

## بررسی و مقایسه روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب در منطقه البرز مرکزی

وحید پایروند<sup>۱\*</sup>، علی سلاجقه<sup>۲</sup>، محمد مهدوی<sup>۳</sup> و محمدعلی زارع چاهوکی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۶، تاریخ تصویب: ۸۸/۹/۲)

### چکیده

راهکار مناسب برای پیش‌بینی سیلاب‌ها بهره‌گیری از آمار دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری در هر منطقه می‌باشد ولی به دلیل نبود این ایستگاه‌ها و یا آمار ناقص و کوتاه مدت در بیشتر مناطق کشور می‌بایست با بهره‌گیری از روش‌هایی، نسبت به برآورد مناسب دبی سیلابی در آن مناطق اقدام نمود. یکی از این راهکارها روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب می‌باشد که در یک منطقه با بهره‌گیری از آمار دبی‌های قابل دید نقطه‌ای، روابط منطقه‌ای سیل را ارائه می‌کند. این روش این امکان را می‌دهد تا در مناطق همانند و همگن از نظر هیدرولوژیکی ولی بدون ایستگاه‌های اندازه‌گیری، دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف را با دقت مناسب برآورد نماییم. در این تحقیق سه روش تحلیل منطقه‌ای شامل سیل شاخص، رگرسیون چندمتغیره و هیبرید در ۲۰ حوزه قابل دید در منطقه البرز مرکزی پس از در نظر گرفتن فرضیه‌ها و محدودیت‌های آن بررسی شد و نتایج آن با دبی‌های سیلابی قابل دید با بهره‌گیری از آزمون مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE) و میانگین انحراف خطاها (MBE) مقایسه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد روابط برقرار شده در مناطق همگن به مراتب دارای خطای کمتری نسبت به مناطق همگن بندی نشده است. با توجه به در نظر گرفتن فرضیه‌ها و اعتبار سنجی، مدل رگرسیون چندمتغیره مناسب تشخیص داده نشد و در نهایت مشخص شد روش سیل شاخص با تفاوتی جزئی در همه دوره‌های بازگشت نسبت به روش هیبرید دارای دقت بیشتری در کل منطقه مورد بررسی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تحلیل منطقه‌ای سیلاب، سیل شاخص، رگرسیون چندمتغیره، هیبرید، البرز مرکزی

## مقدمه

تحلیل منطقه‌ای بهره‌گیری می‌شود. تجزیه فراوانی منطقه‌ای به خوبی می‌تواند نمونه مستقلی از رویدادهای نادر را فراهم سازد. مزیت روش منطقه‌ای برآوردهای معتبر و قابل اطمینان سیل‌های طرح در حوزه‌های بدون مشاهده‌های آماری است (Rahnema & Rostami, 2002).

با این ضرورت هدف‌های پیش‌بینی شده برای این تحقیق به شرح زیر است:

- بررسی و کارایی روش هیبرید به عنوان یکی از روش‌های جدید تحلیل منطقه‌ای سیلاب.
- مقایسه روش هیبرید، سیل شاخص و رگرسیون چندمتغیره برای گزینش بهترین مدل برآورد دبی سیلابی در البرز مرکزی.
- برآورد دبی‌های اوج برای منطقه مورد بررسی با بهره‌گیری از بهترین روش.

## سابقه پژوهش

Honarbaksh, 1995 با مقایسه روش‌های رگرسیون چندمتغیره و روش‌های اول و دوم سیل شاخص در حوزه آبخیز دریاچه نمک بیان میکند تنها در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله روش رگرسیون چندمتغیره از کارایی بیشتری برخوردار است - نتایج بیانگر اهمیت میانه سیلاب سالانه (سیلاب با دوره بازگشت دو سال) می‌باشد چون اگر بتوان میزان آن را دقیق تعیین نمود حتی در دوره بازگشت ۱۰۰ سال نیز روش سیل شاخص کارایی بیشتری نشان می‌دهند.

Cahvoshi Borojeni, 1998 روش منطقه بندی هیبرید را برای برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب در ۲۷ زیر حوزه سد زاینده رود در اصفهان مورد بهره‌گیری قرار داد و در نهایت نشان می‌دهد که روش یاد شده برای برآورد دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های کوتاه مدت دارای دقت بیشتری می‌باشد.

Rohani, 2001 با مقایسه نتایج سه روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب شامل رگرسیون چندمتغیره، سیل شاخص و هیبرید در ۱۸ حوزه آبخیز در شمال خراسان

رخداد سیل به دلایل طبیعی و غیر طبیعی (انسانی) موجب قربانی شدن هزاران نفر از مردم جهان در هر سال شده و زیان‌های سنگین را بر دوش ملت و دولت‌ها وارد می‌نماید (Rohani, 2001). کشور ایران با موقعیت جغرافیایی به طور عمده دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد. گستردگی کشور و توزیع ناهمگون زمانی و مکانی ریزش‌های جوی و شرایط متنوع آب و هوایی باعث شده که در بسیاری از مواقع سیلاب‌های عظیمی جریان یابد و سبب به‌وجود آمدن آسیب‌ها و زیان‌های سنگین مالی و جانی باشد. امروزه حفظ و نگهداری از منابع آبی و بهره‌برداری بهینه از آن یکی از هدف‌های پایه‌ی متخصصان امور آب می‌باشد. بررسی دبی‌های بیشینه سیل و تناوب رخداد آنها برای طرح و محاسبه سازه‌های هیدرولیکی مانند سرریز در سد‌های مخزنی و تعیین ابعاد دیواره‌های کنار رودخانه‌ها در کنترل سیلاب‌ها مهم است و از نظر اقتصادی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (Taghvai, 2002).

## ضرورت انجام تحقیق

در مناطقی که آمار و داده‌های لازم برای برآورد دبی (اوج یا میانگین) وجود ندارد، تحلیل منطقه‌ای راه مناسبی در برای رسیدن به مدل‌های مورد نظر خواهد بود. به‌طور اصولی مدل‌های منطقه‌ای برای مناطق همگن که دارای آمار هستند تهیه شده و چنانچه هدف، بررسی وضعیت منابع آبی بخشی از منطقه یادشده که بدون آمار است باشد این مدل‌ها به خوبی کارایی دارند. (Esmaili & Davari, 2002).

سامانه‌های هیدرولوژیک به‌شدت تحت تأثیر رخداد‌های حدی مانند باران‌های شدید، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها می‌باشد. اغلب در مسائل هیدرولوژی پیش می‌آید که پیش‌بینی سیل با توجه به دوره بازگشت معینی در منطقه‌ای که مشاهده‌های آماری وجود ندارد، انجام گیرد. دشواری پایه‌ی در بهره‌گیری از روش‌های آماری کمبود زمانی و مکانی مجموعه‌های سیلاب بیشینه است. برای گسترش زمانی مجموعه‌ها از روش‌های مختلف تحت عنوان

Kokkonen et al., 2003 روش‌های پیش‌بینی جریان های رودخانه‌ای را برای ۱۳ حوزه در منطقه کارولینای شمالی بررسی کردند نتایج این تحقیق نشان می‌دهد همبستگی بالای رگرسیون میان میزان پاسخ‌های دینامیکی و توصیف‌کننده‌های فیزیکی حوزه‌ها هیچ تضمینی برای ارائه پیش‌بینی مشخصه‌ها با توان بالا نمی‌باشد.

Leclerc & Ouarda, 2007 روش همبستگی منطقی و یک رگرسیونی چندمتغیره را برای تحلیل فراوانی سیلاب برای ۲۹ حوزه در جنوب شرق کانادا و شمال شرق آمریکا بکار بردند. این دو نشان دادند که بهره‌گیری از روش همبستگی منطقی برای تعیین منطقه همگن هیدرولوژیکی در منطقه مورد بررسی مناسب نبوده و دلیل آن را شمار کم حوزه‌های مورد بررسی برای بهره‌گیری در مدل رگرسیونی بیان نمودند.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت و ویژگی‌های منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی بخشی از البرز مرکزی با گستره‌ای بالغ بر ۴۰۵۰۰ کیلومتر مربع در محدوده مختصات ۰۰، ۵۰ تا ۰۶، ۵۳ درجه طول شرقی و ۱۳، ۳۵ تا ۳۴، ۳۶ درجه عرض شمالی در مرکز شمالی ایران مابین استان‌های تهران و قزوین واقع شده است. این منطقه از غرب به شرق حدود ۲۷۰ کیلومتر طول، و از شمال به جنوب حدود ۱۵۰ کیلومتر عرض دارد. مهم‌ترین شهرهای واقع در این محدوده، قزوین در شمال غربی، کرج و تهران در مرکز و فیروزکوه و گرمسار در شرق و جنوب شرقی آن است (شکل ۱).

کوچکترین حوزه به نام باغ تنگه ۱۶/۷۷ کیلومترمربع و بزرگترین حوزه شریف‌آباد بالغ بر ۶۸۵۰ کیلومترمربع گستره دارد بیشینه ارتفاع منطقه در حوزه جویستان با ۴۳۲۰ متر و کمینه آن در حوزه شریف‌آباد، ۸۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. میانگین بارش منطقه ۴۷۴/۶ میلیمتر در سال و نوسان‌های آن از ۸۰۶/۸۲ میلیمتر تا ۳۶۵/۶ میلیمتر است. کمترین دبی مربوط به رودخانه

نشان می‌دهد که در یک ایستگاه از ۳ ایستگاه مورد بررسی، تنها در دوره بازگشت بالاتر از ۵ سال روش سیل شاخص از روش هیبرید دقت بیشتری دارد.

Seif & Moji, 2002 در بخشی از جنوب کشور، نتایج سه روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب شامل رگرسیون چندگانه، سیل شاخص و هیبرید را با یکدیگر مقایسه کردند. مقایسه نتایج این سه مدل با بهره‌گیری از آزمون میانگین مربع انحراف نسبی نشان می‌دهد که روش هیبرید در دوره برگشت‌های دو تا بیست سال در مناطق مورد بررسی از دقت بیشتری برخوردار بوده است.

Abbasizadeh, 2003 روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیلاب (روش هیبرید، رگرسیون چندگانه و سیل شاخص) را در ۱۴ حوزه البرز جنوبی مقایسه نمود. نتایج نشان می‌دهد در میان روش‌های یاد شده در منطقه مورد بررسی، روش رگرسیون چندمتغیره به دلیل خطای نسبی کمتر در همه دوره‌های بازگشت، مناسب‌ترین روش نسبت به دو روش دیگر می‌باشد.

Mirzahosseini, 2007 تجزیه منطقه‌ای جریان‌های کمینه را با بهره‌گیری از دو روش رگرسیون چندمتغیره و هیبرید در منطقه مازندران انجام داد. با توجه به اینکه در منطقه یاد شده در روش رگرسیون چندمتغیره مدلی ارائه نشود ایشان نتیجه می‌گیرد که از میان دو روش بررسی شده، روش هیبرید در همه دوره‌های بازگشت از اعتبار بیشتری برخوردار است.

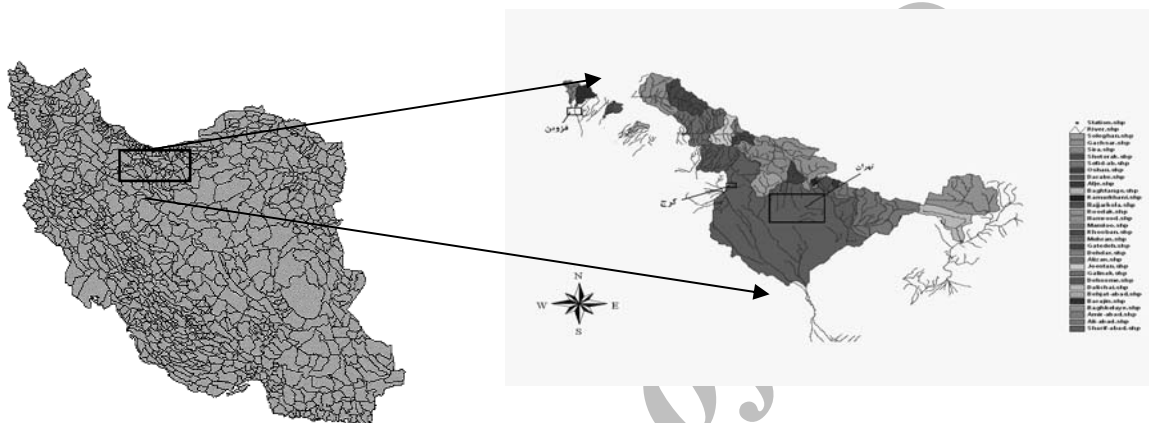
Jalmarson, 1992 نخستین بار روش هیبرید را برای نواحی خشک جنوب غربی ایالات متحده آمریکا ابداع نمود. لذا با توجه به اینکه ضریب تغییرات دبی میانگین سالیانه در این مناطق به طور عموم بیش از یک است، ترکیبی از تغییرپذیری شدید سال‌های بدون جریان و دوره آماری کوتاه مدت، برآورد روابط تناوب سیل را با بهره‌گیری از روش‌های معمول غیر ممکن می‌سازد.

Fill & Stedinger, 1998 بیان می‌کنند کاربرد یک برآوردکننده تجربی، بهتر از روش‌های رگرسیونی عادی، برای ایستگاه‌های دارای آمار کوتاه برآوردها را انجام می‌دهند.

## روش تحقیق

در این تحقیق دبی‌های سیلابی قابل دید را در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه تعیین و سپس نتایج آن با نتایج سه روش منطقه‌ای شامل سیل شاخص، رگرسیون چندمتغیره و هیبرید مورد مقایسه قرار گرفت. در اینجا به بیان مراحل انجام هر روش پرداخته می‌شود: مراحل انجام تحقیق به شرح زیر است:

نمرود با ۱۳/۱ متر مکعب بر ثانیه و بیشترین دبی مربوط به رودخانه طالقان در ایستگاه گلینک با ۱۳/۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در کشور

### مرحله سوم

با بهره‌گیری از آمار دبی‌های بیشینه لحظه‌ای سیلاب سالیانه هر ایستگاه و با بهره‌گیری از جدول توزیع فراوانی با نرم افزارهای HYFA و SMADA پس از گزینش بهترین توزیع آماری، دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف مورد نظر تعیین شد.

### مرحله چهارم

با بهره‌گیری از روش تجزیه خوشه‌ای حوزه‌های مورد بررسی بر پایه مشخصه‌ها و متغیرهای مورد نظر به گروه‌هایی همگن و همانند از لحاظ ویژگی‌ها و صفات تقسیم می‌کنیم.

### روش سیل شاخص<sup>۱</sup>

#### مرحله اول

در آغاز کلیه داده‌های دبی بیشینه لحظه‌ای حوزه‌ها جمع آوری شده و ایستگاه‌های غیر قابل اطمینان حذف شدند و سپس یک دوره مشترک آماری که بیشینه دوره آماری را شامل شود برای کلیه ایستگاه‌ها برگزیده شد.

#### مرحله دوم

بازسازی نواقص آماری که برای تکمیل آمار هر ایستگاه ناقص با بهره‌گیری از روش‌های همبستگی خطی، لگاریتمی و توانی ایستگاهی بهره‌گیری شد که بالاترین ضریب همبستگی را با ایستگاه یاد شده داشت.

۱- Index Flood Method

**مرحله پنجم**

ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی حوزه‌ها با دبی قابل دیده‌ای رگرسیون گرفته می‌شود.  
به طور کلی این روابط به صورت زیر خواهد بود:

$$Q_T = f(A^a, B^b, C^c, \dots, Z^z) \quad (1-3)$$

**فرضیه‌های رگرسیون چندمتغیره****- عادی بودن متغیر وابسته**

با بهره‌گیری از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌توان عادی بودن متغیر مورد نظر را بررسی کرد. اگر سطح معنی‌داری آن بزرگتر از ۰/۰۵ باشد متغیر مزبور دارای توزیع عادی می‌باشد.

**- هم خطی نبودن**

با بهره‌گیری از آماره  $VIF^2$  که اگر میزان آن کمتر از ۱۰ باشد، بین متغیرهای مستقل هم خطی وجود ندارد.

**- نبود داده‌های پرت**

وجود داده‌هایی غیر عادی با فاصله زیاد از میانگین کل داده‌ها.

در صورت وجود شرایط و فرضیه‌های بالا از لحاظ آماری و منطقی مجاز به انجام رابطه رگرسیونی میان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل می‌باشیم.

**روش هیبرید<sup>۳</sup>**

روش هیبرید شامل دو بخش می‌باشد:

در بخش اول حوزه‌های مورد بررسی بر پایه یکی از روش‌های آزمون همگنی به دو یا چند طبقه تقسیم میشوند. دبی‌های لحظه‌ای سالیانه در هر طبقه با بهره‌گیری از یک عامل تقریبی، استاندارد شده و با هم ترکیب میشوند تا یک گزارش مرکب طولانی مدت برای آن طبقه بدست آید. در بخش دوم عامل تقریبی استاندارد شده، طی یک

هر یک از دبی‌های بیشینه با دوره بازگشت‌های متفاوت را به دبی میانگین سیلاب ( $Q_2$ ) تقسیم نموده و آنها بدون بعد می‌شوند. سپس اعداد بدست آمده را به صورت صعودی یا نزولی مرتب و میانه اعداد بدون بعد استخراج شد.

**مرحله ششم****تعیین رابطه دبی میانگین سیل با دیگر عوامل حوزه**

در یک حوزه آبخیز، دبی میانگین سیل با عوامل مختلفی ارتباط دارد که از میان آنها مهم‌ترین عامل را گستره حوزه تشکیل می‌دهد. در این روش رابطه دبی سیلابی تنها با گستره، در نظر گرفته شد.

**مرحله هفتم**

محاسبه ویژگی‌های مورد نیاز برای رابطه دبی میانگین حوزه که در این مرحله با توجه به معادله رگرسیون مربوط به  $Q_2$ ، گستره حوزه‌ها را در فرمول قرار می‌دهیم دبی میانگین سیل حوزه‌ها  $Q_2$  بدست می‌آید.

**مرحله هشتم****محاسبه دبی‌های بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت****مورد نظر**

با بهره‌گیری از منحنی و معادله دبی‌های بی بعد ناحیه‌ای، دوره بازگشت مورد نظر را روی منحنی برده و میزان  $Q_T/Q_2$  را از منحنی بدست آورده و این میزان را در دبی میانگین محاسبه شده در مرحله هفت ضرب می‌کنیم تا دبی سیل با دوره بازگشت مورد نظر محاسبه شود.

**روش رگرسیون چندمتغیره<sup>۱</sup>**

در این روش به جای اینکه روش سیل شاخص، ویژگی‌های حوزه در برابر میانگین سیلاب رسم شود، بین

۲- Variance Inflation Factor

۳- Hybrid Method

۱- Multiple Regression Method

$j = ۱ . ۲ . ۳ \dots g$  و  $i = ۱ . ۲ . ۳ \dots f$  شماره ایستگاه‌های موجود در طبقه  $i$  و  $h = ۲ . ۳ \dots$  شماره ایستگاه‌های موجود در طبقه  $i$  و  $k = ۱$  شماره سال‌های ایستگاه  $j$  در طبقه  $i$  می‌باشد. نخستین مرحله از فرایند تکراری برای مشخصه سطح حوزه با استاندارد کردن دبی‌های اوج لحظه‌ای سالیانه آغاز می‌شود. برابر رابطه زیر با تقسیم هر دبی به سطح حوزه مربوطه، دبی‌های سالیانه استاندارد میشوند. میزان  $b$  برای تکرار اولیه معادل ۱ در نظر گرفته می‌شود:

$$S_{ijk} = \frac{Q_{ijk}}{\bar{A}_{ijk}^b} \quad (۷-۳)$$

که در آن:

$S_{ijk}$  دبی اوج استاندارد  $k$  در ایستگاه  $j$  و در طبقه  $i$ .

$Q_{ijk}$  دبی اوج سالیانه  $k$  در ایستگاه  $j$  و در طبقه  $i$ .

$\bar{A}_{ijk}$  میانگین وزنی سطح  $k$  در ایستگاه  $j$  و در طبقه  $i$  می‌باشد.

میزان  $S_{ii}$  (سیلاب با دوره بازگشت  $t$ ) در هر طبقه با برآزش منحنی‌های تناوب سیل با دبی‌های اوج استاندارد شده و یا با بهره‌گیری از یک فرمول توزیع تجربی تعیین می‌شود.

برای بدست آوردن میزان دبی اوج در دوره بازگشت  $t$  در هر طبقه می‌بایست میزان  $S_{ii}$  بدست آمده را بنا به رابطه زیر غیر استاندارد کنیم.

$$Q_{ii} = S_{ii} (\bar{A}_i)^b \quad (۸-۳)$$

که در آن:

$Q_{ii}$  دبی سیلاب با دوره بازگشت  $t$  در طبقه  $i$ .

$S_{ii}$  دبی اوج استاندارد طبقه  $i$  در دوره بازگشت  $t$ .

متغیر وابسته  $Q_{ii}$  در هر مرحله از فرایند تکراری تغییر میکند تا هنگامی که مؤلفه  $b$  به میزان ثابت برسد.

فرایند تکراری مرکب از رگرسیون و تحلیل تناوب سیل اصلاح می‌شود. در هر تکرار بر پایه هریک از مشخصه‌های برگزیده روابط تناوب سیل در هر طبقه تعیین و معادله‌های نهایی تناوب سیل منطقه در آخرین تکرار بدست می‌آید. مدل مورد بهره‌گیری در روش هیبرید به صورت زیر است.

$$Q_T = a A^b B^c C^d \dots \quad (۴-۳)$$

که در آن  $Q_T$  دبی با دوره بازگشت معین،  $a$  میزانی ثابت،  $C, B, A$  ... مشخصه‌های مستقل اقلیمی و فیزیکی مورد بهره‌گیری در حوزه و  $d, c, b$  ... مؤلفه‌های رگرسیون می‌باشند. از آنجائی که روابط تناوب سیل در هر طبقه محاسبه می‌شود دست کم ۱۰۰ ایستگاه-سال دبی لحظه‌ای سالیانه در هر طبقه مورد نیاز است تا نیاز به برون یابی با دبی ۱۰۰ ساله نباشد. بنابراین بنا به رابطه زیر بیشینه شمار طبقه‌های برگزیده منطقه بدست می‌آید:

$$j \leq \frac{N_f}{100} \quad (۵-۳)$$

که در آن  $j$  بیشینه شمار طبقه‌های و  $N_f$  مجموع شمار داده‌های ایستگاه‌های برگزیده می‌باشد. میانگین وزنی سطح حوزه در هر طبقه بنا به رابطه زیر بدست می‌آید:

(۶-۳)

$$A_i = \text{AntiLog} \left[ \frac{\sum_{i=1}^g \sum_{k=1}^h \text{Log } A_{ijk}}{gh} \right]$$

که در آن  $A_i$  میانگین وزنی سطح حوزه در طبقه  $i$  و  $A_{ijk}$  سطح حوزه برای ایستگاه  $j$  در طبقه  $i$  و در ایستگاه-سال  $k$  می‌باشد.

### تعیین همگنی در حوزه‌های مورد بررسی با بهره‌گیری از تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای یک عنوان کلی برای یک مجموعه از روش‌های ریاضی است که برای پیدا کردن همانندی بین مواد در یک مجموعه بکار می‌رود. هدف بسیاری از فعالیت‌های تحقیقاتی پی بردن به این است که کدامیک از مواد موجود در یک مجموعه همانند و یا متفاوت هستند. بدین منظور بهترین روش، بهره‌گیری از طبقه بندی است. روش‌های تجزیه خوشه‌ای عمل طبقه بندی را با بهره‌گیری از فرمول‌های ریاضی انجام می‌دهد. علاوه بر عمل طبقه‌بندی در تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) برای پی بردن به همانندی‌ها و برنامه‌ریزی و مدیریت نیز بهره‌گیری می‌شود. بنابراین میتوان گفت که تجزیه خوشه‌ای اصولی ترین روش برای برآورد همانندی‌ها بین افراد در یک مجموعه است.

### مقایسه مدل‌های ارائه شده برآورد جریان

با بهره‌گیری از روش مجذور میانگین مربع خطا<sup>۱</sup> و میانگین انحراف خطاها<sup>۲</sup> نتایج مدل‌های مورد بررسی را که به عنوان داده‌های برآوردی<sup>۳</sup> و داده‌های قابل دید<sup>۴</sup> نامیده می‌شود با یکدیگر مقایسه می‌کنیم تا مناسب‌ترین مدل و نزدیکترین مدل به داده‌های قابل دید و نیز برای انحراف آنها بدست آید.

$Q_o$ : داده‌های قابل دید

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - Q_o)^2}{n}}$$

$Q_i$ : داده‌های برآوردی

$$MBE = \frac{\sum (Q_i - Q_o)}{n}$$

۱- RMSE

۲- MBE

۳- Estimation Data

۴- Observation Data

مؤلفه جدید  $b_i$  برای دوره بازگشت مورد نظر عبارت است از:

$$(9-3)$$

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^f A_i Q_{ii} - \frac{[\sum_{i=1}^f A_i][\sum_{i=1}^f Q_{ii}]}{f}}{\sum_{i=1}^f A_i - \frac{[\sum_{i=1}^f A_i]^2}{f}}$$

مراحل بعدی فرایند با قرار دادن  $b$  بنا به این رابطه و از معادله (۷-۳) آغاز می‌شود و آن قدر این فرایند تکرار می‌شود که میزان  $b$  ثابت شود. به‌طور معمول مؤلفه  $b$  پس از یک یا دو تکرار ثابت می‌شود. به جای عامل سطح همچنین میتوان از مشخصه‌های دیگری نیز بهره‌گیری کرد. بدین ترتیب که فرایند تکراری از فرمول (۱-۳) آغاز شده و در این حالت برای تعیین مؤلفه  $C$  دیگر مشخصه‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود.

تقسیم بندی منطقه به چند ناحیه، پایه روش هیبرید می‌باشد و اصول زیر در نظر گرفته شده می‌شود:

- در روش هیبرید دست کم ۳ ناحیه همگن برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب مورد نیاز است.

- برای پرهیز از برون یابی نتایج بدست آمده در این روش با دبی ۱۰۰ ساله و به منظور افزایش دقت مدل‌های پیشنهادی دست کم ۱۰۰ ایستگاه - سال داده قابل دید در هر ناحیه مورد نظر می‌باشد.

- برای تقسیم‌بندی منطقه مورد بررسی به نواحی همگن میتوان از ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز بهره گرفت.

به منظور گزینش عوامل اصلی مؤثر بر دبی سیلاب در منطقه مورد بررسی با بهره‌گیری از تجزیه تحلیل عاملی، عوامل مؤثر در دبی‌های سیلابی را در حوزه‌ها مشخص می‌کنیم و از آنها به عنوان متغیرهای ورودی به مدل هیبرید بهره می‌گیریم.

## نتایج

## جمع‌آوری داده‌ها

در آغاز نسبت به جمع‌آوری داده‌های سیلابی کلیه ایستگاه‌های منطقه البرز مرکزی اقدام شد و مشخص شد که شمار ۲۹ ایستگاه هیدرومتری در منطقه وجود دارد که دارای آمار دبی اوج سیلاب بوده و شرایط فنی از نظر هیدرولوژی را دارا می‌باشند، یعنی پس از خروجی سد، بندهای انحرافی و مجاری تنظیم‌کننده جریان قرار ندارد (جدول ۱).

با بررسی وضعیت داده‌ها از لحاظ طول آماری و نواقص آن شمار ۹ ایستگاه، به لحاظ طول بسیار کم دوره آماری و نبود صحت و دقت مناسب در بکارگیری نتایج آنها، از فهرست اولیه ایستگاه‌های مورد بررسی حذف شد و در نهایت شمار ۲۰ ایستگاه باقی‌مانده با پایه مشترک آماری ۲۰ ساله از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۳ در ادامه روند، مورد بازسازی و تطویل آماری قرار گرفتند.

در منطقه مورد بررسی ۳ ایستگاه باغکلاویه، سیرا و رودک دارای آمار دبی سیلابی کامل بودند که به‌صورت ایستگاه‌های مینا برای بازسازی آمار حوزه‌های ناقص بهره‌گیری شدند.

## تحلیل فراوانی سیلاب قابل دید

پس از بازسازی داده‌های سیلابی ایستگاه‌های ناقص، با پایه زمانی مشترک ۲۰ ساله، با توجه به این که توزیع آماری داده‌ها در همه ایستگاه‌ها بسیار مختلف بوده و از توزیع یکسانی برخوردار نبودند با بهره‌گیری از نرم افزا Hyfa و گشتاور میانگین نسبت انحراف معیار، در آغاز توزیع آماری مناسب و واقعی‌گزینش شد و سپس بر پایه توزیع‌های آماری بدست آمده است.

اقدام به تعیین دبی‌های بیشینه لحظه‌ای حوزه‌ها بر پایه دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله شد که مبنای داده‌های قابل دید سیلاب و مقایسه با نتایج مدل‌ها قرار گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در البرز مرکزی

ردیف	نام ایستگاه	نام رودخانه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	گستره حوزه (کیلومتر مربع)	طول		عرض	
					درجه	دقیقه	درجه	دقیقه
۱	افجه	نارون	۱۹۷۰	۲۰/۲	۵۱	۰	۳۶	۱۱
۲	علی‌آباد	لوارک	۱۶۳۰	۱۰۲/۵۵	۵۱	۴۲	۳۶	۱۱
۳	علیزان	طالقان	۲۰۰۰	۴۶/۳۶	۵۰	۵۴	۳۶	۱۲
۴	امیرآباد	الولک	۱۴۳۰	۷۰/۴۳	۵۰	۱	۳۶	۱۲
۵	باغکلاویه	الموت	۱۱۸۰	۶۸۷/۹	۵۰	۲۷	۳۶	۱۱
۶	باراجین	باراجین	۱۴۲۰	۱۰۳/۲۳	۵۰	۳	۳۶	۲۲
۷	بهجت‌آباد	بهجت‌آباد	۱۴۰۰	۴۷/۵۳	۵۰	۲۳	۳۶	۲۳
۸	دلیچای	دلیچای	۱۴۸۰	۳۳۲/۷	۵۲	۰	۳۵	۵۱
۹	ده‌سومه	کردان	۱۴۰۰	۳۶۷/۸۴	۵۰	۵۰	۳۵	۱۴
۱۰	گلینک	طالقان	۱۸۰۰	۷۹۷/۱۱	۵۰	۴۴	۳۵	۵۴
۱۱	گچسر	ولایت‌رود	۲۲۶۰	۲۳۲/۸۸	۵۱	۱۹	۳۵	۵۵
۱۲	جوستان	طالقان	۲۰۰۰	۴۱۲/۸۹	۵۰	۵۴	۳۵	۵۷
۱۳	ماملو	دماوند	۱۳۰۰	۷۸۳/۲۸	۵۱	۴۸	۳۵	۵۰
۱۴	مهران	طالقان	۲۰۰۰	۹۱/۳۵	۵۰	۵۵	۳۵	۴۷
۱۵	نچارکلا	گلندوک	۱۶۰۰	۶۴/۲۸	۵۱	۳۸	۳۵	۳۶



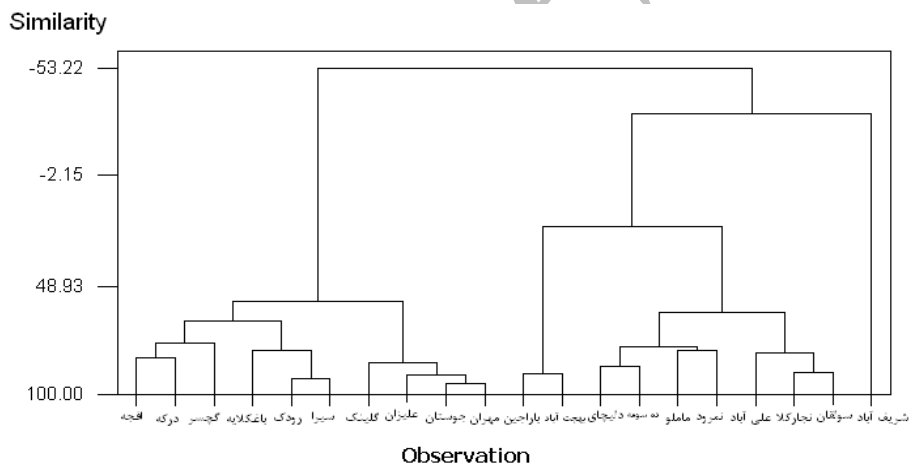
ادامه جدول ۱- ویژگی‌های ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در البرز مرکزی

ردیف	نام ایستگاه	نام رودخانه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	گستره حوزه (کیلومتر مربع)	طول		عرض	
					درجه	دقیقه	درجه	دقیقه
۱۶	نمرود	نمرود	۱۸۳۰	۷۵۳/۸۸	۵۲	۳۹	۳۶	۷
۱۷	رودک	جاجرود	۱۷۶۰	۴۳۶/۹	۵۱	۳۳	۳۶	۲۱
۱۸	شریف‌آباد	جاجرود	۸۵۰	۶۸۴۹	۵۱	۳۲	۳۶	۹
۱۹	سیرا	کرج	۱۷۸۰	۷۳۰/۲۶	۵۱	۹	۳۵	۵۴
۲۰	سولقان	کن	۱۳۹۰	۲۰۴/۲	۵۱	۱۶	۳۶	۱۶

آبراهه اصلی، مجموع طول آبراهه‌ها، اختلاف ارتفاع از عامل اول، ارتفاع میانگین وزنی، شیب میانگین وزنی از عامل دوم گزینش شد که گروه‌بندی مناطق همگن بر پایه این ۶ متغیر در حوزه‌ها انجام گرفت.

### روش سیل شاخص

برای گزینش متغیرهای با اهمیت و مؤثر بر دبی‌های سیلابی از تحلیل عاملی و ۱۷ متغیر فیزیوگرافی و اقلیمی بهره‌گیری شد. به ترتیب اهمیت متغیرهای گستره، طول



شکل ۲- نمودار خوشه‌های گروه‌بندی حوزه‌های مورد مورد بررسی

بر پایه مقایسه نتایج مدل‌ها در مناطق همگن و غیر همگن با بهره‌گیری از روش RMSE مشخص شد که میزان خطا در مناطق همگن بندی شده به مراتب کمتر بوده لذا روش سیل شاخص در مناطق همگن بندی شده مورد بررسی واقع شد. به همین ترتیب نتایج سیلاب بی بعد در منطقه همگن یک و دو به ترتیب در جداول شماره (۴-۷) و (۴-۸) ارائه شده است.

لذا گروه‌بندی ۲۰ حوزه موجود در منطقه مورد بررسی در دو گروه همگن به شرح زیر قرار می‌باشد:  
گروه همگن یک: افجه، درکه، گچسر، باغکلايه، رودک، سیرا، گلینک، علیزان، جویستان، مهران.  
گروه همگن دو: باراجین، بهجت آباد، دلچای، ده سومه، ماملو، نمرود، علی آباد، نجارکلا، سولقان، شریف‌آباد.

جدول ۲- نسبت سیلاب بی بعد منطقه همگن (۱)

ردیف	حوزه	Q5/Q2	Q10/Q2	Q25/Q2	Q50/Q2	Q100/Q2
۱	افجه	۲/۳۵	۴/۱۲	۸/۲۲	۱۳/۵۷	۲۲/۱۵
۲	علیزان	۱/۵۷	۱/۹۳	۲/۳۸	۲/۷۰	۳/۰۳
۳	باغکلايه	۲/۰۷	۳/۲۹	۵/۷۲	۸/۵۱	۱۲/۴۷
۴	درکه	۱/۷۵	۲/۳۱	۳/۰۹	۳/۷۱	۴/۳۸
۵	گچسر	۱/۵۲	۱/۹۶	۲/۶۶	۳/۳۱	۴/۰۸
۶	گلینک	۱/۳۲	۱/۴۸	۱/۶۶	۱/۷۸	۱/۸۸
۷	جوستان	۱/۶۲	۲/۱۹	۳/۱۳	۴/۰۳	۵/۱۳
۸	مهران	۱/۶۴	۲/۳۱	۳/۵۸	۴/۹۴	۶/۸۰
۹	رودک	۱/۷۲	۲/۳۴	۳/۳۰	۴/۱۷	۵/۱۹
۱۰	سیرا	۱/۵۶	۱/۹۳	۲/۴۰	۲/۷۴	۳/۰۹
	<b>Median</b>	<b>۱/۶۳</b>	<b>۲/۲۵</b>	<b>۳/۱۱</b>	<b>۳/۸۷</b>	<b>۴/۷۵</b>

جدول ۳- نسبت سیلاب بی بعد منطقه همگن (۲)

ردیف	حوزه	Q5/Q2	Q10/Q2	Q25/Q2	Q50/Q2	Q100/Q2
۱	علی آباد	۱/۳۵	۱/۶۱	۱/۹۸	۲/۲۹	۲/۶۳
۲	باراجین	۱/۸۷	۲/۵۲	۳/۴۲	۴/۱۴	۴/۹۰
۳	بهبخت آباد	۲/۳۱	۴/۰۲	۷/۹۹	۱۳/۱۹	۲۱/۵۵
۴	دلیچای	۱/۸۲	۲/۵۰	۳/۴۷	۴/۲۴	۵/۰۴
۵	ده سومه	۱/۷۴	۲/۲۴	۲/۸۷	۳/۳۳	۳/۷۹
۶	ماملو	۲/۰۸	۳/۴۶	۶/۶۳	۱۰/۷۳	۱۷/۳۱
۷	نچارکلا	۲/۳۵	۳/۵۷	۵/۴۵	۷/۰۸	۸/۸۹
۸	نمرود	۴/۵۳	۱۳/۶۳	۵۷/۶۶	۱۷۲/۰۲	۵۱۶/۲۹
۹	شریف‌آباد	۱/۵۲	۱/۸۶	۲/۳۰	۲/۶۲	۲/۹۴
۱۰	سولقان	۱/۹۹	۲/۹۱	۴/۴۴	۵/۸۹	۷/۶۴
	<b>Median</b>	<b>۱/۹۳</b>	<b>۲/۷۱</b>	<b>۳/۹۵</b>	<b>۵/۰۶</b>	<b>۶/۳۴</b>

دوره بازگشت دلخواه در منطقه همگن مورد نظر، با قرار دادن گستره حوزه در رابطه  $Q_2$  و ضرب عدد میانه دوره بازگشت یاد شده، دبی سیلابی با دوره بازگشت مورد نظر بدست می‌آید.

(۱) برای کل منطقه (غیر همگن)

$$Q_2 = 3.89(A)^{0.41} \quad R^2 = 0.59$$

سپس در این مرحله دبی‌های میانگین سیلابی بیشینه لحظه‌ای  $Q_2$  قابل دید را به عنوان  $Y$  (متغیر وابسته) و گستره حوزه‌های مورد بررسی را به عنوان  $X$  (متغیر مستقل) وارد رگرسیون می‌کنیم و پس از تشکیل معادله با قرار دادن گستره حوزه‌ها در هر منطقه همگن یا غیر همگن دبی میانگین  $Q_2$  مربوط به رابطه اصلی سیل شاخص بدست می‌آید. برای بدست آوردن دبی بیشینه لحظه‌ای با

(۲) برای منطقه همگن یک

$$Q_2 = 2.93 + 0.13(A) \quad R^2 = 0.9$$

(۳) برای منطقه همگن دو

$$Q_2 = 18.9 + 0.01(A) \quad R^2 = 0.81$$

$Q_2$ : دبی با دوره بازگشت ۲ سال (دبی میانگین سیلابی)  
(متر مکعب بر ثانیه)

A: گستره حوزه (کیلومتر مربع)

 $R^2$ : ضریب تعیین

### روش رگرسیون‌های چندمتغیره

در آغاز شرایط اولیه و فرضیه‌های رگرسیون از نظر عادی بودن متغیر وابسته، نبود هم خطی بین متغیرهای مستقل و نبود داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت.

### - عادی بودن متغیر وابسته

همه دبی‌های بیشینه لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف با بهره‌گیری از آزمون کولموگرونوف-اسمیرونوف بررسی شد و مشخص شد که در همه دوره‌های بازگشت سطح معنی‌داری بیش از ۰/۰۵ می‌باشد و لذا از توزیع عادی پیروی می‌کنند.

### - نبود هم خطی بین متغیرهای مستقل

پس از برقراری معادله رگرسیونی در بین میزان‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های ۶ گانه و با بهره‌گیری از آماره VIF مشخص شد که در همه معادله‌های رگرسیونی میزان این آماره کمتر از ۴ بوده و لذا متغیرهای مستقل در این معادله‌های دارای هم خطی نبوده و از نظر آماری اثری بر یکدیگر نمی‌گذارند.

### - نبود داده‌های پرت

با بررسی دبی‌های قابل دید در همه دوره‌های بازگشت مشاهده شد که دبی‌های با میزان بسیار زیاد نسبت به میانگین و همچنین با فاصله زیاد از غالب داده‌ها و به اصطلاح پرت در مجموعه داده‌های مورد بررسی وجود دارد. بر پایه فرضیه‌های اولیه، رابطه رگرسیونی بین دبی‌های سیلابی دیده شده در دوره بازگشت‌های مختلف به عنوان متغیر وابسته و بیش از ۲۵ متغیر فیزیوگرافی، اقلیمی و پوشش گیاهی به عنوان متغیرهای مستقل، در همه حوزه‌های محدوده منطقه مورد بررسی، و نیز بهره‌گیری از روش‌ها و فناوری‌های نیمه لگاریتمی و تمام لگاریتمی دو طرف معادله، رابطه مناسب و منطقی بدست نیامد لذا نتایج آن ارائه نشده است.

### روش هیبرید

متغیرهای اصلی مؤثر بر دبی سیلاب در منطقه مورد بررسی با بهره‌گیری از تحلیل عاملی سه متغیر سطح، مجموع طول آبراهه‌ها و ارتفاع میانگین وزنی مشخص شده و برای ورود به مدل گزینش شدند.

سپس با توجه به همبستگی بین دبی و سطح حوزه‌های آبخیز از عامل گستره به عنوان نخستین معیار برای تقسیم‌بندی منطقه به نواحی همگن بهره‌گیری شد.

از آنجائی که دست‌کم ۱۰۰ ایستگاه - سال داده قابل دید در هر ناحیه مورد نیاز بوده و با در نظر گرفتن شمار کل داده‌های قابل دید در منطقه بیشترین نواحی بنا به رابطه (۳-۵) معادل سه ناحیه می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- گروه‌بندی حوزه‌ها برپایه عامل گستره وزنی  $A_i$ 

ویژگی ناحیه	نام حوزه‌ها	دامنه گستره (کیلومتر مربع)	میانگین وزنی (کیلومتر مربع)
ناحیه ۱	افجه، درکه، کمرخانی، بهجت آباد، شترک، نجارکلا، علیزاد، اوشان، علی آباد	۲۰/۲۳ - ۱۰۲/۵۵	۴۹/۲۵
ناحیه ۲	باراجین، سولقان، گچسر، دلیچای، ده سومه، جویستان، رودک	-۴۳۶/۹۱ ۱۰۳/۲۳	۲۷۵/۵۷
ناحیه ۳	باغکلاویه، سیرا، نمرود، ماملو، گلینک، شریف‌آباد	-۶۸۴۹/۲۶ ۶۸۷/۹۱	۱۱۰۵/۷۷

با بهره‌گیری از روش‌های متداول آماری توزیع‌های مختلف آماری با نواحی مورد بررسی برازش داده شد و پس از تعیین بهترین توزیع برای هر ناحیه، دبی‌های سیلابی با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استخراج شد.

به منظور تعیین دبی بیشینه لحظه‌ای  $T$  ساله در هر ناحیه میزان  $Q$  بنا به رابطه (۳-۸) تعیین می‌شود.

با بهره‌گیری از رابطه (۳-۹) میزان وزنی  $b$  مؤلفه اول رابطه (۳-۴) برای هر ناحیه و برای بهره‌گیری در تکرار دوم رابطه (۳-۷) محاسبه شد که در (جدول ۵) نشان داده شده است.

به منظور تعیین عوامل مجهول ( $a$  و  $b$  و  $c$ ) فرایند تکراری هیبرید به صورت زیر انجام می‌شود:

هریک از مؤلفه‌های رگرسیون به صورت جداگانه بررسی و تعیین می‌شوند. در نخستین گام و به منظور تعیین مؤلفه  $b$  سطح حوزه ( $A$ ) به عنوان نخستین عامل گزینش شده و دیگر عوامل [در اینجا ( $B$ )] ثابت در نظر گرفته می‌شود. میانگین وزنی سطح در هر ناحیه بنا به رابطه (۳-۶) تعیین می‌شود. در ادامه فرایند هیبرید دبی لحظه‌ای قابل دید نواحی مورد بررسی بنا به رابطه (۳-۷) استاندارد می‌شود. (یعنی میزان دبی‌های ایستگاه - سال هر ناحیه به میانگین وزنی سطح آن ناحیه تقسیم می‌شود). بدین ترتیب در هر ناحیه یک آمار درازمدت یکنواخت برای تحلیل منطقه‌ای سیل بدست می‌آید.

جدول ۵- کل میزان‌های  $b$  بدست آمده در نواحی مورد بررسی

تکرار	دوره بازگشت					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
تکرار اول	۱	۱	۱	۱	۱	۱
تکرار ۲	۰/۰۴۸	۰/۱۰۸	۰/۱۴۶	۰/۲۲۰۸	۰/۲۷۵۴	۰/۳۳۷۱
تکرار ۳	۰/۰۶۴۶	۰/۱۳۲۱	۰/۱۷۲۳	۰/۲۱۷۶	۰/۲۴۷	۰/۲۷۲۱
تکرار ۴	۰/۰۶۵	۰/۱۳۲۱	۰/۱۷۲۳	۰/۲۱۷۶	۰/۲۴۷	۰/۲۷۲۱

تکرار می‌شود که میزان  $b$  ثابت شود. در این بررسی مؤلفه  $b$  پس از ۴ بار تکرار ثابت شد و میزان آن در جدول (۴-۱۸) ارائه شده است.

تکرار دوم فرایند هیبرید از رابطه (۳-۷) آغاز می‌شود به طوری که میزان  $b$  در این رابطه برای دوره بازگشت‌های مختلف از جدول (۴-۲۱) بدست می‌آید. فرایند بالا آن قدر

شد در نخستین گام، میانگین وزنی عامل مورد بررسی (در این مرحله طول کل آبراهه‌های حوزه) در نواحی مورد بررسی بر پایه رابطه (۳-۶) ( $SL_i$ ) تعیین می‌شود (جدول ۵).

در مرحله دوم و به منظور تعیین مؤلفه C عامل دوم در این بررسی یعنی مجموع طول آبراهه‌ها ( $SL$ ) مورد بررسی قرار می‌گیرد و دیگر عوامل (در اینجا A) ثابت در نظر گرفته می‌شود. همانند آنچه در روند تعیین مؤلفه b انجام

جدول ۵- گروه‌بندی حوزه‌ها بر پایه عامل مجموع طول کل آبراهه وزنی ( $SL_i$ ) روش هیبرید

میانگین وزنی (کیلومتر مربع)	دامنه طول کل آبراهه‌ها (کیلومتر مربع)	نام حوزه‌ها	ویژگی‌ها ناحیه
۱۷/۹۴	۴۲/۹۴ - ۴/۵۴	افجه، درکه، کمرخانی، بهجت آباد، علیزان، نجارکلا، شترک، مهران، اوشان، علی آباد	ناحیه ۱
۱۰۷/۱۹	۱۵۸/۹۳ - ۴۶/۹۶	بازاجین، سولقان، جویستان، رودک، دلیچای، گلینک	ناحیه ۲
۴۲۸/۳۲	۳۰۸۱/۵۵ - ۱۷۰/۸	ده سومه، باغکلایه، گچسر، سیرا، نمرود، ماملو، شریف‌آباد.	ناحیه ۳

C در نظر گرفته شد و میزان C در تکرار اول معادل ۱ در نظر گرفته شد.

با بهره‌گیری از رابطه (۳-۷) میزان دبی استاندارد نواحی مورد بررسی تعیین شد به طوری که به جای مؤلفه b مؤلفه

جدول ۶- کل میزان‌های C بدست آمده در نواحی مورد بررسی

دوره بازگشت تکرار	دوره بازگشت					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
تکرار اول	۱	۱	۱	۱	۱	۱
تکرار ۲	۰/۰۳۴	۰/۰۷۷۲	۰/۰۷۹۷	۰/۰۸۲۶	۰/۰۷۸۲	۰/۰۶۸۴
تکرار ۳	۰/۰۳۳۵	۰/۰۷۰۵	۰/۰۸۰۷	۰/۰۸۰۳	۰/۰۷۷۷	۰/۰۶۵۳

یک از دوره‌های بازگشت میزان توان  $d$  در چندین تکرار به عدد ثابت نرسید، مشخص می‌شود که متغیر یاد شده رابطه خطی با دبی سیلابی در منطقه مورد بررسی نداشته لذا متغیر یاد شده قادر به وارد شدن به معادله نمی‌باشد. در انتها با قرار دادن دبی‌های قابل دید حوزه‌ها در سمت چپ فرمول و میزان مشخصه حوزه‌ها در سمت راست فرمول، میزان عددی  $a$  برای همه حوزه‌ها به ازای هر دوره بازگشت بدست می‌آید که میانه آن اعداد در فرمول متناظر با همان دوره بازگشت قرار می‌گیرد. در نهایت مدل‌های

میزان‌های بالا برای تعیین میزان وزنی C بنا به رابطه (۳-۹) برای بهره‌گیری در تکرار دوم رابطه (۳-۷) مورد بهره‌گیری قرار گرفت و میزان‌های C با دوره بازگشت‌های مختلف تعیین شد (جدول ۶).

فرایند بالا آن‌قدر تکرار می‌شود تا میزان‌های C ثابت شود. در این بررسی پس از ۳ تکرار، میزان‌های C ثابت شد (جدول ۶).

به دلیل اینکه با قرار دادن متغیر ارتفاع میانگین وزنی در ادامه روند معادله هیبرید، بر پایه مراحل پیشین، در هیچ

(جدول ۷).

منطقه‌ای برآورد دبی‌های بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف بنا به روش هیبرید بدست آمد

جدول ۷- معادله‌های تعیین دبی بیشینه لحظه‌ای با روش هیبرید

دوره بازگشت	معادله هیبرید
۲	$Q_2 = 14.42 A^{0.065} SL^{0.0335}$
۵	$Q_5 = 15.92 A^{0.1321} SL^{0.0705}$
۱۰	$Q_{10} = 16.81 A^{0.1723} SL^{0.0807}$
۲۵	$Q_{25} = 22.38 A^{0.2176} SL^{0.0803}$
۵۰	$Q_{50} = 25.33 A^{0.247} SL^{0.0777}$
۱۰۰	$Q_{100} = 26.78 A^{0.2721} SL^{0.0653}$

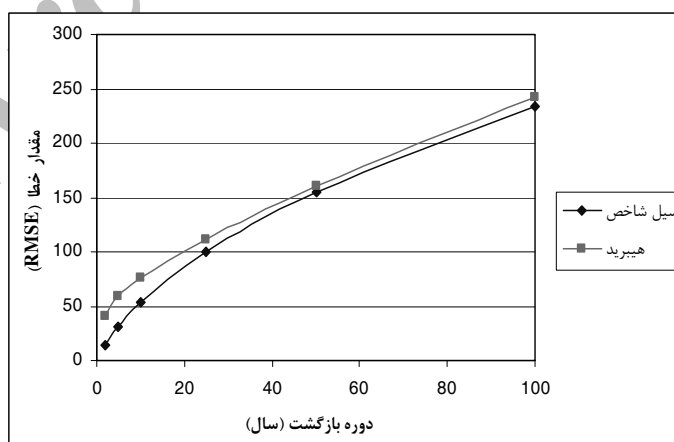
شاخص و هیبرید بایکدیگر مقایسه شد (جدول ۸) و (شکل ۳).

## مقایسه مدل‌های منطقه‌ای سیلاب

سرانجام با بهره‌گیری از روش مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE) نتایج دو مدل منطقه‌ای تحلیل سیلاب سیل

جدول ۸- نمودار مقایسه خطا در برآورد سیلاب به دو روش سیل شاخص و هیبرید در کل حوزه‌های مورد بررسی

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
مدل سیل شاخص	۱۳/۸۷	۳۰/۴۳	۵۲/۸۹	۱۰۰/۲۴	۱۵۴/۹۸	۲۳۳۴/۰۴
مدل هیبرید	۴۱/۰۴	۵۸/۵۵	۷۶/۵۶	۱۱۰/۵۷	۱۶۱/۰۵	۲۴۲/۶۲



شکل ۳- نمودار مقایسه خطا در برآورد سیلاب به دو روش سیل شاخص و هیبرید در کل حوزه‌های مورد بررسی

## بحث و نتیجه‌گیری

گستره، مجموع طول آبراهه‌ها و ارتفاع میانگین وزنی حوزه‌ها می‌شود. در این مدل در آغاز گستره را وارد مدل کرده و توان آن را برابر مراحل بیان شده بدست آورده و پس از تثبیت توان متغیر اول (گستره)، متغیر دوم (طول مجموع آبراهه‌ها) را وارد مدل کرده و همانند مرحله اول عمل کرده تا توان آن ثابت شود. ولی با وارد کردن متغیر سوم (ارتفاع میانگین وزنی) به معادله هیبرید و انجام فرایند تعیین توان، عدد توان متغیر به یک عدد ثابت نرسید. ثابت نشدن توان بیانگر نبود رابطه خطی میان آن متغیر و متغیر وابسته (دبی سیلابی) می‌باشد. لذا با توجه به نبود رابطه خطی هر متغیر با دبی سیلابی نمی‌توان آن را وارد مدل هیبرید (رگرسیون) نمود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد نتایج بدست آمده از روش رگرسیون چندمتغیره در منطقه مورد بررسی مناسب نبوده و مورد تأیید قرار نمی‌گیرد. با مقایسه دبی‌های سیلابی دو روش سیل شاخص در مناطق همگن و و روش هیبرید با میزان دبی سیلابی قابل دید در کل منطقه مورد بررسی با بهره‌گیری از آزمون مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE) و میانگین انحراف خطاها (MBE) مشخص شد که در هر دو مدل، میزان خطا با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که با تفاوتی به نسبت جزئی روش سیل شاخص در همه دوره‌های بازگشت دارای خطای کمتری نسبت به مدل هیبرید می‌باشد. قابل یادآوری است که این دقت در دور های بازگشت پایین ۲ تا ۱۰ سال محسوس تر می‌باشد. نتایج این تحقیق همخوان با نتایج بدست آمده توسط آقایان Honarbakhsh, 1995 و Fill & Stedinger, 1998 و 2002 می‌باشد.

### پیشنهادها

- رابطه میان دبی سیلابی و بارش متناظر با همان سیلاب را به صورت معادله‌های بارش-رواناب برای رگبارهای مختلف در هر منطقه بدست آورده شود.  
- عوامل دیگری به غیر از متغیرهای فیزیکی در مدل‌های منطقه‌ای سیلاب از جمله متغیرهای اقلیمی شامل

در این بررسی که در شماری از حوزه‌های منطقه البرز مرکزی انجام شد، اقدام به مقایسه دبی‌های سیلابی قابل دید با نتایج برآورد دبی‌های سیلابی از سه روش رگرسیون چندمتغیره، سیل شاخص و هیبرید شد.

در آغاز در روش رگرسیون چندمتغیره فرضیه‌های این مدل مورد بررسی قرار گرفت و با بهره‌گیری از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف (K-S) مشخص شد دبی‌های سیلابی مورد نظر در همه دوره بازگشت‌ها، عادی می‌باشد. سپس آزمون وجود هم خطی (VIF) نیز بررسی شد که بر این پایه هیچکدام از متغیرهای مستقل بر یکدیگر اثر متقابل نداشتند. با توجه به این که نبود داده‌های پرت، پیش فرض این مدل می‌باشد و این دبی‌های سیلابی با میزان‌های بالا و استثنایی مربوط به دوره بازگشت‌های بالا بوده می‌باشد، این فرض در این مدل بطور مناسب احراز نمی‌شود و دلیل رد شدن این مدل به‌طور معمول به دلیل وجود این داده‌های استثنایی و نیز شمار کم مشاهده‌ها در معادله رگرسیون (۲۰ حوزه) می‌باشد. همچنین بر پایه اغلب تحقیقات، رابطه بین پدیده‌ها و عوامل محیطی به صورت چندمتغیره غیر خطی است، از این رو با بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون خطی نمی‌توان رابطه منطقی بین پدیده‌ها برقرار کرد. همچنین در روش‌های رگرسیون غیر خطی نیز تنها امکان برقراری ارتباط بین یک متغیر وابسته و یک متغیر مستقل وجود دارد. همچنین باید اشاره شود که در روش‌های رگرسیونی خطی اول باید بین متغیرها تغییرات منظمی وجود داشته باشد ضمن اینکه شمار مشاهده‌ها نیز زیاد باشد.

این نبود برقراری رابطه رگرسیونی مناسب در روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب همچنین مورد تأیید محققان دیگری از جمله Honarbakhsh, 1995, Rohani, Mirzahosseini, 2001, Fill & Stedinger, 1998, Kokkonen et al., 2003 و Leclerc & Ouarda, 2007 می‌باشد.

در روش هیبرید که نوعی معادله رگرسیونی است، متغیرهایی که در معادله وارد میشوند به ترتیب شامل

- روش‌های جدیدتر پیش‌بینی و تحلیل منطقه‌ای سیلاب مبتنی بر بهره‌گیری از نرم افزارهای رایانه‌ای در مناطق مختلف ارزیابی شوند.

- اعلام نتایج بررسی‌های تحلیل منطقه‌ای و پهنه‌های برآورد شده سیلاب به ستاد حوادث غیر مترقبه و مراکز مرتبط در نواحی بحرانی و سیلخیز در هر منطقه.

بارش، شدت بارش و مدت بارش که بسیار مؤثر بر رخداد دبی‌های سیلابی در زیرحوزه‌ها و نواحی اقلیمی محدود می‌باشند بررسی شود.

- با توجه به نزدیکی خطای دو مدل نمی‌توان مدل هیبرید را رد کرد لذا پیشنهاد می‌شود این مقایسه‌ها در مناطق دیگر کشور نیز توسط محققان دیگری انجام گیرد.

## منابع

- Abbasizadeh, M., 2003. Regional flood analysis using hybrid method (in south Alborz). MS.c. thesis. watershed management, University of Tehran, 85-89 pp.
- Chavoshi Borojeni, S., 1998. Regionalization of maximum flood discharges in arid regions using hybrid method. MS.c. thesis. watershed management, University of Tehran, 64 pp.
- Esmaili, K., Davari, K., 2002. Estimating Models of Annual and monthly discharge in kelat Nader. 6th International River engineering Conference, Shahid chamran Ahwaz University.
- Fill, D., Stedinger, R., 1998. Using regional regression within index flood procedures and an empirical Bayesian estimator. Journal of hydrology, 210, 128-145.
- Honarbakhsh, A., 1995. Regional flood analysis in Namak lake basin, MS.c. thesis. watershed management, University of Tehran, 82-83 pp.
- Jalmarson, H.W. et al, 1992. Regional flood frequency relation for stream with many years of no flow. American society of civil engineering, New York, 483-488.
- Kokkonen, S., et al, 2003. Predicting daily flows in ungauged catchments: model regionalization from catchment descriptors at the Coweeta Hydrologic Laboratory, North Carolina. Hydrological Processes, 17, 2219-2238.
- Leclerc, M., Ouarda, T., 2007. Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged sites. Journal of hydrology 343, 254-265.
- Mirzahosseini, M., 2007. Minimum discharge regional analysis using hybrid method (case study: Mazandaran province). MS.c. thesis. Desert management, University of Tehran, 88 pp.
- Rahnama, M., Rostami, R., 2002. Frequency flood analysis using index flood in south and west rivers of Oromieh Lake. 6th International River engineering Conference, Shahid chamran Ahwaz University.
- Rohani, H., 2001. Regional flood analysis using hybrid method in arid and semi-arid region (case study: Khorasan). MS.c. thesis. watershed management, University of Tehran, 64-68 pp.
- Seif, A., Moji, R., 2002. Study of hybrid method in design floods, river projects and flood control in south of Iran. 6th International River engineering Conference, Shahid chamran Ahwaz University.
- Summarized flood report in east of Golestan province, 2001, natural resources general office of Golestan province. 15 pp.
- Taghvai Abrishami, A., 2002. Comparison of maximum flood discharges methods using different frequency in Khorasan North Rivers. 6th International River engineering Conference, Shahid chamran Ahwaz University.



## Comparison of Regional Flood Analysis Methods in Central Alborz Region

V. Payravand<sup>\*1</sup>, A. Salajegheh<sup>2</sup>, M. Mahdavi<sup>3</sup> and M. A. Zare Chahouki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> MSc. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

<sup>3</sup> Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 04 February 2009, Accepted: 23 November 2009)

### Abstract

One of the most appropriate approaches for flood forecasting is using peak discharge data of hydrometric stations in each region. However, lack of such stations or short duration of data in most parts of the country, make it necessary to use some alternative methods in order to estimate the flood discharge properly. One of these approaches is regional flood analysis method that in a region using observation discharge data in separate points, it calculates relevant regional flood models. These approaches give us possibility at a region without gauging station with similar and homogenous hydrological condition to estimate flood discharge for different return periods with acceptable accuracy. In this research three methods of regional flood analysis including index flood, multivariate regression and hybrid method were considered in 20 watersheds of central Alborz region. After taking into account, the hypothesis and limitations of each method, the results were compared with observed flood discharges using RMSE and MBE. Considering the hypothesis and validation of multiple regression model indicated it is not appropriate. Finally Index Flood method in return periods of 2, 5 and 10 years and hybrid method in return periods of 50 and 100 years proved higher accuracy in the whole region and no difference between these two methods in return period of 25 were shown.

**Keywords:** Regional flood analysis, Index flood, Multivariate regression, Hybrid method, Central Alborz