

تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی در حوضه‌های آبخیز استان مازندران

• زهرا شیخ

دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی دانشگاه زابل (نویسنده مسئول)

• عبدالحمید دهواری

استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل

• احمد پهلوان‌روی

استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل

• فرهاد فرسادنیا

دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی آب

تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: شهریور ماه ۱۳۹۲

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۹۹۰۷۶۱۴

Email: z.sheikh03@gmail.com

چکیده

پیشرفت در ابزار و روش‌های مکانی-زمانی، راهکارهای جدیدی را به منظور تحلیل داده‌ها و برآورد پارامترها در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب فراهم کرده است. کاربرد روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی، در بسیاری از جنبه‌های هیدرولوژیکی بسیار نوپا است. از این رو در این مطالعه اطلاعات هیدرولوژیکی، اقلیمی و فیزیوگرافی ۳۸ حوضه آبخیز استان مازندران تهیه گردید و از روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی جهت برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس مقادیر دبی اصلی و دبی ویژه با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شد. طراحی فضای فیزیوگرافی با استفاده از ۶ متغیر ژئومورفوکلیماتیک مؤثر بر سیلاب و روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی چند متغیره انجام شد. در تمام دوره‌های بازگشت مدل نمائی، بعنوان بهترین مدل نیم‌تغییر نما انتخاب گردید و از سه روش کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و IDW جهت درون‌یابی استفاده شد. ارزیابی نتایج برآوردهای منطقه‌ای با استفاده از روش ارزیابی متقابل جک نایف و چهار شاخص آماری RMSEr، RMSEr و BIASr و NASH انجام شد. پس از شناسایی و حذف ۷ ایستگاه که عامل بیشترین خطای RMSEr و BIASr تشخیص داده شده بودند، نتایج بطور چشمگیری بهبود یافت. به طوری که مقادیر NASH از ۰/۴ تا ۰/۶ در حالت اول به ۰/۵ تا ۰/۸ افزایش یافت. علاوه بر این سه شاخص دیگر نیز نتایج رضایت‌بخشی را ارائه نمودند. این امر نشان‌دهنده‌ی کارآمد بودن روش پیشنهادی در تخمین سیلاب در آبخیزهای فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری می‌باشد. همچنین نتایج درون‌یابی نشان داد، روش کریجینگ معمولی و IDW عملکرد مشابه و نزدیکی دارند و نسبت به روش کریجینگ ساده عملکردشان مطلوب‌تر است.

کلمات کلیدی: تحلیل منطقه‌ای سیلاب، فضای فیزیوگرافی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، کریجینگ، مازندران

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 104 pp: 164-176

Regional flood frequency analysis using physiographical space based interpolation technique in basins of Mazandaran province

By: Z. Sheikh: Graduate student in combat desertification, University of Zabol (Corresponding Author; Tel:+989159907614). A.H. Dehvari: Assistant Professor, University of Zabol. A. Pahlavanravi: Assistant Professor, University of Zabol. F. Farsadnia: M. Sc. In water Engineering.

Advances in tools and spatial and temporal techniques, have provided new approaches in regional flood analysis and parameters estimation. Application of interpolation techniques based on physiographical attributes, seems to be new in many hydrological aspects. However, the hydrological, climatological and physiographical information of 38 river basin information of watersheds inside of Mazandaran province were obtained and regional flood estimates basis the main and specific quantiles discharge and several of return periods were estimated using physiographical space based interpolation technique. The Multivariate Principal Component Analysis was used to design physiographic space using the six geomorphoclimatical variables affecting the flood. The exponential model had the best fit to smi-varigram model in all return periods and the ordinary kriging, simple kriging and IDW methods were used for interpolation. Results evaluated using Jack knife mutual procedure and the four statistical indexes including BIASr, RMSE, RMSEr, and NASH. Results improved dramatically, when the data of 7 stations eliminated due to having the largest value of RMSEr and BIASr. Accordingly, in the first case the NASH values increased from 0.4 to 0.6 up to 0.5 to 0.8, respectively. Moreover, the three other indexes led to satisfying results, too. This implies that the proposed approach has the efficiency to estimate discharge in ungauged watersheds. Results of the interpolation indicated that the ordinary kriging and IDW have similar performances and their performances are better than simple kriging.

Keywords: Regional flood analysis, Physiographical space, Principal Component Analysis, Kriging, Mazandaran.

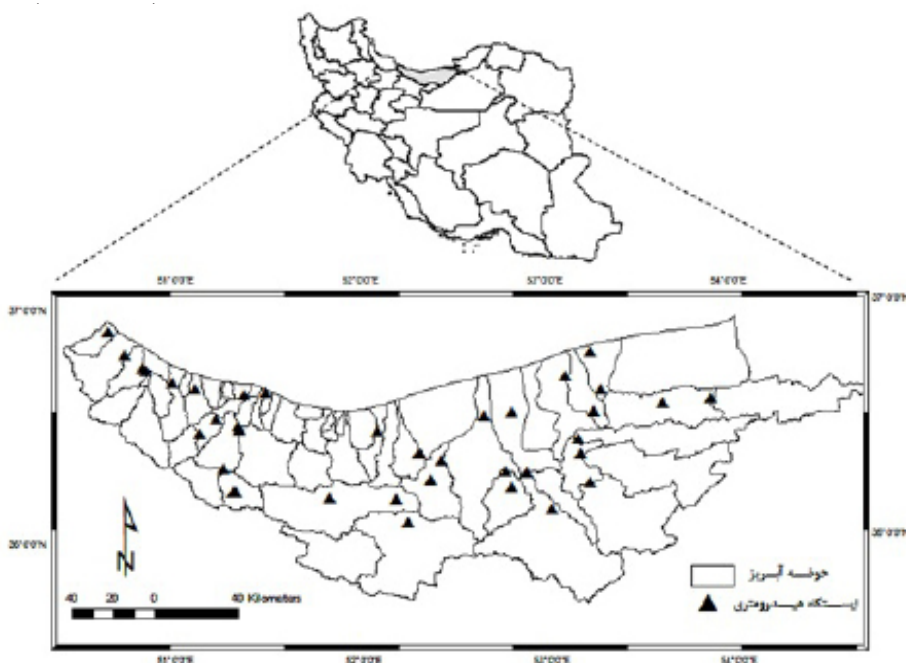
گرفت؛ بطوری که Joseph و همکاران (۲۰۰۶) با هدف بررسی رژیم هیدرولوژیکی هائیتی، به مقایسه روش کریجینگ بر پایه فضای فیزیوگرافی و رگرسیون فضایی پرداختند. نتایج ارزیابی متقابل نشان داد، روش کریجینگ عملکرد بهتری نسبت به رگرسیون ارائه می‌دهد و پیشنهاد شد تا از روش کریجینگ عمومی که ترکیبی از هر دو روش است، در مطالعات بعدی استفاده گردد. Shu و Ouarda (2007) در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی کمیت سیلاب در حوضه‌های بدون آمار، مدلی بر پایه‌ی تحلیل همبستگی متعارف (CCA) و شبکه عصبی مصنوعی توسعه دادند. داده‌های ۱۵۱ ایستگاه هیدرومتری ایالت کبک کانادا گردآوری شد و عملکرد مدل شبکه عصبی بر پایه‌ی CCA را با روش کریجینگ بر پایه فضای فیزیوگرافی و مدل اصلی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد روش شبکه مصنوعی بر پایه CCA برآوردهای دقیق‌تری نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌نماید. Ouarda و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های ۲۹ ایستگاه هیدرومتری در مکزیک به ارزیابی چهار روش: تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، تحلیل همبستگی متعارف، روش تحلیل همبستگی متعارف اصلاح شده و روش کریجینگ بر پایه فضای فیزیوگرافی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش تحلیل همبستگی متعارف و کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارند. Castiglioni و همکاران (۲۰۰۹) با هدف پیش‌بینی جریان

مقدمه

تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با بکارگیری روش‌هایی بر پایه انتقال اطلاعات هیدرولوژیکی یا شناخت از حوضه‌های دارای آمار، جهت پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در حوضه‌های فاقد آمار توسعه یافته است (Archfield, et al, ۲۰۱۲). تحقیقات اخیر نشان داده است، روش‌های زمین‌آمار که در ابتدا به منظور درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای توسعه یافته بودند (De Marsily and Ahmed, ۱۹۸۷)، می‌توانند بطور مؤثری جهت حل مشکل منطقه‌ای کردن داده‌های هیدرومتری و سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، از طریق حداکثر رساندن اطلاعات موجود در مناطق همگن هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند (Skøien, et; 2004, Chokmani and Ouarda, et al, 2006; 2007). Chokmani و Ouarda (2004) رویکرد جدیدی جهت منطقه‌ای نمودن داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار توسعه دادند. در این روش براساس مفهوم همسایگی هیدرولوژیکی (Burn, 1990, Ouarda, et; 2001, al, 2000, 2001, Cavadias, et al; 2001, Holmes, et; 2001, al, 2002, Gaal, et al; 2007) و با استفاده از کریجینگ به درون‌یابی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی پرداختند. پس از ارائه نتایج مؤفقت‌آمیز کاربرد روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی (PSBI) این روش مورد توجه سایر محققین قرار

سیلاب منطقه‌ای نسبت به روش کریجینگ معمولی و روش‌های رگرسیونی ارائه می‌نماید. Castiglioni و همکاران (۲۰۱۱) از روش زمین آمار به منظور پیش‌بینی جریان حداقل در حوضه‌های بدون آمار ایتالیا استفاده نمودند. آنها با استفاده از داده‌های ۵۱ حوضه آبریز از روش درون‌یابی بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی و Top-Kriging جهت منطقه‌ای نمودن Q355 استفاده نمودند. نتایج ارزیابی متقابل نشان داد که دو روش بکار گرفته شده مکمل یکدیگر هستند، بطوری که Top-Kriging در طول آبراهه اصلی و روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی در حوضه‌های بالادست عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد. Archfield و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای با هدف بررسی عملکرد روش‌های کریجینگ بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی و کریجینگ توپولوژی با روش رگرسیون منطقه‌ای جهت پیش‌بینی سیلاب طرح در مکان‌های فاقد داده در ایالات متحده آمریکا انجام دادند. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار از عملکرد بهتری برخوردار هستند. با توجه به تغییرات مکانی و زمانی بارش و همچنین پتانسیل سیل‌خیزی در استان مازندران، اطلاع از احتمال وقوع یا دوره بازگشت سیلاب‌ها و همچنین محدوده گسترش آنها می‌تواند برنامه‌ریزان و متخصصان کشور را در زمینه ارائه راهکارهای کنترل این پدیده مخرب یاری نماید. اما پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی همواره با مشکل عدم کفایت، کمبود و ناقص بودن مشاهدات در مکان‌های مورد نظر مواجه هستند. بنابراین بکارگیری روش‌های نوین تحلیل منطقه‌ای که با هدف مقابله با کمبود و عدم کفایت مشاهدات توسعه یافته‌اند؛ ضرورت می‌یابد. این مطالعه، با هدف بررسی کارایی روش‌های درون‌یابی (زمین‌آمار و قطعی) بر پایه فضای فیزیوگرافی جهت منطقه‌ای کردن حوضه‌های آبخیز واقع در شرق دریای خزر و برآورد سیلاب منطقه‌ای انجام شد.

حداقل در حوضه‌های بدون آمار ایتالیا به ارزیابی عملکرد روش‌های درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی پرداختند. داده‌های مربوطه از ۵۱ حوضه آبریز جمع‌آوری شد و از دو روش درون‌یابی زمین‌آمار و درون‌یابی قطعی استفاده نمودند. ارزیابی متقابل نتایج با استفاده از روش جک نایف نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نتایج بهتری نسبت به روش‌های قطعی ارائه می‌دهند. Martel و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی فراوانی منطقه‌ای سیلاب پائیزی در ایالت کبک کانادا در سه بازه‌ی زمانی با احتمال وقوع سیلاب پائیزی پرداختند. آنها از دو روش آنالیز همبستگی متعارف و کریجینگ بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی جهت آنالیز فراوانی منطقه‌ای، حجم و اوج سیلاب استفاده نمودند. داده‌های ۲۹ ایستگاه را مورد بررسی قرار دادند و از روش جک نایف برای ارزیابی برآوردها استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هر دو مدل عملکرد مطلوبی ارائه می‌دهند. Guillemette و همکاران (۲۰۰۹) از روش درون‌یابی بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی جهت برآورد حداکثر دمای آب رودخانه‌های کانادا در مقیاس وسیعی استفاده نمودند. داده‌های ۱۲ ایستگاه سنجش حداکثر دمای آب رودخانه گردآوری شد و ساخت فضای فیزیوگرافی براساس روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی و همبستگی متعارف صورت گرفت. ارزیابی متقابل نشان دهنده‌ی عملکرد رضایت‌بخش هر دو روش بود. Kamali Nezhad و همکاران (۲۰۱۰) به منظور تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب از روش کریجینگ باقیمانده (RK) بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی به‌منظور استفاده‌ی کارآمد از هرگونه روند مکانی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی استفاده نمودند. بدین منظور، با استفاده از داده‌های ۱۵۱ ایستگاه واقع در ایالت کبک و روش ارزیابی متقابل نشان دادند که نتایج روش کریجینگ باقیمانده برآوردهای کارآمدتری از مقادیر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری

متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی مؤثر بر آن، ماهیتی پیوسته خواهد داشت؛ و امکان درون‌یابی آن میسر می‌گردد (Chokmani and Ouarda, 2004). فضای فیزیوگرافی، یک فضای چند بعدی تعریف شده توسط متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی مؤثر بر کمیت مورد نظر می‌باشد؛ مختصات آن بوسیله‌ی توصیف‌گرهای ژئومورفولوژیکی می‌باشد؛ هر حوضه و روش‌های آماری چندمتغیره بدست می‌آید. در نتیجه حوضه‌هایی با خصوصیات اقلیمی و فیزیوگرافی مشابه، مختصات یکسانی در این فضا خواهند داشت. هر حوضه می‌تواند بعنوان یک نقطه در فضای $X-Y$ تعریف شده توسط متغیرهای ژئومورفولوژیکی قرار گرفته و مقادیر تجربی کمیت مورد نظر (سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف) بعنوان محور سوم یا Z در نظر گرفته شود و درون‌یابی را با استفاده از یک الگوریتم درون‌یابی استاندارد انجام داد. در نتیجه به منظور درون‌یابی داده‌های هیدرولوژیکی، مختصات هر حوضه در فضای فیزیوگرافی، بجای مختصات جغرافیایی آنها باید مورد استفاده قرار گیرد (Castiglioni et al, 2009)؛ ساخت فضای فیزیوگرافی براساس روش‌های آماری چندمتغیره نظیر: تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) و روش همبستگی متعارف (CCA) امکان‌پذیر می‌باشد (Castiglioni, et al; 2004, Chokmani and Ouarda, 2010; Kamali Nezhad; 2011; 2009, al).

تجزیه مؤلفه‌های اصلی: PCA جزء روش‌های آماری چند متغیره می‌باشد؛ که اغلب به‌منظور کاهش ابعاد مجموعه داده‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آنالیز به کاربر اجازه می‌دهد که فضای n بعدی را به یک فضای جدید تعریف شده با m متغیر (یعنی مؤلفه‌های اصلی) تبدیل نماید. بطوری که m یک ترکیب خطی با مقادیر بین ۱ تا n از متغیرهای اصلی باشد (رابطه ۱). (Castiglioni et al, 2009).

$$PCm = a_1n X_1 + a_2n X_2 + \dots + ann X_n \quad (1)$$

در رابطه ۱، PCm مؤلفه اصلی m ام، X مقادیر متغیرها و a_{ij} ضرایب ثابت می‌باشند (Farshadfar, 2010).

روش تجزیه و تحلیل و ارزیابی نتایج: به‌منظور بررسی صحت نتایج و ارزیابی قابلیت اطمینان در برآوردهای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف از روش ارزیابی متقابل جک نایف استفاده گردید. این روش در ارزیابی عملکرد تکنیک‌های درون‌یابی کارایی لازم را دارد؛ زیرا شرایط بدون اندازه‌گیری را برای هر یک از ۳۸ حوضه فراهم می‌نماید. مراحل روش جک نایف را می‌توان به شرح زیر بیان نمود: ۱- حذف حوضه i از مجموعه n حوضه و شبیه‌سازی شرایط بدون سنجش برای حوضه i ام؛ ۲- استفاده از روش PCA در فضای فیزیوگرافی دو بعدی تعریف شده برای $n-1$ حوضه باقیمانده؛ ۳- استفاده از تکنیک درون‌یابی در فضای فیزیوگرافی؛ ۴- برآورد خطای محاسباتی و تکرار مراحل ۱ تا ۴، $n-1$ مرتبه براساس حوضه‌های باقیمانده؛ ۵- مقایسه‌ی نتایج بدست آمده بوسیله‌ی روش جک نایف با مقادیر تجربی مورد نظر با استفاده از ۴ شاخص آماری براساس روابط ۲ تا ۵ (Castiglioni 2009, et al).

موقعیت منطقه مورد مطالعه: استان مازندران با مساحتی بالغ بر ۲۴ هزار کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی $35^{\circ} 47'$ تا $54^{\circ} 14'$ طول شرقی به شکل نواری پهن در شمالی و $50^{\circ} 34'$ تا $58^{\circ} 36'$ عرض شمالی و سواحل جنوبی دریای مازندران قرار گرفته است (شکل ۱). حداقل ارتفاع آن مربوط به سواحل دریای مازندران با ۲۶- متر و حداکثر آن قله دماوند با ارتفاع ۵۶۷۰ متر می‌باشد. آب و هوا در نواحی دشتی معتدل و مرطوب است و در ارتفاعات از معتدل مرطوب تا سرد خشک تغییر می‌نماید. بارش متوسط سالانه در جهت غرب به شرق کاهش یافته و از ۱۰۰۰ میلیمتر به ۳۰۰ میلیمتر می‌رسد. میانگین درجه حرارت سالانه در همین جهت افزایش می‌یابد (Eslamiyan, et al, 2004).

داده‌های مورد استفاده و تجزیه و تحلیل آماری: حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه مربوط به ۳۸ ایستگاه هیدرومتری منتخب استان مازندران با طول دوره آماری ۱۳ تا ۵۶ سال گردآوری شد. داده‌ها از نظر وجود داده پرت و همچنین کیفیت مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مقادیر دبی اوج لحظه‌ای مشاهده شده با استفاده از توزیع‌های آماری هر ایستگاه براساس برازش با روش گشتاورهای خطی و حداکثر احتمال درست‌نمایی بدست آمد (جدول ۱). علاوه بر داده‌های هیدرولوژیکی مجموعه‌ای از اطلاعات اقلیمی و فیزیوگرافی منطقه نیز استفاده شد. داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه از سازمان تحقیقات منابع آب ایران تهیه گردید و دو شاخص میانگین بارش سالانه و میانگین بارش ماهانه استخراج گردید. داده‌های فیزیوگرافی مورد نظر با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی منطقه در ابعاد سلولی 30×30 متر و نقشه توپوگرافی $1:25000$ با استفاده از نرم افزار ArcGIS و دو الحاقیه ArcHydro و Hec Geo HMS محاسبه گردید. در مجموع تعداد ۱۵ متغیر فیزیوگرافی و اقلیمی که عبارتند از: متوسط بارش سالانه و ماهانه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه، حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع حوضه، شیب متوسط حوضه، مساحت و محیط حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، درصد مساحت پوشیده شده با جنگل و دریاچه در نظر گرفته شد. به منظور حذف اثرات اختلاف واحد موجود در متغیرهای هیدرولوژیکی، اقلیمی و فیزیوگرافی تمامی داده‌ها قبل از هر آنالیزی با استفاده از تبدیل لگاریتمی و براساس آزمون کولموگروف اسمیرنوف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، تا از نرمال بودن آنها اطمینان حاصل شود.

ساخت فضای فیزیوگرافی: در فضای جغرافیایی سیلاب کمیتی مجزا و فاقد ساختار مکانی می‌باشد، حتی در حوضه‌های همجوار مقادیر آن تغییرات زیادی دارد؛ زیرا مکانیسم تولید سیلاب و پارامترهای مؤثر بر آن، در هر حوضه منحصر به فرد می‌باشد. در واقع وقوع سیلاب در هر مکان، نشان دهنده‌ی پاسخ هیدرولوژیکی به اقلیم غالب منطقه و منعکس کننده‌ی تأثیر خصوصیات فیزیکی و ژئومورفولوژی حوضه‌ها می‌باشد. در این صورت اگر چه سیلاب ماهیتی پیوسته در فضای جغرافیایی ندارد، اما در فضای فیزیوگرافی طراحی شده توسط

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	مساحت (km ²)	طول دوره آماری	دبی اوج لحظه‌ای با دوره بازگشت ۱۰ سال
۱	سفیدچاه	۹۲/۱۰۳۶	۳۴	۲۳/۱۹
۲	گلورد	۷۴/۱۴۲۷	۲۷	۱۱۴
۳	آبلو	۶۱/۱۹۰۵	۳۰	۱۵۰/۷۱
۴	نوذرآباد	۳۲/۲۰۱۷	۳۴	۱۰۰/۹۵
۵	سلیمان تنگه	۲۵/۱۲۴۸	۴۶	۵۸/۴۱
۶	ریگ چشمه	۲۵/۲۷۱۵	۴۸	۱۴۵/۲۱
۷	گرمرو	۷۸/۸۷۶	۲۶	۸۲/۳۶
۸	کردخیل	۵۷/۴۰۲۶	۳۵	۳۰۹/۸۹
۹	دارابکلا	۵۷/۲۷	۲۸	۲۹/۱۸
۱۰	کریکلا	۶۳/۵۶۶	۲۲	۲۱/۵
۱۱	کیاکلا	۷۹/۲۳۸۶	۵۴	۲۶۶/۸۷
۱۲	شیرگاه کسلییان	۸۹/۳۴۲	۵۴	۱۵۱/۴۹
۱۳	شیرگاه تالار	۱۶/۱۷۷۶	۵۰	۹۳/۹۳
۱۴	پاشاکلا	۳۳/۲۱۱	۱۳	۴۳/۳۵
۱۵	قرآن تالار	۶۱/۴۰۶	۵۳	۱۹۷/۲۹
۱۶	کشتارگاه	۱۵/۱۶۲۵	۵۴	۴۳۳/۷۵
۱۷	بلده	۷۴/۷۵۲	۲۸	۴۱/۲۹
۱۸	رزن	۳۱/۱۱۸۲	۳۶	۴۸/۵۸
۱۹	پنجاب	۵۲/۲۳۵	۲۹	۳۵/۶۲
۲۰	کره سنگ	۶۶/۳۹۸۶	۵۵	۱۷۴/۹۶
۲۱	بلیران	۰۶/۸۲	۱۳	۲۶/۷۴
۲۲	آغوزکتی	۶۲/۱۴۰	۴۶	۲۹/۵۹
۲۳	نوشهر	۴۹/۷۵	۳۴	۴۱/۳۷
۲۴	دره هریجان	۸۳/۸۴	۲۱	۹/۲۸
۲۵	ولی آباد	۰۹/۱۸۱	۲۱	۵۸/۹۷
۲۶	آبشار	۱۸/۵۸۶	۲۲	۵۸/۵۹
۲۷	دوآب چالوس	۴۳/۶۲۷	۲۸	۱۷/۳۸
۲۸	پل ذغال	۳۶/۱۵۸۳	۵۶	۹۴/۱۵
۲۹	کلاردشت	۴۶/۱۹۰	۴۸	۲۰/۴۵
۳۰	والت	۵۱/۳۳۰	۲۷	۲۵/۰۶
۳۱	زوات	۰۰/۴۱۹	۳۰	۳۱/۶۱
۳۲	ماشالله آباد	۳۴/۱۵۱	۲۰	۵۶/۴۹
۳۳	هرات بر	۲۰/۷۷۶	۳۸	۱۱۵/۴۷
۳۴	گانگسر	۲۲/۴۰۹	۳۲	۶۲/۸۴
۳۵	رامسر	۸۱/۱۳۵	۳۵	۴۳/۴۹
۳۶	دینار سرا	۶۸/۲۲۴	۲۵	۳۷/۵۵
۳۷	اسکومحله	۳۰/۸۱	۱۸	۳۱/۲۳
۳۸	رضا پت	۱۹/۱۰۸	۱۵	۳۹/۳۴

در این روابط ns تعداد ایستگاه‌ها، $Q_{reg}(i)$ ، $Q_{loc}(i)$ بترتیب دبی مشاهده شده و منطقه‌ای متعلق به ایستگاه Am با دوره بازگشت T سال می‌باشد (2008, Ouarda, et al).

نتایج

بررسی اصولی رفتار فیزیکی حوضه زهکشی، مستلزم حذف اثر مقیاس، از مجموعه داده‌ها می‌باشد (2002, Eaton, et al). بنابراین برای حذف اثر مقیاس از مقادیر دبی ویژه (مقادیر دبی استاندارد شده بوسیله وسعت حوضه) نیز استفاده شد و در هریک از روش‌های درون‌یابی، عملکرد مقادیر دبی ویژه با مقادیر دبی اصلی (دبی اوج بدون تغییرات) مورد مقایسه قرار گرفت.

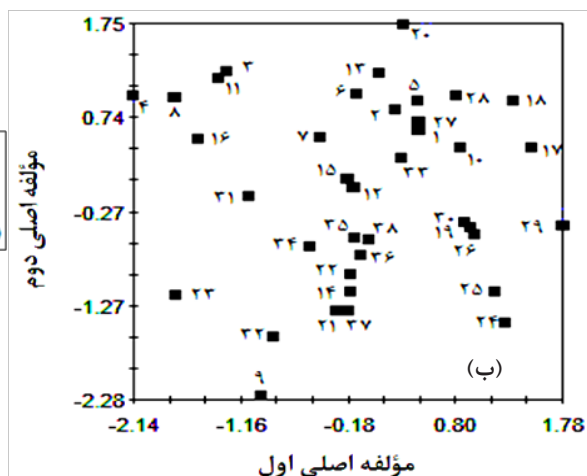
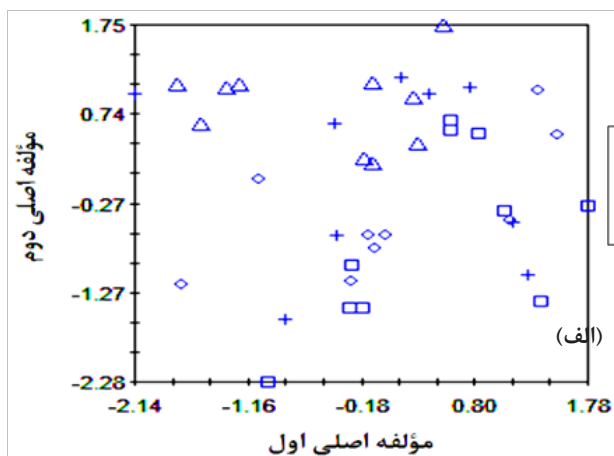
ساخت فضای فیزیوگرافیک (تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی): ساخت فضای فیزیوگرافی با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی و در نظر گرفتن ۶ متغیر: مساحت حوضه، شیب متوسط حوضه، طول آبراهه‌ی اصلی، شیب آبراهه اصلی، حداقل ارتفاع حوضه و ارتفاع ایستگاه‌های هیدرومتری انجام شد.

$$BIASr = \frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} \left[\frac{Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)}{Q_{loc}(i)} \right] \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} [Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)]^2} \quad (3)$$

$$RMSEr = \sqrt{\frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} \left[\frac{Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)}{Q_{loc}(i)} \right]^2} \quad (4)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{ns} (Q_{reg} - Q_{loc})^2}{\sum_{i=1}^{ns} (Q_{loc} - \bar{Q}_{loc})^2} \quad (5)$$



شکل ۲- (الف) نحوه قرارگیری مقادیر دبی اصلی با دوره بازگشت ۱۰ سال در فضای فیزیوگرافی PCA و (ب) نحوه پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری در فضای فیزیوگرافی PCA

ایستگاه‌های هیدرومتری مطابق جدول ۱ می‌باشد. پس از طراحی فضای فیزیوگرافی مختصات هر ایستگاه در این فضا برای انجام مراحل بعدی محاسبات بدست آمد.

تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما: شناسایی و اندازه‌گیری ساختار مکانی متغیرهای هیدرولوژیکی، با استفاده از نیم‌تغییرنماهای تجربی ایزوتروپیک در فضای فیزیوگرافی طراحی شده با PCA، برای هر دو سری مقادیر دبی اصلی و دبی ویژه صورت گرفت؛ و ناهمسانگردی داده‌ها در جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. پس از محاسبه‌ی نیم‌تغییرنمای تجربی، باید مدل تئوری به آن برازش داده شود.

فضای فیزیوگرافی یک فضای دو بعدی ایجاد شده، توسط مؤلفه اصلی اول و مؤلفه اصلی دوم می‌باشد. این دو مؤلفه‌ی اصلی در مجموع ۷۳/۷۴ درصد از واریانس کل (به ترتیب ۴۱/۷۳٪ و ۳۲٪) را بیان می‌کنند. شکل ۲-الف نحوه‌ی پراکنش مقادیر دبی اصلی با دوره بازگشت ۱۰ سال را در فضای فیزیوگرافی PCA ارائه می‌کند. با توجه به شکل مذکور داده‌های دبی از توزیع تقریباً یکنواختی در فضای فیزیوگرافی برخوردار هستند. لازم بذکر است که فضای فیزیوگرافی در نظر گرفته شده برای هر دو سری مقادیر دبی اصلی و دبی ویژه یکسان می‌باشد. نحوه قرارگیری ایستگاه‌های هیدرومتری در فضای فیزیوگرافی در شکل ۲-ب ارائه شده است. شماره

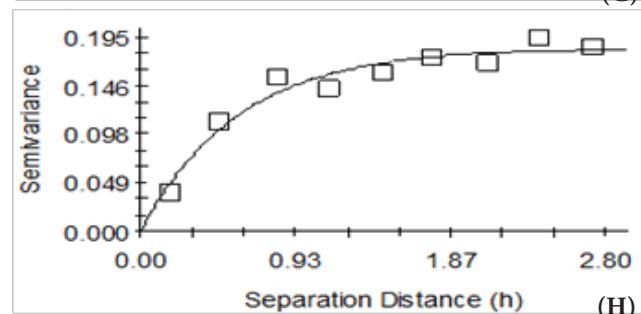
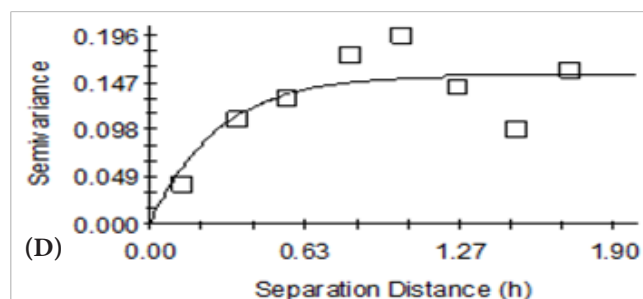
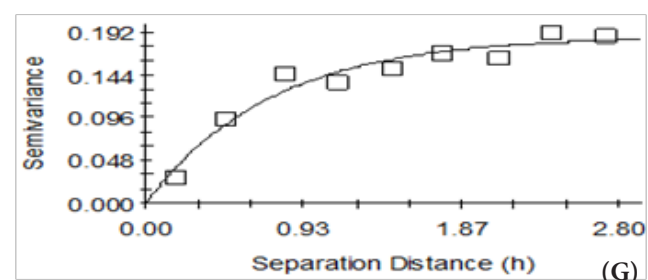
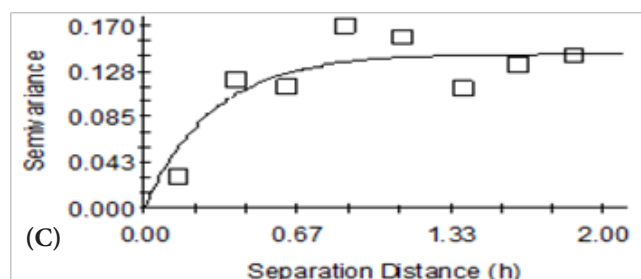
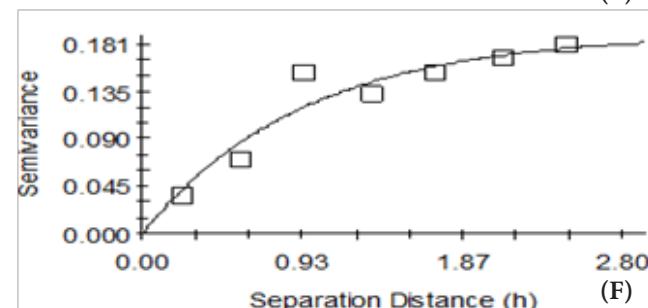
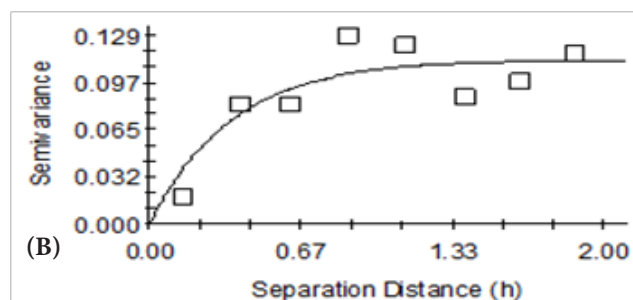
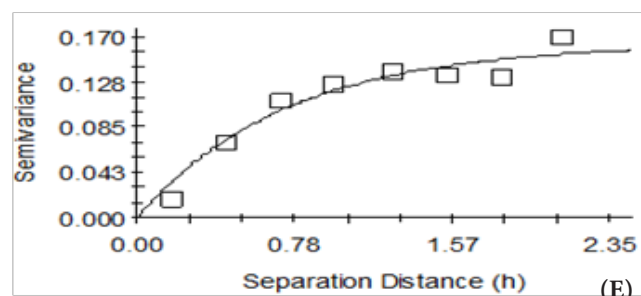
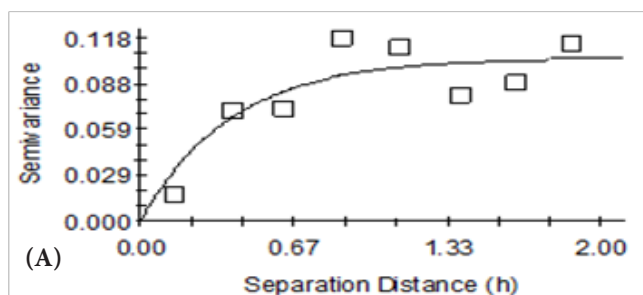
برازش داده شده به مقادیر دبی اصلی و دبی ویژه با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال می‌باشد.

تجزیه و تحلیل نتایج درون‌یابی: برآوردهای منطقه‌ای سیلاب با در نظر گرفتن سه روش درون‌یابی و لحاظ نمودن چهار دوره بازگشت محاسبه گردید. مقایسه‌ی نتایج درون‌یابی، براساس دو روش کریجینگ معمولی (OK) و کریجینگ ساده (SK) با مقادیر دبی مشاهده شده در شکل ۴ ارائه شده است. محور X نمودار نشان دهنده‌ی مقادیر دبی مشاهده شده و محور Y نشان دهنده‌ی مقادیر دبی اوج لحظه‌ای منطقه‌ای برآورد شده براساس دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد.

مدل‌های تئوری: کروی، نمایی، دایره‌ای و گووسی جهت برازش با واریوگرام‌های تجربی مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به الگوی مکانی نشان داده شده توسط نیم‌تغییرنما تجربی و شاخص‌های آن، در نهایت مدل نمایی برای هر دو سری مقادیر دبی اصلی و دبی ویژه مناسب ارزیابی شد. معادله واریوگرم مدل نمایی براساس رابطه ۶ می‌باشد:

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-\frac{h}{a}}) \quad (6)$$

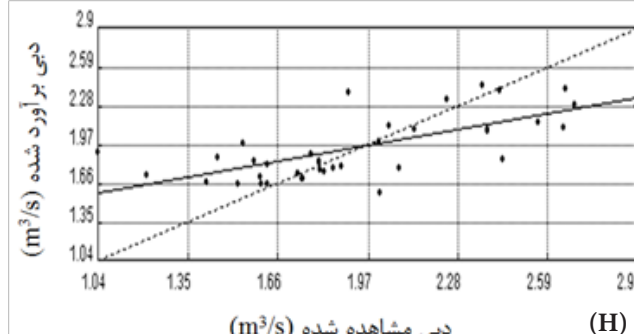
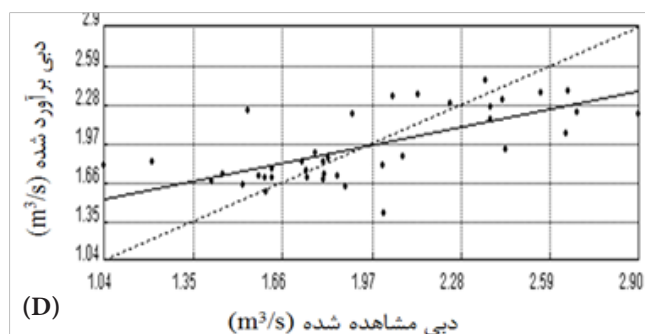
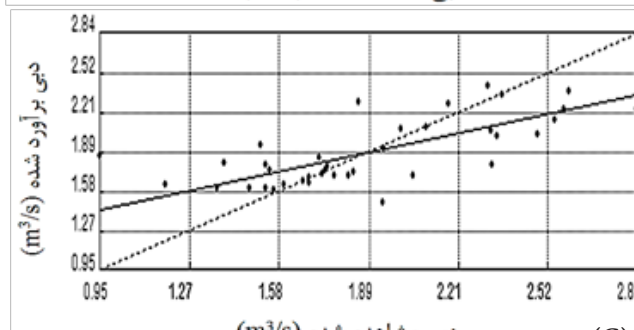
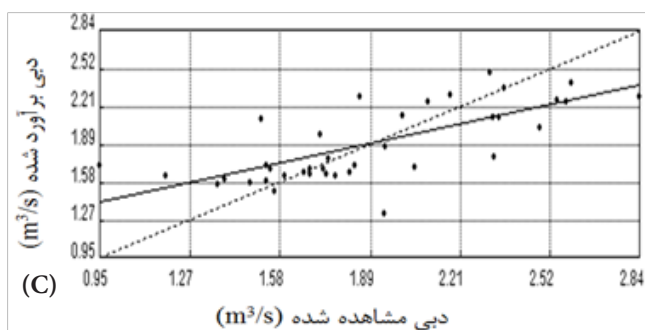
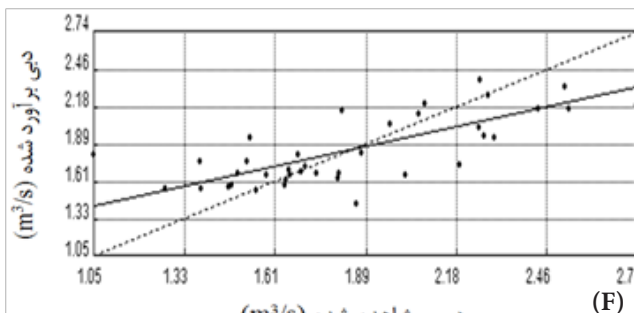
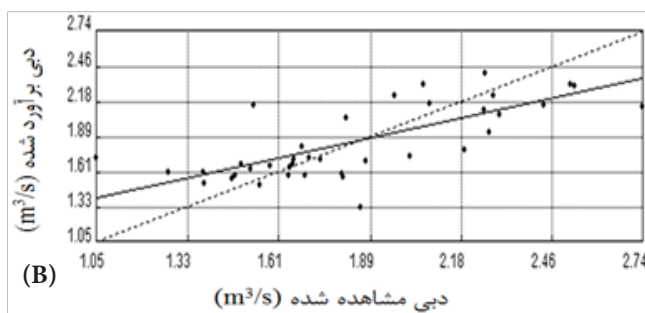
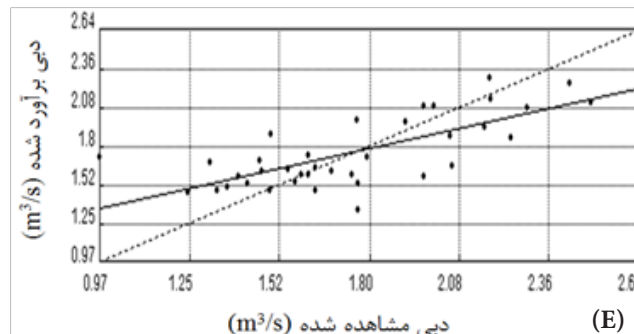
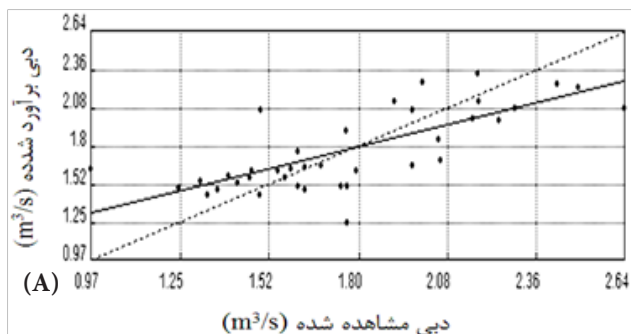
که در آن C حد آستانه‌ای و a دامنه تأثیر و h میزان فاصله می‌باشد (2007, Hassani Pak). شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی نیم‌تغییرنماهای



شکل ۳- نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده با مقادیر دبی اصلی (با دوره بازگشت A=10، B=20، C=50 و D=100 سال) و دبی ویژه (با دوره بازگشت E=10، F=20، G=50 و H=100 سال)

نتایج ارزیابی برآوردهای منطقه‌ای کمیت سیلاب براساس دبی اصلی و در نظر گرفتن سه روش درون‌یابی کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش IDW در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی نتایج بدست آمده براساس معیارهای ارزیابی عملکرد نشان داد، سه روش درون‌یابی عملکرد مشابه و نزدیکی دارند.

هر چه پراکنش نقاط و خط بهترین برازش به خط ۱:۱ نزدیک‌تر باشد، دقت مدل مورد بررسی بالاتر خواهد بود. در ادامه عملکرد روش‌های مختلف درون‌یابی براساس روش جک‌نایف و بکارگیری چهار شاخص ارزیابی عملکرد $BIAS_r$ ، $RMSE$ ، $RMSE_r$ و $NASH$ مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۴- مقایسه مقادیر دبی اوج لحظه‌ای ناحیه‌ای (محور Y) با دبی مشاهده شده (محور X) براساس کریجینگ معمولی با دوره بازگشت‌های $a=10$ ، $b=20$ ، $c=50$ و $d=100$ سال و براساس کریجینگ ساده با دوره بازگشت‌های $e=10$ ، $f=20$ ، $g=50$ و $h=100$ سال (خط نقطه‌چین بعنوان خط ایده‌آل ۱:۱ و خط ممتد براساس بهترین برازش با مقادیر دبی اوج ناحیه‌ای (نقاط) ترسیم شده است).

معمولی و IDW عملکرد مشابهی دارند و کریجینگ ساده در مقایسه با کریجینگ معمولی و IDW ضعیف‌ترین عملکرد را ارائه می‌دهد. نتایج ارزیابی برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس دبی ویژه و بکارگیری سه روش درون‌یابی در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر دبی ویژه به‌منظور حذف اثر مقیاس بوسیله‌ی وسعت حوضه زهکشی استاندارد شده‌اند. بنابراین شاخص‌های نسبی، معیارهای اصلی جهت ارزیابی عملکرد این داده‌ها محسوب نمی‌گردد (Ouarda, et al, 2008). مقادیر منفی شاخص BIASr در جدول ۳ نشان دهنده‌ی برآوردهای بیشتر از مقدار واقعی روش‌های درون‌یابی می‌باشد. با افزایش دوره بازگشت مقدار شاخص RMSE در حال افزایش است، ولی عملکرد دو شاخص BIASr و RMSEr نشان‌دهنده‌ی بهبود عملکرد روش‌های درون‌یابی می‌باشد. شاخص NASH در حدود ۰/۷-۰/۴ برآورد گردید؛ که نسبت به مقادیر دبی اصلی عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. وجود طیف گسترده حوضه‌های آبریز از حیث وسعت و رژیم‌های هیدرولوژیکی، باعث عملکرد ضعیف شاخص RMSEr گردیده است. بطوری که وسعت حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه از ۲۷ تا ۴۰۲۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. بنابراین تغییرات زیاد شاخص RMSEr (۳۵۸-۹۵ درصد) دور از انتظار نخواهد بود. براساس نتایج جدول ۳، ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به کریجینگ ساده بوده و دو روش کریجینگ معمولی و IDW عملکردشان مشابه و نسبت به کریجینگ ساده مطلوب‌تر می‌باشند.

با توجه به نتایج جداول ۲ و ۳ نتیجه‌گیری می‌شود دبی ویژه در دو شاخص RMSE و NASH عملکرد بهتری نسبت به مقادیر دبی اصلی دارد و عملکرد دبی اصلی در دو شاخص BIASr و RMSEr از دبی ویژه مطلوب‌تر است.

خطاهای مشاهده شده نشان دهنده‌ی دقت بالا و کارآمدی روش‌های بکار گرفته شده در این مطالعه می‌باشد؛ بطوری که با وجود بکارگیری سه روش مختلف درون‌یابی و در نظر گرفتن دوره‌های بازگشت مختلف میزان شاخص BIASr کمتر از ۴ درصد و شاخص RMSEr کمتر از ۲۲ درصد بدست آمد. با افزایش دوره بازگشت مقادیر شاخص RMSE در حال افزایش است. شکل ۴ به وضوح نشان دهنده‌ی افزایش مقادیر شاخص RMSE و میانگین خطا با افزایش دوره بازگشت می‌باشند. اما نتایج دو شاخص BIASr و RMSEr نشان‌دهنده‌ی بهبود عملکرد روش‌های درون‌یابی با افزایش دوره بازگشت می‌باشند. عملکرد شاخص‌های نسبی نظیر BIASr و RMSEr در بررسی کارایی کمیت‌های سیلاب منطقه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند؛ زیرا با بکارگیری شاخص‌های نسبی به جای شاخص‌های معین نظیر RMSE هرگونه اثر بالقوه مقیاس از نتایج حذف می‌گردد (Ouarda, et al, 2008).

شاخص NASH یکی دیگر از شاخص‌های بکار گرفته شده در این مطالعه می‌باشد، که جزء بهترین معیارهای ارزیابی عملکرد برای داده‌های دبی اوج محسوب می‌گردد. مقادیر منفی این شاخص نشان‌دهنده نامناسب بودن روش بوده و در بهترین حالت مقدار آن برابر با یک می‌باشد (Chokmani & Ouarda, 2004). براساس شاخص NASH عملکرد سه روش درون‌یابی در محدوده ۰/۵-۰/۴ برآورد گردید، که نشان‌دهنده‌ی عملکرد نسبتاً رضایت‌بخش آنها می‌باشد. بهترین عملکرد براساس شاخص NASH مربوط به Q_{10} بوده و با افزایش دوره بازگشت میزان خطا افزایش می‌یابد. براساس نتایج جدول ۲، روش کریجینگ معمولی در دو شاخص BIASr و RMSEr عملکرد بهتری نسبت به روش کریجینگ ساده و IDW دارد، اما براساس شاخص‌های NASH و RMSE روش کریجینگ

جدول ۲- نتایج ارزیابی متقابل برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس دبی اصلی

روش	متغیر	واحد	BIASr%	RMSE	RMSEr%	NASH
OK	Q_{10}	m^3/s	۲/۴۶۷	۰/۲۵۵	۱۷/۳۸۳	۰/۵۳۲
	Q_{20}	m^3/s	۲/۴۶۶	۰/۲۶۵	۱۶/۸۵۲	۰/۵۱۵
	Q_{50}	m^3/s	۳/۲۹۹	۰/۲۹۷	۱۹/۸۸۶	۰/۵۱۰
IDW	Q_{100}	m^3/s	۳/۵۷۹	۰/۳۲۲	۲۰/۲۲۲	۰/۴۴۳
	Q_{10}	m^3/s	۲/۷۳۹	۰/۲۵۴	۱۷/۴۱۵	۰/۵۳۴
	Q_{20}	m^3/s	۲/۸۰۹	۰/۲۶۴	۱۶/۸۵۱	۰/۵۲۰
SK	Q_{50}	m^3/s	۳/۹۷۱	۰/۳۱۰	۲۱/۱۱۱	۰/۴۶۵
	Q_{100}	m^3/s	۳/۹۵۸	۰/۳۲۴	۲۰/۴۲۸	۰/۴۳۷
	Q_{10}	m^3/s	۲/۷۱۷	۰/۲۵۷	۱۸/۱۵۴	۰/۵۲۳
SK	Q_{20}	m^3/s	۲/۶۹۳	۰/۲۶۴	۱۷/۲۹۲	۰/۵۱۹
	Q_{50}	m^3/s	۳/۸۷۷	۰/۳۰۵	۲۱/۳۹۳	۰/۴۸۳
	Q_{100}	m^3/s	۳/۸۴۶	۰/۳۱۳	۲۰/۳۱۶	۰/۴۷۳

جدول ۳- نتایج ارزیابی متقابل برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس دبی ویژه

روش	متغیر	واحد	BIASr%	RMSE	RMSEr%	NASH
OK	q_{10}	$m^3/s.km^2$	-۴۲/۶۹۲	۰/۲۲۱	۳۰۲/۵۴۱	۰/۶۹۵
	q_{20}	$m^3/s.km^2$	-۲/۷۴۱	۰/۲۴۱	۹۵/۷۸۸	۰/۶۴۸
	q_{50}	$m^3/s.km^2$	۴۰/۹۲۲	۰/۲۶۲	۲۳۷/۵۹۸	۰/۶۰۰
	q_{100}	$m^3/s.km^2$	۵/۶۸۴	۰/۲۸۱	۱۳۳/۴۶۵	۰/۵۵۶
IDW	q_{10}	$m^3/s.km^2$	-۴۴/۱۷۷	۰/۲۱۶	۳۱۳/۲۳۵	۰/۷۱۰
	q_{20}	$m^3/s.km^2$	-۳/۸۸۶	۰/۲۳۶	۹۷/۷۸۲	۰/۶۶۱
	q_{50}	$m^3/s.km^2$	۳۳/۰۰۱	۰/۲۶۶	۱۹۳/۵۶۰	۰/۵۸۸
	q_{100}	$m^3/s.km^2$	۴/۶۳۶	۰/۲۸۹	۱۱۵/۶۴۰	۰/۵۳۰
SK	q_{10}	$m^3/s.km^2$	-۵۰/۰۰۲	۰/۲۳۵	۳۵۸/۶۸۱	۰/۶۵۷
	q_{20}	$m^3/s.km^2$	-۲/۷۳۱	۰/۲۵۱	۱۱۳/۳۱۸	۰/۶۱۷
	q_{50}	$m^3/s.km^2$	۵۸/۲۰۴	۰/۲۸۱	۳۲۱/۹۸۷	۰/۵۴۰
	q_{100}	$m^3/s.km^2$	۷/۷۷۸	۰/۳۰۱	۱۶۸/۴۷۹	۰/۴۹۰

نتایج جدول ۵ با جدول ۳ نشان‌دهنده‌ی بهبود عملکرد روش‌های درون‌یابی پس از حذف ایستگاه‌های ناهنجار می‌باشد. شاخص NASH از ۰/۷-۰/۴ به ۰/۸-۰/۶ با وجود ۳۱ ایستگاه بهبود یافت. شاخص RMSE در صورت وجود تمام ایستگاه‌ها ۰/۳۰-۰/۲۱ بوده که پس از حذف به ۰/۲۱-۰/۱۴ کاهش یافت. شاخص RMSEr بیشترین تغییرات را نشان داد، بطوری که از ۳۵۸-۹۵ درصد در حالت اول به ۲۳۶-۲۶ درصد بهبود یافت؛ و در نهایت شاخص BIASr نیز بهبود عملکرد را پس از حذف هفت ایستگاه نشان داد. براساس نتایج جدول ۵ ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به کریجینگ ساده می‌باشد. روش کریجینگ معمولی در شاخص‌های NASH و RMSE عملکرد بهتری نسبت به روش کریجینگ ساده و IDW ارائه می‌دهند، در حالی که براساس شاخص‌های RMSEr و BIASr روش IDW عملکرد مطلوب‌تری نسبت به کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده نشان می‌دهد. پس از حذف هفت ایستگاه نیز ملاحظه شد با افزایش دوره بازگشت، شاخص RMSE در حال افزایش است ولی عملکرد دو شاخص RMSEr و BIASr بهبود می‌یابد.

بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود، کیفیت برآوردهای منطقه‌ای با استفاده از روش درون‌یابی بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی با افزایش دوره بازگشت بهبود می‌یابد. بر همین اساس با توجه به دو شاخص NASH و RMSE عملکرد برآوردهای منطقه‌ای بر پایه دبی ویژه از دبی اصلی بهتر ارزیابی گردید و با توجه به دو شاخص RMSEr و BIASr برآوردهای منطقه‌ای بدست آمده براساس دبی اصلی نسبت به دبی ویژه از دقت بالاتری برخوردار است. این نتایج با مطالعات Ouarda در سال ۲۰۰۸ و Martel در سال ۲۰۰۹ کاملاً مطابقت دارد. Ouarda در مطالعه‌ای به بررسی کارایی روش زمین‌آمار بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب در چندین حوضه آبخیز مکزیک پرداختند.

پس از بررسی نتایج، خطای مربوط به تک تک ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی قرار گرفت، تا ایستگاه‌هایی که عامل بیشترین خطا و ایجاد ناهنجاری در برآوردها محسوب می‌گردند، بمنظور کاهش خطاهای محاسباتی و بهبود کارایی روش‌های درون‌یابی شناسایی و از مجموعه‌ی داده‌ها حذف گردند. در مجموع هفت ایستگاه که عامل بیشترین خطا در هر دو سری مقادیر دبی اصلی و دبی ویژه بودند، شناسایی و از داده‌ها حذف گردیدند. پس از حذف هفت ایستگاه: گلورد، دارابکلا، کشتارگاه، دره هریجان، ولی‌آباد، دوآب چالوس و زوات نتایج بطور چشمگیری بهبود یافت.

جدول ۴ نتایج ارزیابی برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس مقادیر دبی اصلی پس از حذف هفت ایستگاه را ارائه می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر حذف ایستگاه‌ها نتایج جدول ۴ با جدول ۲ مقایسه گردید. نتایج نشان‌دهنده بهبود عملکرد هر چهار شاخص پس از حذف ایستگاه‌ها بود. شاخص NASH از ۰/۴-۰/۵ در حالت اول به ۰/۷-۰/۵ بهبود یافت. مقادیر شاخص RMSEr از ۲۱-۱۶ درصد در حالت اول به ۱۵-۱۰ درصد پس از حذف هفت ایستگاه کاهش یافت. میزان شاخص BIASr از ۳-۲ درصد در حالت اول به ۲-۱ درصد کاهش یافت، و در نهایت شاخص RMSE از ۳۲-۰/۲۵ در صورت وجود تمام ایستگاه‌ها به ۲۶-۰/۱۸ پس از حذف بهبود یافت. براساس نتایج جدول ۴ هر چند مقادیر شاخص RMSE با افزایش دوره بازگشت در حال افزایش است؛ ولی با توجه به شاخص NASH، BIASr و RMSEr عملکرد روش‌های درون‌یابی در حال بهبود است. براساس شاخص‌های ارزیابی عملکرد، روش کریجینگ معمولی نسبت به روش IDW و کریجینگ ساده بهترین عملکرد درون‌یابی را ارائه می‌دهد.

جدول ۵ نتایج ارزیابی برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس مقادیر دبی ویژه پس از حذف هفت ایستگاه را ارائه می‌دهد. بررسی

بر پایه فضای فیزیوگرافی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب در ایالت کبک پرداختند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد نسبی روش درون‌یابی با افزایش دوره بازگشت با توجه به دو شاخص $BIASr$ و $RMSEr$ در حال بهبود است، هر چند مقدار شاخص $RMSE$ در حال افزایش می‌باشد. همچنین مقایسه‌ی برآوردهای منطقه‌ای براساس دبی اصلی و دبی ویژه نشان داد، که عملکرد دبی اصلی در دو شاخص $RMSE$ و $BIAS$ از دبی ویژه مطلوب‌تر است و عملکرد دبی ویژه در دو شاخص $BIASr$ و $RMSEr$ از دبی اصلی بهتر ارزیابی شد.

نتایج آنها نشان داد در حالی که مقادیر شاخص $RMSE$ با افزایش دوره بازگشت در حال افزایش است، ولی عملکرد روش درون‌یابی با توجه به شاخص‌های نسبی $BIASr$ و $RMSEr$ در حال بهبود است. همچنین مقایسه‌ی برآوردهای منطقه‌ای براساس دبی اصلی و دبی ویژه نشان داد، که عملکرد دبی اصلی در دو شاخص $BIASr$ و $NASH$ از دبی ویژه بهتر است و عملکرد دبی ویژه در دو شاخص $RMSE$ و $RMSEr$ از دبی اصلی مطلوب‌تر است. همکاران در بخشی از مطالعه خود به بررسی کارایی روش زمین‌آمار

جدول ۴- نتایج ارزیابی متقابل برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس دبی اصلی با ۳۱ ایستگاه

روش	متغیر	$BIASr\%$	$RMSE$	$RMSEr\%$	$NASH$
OK	Q_{10}	۱/۰۴۲	۰/۱۸۰	۱۱/۰۲۱	۰/۷۴۶
	Q_{20}	۱/۲۳۱	۰/۱۹۳	۱۰/۷۳۲	۰/۷۰۳
	Q_{50}	۱/۸۸۶	۰/۲۱۵	۱۱/۹۵۰	۰/۷۰۲
	Q_{100}	۱/۱۳۹	۰/۲۲۶	۱۲/۰۷۸	۰/۷۰۸
IDW	Q_{10}	۱/۷۶۶	۰/۲۲۷	۱۳/۷۴۳	۰/۵۹۹
	Q_{20}	۱/۶۴۶	۰/۲۱۷	۱۲/۳۲۸	۰/۶۲۵
	Q_{50}	۲/۱۶۶	۰/۲۳۹	۱۳/۹۴۸	۰/۶۲۸
	Q_{100}	۲/۶۲۴	۰/۲۶۰	۱۵/۷۱۰	۰/۶۱۵
SK	Q_{10}	۱/۸۳۴	۰/۲۲۰	۱۳/۷۷۹	۰/۶۲۲
	Q_{20}	۱/۶۵۹	۰/۲۱۲	۱۲/۳۳۲	۰/۶۴۵
	Q_{50}	۲/۲۷۲	۰/۲۳۷	۱۴/۳۳۱	۰/۶۳۴
	Q_{100}	۲/۶۶۶	۰/۲۵۶	۱۵/۶۸۹	۰/۶۲۶

جدول ۵- نتایج ارزیابی متقابل برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس دبی ویژه با ۳۱ ایستگاه

روش	متغیر	$BIASr\%$	$RMSE$	$RMSEr\%$	$NASH$
OK	q_{10}	۵/۲۶۸	۰/۱۴۵	۲۶/۹۹۹	۰/۸۲۴
	q_{20}	۹/۴۱۱	۰/۱۵۸	۴۰/۶۴۹	۰/۸۰۱
	q_{50}	۴۶/۷۶۸	۰/۱۸۶	۲۲۹/۴۴۴	۰/۷۶۸
	q_{100}	۲/۹۴۴	۰/۱۹۴	۱۱۲/۵۶۷	۰/۷۳۰
IDW	q_{10}	۲/۹۹۶	۰/۱۴۶	۲۶/۱۷۹	۰/۸۲۱
	q_{20}	۵/۴۲۳	۰/۱۵۹	۳۶/۴۸۳	۰/۷۹۹
	q_{50}	۲۹/۵۴۵	۰/۱۹۰	۱۳۹/۰۳۳	۰/۷۶۰
	q_{100}	۴/۹۲۵	۰/۱۹۷	۱۰۸/۳۳۳	۰/۷۲۳
SK	q_{10}	۶/۷۵۴	۰/۱۶۶	۳۶/۴۴۶	۰/۷۶۹
	q_{20}	۱۱/۳۱۹	۰/۱۸۱	۵۲/۵۷۲	۰/۷۳۹
	q_{50}	۵۳/۱۹۳	۰/۲۱۴	۲۳۶/۹۷۱	۰/۶۹۵
	q_{100}	۱۱/۱۶۶	۰/۲۱۹	۱۵۳/۲۸۰	۰/۶۵۶

of influence approach. *Water Resources Research*. 2265–26:2257.

3. Castiglioni, S., Castellarin, A. and Montanari, A. (2009) Prediction of low-flow indices in ungauged basins through physiographical space-based interpolation. *Journal of Hydrology*. 280–272:378.

4. Castiglioni, S., Castellarin, A., Montanari, A., Skøien, J. O., Laaha, G. and Blöschl, G. (2011) Smooth regional estimation of low-flow indices: physiographical space based interpolation and top-kriging. *Hydrology Earth System*. 727–715 :15.

5. Cavadias, G., Ouarda, T. B. M. J., Bobee, B. and Girard, C. (2001) A Canonical Correlation Approach to the Determination of Homogeneous Regions for Regional Flood Estimation of Ungauged Basins. *Hydrological Sciences Journal*. 512-499 :46.

6. Chokmani, K. and Ouarda, T. B. M. J. (2004) Physiographical space-based kriging for regional flood frequency estimation at ungauged sites. *Water Resource Research*. 40: W13-12514.1.

7. De Marsily, G. and Ahmed, S. (1987) Application of kriging techniques in groundwater hydrology. *Journal of Geology Sciences India*. 82–57 :29.

8. Eaton, B., M. Church, and D. Ham. (2002) Scaling and regionalization of flood flows in British Columbia, Canada, *Hydrol. Processes*. :16 3263–3245.

9. Eslamiyan, S., Zarei, A. and Abrishamchi, A. (2004) Regional Estimation of Low Flows for Mazandaran River Basin. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 37-1:27.

10. Farshadfar, E. (2010) Multivariate principles and procedures of statistics. Razi University Press. P:753.

11. Gaal, L., Kysely, J. and Szolgay, J. (2007) Region-of-influence approach to a frequency analysis of heavy precipitation in Slovakia. *Hydrology and Earth System Sciences*. –825 :12 839.

12. Guillemette, N., St-Hilaire, A., Ouarda, T. B. M. J., Bergeron, N., Robichaud, E. and Bilodeau, L. (2009) Feasibility study of a geostatistical modelling of monthly maximum stream temperatures in a multivariate space. *Journal of*

بحث

این مطالعه با هدف بررسی کارایی روش درون‌یابی بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی جهت پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های بدون آمار انجام شد. این روش بر درون‌یابی متغیر هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی بجای فضای جغرافیایی معمول، تأکید دارد. ساخت فضای فیزیوگرافی با استفاده از روش آماری چند متغیره تجزیه مؤلفه‌های اصلی انجام شد و مختصات فیزیوگرافی حوضه‌های بدون آمار، براساس متغیرهای ژئومورفولوژیکی مؤثر بر آنها محاسبه گردید. به منظور بررسی ساختار همبستگی مکانی متغیر مورد نظر و درون‌یابی آن در فضای فیزیوگرافی، از سه روش کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش IDW استفاده شد. با بکارگیری روش‌های درون‌یابی مقادیر منطقه‌ای سیلاب براساس دبی اصلی و دبی ویژه با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه گردید. از روش ارزیابی متقابل جک نایف و چهار شاخص آماری $BIAS_r$ ، $RMSE_r$ ، $RMSE_e$ و NASH جهت ارزیابی عملکرد روش‌های درون‌یابی استفاده شد. نتایج اولیه نشان دهنده‌ی عملکرد موفقیت‌آمیز روش پیشنهادی در منطقه‌ی مورد مطالعه بوده و با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته شده روش کریجینگ معمولی و IDW برآوردهای دقیق‌تری نسبت به روش کریجینگ ساده ارائه می‌دهند. در ادامه پس از شناسایی و حذف ۷ ایستگاه مشکل‌ساز و اجرای عملیات بر ایستگاه‌های باقی‌مانده نتایج بطور چشمگیری بهبود یافت. البته باید توجه داشت که متغیرهای در نظر گرفته شده جهت طراحی فضای فیزیوگرافی، تنها بخشی از متغیرهای مؤثر بر سیلاب می‌باشد؛ و تمامی متغیرهای تأثیرگذار در طراحی آن لحاظ نشده است. از طرفی هم روش PCA به کار برده شده در ساخت فضای فیزیوگرافی، به دنبال حداکثر رساندن واریانس کل در طول محورهای این فضا می‌باشد. به تبع ساخت فضای فیزیوگرافی با بکارگیری روش‌هایی نظیر CCA که هدف آنها حداکثر رساندن همبستگی میان متغیرهای هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی می‌باشد، باعث افزایش کارایی روش‌های درون‌یابی می‌گردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کاربرد روش درون‌یابی بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی رویکردی عملی و مؤثر جهت برآورد منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های آبخیز بدون آمار است؛ لذا پیشنهاد می‌گردد با اجرای این روش در سایر نقاط کشور و مقایسه با روش‌های مرسوم در این زمینه کارایی آن مورد قضاوت قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Archfield, S. A., Pugliese, A., Castellarin, A., Skøien, J. O. and Kiang, J. E. (2012) Topological and canonical kriging for design-flood prediction in ungauged catchments: an improvement over a traditional regional regression approach. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 12226–12193 :9.

2. Burn, D. H. (1990) Evaluation of regional flood frequency analysis with a region

