

فهرست مطالب

مقالات علمی

- ۱ ● پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه گدار خوش براساس شاخص NSFQI و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)  
علی رضائی، مهدی احمدی‌مقدم و محمدرضا جعفری
- ۹ ● بررسی تاثیر پخش سیلاب بر تغییرات کمی پوشش گیاهی (مطالعه موردی منطقه برآباد-سبزوار)  
حسن برآبادی، غلامرضا زهتابیان، علی طویلی، ابوالقاسم دادرسی سبزوار و حسن خسروی
- ۱۵ ● الگوریتم محاسبه شاخص بادپناهی نقاط واقع در حوزه‌های آبریز برفگیر  
محمدرضا شریفی، سیامک فرخزاده، جهانگیر پرهمت، علی محمد آخوندعلی و عبدالنبی عبدکلاهیچی
- ۲۵ ● مقایسه روش‌های کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی احتمال در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در استان مازندران  
زهرا شیخ، عبدالحمیددهواری و فرهاد فرسادنیا
- استفاده از ویژگی‌های مغناطیسی برای بررسی نقش واحدهای سنگ‌شناسی در تولید رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حسن ابدال زنجان) ۳۹  
حجت اله صمدی‌ارقینی، سادات فیض‌نیا و علی اکبر نظری‌سامانی
- تحلیل شبکه اجتماعی ذینفعان محلی در برنامه عمل مدیریت مشارکتی منابع آب (مطالعه موردی: رودخانه جاجرود در حوزه آبخیز لتیان-روستای دربندسر) ۴۷  
فریبا ابراهیمی‌آذرخواران، مهدی قربانی، علی سلاجقه و محسن محسنی ساروی
- ۵۷ ● ارزیابی برخی روش‌های درونیابی در مطالعه مرفولوژی بستر رودخانه‌ها و کانال‌های آبی  
مریم رستمی، علی سلاجقه، مجتبی صانعی و محمد مهدوی

گزارش فنی

- ۶۷ ● ارائه رابطه تجربی برای تعیین تغییر مکان عرضی مصب رودخانه‌های استان گیلان  
محمدابراهیم بنی‌حیب، مزدک اعرابی و آذر عربی

داوران این شماره

چکیده مقالات انگلیسی

## Table of Contents

### Abstracts

- **Water Qualitative Zoning of Goderkhosh River Based on NSFQI Index and Applying Geographic Information System (GIS)** 1  
A. Ramezani, M. Ahmadimoghadam and M.R. Jaa'fari
- **Effect of Flood Spreading on Quantitative Changes of Vegetation Cover (Case Study: Borabad Region- Sabzevar)** 2  
H.Barabadi, Gh.Zehtabian, A.Tavili, A. Darasi sabzevar and H. Khosravi
- **Calculation Algorithm for Wind Shelter Index in Snowy Catchments** 3  
M. R. Sharifi, S. Farokhzadeh, J. Porhemat, A. M. Akhond Ali and A. A. kolahchi
- **Comparison Canonical Kriging and Linear Moments Methods for Regional Flood Frequency Analysis in Mazandaran Province** 4  
Z. Sheikh, A. Dehvari and F. Farsadnia
- **Using Magnetic Properties to Investigate the Role of Lithological Units in Sediment Production (Case Study: Hasan Abdal watershed, Zanjan)** 5  
H. Samadi Arghini, S. Feiz Nia and A. A. Nazari Samani
- **Social Network Analysis of Local Stakeholders in Action Plan for Water Resources Co-Management (Case Study: Jajrood River in Latian watershed, Darbandsar village)** 6  
F. Ebrahimi Azarkharan, M.Ghorbani, A. Salajegheh and M. Mohseni Saravi
- **Evaluation of interpolation Methods in Study of Bed Morphology of Rivers and Water Channels** 7  
M. Rostami, A. Salajegheh, M. Saneie and M. Mahdavi

### Technical Note:

- **Developing an Emperical Equation for the Determination of the Displacement in Gilan Province Estuaries** 8  
M. Ebrahim Banihabib, M. Arabi and A. Arabi

کریجینگ متعارف عملکرد بهتری نسبت به روش گشتاورهای خطی ارائه می‌دهد و با افزایش دوره بازگشت کیفیت برآوردهای آن بهبود می‌یابد، در حالی که روش گشتاورهای خطی برای دوره‌های بازگشت کوتاه عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل منطقه‌ای، زمین‌آمار، فضای فیزیوگرافی، گشتاورهای خطی، خوشه‌بندی، استان مازندران

## مقایسه روش‌های کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی احتمال در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در استان مازندران

زهره شیخ<sup>۱</sup>، عبدالحمید دهواری<sup>۲</sup> و فرهاد فرسادنیا<sup>۳</sup>  
 تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۱/۳۱

### مقدمه

کمبود و عدم کفایت مشاهدات به یکی از چالش‌های بزرگ در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی مبدل شده است. روش‌های تحلیل منطقه‌ای طیف گسترده‌ای از مطالعات هیدرولوژیکی است که جهت رفع این مشکل در مکان‌های مورد نظر توسعه یافته‌اند [۳۴]. تحلیل منطقه‌ای سیلاب از دو مرحله‌ی اصلی تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی و بکارگیری روش‌های برآورد منطقه‌ای درون هر منطقه مشخص جهت ارزیابی احتمال وقوع سیلاب تشکیل شده است. حوضه‌هایی با رفتار هیدرولوژیکی مشابه، تشکیل منطقه همگن را می‌دهند که شامل مناطق ثابت (مناطق جغرافیایی بهم پیوسته یا غیرپیوسته) یا همسایگی‌های هیدرولوژیکی می‌باشند [۱ و ۳۳].

کاربرد تئوری گشتاورهای خطی و تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی براساس روش مناطق ثابت یکی از مرسوم‌ترین روش‌های تحلیل منطقه‌ای است. در این روش از گشتاورهای خطی جهت حل مسائل مربوط به تخمین پارامترهای توابع توزیع، تعیین بهترین تابع توزیع، خلاصه کردن توزیع آماری و منطقه‌ای کردن استفاده می‌گردد [۲۱]. در زمینه کاربرد تئوری گشتاورهای خطی جهت برآوردهای منطقه‌ای در ایران مطالعاتی صورت گرفته است، که می‌توان به پژوهش‌های اسلامیان و بروجنی [۱۱]، سرحدی و همکاران [۳۸]، رستمی و همکاران [۳۷]، شامکوئیان و همکاران [۳۹]، قهرمان و همکاران [۱۵]، رستمی کامرود و همکاران [۳۶] و فرسادنیا [۱۲] اشاره نمود.

پیشرفت در ابزار و تکنیک‌های مکانی-زمانی، روش‌های جدیدی را به منظور تحلیل داده‌ها و برآورد پارامترها در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب فراهم کرده است [۸]. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد، روش‌های زمین‌آمار که در ابتدا به منظور درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای توسعه یافته بودند [۹]، می‌توانند به‌طور مؤثری جهت حل مشکل منطقه‌ای کردن داده‌های هیدرومتری و سری‌های زمانی

### چکیده

آمار حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه ۳۸ ایستگاه هیدرومتری استان مازندران با حداقل و حداکثر طول آماری ۱۳ و ۵۶ سال و خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی حوزه‌های آبخیز گردآوری شد. در ابتدا، با استفاده از روش کریجینگ متعارف مناطق همگن براساس رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی تعیین گردیدند. طراحی فضای فیزیوگرافی با استفاده از شش متغیر فیزیوگرافی مؤثر بر سیلاب و دو متغیر هیدرولوژیکی براساس روش تحلیل همبستگی متعارف انجام شد. در تمام دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال، مدل گوسی بعنوان بهترین مدل نیم‌تغییرنما انتخاب گردید و برآوردهای منطقه‌ای با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی در فضای فیزیوگرافی بدست آمد. در ادامه به‌منظور بررسی صحت نتایج، از روش گشتاورهای خطی نیز برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب استفاده شد. در این روش مناطق همگن براساس الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد تعیین گردیدند. همگنی مناطق بدست آمده از خوشه‌بندی با استفاده از آزمون‌های همگنی و ناهماهنگی بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون نکویی برازش  $Z^{\text{DIST}}$ ، توزیع لجستیک تعمیم‌یافته برای هر سه خوشه بعنوان بهترین توزیع منطقه‌ای انتخاب گردید و برآوردهای منطقه‌ای براساس پارامترهای توزیع منتخب بدست آمد. در نهایت عملکرد دو روش با استفاده از روش ارزیابی جک نایف و پنج شاخص آماری NASH، BIAS، BIASr، RMSE، RMSEr بررسی گردید. براساس شاخص NASH هر دو روش عملکرد مشابه و مطلوبی ارائه می‌دهند، اما براساس نتایج سایر شاخص‌های آماری

۱- دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی سمنان - \*نویسنده مسئول: z.sheikh03@gmail.com

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل  
 ۳- دکترای آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد

هیدرولوژیکی، از طریق حداکثر رساندن اطلاعات موجود در مناطق همگن هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند [۷، ۴۱ و ۴۲]. روش درون‌یابی بر پایه‌ی فضای فیزیوگرافی<sup>۱</sup> (PSBI) که توسط چوکمانی و اورودا [۷] ابداع گردید، در بسیاری از جنبه‌های هیدرولوژیکی بعنوان یک نوآوری محسوب می‌گردد. این روش قادر به منطقه‌ای نمودن متغیرهای هیدرولوژیکی بدون نیاز به تعریف و شناخت مناطق همگن و یا ادغام گروه‌های همگن هیدرولوژیکی می‌باشد؛ در واقع مشکل گروه‌بندی یا طبقه‌بندی حوزه‌های آبریز که یکی از مسائل بحث‌برانگیز در روش‌های منطقه‌ای کردن محسوب می‌گردد را با در نظر گرفتن رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی برطرف نموده است [۳، ۴، ۳۵]. پس از ارائه نتایج مؤفقت‌آمیز کاربرد روش PSBI و کریجینگ متعارف<sup>۲</sup> در برآورد منطقه‌ای سیلاب توسط چوکمانی و اورودا این روش مورد توجه سایر هیدرولوژیست‌ها قرار گرفت. به‌طوری‌که جوزف و همکاران [۲۵]، با هدف بررسی رژیم هیدرولوژیکی هائیتی، به مقایسه روش کریجینگ متعارف و رگرسیون فضایی پرداختند. نتایج ارزیابی متقابل نشان داد، روش کریجینگ متعارف 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. اما شو و اورودا [۴۰] در مطالعه‌ای به‌منظور پیش‌بینی کمیت سیلاب در حوزه‌های بدون آمار، مدلی بر پایه‌ی تحلیل همبستگی متعارف<sup>۳</sup> (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 متعارف و مدل اصلی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد روش شبکه مصنوعی بر پایه CCA برآوردهای دقیق‌تری نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌نماید. اورودا و همکاران [۳۲] با استفاده از داده‌های ۲۹ ایستگاه هیدرومتری در مکزیک به ارزیابی چهار روش برآورد منطقه‌ای سیلاب براساس تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، تحلیل همبستگی متعارف، روش تحلیل همبستگی متعارف اصلاح شده و روش کریجینگ متعارف پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش تحلیل همبستگی متعارف و کریجینگ متعارف نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارند. گیلتم و همکاران [۱۸] از روش PSBI و کریجینگ متعارف جهت برآورد حداکثر دمای آب رودخانه‌های کانادا در مقیاس وسیعی استفاده نمودند. برای این منظور آمار ۱۲ ایستگاه سنجش دما گردآوری شد و برآوردهای منطقه‌ای دمای آب بدست آمد. نتایج ارزیابی متقابل نشان دهنده‌ی عملکرد بهتر روش کریجینگ متعارف بود. کمالی‌نژاد و همکاران [۲۷] در مطالعه‌ای عملکرد روش‌های کریجینگ متعارف، کریجینگ باقیمانده در فضای فیزیوگرافی و رگرسیون منطقه‌ای را جهت تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب مورد بررسی قرار دارند. بدین

منظور، با استفاده از داده‌های ۱۵۱ ایستگاه واقع در ایالت کبک و روش ارزیابی متقابل نشان دادند که روش کریجینگ باقیمانده در فضای فیزیوگرافی برآوردهای کارآمدتری از مقادیر سیلاب منطقه‌ای نسبت به دو روش دیگر ارائه می‌نماید. مارتل و همکاران [۲۸] نیز به بررسی فراوانی منطقه‌ای سیلاب پائیزی در ایالت کبک کانادا در سه بازه‌ی زمانی با احتمال وقوع سیلاب پائیزی پرداختند. آنها از دو روش تحلیل همبستگی متعارف و روش کریجینگ متعارف جهت تحلیل فراوانی منطقه‌ای، حجم و اوج سیلاب استفاده نمودند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که هر دو مدل عملکرد مطلوبی ارائه می‌دهند. در نهایت آرچفیلد و همکاران [۲] مطالعه‌ای با هدف بررسی عملکرد روش‌های زمین‌آمار (کریجینگ متعارف و کریجینگ توپولوژی) با روش رگرسیون منطقه‌ای جهت پیش‌بینی سیلاب طرح در مکان‌های فاقد داده در ایالات متحده آمریکا انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های زمین‌آمار از عملکرد بهتری برخوردار هستند.

هدف از این مطالعه تفکیک و منطقه‌بندی حوزه‌های آبخیز استان مازندران براساس مفهوم همسایگی هیدرولوژیکی و الگوریتم خوشه‌بندی وارد<sup>۴</sup>، برآورد فراوانی منطقه‌ای سیلاب براساس روش‌های کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی در مناطق همگن هیدرولوژیکی شناسایی شده و در نهایت ارزیابی کارایی این دو روش می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### ۱-۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

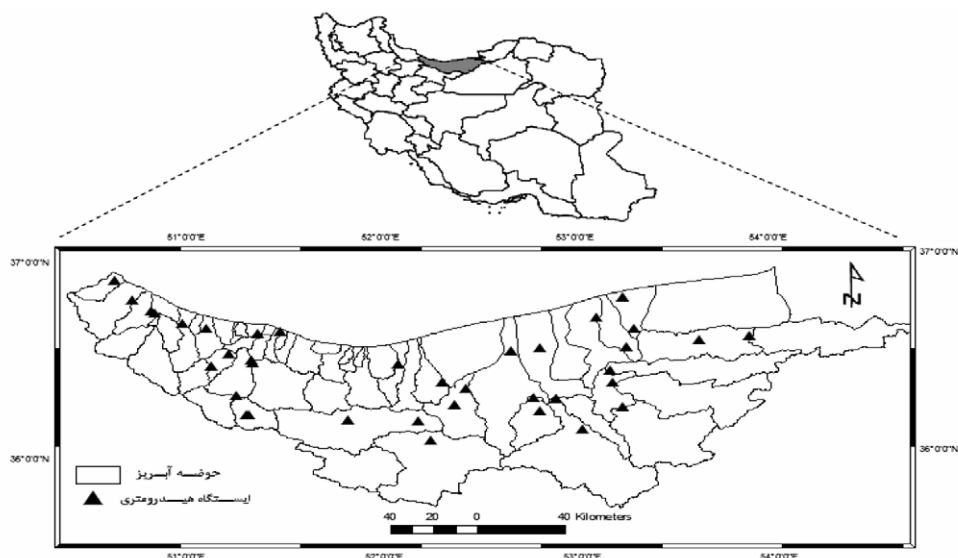
منطقه مورد مطالعه استان مازندران در شمال ایران، با مساحتی بالغ بر ۲۴ هزار کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی  $35^{\circ}$  تا  $58^{\circ}$  عرض شمالی و  $34^{\circ}$  تا  $50^{\circ}$  طول شرقی می‌باشد، که به شکل نواری پهن در امتداد رشته کوه‌های البرز و سواحل جنوبی دریای مازندران قرار گرفته است (شکل ۱). آمار 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 مقادیر پرت و همچنین کیفیت براساس آزمون گروبو و بک مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مقادیر دبی اوج لحظه‌ای مشاهده شده (سیلاب ایستگاهی) با استفاده از توزیع‌های آماری هر ایستگاه براساس برازش با روش گشتاورهای خطی و حداکثر احتمال درستمایی بدست آمد. علاوه بر داده‌های هیدرولوژیکی مجموعه‌ای از اطلاعات اقلیمی و فیزیوگرافی منطقه نیز استفاده شد. در مجموع تعداد ۱۵ متغیر فیزیوگرافی و اقلیمی شامل متوسط بارش سالانه و ماهانه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه، حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع، شیب متوسط، مساحت و محیط حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، درصد مساحت پوشیده شده با جنگل و دریاچه در نظر گرفته شد. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد

1- Physiographical Space Based Interpolation

2- Canonical Kriging

3- Canonical Correlation Analysis

4- Ward



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	مساحت (km <sup>2</sup> )	طول دوره آماری	ردیف	ایستگاه	مساحت (km <sup>2</sup> )	طول دوره آماری
۱	سفیدچاه	۱۰۳۶/۹۲	۳۴	۲۰	کره سنگ	۳۹۸۶/۶۶	۵۵
۲	گلورد	۱۴۲۷/۷۴	۲۷	۲۱	بلیران	۸۲/۰۶	۱۳
۳	آبلو	۱۹۰۵/۶۱	۳۰	۲۲	آغوزکنی	۱۴۰/۶۲	۴۶
۴	نوذرآباد	۲۰۱۷/۳۲	۳۴	۲۳	نوشهر	۷۵/۴۹	۳۴
۵	سلیمان تنگه	۱۲۴۸/۲۵	۴۶	۲۴	دره هریجان	۸۴/۸۳	۲۱
۶	ریگ چشمه	۲۷۱۵/۲۵	۴۸	۲۵	ولی آباد	۱۸۱/۰۹	۲۱
۷	گرمرو	۸۷۶/۷۸	۲۶	۲۶	آبشار	۵۸۶/۱۸	۲۲
۸	کردخیل	۴۰۲۶/۵۷	۳۵	۲۷	دوآب	۶۲۷/۴۳	۲۸
۹	دارابکلا	۲۷/۵۷	۲۸	۲۸	چالوس پل ذغال	۱۵۸۳/۳۶	۵۶
۱۰	کریکلا	۵۶۶/۶۳	۲۲	۲۹	کلاردشت	۱۹۰/۴۶	۴۸
۱۱	کیاکلا	۲۳۸۶/۷۹	۵۴	۳۰	والت	۳۳۰/۵۱	۲۷
۱۲	شیرگاه کسلیان	۳۴۲/۸۹	۵۴	۳۱	زوات	۴۱۹/۰۰	۳۰
۱۳	شیرگاه تالار	۱۷۷۶/۱۶	۵۰	۳۲	ماشالله آباد	۱۵۱/۳۴	۲۰
۱۴	پاشاکلا	۲۱۱/۳۳	۱۳	۳۳	هرات بر	۷۷۶/۲۰	۳۸
۱۵	قرآن تالار	۴۰۶/۶۱	۵۳	۳۴	گانگسر	۴۰۹/۲۲	۳۲
۱۶	کشتارگاه	۱۶۲۵/۱۵	۵۴	۳۵	رامسر	۱۳۵/۸۱	۳۵
۱۷	بلده	۷۵۲/۷۴	۲۸	۳۶	دینارسرا	۲۲۴/۶۸	۲۵
۱۸	رزن	۱۱۸۲/۳۱	۳۶	۳۷	اسکومحله	۸۱/۳۰	۱۸
۱۹	پنجاب	۲۳۵/۵۲	۲۹	۳۸	رضا پط	۱۰۸/۱۹	۱۵

مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. 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.

## ۲-۲ روش کریجینگ متعارف

روش کریجینگ متعارف (CK) جزء روش‌های درون‌یابی کاربردی است، که در آن عمل درون‌یابی توسط کریجینگ و در فضای فیزیوگرافی تعریف شده توسط خصوصیات حوضه انجام می‌شود. در این روش تعیین مناطق همگن، براساس مفهوم همسایگی هیدرولوژیکی صورت می‌گیرد. در روش همسایگی هیدرولوژیکی که بعلا اتربخشی و انعطاف‌پذیری آن در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۳، ۱۴، ۲۰، ۳۱]، با داشتن یک حوضه مشخص، سایر حوضه‌های هیدرولوژیکی مشابه آن در شعاع بدست آمده در جهان واقعی [۱۰] یا در فضای فیزیوگرافی تعریف می‌گردند [۶، ۳۰]. منظور از همسایگی مجموعه‌ای از حوضه‌های دارای آمار می‌باشد، که در نزدیکی حوضه مورد نظر قرار گرفته‌اند. در این حالت فرض می‌گردد، هر حوضه دارای منطقه همگن هیدرولوژیکی است و فواصل بین حوضه‌ها در فضای فیزیوگرافی تعریف می‌گردد (گروه تحقیقات آماری هیدرولوژی) [۱۷]. روش CK بطور مشخص شامل دو مرحله ساخت فضای فیزیوگرافی و درون‌یابی مکانی در فضای فیزیوگرافی می‌باشد.

## ۲-۲-۱ ساخت فضای فیزیوگرافی

در فضای جغرافیایی امکان درون‌یابی مستقیم برخی از متغیرهای هیدرولوژیکی به‌علت ماهیت ناپیوسته و عدم وجود ساختار مکانی میسر نمی‌باشد. سیلاب در فضای جغرافیایی فاقد ساختار مکانی است، زیرا مکانیسم تولید سیلاب و پارامترهای مؤثر بر آن، در هر حوضه منحصر به فرد می‌باشد. در واقع وقوع سیلاب در هر مکان، نشان‌دهنده‌ی پاسخ هیدرولوژیکی به اقلیم غالب منطقه و منعکس‌کننده‌ی تأثیر خصوصیات فیزیکی و ژئومورفولوژیکی حوضه‌ها می‌باشد. بنابراین هر چند سیلاب ماهیتی پیوسته در فضای جغرافیایی ندارد، اما در فضای فیزیوگرافی طراحی شده توسط متغیرهای مؤثر بر آن، ماهیتی پیوسته خواهد داشت و امکان درون‌یابی آن فراهم می‌گردد [۷]. فضای فیزیوگرافی، فضای چند بعدی تعریف شده توسط متغیرهای اقلیمی، فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی مؤثر بر کمیت مورد نظر می‌باشد. مختصات آن بوسیله‌ی توصیف‌گرهای ژئومورفوکلیماتیک هر حوضه و روش‌های آماری چندمتغیره بدست می‌آید. ساخت فضای فیزیوگرافی در روش کریجینگ متعارف براساس روش تحلیل همبستگی متعارف صورت می‌گیرد.

**تحلیل همبستگی متعارف:** CCA جزء روش‌های پیشرفته آماری چندمتغیره می‌باشد، که نخستین بار توسط هتلینگ در سال ۱۹۳۶ ارائه گردید. روش همبستگی متعارف همانند روش رگرسیون چندگانه روابط بین تعدادی متغیر مستقل را با تعدادی متغیر وابسته بررسی می‌نماید [۱۳]. چنانچه  $X$  و  $Y$  دو مجموعه از متغیرهای تصادفی  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  و  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_r\}$  باشند؛  $n \geq r$  باشد؛ منطق حاکم بر این روش به‌دست آوردن ترکیب خطی متغیرهای هر یک از مجموعه‌ها می‌باشد، به طوری که همبستگی محاسبه شده بین دو ترکیب خطی به حداکثر مقدار برسد.

$$V = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n = a' X \quad (1)$$

$$W = b_1 Y_1 + b_2 Y_2 + \dots + b_r Y_r = b' Y \quad (2)$$

در روابط ۱ و ۲،  $V$  و  $W$  ترکیب خطی از مجموعه متغیرها،  $a'X$  و  $b'Y$  بردارهای مدنظر،  $a'$  و  $b'$  ترانهاده ستون بردارهای  $a$  و  $b$  می‌باشد. همبستگی بین متغیرهای تصادفی  $V$  و  $W$  به‌صورت رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{corr}(V, W) = \frac{\text{cov}(V, W)}{\sqrt{\text{var}(V)}\sqrt{\text{var}(W)}} = \frac{a' C_X b}{\sqrt{a' C_X a} \sqrt{b' C_Y b}} \quad (3)$$

در این رابطه  $C$  ماتریس کوواریانس متغیرها می‌باشد و براساس رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$C = \begin{pmatrix} C_X & C_X \\ C_X' & C_Y \end{pmatrix} \quad (4)$$

CCA به منظور حداکثر رساندن  $\text{corr}(V, W)$  قادر به برآورد مقادیر بردارهای  $a'$  و  $b'$  می‌باشد. چنانچه  $P$  رتبه  $C_X$  باشد، مقادیر بهینه بردارهای  $a'$  و  $b'$  برابر است با:

$$\lambda_i = \text{corr}(V_i, W_i) \quad i = 1, \dots, p \quad (5)$$

در این رابطه متغیرهای  $V_1, V_2, \dots, V_p$  و  $W_1, W_2, \dots, W_p$  بعنوان متغیرهای کانونی<sup>۳</sup> شناخته می‌شوند [۲۹].

## ۲-۲-۲ درون‌یابی مکانی

روش کریجینگ متعارف بر درون‌یابی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی به‌جای فضای جغرافیایی معمول تأکید دارد. بنابراین پس از ساخت فضای فیزیوگرافی به‌منظور درون‌یابی داده‌های هیدرولوژیکی، مختصات فیزیوگرافی هر حوضه به‌جای مختصات جغرافیایی آنها باید مورد استفاده قرار گیرد [۵]. بدین ترتیب هر حوضه می‌تواند به‌عنوان یک نقطه در فضای  $X-Y$  تعریف شده توسط متغیرهای فیزیوگرافی-هیدرولوژیکی قرار گیرد 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 نظیر کریجینگ انجام داد [۷].

**کریجینگ:** کریجینگ مجموعه‌ای از روش‌های رگرسیونی خطی تعمیم داده شده در ابعاد بزرگ است، که جزء روش‌های تخمین

1- Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique (GREHYS)  
2- Spatial Structure

## ۲-۳-۲ آزمون ناهماهنگی

این آزمون مبتنی بر گشتاورهای خطی است و قادر به تشخیص ایستگاه‌های ناهماهنگ از مجموعه ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. اگر مقدار آماره  $D$  بزرگ‌تر از  $\alpha$  باشد، ایستگاه ناهماهنگ بوده و از گروه حذف می‌شود. معیار ناهماهنگی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_i = \frac{1}{3} (u_i - \bar{u})^T S^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (13)$$

$$S = (NS - 1)^{-1} \sum_{i=1}^{NS} (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (14)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} u_i \quad (15)$$

که در این روابط  $u_i = [\tau_1^i, \tau_3^i, \tau_4^i]^T$  ماتریس ترانهاده‌ی گشتاورهای خطی در ایستگاه  $i$  ام،  $N$  تعداد کل ایستگاه‌ها،  $S$  ماتریس کوواریانس نمونه و  $\bar{u}$  میانگین گروه برای  $NS$  مکان می‌باشد.

## ۲-۳-۳ انتخاب بهترین توزیع منطقه‌ای

آزمون نکویی برازش به منظور انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای انجام می‌شود. معیار برازندگی برای هر توزیع براساس گشتاورهای خطی تعیین و آماره  $Z^{DIST}$  نامیده می‌شود. بهترین تابع توزیع منطقه‌ای باید  $|Z^{DIST}| < 1/64$  باشد.

$$Z^{DIST} = (\tau_4^{DIST} - \bar{\tau}_4 + \beta_4) / \sigma_4 \quad (16)$$

در این رابطه  $DIST$  اشاره به توزیع منتخب می‌کند.  $\tau_4^{DIST}$  ضریب کشیدگی خطی توزیع منتخب،  $\bar{\tau}_4$  میانگین کشیدگی خطی،  $\beta_4$  و  $\sigma_4$  به ترتیب مقدار اریب و انحراف از معیار  $\tau_4$  یا ضریب کشیدگی خطی می‌باشند [۲۱].

## ۲-۳-۴ برآورد سیلاب منطقه‌ای

با بکارگیری روش گشتاورهای خطی، پارامترهای توابع توزیع منتخب برای هر منطقه برآورد می‌شود و با استفاده از پارامترهای توزیع منتخب، چندک هر یک از نواحی بدست می‌آید. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی زیر مقادیر سیلاب منطقه‌ای برای دوره‌های بازگشت گوناگون بدست می‌آید:

$$\hat{Q}_i(F) = I_1^i \hat{q}(F) \quad (17)$$

در این رابطه  $\hat{q}(F)$  چندک بدست آمده از توزیع منتخب و  $I_1^i$  میانگین سیلاب در هر ایستگاه،  $\hat{Q}_i(F)$  مقادیر سیلاب منطقه‌ای برآورد شده در دوره‌های بازگشت مختلف است [۲۴].

## ۲-۴ ارزیابی نتایج

به منظور بررسی صحت نتایج و ارزیابی قابلیت اطمینان در برآوردهای سیلاب منطقه‌ای 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. در این روش هر حوضه به نوبت از

زمین آمار محسوب می‌گردد. این روش برآوردهای خطی و نارایب از کمیت مورد نظر را با استفاده از اطلاعات همسایگی براساس رابطه ۶ ارائه می‌نماید.

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (7)$$

که در آن  $Z^*$  مقدار متغیر برآورد شده،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر مشاهده شده در نقطه  $x_i$ ،  $N$  تعداد مشاهدات و  $\lambda_i$  وزن نسبت داده شده به متغیر  $x_i$ ، البته در شرایطی که رابطه ۷ برقرار باشد [۱۹].

## روش گشتاورهای خطی

گشتاورهای خطی، ترکیب خطی از آماره‌های ترتیبی<sup>۱</sup> هستند؛ که توسط هاسکینگ [۲۱] ارائه شدند. چهار گشتاور خطی نخست که به عنوان ترکیب خطی گشتاورهای وزنی احتمال بیان می‌شوند، عبارتند از:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (8)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (9)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (10)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (11)$$

هاسکینگ و والیس [۲۳]، برای محاسبه دقیق‌تر ایستگاه‌های ناهمگن آزمون‌های همگنی و برای تعیین توزیع منتخب، آزمون نکویی برازش مبتنی بر گشتاورهای خطی را معرفی کردند. آزمون‌های همگنی شامل آزمون ناهمگنی<sup>۲</sup> و آزمون ناهماهنگی<sup>۳</sup> منطقه‌ای می‌باشد.

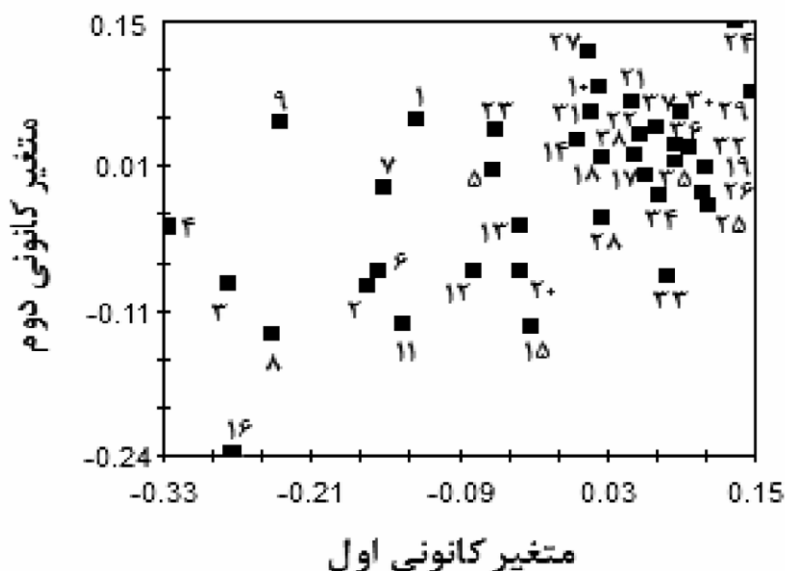
## ۲-۳-۱ آزمون ناهمگنی منطقه‌ای

اگر تغییرپذیری یا فضای پراکنش ایستگاه‌ها بزرگ باشد، احتمال تعلق این ایستگاه‌ها به یک مجموعه‌ی واحد را می‌توان به وسیله‌ی آزمون ناهمگنی گشتاورهای خطی بررسی کرد؛ که شامل سه آماره‌ی  $H_1$ ،  $H_2$  و  $H_3$  است [۲۲]. اگر مقادیر این سه آماره کمتر از یک باشد، منطقه همگن، اگر بین یک تا دو باشد، نسبتاً ناهمگن و اگر بزرگ‌تر از دو باشد؛ منطقه کاملاً ناهمگن می‌باشد. هر یک از آماره‌های  $H$  دارای فرم عمومی مطابق رابطه زیر می‌باشند:

$$H = \frac{v_{obs} - \mu_v}{\sigma_v} \quad (12)$$

که در آن  $\mu_v$  و  $\sigma_v$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده متغیر مورد نظر و پارامتر  $v_{obs}$  مقادیر محاسبه شده متغیر مورد نظر با استفاده از داده‌های منطقه‌ای است. در عمل عنوان می‌شود، آماره  $H_1$  به منظور بررسی این آزمون مناسب‌تر می‌باشد و به عنوان شاخص اساسی برای معیار ناهمگنی توصیه شده است [۲۴].

- 1- Order Statistics
- 2- Heterogeneity
- 3- Discordancy



شکل ۲- نحوه پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری در فضای فیزیوگرافی CCA

دبی مشاهده‌ای و منطقه‌ای متعلق به ایستگاه  $i$  ام با دوره بازگشت  $T$  سال می‌باشد [۳۲].

### نتایج و بحث

#### تجزیه و تحلیل نتایج کریجینگ متعارف

ساخت فضای فیزیوگرافی براساس روش آماری چندمتغیره‌ی CCA صورت گرفت. این روش به تبیین ارتباط و همبستگی میان دو مجموعه از متغیرهای مستقل و وابسته می‌پردازد. متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده، شامل شش متغیر فیزیوگرافی (مساحت حوضه، محیط حوضه، طول آبراهه اصلی، ارتفاع حداقل حوضه، شیب متوسط حوضه و ارتفاع ایستگاه هیدرومتری) و متغیرهای وابسته شامل دو متغیر هیدرولوژیکی ( $Q_1$  و  $Q_2$ ) بودند. منظور از فضای فیزیوگرافی فضای دو بعدی ایجاد شده، توسط متغیر کانونی اول ( $V_1$ ) و متغیر کانونی دوم ( $V_2$ ) می‌باشد. نحوه قرارگیری ایستگاه‌های هیدرومتری در فضای فیزیوگرافی در شکل ۲ ارائه شده است. شماره ایستگاه‌های هیدرومتری مطابق جدول ۱ می‌باشد. بدین ترتیب مختصات فیزیوگرافی هر ایستگاه با توجه به موقعیت قرارگیری در فضای فیزیوگرافی برای انجام مراحل بعدی محاسبات به دست آمد. شناسایی و اندازه‌گیری ساختار مکانی کمیت هیدرولوژیکی، براساس نیم‌تغییرنماهای تجربی و با استفاده از نرم‌افزار  $GS^+$  صورت گرفت. نیم‌تغییرنماهای تجربی ایزوتروپیک در فضای فیزیوگرافی طراحی شده با CCA تعیین گردیدند و ناهمسانگردی داده‌ها در جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده به کمیت سیلاب ایستگاهی با دوره

مجموعه‌ی شبکه هیدرومتری حذف و به‌عنوان حوضه بدون آمار فرض می‌گردد. در این مرحله حوضه حذف شده، به‌عنوان حوضه هدف در نظر گرفته می‌شود و مقادیر کمیت سیلاب این حوضه با استفاده از حوضه‌های باقیمانده و براساس دو روش تحلیل منطقه‌ای (کریجینگ متعارف و تئوری گشتاورهای خطی احتمال) بدست می‌آید. سپس به‌منظور ارزیابی عملکرد روش‌های منطقه‌ای از پنج شاخص آماری براساس روابط ۱۸ تا ۲۲ استفاده می‌گردد.

$$BIAS = \frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} (Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)) \quad (18)$$

$$BIASr = \frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} \left[ \frac{(Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i))}{Q_{loc}(i)} \right] \quad (19)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} [Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)]^2} \quad (20)$$

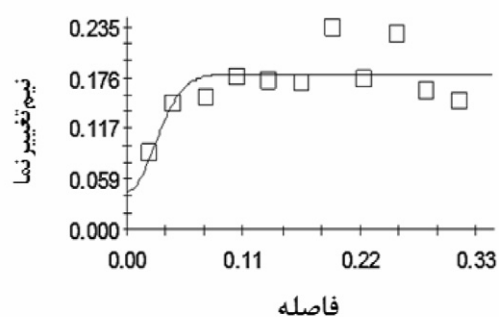
$$RMSEr = \sqrt{\frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} \left[ \frac{(Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i))}{Q_{loc}(i)} \right]^2} \quad (21)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{ns} (Q_{reg} - Q_{loc})^2}{\sum_{i=1}^{ns} (Q_{loc} - \bar{Q}_{loc})^2} \quad (22)$$

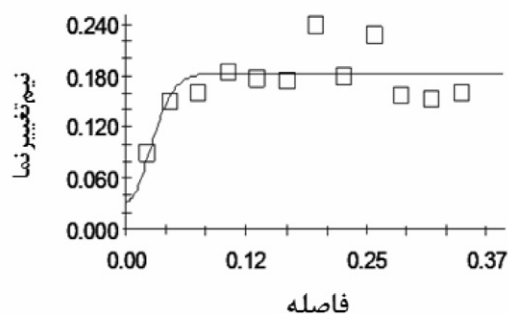
در این روابط  $ns$  تعداد ایستگاه‌ها،  $Q_{reg}(i)$  و  $Q_{loc}(i)$  به ترتیب



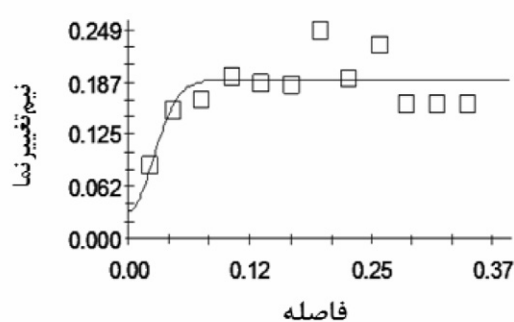
(الف)



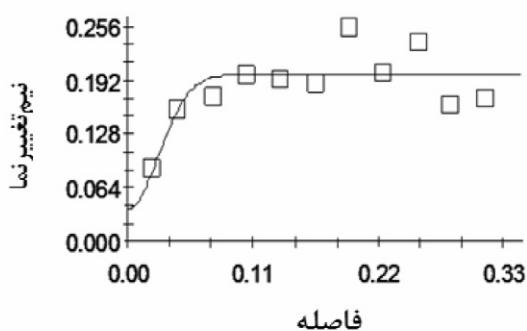
(ب)



(ج)



(د)



شکل ۳- نیم تغییرنماهای برازش داده شده با مقادیر سیلاب ایستگاهی در فضای فیزیوگرافی CCA ( با دوره بازگشت الف=۱۰، ب=۲۰، ج=۵۰ و د=۱۰۰سال)

جدول ۲- نتایج آزمون همگنی پیش و پس از تعدیل همگنی

پس از تعدیل همگنی				پیش از تعدیل همگنی			شماره منطقه
$H_p$	$H_r$	$H_l$	تعداد ایستگاه	$H_p$	$H_r$	$H_l$	تعداد ایستگاه
-۰/۵۸	-۰/۲۷	۰/۴۴	۱۷	۰/۳۴	۱/۴۰*	۲/۲۳**	۱۶
۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۶۳	۸	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۸۷	۵
-۰/۶۴	-۰/۲۷	۰/۸۰	۱۱	۰/۵۰	۱/۱۰*	۱/۷۰*	۱۷

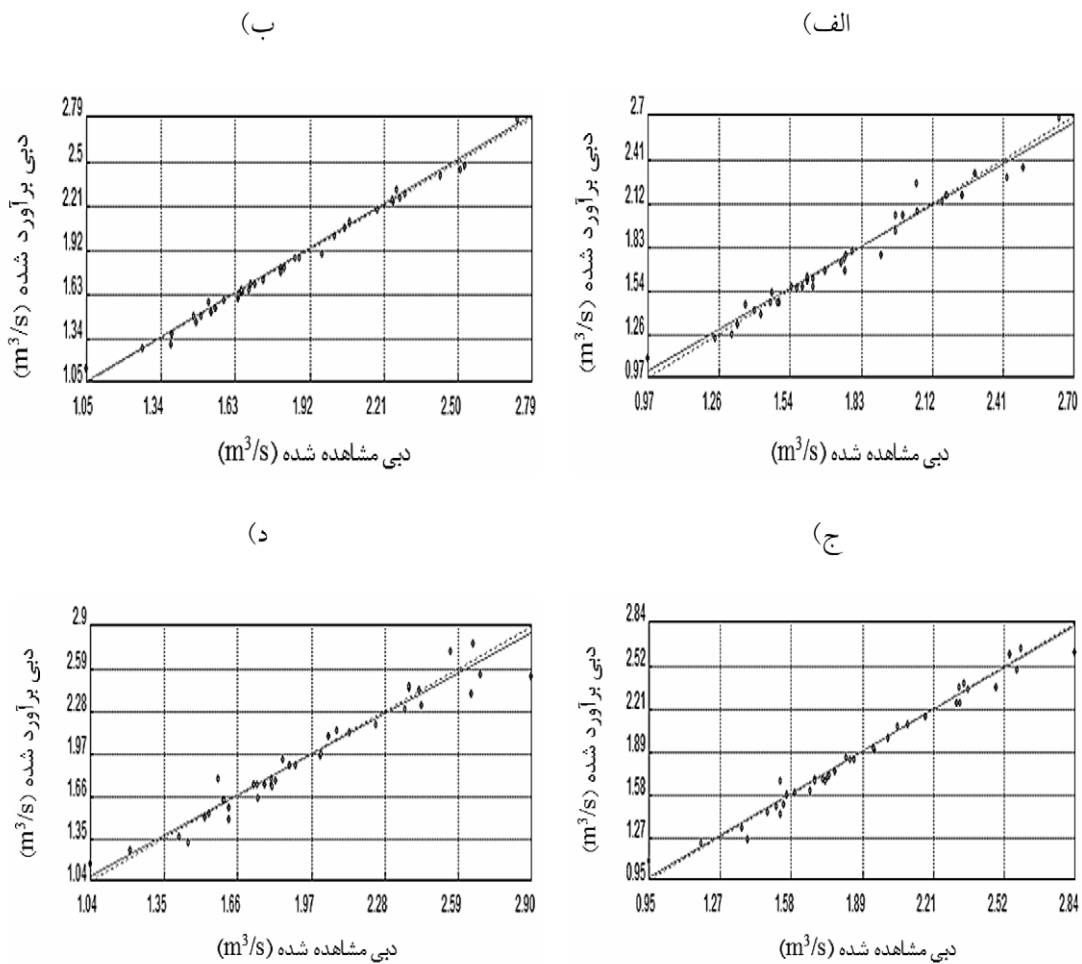
\*\* کاملاً ناهمگن \* نسبتاً ناهمگن

نسبت به سایر دوره‌های بازگشت برخوردار می‌باشد. این امر به علت افزایش مقادیر دبی با افزایش دوره بازگشت کاملاً قابل توجیه است. محدوده‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به آستانه می‌رسد و پس از آن ساختار مکانی وجود نخواهد داشت، دامنه تأثیر<sup>۲</sup> می‌نامند. با توجه به نیم‌تغییرنماهای تجربی، دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال از دامنه‌ی تأثیر بیشتری نسبت به سایر دوره‌های بازگشت برخوردار می‌باشد،

بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال است. براساس شکل مذکور متغیرهای در نظر گرفته شده از ساختار مکانی آشکاری در فضای فیزیوگرافی برخوردار هستند. به طوری که در فاصله کمی از مبدأ میزان تغییرات نیم‌تغییرنما به سرعت افزایش می‌یابد و پس از آن به مقدار ثابتی می‌رسد که به این سطح ثابت، آستانه<sup>۱</sup> می‌گویند. براین اساس سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال از آستانه بالاتری

2- Effect Range

1- Sill



شکل ۴- ارزیابی متقابل نتایج کریجینگ متعارف با دوره بازگشت‌های الف=۱۰، ب=۲۰، ج=۵۰ و د=۱۰۰ سال (خط نقطه‌چین بعنوان خط ایده‌آل ۱:۱ و خط ممتد براساس بهترین برازش با مقادیر دبی اوج ناحیه‌ای (نقاط) ترسیم شده است).

جدول ۳- آزمون نکوئی برازش

مقادیر آماره $Z^{DIST}$			توزیع آماری
منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	
-۰/۷۱ *	۰/۵۱ *	-۰/۳۸ *	لجستیک تعمیم یافته
-۱/۴۰ *	-۰/۵۲ *	-۰/۷۰ *	مقادیر حدی تعمیم یافته
-۲/۴۷	-۱/۱۰ *	-۱/۵۷ *	نرمال تعمیم یافته
-۴/۲۹	-۲/۱۲	-۳/۰۵	پیرسون نوع ۳
-۳/۶۴	-۳/۱۴	-۱/۹۸	پارتو تعمیم یافته

\* توزیع آماری منتخب

شاخص‌های ضریب همبستگی، مجموع مربعات باقیمانده و تناسب ساختار مکانی در نهایت مدل گوسی مناسب ارزیابی شد. پس از برازش مدل گوسی، برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس روش کریجینگ معمولی در فضای فیزیوگرافی CCA محاسبه گردید. ارزیابی متقابل مقادیر دبی برآورد شده براساس روش کریجینگ

زیرا با افزایش دوره بازگشت میزان پیوستگی مکانی کاهش می‌یابد. پس از محاسبه‌ی نیم‌تغییرنماهای تجربی، باید مدل تئوری به آن برازش داده شود. مدل‌های تئوری: کرووی، نمایی، خطی و گوسی جهت برازش با نیم‌تغییرنماهای تجربی مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به الگوی مکانی نشان داده شده توسط نیم‌تغییرنمای تجربی و

متعارف با 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 منطقه‌ای برآورد شده براساس دوره‌های بازگشت مختلف می‌باشد. هر چه پراکنش نقاط و خط بهترین برازش با مقادیر دبی منطقه‌ای به خط ۱:۱ نزدیک‌تر باشد، دقت مدل مورد بررسی بالاتر خواهد بود. براساس شکل‌های مذکور دقت بالای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای کاملاً مشهود می‌باشد. به‌طوری که خط بهترین برازش با مقادیر منطقه‌ای بر خط ایده‌آل ۱:۱ کاملاً منطبق بود. انطباق خط برازش یافته شده بر خط ایده‌آل و همچنین پراکنش متناسب نقاط حول خط ایده‌آل ۱:۱، نشان‌دهنده‌ی ناچیز بودن میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا است.

### تجزیه و تحلیل نتایج گشتاورهای خطی

تعیین مناطق همگن استان مازندران براساس روش خوشه‌بندی با بکارگیری پنج مشخصه فیزیوگرافی مساحت حوضه زهکشی، شیب متوسط حوضه زهکشی، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی و حداقل ارتفاع حوضه انجام شد. انتخاب این بردارهای مشخصه براساس همبستگی آنها با کمیت سیلاب بود. از الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد، برای تعیین ایستگاه‌های هر خوشه استفاده شد. براساس نتایج فرسنادیا [۱۲] تعداد خوشه بهینه برابر با ۳ انتخاب گردید. شکل ۵، نتایج خوشه‌بندی و نحوه قرارگیری ایستگاه‌ها براساس سه خوشه در نظر گرفته شده را ارائه می‌دهد.

نتایج اولیه همگنی سه منطقه در جدول ۲ بیان شده است. براساس نتایج جدول ۲، منطقه ۱ با توجه به آماره  $H_1$  کاملاً ناهمگن است و مقادیر بالای آماره  $H_p$  مربوط به این منطقه، این موضوع را تأیید می‌نماید. منطقه ۳ براساس آماره  $H_1$  نسبتاً ناهمگن است و آماره  $H_p$  نیز نشان دهنده‌ی همین موضوع می‌باشد. زمانی که مجموعه‌ی جامعی از متغیرهای تاثیرگذار در تحلیل فراوانی منطقه‌ای وجود ندارد، معمولاً مناطق شکل گرفته برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب همگن نخواهند بود و نیاز به تعدیل برای بهبود همگنی آن وجود دارد.

هاسکینگ و والیس [۲۴] راهکارهایی جهت تعدیل مناطق ناهمگن ارائه نمودند. در مطالعه حاضر از گزینه حذف یک یا چند ایستگاه و انتقال یک یا چند ایستگاه از یک منطقه به مناطق دیگر برای تعدیل مناطق ناهمگن استفاده شد. بدین ترتیب پس از تعدیل مناطق ناهمگن، هر سه خوشه همگن گردیدند. مقادیر آماره ناهمگنی پیش و پس از تعدیل همگنی در جدول ۲ نشان داده شده است. در مرحله بعد به‌منظور انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای هر خوشه از آماره  $Z^{DIST}$  براساس برنامه نوشته شده به زبان فرترن برای توزیع‌های سه پارامتره استفاده شد (جدول ۳). توزیع‌های آماری منتخب هر منطقه در جدول ۳ مشخص شده است. با در نظر گرفتن کمترین مقادیر آماره  $Z^{DIST}$ ، توزیع لجستیک تعمیم یافته برای هر سه منطقه انتخاب گردید. توزیع لجستیک تعمیم یافته دارای سه پارامتر موقعیت، مقیاس

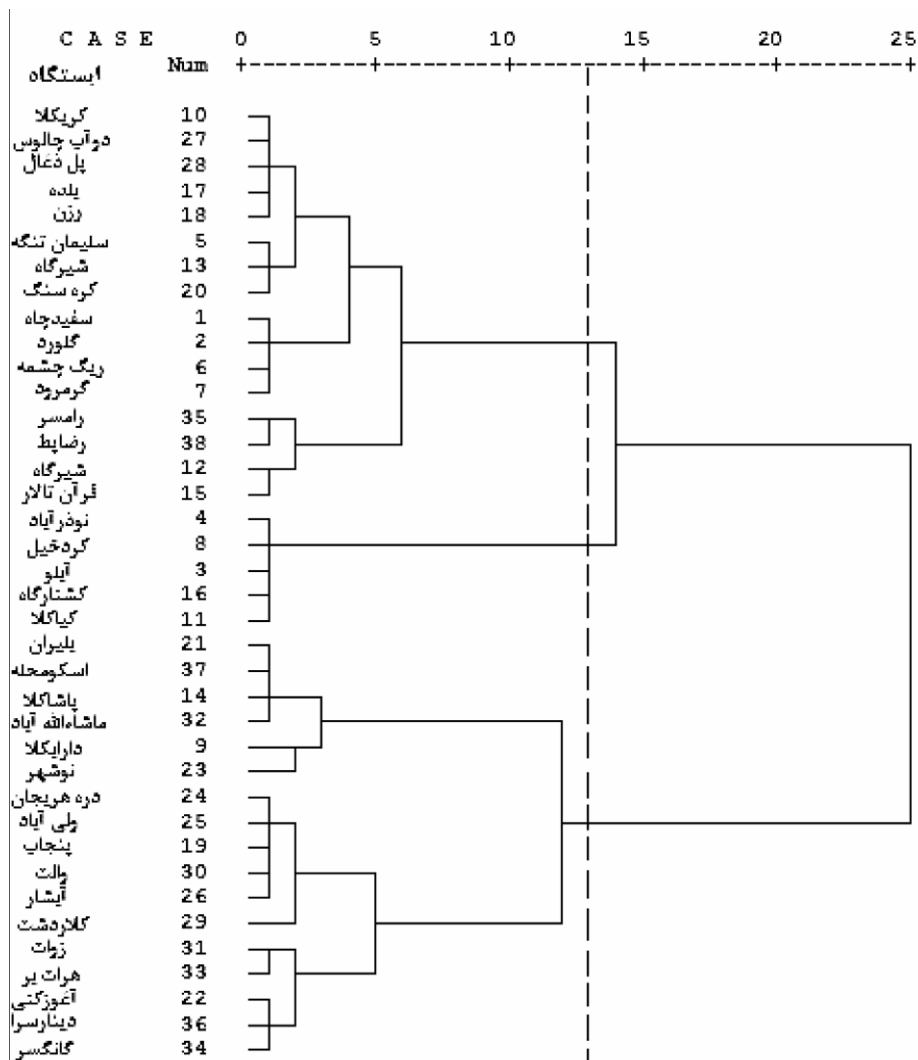
و شکل می‌باشد، که در جدول ۴ مقادیر این سه پارامتر برای هر منطقه بیان شده است. با استفاده از پارامترهای توزیع منتخب، چندک هر یک از نواحی بدست آمد و در نهایت برآوردهای منطقه‌ای کمیت سیلاب براساس رابطه ۱۷ در هر ایستگاه محاسبه گردید.

### مقایسه عملکرد روش کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی احتمال

صحت و دقت برآوردهای منطقه‌ای براساس روش کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی با استفاده از روش جک نایف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی متقابل جک‌نایف براساس پنج شاخص ارزیابی عملکرد  $BIASr$ ،  $BIAS$ ،  $RMSEr$ ،  $RMSE$  و  $NASH$  در جدول ۵ ارائه شده است. شاخص  $NASH$  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. اما با توجه به سایر شاخص‌های در نظر گرفته شده کمترین خطا نشان‌دهنده‌ی بهترین عملکرد می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که عملکرد شاخص‌های نسبی ( $RMSEr$  و  $BIASr$ ) در بررسی کارایی کمیت‌های سیلاب منطقه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند؛ زیرا با بکارگیری شاخص‌های نسبی به جای شاخص‌های معین ( $RMSE$  و  $BIAS$ ) هرگونه اثر بالقوه مقیاس از نتایج حذف می‌گردد [۳۲].

براساس شاخص آماری  $NASH$  عملکرد روش کریجینگ متعارف در تمام دوره‌های بازگشت بیش از ۰/۹ برآورد گردید. نتایج این شاخص به صراحت نشان‌دهنده‌ی پیش‌بینی‌های دقیق و قابل قبول سیلاب در حوضه‌های بدون آمار می‌باشد. علاوه بر این نتایج روش کریجینگ متعارف نشان داد، با افزایش دوره بازگشت عدم قطعیت برآوردهای منطقه‌ای افزایش می‌یابد؛ زیرا مقادیر دو شاخص  $RMSE$  و  $BIAS$  با افزایش دوره بازگشت رو به افزایش است. اما نتایج دو شاخص نسبی  $RMSEr$  و  $BIASr$  نشان‌دهنده‌ی بهبود عملکرد تکنیک زمین‌آمار با افزایش دوره بازگشت می‌باشد. با توجه به اهمیت نتایج شاخص‌های نسبی، می‌توان بیان نمود با افزایش دوره بازگشت عملکرد روش کریجینگ متعارف در حال بهبود است. این نتایج با مطالعات اورودا و همکاران [۳۲] و مارتل و همکاران [۲۸] کاملاً مطابقت دارد. نتایج اورودا و همکاران نشان داد هر چند مقادیر شاخص  $RMSE$  و  $BIAS$  با افزایش دوره بازگشت در حال افزایش است، ولی عملکرد روش کریجینگ متعارف با توجه به شاخص‌های نسبی  $RMSEr$  و  $BIASr$  در حال بهبود است. نتایج مارتل و همکاران نیز نشان داد که عملکرد نسبی روش کریجینگ متعارف با افزایش دوره بازگشت با توجه به دو شاخص  $RMSEr$  و  $BIASr$  در حال بهبود است، هر چند مقدار شاخص‌های  $RMSE$  و  $BIAS$  در حال افزایش می‌باشد.

عملکرد روش گشتاورهای خطی نیز براساس شاخص  $NASH$  مطلوب ارزیابی شد و بین ۰/۸-۰/۹ برآورد گردید. اما عملکرد



شکل ۵- دندروگرام بدست آمده از الگوریتم خوشه بندی

جدول ۴- پارامترهای توزیع منتخب (لجستیک تعمیم یافته)

شماره منطقه	موقعیت (ξ)	مقیاس (α)	شکل (K)
۱	۰/۷۹۲	۰/۲۸۴	-۰/۳۷۵
۲	۰/۸۵۹	۰/۲۹۶	-۰/۲۶۷
۳	۰/۷۰۶	۰/۳۱۷	-۰/۴۴۰

است.

در ادامه به مقایسه و ارزیابی عملکرد روش کریجینگ متعارف با گشتاورهای خطی احتمال پرداخته شد. براساس نتایج شاخص NASH هر دو روش عملکرد مطلوب و مشابهی را ارائه می نمایند و برآوردهای منطقه ای آنها از دقت بالایی برخوردار است. اما براساس نتایج سایر شاخص های آماری، عملکرد ضعیف روش گشتاورهای خطی نسبت به روش کریجینگ متعارف بطور خاص برای دوره های بازگشت بالا بارز گردید. روش کریجینگ متعارف براساس شاخص های BIAS، BIASr، RMSE و RMSEr برآوردهای منطقه ای

سایر شاخص های آماری نشان داد با افزایش دوره بازگشت دقت پیش بینی های این روش کاهش می یابد، بدین ترتیب بهترین عملکرد روش گشتاورهای خطی مربوط به دوره های بازگشت کوتاه است. به طوری که با افزایش دوره بازگشت، مقادیر هر چهار شاخص ارزیابی عملکرد در حال افزایش می باشد و اختلاف زیاد ایجاد شده در نتایج شاخص های ارزیابی عملکرد با افزایش دوره بازگشت، این موضوع را تأیید می نماید. علاوه براین مقادیر منفی دو شاخص BIAS و BIASr در نتایج بدست آمده از روش گشتاورهای خطی و کریجینگ متعارف نشان دهنده ی برآوردهای بیشتر از مقدار واقعی

## جدول ۵- نتایج ارزیابی عملکرد روش کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی

روش	متغیر	BIAS	%BIASr	RMSE	%RMSEr	NASH
Canonical Kriging	Q <sub>۱</sub>	۰/۰۰۵۲	۰/۵۴	۰/۰۶	۳/۹۵	۰/۹۷
	Q <sub>۲</sub>	۰/۰۰۳۸	۰/۳۱	۰/۰۳	۲/۲۹	۰/۹۹
	Q <sub>۳</sub>	-۰/۰۰۳۰	۰/۱۵	۰/۰۶	۴/۲۷	۰/۹۷
	Q <sub>۱..</sub>	-۰/۰۰۵۲	۰/۱۰	۰/۱۰	۵/۲۴	۰/۹۴
Linear Moments	Q <sub>۱</sub>	-۷/۰۰۹	-۶/۴۷	۱۴/۹۸	۱۳/۳۱	۰/۹۷
	Q <sub>۲</sub>	-۰/۶۶۶	۴/۶۳	۲۲/۳۱	۱۷/۶۰	۰/۹۵
	Q <sub>۳</sub>	۱۷/۲۵۱	۲۵/۵۷	۴۴/۰۲	۳۷/۰۶	۰/۹۰
	Q <sub>۱..</sub>	۴۰/۰۲۱	۴۶/۸۷	۷۲/۰۰	۵۹/۶۷	۰/۸۰

حوضه‌های آبخیز می‌باشد.

تاکنون مطالعه‌ای جهت مقایسه کارایی روش کریجینگ متعارف با گشتاورهای خطی صورت نگرفته است. اما اورودا و همکاران [۳۲] در مطالعه‌ای عملکرد روش کریجینگ متعارف را با روش خوشه‌بندی مورد ارزیابی قرار دادند. در روش خوشه‌بندی مناطق همگن براساس الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد تعیین گردیدند و برآوردهای منطقه‌ای براساس رگرسیون منطقه‌ای بدست آمد. نتایج ارزیابی متقابل جک‌نایف براساس شش شاخص آماری نشان داد، روش کریجینگ متعارف نسبت به روش خوشه‌بندی با افزایش دوره بازگشت عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد. نتایج مطالعه اورودا و همکاران [۳۲] با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

کاربرد روش زمین‌آمار در فضای فیزیوگرافی جهت برآوردهای منطقه‌ای سیلاب، یک نوآوری در عرصه‌ی تحقیقات منطقه‌ای نمودن داده‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌گردد. پیوسته بودن متغیرهای هیدرولوژیکی در سراسر فضای فیزیوگرافی یکی از مهمترین خصوصیات فضاهای متعارف محسوب می‌گردد. مختصات فیزیوگرافی هر حوضه در فضای متعارف براساس اطلاعات مشابه‌ترین حوضه‌های اطراف به خصوصیات حوضه موردنظر بدست می‌آید، بنابراین در چنین حالتی برآوردهای منطقه‌ای از دقت و قطعیت بالاتری برخوردار خواهند بود. روش کریجینگ متعارف با در نظر گرفتن مفهوم همسایگی هیدرولوژیکی، مشکل گروه‌بندی حوضه‌ها یا تعیین مناطق همگن را نیز برطرف نموده است. علاوه بر این امکان برآوردهای منطقه‌ای کمیت هیدرولوژیکی را در نقاط بدون اندازه‌گیری فراهم نموده است. در حوضه‌های بدون آمار، با داشتن خصوصیات اقلیمی و فیزیوگرافی این حوضه‌ها و با کمک دو متغیر کانونی می‌توان مختصات آنها را در فضای فیزیوگرافی بدست آورد و با توجه به پیوستگی متغیر هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی، با استفاده از یک روش درون‌یابی مقادیر منطقه‌ای را برآورد نمود. خطای مشاهده شده در برآوردهای منطقه‌ای روش

با قطعیتی بالاتر نسبت به روش گشتاورهای خطی ارائه می‌دهد. در شکل ۴ بوضوح قطعیت بالای برآوردهای روش کریجینگ متعارف مشهود می‌باشد. کاربرد تکنیک زمین‌آمار در روش کریجینگ متعارف دلیل اصلی این تمایز محسوب می‌گردد. قدرت اصلی روش‌های زمین‌آمار را می‌توان در بهترین برآوردگر خطی ناریب<sup>۱</sup> بودن دانست. "بهترین" بدین معناست که جذر میانگین خطای آن حداقل می‌باشد، "خطی" بدین معناست که برآوردهای آن براساس متوسط وزن داده‌ها در منطقه بوده و "ناریب" یعنی میانگین خطای قابل انتظار آن صفر می‌باشد [۲۶]. نتایج دو شاخص BIASr و RMSEr همچنین نشان داد، اثر مقیاس یکی از عوامل مؤثر بر خطاهای محاسباتی است و باید به منظور حذف اثر مقیاس از دبی استاندارد شده بوسیله وسعت حوضه زهکشی استفاده نمود. علاوه بر این نتایج مطالعه حاضر برتری رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی را نسبت به روش مناطق ثابت جهت تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی نشان داد که با نتایج گروه تحقیقات آماری هیدرولوژی [۱۶] مطابقت دارد. براساس نتایج آنها روش همسایگی در تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی از روش مناطق ثابت جغرافیای برتری دارد و استفاده از مناطق همگن ثابت جغرافیایی هر چند برای مقاصد عملی مناسب است، اما شباهت‌های هیدرولوژیکی را تخمین نمی‌زند.

بطور کلی عملکرد بهتر روش کریجینگ متعارف نسبت به روش گشتاورهای خطی را می‌توان تحت تأثیر عوامل زیر دانست: (۱) تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی براساس رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی، (۲) بکارگیری فاصله‌ی اقلیدی بین حوضه‌ها در فضای فیزیوگرافی و براساس شباهت در رژیم هیدرولوژیکی، (۳) در نظر گرفتن ساختار مکانی و خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه‌ها در برآوردهای منطقه‌ای، (۴) تمایل روش‌های زمین‌آمار در به حداقل رساندن میزان خطای BIAS در محاسبات، (۵) طراحی فضای فیزیوگرافی براساس روش CCA که به دنبال حداکثر رساندن همبستگی میان متغیرهای اقلیمی، فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی

1-Best Linear Unbiased Estimator

Hydrological Sciences Journal, 46: 499-512.

7- 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, W12514.

8- Daviau, J.L., Adamowski, A., and Patry, G.G. 2000. Regional flood frequency analysis using GIS, L-moment and geostatistical methods. *Hydrological Processes*. 14: 2731-2753.

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

10- DeBeers. 2002. Snap Lake Diamond Project: Environmental Assessment Report. Submitted to the Mackenzie Valley Environmental Impact Review Board. 123 p.

11- Eslamian, S., and Chavoshi Borojeni, S. 2003. Using L-moment theory in flood frequency analysis of central catchments of Iran. *Journal of Water and Soil Science*. 7(1): 1-17. (In Persian)

12- Farsadnia, F. 2011. Regionalization of watershed Mazanadaran using Fuzzy Cluster Analysis. Thesis for the degree M.Sc. Agriculture Faculty of Zabol. 88p. (In Persian)

13- Farshadfar, E. (2010). *Multivariate principles and procedures of statistics*. Razi University Press. 753p. (In Persian)

14- 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*, 12: 825-839.

15- Ghahraman, B., Shamkoian, H., Davary, K. 2010. Derivation of the Regional Rainfall Depth-Duration-Frequency Equations using Linear Moment Theories (Case Study: Khorasan Provinces). *Iranian Journal of Irrigation and drainage*. 4:132-142. (In Persian)

16- GREHYS. 1996a. Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *Journal of hydrology*, 186: 63-84.

17- GREHYS. 1996b. Inter-comparison of

کریجینگ متعارف، می‌تواند متأثر از عوامل زیر باشد: ۱) این روش به کیفیت داده‌های مورد استفاده حساس است و ناهنجاری‌های موجود در داده‌ها به‌طور مستقیم بر دقت نتایج آن تأثیرگذار می‌باشد، ۲) متغیرهای در نظر گرفته شده جهت طراحی فضای فیزیوگرافی تنها بخشی از متغیرهای مؤثر بر سیلاب بوده و تمامی متغیرهای مؤثر بر آن لحاظ نشده است و ۳) وجود طیف گسترده حوضه‌های آبخیز از حیث وسعت و رژیم‌های هیدرولوژیکی، به‌طوری که وسعت حوضه‌های آبخیز منطقه مورد مطالعه از ۲۷ تا ۴۰۲۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. با لحاظ نمودن موارد عنوان شده، قابلیت و انعطاف‌پذیری بالای روش کریجینگ متعارف در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب کاملاً مشهود است و می‌توان بیان داشت این روش از پتانسیل کافی جهت برآوردهای منطقه‌ای داده‌های هیدرولوژیکی برخوردار می‌باشد و برآوردهای دقیق‌تر و قابل اعتمادتری، نسبت به روش‌های مرسوم در این زمینه ارائه می‌دهد.

#### منابع

1- Acreman, M.C., and Sinclair, C.D. 1986. Classification of drainage basins according to their physical characteristics; an application for flood frequency analysis in Scotland. *Journal of Hydrology*. 84: 365-380.

2- Archfield, S.A., Pugliese, A., Castellarin, A., Skøien, 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. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17: 1575-1588.

3- Burn, D.H. 1990. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resource Research*. 26(10): 2257-2265.

4- Castellarin, A., Burn, D.H., and Brath, A. 2001. Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*. 241: 270-285.

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

6- 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.

- Bruneau, P., Latraverse, M., and Kamali Nezhad, M. 2011. Regional frequency analysis of autumnal floods in the province of Quebec, Canada. *Nat Hazards*. 59: 681-698.
- 29- Muirhead, R.J. 1982. *Aspect of Multivariate Statistical Theory*. John Wiley, Hoboken, N.J.
- 30- Ouarda, T.B.M.J., Hache, M., Bruneau, P. and Bobee, B. 2000. Regional Flood Peak and Volume Estimation in a Northern Canadian Basin. *Journal of Cold Regions Engineering*, 14: 176-191.
- 31- Ouarda, T.B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S. and Bobee, B. 2001. Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *Journal of hydrology*, 254: 157-173.
- 32- Ouarda, T.B.M.J., Ba, K.M., Diaz-Delgado, C., Carsteanu, A., Chokmani, K., Gingras, H., Quentin, E., Trujillo, E., and Bobe'e, B. 2008. Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. *Journal of Hydrology*. 348: 40-58.
- 33- Pearson, C.P. 1991. Regional flood frequency analysis for small New Zealand basins. Flood frequency groups. *New Zealand Journal of Hydrology*. 30: 77-90.
- 34- Rao, R.A. and Srinivas, V.V. 2005. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology*. 318: 37-56.
- 35- Reed, D.W., Jakob, D., Robinson, A.J., Faulkner, D.A., and Stewart, E.J., 1999. Regional frequency analysis: a new vocabulary. P237-243, *Proceedings of the international Congress of Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating*, Birmingham, UK.
- 36- Rostami Kamrod, M., Heydari, Sh, Z., Haghigatjo, P., Moghaddamnia, A. 2011. Regional flood frequency analysis using L-moments methods for watershed basins Gilan. *Journal of engineer water resource*. 4: 39-50. (In Persian)
- 37- Rostami, R., Sedghi, H., Motamedi, A. 2009. Flood Analysis of Dez basin. *Journal of water engineer*. 2:61-70. (In Persian)
- 38- Sarhadi, A., Soltani, S., Modaress, R. 2008. Regional frequency low flow analysis using liner regional flood frequency procedures for Canadian rivers. *Journal of hydrology*, 186: 85-103.
- 18- 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 Hydrology*, 364: 1-12.
- 19- Hassani Pak, A. A. 2007. *Geostatistics*. Tehran University Press. 314p. (In Persian)
- 20- Holmes, M.G.R., Young, A.R., Gustard, A. and Grew, R. 2002. A region of influence approach to predicting flow duration curves within ungauged catchments. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 6: 721-731.
- 21- Hosking, J.R.M. 1990. L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of Royal Statistical Society B*. 52: 105-124.
- 22- Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1991. Some statistics useful in regional frequency analysis, Res. Rep. RC 17096, IBM Research Division, Yorktown Heights, NY 10598.
- 23- Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resource Research*. 29: 271-281.
- 24- Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. 1997. *Regional frequency analysis an approach based on L-moments*. Cambridge University Press: New York. 244p.
- 25- Joseph G., Chokmani K., Ouarda T.B.M.J. and Saint-Hilaire A. 2006. An evaluation of the robustness of canonical kriging for regional analysis of streamflows. *Revue des Science de l'eau*, 20(4): 367-380.
- 26- Journel, A. and Huijbregts, Ch. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, 600p.
- 27- Kamali Nezhad, M., Chokmani, K., Ouarda, T.B.M.J., Barbet, M., and Bruneau, P. 2010. Regional flood frequency analysis using residual kriging in physiographical space. *Hydrological Processes*. 24: 2045-2055.
- 28- Martel, B., Ouarda, T.B.M.J., Barbet, M.,

- 41- Skøien, J.O. and Bloschl, G. 2007. Spatiotemporal topological kriging of runoff time series. *Water Resource Research*. 43: W09419.
- 42- Skøien, J.O., Merz, R., and Bloschl, G. 2006. Top-kriging geostatistics on stream networks. *Hydrology and Earth System Science*. 10: 277–287.
- 39- Shamkoueyan, H., Ghahraman, B., Davary, K. 2009. Flood frequency analysis using Linear moment and flood index method in Khorasan provinces. *Journal of water and soil*. 23: 31-43. (In Persian)
- 40- Shu, C. and Ouarda T.B.M.J. 2007. Flood frequency analysis at ungauged sites using artificial neural networks in canonical correlation analysis physiographic space. *Water Resources Research*, 43(7): W07438.



*Abstract*

## Comparison Canonical Kriging and Linear Moments Methods for Regional Flood Frequency Analysis in Mazandaran Province

Z. Sheikh<sup>1</sup>, A. Dehviri<sup>2</sup> and F. Farsadnia<sup>3</sup>

Received: 2012. 08. 25 Accepted: 2014. 01. 22

The physiographical and climatological attributes of basins and maximum annual flood statistics were obtained from 38 hydrometric stations of Mazandaran province with minimum and maximum statistical periods of 13 and 56 years. The first, homogenous regions based on neighborhood approach were determined using canonical kriging method. The Canonical Correlation Analysis was used to design physiographic space using the six physiographic variables affecting the flood and two hydrological variables. The Gaussian model had the best fit to semi-variogram model in 10, 20, 50 and 100 year return periods, and regional estimates obtained using ordinary Kriging technique based on physiography space. The accuracy of results was evaluated using L-moments method for regional flood frequency analysis. In this method, Ward hierarchical clustering has been used to the determination of homogeneous regions. Homogeneity areas were adjusted by using homogenous and discordancy tests. Using goodness-of-fit Z DIST the Generalized Logistic distribution was selected for all clusters as the best regional distribution and regional estimates obtained by parameters selected distribution. Finally, performance methods evaluated using Jack Knife procedure and the five statistical indexes BIAS, BIASr, RMSE, RMSEr and NASH. Both methods give the same and desirable performance based on NASH, however results of other indexes showed that canonical kriging method provide better performance than linear moments. Increasing the return periods will improve the estimation, but the L-moments offers better performance for short return periods.

**Keywords:** *Regional Analysis, Geostatistics, Physiographical Space, Linear Moments, Clustering, Mazandaran Province.*

1- M. Sc. Combat Desertification University of Zabol , Corresponding Author Email: z.sheikh03@gmail.com ,

2- Assistant Professor, University of Zabol

3- Ph. D. student of Irrigation and Drainage Ferdowsi University of Mashhad