Regionalizing Flood Frequency Estimation by Cluster Analysis

Eslamian, S.S., Assist. Prof., Isfahan University of Technology
Abrishamchi, A., Assoc. Prof., Sharif University of Technology
Farzamnia, K., Former M.Sc. Student, Isfahan University of Technology

Abstract

Estimation of relatively adequate flood peak discharges for required return periods is essential in designing many hydraulic structures. The flood estimation is often performed using flood frequency curves and relationships which is not always very reliable due to short record periods. For compensating this problem and estimating flood values for ungauged catchments regional flood frequency techniques are developed. In regional methods, flood records and physical characteristics of contiguous catchments contribute to the estimation or improvement of at-site extreme flow values. In traditional methods, hydrologically homogeneous regions are corresponded to geographic boundaries. Disjoint catchments may have similar hydrological characteristics. However, for overcoming the problems, cluster analysis is used for defining homogeneous regions in this research. In addition to the flood estimation regionalization, the cluster analysis is able to classify pollutant's quality for wastewater management.

منطقه‌ای کردن تخمین فراوانی سیلاب
به روش دسته‌بندی

سید سعید اسلامیان * احمد ابریشم‌چی ** کیوان فرزام‌نیا ***

چکیده

در طراحی بسیاری از سازه‌های هیدرولیک، برآورد نسبتاً دقیقی از دبی اوج سیلاب با دوره‌های برگشت مختلف ضروری است. این تخمین اغلب با استفاده از روابط و منحنی‌های فراوانی سیلاب صورت می‌گیرد و معمولاً به علت کوتاه بودن دورهٔ آماربرداری ایستگاه‌های هیدرومتری، برآوردها از دقت و قابلیت اعتماد خوبی برخوردار نیستند. برای جبران این مشکل و همچنین امکان تخمین سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار دبی از تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیلاب کمک گرفته می‌شود. در روش‌های منطقه‌ای، از آمار و اطلاعات سیلاب در دیگر ایستگاه‌های منطقه به منظور برآورد یا بهبود تخمین سیلاب محل مورد نظر استفاده می‌گردد. در روش‌های سنتی، مناطق همگن هیدرولوژیک مجاور و منطبق بر مرزهای جغرافیایی در نظر گرفته شده است. حوضه‌های غیر مجاور ممکن است دارای خصوصیات هیدرولوژیک مشابه باشند. از این رو برای رفع مشکل روش‌های قبلی، در این مقاله از روش تحلیل دسته‌بندی به منظور تدوین مناطق همگن و منطقه‌ای نمودن برآورد سیلاب استفاده گردیده است. روش دسته‌بندی علاوه بر کاربرد فوق، در دیگر علوم مهندسی از جمله طبقه‌بندی کیفیت آلاینده‌ها نقش مهمی را در مدیریت مسائل زیست محیطی ایفا می‌نماید.

مقدمه

موسلی (۱۹۸۱) از روش دسته‌بندی[1] جهت تدوین مناطق همگن در دو جزیره شمالی و جنوبی نیوزیلند استفاده نمود [۱]. متغیرهای مورد استفاده دبی ویژه و ضریب تغییرات سیل بودند. در این مطالعه اساس تحلیل دسته‌بندی بر مبنای روش‌های سلسله مراتبی قرار داشت. موسلی به این نتیجه رسید که در مناطقی مانند جزیره جنوبی نیوزیلند که یک فاکتور اصلی مثل اقلیم، در کنترل رژیم هیدرولوژیک نقش دارد، مناطق همگن هیدرولوژیک به خوبی به کمک تحلیل دسته‌بندی از هم تفکیک می‌شوند.

ویلتشایر (۱۹۸۶) روش تحلیل دسته‌بندی را با استفاده از همان متغیرها در انگلستان به کار برد [۲]. لیکن وی برای اجرای

---

* - استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
** - دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف
*** - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

1- Cluster Analysis

روش تحلیل دسته‌بندی از روش‌های غیر سلسله مراتبی استفاده نمود و با استفاده از ۳۷۶ حوضهٔ آبریز، ۱۰ منطقه همگن به دست آورد. خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مورد استفاده شامل سطح زهکش حوضه، متوسط بارش سالانه، بارش مؤثر یک روزه با دوره برگشت پنج سال، متوسط سالانه کمبود رطوبتی خاک، شیب رودخانه اصلی، نوع خاک و نسبت زهکش حوضه از طریق دریاچه بودند. ویلتشایر به این نتیجه رسید که هر چه خصوصیات فیزیوگرافی مورد استفاده بیشتر باشد، تخمین صحیح‌تری از میزان سیلاب در زیر حوضه‌های فاقد آمار را به دنبال دارد.

در اسکاتلند، باکاربرد خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها در روش تحلیل دسته‌بندی، پنج منطقه همگن تدوین گردید [۳]. در این مطالعه اکرمن وسینکلر نتیجه گرفتند که فقط یک منطقه از همگنی مناسبی برخوردار نبود و مزیت به کار بردن خصوصیات فیزیوگرافی را در تحلیل دسته‌بندی، نیاز نداشتن به آمار سیل عنوان نمودند.

روش‌های دسته‌بندی و باقیمانده‌ها[1] در ایالت کنتاکی آمریکا توسط باسکار واکانر (۱۹۸۹) مورد مقایسه قرار گرفت [۴]. آنها روش تحلیل دسته بندی را دارای بازده بیشتر و روش مناسبتری تشخیص دادند.

برن [۵] روش تحلیل دسته‌بندی را با استفاده از دو متغیر دبی ویژه و ضریب تغییرات سیل در ایالت مانیتوبای کانادا به‌کار برد و اهمیت این دو متغیر را به صورت وزن‌های مختلف در تعیین خطای معیار منظور نمود و وزن‌هایی که همگن‌ترین مناطق هیدرولوژیک را به دست می‌آورند، انتخاب کرد.

۲- تحلیل دسته‌بندی

به منظور تدوین مناطق همگن هیدرولوژیک[2]، می‌توان از یک روش چند متغیره آماری به نام تحلیل دسته‌بندی استفاده نمود. این روش بر اساس شباهت بین متغیرهای مستقل در حوضه‌های مختلف استوار است. حوضه‌هایی که برآیند این متغیرها در آنها مشابه باشد، در یک گروه یا منطقه هیدرولوژیک قرار می‌گیرند. شباهت بین حوضه‌ها، بر اساس فاصله اقلیدسی[3] بین آنهاست.

فاصله اقلیدسی با استفاده از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد [۶]:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{K} (X_{ki} - X_{kj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

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

K = تعداد متغیرهای به‌کار رفته در بررسی شباهت بین حوضه‌ها

۲-۱- استانداردکردن[4] داده‌ها

در روش تحلیل دسته‌بندی، پس از تدوین ماتریس داده‌ها، لازم است مقادیر داده‌ها اصطلاحاً استاندارد شده و سپس در معادله (۱) قرار داده شود. روش استانداردکردن به این صورت است که مقادیر هر متغیر از هر ایستگاه از میانگین آن متغیر برای تمام حوضه‌ها کم شده و بر انحراف معیار آن متغیر برای تمام حوضه‌ها تقسیم می‌گردد. با این عمل هر متغیر دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک برای کلیه ایستگاه‌ها خواهد بود [۶].

استاندارد نمودن داده‌ها به دو علت انجام می‌گیرد:

- متغیرها باید در ایجاد تشابه همکاری یکسانی داشته باشند. استاندارد نمودن داده‌ها باعث این عمل می‌شود.
- ممکن است متغیرهای انتخابی واحدهای مختلفی داشته باشند. واحدهای غیر یکسان می‌توانند تشابهات را متأثر سازند. پس از استاندارد نمودن، داده‌ها بدون بُعد شده و این اثر از بین می‌رود.

- روش‌های غیر سلسله مراتبی[5]

در این روش‌ها هر حوضه آبریز تنها در یک گروه یا منطقه

1- Residuals Method
2- Hydrologic Homogeneous Regions
3- Euclidean Distance
4- Standardization
5- Non Hierarchical Clustering Methods

همگن قرار می‌گیرد. روش‌های غیر سلسله مراتبی بیش از روش‌های دیگر در تدوین مناطق همگن در تحلیل منطقه‌ای سیلاب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها چندین نوع هستند که می‌توان از میان آنها روش‌های K میانگین[1]، فورجی[2] و جداکردنی[3] را نام برد. معروفترین آنها روش K میانگین است.

- روش K میانگین

روش K میانگین مناسب‌ترین روش از روش‌های غیر سلسله مراتبی جهت تدوین مناطق همگن در تحلیل منطقه‌ای سیلاب می‌باشد. مراحل انجام این روش به شرح ذیل خلاصه می‌گردد:

- ابتدا حوضه‌های آبریز در K منطقه تقسیم می‌شوند. مقدار K به صورت اختیاری انتخاب می‌گردد.
- هر حوضه را به منطقه‌ای که به میانگین نزدیک‌تر است اختصاص داده و سپس میانگین جدید منطقه محاسبه می‌گردد.
- مرحله قبل آنقدر تکرار شده تا این که هیچ‌گونه امکان جا به جایی حوضه‌ها نباشد.

در انتخاب K باید دقت لازم به عمل آید. اگر K کوچک باشد، امکان تشخیص گروه‌های بیشتری از دست رفته و خطای روش بالا می‌رود. به عکس، اگر K بزرگ باشد، الگوریتم طولانی خواهد شد. بنابراین در انتخاب K یک بهینه‌سازی بین دو حالت ذکر شده لازم است. بدین منظور از یک تابع هدف[4] استفاده می‌گردد که اساس آن حداقل نمودن معیار خطا[5] می‌باشد:

$$Ec = \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} (X_{jk}^{m} - X_{ok}^{m})^2 \qquad (۲)$$

که در آن:

X_{jk}^{m} = متغیر m مربوط به حوضه j در منطقه k

X_{ok}^{m} = متغیر m مربوط به میانگین حوضه‌ها در منطقه k

K = تعداد مناطق همگن

N = تعداد حوضه‌های موجود در منطقه k

M = تعداد متغیرهای مورد نظر

Ec = معیار خطا

برای روشن شدن چگونگی اجرای روش، مثال زیر ارائه شده است:

مقادیر دو متغیر X_1 و X_2 برای چهار حوضه آبریز A، B، C و D اندازه گیری شده است. جدول ۱ ماتریس داده‌های این مثال را ارائه می‌کند.

پس از استانداردکردن داده‌ها، ماتریس داده‌ها به صورت جدول ۲ تغییر می‌کند.

در این مثال به علت آن که چهار حوضه وجود دارد، برای K=۲ و K=۳ مناطق تدوین یافته در جداول ۳ و ۴ آورده شده‌اند. با استفاده از رابطه (۲) می‌توان یک مقدار بهینه برای K تعیین نمود. البته برای بهتر نشان دادن روند کار، عملیات با ماتریس داده‌های اولیه انجام گرفته است.

از محاسبات فوق چنین نتیجه می‌شود که برای K=۲، حوضه A در یک منطقه و حوضه‌های B، C و D در منطقه دیگر قرار می‌گیرند. هم‌چنین برای K=۳، حوضه‌های A و B هرکدام مستقلاً در یک منطقه ولی حوضه‌های D و C هر دو در یک منطقه جای می‌گیرند.

- روش‌های سلسله مراتبی[6]

روش‌های سلسله مراتبی بر مبنای حداقل کردن فاصله اقلیدسی بین حوضه‌ها استوار است. حوضه‌هایی که کمترین فاصله (اقلیدسی) را از هم دارند، در هم ادغام شده و یک منطقه را به وجود می‌آورند. این روش‌ها مانند شاخه‌های فرعی یک درخت عمل می‌کنند. ابتدا شاخه‌های کوچک تشکیل شده و سپس شاخه‌های بزرگتر ایجاد می‌شوند تا هنگامی که درخت کامل شود. در واقع یک نمودار درختی[7] به وجود می‌آید که از روی آن می‌توان مناطق و حوضه‌های موجود در آنها را تفسیر نمود. روش‌های سلسله مراتبی که در تحلیل دسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتنداز: روش متوسط گیری بین گروه‌ها، روش حد پایین، روش حد بالا، روش مرکزی و روش وارد[8]. در این مقاله به شرح دو روش متوسط گیری بین گروه‌ها و

1- K-means Method
2- Forgy's Method
3- Isodata Method
4- Objective Function
5- Error Criterion
6- Hierarchical Clustering Methods
7- Dendrogram
8- Ward's Method

جدول ۱- ماتریس داده‌های چهار حوضه فرضی

حوضه / متغیر	A	B	C	D
X_1	۵	-۱	۱	-۳
X_2	۳	۱	-۲	-۲

جدول ۲- ماتریس داده‌های استاندارد شده چهار حوضه فرضی

حوضه / متغیر	A	B	C	D
X_1	۱/۳۱۷	-۰/۴۳۹	۰/۱۴۶	-۱/۰۲۵
X_2	۱/۲۲۵	۰/۴۰۸	-۰/۸۱۶	-۰/۸۱۶

جدول ۳- میانگین متغیرها برای K=۲

متغیر / منطقه	X_1	X_2
۱=A	۵	۳
۲=B, C, D	-۱	-۱

جدول ۴- میانگین متغیرها برای K=۳

متغیر / منطقه	X_1	X_2
۱=A	۵	۳
۲=B	-۱	۱
۳=C, D	-۱	-۲

جدول ۵- ماتریس داده‌ها برای ۵ حوضه فرضی

حوضه / متغیر	۱	۲	۳	۴	۵
X_1	۱۰	۲۰	۳۰	۳۰	۵
X_2	۵	۲۰	۱۰	۱۵	۱۰

جدول ۶- ماتریس داده‌های استاندارد شده برای ۵ حوضه فرضی

حوضه / متغیر	۱	۲	۳	۴	۵
X_1	-۰/۷۸۹	۰/۰۸۸	۰/۹۶۵	۰/۹۶۵	-۱/۲۲۸
X_2	-۱/۲۲۸	۱/۴۰۳	-۰/۳۵۱	۰/۵۲۶	-۰/۳۵

روش واردکه کاربرد بیشتری در تحلیل هیدرولوژیک دارند، پرداخته می‌شود. روش واردکاربرد بیشتری در تعیین سیلاب طراحی دارد [۴].

- روش متوسط گیری بین گروه‌ها

در این روش برای محاسبه فاصله اقلیدسی بین گروه‌ها (مناطق) از عملیات متوسط گیری فاصله اقلیدسی بین حوضه‌ها در دوگروه (منطقه) استفاده می‌شود. ابتدا هر حوضه در یک منطقه قرار داده می‌شود و سپس با چندین ادغام سرانجام حوضه‌ها در یک منطقه قرار داده می‌شود. از ماتریس‌های تشابه[1] که در تمام مراحل تجدید می‌شوند، می‌توان نمودار درختی را ترسیم نمود. نمودار درختی نموداری است که روی محور افقی آن ایستگاه‌ها و محور عمودی آن فاصله اقلیدسی قرار دارد. برای تعیین تعداد مناطق همگن، نیاز به انتخاب یک فاصله بهینه به نام ارزش آستانه[2] است و تعیین آن نیاز به قضاوت مهندسی[3] دارد. در واقع این مقدار توازنی بین کمیت و کیفیت داده‌های مورد استفاده می‌باشد. این فاصله بر روی محور عمودی نمودار درختی در نظر گرفته شده و از آنجا خطی به موازات محور افقی ترسیم می‌گردد. تعداد تلاقی با شاخه‌های درختی، تعداد مناطق را نشان می‌دهد.

به عنوان مثال، مقادیر دو متغیر X_1 و X_2 برای پنج ایستگاه به صورت یک ماتریس داده‌ها در جدول ۵ و مقادیر استاندارد شده آن در جدول ۶ آورده شده است.

در مرحله بعد باید فاصله اقلیدس بین مقادیر متغیرها در همه حوضه‌ها (مندرج در ماتریس داده‌های استاندارد شده) را با استفاده از رابطه (۱) محاسبه نمود در این مثال رابطه (۱) به صورت ساده‌تری می‌تواند نوشته شود:

$$d_{ij} = [(X_{1i} - X_{1j}) + (X_{2i} - X_{2j})]^{0/5}$$

که در آن:

d_{ij} = فاصله اقلیدسی بین ایستگاه i و ایستگاه j

X_{1i} = مقدار متغیر اول برای ایستگاه i

X_{1j} = مقدار متغیر اول برای ایستگاه j

X_{2i} = مقدار متغیر دوم برای ایستگاه i

X_{2j} = مقدار متغیر دوم برای ایستگاه j

فاصله اقلیدسی بین هر جفت از حوضه‌ها در ماتریس جدیدی قرار داده می‌شود. برای سهولت نشان دادن محاسبات از ماتریس داده‌ها. (جدول ۵) به جای مقادیر استاندارد شده جدول ۶ استفاده شده است. این ماتریس جدید به نام ماتریس تشابه اول معروف بوده و به شکل متقارن با قطر صفر است (جدول ۷).

همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌گردد، به علت وجود تقارن طرف چپ ماتریس نوشته نشده است.

در ماتریس تشابه اول (جدول ۷) کمترین فاصله اقلیدسی مقدار ۵ است که مربوط به فاصله بین حوضه‌های ۳ و ۴ (d_{34}) است. پس این دو حوضه در هم ادغام شده و در یک منطقه قرار داده شده و فواصل بقیه حوضه‌ها از این منطقه محاسبه می‌شود. این فواصل اقلیدسی جدید ماتریس تشابه دوم را ایجاد می‌کند (جدول ۸).

همان‌گونه که در ماتریس تشابه دوم دیده می‌شود، کمترین مقدار ۷/۰۷ است (d_{15}). با ادغام این حوضه ماتریس تشابه سوم تشکیل می‌شود (جدول ۹).

همچنین با ادغام حوضه ۲ و منطقه ۳۴ (حداقل فاصله ۱۲/۷) ماتریس تشابه چهارم ایجاد می‌شود (جدول ۱۰).

نمودار درختی این مثال در شکل ۱ نشان داده شده است. مراحل چهارگانه در شکل نشان داده شده است.

- روش وارد

این روش، از روش‌های معروف دیگر سلسله مراتبی می‌باشد. ابتداکار با N-۱ منطقه (N تعداد حوضه‌ها) شروع شده و در مراحل بعدی هر دفعه یک منطقه کم شده تا در نهایت به یک منطقه ختم گردد. در هر منطقه فرضی تمام ادغام‌های ممکن انجام گرفته و در هر حالت معیار خطا (Ec) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. حالتی انتخاب می‌گردد که حداقل Ec را دارا باشد.

جداول ۱۱ تا ۱۳ مقادیر معیار خطا را برای همه حالات (ادغام‌های) ممکن به ترتیب با فرض وجود چهار، سه و

1- Similarity Matrix
2- Threshold Value
3- Engineering Judgement

جدول ۷- ماتریس تشابه اول برای پنج حوضه فرضی

	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰				
۲	۱۸	۰			
۳	۲۰/۶	۱۴/۱	۰		
۴	۲۲/۴	۱۱/۲	۵	۰	
۵	۷/۰۷	۱۸	۲۵	۲۵/۵	۰

جدول ۸- ماتریس تشابه دوم

	۱	۲	۵	۳۴
۱	۰			
۲	۱۸	۰		
۵	۷/۰۷	۱۸	۰	
۳۴	۲۱/۵۱	۱۲/۷	۲۵/۳	۰

جدول ۹- ماتریس تشابه سوم

	۲	۳۴	۱۵
۲	۰		
۳۴	۱۳/۷	۰	
۱۵	۱۸	۲۳/۴	۰

جدول ۱۰- ماتریس تشابه چهارم

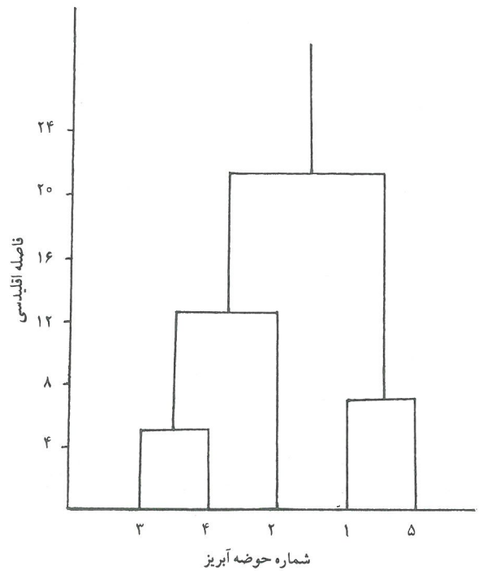
	۱۵	۲۳۴
۱۵	۰	
۲۳۴	۲۱/۶	۰

دو منطقه نشان می‌دهد. در هر جدول Ec انتخابی، حداقل مقدار را دارد که با علامت ستاره مشخص گردیده است. جدول ۱۲ پس از انتخاب ادغام بهینه در جدول ۱۱ (حداقل خطا) و جدول ۱۳ پس از انتخاب ادغام بهینه در جدول ۱۲ (حداقل خطا) تدوین شده است.

جدول ۱۴ ادغام‌های بهینه مندرج در جداول ۱۱ تا ۱۳ را آورده است. نهایتاً معیار خطا (Ec) برای وقتی که تمام حوضه‌ها در یک منطقه قرار گیرند، برابر ۶۵۰ محاسبه گردیده و در جدول ۱۴ آورده شده است. با استفاده از جدول (۱۴) نمودار درختی به روش وارد در شکل ۲ ترسیم گردیده است.

۳- کاربرد روش‌ها در تدوین مناطق همگن هیدرولوژیک

جهت انجام مطالعات کنترل سیل، طراحی بناهای آبی و



شکل ۱ : تشکیل نمودار درختی در چهار مرحله به روش متوسط گیری بین گروه‌ها

غیره نیاز به تحلیل فراوانی سیلاب می‌باشد. در ابتدا باید منطقه مورد مطالعه به مناطق کوچکتری که از لحاظ مسائل هیدرولوژیک همگن باشد، تقسیم گردد. این تقسیم‌بندی توسط روش دسته‌بندی انجام می‌گیرد.

حوضه رودخانه کرخه با نقطه خروجی سد کرخه به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است. این حوضه بین عرض‌های جغرافیایی ´۱۸ °۳۱ و ´۵۸ °۳۴ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۵۷ °۴۶ و ´۱۰ °۴۹ شرقی قرار دارد. سرچشمه رودخانه کرخه از مناطق میانی و جنوب غربی زاگرس بوده که پس از طی مسافت ۹۰۰ کیلومتر به باتلاق‌های هورالعظیم و هورالهویزه در استان خوزستان منتهی می‌شود.

حوضه آبریز رودخانه کرخه از مناطقی است که تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری آن دوره آماری کوتاه مدت داشته و بعضاً در نقاطی که نیاز به طراحی سازه‌های آبی می‌باشد، فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشد. کلیه آمار ایستگاه‌های هیدرومتری این منطقه با طول دوره آماری بیش از ۱۰ سال (۲۹ حوضه) در روش دسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پس از منطقه‌بندی نواحی همگن و استفاده از تحلیل فراوانی سیل، دبی‌های محتمل برای نقاط فاقد آمار برآورد شده یا موجب بهینه شدن تخمین‌ها در محل ایستگاه‌ها با طول دوره آماری کوتاه مدت می‌گردد.

تحلیل دسته‌بندی مبتنی بر تشابه میان دو متغیر هیدرولوژیک، دبی ویژه سیل (QSP) و ضریب تغییرات دبی اوج سالانه (Cv) برای حوضه‌های مختلف انجام پذیرفته است. روش K میانگین در حالت K=۶ تطابق زیادی با روش‌های وارد و متوسط گیری بین گروه‌ها دارد [۷]. حوضه‌های متعلق به هر یک از شش منطقه در جدول ۱۵ آورده شده است. ایستگاه‌های شماره ۲۱، ۷ و ۲۹ که تنها ایستگاه‌های متعلق به ترتیب به مناطق ۲، ۳ و ۶، به عنوان مقادیر پرت منطقه‌ای[1] به حساب آمده و از مجموعه داده‌ها حذف می‌گردد.

نتایج و بحث

برای مناطق همگن تدوین یافته (مناطق ۱، ۴ و ۵) در یک

1- Regional Outliers

جدول ۱۱- مقادیر معیار خطا برای چهار منطقه در ۱۰ حالت ممکن

منطقه / حالت	A	B	C	D	Ec
	شماره حوضه				
۱	۱۲	۳	۴	۵	۱۶۲/۵
۲	۱۳	۲	۴	۵	۲۱۲/۵
۳	۱۴	۲	۳	۵	۲۵۰
۴	۱۵	۲	۳	۴	۲۵
۵	۲۳	۱	۴	۵	۱۰۰
۶	۲۴	۱	۳	۵	۶۲/۵
۷	۲۵	۱	۳	۴	۱۶۲/۵
۸	۳۴	۱	۲	۵	۱۲/۵*
۹	۳۵	۱	۲	۴	۳۱۲/۵
۱۰	۴۵	۱	۲	۳	۳۲۵

جدول ۱۲- مقادیر معیار خطا برای سه منطقه در ۶ حالت ممکن

منطقه / حالت	A	B	C	Ec
	شماره حوضه			
۱	۳۴	۱۲	۵	۱۷۵
۲	۳۴	۱۵	۲	۳۷/۵*
۳	۳۴	۲۵	۱	۱۷۵
۴	۱۳۴	۲	۵	۳۱۶/۷
۵	۲۳۴	۱	۵	۱۱۶/۷
۶	۳۴۵	۱	۲	۴۳۳/۳

جدول ۱۳- مقادیر معیار خطا برای دو منطقه در ۳ حالت ممکن

منطقه / حالت	A	B	Ec
	شماره حوضه		
۱	۲۳۴	۱۵	۱۴۱/۷*
۲	۱۲۵	۳۴	۲۴۵/۹
۳	۱۳۴۵	۲	۵۶۸/۸

جدول ۱۴- مقادیر معیار خطای حداقل برای تعداد یک تا چهار منطقه

منطقه / حالت	A	B	C	D	Ec
	شماره حوضه				
۴	۳۴	۱	۲	۵	۱۲/۵
۳	۳۴	۱۵	۲		۳۷/۵
۲	۲۳۴	۱۵			۱۴۱/۷
۱	۱۲۳۴۵				۶۵۰

دوره مشترک آماری، عامل بی‌بُعد Q/Q_m محاسبه شده است. Q دبی اوج لحظه‌ای سالانه و Q_m متوسط دبی‌های اوج لحظه‌ای سالانه برای هر حوضه آبریز می‌باشد. در هر سال مشترک، میانگین Q/Q_m بین ایستگاه‌های واقع در هر منطقه همگن به دست می‌آید. با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری رانک‌پلات[1] داده‌های حاصل با توزیع گامبل برازش داده شده است و نتایج در جدول ۱۶ آورده شده است.

در این جدول ملاحظه می‌شود که با داشتن مقدار Q_m برای هر محل در منطقه مورد مطالعه، مقدار Q_T قابل محاسبه است. یک معادله همبستگی چند متغیره بین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها و متوسط دبی اوج سالانه ایستگاه‌های موجود در منطقه همگن می‌تواند به این امر کمک کند. به عنوان نمونه، برای چهارده حوضه واقع در منطقه ۴، بین متوسط دبی اوج سالانه و خصوصیات فیزیوگرافی آنها به کمک نرم‌افزار کامپیوتری کواترو پرو[2] همبستگی ایجاد شده و رابطه زیر به دست آمده است:

$$Q_m = ۰/۰۹۹A^{۰/۹۸۳}\ S^{۰/۵۵۶} \quad \text{و} \quad R^2=۰/۹۳ \qquad (۴)$$

Q_m = متوسط دبی‌های اوج سالانه بر حسب مترمکعب در ثانیه

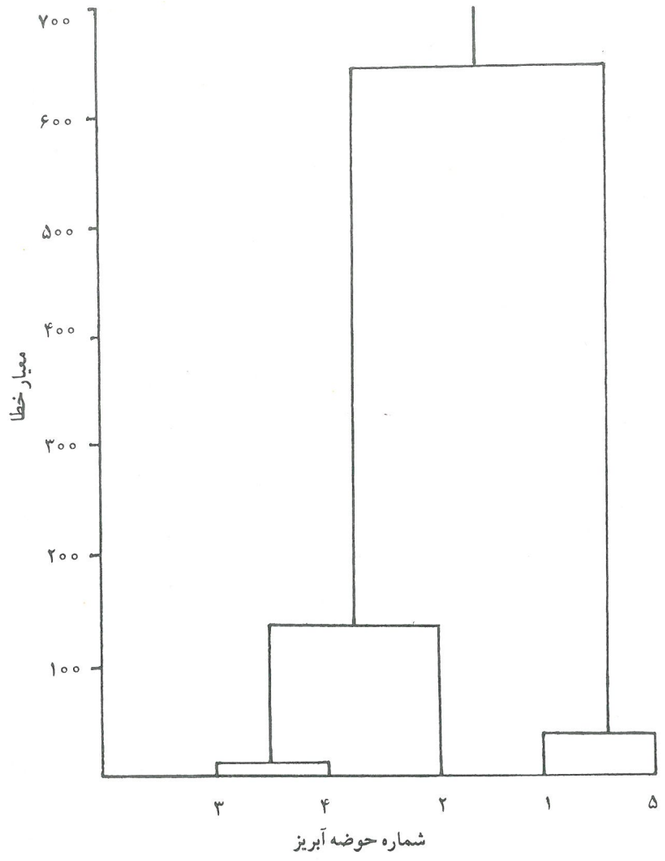
A = مساحت حوضهٔ آبریز بر حسب کیلومترمربع

S = شیب حوضه بر حسب درصد

رابطه (۴) در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

1- Rankplot

2- Quatro Pro



شکل ۲: تشکیل نمودار درختی در چهار مرحله به روش وارد

جدول ۱۵- تخصیص حوضه‌ها به مناطق همگن

ردیف	ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	منطقه همگن
۱	آران	خرم‌رود	۴۷°۵۵´	۳۴°۲۴´	۱
۲	دوآب	گاماسیاب	۴۷°۵۵´	۳۴°۲۲´	۴
۳	پل چهر	گاماسیاب	۴۷°۲۵´	۳۴°۲۰´	۴
۴	حجت‌آباد	رازآور	۴۷°۰۰´	۳۴°۲۹´	۴
۵	پل کهنه	قره سو	۴۷°۰۷´	۳۴°۲۱´	۵
۶	قور باغستان	قره سو	۴۷°۱۵´	۳۴°۱۴´	۵
۷	پل زال	آب زال	۴۸°۰۵´	۳۲°۴۸´	۳
۸	هولیلان سرچم	سیمره	۴۷°۵۵´	۳۳°۴۴´	۱
۹	هولیلان	جزمان	۴۷°۰۶´	۳۳°۴۶´	۱
۱۰	تنگ سازبن	سیمره	۴۶°۵۱´	۳۲°۳۴´	۵
۱۱	دهنو	هررود	۴۸°۴۶´	۳۳°۳۱´	۴
۱۲	کاکارضا	هررود	۴۸°۱۶´	۳۳°۴۳´	۴
۱۳	سراب سیدعلی	دوآب الشتر	۴۸°۱۲´	۳۳°۴۷´	۱
۱۴	پل کشکان	کشکان	۴۷°۵۳´	۳۳°۳۴´	۴
۱۵	چم انجیر	خرم‌آباد	۴۸°۱۵´	۲۳°۲۶´	۴
۱۶	آفرینه	کشکان	۴۷°۵۴´	۳۳°۱۹´	۴
۱۷	آفرینه	چولهول	۴۷°۵۵´	۳۳°۱۸´	۱
۱۸	پل دختر	کشکان	۴۷°۴۳´	۳۲°۰۹´	۴
۱۹	جلوگیر	کرخه	۴۷°۴۸´	۳۲°۵۸´	۴
۲۰	پای پل	کرخه	۴۸°۰۹´	۳۲°۲۵´	۴
۲۱	بیستون	دین‌آور	۴۷°۲۷´	۳۴°۲۴´	۲
۲۲	آقا جانبلاغی	شهاب	۴۸°۰۳´	۳۴°۵۰´	۱
۲۳	کله چوب	چم راوند	۴۶°۳۷´	۳۴°۰۱´	۵
۲۴	تنگ سیاب	دره دزدان	۴۷°۱۳´	۳۳°۲۴´	۴
۲۵	برآفتاب	مادیان رود	۴۷°۴۸´	۳۳°۱۹´	۱
۲۶	پل حاج علیمراد	آب ملایر	۴۸°۱۴´	۳۴°۱۹´	۱
۲۷	گوشه سعدوقاص	آب نهاوند	۴۸°۱۴´	۳۴°۱۷´	۴
۲۸	فیروزآباد	تویسرکان	۴۸°۰۷´	۳۴°۲۱´	۴
۲۹	سنگ سوراخ	سراب گاماسیاب	۴۸°۲۳´	۳۴°۰۲´	۶

جدول ۱۶- مقادیر عامل Q_T/Q_m به تفکیک مناطق همگن

دوره بازگشت	منطقه ۱	منطقه ۴	منطقه 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

با استفاده از نتایج این تحقیق، تنها با اندازه گیری دو پارامتر شیب و مساحت حوضه و استفاده از رابطه (۴) و جدول ۱۶ می‌توان به دبی‌های محتمل سیلاب برای محل‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری حوضه رودخانه کرخه که معمولاً برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی مورد نیاز است، دست یافت.

منابع و مراجع

1- Mosley, M.P.(1981). " *Delimitation of New Zealand Hydrological Regions* ". J. of Hydrol., 49,173-192.

2- Wiltshire, S.E. (1986). " *Regional Flood Frequency Analysis. II : Multivariate Classification of Drainage Basins in Britain* ". Hydrol. Sci. J, 31 (3) : 335-346.

3- Acreman, M.C. and Sinclair, C.D. (1986). " *Regional Flood Frequency Analysis from Basin Characteristics in Scotland* ". J. of Hydrol., 84, 365-380.

4- Bhaskar, N.R., and O'Connor, C.A. (1989). " *Comparison of Method of Residuals and Cluster Analysis for Flood Regionalization* ". J. of Water Resources Planning and Management, 115 (6) : 793-808.

5- Burn, D.H. (1988). " *Cluster Analysis as Applied to Regional Flood Frequency* ". J. of Water Resources Planning and Management, 115 (5) : 567-582.

6- Eslamian, S.S. (1995). " *Regional Flood Frequency Analysis Using a Region of Influence Approach* ". Ph.D Thesis, School of Civil Engineering, University of New South Wales, Australia.

۷- فرزام‌نیا، ک. (۱۳۷۷)، کاربرد روش‌های آماری چند متغیره در تحلیل منطقه‌ای سیل در حوضه رودخانه کرخه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.