

## کاربرد روش تحلیل افتراقی در برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای برای حوضه‌های آبخیز غرب ایران

سیدسعید اسلامیان\*، احمد ابریشم‌چی\*\* و کیوان فرزام‌نیا\*\*\*

دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۷۸/۲/۲۰ - دریافت نسخه‌نهایی: ۷۹/۳/۲)

چکیده - اساسیترین مرحله در طراحی سیل‌بندها، سدها، زهکشها، زیرگذرها و دیگر تأسیسات آبی، تخمین حداکثر دبی لحظه‌ای سیل برای دوره‌های برگشت مختلف است. به دلیل کوتاه مدت بودن و یا عدم وجود دوره‌آماربرداری سیل در تعدادی از حوضه‌های آبخیز غرب کشور، استفاده از روشهای معمول تحلیل فراوانی سیل منجر به ایجاد خطای تخمین زیاد، خصوصاً برای دوره‌های برگشت طولانی، می‌شود. بدین منظور، در این تحقیق، برای تخصیص این حوضه‌ها به مناطق همگن هیدرولوژیک، روش تحلیل افتراقی به کار گرفته شد و در نهایت، دبی‌های حداکثر لحظه‌ای برای دوره‌های برگشت مورد نظر در حوضه‌های دارای آمار ناقص برآورد شد. اختلاف کم بین نتایج حاصل از روش تحلیل افتراقی و مقادیر واقعی، دقت نسبتاً خوب این روش را نشان داد.

### Application of Discriminant Analysis to Estimate Instantaneous Maximum Discharge for Catchments in West of Iran

S. S. Eslamian, A. Abrishamchi and K. Farzamia

College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology

Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology

**ABSTRACT-** *Accurate estimate of flood flows at selected return periods is a fundamental step in flood control and design of hydraulic structures. Due to the inadequacy or unavailability of flood flow records in several western catchments of Iran, traditional regional flood frequency methods lead to remarkable estimate errors, particularly for long return periods. In this research, discriminant analysis is used to allocate catchments short of adequate records to defined regions, and rare discharges for the catchments are estimated subsequently. The discriminant model validation is evaluated and the results show low estimate errors.*

### فهرست علائم

$Q_m$ متوسط دبی اوج لحظه‌ای سالیانه، $m^3/s$	$P$ سطح معنی‌دار بودن	$A$ سطح زهکشی حوضه، $km^2$
$QSP$ دبی ویژه اوج سالیانه $m^3/s/km^2$	$P(i)$ احتمال پیشین	$C_i$ ماتریس کوواریانس منطقه $i$
$R$ ضریب همبستگی	$P(i/x)$ احتمال پسین	$CV$ ضریب تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه
$S$ شیب حوضه، درصد	$P(x)$ احتمال انتخاب شدن ایستگاه $x$	$D_{ij}$ فاصله اقلیدسی حوضه 1 با حوضه $j$
$t$ دوره برگشت، سال	$P(x/i)$ احتمال از توزیع نرمال با تعداد متغیر $K$	$E$ خطای تخمین مدل
$T_i$ عامل بی‌بعد منطقه همگن $i$	$Q_t$ مقدار مشاهده شده دبی اوج سالیانه با دوره برگشت $t$ ، $m^3/s$	$K$ تعداد متغیرها
$X_{ki}$ مقدار متغیر $k$ برای حوضه $i$	$\hat{Q}_t$ مقدار تخمینی دبی اوج سالیانه با دوره برگشت $t$ ، $m^3/s$	$M$ تعداد کل مناطق
$X_{kj}$ مقدار متغیر $k$ برای حوضه $j$	$X_t$ عامل بی‌بعد ایستگاه کوتاه‌مدت	$M_i$ بردار میانگین خصوصیات منطقه $i$
		$N_i$ تعداد ایستگاههای منطقه $i$

### ۱- مقدمه و پیشینه مطالعات

در مطالعات کنترل سیل و طراحی بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی، تخمین نسبتاً دقیقی از دبی حداکثر لحظه‌ای سیل با احتمال وقوع مختلف مورد نیاز است. در صورت در دسترس بودن آمار دبی لحظه‌ای، این برآورد اغلب با استفاده از روش تحلیل فراوانی سیل<sup>۱</sup> انجام می‌شود. توانایی این روش به منظور تخمین دبی حداکثر لحظه‌ای معمولاً<sup>۲</sup> به علت کوتاه مدت بودن دوره آماربرداری، خصوصاً برای دوره‌های برگشت بالا محدود است. همچنین در حوضه‌های فاقد آمار دبی حداکثر لحظه‌ای، ترسیم منحینها یا دستیابی به روابط فراوانی سیل توسط روشهای آماری برآورد نقطه‌ای سیلابهای محتمل ناممکن است. برای حل این مشکل، سالهاست که تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیل<sup>۳</sup> به عنوان ابزاری استاندارد در مطالعات هیدرولوژی به کار گرفته می‌شود.

در تحلیل منطقه‌ای سیل، حوضه‌های مختلف واقع در یک منطقه جغرافیایی ممکن است از نظر هیدرولوژیک شبیه یکدیگر نبوده، حتی اگر فاصله جغرافیایی آنها کم باشد. بنابراین دقت روشهای تحلیل منطقه‌ای سیل بستگی زیادی به روش تدوین منطقه دارد. روشهای متعدد و متنوعی برای منطقه‌ای کردن داده‌های سیل وجود دارد [۲]. برای مثال، روش سیل نمایه<sup>۳</sup> یکی از قدیمیترین روشها به عنوان حاصل تلاشهای اولیه هیدرولوژیستها برای منطقه‌ای کردن تحلیل فراوانی سیل بوده است [۳]. در سالهای اخیر، روش باقیمانده‌ها<sup>۴</sup> کاربرد گسترده‌ای یافته است [۴-۶]. در

بیشتر مطالعات مبتنی بر این روش، مناطق همگن بر مرزهای جغرافیایی منطبق در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب امکان دارد که چنین منطقه همگنی حوضه‌هایی با خصوصیات ژئومرفولوژیک متنوع و متفاوت که ویژگیهای غیرقابل قیاسی از نظر فرایند و فراوانی سیل دارند را در برگیرد. برای رفع این مشکل از روشهای آماری چند متغیره استفاده می‌شود.

وایت [۷] برای ۱۱۲ ایستگاه در پنسیلوانیای آمریکا، روش تحلیل عاملها<sup>۵</sup> را با متغیرهای تراکم زهکشی، شیب آبراهه و یک فاکتور هندسی به کار برد. با کمک این روش، سه منطقه همگن تفکیک شد که در منطقه اول، شیب آبراهه اصلی کم و میزان تلفات انتقال زیاد بود. در منطقه سوم، شیب آبراهه اصلی زیاد و میزان تلفات انتقال کم بود و منطقه دوم در حد متوسطی بین دو منطقه دیگر قرار داشت. روش تحلیل دسته‌بندی توسط داری و همکاران [۸] در ۲۴ رودخانه در ایالت پنسیلوانیای آمریکا به کار برده شد. متغیرهای به کار رفته توسط آنها، pH، اکسیژن محلول، میکروارگانیزمها و آهن موجود در آب بود، رودخانه‌های واقع در یک منطقه تدوین یافته توسط روش تحلیل دسته‌بندی دارای کیفیت آب مشابه بوده و این مسئله برای مدیریت کیفیت رودخانه مفید است. بیبل و مک‌کرچر [۹] برای بررسی بازده روش تحلیل دسته‌بندی در جزایر جنوبی و شمالی نیوزیلند از روش تحلیل افتراقی استفاده کردند. آنها متغیرهای تحلیل افتراقی را ضریب تغییرات و دبی ویژه سیل قرار دادند. برای این کار از برنامه رایانه‌ای

BMDP7M [۱۰] استفاده کرده و همانند مطالعات موسلی [۱۱] روش تحلیل دسته‌بندی در جزیره جنوبی نیوزیلند کارایی بهتری داشته و دارای بازده ۶۸ درصد بود. ویلتشایر [۱۲] با به کارگیری روش تحلیل دسته‌بندی در ۱۰ منطقه همگن تعداد ۳۷۶ ایستگاه را برای حوضه‌های آبریز مورد مطالعه در انگلستان منظور کرد. او از روش تحلیل افتراقی برای اختصاص دادن ۶ حوضه فاقد آمار به مناطق همگن استفاده کرد. خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی حوضه‌های مورد استفاده شامل سطح زهکشی حوضه، متوسط بارش سالانه، بارش مؤثر یک روزه با دوره برگشت ۵ سال، متوسط سالانه کمبود رطوبتی خاک، شیب متوسط رودخانه اصلی، نوع خاک و نسبت زهکشی حوضه از طریق دریاچه بود. ویلتشایر به این نتیجه رسید که بازده روش تحلیل افتراقی به خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی مورد کاربرد بستگی دارد. یعنی هر چه خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی بیشتری از حوضه‌ها در دسترس باشد، کارایی روش را افزایش می‌دهد. در نتیجه، تخمین صحیحتری از میزان سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار به دنبال دارد.

روش تحلیل افتراقی برای بررسی بازده روشهای تحلیل دسته‌بندی و باقیمانده‌ها توسط باسکار و اکائر [۴] به کار برده شد. روش تحلیل دسته‌بندی از بازده بیشتری (۶۴/۸ درصد) نسبت به روش باقیمانده‌ها (۱۹/۸ درصد) برخوردار بود. اخیراً روش تحلیل دسته‌بندی<sup>۶</sup> برای تفکیک مناطق هیدرولوژیک همگن در ایران مورد استفاده قرار گرفته شده است [۱]. مبنای تشابه هیدرولوژیک، معمولاً دو متغیر ضریب تغییرات سالیانه سیل و دبی ویژه حداکثر سالیانه در نظر گرفته می‌شود.

در این تحقیق، یک روش آماری چند متغیره به نام روش تحلیل افتراقی<sup>۷</sup> به کار گرفته شده که خصوصیات فیزیوگرافی حوضه شامل سطح زهکشی ایستگاه، طول و شیب رودخانه اصلی حوضه و میانگین بارش سالیانه در محل ایستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس روش تحلیل افتراقی، قانون بیز در آمار و احتمال است که احتمال عضویت یا تعلق حوضه‌های فاقد آمار به مناطق تفکیک یافته را به دست می‌دهد. احتمالهای تعلق به عنوان ضرایب تأثیر در تخمین سیل به کار می‌روند. همچنین از روش تحلیل افتراقی می‌توان میزان بازده روش تحلیل دسته‌بندی را هم تخمین زد، به طوری که دقت تفکیک مناطق از یکدیگر مشخص شود. نداشتن

داده‌ها و اطلاعات کافی در مورد خصوصیات زیر حوضه‌ها، کارایی روش تحلیل افتراقی را محدود می‌کند. خصوصیات بیشتری از حوضه‌ها مانند پتانسیل ذخیره‌سازی سیل در دشتهای سیلابی، توزیع مکانی و خصوصیات آبهای زیرزمینی و یا تغییرات سالیانه کمبود رطوبت خاک ممکن است لازم باشد. وجود داده‌های کافی برای این خصوصیات، می‌تواند هم تحلیل افتراقی و هم تحلیل همبستگی را بهبود بخشد. نکته دیگری که در تحلیل منطقه سیل حائز اهمیت بوده و می‌تواند در بهبود نتایج مؤثر باشد، تعداد ایستگاههای هیدرومتری مورد مطالعه است. هرچه این تعداد بیشتر و دوره آماربرداری طولتر باشد، اطلاعات بیشتری در مورد فرایند سیل وجود خواهد داشت. در این تحقیق، ۳۵ ایستگاه هیدرومتری با آمار دبی لحظه‌ای در منطقه غرب ایران مورد بررسی قرار گرفته و تمام ایستگاهها در سرشاخه‌های رودخانه کرخه قرار دارند.

## ۲- منابع آمار واطلاعات

حوضه آبریز رودخانه کرخه بین عرضهای جغرافیایی ۳۱°۱۸' و ۳۴°۵۸' شمالی و طولهای جغرافیایی ۴۶°۰۷' و ۴۹°۱۰' شرقی قرار دارد. در حد شمالی و شرقی حوضه رودخانه کرخه، سلسله جبال زاگرس قرار گرفته و از جنوب به دشت خوزستان (باتلاقهای هورالعظیم و هورالهوریزه) و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود. رودخانه کرخه با دبی متوسط ۱۷۷ مترمکعب در ثانیه سومین رودخانه ایران از لحاظ میزان آبدهی بوده و از این لحاظ پس از رودخانه‌های کارون و دز قرار می‌گیرد. سطح زهکشی حوضه آبریز رودخانه کرخه در حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع است. حوضه آبریز مورد مطالعه در محل ایستگاه پای پل با سطح زهکشی ۴۲۶۶۴ کیلومتر مربع بسته شده است. بلندترین نقطه حوضه آبریز رودخانه کرخه در شرق به ۳۵۰۰ متر از سطح دریا رسیده و نقطه خروجی حوضه مورد مطالعه در جنوب به ارتفاع ۱۸۰ متر قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه در این حوضه بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلیمتر متغیر است. حداقل و حداکثر دما در این حوضه از ۲۵- الی ۵۰ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند.

بر روی رودخانه کرخه و شاخه‌های اصلی آن تاکنون ۴۷ ایستگاه آب‌سنجی تأسیس شده است. ۳۵ ایستگاه آب‌سنجی برای این تحقیق انتخاب شد. ۳۰ ایستگاه بیش از ۱۰ سال آمار دبی

است که به نحوی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه (سطح حوضه) و میزان سیلاب را در مدل وارد می‌کنند و نکته دیگر این که این دو متغیر از یکدیگر مستقل اند [۱۵].

متغیرها قبل از استفاده در معادله (۱) بایستی استاندارد شوند. بدین منظور از توزیع نرمال استاندارد استفاده می‌شود. اساس استاندارد کردن به این صورت است که مقادیر هر متغیر در هر ایستگاه از میانگین آن متغیر برای همه ایستگاهها کم شده و بر انحراف معیار آن متغیر برای همه ایستگاهها تقسیم می‌شود. با این عمل، هر متغیر برای همه ایستگاهها دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک خواهد بود [۱۵]. استاندارد کردن باعث می‌شود که متغیرها در ایجاد تشابه تأثیرگذاری هم‌سنگی داشته باشند. هم‌چنین چون متغیرهای انتخاب شده واحدهای مختلفی دارند، واحدها می‌توانند تشابهات را متأثر سازند ولی با استاندارد کردن، داده‌ها بدون بعد شده و این اثر را از بین می‌برند.

به منظور تخصیص ایستگاه‌های کوتاه مدت یا نقاط فاقد آمار به مناطق همگن، از روش تحلیل افتراقی استفاده می‌شود. با توجه به قانون بیز در آمار و احتمالات معادله زیر به دست می‌آید:

$$P(i/x) = \frac{p(x/i)p(i)}{p(x)} \quad (2)$$

که در آن احتمال  $P(i/x)$  این است که ایستگاه کوتاه مدت  $x$  در منطقه همگن باشد (احتمال پسین<sup>۸</sup>).  $P(x)$  احتمال این است که ایستگاه کوتاه مدت  $x$  انتخاب شود.  $P(i)$  احتمال پیشین<sup>۹</sup> است که طبق معادله زیر قابل محاسبه می‌شود:

$$P(i) = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^M N_i} \quad (3)$$

که در آن  $N_i$  تعداد ایستگاهها در منطقه همگن  $i$  و  $M$  تعداد کل مناطق است.  $P(x/i)$  در معادله (۲) از یک تابع توزیع نرمال با  $K$  متغیر به شرح زیر برخوردار است:

$$P(x/i) = \frac{1}{(|C_i| 2\pi^K)^{\frac{1}{2}}} \exp \left[ -(x - M_i)^T C_i^{-1} (x - M_i) / 2 \right] \quad (4)$$

که در آن  $C_i$  ماتریس کوواریانس برای منطقه  $d$  با  $K$  تعداد متغیرها و

حداکثر لحظه‌ای سالیانه داشتند که ۲۹ ایستگاه در تدوین مناطق همگن به روش دسته‌بندی استفاده شد و یک ایستگاه با دوره آماری بلند مدت فقط برای بررسی اعتبار مدل مورد تحلیل قرار گرفت. پنج ایستگاه با دوره آماری کمتر از ۱۰ سال با استفاده از روش آماری تحلیل افتراقی به مناطق همگن تدوین یافته تخصیص داده شدند و دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های برگشت مورد نظر برای آنها تخمین زده شد. در جدول (۱) مشخصات تمام ایستگاهها آورده شده است. در ستون دوم جدول (۱)، شماره ایستگاههای آب‌سنجی مطابق اطلس منابع آب آورده شده است [۱۳]. موقعیت جغرافیایی این ایستگاهها بر روی سرشاخه‌های رودخانه کرخه در شکل (۱) نشان داده شده است. شماره ایستگاههای آب‌سنجی مطابق با ستون دوم جدول (۱) است.

### ۳- مواد و روشها

برای تدوین مناطق همگن از روش تحلیل دسته‌بندی استفاده می‌شود. اساس این روش بر مبنای شباهت میان چند متغیر مستقل است. حوضه‌هایی که این متغیرها در آنها مشابه باشند، در یک گروه یا منطقه قرار می‌گیرند. شباهت بین دو حوضه با تعیین فاصله اقلیدسی از معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$D_{ij} = \left[ \sum_{k=1}^K (X_{ki} - X_{kj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

که در آن  $D_{ij}$  فاصله اقلیدسی حوضه  $i$  با حوضه  $j$ ،  $X_{ki}$  مقدار متغیر  $k$  برای حوضه  $i$ ،  $X_{kj}$  مقدار متغیر  $k$  برای حوضه  $j$  و  $K$  تعداد متغیرها است. متغیرهایی که در این تحقیق در معادله (۱) استفاده شدند عبارت‌اند از:

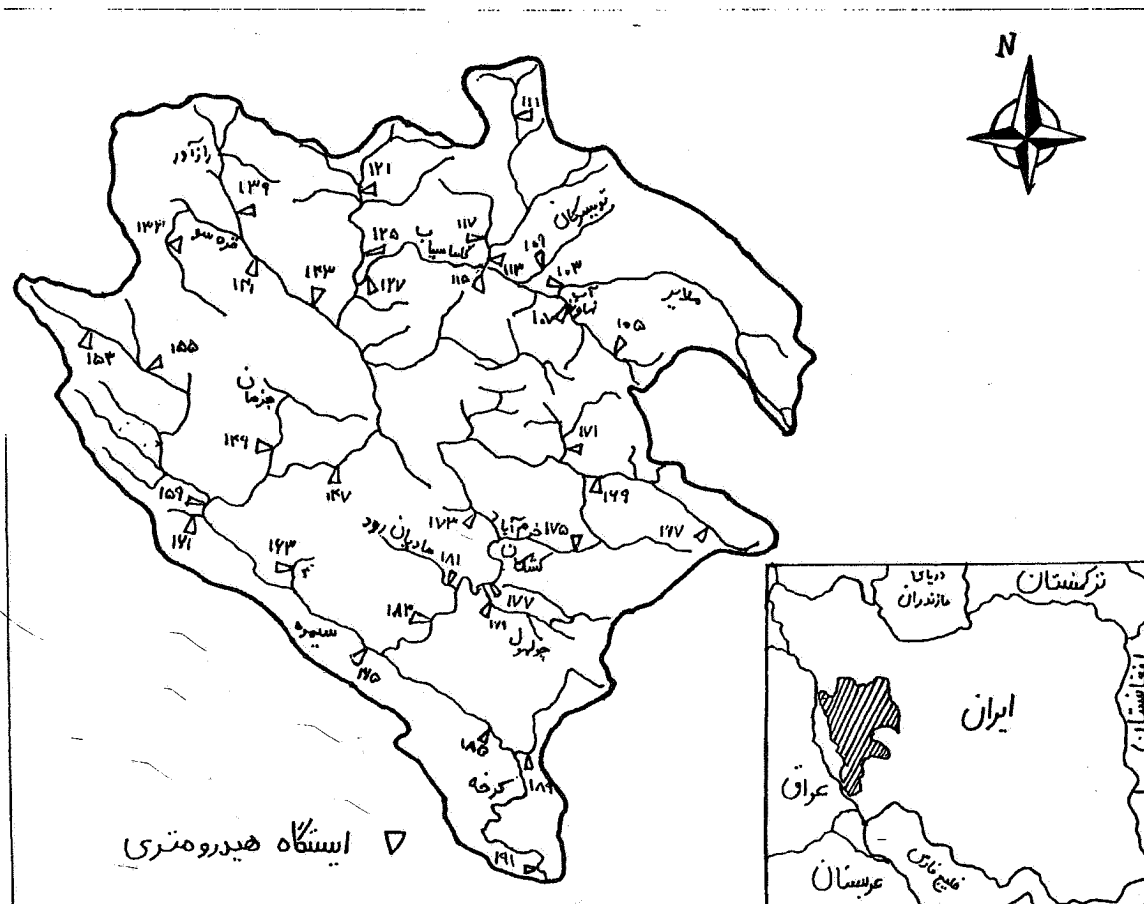
الف - دبی ویژه حداکثر سالیانه که از تقسیم میانگین دبی حداکثر سالیانه بر سطح زهکشی حوضه به دست می‌آید و به اختصار QSP نامیده می‌شود.

ب - ضریب تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه که از تقسیم انحراف معیار بر میانگین دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سالیانه حاصل می‌شود و به اختصار CV نامیده می‌شود.

در اغلب طرحهای سیلاب منطقه‌ای از این دو متغیر استفاده شده است [۴، ۱۱، ۱۲ و ۱۴]. علت به کارگیری این دو متغیر آن

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای آب‌سنجی مورد استفاده در حوضه رودخانه کرخه

ردیف	شماره ایستگاه	نام ایستگاه	نام رودخانه	دوره آماری (سال)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۱۱۳	آران	خرم رود	۳۶	۴۷°۵۵'	۳۴°۲۴'
۲	۱۱۵	دو آب	گاماسیاب	۲۹	۴۷°۵۵'	۳۴°۲۲'
۳	۱۲۷	پل چهر	گاماسیاب	۳۸	۴۷°۲۵'	۳۴°۲۰'
۴	۱۳۹	پل کهنه	رازآور	۳۳	۴۷°۰۰'	۳۴°۲۹'
۵	۱۴۱	قوریاغستان	قره‌سو	۳۶	۴۷°۰۷'	۳۴°۲۱'
۶	۱۴۳	پل زال	قره‌سو	۳۹	۴۷°۱۵'	۳۴°۱۴'
۷	۱۸۹	هولیلان سرچم	آب زال	۲۹	۴۸°۰۵'	۳۲°۴۸'
۸	۱۴۷	هولیلان	سیمره	۳۰	۴۷°۵۵'	۳۳°۴۴'
۹	۱۴۹	تنگ‌سازین	جزمان	۱۹	۴۷°۰۶'	۳۳°۴۶'
۱۰	۱۵۹	دهنو	سیمره	۲۹	۴۶°۵۱'	۳۳°۳۴'
۱۱	۱۶۷	کاکارضا	هررود	۲۷	۴۸°۴۶'	۳۳°۳۱'
۱۲	۱۶۹	سراب سیدعلی	هررود	۳۶	۴۸°۱۶'	۳۳°۴۳'
۱۳	۱۷۱	پل کشکان	دو آب الشتر	۳۶	۴۸°۱۲'	۳۳°۴۷'
۱۴	۱۷۳	چمانجیر	کشکان	۲۷	۴۷°۵۳'	۳۳°۳۴'
۱۵	۱۷۵	آفرینه	خرم‌آباد	۳۹	۴۸°۱۵'	۳۳°۲۶'
۱۶	۱۷۷	آفرینه	کشکان	۳۹	۴۷°۵۴'	۳۳°۱۹'
۱۷	۱۷۹	پل دختر	چولهول	۳۸	۴۷°۵۵'	۳۳°۱۸'
۱۸	۱۸۳	جلوگیر	کشکان	۳۸	۴۷°۴۳'	۳۲°۰۹'
۱۹	۱۸۵	پای پل	کرخه	۳۶	۴۷°۴۸'	۳۲°۵۸'
۲۰	۱۹۱	بیستون	کرخه	۳۶	۴۸°۰۹'	۳۲°۲۵'
۲۱	۱۲۵	آفاجنابلاخی	دین‌آور	۱۶	۴۷°۲۷'	۳۴°۲۴'
۲۲	۱۱۱	کله چوب	شهاب	۱۴	۴۸°۰۳'	۳۴°۵۰'
۲۳	۱۵۵	تنگ سیاب	چم‌راوند	۱۵	۴۶°۳۷'	۳۴°۰۱'
۲۴	۱۶۳	برآفتاب	دره دزدان	۱۵	۴۷°۱۳'	۳۳°۲۴'
۲۵	۱۸۱	پل حاج علی‌مراد	مادیان‌رود	۱۱	۴۷°۴۸'	۳۳°۱۹'
۲۶	۱۰۳	گوشه سعدوقاص	آب ملایر	۱۲	۴۸°۱۴'	۳۴°۱۹'
۲۷	۱۰۷	فیروزآباد	آب نهاوند	۲۳	۴۸°۱۴'	۳۴°۱۷'
۲۸	۱۰۹	سنگ سوراخ	تویسرکان	۳۶	۴۸°۰۷'	۳۴°۲۱'
۲۹	۱۰۵	آبشار	سراب گاماسیاب	۱۱	۴۸°۲۳'	۳۴°۰۲'
۳۰	۱۱۷	میان‌راهان	آب صحنه	۷	۴۷°۴۳'	۳۴°۳۰'
۳۱	۱۲۱	خسروآباد	جامشیان	۶	۴۷°۲۶'	۳۴°۳۵'
۳۲	۱۵۳	ورگچ	کوند	۷	۴۶°۲۲'	۳۴°۱۰'
۳۳	۱۶۱	چم‌ژاپ	آب سیروان	۷	۴۶°۱۳'	۳۳°۲۴'
۳۴	۱۶۵	دو آب	سیمره	۴	۴۷°۲۹'	۳۳°۰۷'
۳۵	۱۳۳	دو آب مرگ	قره‌سو	۳۷	۴۶°۴۷'	۳۴°۲۳'



شکل ۱- موقعیت ایستگاههای آب‌سنجی مورد مطالعه در حوضه سد کرخه

$$D_i(x) = -(x - M_i)^T C_i^{-1} (x - M_i) + \ln [P(i)] \quad (7)$$

اگر معادله (۷) برای همه مناطق نوشته شود، معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\sum_{i=1}^M P(i/x) = \sum_{i=1}^M \left[ \frac{P(x/i)P(i)}{P(x)} \right] \quad (8)$$

که در آن  $P(x)$  ثابت بوده و از عبارت مقابل سیگما خارج می‌شود. از طرفی، چون طرف چپ معادله (۸) معادل یک است، می‌توان نوشت:

$$P(x) = \sum_{i=1}^M [P(x/i)P(i)] \quad (9)$$

از معادله‌های (۲) و (۹) معادله زیر نتیجه می‌شود:

$$P(i/x) = \frac{P(x/i)P(i)}{\sum_{i=1}^M P(x/i)P(i)} \quad (10)$$

$M_i$  بردار میانگین خصوصیات برای منطقه  $i$  است. تابع افتراقی منطقه  $i$  از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$D_i(x) = \ln [P(x/i)P(i)] \quad (5)$$

که در آن  $D_i(x)$  تابع افتراقی در منطقه  $i$  است. اگر طرفین معادله (۵) در  $P(i)$  ضرب شده و سپس لگاریتم در مبنای نپرین گرفته شود، معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\ln [P(x/i) + P(i)] = \ln \left( |C_i| \frac{1}{2\pi^k} \right)^{\frac{1}{2}} + \left[ (x - M_i)^T C_i^{-1} (x - M_i) / 2 \right] + \ln [P(i)] \quad (6)$$

می‌توان فرض کرد که ماتریس کوواریانس در همه مناطق برابر است [۶ و ۱۶]. با استفاده از معادله‌های (۴) و (۶) و صرف نظر کردن از مقدار ثابت در تابع افتراقی، معادله زیر به دست می‌آید:

حال طبق معادله‌های (۴) و (۱۰) معادله زیر حاصل می‌شود:

$$P(i/x) = \frac{\exp(D_i)}{\sum_{i=1}^M \exp(D_i)} \quad (11)$$

معادله (۱۱) احتمال پسین یا احتمال اختصاص دادن ایستگاه دارای آمار کوتاه مدت یا فاقد آمار  $x$  را به منطقه  $i$  به دست می‌دهد. به منظور دستیابی به میزان دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه با دوره‌های برگشت مختلف برای ایستگاههای کوتاه مدت یا حوضه‌های فاقد آمار، ابتدا باید میزان عامل بی‌بعد با دوره‌های برگشت مختلف  $Q_t/Q_m$  را در هر منطقه همگن با استفاده از برازش توزیع آماری بهینه بر روی مقادیر  $Q/Q_m$  میانگین همه ایستگاهها در هر سال آماری مشترک به دست آورد که  $Q$  دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه،  $Q_m$  متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه و  $Q_t$  دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت  $t$  است. برای تخمین  $Q_t/Q_m$  برای یک ایستگاه با طول آماری دوره کوتاه مدت یا فاقد آمار از روش میانگین وزنی استفاده می‌شود:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^M P(i) T(i)}{\sum_{i=1}^M P(i)} \quad (12)$$

که در آن  $X_t$  مقدار  $Q_t/Q_m$  برای ایستگاه کوتاه مدت مورد نظر یا نقطه فاقد آمار،  $T(i)$  مقدار  $Q_t/Q_m$  برای منطقه همگن  $i$  و  $M$  تعداد کل مناطق همگن است. به خاطر آنکه جمع کل احتمالات پسین مناطق همگن برابر یک است، معادله (۱۲) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$X_t = \sum_{i=1}^M P(i) T(i) \quad (13)$$

اگر در بخش تدوین مناطق همگن، ایستگاهی به اشتباه در منطقه دیگری قرار گرفته باشد، به دلیل اینکه احتمال تعلق به هر منطقه در معادله (۱۳) اعمال می‌شود و در تخمین آمار ایستگاه  $x$  دخالت می‌کند، اثر ناچیزی روی تخمین دبی ایستگاه  $x$  می‌گذارد.

مرحله بعد، ایجاد یک معادله همبستگی بین متوسط دبی حداکثر سیلاب و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های واقع در هر منطقه همگن است. با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی ایستگاه با طول دوره آماری کوتاه مدت و یا حوضه فاقد آمار، و استفاده از

معادله همبستگی منطقه مربوطه، مقدار  $Q_m$  حاصل می‌شود. با توجه به احتمالات پسین متعلق به هر منطقه که برای یک ایستگاه کوتاه مدت یا محل فاقد آمار به دست می‌آید، می‌توان مشخص کرد که این ایستگاه یا محل به کدام منطقه تعلق دارد (در واقع به منطقه‌ای که بیشترین احتمال پسین را داشته باشد). آخرین مرحله، به کارگیری معادله زیر است:

$$Q_t = X_t Q_m \quad (14)$$

$X_t$  از معادله (۱۳) و  $Q_m$  از معادله همبستگی منطقه مربوطه محاسبه شده و با استفاده از معادله (۱۴)، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت مورد نظر برای ایستگاه دارای دوره آماری کوتاه مدت یا محل فاقد آمار به دست می‌آید.

## ۵- نتایج و بحث

با استفاده از تحلیل دسته‌بندی و به کارگیری متغیرهای QSP و CV مناطق همگن تدوین شد و مشخص شد که هر ایستگاه (حوضه) به کدام منطقه همگن تعلق دارد، جدول (۲).

ملاحظه می‌شود که در هر یک از مناطق ۲، ۳ و ۶ تنها یک ایستگاه قرار گرفته است و فاصله اقلیدسی این سه ایستگاه به شماره‌های ۲۱، ۷، و ۲۹ از بقیه ایستگاهها زیاد است. در واقع این ایستگاهها به عنوان مقادیر پرت منطقه‌ای محسوب می‌شود و بایستی در ادامه کار، از سری داده‌ها حذف شوند.

برای مناطق همگن موجود (۱، ۴ و ۵)، برای هر ایستگاه عامل بی‌بعد  $Q/Q_m$  به دست آمده است. سپس در هر سال مشترک، میانگین  $Q/Q_m$  بین ایستگاههای واقع در هر منطقه به دست آمد. مقادیر میانگین‌های  $Q/Q_m$  در نرم‌افزار رایانه‌ای RANKPLOT وارد شده و داده‌ها با توزیع گامبل برازش داده شده است. نتایج حاصل در جدول (۳) آورده شده است.

برای بهینه کردن تخمین دبی‌های نادر برای ایستگاههای دارای طول دوره آماری کوتاه مدت به شماره‌های ۳۰ تا ۳۴، این ایستگاهها بایستی به مناطق همگن سه گانه اختصاص یابند. چون این ایستگاهها دارای آمار دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه کافی نیستند، از خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی حوضه آبریز آنها و ایستگاههای دیگر داخل منطقه در تحلیل افتراقی استفاده شده است. سطح زهکشی حوضه، طول رودخانه اصلی، میانگین بارش سالیانه

جدول ۲- مناطق همگن تدوین یافته به روش دسته‌بندی با استفاده از متغیرهای QSP و CV

شماره ایستگاه	منطقه اختصاص یافته	شماره ایستگاه	منطقه اختصاص یافته	شماره ایستگاه	منطقه اختصاص یافته
۱	۱	۱۱	۴	۲۱	۲
۲	۴	۱۲	۴	۲۲	۱
۳	۴	۱۳	۱	۲۳	۵
۴	۴	۱۴	۴	۲۴	۴
۵	۵	۱۵	۴	۲۵	۱
۶	۵	۱۶	۴	۲۶	۱
۷	۳	۱۷	۱	۲۷	۴
۸	۱	۱۸	۴	۲۸	۴
۹	۱	۱۹	۴	۲۹	۶
۱۰	۵	۲۰	۴	-	-

جدول ۳- مقادیر  $Q_i/Q_m$  برای مناطق همگن

دوره بازگشت (سال)	۱	۴	۵
۲	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۷
۲/۳۳	۱/۰۵	۱	۰/۸۵
۵	۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۳۵
۱۰	۱/۸	۱/۷۵	۱/۸
۵۰	۲/۵	۲/۳۵	۲/۷
۱۰۰	۲/۸	۲/۶	۳/۱۵

جدول ۴- احتمال پسین تعلق ایستگاههای مورد نظر به مناطق همگن

شماره ایستگاه	۱	۴	۵
۳۰	۰/۳۳۷	۰/۶۱۵	۰/۰۴۸
۳۱	۰/۲۹۳	۰/۵۴۳	۰/۱۶۸
۳۲	۰/۴۱۲	۰/۴۴۶	۰/۱۴۲
۳۳	۰/۰۸۸	۰/۷۰۹	۰/۲۰۳
۳۴	۰/۰۰۳	۰/۹۴۳	۰/۰۵۳

در محل ایستگاه و شیب متوسط رودخانه اصلی حوضه از جمله خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی به کار رفته در این تحقیق هستند.

با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS تحلیل افتراقی انجام گرفته است [۱۷]. لازم به ذکر است که از ۲۶ ایستگاه هیدرومتری به کار



می‌شود که ایستگاه دو آب میرگ متعلق به منطقه ۴ است. خصوصیات فیزیوگرافی این ایستگاه در معادله (۱۵) قرار داده شده و مقدار  $Q_m$  برابر  $94/8$  مترمکعب در ثانیه برآورد می‌شود. این مقدار به میزان واقعی آن که  $88/71$  متر مکعب در ثانیه است، نزدیک است. اختلاف کم بین مقدار واقعی و تخمینی، دقت معادله همبستگی (۱۵) را نشان می‌دهد. برای ارزیابی مدل، خطای تخمین از معادله ذیل محاسبه شده و در جدول (۸) درج شده است.

$$E = \frac{|\hat{Q}_t - Q_t|}{Q_t} \times 100 \quad (16)$$

که در آن  $\hat{Q}_t$  مقدار تخمینی دبی حداکثر سالیانه با دوره برگشت  $t$ ،  $Q_t$  مقدار مشاهده شده دبی حداکثر سالیانه با دوره برگشت  $t$  و  $E$  خطای تخمین مدل بر حسب درصد است. اختلاف کم مقادیر واقعی و تخمینی حاصل از مدل، درستی مدل آماری به کار رفته و دقت نسبتاً خوب آن را روشن می‌سازد. البته مانند دیگر مدل‌های آماری با افزایش دوره برگشت، خطای تخمین زیاد می‌گردد، که این ناشی از کوتاه بودن دوره آماری ایستگاه‌های مورد استفاده در تحلیل منطقه‌ای نسبت به دوره برگشت مورد نظر است.

## ۶- نتیجه گیری

خطای نسبتاً کم تخمین‌های صورت گرفته توسط مدل، پتانسیل روش‌های آماری چند متغیره تحلیل افتراقی و دسته‌بندی را در برآورد منطقه‌ای سیلاب، خصوصاً برای محل‌های فاقد ایستگاه آب‌سنجی نشان می‌دهد. مبنای همگن بودن مناطق، تشابه دو مشخصه مهم هیدرولوژیک یعنی ضریب تغییرات و دبی ویژه سیل انتخاب شده است. خصوصیات آماری دیگر از قبیل ضریب چولگی سیل، میانه بارندگی سالیانه و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه می‌توانند به مجموعه متغیرها اضافه شوند و مناطق تدوین یافته جدید و اثر آن بر روی برآورد دبی‌های نادر مطالعه شود.

در این تحقیق، اهمیت متغیرهای مورد استفاده برای تدوین مناطق همگن یکسان فرض شد. ممکن است یکی از دو متغیر ضریب تغییرات یا دبی ویژه سیل از دیگری با اهمیت‌تر باشد. برحسب اهمیت هر متغیر می‌توان به صورت ضریب به آن متغیر در

رفته در تدوین سه منطقه همگن، ۲۱ ایستگاه فقط در تحلیل افتراقی مورد استفاده قرار گرفتند. علت این است که ۵ حوضه آبریز ایستگاه آب‌سنجی دارای ایستگاه باران‌سنجی نزدیک به آن نیست و بالطبع فاقد آمار میانگین بارش سالیانه‌اند. چون این پارامتر نقش تعیین کننده‌ای در تحلیل افتراقی دارد، در این قسمت از این ۵ ایستگاه صرف نظر شده است. احتمالات پسین که احتمال‌های تعلق ایستگاه‌های شماره ۳۰ تا ۳۴ (با دوره آماری کوتاه مدت) به مناطق همگن است، از نتایج اجرای برنامه رایانه‌ای SAS بوده که در جدول (۴) آورده شده است.

با استفاده از معادله (۱۳) میزان  $X_t$  یعنی پارامتر بی بعد  $Q_t/Q_m$  برای ۵ ایستگاه کوتاه مدت مورد نظر به دست می‌آید که در جدول (۵) آمده است. به علت آنکه هر ۵ ایستگاه کوتاه مدت مورد نظر در منطقه ۴ قرار می‌گیرند (احتمال پسین بیشتر)، برای ۱۴ ایستگاه واقع در منطقه ۴، بین متوسط دبی حداکثر سالیانه و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز آنها به کمک نرم‌افزار رایانه‌ای QUATRO PRO همبستگی آماری ایجاد شده و معادله زیر به دست آمد:

$$Q_m = 0.099A^{0.983}S^{0.556} \\ P = 0.01 \\ R^2 = 0.92 \quad (15)$$

که در آن  $A$  سطح زهکشی حوضه (کیلومتر مربع)،  $S$  شیب متوسط حوضه (درصد)،  $R^2$  ضریب تعیین و  $P$  سطح معنی دار بودن است. خصوصیات فیزیوگرافی  $A$  و  $S$  برای ۵ حوضه مورد نظر در معادله (۱۵) قرار گرفته و مقادیر متوسط دبی حداکثر ( $Q_m$ ) محاسبه شد. نتایج در جدول (۶) آمده است. سپس مقادیر  $Q_m$  از جدول (۶) در مقادیر  $X_t$  از جدول (۵)، طبق معادله (۱۴)، ضرب شده و  $Q_t$  برای ایستگاه‌های کوتاه مدت محاسبه شده که نتایج در جدول (۷) آمده است.

برای بررسی صحت و دقت مدل از ایستگاه هیدرومتری دو آب میرگ، جدول (۱)، با مقدار  $Q_m$  برابر  $88/71$  متر مکعب بر ثانیه که قبلاً در محاسبات به کار برده نشده است، استفاده شده است. فرض می‌شود که ایستگاه دو آب میرگ فاقد آمار است و با استفاده از روش تحلیل افتراقی احتمال تعلق این ایستگاه به مناطق همگن ۱، ۴ و ۵ به ترتیب  $0/166$ ،  $0/690$  و  $0/144$  به دست می‌آید. مشخص

جدول ۵- مقادیر نسبت  $Q_t/Q_m$  برای ایستگاههای کوتاه مدت

دوره برگشت (t)						شماره ایستگاه
۱۰۰	۵۰	۱۰	۵	۲/۳۳	۲	
۲/۶۹	۲/۴۲	۱/۷۸	۱/۴۴	۱/۰۱	۰/۹۴	۳۰
۲/۷۵	۲/۴۵	۱/۷۷	۱/۴۳	۰/۹۹	۰/۹۱	۳۱
۲/۷۶	۲/۴۶	۱/۷۸	۱/۴۲	۱	۰/۹۱	۳۲
۲/۷۳	۲/۴۳	۱/۷۶	۱/۴۳	۰/۹۸	۰/۹	۳۳
۲/۶۳	۲/۳۷	۱/۷۵	۱/۴۴	۰/۹۹	۰/۹۴	۳۴

جدول ۶- تخمین  $Q_m$  برحسب مترمکعب بر ثانیه از معادله رگرسیون منطقه ۴

$Q_m$	رودخانه	نام ایستگاه	شماره ایستگاه
۲۰/۵	آب صحنه	آبشار	۳۰
۹۷	جامیشان	میان راهان	۳۱
۲۱/۳	کرند	خسروآباد	۳۲
۱۳/۴	آب سیروان	ورگیچ	۳۳
۱۲۱۹/۷	سمیره	چم ژاب	۳۴

جدول ۷- مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره‌های برگشت مختلف ( $Q_t$ ) برحسب مترمکعب بر ثانیه

دوره برگشت (t)						شماره ایستگاه
۱۰۰	۵۰	۱۰	۵	۲/۳۳	۲	
۵۱/۱	۴۹/۶	۳۶/۵	۲۹/۶	۲۰/۷	۱۹/۲	۳۰
۲۶۶/۸	۲۳۷/۷	۱۷۱/۷	۱۳۹	۹۶	۸۸/۲	۳۱
۵۸/۷	۵۲/۳	۳۷/۷	۳۰/۵	۲۱/۲	۱۹/۴	۳۲
۳۶/۵	۳۲/۵	۲۳/۵	۱۹/۱۲	۱۳	۱۲	۳۳
۳۲/۰۷	۲۸۹۰/۴	۲۱۳۴/۴	۱۷۵۶/۳	۱۲۰۷/۵	۱۱۴۱/۶	۳۴

جدول ۸- محاسبه خطای مدل در دوره‌های برگشت مختلف برای ایستگاه دوآب میرک

دوره بازگشت (t)						
۱۰۰	۵۰	۱۰	۵	۲/۳۳	۲	
۴/۱۵	۳/۶	۲/۲۶	۱/۷۶	۰/۹۵	۰/۸۲	$Q_t/Q_m$
۳۹۹/۲	۳۱۹/۴	۲۰۰/۵	۱۵۶/۱	۸۴/۳	۷۲/۷	$Q_t$ (مترمکعب بر ثانیه)
۲/۷۱	۲/۴۲	۱/۷۶	۱/۴۴	۰/۹۹	۰/۸۵	$\hat{Q}/Q_m$
۲۵۶/۹	۲۲۹/۴	۱۶۶/۸	۱۳۶/۵	۹۳/۹	۸۰/۶	$\hat{Q}_t$ (مترمکعب بر ثانیه)
۳۵/۶	۲۸/۲	۱۷	۱۲/۶	۱۱/۴	۱۰/۸	E (درصد)

مورد فرایند سیل وجود خواهد داشت. از این رو، انجام چنین مطالعاتی برای منطقه وسیعتری از کشور می‌تواند نتایج را بهبود بخشد.

خطای تخمین روش رگرسیون مورد استفاده توسط چاوشی [۱۸] برای حوضه‌های آبریز کارون شمالی در دو ایستگاه سراب‌هنده و گذارکبک در دوره‌های برگشت ۲ تا ۱۰۰ سال مقدار ۵۶/۸۸ تا ۵۵۱/۰۱ درصد بوده است. بنابر این نتایج حاصل از روش تحلیل افتراقی، جدول (۸)، رضایتبخش است.

محاسبه فاصله اقلیدسی وزن داد و اثر آن را بر روی خطای تخمین مدل بررسی کرد.

محدودیت اطلاعات در مورد خصوصیات حوضه‌ها، کارایی روش تحلیل افتراقی را محدود می‌کند. کاربرد خصوصیات بیشتر مانند تغییرات سالیانه کمبود رطوبتی خاک ممکن است بتواند تحلیل افتراقی و تحلیل همبستگی را بهبود بخشد. نکته دیگر، تعداد ایستگاههای آب‌سنجی مورد مطالعه است. هرچه این تعداد و دوره آماری بیشتر باشد، اطلاعات بیشتری در

## واژه نامه

1. flood frequency analysis
2. regional flood frequency analysis
3. index flood method
4. residual method
5. factor analysis

6. cluster analysis
7. discriminant analysis
8. posterior probability
9. prior probability

## مراجع

۱. فرزام‌نیا، ک.، کاربرد روشهای آماری چند متغیره تحلیل منطقه‌ای سیل در حوضه رودخانه کرخه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۷.
- 2- Riggs, H. C., "Regional Analysis of Streamflow Characteristics," *Techniques of Water Resources Investigations*, Book 4, United States Geological Survey, Washington DC, Vol. 15, 1973.
3. Dalrymple, T., "Flood Frequency Analysis," *Manual of Hydrology*, Part 3, United States Geological Survey, Water Supply 1543-A, Government Printing Office, Washington DC, 1960.
4. Bhaskar, N. R., and O'Connor, C. A., "Comparison of Method of Residuals and Cluster Analysis for Flood Regionalization," *ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 115, No. 6, PP. 793-808, 1989.
5. Thomas, D. M., and Benson, M. A., "Generalization of Streamflow Characteristics from Drainage-Basin Characteristics," United States Geological Survey, Water Supply Paper 1975, United States Government Printing Office, Washington DC, 1970.
6. Choquette, A. F., "Regionalization of Peak Discharges for Streams in Kentucky," *Water Resources Investigation Report 87-4209*, United States Geological Survey, Louisville, KY, 1988.
7. White, E. L., "Factor Analysis of Drainage Basin Properties: Classification or Flood Behavior in Terms of Basin Geomorphology," *Water Resources Bulletin*, Vol. 11, No. 4, PP. 676-686, 1975.
8. Darby, W. P., McMichael, F. C., and Dunlap, R. W., "Urban Watershed Management Using Activity Indicators to Predict Water Quality," *Water Resources Research*, Vol. 12, PP. 245-252, 1976.
9. Beable, M. R., and McKerchar, A. I., "Regional Flood Estimation," Ministry of Works and Development, Wellington, New Zealand, 1981.
10. Dixon, W. J., *BMDP Biomedical Computer Program*, University of California Press, Berkeley, California, 1975.
11. Mosley, M. P., "Delimitation of New Zealand Hydrological Regions," *Journal of Hydrology*, Vol. 49, PP. 173-192, 1981.
12. Wiltshire, S. E., "Regional Flood Frequency Analysis II: Multivariate Classification of Drainage Basins in Britain," *Hydrological Science Journal*, Vol. 31, No. 3, PP. 335-346, 1986.
۱۳. موسوی، م. ح.، حکیمی لاریجانی، پ.، مطلوبی، م. و راشد، م.، اطلس منابع آب ایران، دفتر برنامه‌ریزی و مطالعات منابع آب وزارت نیرو، ۱۳۶۹.
14. Eslamian, S. S., "Regional Flood Frequency

- Analysis Using a Region of Influence Approach," Ph.D. Thesis, University of New South Wales, Sydney, Australia, 1995.
15. Burn, D. H., "Cluster Analysis as Applied to Regional Flood Frequency," *ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 115, No. 5, PP. 567-582, 1988.
16. Johnson, R. A., and Wichern, D. W., *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
17. SAS, "User's Guide", Release 6.03 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 1988.
۱۸. چاوشی بروجنی، س. و اسلامیان، س. س.، بررسی تناوب سیل در حوضه آبخیز زاینده رود طبق روش منطقه‌ای هیبرید، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سوم، شماره سوم، ص ۱ تا ۱۱، ۱۳۷۸.