسوی، ه. و ع. سپاسخواه. ۱۳۶۸. تخمین دبی حداکثر روزانه در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار در استان فارس. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس، ص ۲۸۴-۳۱۵.

5. Acreman, M. C. 1985. Predicting of peak flows on small watersheds in Oregon for use in culvert design. Water Resour. Bull. 30 (1): 37-49.

6. Chatterjee, S. and B. Price. 1991. Regression Analysis by Example. John Wiley Pub., U.S.A.

7. Linsley, K. M., M. A. Kohler and J. Paulhus. 1975. Applied Hydrology. McGraw-Hill Pub. Co. Ltd., NY.

8. Linsley, K. M., M. A. Kohler and J. Paulhus. 1985. Hydrology for Engineers. Third Ed., McGraw-Hill Co. Ltd., New York.

9. Mimikou, M. and J. Gordios. 1989. Regional analysis of the mean annual flood and of flood frequency characteristics. Proc. of the Baltimore Symp., I.A.H.S. Publ. 191: 187-194.

10. Varshney, R. S. 1979. Engineering Hydrology. Second Ed., New Delhi.

11. Yevjevich, V. 1989. Probability and Statistics in Hydrology. Water Resour. Pub., Fort Collins, Colorado, U.S.A.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.2.1.8]