برآورد منطقه‌ای جریان‌های کم رودخانه‌های حوضه آبریز مازندران

سید سعید اسلامیان[۱]، علیرضا زارعی[۲] ، احمد ابریشم‌چی[۳]

چکیده

یکی از روش‌های تحلیل منطقه‌ای جریان کم، استفاده از روش رگرسیون چندگانه برای به‌دست آوردن روابطی بین دبی جریان کم با دوره‌های بازگشت معین و ویژگی‌های حوضهٔ آبخیز است، که در این پژوهش برای برآورد دبی جریان کم با دوره‌های بازگشت مختلف در حوضهٔ آبریز مازندران از آن استفاده شد. پس از تحلیل فراوانی نقطه‌ای جریان کم برای ۲۰ ایستگاه آب سنجی، آزمون همگنی انجام شد و دو ایستگاه غیر همگن شناخته شده و از محاسبات حذف گردیدند.

روابط منطقه‌ای بین دبی جریان کم با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال و ویژگی‌های حوضه شامل مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، حداقل ارتفاع حوضه، فاکتور شکل، طول شاخهٔ اصلی رودخانه، طول شاخهٔ اصلی رودخانه از مرکز ثقل تا نقطه خروجی حوضه، در صد مساحت جنگلی، میانگین بارش سالانه و شیب متوسط حوضه به مدل‌ها راه یافتند. در نهایت میانگین خطای نسبی مدل برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال به ترتیب برابر۴۱/۱، ۴۱/۳، ۴۵/۰ و ۴۷/۲ درصد به‌دست آمده، که در مقایسه با ب دیگران، مدل‌ها از خطای کمتری برخودار بودند.

واژه‌های کلیدی: **جریان کم، تحلیل فراوانی جریان، مازندران، ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه، رگرسیون چندگانه، هیدرولوژی منطقه‌ای، مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها**

مقدمه

یکی از مسائلی که به خصوص در سال‌های اخیر بشر با آن مواجه شده، بحران آب است. این مشکل در سال‌هایی نمایان‌تر می‌شود که پدیدهٔ خشک‌سالی روی دهد و یکی از تبعات هیدرولوژیک خشک‌سالی به حداقل رسیدن آب رودخانه‌هاست. از نظر زیست محیطی، به حداقل رسیدن آب رودخانه‌ها باعث افزایش نسبی غلظت آلودگی و در نتیجه کاهش اکسیژن محلول می‌شود که پیامد آن مرگ و میر ماهی‌ها و دیگر آبزیان و نیز وارد شدن خسارات شدید به محیط زیست

۱. دانشیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

رودخانه‌هاست. از دیدگاه مدیریتی نیز این حداقل آب در مطالعات آبرسانی شهری، صنعتی و کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین در برنامه ریزی برای امور آب و مسائل زیست محیطی باید به این حداقل آب توجه خاصی شود.

به طور خلاصه محاسبه جریان کم یا در حقیقت همان حداقل آب جاری در رودخانه و دانستن ویژگی‌های آن در مطالعات خشکسالی، طراحی سیستم‌های کاربری آب، طبقه‌بندی جریان‌های رودخانه‌ها، برآورد نفوذ رواناب سطحی، برآورد تغذیه آبخوان‌ها، پتانسیل رقیق شدگی فاضلاب، تنظیم ورود پساب به رودها، دفع فاضلاب در رودخانه‌ها، تعیین محل استقرار طرح‌های تصفیه فاضلاب، مدیریت کاربری‌های غیرمصرفی آب در آبراهه‌ها، مطالعات آبرسانی شهری، صنعتی و کشاورزی حائز اهمیت است.

جریان کم سالانه را می‌توان به عنوان کمترین جریان متوسط روزانه در یک سال تعریف کرد. ولی تعریف عمومی‌تر، کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل ۵، ۷، ۳۰ و ٦۰ روزه در طول یک سال است. علت محاسبه جریان کم برای روزهای پیاپی به حداقل رساندن اثر تغییرها و نوسان‌های جریان است.

به عنوان مثال مقادیر حداقل سالانهٔ جریان کم ۷ روزه، به طور کلی به عنوان"جریان طراحی" در طراحی سازه‌هایی مانند طرح‌های تصفیه فاضلاب یا برای مدیریت جریان در طول آبراهه‌ها به کار می‌رود (٤) و همان گونه که اشاره شد یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن در محاسبهٔ میزان مجاز دفع فاضلاب در رودخانه‌هاست که در حفظ شرایط مناسب برای زندگی موجودات آبزی بسیار مهم است. در قسمت‌هایی از رودخانه که ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی به صورت متوالی وجود دارند می‌توان به‌وسیله تحلیل آماری، جریان‌های کم را با دوره‌های بازگشت مختلف برآورد نمود. ولی معمولاً در آن قسمت از رودخانه که جریان‌های طراحی مورد نیاز هستند، اندازه‌گیری صورت نمی‌گیرد. برای رفع این مشکل از تحلیل منطقه‌ای استفاده می‌شود. اغلب برای تحلیل منطقه‌ای، روش رگرسیون چندگانه به منظور به‌دست آوردن رابطه‌ای بین جریان کم با دورهٔ بازگشت معین و ویژگی‌های حوضهٔ آبخیز به کار برده می‌شود. تاکنون محققان بسیاری، مدل‌هایی منطقه‌ای برای تخمین جریان کم در محل‌های اندازه‌گیری نشدهٔ جریان با استفاده از روش رگرسیون به‌دست آورده‌اند. شکل کلی چنین مدل‌هایی به صورت زیر است:

$$Q_{d,T} = f[X_1^{b_1}, X_2^{b_2}, ...] \qquad [۱]$$

که در آن:

$Q_{d,t}$ = جریان کم d روزه با دورهٔ بازگشت T که از آمار جریان در محل‌های اندازه‌گیری شدهٔ رودخانه به دست می‌آید.

X_i= ویژگی‌هایی از حوضهٔ آبخیز که به آسانی قابل تعیین باشند.

B_i = پارامترهایی که با استفاده از روشهای رگرسیون چند متغیره برآورد می‌شوند.

توماس و بنسون (۱۹۷۰) در بررسی‌های خود روی رودخانهٔ پوتوماک در ایالات متحده، میانگین خطاهای پیش‌بینی را برای مدل‌های رگرسیون منطقه‌ای جریان کم، بیش از دو برابر میانگین خطاهای پیش‌بینی برای مدل‌های رگرسیون سیل در همان حوضه به‌دست آوردند (۷). ریگز (۱۹۷۳) مطالعاتی را که تا آن موقع برای به‌دست آوردن برآوردهای جریان کم به روش رگرسیون انجام شده بود، بررسی کرد و نتیجه گرفت که بیشتر این بررسی‌ها ناموفق بوده‌اند و خطاهای استاندارد در آنها بیش از ۱۰۰ درصد بوده است (٦). نتایج بررسی‌های مختلف انجام شده بین سال‌های ۱۹٦٦ تا ۱۹۹۳ در منطقهٔ نیوانگلند آمریکا به موفقیت‌های بیشتری منجر شده است، زیرا در این بررسی‌ها ویژگی‌های زمین شناسی مانند میزان رسوب‌های ماسه‌ای و شنی، و ویژگی‌های توپوگرافیک مانند میانگین تراز حوضه در نظر گرفته شده بودند (۹). خطای استاندارد برآوردها در این بررسی‌ها برای جریان کم ۷ روزه با دورهٔ بازگشت ۱۰ سال، $Q_{7,10}$، بین ٤۰ تا ۹۰ درصد بوده است. ووگل و کرول (۱۹۹۲) نشان دادند که به‌دست آوردن یک مدل اساساً فیزیکی که واکنش جریان کم یک حوضهٔ آبخیز را به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

متغیرهای ژئوهیدرولوژیک و ژئومورفیک مناسب ربط می‌دهد، منجر به بهبود در ساختمان مدل‌های رگرسیون به‌دست آمده خواهد شد ولی نقطهٔ ضعف کار آنها در این بود که اندازه‌گیری ویژگی‌های حوضه که آنها در نظر گرفته بودند، مشکل است (۹). دینگمن و لاولور (۱۹۹۵) در ایالت‌های ورمونت و نیوهمپاشیر آمریکا، برای جریان کم ۷ روزهٔ ۱۰ ساله، میانگین خطای نسبی را برابر ٤٨/٧ درصد و خطای پیش‌بینی را برابر ٦٤ درصد به‌دست آوردند (٤).

منطقه مورد بررسی تقریباً بر محدودهٔ فعلی استان مازندران منطبق است. این حوضه با مساحت ۲٥٦٥۰ کیلومتر مربع به شکل نواری پهن در امتداد رشته کوه‌های البرز و ساحل جنوبی دریای مازندران واقع شده است. شکل ۱ موقعیت این منطقه را نشان می‌دهد. از نظر جغرافیایی منطقه بین طول‌های شرقی ′۲۳ °۵۰ تا ′٤٤ °٥٤ و عرض‌های شمالی ′٤٨ °۳٥ تا ′٥٨ °۳٦ قرار گرفته است. حداقل ارتفاع در این ناحیه، سواحل دریای مازندران با ارتفاع ۲٦- متر و حداکثر آن قلهٔ دماوند با ارتفاع ٥٦۷۰ متر می‌باشد. آب و هوا در دشت معتدل و مرطوب است و در ارتفاعات از معتدل مرطوب تا سرد خشک تغییر می‌نماید. بارش متوسط سالانه در جهت غرب به شرق کاهش و میانگین درجه حرارت سالانه در همین جهت افزایش می‌یابد.

از نظر پوشش گیاهی، منطقه بسیار غنی است. پوشش طبیعی در جلگهٔ ساحلی شامل مراتع و در ارتفاعات شامل مراتع جنگل‌هاست. گسترده‌ترین نوع پوشش گیاهی در کل با حدود ٥۱ درصد مساحت حوضه، پوشش جنگلی است، پس از آن اراضی زراعی با ۲۳ درصد مساحت حوضه، دومین پوشش گیاهی مهم منطقه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جریان کم ۷ روزه در یک سال، کمترین مقدار میانگین‌های متحرک ۷ روزهٔ جریان‌های روزانه در آن سال است. یعنی برای محاسبهٔ جریان کم ۷ روزه در یک سال باید میانگین روزهای اول تا هفتم، دوم تا هشتم و ... و سیصد و پنجاه و نهم تا سیصد و شصت و پنجم به‌دست آورده شوند. کمترین مقدار این میانگین‌ها همان جریان کم ۷ روزه در آن سال خواهد بود. با انجام چنین عملی برای دیگر سال‌ها در طول دورهٔ آماری می‌توان سری زمانی سالانهٔ جریان کم ۷ روزه را به‌دست آورد.

اگر X یک متغیر تصادفی و x یک مقدار ممکن از X را نشان دهند، برای متغیر تصادفی X، تابع دانسیتهٔ احتمال (PDF) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$f_X(x) = \frac{df_x(x)}{dx} \qquad [۲]$$

که در آن $F_x(x)$ تابع توزیع تجمعی (PDF) است که احتمال عدم تجاوز متغیر X از مقدار x را نشان می‌دهد. در هیدرولوژی صدک‌ها یا چندک‌های توزیع اغلب به‌عنوان رویدادهای طرح استفاده می‌شوند. P امین چندک x_p مقداری است با احتمال عدم تجاوز P:

$$F_X(x_p) = P \qquad [۳]$$

به بیان دیگر می‌توان گفت که احتمال متوسط تجاوز X از x_p برابر P–۱ است. معمولاً در هیدرولوژی استفاده از دورهٔ بازگشت بر استفاده از احتمال تجاوز ترجیح داده می‌شود، برای مثال سیل بیشینهٔ سالانه با احتمال تجاوز ۱ درصد در هر سال، یا شانس ۱ در ۱۰۰، سیل ۱۰۰ ساله نامیده می‌شود. در تحلیل فراوانی سیل بین دوره بازگشت T و احتمال عدم تجاوز P رابطهٔ زیر برقرار است:

$$T = \frac{1}{1-P} \qquad [٤]$$

در حالی که در تحلیل فراوانی جریان‌های کم، دوره بازگشت T به صورت عکس احتمال عدم تجاوز (احتمال کمتر شدن) تعریف می‌شود:

$$T = \frac{1}{P} \qquad [٥]$$

به عبارت دیگر در یک دوره ثابت T ساله انتظار می‌رود اگر توزیع جریان‌های کم در طول دوره تغییر نکند، به طور متوسط تعداد جریان‌های کوچک‌تر از رویداد T ساله برابر یک باشد، یعنی به طور متوسط یک جریان کم کوچک‌تر از جریان کم T ساله در دورهٔ T سال اتفاق می‌افتد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

احتمال وقوع رویدادها را می‌توان با محاسبهٔ احتمال تجربی آنها و تعیین توزیع آماری مناسب تخمین زد. روابط متعددی برای محاسبهٔ احتمال تجربی و دورهٔ بازگشت رویدادها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان از روابط هیزن، وایبل، توکی، بلوم، گرینگورتن، چگودیف و کالیفرنیا نام برد. از بین این فرمول‌ها، رابطهٔ وایبل بیشتر به کار برده می‌شود (۱) و برای همهٔ توزیع‌ها قابل استفاده است (۵).

پیشامدهای نمونهٔ موجود معمولاً برای دوره‌های برگشت نسبتاً کوتاه در دسترس هستند در حالی‌که پیشامدهایی که لازم است برآورد شوند، عموماً دارای دوره‌های برگشت طولانی تر هستند. به این دلیل از توزیع‌های آماری استفاده می‌شود. برای انتخاب بهترین توزیع در یک محل از روش‌های مختلفی همچون استفاده از آزمون‌های کلاسیک مانند آزمون کای اسکور و آزمون کلموگروف- اسمیرنوف، استفاده از روش حداقل مربعات، استفاده از آزمون ضریب هم‌بستگی نمودار احتمال، استفاده از نمودارهای نسبت گشتاور (گشتاورهای معمولی) و استفاده از نمودارهای گشتاورهای خطی وجود دارد. پس از انتخاب توزیع آماری، پارامترهای توزیع باید از روی داده‌های نمونه طوری برآورد شوند که خطا حداقل باشد، برای انجام این عمل از روش‌هایی همچون روش گشتاورها، روش درستنمایی بیشینه، روش کمترین مربعات و روش ترسیمی‌استفاده می‌شود.

بعد از انتخاب یک توزیع و برآورد پارامترهای آن، این سؤال پیش می‌آیدکه این توزیع در تحلیل فراوانی چگونه به‌کار برده شود. چاو(۱۹۵٤) رابطهٔ زیر را پیشنهاد کرده است (۲):

$$X_T = m + Ks \qquad [٦]$$

که درآن:

X_T= اندازهٔ پیشامد با دورهٔ بازگشت T

m= میانگین جامعهٔ برآورد شده از نمونه

s = انحراف معیار جامعهٔ برآورد شده از نمونه

K = عامل فراوانی

به طور معمول در اغلب کتاب‌ها و مراجع هیدرولوژی برای توزیع‌های مختلف، رابطهٔ بین K و T به صورت جداول از پیش تهیه شده ارائه گردیده تا استفاده از این توزیع‌ها ساده و عملی باشد. اغلب در این جداول منظور از احتمال، احتمال تجاوز است و دورهٔ بازگشت به صورت عکس احتمال تجاوز مطرح می‌شود. در حقیقت دوره بازگشت مورد نظر برای رویدادهای حداکثر مانند سیل در نظر گرفته شده است. برای به‌دست آوردن ضریب فراوانی برای جریان کم باید به جای استفاده از احتمال تجاوز از احتمال کمتر نشدن استفاده کرد. در صورتی که ضریب چولگی برابر صفر باشد، از نظر قدر مطلق، مقدار عامل فراوانی به ازای احتمال P برابر با مقدار آن به ازای احتمال P-۱ ولی با علامت قرینه خواهد بود. یعنی برای جریان کم با ضریب چولگی صفر از همان جداول با همان دوره بازگشت مورد نظر استفاده کرد ولی در این صورت رابطهٔ ٦ به شکل زیر خواهد بود:

$$X_T = m - Ks \qquad [٧]$$

به کمک برازش توزیع‌ها بر پیشامدها می‌توان پیشامد متناظر با احتمال وقوع یا دورهٔ بازگشت خاصی را تعیین کرد ولی نتایج فقط در همان محل اندازه‌گیری قابل استفاده خواهد بود، در حالی که قسمت‌هایی از رودخانه که نیاز به دانستن مقادیر جریان‌های کم است معمولاً اندازه‌گیری صورت نمی‌گیرد. برای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

رفع این مشکل از تحلیل منطقه‌ای استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل منطقه‌ای استفاده از رگرسیون چندگانه به منظور ایجاد رابطهٔ بین جریان کم با دورهٔ بازگشت معین و ویژگی‌های حوضهٔ آبخیز است. محققین در اغلب موارد روابطی به شکل زیر را به عنوان روابط برگزیده معرفی کرده‌اند (۸):

$$Q_{7,T} = bX_1^{b_1}X_2^{b_{21}}... \qquad [۸]$$

یا

$$Q_{7,T} = 10^{b_0+b_1\log X_1+b_2\log X_2+...} \qquad [۹]$$

که در آنها:

b_i = پارامترهایی که با استفاده از رگرسیون چندگانه برآورد می‌شود.

X_i= ویژگی‌های مختلف حوضهٔ آبریز که به آسانی قابل تعیین باشند.

$Q_{7,T}$= جریان کم ۷ روزه با دورهٔ بازگشت T

برای بررسی بهتر این روابط فرض می‌گردد که در ایستگاه‌ها آماری وجود ندارد و با استفاده از روابط رگرسیون منطقه‌ای مقدار جریان کم ۷ روزهٔ T ساله را برآورد می‌شود ($\hat{Q}_{7,T}$). سپس مقادیر به‌دست آمده را با مقادیر حاصل از تحلیل فراوانی در ایستگاه‌ها ($Q_{7,T}$) مقایسه نموده و بدین ترتیب می‌توان خطای نسبی آنها را با استفاده از رابطهٔ زیر به‌دست آورد:

$$\text{خطای نسبی}(\%) = \frac{\left|\hat{Q}_{7,T} - Q_{7,T}\right|}{Q_{7,T}} \times ۱۰۰ \qquad [۱۰]$$

که در آن:

$\hat{Q}_{7,T}$= جریان کم ۷ روزه با دورهٔ بازگشتT برآورد شده از روابط رگرسیون منطقه‌ای

$Q_{7,T}$ = جریان کم ۷ روزه با دورهٔ بازگشتT به‌دست آمده از تحلیل فراوانی نقطه‌ای (به کمک آمار موجود در ایستگاه)

نتایج و بحث

در تحلیل فراوانی، هر چه دورهٔ آماری طویل‌تر باشد، دقت نتایج بیشتر خواهد بود. به همین دلیل ایستگاه‌های کوتاه مدت را در محاسبات تحلیل فراوانی شرکت نمی‌دهند. معمولاً در عمل ایستگاه‌هایی را کوتاه مدت می‌نامند که آمار جریان در آنها کمتر از ۱۰ سال باشد (۳). بنابراین ایستگاه‌هایی انتخاب شده‌اند که حداقل دارای ۱۰ سال آمار دبی روزانه بوده و جریان در این ایستگاه‌ها تنظیم نشده باشد. با توجه به موارد بالا، ۲۰ ایستگاه آب سنجی و سری‌های زمانی سالانهٔ جریان کم ۷ روزه محاسبه شدند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده را نشان می‌دهد. آمار مفقودهٔ ایستگاه‌ها به کمک روش رگرسیون و با استفاده از آمار ایستگاه‌های مجاور تکمیل گردید.

پس از آن تحلیل فراوانی نقطه‌ای با استفاده از توزیع لوگ پیرسون نوع III که به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع برای جریان کم در این منطقه شناخته شد به کمک نرم افزار HYFA در ایستگاه‌های مورد نظر انجام شد که در آن از روش گشتاورها برای تخمین پارامترهای توزیع استفاده گردید. بدین ترتیب مقادیر جریان کم ۷ روزه با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌ها به‌دست آمد. شکل ۲ منحنی فراوانی جریان کم ۷ روزه در ایستگاه پل ذغال واقع بر روی رودخانه چالوس را نشان می‌دهد.

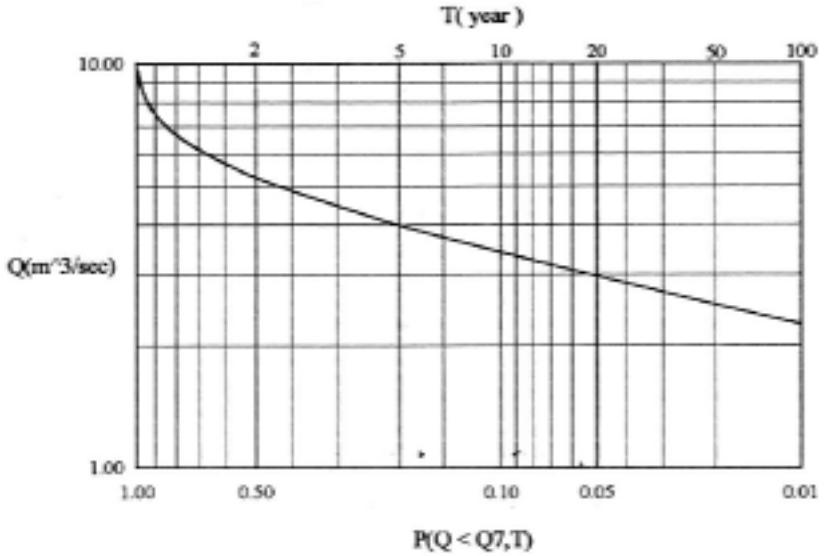
در گام بعد همگنی منطقه به روش آزمون بر اساس ضریب تغییرات که به‌وسیله ویلتشایر (۱۹۸۶) پیشنهاد شده است (۱۰) مورد آزمون قرار گرفت و ایستگاه‌های قرانطالار و گرمرود به عنوان ایستگاه‌های غیر همگن از لحاظ وضعیت هیدرولوژیک شناخته شده و از محاسبات کنار گذاشته شدند. در ادامه به کمک روش رگرسیون معادلات منطقه‌ای بین جریان کم ۷ روزه با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال و ویژگی‌های حوضه آبخیز به‌دست آمد. به این منظور ویژگی‌های مختلف حوضهٔ آبخیز شامل مساحت حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، حداقل ارتفاع حوضه، فاکتور شکل، طول شاخهٔ اصلی رودخانه، طول شاخهٔ اصلی رودخانه از مرکز ثقل حوضه تا نقطهٔ خروجی حوضه، در صد مساحت جنگلی، میانگین بارش سالانه و شیب متوسط حوضه برای ورود به مدل‌ها مورد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های آب سنجی انتخاب شده

ردیف	رودخانه- ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			تعداد سال آماری
		طول	عرض	ارتفاع(m)	
۱	صفارود-رامسر	۵۰-۳۷-۴۰	۳۶-۵۴-۳۰	۱۰۰	۲۰
۲	چالکرود-گانکسر	۵۰-۴۳-۴۰	۳۶-۴۹-۲۷	۸۰	۱۷
۳	چشمه کیله-هراتبر	۵۰-۵۰-۰۵	۳۶-۴۲-۲۰	۱۴۰	۱۷
۴	سردآبرود- کلاردشت	۵۱-۰۷-۵۰	۳۶-۲۹-۱۰	۱۳۸۰	۳۵
۵	سردآبرود- والت	۵۱-۱۲-۵۶	۳۶-۳۲-۴۰	۹۷۵	۱۴
۶	هنیسک-دوآب	۵۱-۰۲-۰۰	۳۶-۳۰-۰۰	۳۷۵	۱۵
۷	چالوس- پل ذغال	۵۱-۲۰-۰۴	۳۶-۳۰-۳۵	۳۵۰	۴۰
۸	لاویج-تنگهٔ لاویج	۵۲-۰۳-۵۰	۳۶-۲۴-۳۰	۳۳۰	۳۴
۹	نمار- نمارستاق	۵۲-۰۵-۵۰	۳۶-۰۶-۰۰	۲۰۸۰	۱۰
۱۰	نمار- پنجاب	۵۲-۱۶-۰۰	۳۶-۰۵-۵۰	۸۶۰	۱۳
۱۱	نور- بلده	۵۱-۴۸-۴۰	۳۶-۱۲-۱۰	۱۳۶۰	۱۳
۱۲	نور- رزن	۵۲-۱۱-۰۰	۳۶-۱۱-۵۲	۱۲۴۰	۲۲
۱۳	هراز- کره سنگ	۵۲-۲۱-۵۷	۳۶-۱۶-۳۷	۳۷۵	۲۵
۱۴	بابلرود- قرانطالار	۵۲-۴۶-۱۸	۳۶-۱۸-۳۲	۱۰۲	۳۹
۱۵	آلاشت- للـه‌بند	۵۲-۵۹-۲۰	۳۶-۰۶-۰۸	۶۵۰	۱۰
۱۶	طالار- شیرگاه	۵۲-۵۳-۱۲	۳۶-۱۸-۰۷	۲۲۰	۴۰
۱۷	دودانگه- سلیمان تنگه	۵۳-۱۳-۴۰	۳۶-۱۵-۰۷	۴۰۰	۳۸
۱۸	چهاردانگه-ورن	۵۳-۱۲-۲۰	۳۶-۲۰-۵۰	۲۸۰	۱۴
۱۹	تجن-ریگ چشمه	۵۳-۱۰-۵۰	۳۶-۲۱-۳۰	۲۷۰	۳۳
۲۰	ظالمرود-گرمرود	۵۳-۰۹-۲۸	۳۶-۲۶-۲۸	۱۷۵	۱۰



شکل ۲. منحنی فراوانی جریان کم ۷ روزه در ایستگاه پل ذغال واقع بر رودخانه چالوس

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

بررسی قرار گرفتند و ترکیب‌های مختلفی از آنها به کمک نرم افزار SPSS برای ورود به مدل‌های مختلف ارزیابی شدند که در نهایت بهترین روابط به‌دست آمده به صورت زیر بودند:

$$Q_{7,2} = 10^{-3/641+0/742\log(A)+1/115\log(S_a)} \quad [11]$$

R=۰/۸۵٤ S.E.=۰/۲۲۳

$$Q_{7,5} = 10^{-0/285+3/309*10^{-4}A} \quad [12]$$

R=۰/۸۵٤ S.E.=۰/۲٤۷

$$Q_{7,10} = 10^{-0/403+3/410.10^{-4}A} \quad [13]$$

R=۰/۸۲٦ S.E.=۰/۲۲٤

$$Q_{7,20} = 10^{-0/921+1/839.10^{-4}H_a+3/547.10^{-4}A} \quad [14]$$

R=۰/۸٦۲ S.E.=۰/۲۳٤

در این روابط:

A= مساحت حوضه (کیلومتر مربع)

H_a = ارتفاع متوسط حوضه (متر)

S_a = شیب متوسط حوضه (درصد)

R = ضریب هم‌بستگی

S.E. = خطای استاندارد

کلیه روابط ۱۱ الی ۱٤ در سطح یک درصد معنی دار هستند.

جدول ۲ مقادیر به‌دست آمده برای جریان کم ۷ روزه با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌ها یا همان مقادیر مشاهده شدهٔ جریان کم را نشان می‌دهد. در جدول ۳ مقادیر مساحت، ارتفاع و شیب متوسط حوضه‌های مربوط به ایستگاه‌ها به نمایش در آمده است. در جدول ٤ نیز مقادیر برآورد شدهٔ جریان کم ۷ روزه با دوره‌های بازگشت مختلف که از روابط ۱۱ تا ۱٤ به‌دست آمده‌اند نشان داده شده است. در این جدول در هر ایستگاه انتظار این است که مقدار جریان برآورد شده از دورهٔ بازگشت ۲ سال به ۵ سال و از ۵ سال به ۱۰ سال و از ۱۰ سال به ۲۰ سال روندی کاهشی را نشان دهد در حالی‌که در برخی موارد مشاهده می‌شود که روندهای مزبور افزایشی هستند. در کل از ٥٤ مورد ممکن در ۱۰ مورد روند افزایشی وجود دارد. علت این امر این است که معادلات مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف به طور جداگانه به‌دست آمده‌اند و متغیرهای راه یافته به مدل‌ها یکسان نیستند. در شکل ۳ مقادیر مشاهده شده و برآورد شدهٔ لگاریتم‌های جریان کم ۷ روزه با دورهای بازگشت مختلف در مقابل یکدیگر رسم گردیده‌اند. نزدیکی هر چه بیشتر نقاط به خط تقارن می‌تواند معرف خوبی روابط به‌دست آمده باشد. هم‌چنین به منظور بررسی بهتر رابطه‌های به‌دست آمده، خطای نسبی برای همهٔ روابط و در کلیهٔ ایستگاه‌ها از رابطهٔ ٦ محاسبه گردید که میانگین، حداقل و حداکثر خطاهای نسبی برای دوره‌های بازگشت مختلف در جدول ٤ نشان داده شده‌اند. شکل ٤ مقادیر ذکر شده در جدول ٥ را بر روی نمودار نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در تحلیل منطقه‌ای جریان کم، روابط منطقه‌ای بین جریان کم با دوره‌های بازگشت مختلف و ویژگی‌های حوضه نشان داد که ویژگی‌های مساحت، شیب متوسط و ارتفاع متوسط حوضه مهم‌تر از سایر ویژگی‌ها هستند و در این میان، متغیر مساحت حوضه در همهٔ موارد به مدل راه یافته است. در کلیهٔ بررسی‌هایی هم که قبلاً روی جریان کم صورت گرفته، مساحت حوضه همواره پارامتر اصلی بوده است.

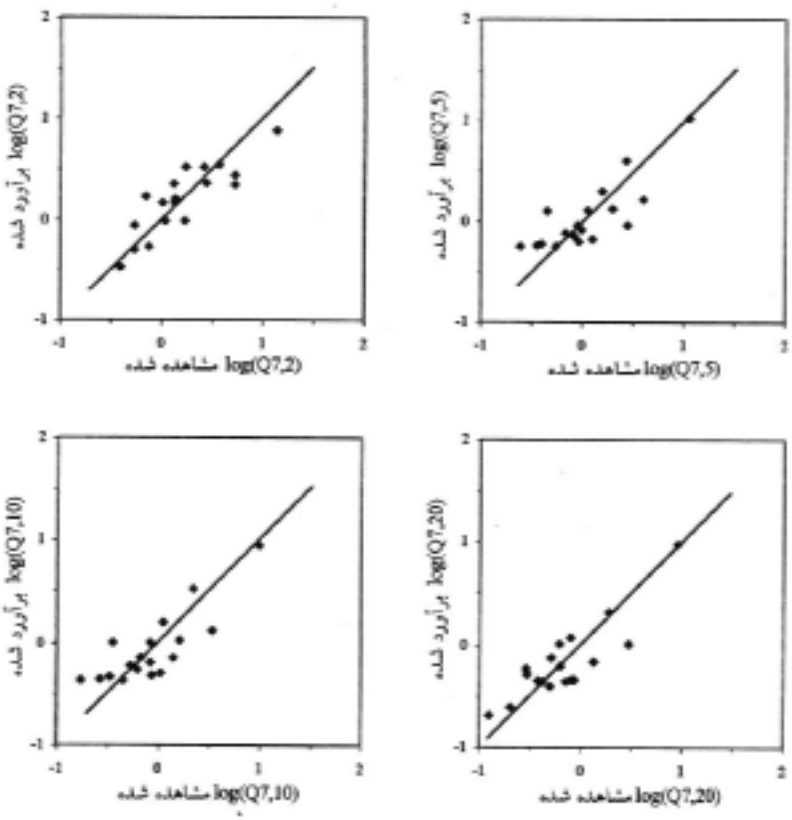
ارتفاع متوسط حوضه گرچه رابطهٔ مستقیمی با جریان کم ندارد ولی می‌تواند معرف میزان برفی بودن حوضه باشد. علت دیگر راه‌یابی آن به مدل ممکن است تغییر ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه در ارتفاعات مختلف باشد. این متغیر در مطالعهٔ دینگمن و لاولور (۱۹۹۵) نیز به مدل راه یافته بود. علت راه یابی شیب متوسط حوضه به مدل می‌تواند تأثیر آن بر روی سرعت زهکشی حوضه باشد (٤). در بررسی ووگل و کرول (۱۹۹۲) نیز شیب حوضه یکی از متغیرهای راه یافته به مدل بوده است (۹). خطای استاندارد روابط منطقه‌ای و میانگین خطاهای نسبی به‌دست آمده در مقایسه با بررسی‌های قبلی خطای نسبتاً کمی را نشان می‌دهد که علت این امر می‌تواند همگنی نسبتاً خوب منطقهٔ مورد مطالعه باشد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

جدول ۲. مقادیر جریان کم حاصل از تحلیل فراوانی نقطه‌ای و ویژگی‌های حوضهٔ به کار رفته در مدل‌ها

شماره	نام رودخانه ـ نام ایستگاه	$Q_{۷,۲}$ (m^3/s)	$Q_{۷,۵}$ (m^3/s)	$Q_{۷,۱۰}$ (m^3/s)	$Q_{۷,۲۰}$ (m^3/s)	مساحت حوضه (km^2)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)
۱	صفارود-رامسر	۰/۵۴۳	۰/۳۵۷	۰/۲۷۶	۰/۲۰۱	۱۳۶	۱۴۳۰	۳۷/۸
۲	چالکرود-گانکسر	۱/۳۳۳	۰/۸۳۰	۰/۶۳۱	۰/۴۹۶	۴۱۵	۲۰۲۲	۴۷/۰
۳	چشمه کیله-هراتبر	۵/۲۴۹	۲/۸۰۱	۱/۴۱۵	۰/۶۳۱	۷۶۸	۲۴۰۷	۵۵/۰
۴	سردآبرود- کلاردشت	۰/۵۳۸	۰/۳۹۶	۰/۳۳۶	۰/۲۹۳	۱۹۷	۳۰۷۶	۴۸/۳
۵	سردآبرود- والت	۱/۶۹۴	۱/۲۶۸	۱/۰۴۷	۰/۸۷۴	۳۲۸	۲۵۱۷	۳۸/۰
۶	هنیسک-دوآب	۱/۳۶۷	۰/۹۹۰	۰/۸۳۰	۰/۷۱۴	۶۲۷	۱۸۷۹	۳۸/۷
۷	چالوس- پل ذغال	۵/۲۴۲	۳/۹۸۱	۳/۴۰۵	۲/۹۷۳	۱۵۴۴	۲۰۸۹	۲۸/۷
۸	لاویج-تنگهٔ لاویج	۰/۳۹۴	۰/۲۴۸	۰/۱۷۶	۰/۱۲۵	۱۰۴	۱۰۸۰	۳۰/۵
۹	نمار- نمارستاق	۰/۷۵۲	۰/۵۴۹	۰/۴۵۱	۰/۳۷۷	۱۱۹	۲۸۹۷	۴۴/۲
۱۰	نمار- پنجاب	۱/۰۶۹	۰/۹۳۵	۰/۸۶۹	۰/۸۱۵	۲۵۳	۲۶۷۷	۴۵/۰
۱۱	نور- بلده	۱/۳۱۶	۰/۸۹۲	۰/۶۷۸	۰/۵۱۸	۷۵۰	۲۹۱۹	۴۶/۸
۱۲	نور- رزن	۱/۷۲۳	۱/۱۳۰	۰/۸۳۵	۰/۶۲۰	۱۲۰۴	۲۷۷۹	۴۸/۰
۱۳	هراز- کره سنگ	۱۳/۵۳۹	۱۱/۱۵۳	۹/۸۹۳	۸/۸۷۰	۳۹۶۷	۲۶۷۴	۴۵/۸
۱۴	آلاشت- للـه بند	۱/۰۲۰	۰/۶۸۴	۰/۵۳۱	۰/۴۲۰	۵۱۸	۲۰۸۷	۴۰/۶
۱۵	طالار- شیرگاه	۲/۵۹۸	۱/۵۷۶	۱/۱۱۷	۰/۸۰۱	۱۷۷۲	۲۰۱۴	۳۷/۶
۱۶	دودانگه- سلیمان تنگه	۲/۷۲۹	۱/۹۷۵	۱/۶۱۸	۱/۳۵۰	۱۲۵۶	۱۷۱۷	۳۳/۸
۱۷	چهاردانگه-ورن	۰/۶۹۵	۰/۴۵۰	۰/۳۵۶	۰/۲۹۲	۱۱۹۱	۱۴۷۵	۲۶/۸
۱۸	تجن-ریگ چشمه	۳/۶۲۶	۲/۶۷۱	۲/۲۲۴	۱/۸۸۶	۲۷۰۹	۱۵۲۶	۲۹/۷



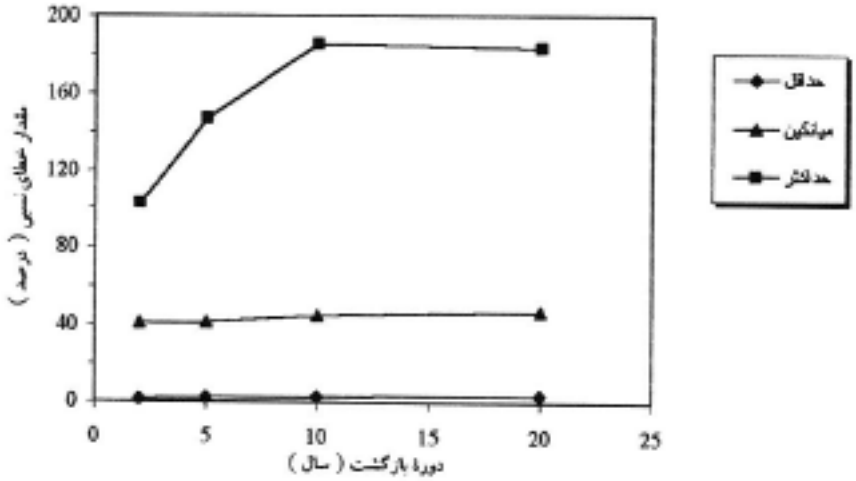
شکل ۳. نمودارهای مقادیر برآورد شده لگاریتم‌های جریان کم هفت روزه با دوره‌های بازگشت مختلف در مقابل مقادیر مشاهده شده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

جدول ۳. مقادیر جریان کم حاصل از تحلیل فراوانی نقطه‌ای و ویژگی‌های حوضه به‌کار رفته در مدل‌ها

شماره	نام رودخانه ـ نام ایستگاه	مساحت حوضه (km^2)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)
۱	صفارود-رامسر	۱۳٦	۱٤۳۰	۳۷/۸
۲	چالکرود-گانکسر	٤۱۵	۲۰۲۲	٤۷/۰
۳	چشمه کیله-هراتبر	۷٦۸	۲٤۰۷	۵۵/۰
٤	سردآبرود- کلاردشت	۱۹۷	۳۰۷٦	٤۸/۳
۵	سردآبرود- والت	۳۲۸	۲۵۱۷	۳۸/۰
٦	هنیسک-دوآب	٦۲۷	۱۸۷۹	۳۸/۷
۷	چالوس- پل ذغال	۱۵٤٤	۲۰۸۹	۲۸/۷
۸	لاویج-تنگهٔ لاویج	۱۰٤	۱۰۸۰	۳۰/۵
۹	نمار- نمارستاق	۱۱۹	۲۸۹۷	٤٤/۲
۱۰	نمار- پنجاب	۲۵۳	۲٦۷۷	٤۵/۰
۱۱	نور- بلده	۷۵۰	۲۹۱۹	٤٦/۸
۱۲	نور- رزن	۱۲۰٤	۲۷۷۹	٤۸/۰
۱۳	هراز- کره سنگ	۳۹٦۷	۲٦۷٤	٤۵/۸
۱٤	آلاشت- للـه بند	۵۱۸	۲۰۸۷	٤۰/٦
۱۵	طالار- شیرگاه	۱۷۷۲	۲۰۱٤	۳۷/٦
۱٦	دودانگه- سلیمان تنگه	۱۲۵٦	۱۷۱۷	۳۳/۸
۱۷	چهاردانگه-ورن	۱۱۹۱	۱٤۷۵	۲٦/۸
۱۸	تجن-ریگ چشمه	۲۷۰۹	۱۵۲٦	۲۹/۷



شکل ٤. نمودار میانگین، حداقل و حداکثر خطاهای نسبی برای دوره‌های بازگشت مختلف

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

جدول ٤. مقادیر جریان کم هفت روزه برآورد شده از معادلات نقطه‌ای

شماره	نام رودخانه ـ نام ایستگاه	$\hat{Q}_{7,2}$ (m^3/s)	$\hat{Q}_{7,5}$ (m^3/s)	$\hat{Q}_{7,10}$ (m^3/s)	$\hat{Q}_{7,20}$ (m^3/s)
١	صفارود–رامسر	٠/٥٠٤	٠/٥٧٥	٠/٤٤٠	٠/٢٤٥
٢	چالکرود–گانکسر	١/٤٦٩	٠/٧١٢	٠/٥٤٨	٠/٣٩٦
٣	چشمه کیله–هراتبر	٢/٧٦٤	٠/٩٣١	٠/٧٢٣	٠/٦٢٢
٤	سردآبرود– کلاردشت	٠/٨٧٣	٠/٦٠٣	٠/٤٦٢	٠/٥١٨
٥	سردآبرود– والت	٠/٩٧٣	٠/٦٦٣	٠/٥١٢	٠/٤٥٥
٦	هنیسک–دوآب	١/٦٠٧	٠/٨٣٦	٠/٦٤٧	٠/٤٤٣
٧	چالوس– پل ذغال	٢/٢٤٧	١/٦٨٢	١/٣٣٠	١/٠٢٤
٨	لاویج–تنگهٔ لاویج	٠/٣٣٥	٠/٥٦٣	٠/٤٣١	٠/٢٠٧
٩	نمار– نمارستاق	٠/٩٤١	٠/٥٦٨	٠/٤٣٤	٠/٤٥٠
١٠	نمار– پنجاب	٠/٩٦٩	٠/٦٢٩	٠/٤٨٣	٠/٤٥٨
١١	نور– بلده	٢/٢٦٨	٠/٩١٩	٠/٧١٣	٠/٧٦١
١٢	نور– رزن	٣/٣١٥	١/٢٩٨	١/ ٠١٨	١/٠٣٩
١٣	هراز– کره سنگ	٧/٦٢٣	١٠/٦٥٥	٨/٩١٣	٩/٤٩٠
١٤	آلاشت– للـه بند	١/٤٧١	٠/٧٧٠	٠/٥٩٤	٠/٤٤٣
١٥	طالار– شیرگاه	٣/٣٦٤	٢/ ٠٠١	١/٥٩١	١/١٩٥
١٦	دودانگه– سلیمان تنگه	٢/٣١٤	٠/٣٥١	١/٠٦١	٠/٦٩٢
١٧	چهاردانگه–ورن	١/٧١٧	١/٢٨٥	١/ ٠٠٨	٠/٥٩٢
١٨	تجن–ریگ چشمه	٣/٥٤٣	٤/٠٨٦	٣/٣١٩	٢/٠٨٩

جدول ٥. میانگین، حداقل و حداکثر درصد خطاهای نسبی محاسبه شده

دورهٔ بازگشت	میانگین	حداقل	حداکثر
٢	٤١/٠٦	١/٤٦	١٠٢/٧٣
٥	٤١/٣٠	٢/٢٨	١٤٧/٠٥
١٠	٤٥/٠٣	٢/٩٨	١٨٥/٦٣
٢٠	٤٧/٢٠	٣/٧٣	١٨٣/١٢

بررسی‌های قبلی خطای نسبتاً کمی‌را نشان می‌دهد که علت این امر می‌تواند همگنی نسبتاً خوب منطقه مورد مطالعه باشد.

از آنجایی که در روش مورد استفاده معادلات مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف یکسان نیستند، در نتیجه در مواردی قاعدهٔ کاهش برآوردها در حین افزایش دورهٔ بازگشت نقض می‌شود. ولی به کار بردن متغیرهای یکسان در معادلات مختلف به معنی کنار گذاشتن بهترین معادلات و انتخاب معادلاتی با دقت کمتر و خطای بیشتر است.

بنابراین در مجموع با توجه به سادگی روش و امکان انجام محاسبات آن در بسیاری از نرم افزارهای آماری استفاده از آن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]

در مـراحل اولـیهٔ مطالعـات بـه ویژه هنگام نیاز به جریان کم با یک دورهٔ بازگشت خاص که مشکل راه یابی متغیرهای متفاوت در معادلات مختلف وجود ندارد قابل توصیه است.

سپاسگزاری

بـدین وسیله از سرکار خانم مهندس منیره بیابانکی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. افشار، ع. ۱۳٦۹. *هیدرولوژی مهندسی*. چاپ دوم. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۲. بزرگ نیا، ا.، ا. علیزاده، م. نقیب زاده، و ح. خیابانی (مترجمان). ۱۳٦۹. *تحلیل فراوانی وقایع و ریسک در هیدرولوژی*. مؤسسهٔ چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. صفحهٔ ٤۳.

3. Burn, D. H. 1988. Cluster analysis as applied to regional flood frequency. J. Water Resour. Planning and Manage. 115(5): 567-582.
4. Dingman, S. L. and S. C. Lawlor. 1995. Estimating low-flow quantities from drainage-basin characteristics in New Hampshire and Vermont. Water Resour. Bull. 31(2): 243-256.
5. Maidment, D. R. 1993. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill. New York.
6. Riggs, H. C. 1985. Streamflow Characteristics. Elsevier pub., New Yourk, PP. 165-175
7. Thomas, D. M. and M. A. Benson. 1970. Generalization of stream flow characteristics from drainage-basin characteristics. U. S. Geological Survey. Water Supply Paper 1975.
8. Vogel, R. M. and C. N. Keroll. 1990. Generalized low-flow frequency relationships for ungaged sites in Massachusetts. Water Resour. Bull. 26(2): 241-253.
9. Vogel, R. M. and C. N. Keroll. 1992. Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics. Water Resour. Res. 28(9): 2451-2458
10. Wiltshire, S. E. 1986. Identification of homogenous regions for flood frequency analysis. J. Hydrol. 84: 287-302.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.1.3.4]