

## آنالیز منطقه‌ای سیل با استفاده از رویکرد مبتنی بر عمق داده

ابوالحسن فتح آبادی<sup>۱\*</sup>، حامد روحانی<sup>۲</sup>، سید مرتضی سیدیان<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، استان گلستان.

۲. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، استان گلستان.

۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، استان گلستان.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

### چکیده

راهکار عملی جهت برآورد دبی سیل در حوضه‌های فاقد آمار، انتقال اطلاعات از حوضه دارای ایستگاه با استفاده از روش‌های آنالیز منطقه‌ای است. تاکنون روش‌های مختلفی برای این منظور ارائه شده که نیاز است تا در هر منطقه با توجه به داده‌های در دسترس و شرایط منطقه روش مناسب تعیین گردد. در این تحقیق اقدام به برآورد سیلاب در سه دوره بازگشت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده از رویکرد مبتنی بر عمق داده در غالب رگرسیون چند متغیره وزن دار در رودخانه‌های البرز جنوبی گردید. در هر مرحله هر یک از ایستگاه‌ها به عنوان ایستگاه فاقد آمار در نظر گرفته شد و با استفاده از اطلاعات سایر ایستگاه‌ها مقادیر پارامترهای تابع وزنی توسط الگوریتم ژنتیک بهینه و در نهایت با در نظر گرفتن شباهت هر یک از حوضه‌ها با حوضه مورد نظر مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف برآورد گردید. در ادامه نتایج حاصل از رویکرد مبتنی بر عمق داده با دو روش رگرسیون چند متغیره و کریجینگ در فضای فیزیوگرافی مقایسه شد. نتایج نشان داد رویکرد مبتنی بر عمق داده از نظر تمام معیارهای ارزیابی عملکرد بهتری نسبت به دو روش رگرسیون چند متغیره و کریجینگ در فضای فیزیوگرافی داشت. همچنین روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافی بهتر از رگرسیون چند متغیره توانسته مقادیر سیل را در حوضه فاقد آمار برآورد کند. مقادیر ضریب کارایی ناش-ساتکلیف در روش مبتنی بر عمق داده برای پیش‌بینی دبی با دوره بازگشت‌های (برای دوره بازگشت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۶۵ و ۰/۶۵ بدست آمدند) مختلف تقریباً مشابه است. در این روش نسبت خطا به مساحت در حوضه کوچک بیشتر از مقادیر آن در حوضه‌های بزرگتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: عمق داده، آنالیز منطقه‌ای سیل، کریجینگ، آنالیز همبستگی کانونی

### مقدمه

در طرح‌های بهره‌برداری از منابع آب، سدسازی، کنترل سیلاب، عملیات آبخیزداری، مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف اهمیت بسزایی دارند. در اغلب موارد به دلایلی مانند هزینه احداث، کمبود نیروی متخصص، دسترسی سخت و غیره احداث ایستگاه هیدرومتری در همه زیر حوضه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ لذا به دلیل تعداد کم ایستگاه‌های اندازه‌گیری و عدم وجود آمار و اطلاعات کافی، استفاده از داده‌های ایستگاه‌های دیگر و تعمیم نتایج آنها به حوضه‌های فاقد آمار بهترین راهکار می‌باشد. در آنالیز منطقه‌ای، پارامترهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده خصوصیات فیزیکی، اقلیمی و پارامترهایی هیدرولوژیکی محاسبه شده در حوضه‌های دارای آمار برآورد می‌گردند.

در واقع تحلیل منطقه‌ای سیلاب روشی است که در یک منطقه می‌توان اطلاعات یک مجموعه ایستگاه دارای آمار را به ایستگاه‌های فاقد آمار تعمیم داد (Burn, 1990; Ouardra et al., 2000). بدین منظور روش‌های مختلفی از قبیل سیل شاخص (Stedinger and lu, 1995; Javelle et al., 2002; Saf, 2008) رگرسیون خطی، غیرخطی و ناپارامتریک (Gingras and Adamowski, 1992; Pandey and Nguyen, 1999; Grover et al., 2002) آنالیز همبستگی کانونی<sup>۱</sup> (Ouarda et al., 2001) ارائه شده‌اند. در این روش‌ها برای برآورد دبی اوج با دوره بازگشت‌های مختلف در یک حوضه فاقد داده هیدرومتری ابتدا حوضه‌هایی با رفتار هیدرولوژیکی مشابه، تشکیل منطقه همگن را می‌دهند و در گام بعد مقادیر سیلاب در داخل هر منطقه همگن برآورد می‌گردند (Grehys, 1996). در این روش،

کردند که روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی بر روش تحلیل منطقه‌ای همبستگی کانونی جهت محاسبه مقادیر دبی سیل در دوره بازگشت‌های مختلف در ۱۵۱ ایستگاه کبک کانادا ارجحیت دارد.

با توجه به نوسان تغییرات دبی‌های سیلابی در سال‌های مختلف در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تخمین مقادیر دبی در حوضه‌های فاقد آمار نسبت به مناطق مرطوب پیچیده‌تر است. از آنجا که عملکرد روش‌های مختلف جهت تخمین مقادیر دبی سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار بسته به شرایط هر منطقه متفاوت است؛ لذا ضروری است تا در هر منطقه کارایی روش‌های مختلف بررسی و روش مناسب برای هر منطقه انتخاب گردد. بدین منظور در این تحقیق کارایی روش مبتنی بر عمق داده در برخی از حوضه‌های مناطق خشک و نیمه خشک البرز جنوبی تعیین و عملکرد این روش نسبت روش‌های کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی و رگرسیون خطی ارزیابی می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق تحلیل منطقه‌ای سیل در تعدادی از ایستگاه‌های البرز جنوبی انجام شد. آمار حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه مربوط به ۵۱ ایستگاه هیدرومتری منتخب البرز جنوبی از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۰ که در بین تمام ایستگاه‌ها کمترین داده‌های مشاهده‌ای برابر با ۱۵ سال و حداکثر تعداد داده‌های مشاهده‌ای برابر با ۳۶ سال بود، گردآوری شد. داده‌ها از نظر وجود روند و همگنی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت از بین ۵۱ ایستگاه مورد بررسی، ۲۶ ایستگاه انتخاب شدند که برخی خصوصیات فیزیوگرافیکی، اقلیمی و هیدرولوژیکی آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

### روش تحقیق

در هر یک از روش‌ها در هر گام هر یک از ایستگاه‌ها به عنوان ایستگاه فاقد آمار در نظر گرفته شده و با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافیکی و اقلیمی و داده‌های حوضه دارای آمار مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف برآورد گردید.

### رگرسیون

در روش رگرسیون چند متغیره با در نظر گرفتن مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف به عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیوگرافیکی به عنوان متغیر مستقل رابطه (۱) برازش داده شد.

$$Q_T = a x_1^{B_1} x_2^{B_2} \dots x_i^{B_i} \dots x_n^{B_n} \quad (\text{رابطه ۱})$$

برآورد دبی در یک حوضه فاقد آمار توسط ایستگاه داخل هر منطقه همگن و بدون در نظر گرفتن اطلاعات سایر ایستگاه‌ها انجام می‌شود. از طرف دیگر با توجه به روش مورد استفاده، محدوده‌هایی که بر اساس آنها مناطق همگن تعریف شده‌اند تغییر می‌کند و در نتیجه احتمال قرارگیری دو حوضه مشابه در دو منطقه همگن متفاوت وجود دارد که این مسئله به عنوان تأثیر مرزها<sup>۱</sup> ذکر می‌شود (Grehye, 1996; Ouarda *et al.*, 2008; Wazneh *et al.*, 2013a). بدین منظور جهت کاهش مشکلات فوق، روش‌هایی مانند کریجینگ<sup>۲</sup> در فضای فیزیوگرافیکی (Chokmani and Ouarda, 2004) رگرسیون وزنی مبتنی بر عمق داده‌ها<sup>۳</sup> (Chebana and Ouarda, 2008; Wazneh *et al.*, 2013a) و رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی (Shu and Ouarda, 2007) ارائه شده است. در این روش‌ها جهت تخمین مقادیر سیلاب در ایستگاه‌های مختلف از اطلاعات تمام ایستگاه‌ها استفاده می‌شود. (Chebana and Ouarda, 2008) با استفاده از مفهوم عمق داده در غالب رگرسیون وزنی اقدام به تحلیل منطقه‌ای سیل در برخی ایستگاه‌های استان کبک<sup>۴</sup> کانادا کردند. در این تحقیق روش مبتنی عمق داده عملکرد بهتری نسبت به روش تحلیل همبستگی کانونی داشت. از مفهوم عمق داده در تحقیقات (Chebana and Ouarda, 2011a,b) به ترتیب برای تخمین نقاط پرت و تشخیص مقادیر حدی در نمونه‌های چند متغیره استفاده شده است. (Bardossy and Singh, 2008; Kraube and Cullmann, 2012; Kraube *et al.*, 2012) مفهوم عمق داده در بهینه‌سازی پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیکی و در تحقیقات (Wazneh *et al.*, 2013a,b) از مفهوم عمق داده در تحلیل منطقه‌ای سیل استفاده کردند. (Wazneh *et al.* (2013a) با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی جستجوی الگو<sup>۵</sup> و نلدر-مد<sup>۶</sup> اقدام به بهینه‌سازی وزن‌های تابع وزنی و مقایسه انواع توابع وزنی در رویکرد مبتنی بر عمق داده ارائه شده در تحقیق (Chokmani and Ouarda, 2008) کردند. در این تحقیق روش مبتنی بر عمق داده عملکرد بهتری نسبت به روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی، آنالیز همبستگی کانونی، کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی، شبکه عصبی مصنوعی، نوروفازی و ترکیبات مختلف شبکه عصبی با تحلیل همبستگی کانونی داشت (Chokmani and Ouarda, 2004) بیان

1. Border Effect
2. Kriging
3. Data Depth
4. Quebec
5. Pattern Search
6. Nelder-Mead

خصوصیات مورد استفاده و  $a$  مقدار ثابت ضریبی است. جهت تخمین پارامترهای مدل از داده‌ها لگاریتم گرفته و با استفاده رگرسیون چند متغیره خطی مقادیر آنها برآورد گردید.

در این رابطه  $Q_T$  مقدار سیل در دوره بازگشت مشخص،  $x_i$  امین ویژگی مورد استفاده جهت تخمین سیل،  $B_i$  امین پارامترهای رابطه که باید برآورد گردد،  $n$  تعداد کل

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی و اقلیمی حوضه‌های مورد مطالعه

| شماره ایستگاه | ایستگاه هیدرومتری    | رودخانه        | مساحت حوضه (کیلومتر مربع) | شیب متوسط (درصد) | طول حوضه (کیلومتر) | میانگین بارندگی (میلی‌متر) | ضریب گراویلیوس اصلی (کیلومتر) | طول آبراهه اصلی (کیلومتر) | شیب آبراهه اصلی (درصد) | ارتفاع متوسط (متر) |
|---------------|----------------------|----------------|---------------------------|------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| ۱             | بیانلو (یساول)       | قرل اوزن       | ۵۲۳۷                      | ۱۱/۵             | ۱۱۸/۶              | ۴۰۶                        | ۱/۵۱                          | ۱۶۶/۷                     | ۰/۲۸                   | ۱۹۶۴               |
| ۲             | سلامت‌آباد (مهرآباد) | تلوار          | ۶۲۴۳                      | ۷/۹              | ۸۴/۹               | ۳۹۱                        | ۱/۳۷                          | ۱۰۴/۲                     | ۰/۲۸                   | ۱۹۱۹               |
| ۳             | گلینک (شاهرود)       | شاهرود         | ۸۲۸                       | ۴۱/۲۳            | ۴۱/۷               | ۵۳۲                        | ۱/۳۹                          | ۴۷/۹                      | ۲/۱۳                   | ۲۷۳۳               |
| ۴             | باغکلايه             | الموت          | ۶۴۸                       | ۴۴/۳             | ۳۵/۲               | ۳۷۵                        | ۱/۲۹                          | ۴۰/۷                      | ۳/۹۶                   | ۲۴۹۳               |
| ۵             | لوشان                | شاهرود         | ۴۸۸۵                      | ۳۵/۷             | ۱۶۰/۵              | ۳۸۷                        | ۲/۰۴                          | ۲۱۱/۹                     | ۰/۹۵                   | ۱۹۱۷               |
| ۶             | سیاه دشت             | الموت          | ۲۳۳۶                      | ۴۰/۱۵            | ۸۹/۸               | ۴۶۳                        | ۱/۳۹                          | ۱۱۳/۲                     | ۱/۴۱                   | ۲۳۸۴               |
| ۷             | پل دوآب              | شراء           | ۲۷۲۱                      | ۱۳               | ۸۸/۱               | ۳۴۳                        | ۱/۸۶                          | ۱۱۵                       | ۰/۳۵                   | ۲۱۵۰               |
| ۸             | یالفان               | آبشینه         | ۱۶۵                       | ۲۲               | ۱۷                 | ۴۱۸                        | ۱/۲                           | ۲۲/۵                      | ۳                      | ۲۴۹۰               |
| ۹             | محل تقسیم آب         | عباس آباد      | ۳۱                        | ۱۷               | ۷/۵                | ۴۴۲                        | ۱/۲۶                          | ۱۰/۱                      | ۷/۸۲                   | ۲۶۵۷               |
| ۱۰            | رازین                | مزلقان         | ۱۶۵۵                      | ۱۱/۹             | ۶۸/۵               | ۳۷۶                        | ۱/۲۹                          | ۷۵                        | ۱/۰۵                   | ۱۹۵۱               |
| ۱۱            | پل اروان             | اروان          | ۹۶                        | ۴۱/۵             | ۱۱/۲               | ۴۲۵                        | ۱/۰۷                          | ۱۲/۵                      | ۴/۶۵                   | ۲۱۶۲               |
| ۱۲            | دریبد (فشند)         | فشند           | ۳۴                        | ۲۹/۴             | ۷/۲۵               | ۴۵۶                        | ۱/۰۸                          | ۷/۵                       | ۱۰/۶                   | ۲۳۴۲               |
| ۱۳            | ده صومعه (کردان)     | کردان          | ۳۶۰                       | ۲۰/۵             | ۲۶/۳               | ۵۰۰                        | ۱/۱۴                          | ۳۵                        | ۳/۳۸                   | ۲۱۸۴               |
| ۱۴            | سیرا (کرج)           | کرج            | ۷۱۷                       | ۳۶/۷             | ۴۰                 | ۷۱۰                        | ۱/۳۷                          | ۵۳/۷                      | ۲/۳۱                   | ۲۸۵۹               |
| ۱۵            | سولقان               | کن             | ۱۹۶                       | ۴۴               | ۱۹/۵               | ۵۳۵                        | ۱/۳                           | ۲۰                        | ۵/۲۵                   | ۲۴۴۰               |
| ۱۶            | رودک                 | جاجرود         | ۴۲۱                       | ۳۹/۸             | ۲۳/۵               | ۶۷۷                        | ۱/۰۶                          | ۲۷                        | ۳                      | ۲۷۵۸               |
| ۱۷            | هفت حوض (درکه)       | درکه           | ۲۵                        | ۶۰               | ۹/۵                | ۴۹۲                        | ۱/۴                           | ۷/۵                       | ۱۴/۲                   | ۲۸۰۳               |
| ۱۸            | نچارکلا              | کندرود- گلندوک | ۵۹                        | ۴۴/۵             | ۱۳                 | ۵۴۴                        | ۱/۱۷                          | ۱۳/۲                      | ۵/۷۵                   | ۲۴۲۵               |
| ۱۹            | نارون                | افجه           | ۳۵                        | ۴۵/۸             | ۸/۷                | ۵۶۲                        | ۱/۱۶                          | ۹/۳                       | ۸/۱۵                   | ۳۷۳۰               |
| ۲۰            | گچسر                 | گاجره          | ۲۰۷                       | ۴۴/۸             | ۲۳/۸               | ۷۵۰                        | ۱/۲۶                          | ۲۸/۵                      | ۶                      | ۳۱۰۰               |
| ۲۱            | سیرا (کلوان)         | کلوان          | ۸۰                        | ۳۱               | ۱۲/۵               | ۵۶۵                        | ۱/۱۲                          | ۱۴                        | ۹/۲۳                   | ۲۷۷۲               |
| ۲۲            | پل خواب (نشتارود)    | نشتارود        | ۲۸                        | ۲۹/۲             | ۷/۵                | ۵۱۹                        | ۱/۱۷                          | ۵/۳                       | ۸/۷۶                   | ۲۴۲۵               |
| ۲۳            | فیروزکوه             | فیروزکوه       | ۵۷۰                       | ۲۲/۷             | ۳۳/۸               | ۳۹۶                        | ۱/۵۵                          | ۳۹/۷                      | ۳                      | ۲۷۴۴               |
| ۲۴            | نمرود (نمرود)        | نمرود          | ۵۶۷                       | ۳۹               | ۳۶/۳               | ۴۴۴                        | ۱/۵۸                          | ۳۱/۸                      | ۴/۳                    | ۲۷۷۶               |
| ۲۵            | سیمین دشت (حبله‌رود) | حبله رود       | ۲۰۶۴                      | ۳۰/۷             | ۶۵                 | ۳۷۲                        | ۱/۶۹                          | ۹۰                        | ۱/۸۸                   | ۲۵۴۲               |
| ۲۶            | سیمین دشت (دلیچای)   | دلیچای         | ۳۴۴                       | ۴۴               | ۳۵                 | ۳۶۹                        | ۱/۵۷                          | ۵۱/۷                      | ۳/۷                    | ۲۳۹۰               |

### کریجینگ

روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافی بر درون‌یابی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی به جای فضای جغرافیایی معمول تأکید دارد. در حالتی که در کریجینگ معمولی برای هر ایستگاه مختصات موقعیت مکانی آن در نظر گرفته می‌شود و درون‌یابی و مدل‌سازی بر اساس این موقعیت مکانی صورت می‌گیرد در کریجینگ در فضای فیزیوگرافی به جای موقعیت مکانی هر ایستگاه مؤلفه‌های اول و دوم بدست آمده از آنالیز

همبستگی کانونی برای آن ایستگاه در نظر گرفته می‌شود (و به عنوان مختصات  $x$  و  $y$  آن در نظر گرفته می‌شود) و میان‌یابی متغیرهای هیدرولوژیکی بر اساس این موقعیت فیزیوگرافیکی صورت می‌گیرد. در روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی پس از نرمال‌سازی داده‌ها، مؤلفه‌ها اول و دوم آنالیز همبستگی کانونی (در این حالت متغیرهای فیزیوگرافیکی و اقلیمی به عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف به عنوان متغیر وابسته قرار داده شدند) محاسبه می‌گردد. سپس

بیشترین عمق و حوضه‌ای که کمترین شباهت را با حوضه‌های دیگر دارد کمترین عمق نسبت داده می‌شود. چنانچه داده‌های یک متغیره باشند مانند مقادیر مساحت در حوضه‌های مختلف، حوضه‌ای که مقدار مساحت آن میانه سایر حوضه‌ها باشد بیشتری عمق را دارا می‌باشد.

در منابع مختلف توابع عمق مختلف مثل تابع توکی، ماهالانوبیس<sup>۱</sup>، عمق  $L^2$ ، و غیره ارائه شده است. در این تحقیق تابع ماهالانوبیس برای محاسبه عمق داده‌ها استفاده شد. در واقع این روش بر اساس فاصله ماهالانوبیس پایه‌گذاری شده است. فاصله ماهالانوبیس بر اساس میانگین و ماتریس کواریانس متغیرها بنا گذاشته شده است. برای یک تابع تجمعی مشخص  $F$  روی  $\mathcal{R}^d$ ، عمق ماهالانوبیس (MHD) نقطه  $x$  بصورت رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$MHD(x; F) = (1 + d_{\Sigma}^2(x, \eta))^{-1} \quad x \text{ in } \mathcal{R}^d \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این رابطه  $\eta$  میانگین،  $\Sigma$  ماتریس کواریانس و  $x$  خصوصیات ایستگاه مورد مطالعه، هستند (Cunderlik and Burn, 2006; Wazneh et al., 2013a).

#### رگرسیون چند متغیره وزنی:

یکی از روش‌های متداول جهت تخمین مقادیر سیل در دوره بازگشت مختلف، رگرسیون چند متغیره وزن دار است. این مدل ساده و سریع است و فرض داشتن توزیع یکسان در تمام ایستگاه‌ها نیاز نیست (Ouarda et al., 2001). فرض می‌شود که QT مقدار دبی در دوره بازگشت مشخص است. همچنین فرض می‌شود که رابطه بین QT به‌عنوان متغیر هیدرولوژیکی و متغیرهای اقلیمی و خصوصیات حوضه ( $A_1, A_2, \dots, A_r$ ) دارای فرم توانی به شکل رابطه (۱) است.

چنانچه  $s$  تعداد دوره بازگشت‌های مورد بررسی و  $N$  تعداد کل ایستگاه‌های مورد بررسی باشند در این حالت یک ماتریسی از متغیرهای هیدرولوژیکی به شکل  $Y = (QT_1, QT_2, \dots, QT_s)$  با ابعاد  $N \times s$  وجود دارد که با لگاریتم گیری از رابطه (۱) داریم:

$$\text{Log } Y = (\text{log } X)B + \varepsilon \quad (\text{رابطه ۸})$$

در اینجا  $\text{log } X = (1, \text{log } A_1, \text{log } A_2, \dots, \text{log } A_r)$  یک ماتریس  $N \times (r+1)$  است که از  $r$  متغیر فیزیکی و اقلیمی تشکیل شده است،  $B$  ماتریس  $(r+1) \times s$  پارامترها و  $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_s)$  یک ماتریس  $N \times s$  باقیمانده‌ها با میانگین صفر و ماتریس واریانس کواریانس به صورت رابطه (۹) است.

در فضای فیزیوگرافیکی ساخته شده از مؤلفه‌های اول و دوم همبستگی کانونی برای هر دوره بازگشت سیل، مدل‌های مختلف نیم تغییر نما برازش داده شده و بهترین مدل نیم تغییر نما که به داده‌های مشاهداتی برازش بهتری داشت انتخاب می‌شود. در این تحقیق مدل‌های نیم تغییر نما گوسی (رابطه (۲))، توانی (رابطه (۳))، خطی (رابطه (۴)) و بیضوی (رابطه (۵)) مورد بررسی قرار گرفت.

$$\gamma(h) = C \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right) \right\} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\gamma(h) = C \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right\} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\gamma(h) = \theta h \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left\{ 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right\} & \text{if } h \leq a \\ C & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این روابط،  $C$  سیل،  $a$  دامنه،  $h$  فاصله بین نمونه‌ها و  $\theta$  شیب خط هستند.

پس از تعیین بهترین نیم تغییر نما مقادیر دبی در حوضه فاقد آمار به عنوان متوسط وزنی سایر ایستگاه‌ها با استفاده از وزن‌های بدست آمده توسط کریجینگ معمولی رابطه (۶) برآورد گردید.

$$\begin{cases} Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این رابطه  $Z$  مقدار دبی در دوره بازگشت‌های مختلف،  $Z^*(x_0)$  مقدار برآورد شده در نقطه  $x_0$ ،  $Z(x_i)$  مقدار دبی در  $n$  ایستگاه دارای آمار و  $w_i$  وزن مربوط به ایستگاه  $i$  هستند.

#### عمق داده

در حالتی که داده‌های مشاهداتی یک متغیره باشند به راحتی می‌توان داده‌ها را رتبه‌بندی کرد، در صورتیکه با افزایش بعد داده‌ها رتبه‌بندی داده‌ها با روش‌های معمول امکان‌پذیر نیست. لذا برای حل این مشکل مفهوم عمق داده برای رتبه‌بندی چند متغیره توسط (Tukey, 1974) معرفی شد که در علوم مختلف بکار برده شده است، و در علوم آب توسط (Chebana and Ouarda, 2008) معرفی شد.

$$(N-1) \times (N-1)$$

در واقع در عمق داده چنانچه  $n$  مجموعه داده چند متغیره وجود داشته باشد به هر داده یک عمقی نسبت داده می‌شود که این عمق متناسب با مرکزیت آن نقطه نسبت به نقاط اطراف آن است. به عنوان مثال فرض می‌شود در یک منطقه  $n$  حوضه وجود داشته و در هر یک از این حوضه‌ها  $d$  پارامتر فیزیوگرافیکی اندازه‌گیری شده است. با استفاده از عمق داده به هر حوضه یک عددی نسبت داده می‌شود به طوری که به حوضه‌ای که خصوصیات آن بیشتر شبیه سایر حوضه‌ها است

(رابطه ۱۳)

$$(D_{k,(i,l)}) = \text{MHD}_{(\hat{\Gamma}_{k-1,l})}(\log Y_i, (\log \hat{Y}_{k-1,l}))$$

در تکرار  $k$  ماتریس وزن‌ها (ماتریس  $\Omega$  رابطه‌های ۱۰ و ۱۱) با اعمال تابع وزن لجستیک به عمق‌های محاسبه شده در این تکرار حساب می‌شود. پارامترهای رگرسیون چند متغیره در تکرار  $k$  ام به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\hat{B}_{k,l} = \left( (\log X^{(-l)})' (\Omega_{k,l}) (\log X^{(-l)}) \right)^{-1} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$(\log X^{(-l)})' (\Omega_{k,l}) \log Y^{(-l)}$$

$$\hat{\Gamma}_{k,l} = \left( \log Y^{(-l)} - (\log X^{(-l)}) (\hat{B}_{k,l}) \right) \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

$$\left( \log Y^{(-l)} - (\log X^{(-l)}) (\hat{B}_{k,l}) \right)$$

که در اینجا  $\Omega_{k,l}$  ماتریس قطری وزن‌ها برای حوضه ۱ در تکرار  $K$  با درایه‌های  $\varphi[(D_{k,(1,l)})], \dots, \varphi[(D_{k,(N-1,l)})]$  است. در نهایت مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه ۱ در تکرار  $K$  برابر است با

$$\left( \hat{Y}_{k,l} \right) = \exp \left[ (\log X_l) (\hat{B}_{k,l}) \right] \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

بعد از محاسبه  $(\hat{Y}_l), l = 1, \dots, N$  در گام یک و دو، در گام سوم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی (که در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک در محیط متلب (۲۰۰۹) استفاده شد) و در نظر گرفتن معیار جمع مربعات خطا مقدار  $\varphi_{\text{Optimal}}$  محاسبه می‌گردد که  $\varphi_{\text{Optimal}}$  مقادیر بهینه ضرایب تابع وزن است. در شکل (۱) فلوجارت مراحل کار آورده شده است (Wazneh et al., 2013a).

به منظور یافتن وزن بهینه  $\varphi_{\text{Optimal}}$  در تحلیل منطقه‌ای سیلاب با روش عمق داده، از تابع وزن لجستیک استفاده گردید که این تابع توسط (Verhulst, 1938) برای مطالعه رشد جمعیت ارائه گردید. این تابع بصورت رابطه (۱۷) است.

$$\varphi(x) = \frac{c}{1+ae^{-bx}} \quad a, b, c > 0; x \in R, \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

در اینجا  $a, b$  و  $c$  مقادیر پارامترهای ثابت هستند که در این تحقیق با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مقدار آنها بهینه‌سازی شدند. این تابع افزایشی، منعطف، پیوسته و حول نقطه  $(\frac{\ln a}{b}, \frac{c}{2})$  متقارن است. لازم به ذکر است که تمامی مراحل کار در محیط متلب (2009b) برنامه‌نویسی شد.

(رابطه ۹)  $E(\varepsilon) = (0, \dots, 0)$  and  $\text{Var} = \Gamma =$

$$\begin{pmatrix} \text{Var}(\varepsilon^1) & \dots & \text{Cov}(\varepsilon^1, \varepsilon^s) \\ \vdots & & \vdots \\ \text{Cov}(\varepsilon^s, \varepsilon^1) & \dots & \text{Var}(\varepsilon^s) \end{pmatrix}$$

بردار پارامترهای  $B$  با استفاده از حداقل مربعات وزن‌دار بصورت رابطه‌های (۱۰ و ۱۱) تخمین زده می‌شود.

(رابطه ۱۰)

$$\hat{B}_w = \left( \arg \min_B \right) (\log Y - \log XB)' \Omega (\log Y - \log XB)$$

(رابطه ۱۱)

$$= ((\log X)' \Omega \log X)^{-1} ((\log X)' \Omega \log Y$$

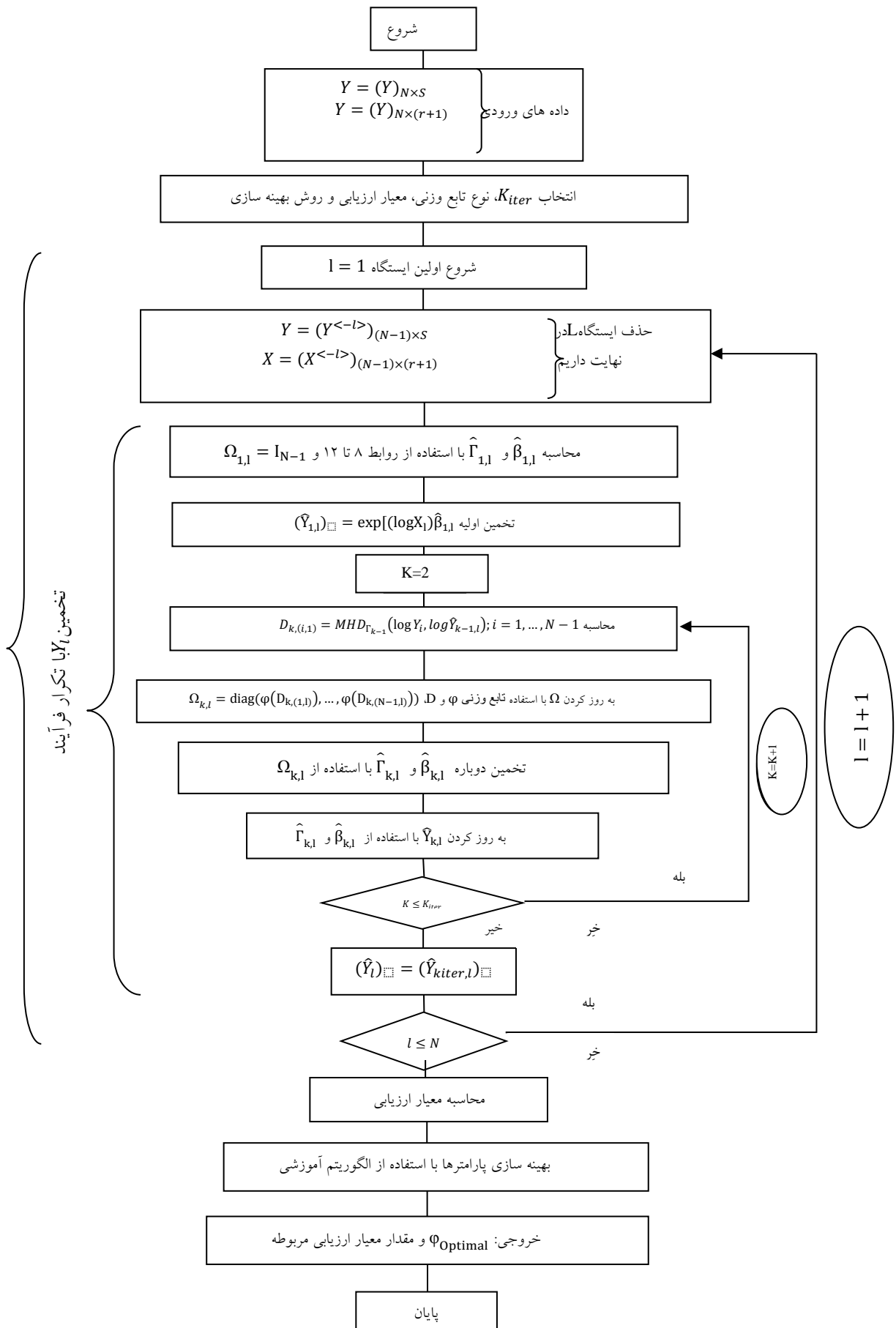
در اینجا  $\Omega = \text{diag}(w_1, \dots, w_N)$  یک ماتریس قطری با درایه‌های قطری  $w_i$  (وزن‌های اختصاص یافته برای هر ایستگاه) برای ایستگاه  $i$  است. ماتریس  $\Gamma$  می‌تواند توسط رابطه (۱۲) تخمین زده شود.

$$\hat{\Gamma}_w = \frac{(\log Y - \log X \hat{B}_w)' (\log Y - \log X \hat{B}_w)}{N-r-1} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

تخمین دبی استفاده از مفهوم عمق داده در قالب رگرسیون وزنی

جهت تخمین مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مفهوم عمق داده در قالب رگرسیون وزنی مراحل کار به شرح زیر است: ابتدا با استفاده از رویکرد جک نایف، یک ایستگاه از مجموعه ایستگاه‌ها حذف و به عنوان ایستگاه فاقد آمار در نظر گرفته می‌شود. سپس با در نظر گرفتن یک تابع وزنی و آمار سایر ایستگاه‌ها مقادیر دبی در دوره بازگشت‌های مختلف برای این ایستگاه تخمین زده می‌شود. پارامترهای اولیه که به صورت  $\hat{\Gamma}_{1,1}$  و  $\hat{B}_{1,1}$  نشان داده می‌شود با استفاده از رابطه‌های ۸ تا ۱۲ و در نظر گرفتن  $X = X^{(-l)}$  و  $Y = Y^{(-l)}$  و  $\Omega = I_{N-1}$  محاسبه می‌شوند. در اینجا  $X = X^{(-l)}$  و  $Y = Y^{(-l)}$  به ترتیب پارامترهای فیزیوگرافیکی - اقلیمی و هیدرولوژیکی تمام ایستگاه به‌غیر از ایستگاه مورد نظر و  $I_{N-1}$  یک ماتریس واحد است. مقدار اولیه  $\hat{Y}_{1,1}$  با جایگذاری  $\hat{B}_{1,1}$  به جای  $B$  در رابطه (۹) بدست می‌آید. سپس برای هر تکرار  $K$  که  $K = 2, 3, \dots, K_{\text{iter}}$  (در این تحقیق تعداد تکرارها  $K_{\text{iter}}$  برابر با ۲۵ قرار داده شد) است مقدار عمق ماهلابونیس (رابطه (۷)) ایستگاه‌های دارای آمار نسبت به ایستگاه فاقد آمار  $1$  با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد.

رویکرد چک‌نایف



شکل ۱- فلوجارت مراحل اجرای رویکرد مبتنی بر عمق داده در قالب رگرسیون وزنی چند متغیره

این نمودارها ملاحظه می‌شود در هر سه دوره بازگشت مورد بررسی یک تفکیک مشخص بین مقادیر دبی در بزرگی‌های مختلف در فضای فیزیوگرافیکی وجود دارد. البته در این نمودارها پراکنش اغلب ایستگاه‌ها در اطراف مبدأ هستند که در این حالت نیاز به برون‌یابی کمتری است. در شکل (۲) نیم تغییر نما برازش داده شده به داده‌های مشاهداتی برای سیلاب‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف آورده شده‌اند که در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی نیمه تغییر نما گوسی بهترین برازش را به داده‌های مشاهداتی داشتند. در تحقیقات نیز (Chokmani and Ouarda, 2004; Archfield et al; 2013) نیم تغییر نما گوسی برازش بهتری نسبت به سایر مدل‌های نیم تغییر نما به داده‌های سیلاب در فضای فیزیوگرافی داشت.

بر اساس تغییر نمای‌های تجربی در نرم‌افزار GS+۵، ساختار مکانی کمیت هیدرولوژیکی (سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف) شناسایی شد (شکل ۳). با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که پراکنش ایستگاه اطراف خط نیم تغییر نما برازش داده هستند، که نشان دهنده وجود یک الگوی مکانی خوب از داده‌های سیل در دوره بازگشت مختلف در منطقه مورد مطالعه است. همچنین مطابق شکل با افزایش دوره بازگشت سطح آستانه افزایش و دامنه تأثیر آن کاهش می‌یابد که به دلیل افزایش دبی با افزایش دوره بازگشت قابل توجیه است. در روش آنالیز همبستگی کانونی محورها به شکلی محاسبه می‌شوند که همبستگی بین متغیرهای فیزیوگرافیکی و اقلیمی با متغیرهای هیدرولوژیکی حداکثر شود؛ که این باعث می‌شود تا همبستگی مکانی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافیکی بدست آمده از آنالیز همبستگی کانونی بهتر تعریف شوند. با توجه به این شکل‌ها ملاحظه می‌شود در فواصل کم مقدار واریانس محاسباتی کم است و با افزایش فاصله مقدار واریانس محاسباتی افزایش پیدا کرده تا در نهایت زمانی که این فاصله به اندازه مشخص رسید (دامنه) به مقدار آستانه خود می‌رسد. از طرف دیگر الگوی پراکنش داده‌های برای هر سه دوره بازگشت تقریباً مشابه یکدیگر هستند. در جدول (۳) آماره‌های مربوط به نیم تغییر نماها آورده شده‌اند. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود با افزایش دوره بازگشت اثر نقطه‌ای و سیل افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که بزرگترین دامنه مربوط به سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال و کمترین دامنه مربوط به سیل با دوره بازگشت ۵۰ سال است. با توجه به این جدول می‌توان دید کمترین و بیشترین مقدار RSS به ترتیب مربوط به واریوگرام‌ها سیلاب‌های دوره بازگشت ۱۰۰ و ۱۰ سال هستند.

## ارزیابی مدل‌ها

پس از برآورد مقادیر سیلاب در دوره بازگشت مختلف با استفاده از روش‌های مختلف، عملکرد مدل‌های مختلف با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی (R)، ناش ساتکلیف (رابطه (۱۸))، RMSE، (رابطه (۱۹)) و BIASr (رابطه (۲۰)) ارزیابی شد.

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (\text{رابطه } 18)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2} \quad (\text{رابطه } 19)$$

$$BIASr = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_i - \hat{q}_i}{q_i} \right) (q_i - \hat{q}_i) \quad (\text{رابطه } 20)$$

که در روابط ارائه شده  $n$  تعداد ایستگاه‌ها،  $q_i$  و  $\hat{q}_i$  به ترتیب دبی مشاهده‌ای و منطقه‌ای متعلق به ایستگاه  $i$ ام با دوره بازگشت می‌باشد.

## نتایج و بحث

### تجزیه و تحلیل نتایج روش رگرسیون چند متغیره

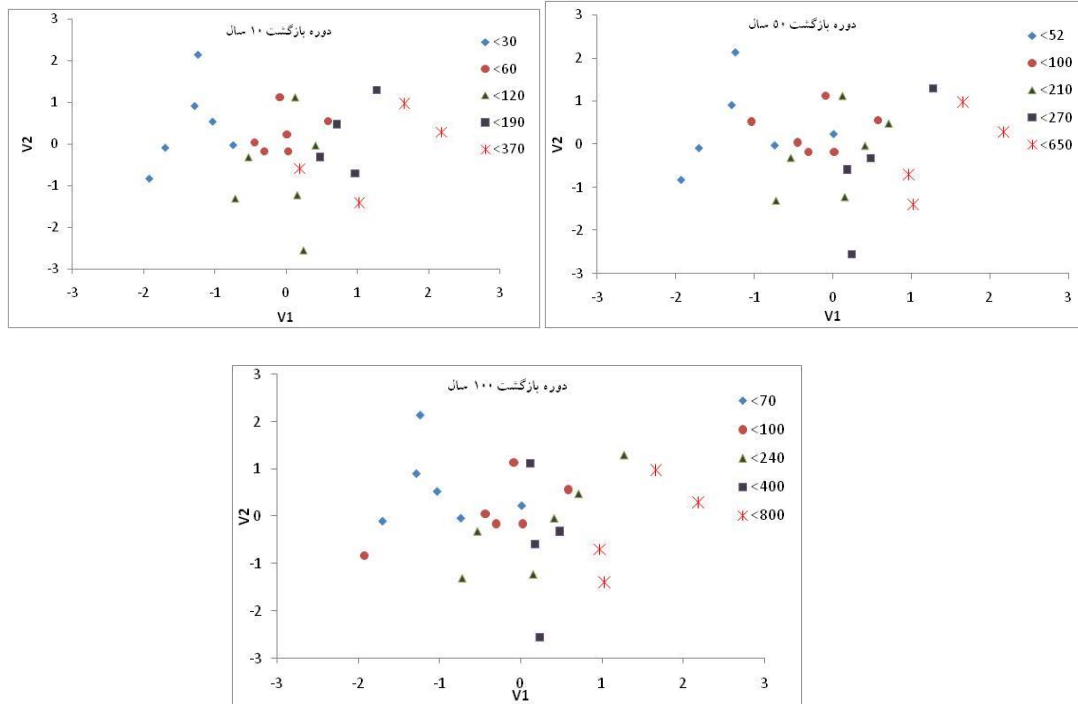
ابتدا با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام برای هر یک از دبی‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف مهمترین پارامترهای مستقل تعیین و سپس مقادیر سیل در سه دوره بازگشت مورد نظر محاسبه گردید. در روش گام به گام در اغلب موارد از بین هشت پارامتر فیزیوگرافیکی و اقلیمی مورد استفاده در نهایت چهار پارامتر مساحت، ضریب گراویلیوس، طول آبراهه اصلی و شیب به عنوان پارامتر اصلی انتخاب شدند. مقادیر دبی‌های برآورد شده‌ی متناظر با دوره‌های بازگشت مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌گردد که در این روش بهترین عملکرد مدل مربوط به سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال و سپس ۱۰۰ سال است. در مجموع با توجه به مقادیر ضریب ناش و سایر ضرایب خطای بدست آمده عملکرد این روش قابل قبول نمی‌باشد.

### تجزیه و تحلیل نتایج روش کریجینگ در فضای اقلیدسی

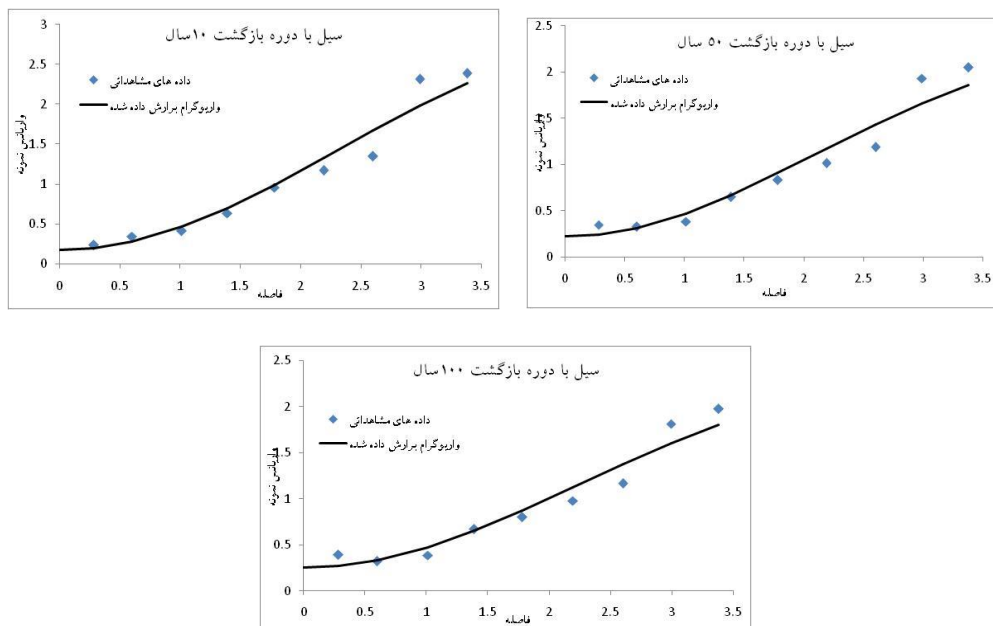
در روش کریجینگ در فضای اقلیدسی پس از نرمال‌سازی داده‌ها، با استفاده از پارامترهای مستقل و وابسته دو مؤلفه اول در روش آنالیز همبستگی کانونی محاسبه و پس از برازش، نیمه تغییر نما مناسب با استفاده از روش کریجینگ در ایستگاه فاقد آمار محاسبه گردید. در شکل (۲) نمودارهای مقادیر سیلاب در فضای فیزیوگرافیکی بدست آمده از دو مؤلفه اصلی اول آنالیز همبستگی کانونی ارائه شده است. با توجه به

جدول ۲. دبی‌های برآورد شده دوره‌های بازگشت مختلف با روش رگرسیون چند متغیره گام به گام

| دوره بازگشت ۱۰۰ سال | دوره بازگشت ۵۰ سال | دوره بازگشت ۱۰ سال | معیار خطا |
|---------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| ۱۸۳/۶۰              | ۱۴۰/۱۵             | ۱۶۳/۷۲             | RMSE      |
| ۰/۴۹                | ۰/۵۷               | ۰/۲۲               | R         |
| ۰/۰۱                | ۰/۲۰               | -۱/۴۳              | NASH      |
| -۰/۴۰               | -۰/۳۵              | -۰/۴۷              | BIASr     |



شکل ۲. پراکنش مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف در فضای فیزیوگرافیک ( در این شکل‌ها هر یک از علائم نشان دهنده مقادیر دبی (متر مکعب بر ثانیه) کمتر از یک مقدار مشخص است، در هر یک از شکل‌ها  $v1$  اولین مؤلفه همبستگی کانونی و  $v2$  دومین مؤلفه همبستگی کانونی هستند)



شکل ۳. نیم تغییر نماهای برازش شده به داده‌های سیلاب در سه دوره بازگشت مورد مطالعه در فضای فیزیوگرافیکی



جدول ۳. خصوصیات آماری نیم تغییر نماها در سه دوره بازگشت مورد بررسی

| دوره بازگشت سیل | اثر نقطه‌ای | دامنه | سیل   | ضریب همبستگی | RSS   |
|-----------------|-------------|-------|-------|--------------|-------|
| ۱۰ سال          | ۰/۱۷۰       | ۵/۵۴۷ | ۳/۳۵  | ۰/۹۷۵        | ۰/۲۶۴ |
| ۵۰ سال          | ۰/۲۲۱       | ۵/۰۸۴ | ۲/۴۵۲ | ۰/۹۷         | ۰/۲۱۷ |
| ۱۰۰ سال         | ۰/۲۴۹       | ۵/۴۱۶ | ۲/۵۰۸ | ۰/۹۷۳        | ۰/۱۶۵ |

پس از برازش نیم تغییر نما مناسب به داده‌های مشاهده‌ای با استفاده از روش کریجینگ، مقدار سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه فاقد آمار برآورد گردید. در این حالت مقدار دبی در ایستگاه فاقد آمار میانگین وزنی از مقادیر سیلاب در ایستگاه‌های دارای آمار است که این وزن‌ها متناسب با همبستگی مکانی بین ایستگاه فاقد آمار و ایستگاه‌های دارای آمار است. نتایج مربوط به روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی به صورت جدول (۴) می‌باشد که با توجه به مقادیر معیارهای خطا، بهترین نتایج مربوط به سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال و سپس ۵۰ سال است. در این روش

بهترین مقدار ناش ساتکلیف بدست آمده برابر ۰/۵۵ است که کمتر از مقادیر به دست آمده در تحقیق (Chokmani and Ouarda, 2004) (در تحقیق مذکور مقدار ناش ساتکلیف بین ۰/۷۰ تا ۰/۷۸ بدست آمد) است. این موضوع را می‌توان به دلیل تعداد کم ایستگاه مورد مطالعه، تغییرات زیاد در اندازه حوضه های مورد بررسی (در این حالت مدل برای برآورد سیلاب در حوضه خیلی بزرگ و حوضه‌های خیلی کوچک برون‌یابی می‌کند که معمولاً خطای برون‌یابی بیشتر از خطای درون‌یابی است) و همچنین تغییرات زیاد شرایط هیدرولوژیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دانست.

جدول ۴. دبی‌های برآورد شده دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از کریجینگ فضای فیزیوگرافیکی

| معیار خطا | دوره بازگشت ۱۰ سال | دوره بازگشت ۵۰ سال | دوره بازگشت ۱۰۰ سال |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| RMSE      | ۷۰/۴۶              | ۱۱۳/۵۰             | ۱۲۹/۷۹              |
| R         | ۰/۷۷               | ۰/۷۲               | ۰/۷۳                |
| NASH      | ۰/۵۵               | ۰/۴۷               | ۰/۵۱                |
| BIASr     | -۰/۳۳              | -۰/۴۱              | -۰/۴۷               |

تجزیه و تحلیل نتایج رویکرد عمق داده در رویکرد عمق داده هر یک از ایستگاه‌ها به ترتیب به‌عنوان ایستگاه فاقد آمار در نظر گرفته شد و با استفاده از آمار سایر ایستگاه‌ها و در نظر گرفتن نتایج هدف جمع مربعات خطا، مقدار جهش ۰/۱، توزیع ۰/۶ و جمعیت اولیه ۲۰ کروموزوم، بهینه‌سازی پارامترهای تابع وزنی برای آن ایستگاه صورت گرفت. پس از محاسبه وزن‌ها برای هر ایستگاه با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیوگرافیکی و اقلیمی، مقدار سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف در ایستگاه مورد نظر برآورد گردید که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود به غیر از معیار ناش ساتکلیف در سایر معیارهای خطا، بهترین عملکرد مدل مربوط به سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال و سپس ۵۰ سال است. در تحقیقات (Chokmani and Ouarda, 2004; Shu and Ouarda, 2004)

#### تجزیه و تحلیل نتایج رویکرد عمق داده

افزایش دوره بازگشت تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مشاهداتی بیشتر گردید. این موضوع به این دلیل است که با افزایش دوره بازگشت، خطای ناشی از برازش توزیع داده‌ها برای دبی‌ها با احتمال وقوع کم، زیاد شده و وقتی این خطا در هر یک از مدل‌های آنالیز منطقه‌ای وارد می‌شود خطای مدل‌سازی نیز به آن اضافه شده و منجر به خطای بزرگی برای سیلاب‌ها با دوره بازگشت بالا می‌گردد. بر اساس معیار NASH عملکرد این روش در همه‌ی دوره بازگشت‌ها بیشتر از ۰/۶۵ برآورد گردید، که نشان‌دهنده پیش‌بینی‌های دقیق‌تر و قابل قبول‌تر برآورد سیلاب در حوضه‌های بدون آمار است. از آنجا که مقادیر دو شاخص RMSE و BIASr با دوره بازگشت افزایش می‌یابد؛ در نتیجه با افزایش دوره بازگشت عدم قطعیت برآوردهای منطقه‌ای افزایش می‌یابد.

جدول ۵. نتایج برآورد سیلاب در سه دوره بازگشت مختلف با استفاده از رویکرد مبتنی بر عمق داده در قالب رگرسیون چند متغیره وزنی

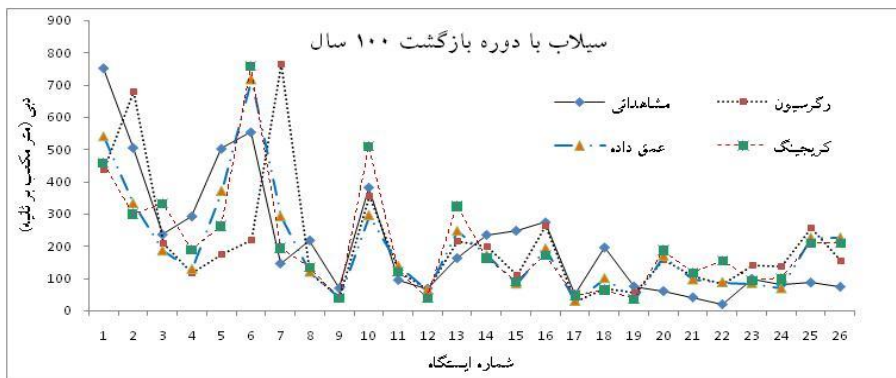
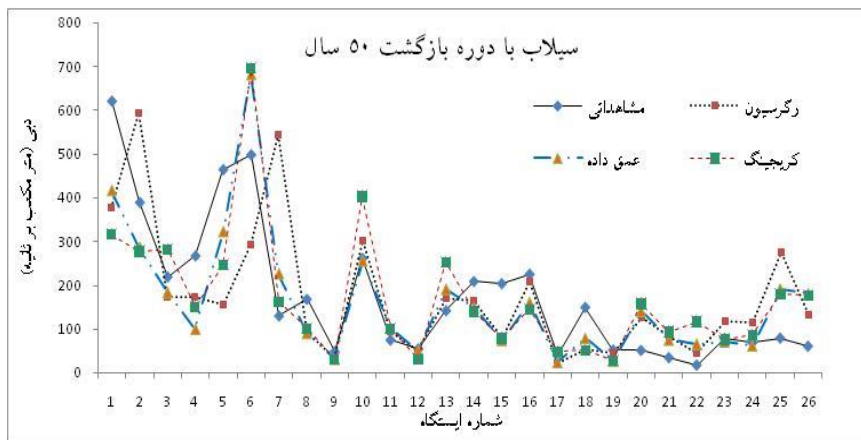
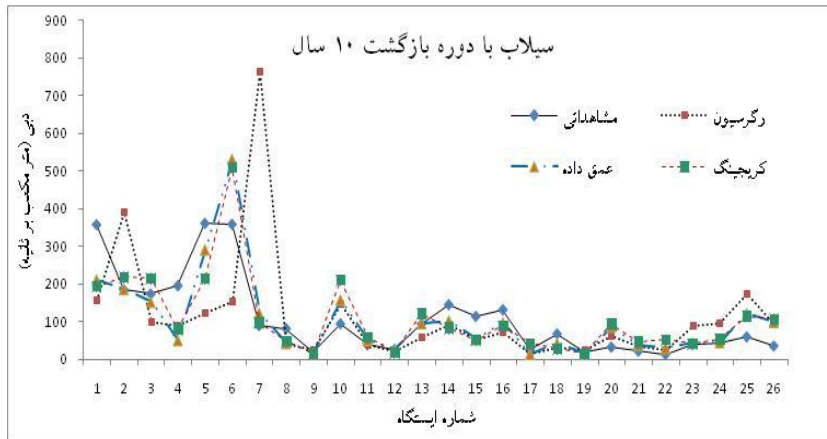
| معيار خطا | دوره بازگشت ۱۰ سال | دوره بازگشت ۵۰ سال | دوره بازگشت ۱۰۰ سال |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| RMSE      | ۶۲/۹۳              | ۹۲/۵۶              | ۱۰۸/۹۵              |
| R         | ۰/۸۳               | ۰/۸۲               | ۰/۸۱                |
| NASH      | ۰/۶۴               | ۰/۶۵               | ۰/۶۵                |
| BIASr     | -۰/۱۸              | -۰/۲۳              | -۰/۲۸               |

### ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف

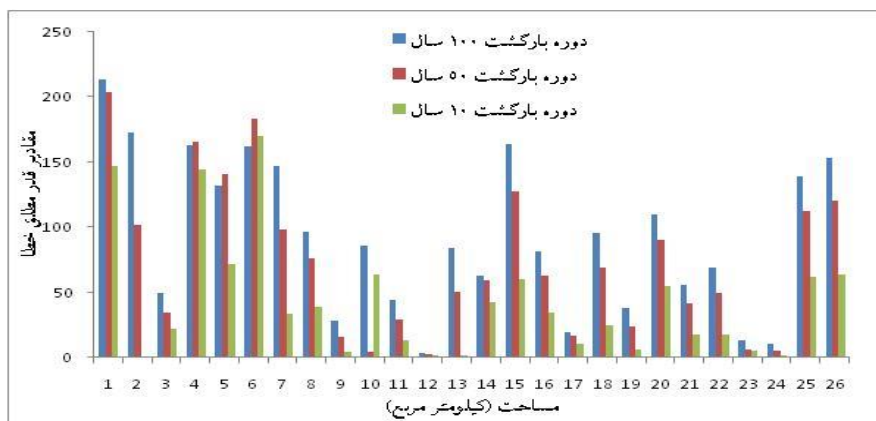
در مقایسه با روش‌های رگرسیون چند متغیره و کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی در روش مبتنی بر عمق داده، مقادیر معیارهای ناش ساتکلایف، RMSE، ضریب همبستگی و BIASr برای هر سه دوره بازگشت نزدیک به هم بوده و به نوعی می‌توان گفت که عملکرد روش مبتنی بر عمق داده در برآورد دبی‌های سیلابی تقریباً شبیه هم بوده است. با مقایسه جداول (۲)، (۳) و (۴) مشاهده می‌شود در هر سه دوره بازگشت با توجه به معیارهای ارزیابی، کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی بهتر از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام و رویکرد مبتنی بر عمق داده بهتر از دو روش دیگر مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف را تخمین زده‌اند. عملکرد ضعیف روش رگرسیون چند متغیره گام به گام نسبت به روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی می‌تواند به دلایل زیر باشد (Sheikh *et al.*, 2014: ۱) بکارگیری فاصله‌ی اقلیدسی بین حوضه‌ها در فضای فیزیوگرافیکی و بر اساس شباهت در رژیم هیدرولوژیکی، (۲) تمایل روش‌های زمین آمار در به حداقل رساندن میزان خطای اریب در محاسبات، و (۳) طراحی فضای فیزیوگرافی بر اساس روش که به دنبال حداکثر رساندن همبستگی میان متغیرهای اقلیمی، فیزیوگرافیکی و هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. در تحقیقات (Castiglioni *et al.*, 2009; Archfield *et al.*, 2013) به ترتیب در برآورد دبی‌های کم‌آبی و سیلابی، روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی عملکرد بهتری نسبت به رگرسیون چند متغیره داشته است. در تحقیق (Chebana and Ouarda, 2008) رویکرد مبتنی بر عمق داده عملکرد بهتری نسبت به روش آنالیز همبستگی کانونی داشته است. در مطالعه (Wazneh *et al.*, 2013a) نیز رویکرد مبتنی بر عمق داده عملکرد بهتری نسبت به روش‌های کریجینگ در فضای اقلیدسی و رگرسیون چند متغیره نشان داد. به دلیل اینکه در روش مبتنی بر عمق داده هر یک از ایستگاه‌ها متناسب با

نزدیکی خصوصیات آن به خصوصیات حوضه فاقد آمار رتبه‌بندی می‌شوند و سپس مقادیر دبی در ایستگاه فاقد آمار توسط بهینه‌سازی وزن‌های تابع وزنی و بصورت تکراری با حداقل کردن خطا بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی، برآورد می‌گردد. به عبارتی می‌توان گفت در این روش با در نظر گرفتن تابع وزنی به نوعی اثر مرزها (که در روش‌هایی که در آنها در ابتدا همگن‌بندی صورت می‌گیرد اثر مرزها وجود دارد) در مدل‌سازی وارد می‌شود. همچنین از مفهوم عمق داده جهت رتبه‌بندی و وزن‌دهی ایستگاه‌های مختلف برای تخمین مقدار دبی در حوضه فاقد آمار استفاده می‌کند. در نهایت همانند روش شبکه عصبی از یک فرآیند آموزش تکراری در بهینه‌سازی وزن‌های تابع وزنی و کم کردن خطاها استفاده می‌کند. در هر سه روش در هر سه دوره بازگشت مورد بررسی مقدار معیار BIASr منفی است که به نوعی نشان دهنده برآورد بالا از مقادیر سیلاب است.

در شکل (۴) مقادیر برآورد شده سیلاب با استفاده از هر سه مدل برای هر سه دوره بازگشت آورده شده است. با توجه به این شکل‌ها ملاحظه می‌شود دو روش کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی و روش مبتنی بر عمق داده تقریباً از روند مشابهی پیروی می‌کنند. با مقایسه نمودارها مربوط به هر سه دوره بازگشت ملاحظه می‌شود هر سه مدل در پیش‌بینی سه دوره بازگشت سیل روند تقریباً یکسان دارند بخصوص این موضوع برای روش مبتنی بر عمق داده مشهودتر است. به منظور بررسی بیشتر تأثیر اندازه حوضه بر عملکرد مدل در شکل (۵) مقادیر قدر مطلق خطا در برابر مساحت برای روش مبتنی بر عمق داده آورده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود در برخی حوضه‌ها با مساحت کم مقادیر خطا زیاد است با توجه به اینکه در حوضه‌های کوچک کوچکترین خطا در محاسبه پارامترهای فیزیوگرافیکی و اقلیمی منجر به خطای زیاد می‌گردد، لذا بزرگترین نسبت خطا به مساحت مربوط به حوضه‌های با مساحت کم می‌باشد.



شکل ۴. مقادیر پیش بینی شده در برابر مقادیر مشاهداتی در سه دوره بازگشت مختلف با استفاده سه رویکرد مورد استفاده



شکل ۵. مقادیر خطا بدست آمده از روش مبتنی بر عمق داده در برابر مساحت

## نتیجه‌گیری

اقلیدسی دارد. مفهوم عمق داده با داشتن چهار ویژگی ۱- عدم حساسیت به مقیاس ۲- حداکثر بودن در مرکز ۳- یکنوا بودن نسبت به عمیق‌ترین نقطه ۴- عدم تأثیر در فواصل دور، قادر بوده از داده‌ها در مقیاس‌های مختلف استفاده کند. همچنین برای تخمین داده‌های هر ایستگاه، متناسب با دوری و نزدیکی ایستگاه‌های اطراف به آنها وزن بدهد. این روش بدون نیاز به همگن‌بندی از اطلاعات تمام ایستگاه‌ها در تخمین مقادیر سیلاب در ایستگاه مورد نظر استفاده می‌کند. همچنین در این روش نیازی به نرمال بودن داده‌ها نیست و وجود انواع توابع عمق و توابع وزنی انعطاف‌پذیری بالایی به این روش داده است. در این روش عملکرد مدل در برآورد هر سه دوره بازگشت تقریباً شبیه هم بود به‌علاوه نتایج نشان بیشترین نسبت خطا به مساحت مربوط به حوضه‌های با مساحت کم است

یکی از مشکلات عمده در طراحی سازه‌های آبی در برخی از حوضه‌ها عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در پایین دست است. در این حالت با استفاده از آنالیز منطقه‌ای سیلاب اطلاعات مربوط به خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌های دارای ایستگاه به حوضه‌های فاقد ایستگاه بسط داده می‌شوند. تاکنون روش‌های مختلفی برای آنالیز منطقه‌ای سیلاب ارائه شده‌اند که در هر منطقه نیاز است تا روش مناسب برای آن منطقه تعیین گردد. بدین منظور در این تحقیق اقدام به آنالیز منطقه‌ای سیل در دامنه جنوبی البرز با استفاده از سه روش رگرسیون چند متغیره، کریجینگ در فضای فیزیوگرافیکی و روش رگرسیون وزنی چند متغیره مبتنی بر عمق داده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد رویکرد مبتنی بر عمق داده عملکرد بهتری نسبت به دو روش رگرسیون چند متغیره گام به گام و روش کریجینگ در فضای

## REFERENCES

- Archfield, S. A., Pugliese, A., Castellarin, A., Skjøien, J. O. and Kiang, J. E. (2013.) Topological and canonical kriging for design flood prediction in ungauged catchments: an improvement over a traditional regional regression approach?. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, pp.1575–1588.
- Bardossy, A. and Singh, S. K. (2008) Robust estimation of hydrological model parameters, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, pp. 1273–1283.
- Burn, D.H. (1990) Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach, *Water Resour. Res.*, 26, pp. 2257–2265.
- Castiglioni, S., Castellarin, A. and Montanari, A. (2009) Prediction of low-flow indices in ungauged basins through physio-graphical space-based interpolation, *J. Hydrol.*, 378, PP.272–280
- Chebana, F. and Ouarda, T. B. M. J. (2008) Depth and homogeneity in regional flood frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 44, W11422, doi :10.1029/2007WR006771.
- Chebana, F. and Ouarda, T. B. M. J. (2011a) Depth-based multivariate descriptive statistics with hydrological applications, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 116, D10120.
- Chebana, F. and Ouarda, T. B. M. J. (2011b) Multivariate extreme value identification using depth functions, *Environmetrics*, 22, PP. 441–455.
- Chokmani, F. and Ouarda, T. B. M. J. (2004) Physiographical space based kriging for regional flood frequency estimation at ungauged sites, *Water Resour. Res.*, 40, PP. 1–13.
- Cunderlik, J.M and Burn, D.H. (2006) Switching the pooling similarity distances: Mahalanobis for Euclidean. *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 42, W03409.
- Gingras, D. and Adamowski, K. (1992) Coupling of nonparametric frequency and L-moment analysis for mixed distribution identification. *Water Resources Bulletin*, 28: PP. 263 – 272.
- Grehys, (1996) Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis, *J. Hydrol.*, 186, PP. 63–84.
- Grover, P.L., Burn, D.H. and Cunderlik, J.M. (2002) A comparison of index flood estimation procedures for ungauged catchments. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29 : PP. 734 – 741.
- Javelle, P., Ouarda, T.B.M.J., Lang, M., Bobee, B., Galea, G. and Gresillon, G.M. (2002) Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index-flood method. *Journal of Hydrology*, 258(1 – 4): PP. 249 – 259.
- Kraube, T. and Cullmann, J. (2012) Towards a more representative parametrisation of hydrologic models via synthesizing the strengths of Particle Swarm Optimisation and Robust Parameter Estimation, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, PP. 603–629.
- Kraube, T., Cullmann, J., Saile, P. and Schmitz, G. H. (2012) Robust Multi objective calibration strategies possibilities for improving flood forecasting, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, PP. 3579–3606,
- Ouarda, T. B. M. J., Girard, C., Cavadias, G. S. and Bobee, B. (2001) Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis, *J. Hydrol.*, 254, PP.157–173.
- Ouarda, T. B. M. J., Ba, K. M., Diaz-Delgado, C., Carsteanu, A., Chokmani, K., Gingras, H., Quentin, E., Trujillo, E. and Bobee, B. (2008) Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study, *J. Hydrol.*, 348, PP. 40–58.
- Pandey, G.R. and Nguyen, V.T.V. (1999) A comparative study of regression based methods in

- regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 225: PP. 92 – 101.
- Saf, B. (2008) Application of index procedures to flood frequency analysis in Turkey. *Journal of the American Water Resources Association*, 44 (1): PP. 37 – 47.
- Sheikh, Z., Dehvari, A. and Farsadnia, F. (2014) Comparison Canonical Kriging and Linear Moments Methods for Regiona Flood Frequency Analysis in Mazandaran Province. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, Vol. 8, No. 25. PP. 25-38. (In Farsi).
- Shu, C. and Ouarda, T. B. M. J. (2007) Flood frequency analysis at ungauged sites using artificial neural networks in canonical co-relation analysis physiographic space, *Water Resour. Re.*, 43, W07438,doi:10.1029/2006WR005142.
- Stedinger, J.R. and Lu, L.H. (1995) Appraisal of regional and index flood quantile estimators. *Stochastic Hydrolics and Hydraulics* 9(1): PP. 49 – 75.
- Tukey, J.W. (1974) *Mathematics and the picturing of data*, Vol. 2, Proceedings of the International Congress of Mathematicians, Van-couver, B.C., 1974, Canad. Math. Congress, Montreal, Quebec, PP. 523–531,
- Verhulst, P. F. (1938) Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement, *Correspondance Math´ematiqueet Physique*, 10, PP. 113–121.
- Wazneh, H., Chebana, F. and Ouarda, T. B. M. J. (2013a) Optimal depth-based regional frequency analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, PP. 2281–2296.
- Wazneh, H., Chebana, F. and Ouarda, T. B. M. J. (2013b) Depth-based regional index-flood model. *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 49, PP. 7957–7972.