



دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی و مدیریت منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره اول، ۱۳۹۴
<http://jwsc.gau.ac.ir>

مقایسه روش‌های درونیابی بر پایه فضای فیزیوگرافی و گشتاورهای خطی احتمال در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در استان مازندران

* زهرا شیخ^۱، عبدالحمید دهواری^۲، احمد پهلوانروی^۳ و فرهاد فرسادنیا^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه زابل، ^۲ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل،
^۳ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، ^۴ دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۹

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 حوضه‌های آبریز گردآوری شد. در ابتدا، با استفاده از روش درونیابی بر پایه فضای فیزیوگرافی (PSBI) مناطق همگن در فضای فیزیوگرافی و براساس رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی تعیین گردیدند. طراحی فضای فیزیوگرافی با استفاده از شش متغیر فیزیوگرافی مؤثر بر سیلاب و روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی چندمتغیره انجام شد. در تمام دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال، مدل نمایی به‌عنوان بهترین مدل نیم‌تغییرنا انتخاب گردید و برآوردهای منطقه‌ای با استفاده از تکنیک کریجینگ معمولی در فضای فیزیوگرافی به‌دست آمد. سپس 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 به‌دست آمده از خوشه‌بندی با استفاده از آزمون‌های همگنی و ناهمگنی بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون نکویی برازش Z^{DIST} ، توزیع لجستیک تعمیم‌یافته برای هر سه خوشه به‌عنوان بهترین توزیع منطقه‌ای انتخاب گردید و برآوردهای منطقه‌ای براساس پارامترهای توزیع منتخب به‌دست آمد. در نهایت عملکرد دو روش با استفاده از روش ارزیابی

* مسئول مکاتبه: z.sheikh03@gmail.com

جک‌نایف و چهار شاخص آماری BIAS, BIASr, RMSE, RMSEr بررسی گردید. نتایج نشان داد روش PSBI براساس هر چهار شاخص در نظر گرفته شده، 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 فراوانی منطقه‌ای سیلاب، گشتاورهای خطی، زمین‌آمار، فضای فیزیوگرافی، استان مازندران

مقدمه

روش‌های تحلیل منطقه‌ای طیف گسترده‌ای از مطالعات هیدرولوژیکی است، که برای رفع مشکل حوضه‌های بدون آمار (PUB) و برآورد منطقه‌ای متغیرهای هیدرولوژیکی در نقاط بدون داده توسعه یافته‌اند (سیوایلن و همکاران، ۲۰۰۳). تحلیل منطقه‌ای سیلاب، با هدف ارائه برآوردهای قابل اطمینان از کمیت سیلاب در مکان‌هایی با سوابق آماری محدود یا بدون داده مورد استفاده قرار می‌گیرد و شامل دو مرحله اصلی شناسایی گروه‌های همگن هیدرولوژیکی و به‌کارگیری روش‌های برآورد منطقه‌ای درون هر منطقه همگن مشخص می‌باشد (اورودا و همکاران، ۲۰۰۸). مناطق همگن هیدرولوژیکی را می‌توان به‌صورت مناطق ثابت (مناطق جغرافیایی بهم پیوسته یا غیرپیوسته) و یا همسایگی‌های هیدرولوژیکی در نظر گرفت (اکرمن و سینکلر، ۱۹۸۶؛ پیرسون، ۱۹۹۱).

یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل منطقه‌ای کاربرد تئوری گشتاورهای خطی است، که در آن مناطق همگن هیدرولوژیکی براساس خوشه‌بندی و روش مناطق ثابت تعیین می‌گردد. در این روش از گشتاورهای خطی برای حل مسایل مربوط به تخمین پارامترهای توابع توزیع، تعیین بهترین تابع توزیع، خلاصه کردن توزیع آماری و منطقه‌ای کردن استفاده می‌گردد (هاسکینگ، ۱۹۹۰). در زمینه کاربرد تئوری گشتاورهای خطی برای برآوردهای منطقه‌ای در ایران مطالعاتی صورت گرفته است، که می‌توان به پژوهش‌های اسلامیان و بروجنی (۲۰۰۳)، سرحدی و همکاران (۲۰۰۸)، رستمی و همکاران (۲۰۰۹)، شامکوئیان و همکاران (۲۰۰۹)، قهرمان و همکاران (۲۰۱۰)، رستمی‌کامرود و همکاران (۲۰۱۱) و فرسادنیا (۲۰۱۱) اشاره نمود.

1- Problem of Ungauged Basins

پیشرفت در ابزار و تکنیک‌های مکانی- زمانی، روش‌های جدیدی را به‌منظور تحلیل داده‌ها و برآورد پارامترها در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب فراهم کرده است (داویا و همکاران، ۲۰۰۰). یافته‌های اخیر نشان می‌دهد، روش‌های زمین‌آمار که در ابتدا به‌منظور درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای توسعه یافته بودند (دی‌مازلی و احمد، ۱۹۸۷)، می‌توانند به‌طور مؤثری برای حل مشکل منطقه‌ای کردن داده‌های هیدرومتری و سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، از طریق حداکثر رساندن اطلاعات موجود در مناطق همگن هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند (چوکمانی و اورودا، ۲۰۰۴؛ اسکین و همکاران، ۲۰۰۶؛ اسکین و بلوسچ، ۲۰۰۷). روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی (PSBI)^۱ در بسیاری از جنبه‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان 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 حوضه‌های آبریز که یکی از مسایل بحث‌برانگیز در روش‌های منطقه‌ای کردن محسوب می‌گردد، را با در نظر گرفتن رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی برطرف نموده است (برن، ۱۹۹۰؛ رید و همکاران، ۱۹۹۹؛ کاستلرین و همکاران، ۲۰۰۱). پس از ارایه نتایج موفقیت‌آمیز کاربرد روش PSBI در برآورد منطقه‌ای سیلاب توسط چوکمانی و اورودا (۲۰۰۴) این روش مورد توجه سایر هیدرولوژیست‌ها قرار گرفت. به‌طوری‌که اورودا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های ۲۹ ایستگاه هیدرومتری در مکزیک به ارزیابی چهار روش: تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی، تحلیل همبستگی متعارف، روش تحلیل همبستگی متعارف اصلاح شده و روش PSBI برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش تحلیل همبستگی متعارف و PSBI نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارند. کاستلیونی و همکاران (۲۰۰۹) با هدف پیش‌بینی جریان کم^۲ در حوضه‌های بدون آمار ایتالیا به ارزیابی عملکرد روش‌های PSBI پرداختند. آن‌ها از روش درون‌یابی زمین‌آمار و درون‌یابی قطعی براساس فضای فیزیوگرافی، برای برآوردهای منطقه‌ای استفاده نمودند. ارزیابی متقابل نتایج با استفاده از روش جک‌نایف^۳ نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نتایج بهتری نسبت به روش‌های قطعی ارایه می‌دهند. کمالی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب از روش کریجینگ باقی‌مانده (RK)^۴ بر پایه فضای

1- Physiographical Space Based Interpolation

2- Low Flow

3- Jack Knife

4- Residual Kriging

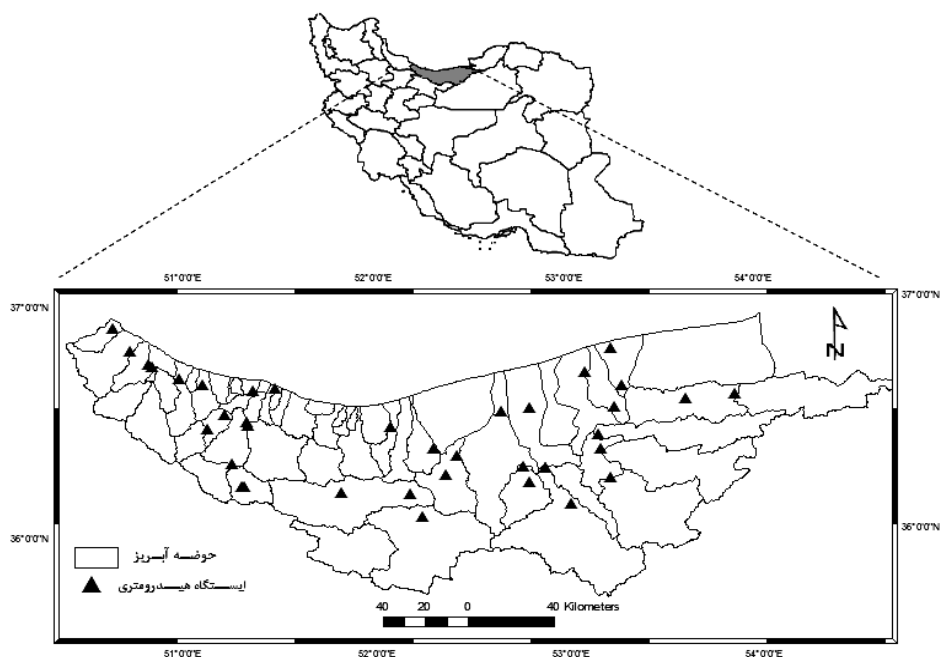
فیزیوگرافی به منظور استفاده کارآمد از هر گونه روند مکانی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی استفاده نمودند. بدین منظور، با استفاده از داده‌های ۱۵۱ ایستگاه واقع در ایالت کبک و روش ارزیابی متقابل نشان دادند که نتایج روش کریجینگ باقی‌مانده برآوردهای کارآمدتری از مقادیر سیلاب منطقه‌ای نسبت به روش کریجینگ معمولی در فضای فیزیوگرافی و روش‌های رگرسیونی ارائه می‌نماید. مارتل و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی فراوانی منطقه‌ای سیلاب پاییزی در ایالت کبک کانادا در سه بازه زمانی با احتمال وقوع سیلاب پاییزی پرداختند. آن‌ها از روش تحلیل همبستگی متعارف و روش PSBI برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای، حجم و اوج سیلاب استفاده نمودند. نتایج نشان داد که هر دو مدل عملکرد مطلوبی ارائه می‌دهند. آرچفیلد و همکاران (۲۰۱۳) با هدف بررسی عملکرد روش‌های زمین‌آمار در پیش‌بینی سیلاب طرح در مکان‌های بدون داده در ایالات متحده آمریکا مطالعه‌ای انجام دادند. دو روش زمین‌آمار شامل: کریجینگ توپولوژی و PSBI با روش رگرسیون منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار از عملکرد بهتری برخوردار هستند.

هدف از این مطالعه تفکیک و منطقه‌بندی حوضه‌های آبریز استان مازندران براساس مفهوم همسایگی هیدرولوژیکی و الگوریتم خوشه‌بندی وارد^۱، برآورد فراوانی منطقه‌ای سیلاب براساس روش PSBI و روش گشتاورهای خطی در مناطق همگن هیدرولوژیکی شناسایی شده و در نهایت ارزیابی کارایی این دو روش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه استان مازندران در شمال ایران، با مساحتی بالغ بر ۲۴ هزار کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی می‌باشد، که به شکل نواری پهن در امتداد رشته‌کوه‌های 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 داده پرت و همچنین کیفیت براساس آزمون گرویز 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 برآزش با روش گشتاورهای خطی و حداکثر احتمال درست‌نمایی به‌دست آمد. علاوه‌بر 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 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. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است. به‌منظور حذف اثرات اختلاف واحد موجود در پارامترهای 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.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری.

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۲)، شماره (۱) ۱۳۹۴

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه.

ردیف	ایستگاه	مساحت (کیلومتر مربع)	طول دوره آماری	دبی اوج لحظه‌ای با دوره بازگشت ۱۰ سال (مترمکعب بر ثانیه)
۱	سفیدچاه	۱۰۳۶/۹۲	۳۴	۲۳/۱۹
۲	گلورد	۱۴۲۷/۷۴	۲۷	۱۱۴
۳	آبلو	۱۹۰۵/۶۱	۳۰	۱۵۰/۷۱
۴	نوذرآباد	۲۰۱۷/۳۲	۳۴	۱۰۰/۹۵
۵	سلیمان‌تنگه	۱۲۴۸/۲۵	۴۶	۵۸/۴۱
۶	ریگ چشمه	۲۷۱۵/۲۵	۴۸	۱۴۵/۲۱
۷	گرمرو	۸۷۶/۷۸	۲۶	۸۲/۳۶
۸	کردخیل	۴۰۲۶/۵۷	۳۵	۳۰۹/۸۹
۹	دارابکلا	۲۷/۵۷	۲۸	۲۹/۱۸
۱۰	کریکلا	۵۶۶/۶۳	۲۲	۲۱/۵
۱۱	کیاکلا	۲۳۸۶/۷۹	۵۴	۲۶۶/۸۷
۱۲	شیرگاه کسلیان	۳۴۲/۸۹	۵۴	۱۵۱/۴۹
۱۳	شیرگاه تالار	۱۷۷۶/۱۶	۵۰	۹۳/۹۳
۱۴	پاشاکلا	۲۱۱/۳۳	۱۳	۴۳/۳۵
۱۵	قرآن تالار	۴۰۶/۶۱	۵۳	۱۹۷/۲۹
۱۶	کشتارگاه	۱۶۲۵/۱۵	۵۴	۴۳۳/۷۵
۱۷	بلده	۷۵۲/۷۴	۲۸	۴۱/۲۹
۱۸	رزن	۱۱۸۲/۳۱	۳۶	۴۸/۵۸
۱۹	پنجاب	۲۳۵/۵۲	۲۹	۳۵/۶۲
۲۰	کره‌سنگ	۳۹۸۶/۶۶	۵۵	۱۷۴/۹۶
۲۱	بلیران	۸۲/۰۶	۱۳	۲۶/۷۴
۲۲	آغوزکتی	۱۴۰/۶۲	۴۶	۲۹/۵۹
۲۳	نوشهر	۷۵/۴۹	۳۴	۴۱/۳۷
۲۴	دره هریجان	۸۴/۸۳	۲۱	۹/۲۸
۲۵	ولی‌آباد	۱۸۱/۰۹	۲۱	۵۸/۹۷
۲۶	آبشار	۵۸۶/۱۸	۲۲	۵۸/۵۹

زهرا شیخ و همکاران

ادامه جدول ۱-

ردیف	ایستگاه	مساحت (کیلومتر مربع)	طول دوره آماری	دبی اوج لحظه‌ای با دوره بازگشت ۱۰ سال (مترمکعب بر ثانیه)
۲۷	دوآب چالوس	۶۲۷/۴۳	۲۸	۱۷/۳۸
۲۸	پل ذغال	۱۵۸۳/۳۶	۵۶	۹۴/۱۵
۲۹	کلاردشت	۱۹۰/۴۶	۴۸	۲۰/۴۵
۳۰	والت	۳۳۰/۵۱	۲۷	۲۵/۰۶
۳۱	زوات	۴۱۹/۰۰	۳۰	۳۱/۶۱
۳۲	ماشالله‌آباد	۱۵۱/۳۴	۲۰	۵۶/۴۹
۳۳	هرات‌بر	۷۷۶/۲۰	۳۸	۱۱۵/۴۷
۳۴	گانگسر	۴۰۹/۲۲	۳۲	۶۲/۸۴
۳۵	رامسر	۱۳۵/۸۱	۳۵	۴۳/۴۹
۳۶	دینار سرا	۲۲۴/۶۸	۲۵	۳۷/۵۵
۳۷	اسکومحله	۸۱/۳۰	۱۸	۳۱/۲۳
۳۸	رضا پط	۱۰۸/۱۹	۱۵	۳۹/۳۴

روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی (PSBI): روش PSBI برای حل مشکل منطقه‌ای کردن داده‌های هیدرولوژیکی بدون پیوستگی مکانی توسط چوکمانی و اورودا (۲۰۰۴) ارائه گردید. در این روش تعیین مناطق همگن، براساس مفهوم همسایگی هیدرولوژیکی صورت می‌گیرد. 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، ۱۹۹۶). روش PSBI به‌طور مشخص شامل دو مرحله ساخت فضای فیزیوگرافی و درون‌یابی مکانی در فضای فیزیوگرافی می‌باشد.

ساخت فضای فیزیوگرافی: در فضای جغرافیایی، سیلاب کمیتهی مجزا و بدون ساختار مکانی^۲ می‌باشد. حتی در حوضه‌های هم‌جوار مقادیر آن تغییرات زیادی دارد؛ زیرا مکانیسم تولید سیلاب و

1- Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique (GREHYS)

2- Spatial structure

پارامترهای مؤثر بر آن در هر حوضه منحصر به فرد می‌باشد. در واقع وقوع سیلاب در هر مکان، نشان‌دهنده پاسخ هیدرولوژیکی به اقلیم غالب منطقه و منعکس‌کننده تأثیر خصوصیات فیزیکی و ژئومورفولوژی حوضه‌ها می‌باشد. در این صورت اگرچه سیلاب ماهیتی پیوسته در فضای جغرافیایی ندارد، اما در فضای فیزیوگرافی طراحی شده توسط متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی مؤثر بر آن، ماهیتی پیوسته خواهد داشت (چوکمانی و اورودا، ۲۰۰۴). فضای فیزیوگرافی، یک فضای چندبعدی تعریف شده توسط متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی مؤثر بر کمیت مورد نظر می‌باشد؛ مختصات آن به وسیله توصیف‌گرهای ژئومورفوکلیماتیک هر حوضه و روش‌های آماری چندمتغیره به دست می‌آید. روش‌های متعددی برای ساخت فضای فیزیوگرافی وجود دارد، که می‌توان به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۱ و تحلیل همبستگی کانونی (CCA)^۲ اشاره کرد. چوکمانی و اورودا (۲۰۰۴)، کاستلیونی و همکاران (۲۰۰۹ و ۲۰۱۱) از روش PCA برای طراحی فضای فیزیوگرافی استفاده نمودند.

روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA): جزء روش‌های آماری چندمتغیره می‌باشد، که بیش‌تر به منظور کاهش ابعاد مجموعه داده‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به کاربر اجازه می‌دهد که فضای n بعدی را به یک فضای جدید تعریف شده با m متغیر (یعنی مؤلفه‌های اصلی) تبدیل نماید. به طوری که m یک ترکیب خطی با مقادیر بین ۱ تا n از متغیرهای اصلی باشد (کاستلیونی و همکاران، ۲۰۰۹).

$$PC_m = a_{1n}X_1 + a_{2n}X_2 + \dots + a_{nn}X_n \quad (1)$$

که در آن، PC_m : مؤلفه اصلی m ام، X : مقادیر متغیرها و a_{ij} : ضرایب ثابت می‌باشد (فرشادفر، ۲۰۱۰). درون‌یابی مکانی: روش PSBI بر درون‌یابی متغیرهای هیدرولوژیکی در فضای فیزیوگرافی به جای فضای جغرافیایی معمول تأکید دارد. بنابراین پس از ساخت فضای فیزیوگرافی به منظور درون‌یابی داده‌های هیدرولوژیکی، مختصات فیزیوگرافی هر حوضه به جای مختصات جغرافیایی آن‌ها باید مورد استفاده قرار گیرد (کاستلیونی و همکاران، ۲۰۰۹). بر این اساس هر حوضه می‌تواند به عنوان یک نقطه در فضای $X-Y$ تعریف شده توسط پارامترهای فیزیوگرافی - اقلیمی قرار گیرد و مقادیر تجربی کمیت مورد نظر (سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف) به عنوان محور سوم یا Z در نظر گرفته شود و

- 1- Principal Component Analysis
- 2- Canonical Correlation Analysis

درون‌یابی را با استفاده از یک الگوریتم درون‌یابی استاندارد مانند کریجینگ انجام داد (چو کمانی و اورودا، ۲۰۰۴).

روش کریجینگ: کریجینگ مجموعه‌ای از روش‌های رگرسیونی خطی تعمیم داده شده در ابعاد بزرگ است، که جزء روش‌های تخمین زمین‌آمار محسوب می‌گردد. این تکنیک برآوردهای خطی و نارایب از کمیت مورد نظر را با استفاده از اطلاعات همسایگی براساس رابطه ۲ ارائه می‌نماید.

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (2)$$

$$\sum \lambda_i = 1 \quad (3)$$

که در آن، Z^* : مقدار متغیر برآورد شده، $Z(x_i)$: مقدار متغیر مشاهده شده در نقطه x_i ، N : تعداد مشاهدات و λ_i : وزن نسبت داده شده به متغیر x_i ، البته در شرایطی که رابطه ۳ برقرار باشد (حسنی پاک، ۲۰۰۷).

روش گشتاورهای خطی: گشتاورهای خطی، ترکیب خطی از آماره‌های ترتیبی^۱ هستند؛ که توسط هاسکینگ (۱۹۹۰) ارائه شدند. چهار گشتاور خطی نخست که به‌عنوان ترکیب خطی گشتاورهای وزنی احتمال بیان می‌شوند، عبارتند از:

$$\lambda_1 = \beta. \quad (4)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta. \quad (5)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta. \quad (6)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta. \quad (7)$$

هاسکینگ و والیس (۱۹۹۳)، برای محاسبه دقیق‌تر ایستگاه‌های ناهمگن آزمون‌های همگنی و برای تعیین توزیع منتخب، آزمون نکوئی برازش مبتنی بر گشتاورهای خطی را معرفی کردند. آزمون‌های همگنی شامل آزمون ناهمگنی^۲ و آزمون ناهماهنگی^۳ منطقه‌ای می‌باشد.

1- Order Statistics

2- Heterogeneity

3- Discordancy

آزمون ناهمگنی منطقه‌ای: اگر تغییرپذیری یا فضای پراکنش ایستگاه‌ها بزرگ باشد، احتمال تعلق این ایستگاه‌ها به یک مجموعه واحد را می‌توان به وسیله آزمون ناهمگنی گشتاورهای خطی بررسی کرد؛ که شامل سه آماره H_1 ، H_2 و H_3 است (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۱). اگر مقادیر این سه آماره کم‌تر از یک باشد، منطقه همگن، اگر بین یک تا دو باشد، به نسبت ناهمگن و اگر بزرگ‌تر از دو باشد؛ منطقه کاملاً ناهمگن می‌باشد. هر یک از آماره‌های H دارای فرم عمومی مطابق رابطه زیر می‌باشند:

$$H = \frac{(V_{obs} - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (8)$$

که در آن، μ_v و σ_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 (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۷).

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 ۳ باشد، ایستگاه ناهماهنگ بوده و از گروه حذف می‌شود. معیار ناهماهنگی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_i = \frac{1}{3} (u_i - \bar{u})^T S^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (9)$$

$$S = (NS - 1)^{-1} \sum_{i=1}^{NS} (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (10)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} u_i \quad (11)$$

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

انتخاب بهترین توزیع منطقه‌ای: آزمون نکوئی 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.

$$Z^{DIST} = (\tau_{\xi}^{DIST} - \tau_{\xi}^{-} + \beta_{\xi}) / \sigma_{\xi} \quad (12)$$

که در آن، DIST: اشاره به توزیع منتخب می‌کند. τ_{ξ}^{DIST} : ضریب کشیدگی خطی توزیع منتخب، τ_{ξ}^{-} : میانگین کشیدگی خطی، β_{ξ} و σ_{ξ} به ترتیب مقدار اریب و انحراف از معیار τ_{ξ} یا ضریب کشیدگی خطی می‌باشند (هاسکینگ، ۱۹۹۰).

برآورد سیلاب منطقه‌ای: با به‌کارگیری روش گشتاورهای خطی، پارامترهای توابع توزیع منتخب برای هر منطقه برآورد می‌شود و با استفاده از پارامترهای توزیع منتخب، چندک هر یک از نواحی به‌دست می‌آید. در نهایت با استفاده از رابطه زیر مقدار سیلاب منطقه‌ای برای دوره‌های بازگشت گوناگون به‌دست می‌آید:

$$\hat{Q}_i(F) = l_i^i \hat{q}(F) \quad (13)$$

که در آن، $\hat{q}(F)$: چندک به‌دست آمده از توزیع منتخب و l_i^i : میانگین سیلاب در هر ایستگاه، $\hat{Q}_i(F)$: مقادیر سیلاب منطقه‌ای برآورد شده در دوره‌های بازگشت مختلف است (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۷).

ارزیابی نتایج: به‌منظور بررسی صحت نتایج و ارزیابی قابلیت اطمینان در برآوردهای سیلاب منطقه‌ای از روش ارزیابی متقابل جک‌نایف استفاده می‌گردد. 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 جک‌نایف را به‌طور خلاصه می‌توان به شرح زیر بیان نمود: ۱- حذف حوضه i از مجموعه n حوضه و شبیه‌سازی شرایط بدون سنجش برای حوضه i ؛ ۲- استفاده از روش PCA در فضای فیزیوگرافی دوبعدی 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- مقایسه نتایج به‌دست آمده به‌وسیله روش جک‌نایف با مقادیر تجربی مورد نظر با استفاده از ۴ شاخص آماری براساس رابطه‌های ۱۴ تا ۱۷ انجام می‌شود (کاستلیونی و همکاران، ۲۰۰۹).

$$BIAS = \frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} [Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)] \quad (14)$$

$$BISAr = \frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} \left[\frac{Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)}{Q_{loc}(i)} \right] \quad (15)$$

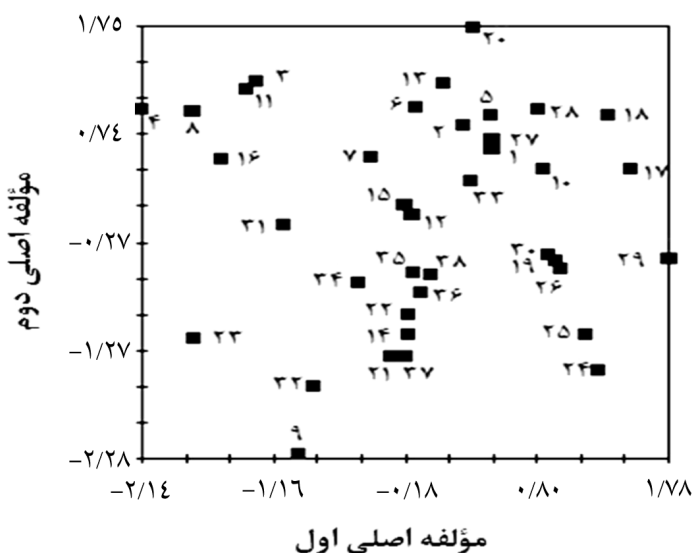
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} [Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)]^2} \quad (16)$$

$$RMSEr = \sqrt{\frac{1}{ns} \sum_{i=1}^{ns} \left[\frac{Q_{reg}(i) - Q_{loc}(i)}{Q_{loc}(i)} \right]^2} \quad (17)$$

که در آن، ns: تعداد ایستگاه‌ها، $Q_{reg}(i)$ و $Q_{loc}(i)$ به ترتیب سیلاب ایستگاهی و منطقه‌ای متعلق به ایستگاه i ام با دوره بازگشت T سال می‌باشد (اورودا و همکاران، ۲۰۰۸).

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل نتایج تکنیک PSBI: ساخت فضای فیزیوگرافی با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) و در نظر گرفتن ۶ متغیر فیزیوگرافی شامل مساحت حوضه، شیب متوسط حوضه، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی، حداقل ارتفاع حوضه و ارتفاع ایستگاه‌های هیدرومتری در محیط SPSS انجام شد. فضای فیزیوگرافی فضای دوبعدی ایجاد شده، توسط مؤلفه اصلی اول و مؤلفه اصلی دوم می‌باشد. این دو مؤلفه اصلی در مجموع ۷۳/۷۴ درصد از واریانس کل (به ترتیب ۴۱/۷۳ و ۳۲ درصد) را بیان می‌کنند. شکل ۲ نحوه پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری در فضای فیزیوگرافی PCA را ارائه می‌کند. شماره ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۲ مطابق با جدول ۱ می‌باشد. بدین ترتیب مختصات فیزیوگرافی هر ایستگاه با توجه به موقعیت قرارگیری در فضای فیزیوگرافی برای انجام مراحل بعدی محاسبه‌ها به دست آمد.



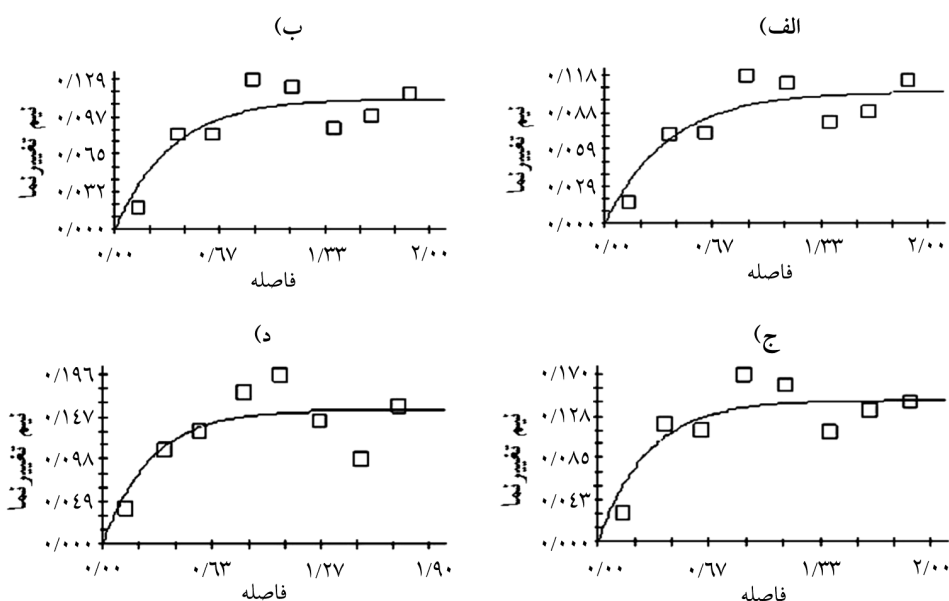
شکل ۲- نحوه پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری در فضای فیزیوگرافی PCA.

شناسایی و اندازه‌گیری ساختار مکانی کمیت هیدرولوژیکی، براساس نیم‌تغییرنمای تجربی و با استفاده از نرم‌افزار GS^+ صورت گرفت. نیم‌تغییرنماهای تجربی ایزوتروپیک در فضای فیزیوگرافی طراحی شده با PCA تعیین گردیدند و ناهمسانگردی داده‌ها در جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ نشان‌دهنده نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده به کمیت سیلاب ایستگاهی با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال می‌باشد. براساس شکل ۳ 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^۱ می‌گویند. بر این اساس سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال از آستانه بالاتری نسبت به سایر دوره‌های بازگشت برخوردار می‌باشد. این امر به علت افزایش مقادیر دبی با افزایش دوره بازگشت کاملاً قابل توجیه می‌باشد. محدوده‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به آستانه می‌رسد و پس از آن ساختار مکانی وجود نخواهد داشت، دامنه تأثیر^۲ می‌نامند. با توجه به نیم‌تغییرنماهای تجربی، دبی با

1- Sill

2- Effect Range

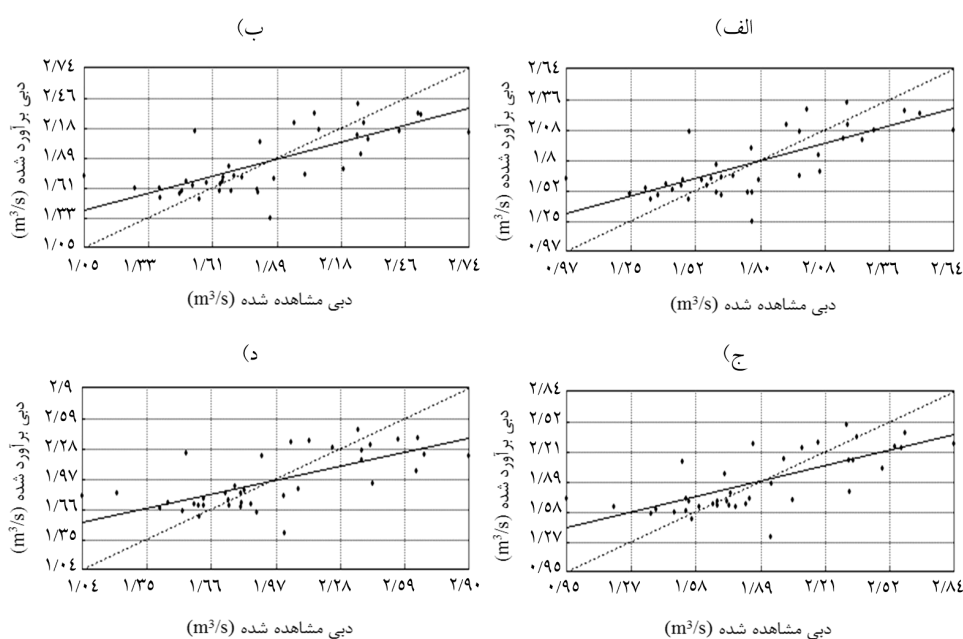
دوره بازگشت ۱۰ سال از دامنه تأثیر بیش‌تری نسبت به سایر دوره‌های بازگشت برخوردار می‌باشد. زیرا با افزایش دوره بازگشت میزان پیوستگی مکانی کاهش می‌یابد.



شکل ۳- نیم‌تغییرنماهای برازش داده شده با مقادیر سیلاب ایستگاهی (با دوره بازگشت‌های الف=۱۰، ب=۲۰، ج=۵۰ و د=۱۰۰ سال).

پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی، باید مدل تئوری به آن برازش داده شود. مدل‌های تئوری شامل کروی، 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 شاخص‌های ضریب همبستگی، مجموع مربعات باقی‌مانده و تناسب ساختار مکانی در نهایت مدل نمایی مناسب ارزیابی شد. پس از برازش مدل نمایی، برآوردهای منطقه‌ای سیلاب براساس تکنیک کریجینگ معمولی در فضای فیزیوگرافی PCA محاسبه گردید. ارزیابی متقابل مقادیر دبی برآورد شده براساس روش PSBI با دبی مشاهده شده در شکل ۴ ارائه شده است. محور X نمودار نشان‌دهنده مقادیر دبی مشاهده شده و محور Y نشان‌دهنده مقادیر دبی منطقه‌ای برآورد شده براساس دوره‌های بازگشت مختلف می‌باشد. هرچه

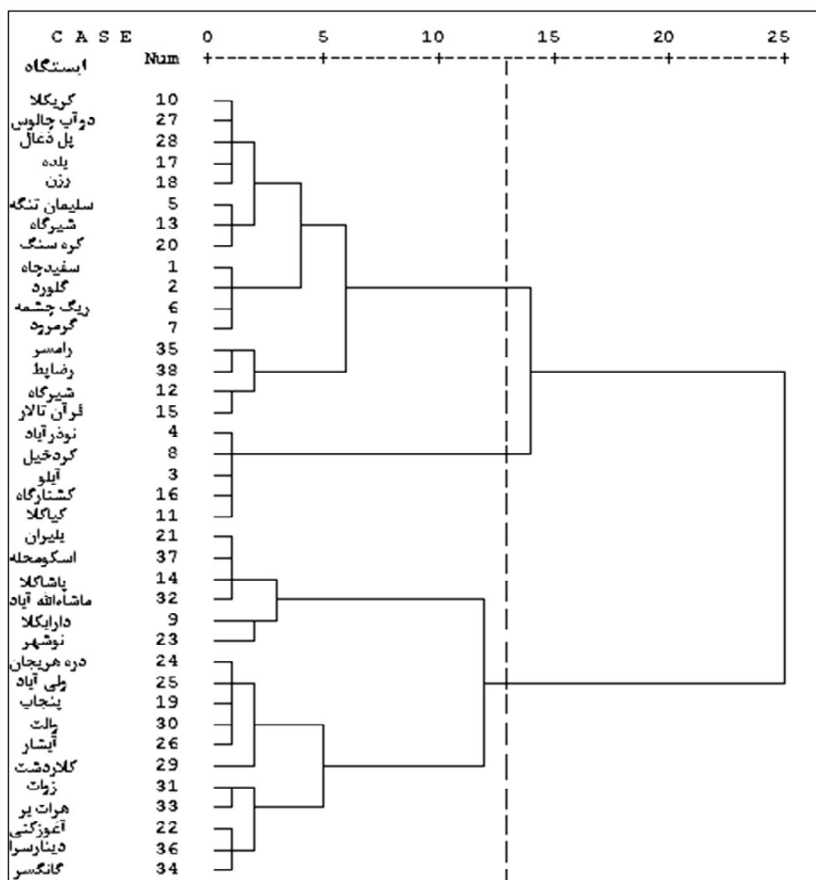
پراکنش نقاط و خط بهترین برازش با مقادیر دبی منطقه‌ای به خط ۱:۱ نزدیک‌تر باشد، دقت مدل مورد بررسی بالاتر خواهد بود. با توجه به شکل نام‌برده مشاهده می‌گردد با افزایش دوره بازگشت فاصله بین خط ایده‌آل (۱:۱) و خط بهترین برازش با مقادیر دبی منطقه‌ای در حال افزایش می‌باشد. این امر نشان‌دهنده افزایش مقادیر میانگین خطا با افزایش دوره بازگشت می‌باشد. بر این اساس دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال عملکرد بهتری نسبت به سایر دوره‌های بازگشت ارایه می‌دهد.



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

تجزیه و تحلیل نتایج گشتاورهای خطی: تعیین مناطق همگن استان مازندران براساس روش خوشه‌بندی با به‌کارگیری ۵ مشخصه فیزیوگرافی شامل 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 فرسادنیا (۲۰۱۱) تعداد خوشه بهینه برابر با ۳ انتخاب گردید. شکل ۵، نتایج خوشه‌بندی و نحوه قرارگیری ایستگاه‌ها براساس سه خوشه در نظر گرفته شده را ارایه می‌دهد.



شکل ۵- دندروگرام به دست آمده از الگوریتم خوشه‌بندی.

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_2 مربوط به این منطقه، این موضوع را تأیید می‌نماید. منطقه ۳ براساس آماره H_1 به نسبت ناهمگن است و آماره H_2 نیز نشان‌دهنده همین

موضوع می‌باشد. زمانی که مجموعه جامعی از متغیرهای تأثیرگذار 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.

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

شماره منطقه	پیش از تعدیل همگنی				پس از تعدیل همگنی			
	تعداد ایستگاه	H _۱	H _۲	H _۳	تعداد ایستگاه	H _۱	H _۲	H _۳
۱	۱۶	۲/۲۳**	۱/۴۰*	۰/۳۴	۱۷	۰/۴۴	-۰/۲۷	-۰/۵۸
۲	۵	۰/۸۷	۰/۷۱	۰/۹۲	۸	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۵۰
۳	۱۷	۱/۷۰*	۱/۱۰*	۰/۵۰	۱۱	۰/۸۰	-۰/۲۷	-۰/۶۴

* به نسبت ناهمگن و ** کاملاً ناهمگن

هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷) راه‌کارهایی برای تعدیل مناطق ناهمگن ارائه نمودند. در این پژوهش 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 ایستگاه گلورد از خوشه ۱ به علت بالا بودن آماره ناهماهنگی (D) حذف گردید و ۴ ایستگاه دره هریجان، والت، هرات‌بر و بلیران از خوشه ۳ به آن منتقل شد. در خوشه ۳، ایستگاه پاشاکلا به علت بالا بودن آماره ناهماهنگی (D) حذف گردید و ایستگاه‌های رامسر و رضایط از خوشه ۱ به آن انتقال یافت و سه ایستگاه آبشار، دینار سرا و زوات به خوشه ۲ انتقال یافت. در نهایت هر سه منطقه همگن گردیدند. مقادیر آماره ناهمگنی پیش و پس از تعدیل همگنی در جدول ۲ نشان داده شده است. در مرحله بعد به منظور 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 تعمیم‌یافته برای هر سه منطقه انتخاب گردید. توزیع لجستیک تعمیم‌یافته 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 به دست آمد و در نهایت برآوردهای منطقه‌ای کمیت سیلاب براساس رابطه ۱۳ در هر ایستگاه محاسبه گردید.

جدول ۳- آزمون نکویی 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

جدول ۴- پارامترهای توزیع منتخب (لجستیک تعمیم یافته).

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

مقایسه عملکرد روش PSBI و گشتاورهای خطی: به منظور بررسی صحت نتایج و دقت محاسبات، برآوردهای منطقه‌ای دو روش PSBI و گشتاورهای خطی با استفاده از روش جک‌نایف مورد بررسی قرار گرفت. در روش جک‌نایف مقادیر دبی مشاهده شده با دبی منطقه‌ای برآورد شده با به‌کارگیری چهار شاخص ارزیابی عملکرد BIAS، BIASr، RMSE و RMSEr مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در جدول ۵ نتایج ارزیابی متقابل جک‌نایف ارائه شده است. با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته شده، کم‌ترین خطا نشان‌دهنده بهترین عملکرد می‌باشد. عملکرد شاخص‌های نسبی مانند BIASr و RMSEr در بررسی کارایی کمیت‌های سیلاب منطقه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند؛ زیرا با به‌کارگیری شاخص‌های نسبی به‌جای شاخص‌های معین مانند RMSE و BIAS هر گونه اثر بالقوه مقیاس از نتایج حذف می‌گردد (اورودا و همکاران، ۲۰۰۸). براساس نتایج به‌دست آمده از روش PSBI، با افزایش دوره بازگشت، مقادیر دو شاخص RMSE و BIAS در حال افزایش می‌باشد. زیرا عدم قطعیت برآوردهای منطقه‌ای با افزایش دوره بازگشت رو به افزایش می‌باشد. شکل ۴ به وضوح نشان‌دهنده افزایش مقادیر RMSE و BIAS با افزایش دوره بازگشت می‌باشد. اما نتایج دو شاخص

نسبی $BIASr$ و $RMSEr$ نشان‌دهنده بهبود عملکرد تکنیک درون‌یابی با افزایش دوره بازگشت می‌باشد. با توجه به اهمیت نتایج شاخص‌های نسبی، می‌توان بیان نمود با افزایش دوره بازگشت عملکرد روش $PSBI$ در حال بهبود است. این نتایج با مطالعات اورودا و همکاران (۲۰۰۸) و مارتل و همکاران (۲۰۱۱) کاملاً مطابقت دارد. نتایج آن‌ها نشان داد عملکرد نسبی روش $PSBI$ با افزایش دوره بازگشت با توجه به دو شاخص $BIASr$ و $RMSEr$ در حال بهبود است، هر چند مقادیر شاخص $RMSE$ و $BIAS$ در حال افزایش می‌باشد. بررسی خطاهای روش $PSBI$ نشان‌دهنده نقش به‌سزای حوضه‌های آبریز کوچک نسبت به حوضه‌های آبریز بزرگ در خطاهای مشاهده شده می‌باشد. زیرا به‌نظر می‌رسد پارامترهای اقلیمی و فیزیوگرافی مربوط به حوضه‌های کوچک دقت پایین‌تری دارند (مارتل و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین می‌توان با انجام مطالعه‌ای جامع بر روی خطاهای هر حوضه، به ارتباط مساحت حوضه با خطاهای مشاهده شده به‌طور دقیق پی برد.

بر اساس نتایج روش گشتاورهای خطی بهترین عملکرد، مربوط به دوره بازگشت‌های کوتاه می‌باشد و با افزایش دوره بازگشت دقت این روش کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که با افزایش دوره بازگشت، خطای هر چهار شاخص ارزیابی عملکرد در حال افزایش می‌باشد و اختلاف زیاد ایجاد شده در نتایج شاخص‌ها با افزایش دوره بازگشت، این موضوع را تأیید می‌نماید. مقادیر منفی دو شاخص $BIASr$ و $BIAS$ در نتایج به‌دست آمده از روش گشتاورهای خطی، نشان‌دهنده برآوردهای بیش‌تر از مقدار واقعی است.

با مقایسه نتایج دو روش $PSBI$ و گشتاورهای خطی عملکرد ضعیف روش گشتاورهای خطی نسبت به روش $PSBI$ به‌طور خاص برای دوره‌های بازگشت بالا بارز گردید. به‌طوری‌که تغییرات شاخص $BIASr$ در روش گشتاورهای خطی ۴۶-۴ درصد برآورد گردید، در حالی‌که مقدار این شاخص در روش $PSBI$ کم‌تر از ۴ درصد به‌دست آمد. مقادیر شاخص $RMSEr$ در روش گشتاورهای خطی بین ۵۹-۱۳ درصد در نوسان است، اما در روش $PSBI$ ، خطای این شاخص کم‌تر از ۲۱ درصد محاسبه شد. نتایج این دو شاخص به‌طور واضح نشان‌دهنده دقت بالای روش $PSBI$ نسبت به روش گشتاورهای خطی در دوره‌های بازگشت بالا می‌باشد. روش گشتاورهای خطی در دوره‌های بازگشت کوتاه عملکرد مطلوبی ارائه می‌نماید، اما با افزایش دوره بازگشت عملکرد آن کاهش می‌یابد. نتایج دو شاخص $BIASr$ و $RMSEr$ علاوه بر این نشان داد، اثر مقیاس یکی از عوامل مؤثر بر خطاهای محاسباتی است و باید به‌منظور حذف اثر مقیاس از دبی استاندارد شده به‌وسیله وسعت حوضه زهکشی استفاده نمود.

عملکرد دو شاخص BIAS و RMSE نیز نشان‌دهنده دقت بالای روش PSBI نسبت به روش گشتاورهای خطی می‌باشد. شاخص BIAS براساس روش گشتاورهای خطی ۰/۶-۴۰ به‌دست آمد، اما براساس روش PSBI مقدار این شاخص کم‌تر از ۱ محاسبه گردید. با توجه به کاربرد کریجینگ در روش PSBI این نتیجه دور از انتظار نبود. به‌طورکلی عملکرد بهتر روش PSBI نسبت به روش گشتاورهای خطی را می‌توان تحت‌تأثیر عوامل زیر دانست: (۱) تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی براساس رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی، (۲) به‌کارگیری فاصله اقلیدسی 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.

تاکنون مطالعه‌ای برای مقایسه کارایی روش PSBI با گشتاورهای خطی صورت نگرفته است. اما اورودا و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای عملکرد روش PSBI را با روش خوشه‌بندی مورد ارزیابی قرار دادند. در روش خوشه‌بندی مناطق همگن براساس الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد تعیین گردیدند و برآوردهای منطقه‌ای براساس رگرسیون منطقه‌ای به‌دست آمد. نتایج ارزیابی متقابل جک‌نایف براساس ۶ شاخص آماری نشان داد روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی نسبت به روش خوشه‌بندی با افزایش دوره بازگشت عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد. نتایج مطالعه اورودا و همکاران (۲۰۰۸) با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

جدول ۵- نتایج ارزیابی عملکرد روش PSBI و گشتاورهای خطی.

روش	متغیر	BIAS	BIASr درصد	RMSE	RMSEr درصد
PSBI	Q _{۱۰}	۰/۰۰۲۹	۲/۴۶۷	۰/۲۵۵	۱۷/۳۸۳
	Q _{۲۰}	۰/۰۰۴۳	۲/۴۶۶	۰/۲۶۵	۱۶/۸۵۲
	Q _{۵۰}	۰/۰۰۵۷	۳/۲۹۹	۰/۲۹۷	۱۹/۸۸۶
	Q _{۱۰۰}	۰/۰۰۷۳	۳/۵۷۹	۰/۳۲۲	۲۰/۲۲۲
Linear Moments	Q _{۱۰}	-۷/۰۰۹	-۶/۴۷۴	۱۴/۹۸	۱۳/۳۱۸
	Q _{۲۰}	-۰/۶۶۶	۴/۶۳۰	۲۲/۳۱	۱۷/۶۰۹
	Q _{۵۰}	۱۷/۲۵۱	۲۵/۵۷۴	۴۴/۰۲	۳۷/۰۶۹
	Q _{۱۰۰}	۴۰/۰۲۱	۴۶/۸۷۴	۷۲/۰۰	۵۹/۶۷۱

نتیجه گیری

به کارگیری روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی، رویکردی عملی و مؤثر جهت منطقه‌ای نمودن داده‌های هیدرولوژیکی است، که 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 کمیت‌های هیدرولوژیکی را در نقاط بدون اندازه‌گیری فراهم نموده است. در حوضه‌های بدون آمار، با داشتن خصوصیات اقلیمی و فیزیوگرافی این حوضه‌ها، می‌توان موقعیت‌شان را در فضای فیزیوگرافی به دست آورده و با کمک اطلاعات حوضه‌های اطراف، مقدار متغیر هیدرولوژیکی را تخمین زد. کاربرد روش زمین‌آمار در فضای فیزیوگرافی برای برآوردهای منطقه‌ای سیلاب، یک نوآوری در عرصه تحقیقات منطقه‌ای نمودن داده‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌گردد. خطای مشاهده شده در برآوردهای منطقه‌ای روش PSBI، 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 برای طراحی فضای فیزیوگرافی تنها بخشی از متغیرهای مؤثر بر سیلاب بوده و تمامی متغیرهای مؤثر بر آن در نظر گرفته نشده است، (۳) روش PCA به کار گرفته شده برای ساخت فضای فیزیوگرافی به دنبال حداکثر رساندن واریانس در طول محورهای این فضا می‌باشد، نه همبستگی میان داده‌ها، (۴) وجود طیف گسترده حوضه‌های آبریز از حیث وسعت و رژیم‌های هیدرولوژیکی، به طوری که وسعت حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه از ۲۷ تا ۴۰۲۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. با در نظر گرفتن موارد عنوان شده، قابلیت و انعطاف‌پذیری بالای روش PSBI در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب کاملاً مشهود است و می‌توان بیان داشت این روش از پتانسیل کافی برای 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. *J. Hydrol.* 84: 365-380.
2. Archfield, S.A., Pugliese, A., Castellarin, A., Skoien, 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. *J. Hydrol.* 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. *J. Hydrol.* 378: 272-280.
6. 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 and Earth System Sciences*. 15: 715-727.
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. *J. Geol. Sci. Ind.* 29: 57-82.
10. Eslamian, S., and Chavoshi Borojeni, S. 2003. Using L-moment theory in flood frequency analysis of central catchments of Iran. *J. Water Soil Sci.* 7: 1. 1-17. (In Persian)
11. Farsadnia, F. 2011. Regionalization of watershed Mazanadaran using Fuzzy Cluster Analysis. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. University of Zabol. 88p. (In Persian)
12. Farshadfar, E. 2010. Multivariate principles and procedures of statistics. Razi University Press. 753p. (In Persian)
13. Ghahraman, B., Shamkoian, H., and Davary, K. 2010. Derivation of the Regional Rainfall Depth-Duration-Frequency Equations using Linear Moment Theories (Case Study: Khorasan Province). *Iran. J. Irrig. Drain.* 4: 132-142. (In Persian)
14. GREHYS. 1996. Intercomparison of flood frequency procedures for Canadian rivers. *J. Hydrol.* 186: 1-4. 85-103.
15. Hassani Pak, A.A. 2007. Geostatistics. Tehran University Press. 314p. (In Persian)
16. Hosking, J.R.M. 1990. L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. Royal Stat. Soc. B.* 52: 105-124.
17. 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.

18. Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resource Research*. 29: 271-281.
19. Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. 1997. Regional frequency analysis an approach based on L-moments. Cambridge University Press: New York. 244p.
20. 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.
21. Martel, B., Ouarda, T.B.M.J., Barbet, M., 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.
22. 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. *J. Hydrol*. 348: 40-58.
23. Pearson, C.P. 1991. Regional flood frequency analysis for small New Zealand basins. *Flood frequency groups*. *New Zealand J. Hydrol*. 30: 77-90.
24. Reed, D.W., Jakob, D., Robinson, A.J., Faulkner, D.A., and Stewart, E.J. 1999. Regional frequency analysis: a new vocabulary. P 237-243, *Proceedings of the international Congress of Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating*, Birmingham, UK.
25. Rostami Kamrod, M., Heydari, S.Z., Haghightajo, P., and Moghaddammia, A. 2011. Regional flood frequency analysis using L-moments methods for watershed basins Gilan. *J. Water Engin*. 4: 39-50. (In Persian)
26. Rostami, R., Sedghi, H., and Motamedi, A. 2009. Flood Analysis of Dez basin. *J. Water Engin*. 2: 61-70. (In Persian)
27. Sarhadi, A., Soltani, S., and Modaress, R. 2008. Regional frequency low flow analysis using liner moments method in Jiroft area. *Iran. J. Water*. 3: 45-54. (In Persian)
28. Shamkoueyan, H., Ghahraman, B., and Davary, K. 2009. Flood frequency analysis using linear moments and flood index method in Khorasan province. *J. Water Soil*. 23: 31-43. (In Persian)
29. Sivapalan, M., Takeuchi, K., Franks, S.W., Gupta, V.K., Karambiri, H., Lakshmi, V., Liang, X., McDonnell, J.J., Mendiondo, E.M., O'Connell, P.E., Oki, T., Pomeroy, J.W., Schertzer, D., Uhlenbrook, S., and Zehe, E. IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrol. Sci. J*. 48: 6. 857-880.
30. Skøien, J.O., and Blöschl, G. 2007. Spatiotemporal topological kriging of runoff time series. *Water Resource Research*. 43: W09419.
31. Skøien, J.O., Merz, R., and Blöschl, G. 2006. Top-kriging geostatistics on stream networks. *Hydrology and Earth System Science*. 10: 277-287.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(1), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Comparison of Physiographical Space Based Interpolation and Linear moments methods for Regional Flood Frequency Analysis in Mazandaran Province

***Z. Sheikh¹, A.H. Dehviri², A. Pahlavanravi³ and F. Farsadnia⁴**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Combat Desertification, Zabol University,

²Assistant Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Zabol University,

³Associate Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Zabol University,

⁴Ph.D. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 06/12/2013; Accepted: 11/10/2013

Abstract

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 13 and 56 years. Homogenous regions in the physiographic space based on neighborhood approach were first determined by using physiographical space based interpolation (PSBI) method. The Principal Component Analysis was used to design physiographic space using the six physiographic variables affecting the flood. The exponential 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 physiography space. In order to evaluate the accuracy of results, L-moments method was used for regional flood frequency analysis. In this method Ward hierarchical clustering has been used to determine the 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 were evaluated using Jack Knife procedure and the four statistical indexes BIAS, BIASr, RMSE and RMSEr. Results showed that the PSBI method provide better performance than the L-moments at the four indexes considered and improving estimated by increasing the return periods, while the L-moments offers better performance for short return periods.

Keywords: Regional flood frequency analysis, Linear moments, Geostatistics, Physiographical space, Mazandaran Province

* Corresponding Author; Email: z.sheikh03@gmail.com