

مرتج و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۲۷

ص ۷۷۹-۷۹۳

ارزیابی روش‌های درونیابی در برآورد آب معادل برف

❖ شهربانو عباسی جندانی؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ علی فتح‌زاده*؛ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران

چکیده

برف یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه آب در بسیاری از حوضه‌های کوهستانی دنیاست. با توجه به اینکه جمع‌آوری داده‌های دقیق در این مورد نیازمند صرف وقت و هزینه بسیاری است و گاهی سخت و غیرممکن به نظر می‌رسد، استفاده از روش‌های زمین‌آماری، به منزله تکنیکی برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای، می‌تواند راهگشا باشد. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های چهارده ایستگاه برف‌سنجی غرب استان اصفهان، پهنه‌بندی آب معادل برف در دوره آماری ۱۳۶۸ - ۱۳۸۹ با استفاده از چهار روش زمین‌آماری و قطعی کریجینگ، کوکریجینگ، تابع شعاع‌محور و عکس فاصله وزنی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 9.3 انجام شد. بدین منظور، نخست آزمون نرمال بودن کولموگراف-اسمیرنوف برای داده‌ها اجرا و سپس واریوگرام داده‌ها به منظور تعیین همگنی، ایستایی و روند داده‌ها ترسیم شد. پس از تشخیص تناسب داده‌ها و آماده‌سازی آن‌ها در محیط ArcGIS 9.3، برای هر سال با مقایسه چهار روش ذکرشده و بر اساس کمترین میزان RMSE، بهترین روش درونیابی برای پهنه‌بندی انتخاب و نقشه‌های پهنه‌بندی ترسیم شد. نتایج نشان می‌دهد که در بیشتر سال‌های این دوره آماری در منطقه مورد نظر روش تابع شعاع‌محور نتایج بهتری ارائه می‌دهد. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که میزان آب معادل برف از سمت جنوب و غرب حوزه به سمت شمال و شرق کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: آب معادل برف، تابع شعاع‌محور، عکس فاصله وزنی، کوکریجینگ، کوکریجینگ.

۱. مقدمه

به ویژه در محیط‌های کوهستانی، به سبب توپوگرافی پیچیده، تغییرات فصلی شدید، مشاهدات محدود، جابه‌جایی برف در اثر وزش باد و انباشته شدن آن زمان‌بر و خطرناک است [۵، ۶، ۱۳، ۲۳]. به همین دلیل، اطلاعات مشاهده‌ای برف بسیار اندک است و معمولاً به نواحی‌ای با ارتفاع کم محدود می‌شود [۱۱]. در این صورت استفاده از روش‌های تخمینی ضروری به نظر می‌رسد. تغییرپذیری مکانی بیش از حد آب معادل برف در محیط‌های کوهستانی مشکلاتی در توسعه کاربری روش‌های برآورد آب معادل برف ایجاد می‌کند [۶]. اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای آب معادل برف نیز ممکن است به قدر کافی نشان‌دهنده شرایط متوسط حوضه‌های وسیع نباشد [۵]. روش‌های مختلفی برای تخمین زدن وجود دارد؛ در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به روش‌های زمین‌آمار و روش‌های کلاسیک تقسیم کرد. روش‌های کلاسیک روش‌هایی هستند که از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کنند؛ در صورتی که در روش‌های زمین‌آمار تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد [۸]. یکی از انواع روش‌های آماری که می‌توان از آن در هیدرولوژی استفاده کرد روش‌های زمین‌آمار است که بر اساس ایده متغیر مکانی (منطقه‌ای) شکل گرفته است. این روش را نخستین بار ماترون در سال ۱۹۶۵ میلادی در پژوهشکده زمین‌شناسی در فرانسه مطرح کرد [۲۳]. استفاده از آنالیزهای مبتنی بر تئوری‌های زمین‌آمار نواقص و محدودیت‌های مربوط به آمار کلاسیک را، که غالباً بر اساس فرضیه توزیع تصادفی متغیرها و فرایندها توسعه یافته‌اند، تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی و تعیین‌کننده میزان منابع آب در بسیاری از مناطق کوهستانی است. در بسیاری از مناطق، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان و از جمله ایران، برف انباشته شده در برفچال‌ها ذخیره درخور توجهی از منابع آب را در سطح حوزه‌های کوهستانی در بر می‌گیرد [۲۱]. بنابراین، مقدار آب موجود در برف انباشته یا به عبارتی آب معادل برف^۱ (SWE) در طی یک بارش فصلی در مدیریت آب بسیار حائز اهمیت است. آب معادل برف معمولاً به صورت حجم در واحد سطح بیان و برای کمی کردن منابع آبی ذخیره شده در برف استفاده می‌شود [۳]. ذخیره یادشده در تأمین دبی پایه رودخانه‌های دائمی و در برخی از شرایط نیز در کنترل رژیم سیلابی رودخانه‌ها در پایین دست نقش مهمی ایفا می‌کند [۶، ۱۵]. مطالعه و بررسی میزان برف و حجم آب حاصل از آن کمک شایانی به مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و امور مرتبط با آب و خاک، از قبیل برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، احداث سد، تأمین آب کشاورزی و شرب در مناطق بالادست و پایین‌دست حوضه‌های آبخیز خواهد کرد [۱۶]. بنابراین، شناخت دقیق کمیّت این منابع ضروری است. از دیدگاه هیدرولوژیست‌ها، مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی برف عبارت است از: عمق، چگالی و آب معادل برف. تخمین‌های آب معادل برف، به عنوان ورودی، در بسیاری از مدل‌های ذوب برف برای پیش‌بینی آثار برف‌پشته روی رواناب رودخانه‌ها استفاده می‌شود [۶]. از طرفی، اطلاع از وضعیت هیدرولوژیکی،

1. Snow Water Equivalent

روش کریجینگ معمولی مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که تکنیک کریجینگ معمولی با روند خارجی نسبت به کریجینگ معمولی روش مناسب‌تری برای برآورد توزیع مکانی آب معادل برف است. پژوهشگران [۲] برای تخمین مکانی آب معادل برف در پارک آداملو در ایتالیا از روش کریجینگ استفاده کردند. در پژوهشی [۱۹] برای بررسی تغییرپذیری مکانی عمق برف روی سطوح یخچالی و غیر یخچالی از روش‌های زمین‌آماري استفاده کردند. پژوهشگران در تحقیقی [۹] روش‌های درون‌یابی مکانی در علوم محیطی را با هم مقایسه کردند. آنان در این تحقیق نتیجه گرفتند که روش‌های عکس فاصله وزنی، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ معمولی پُرکاربردترین روش‌هاست. در داخل کشور، از روش‌های زمین‌آماري بیشتر برای برآورد پارامترهای اقلیمی استفاده شده و در زمینه برف و به‌ویژه در زمینه آب معادل برف کمتر کار شده است. مثلاً، محققان [۲۰] برای برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوضه آبخیز صمصامی از دو روش معادله همبستگی خطی و کریجینگ معمولی استفاده کردند. مقایسه توانایی‌های دو مدل حاکی از برتری نسبتاً کم معادله همبستگی خطی نسبت به کریجینگ معمولی بود. ولی کریجینگ معمولی به سبب قابلیت بیشتر نسبت به معادله همبستگی خطی در نشان‌دادن تغییرات تدریجی‌تر عمق برف در نقشه توزیع مکانی از برتری بیشتری برخوردار بود. در تحقیقی [۲۳] از روش‌های زمین‌آماري برای برآورد عمق و چگالی برف در حوضه آبخیز اورازان استفاده شد. نتایج نشان داد روش زمین‌آماري با تحلیل واریوگرام به روش کریجینگ برای عمق برف و چگالی برف مناسب

به فرایند برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط بدون داده به کمک نقاط مجاور معلوم «درون‌یابی» می‌گویند. این فرایند، به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش انجام می‌گیرد [۱۱]. در تعیین ارزش یک نقطه همه نقاط مجاور و معلوم به گونه یکسان و همسان مؤثر نیستند. بنابراین، هر یک از نقاط یادشده، به تناسب مقدار تأثیر بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهند بود. وزن‌های مرتبط با هر یک از نقاط سبب تکوین روش‌های گوناگونی در درون‌یابی شده است [۱۸].

مطالعات بسیاری برای برآورد توزیع مکانی آب معادل برف در سراسر جهان صورت گرفته و، با توجه به شرایط مختلف منطقه‌ای، نتایج گوناگونی به دست آمده است. مثلاً، محققان در حوضه‌ای در اسلوانی، برای برآورد توزیع مکانی آب معادل برف، روش‌های مختلف درون‌یابی را با استفاده از GIS به کار بردند. آن‌ها با ارزیابی تکنیک‌های مختلف درون‌یابی دریافتند که روش رگرسیون چندجمله‌ای بهترین روش درون‌یابی آب معادل برف است [۱۴]. محققان روش‌های درون‌یابی مکانی معکوس فاصله وزنی، کریجینگ معمولی، کریجینگ باقی‌مانده اصلاح‌شده و کوکریجینگ و نیز روش ترکیبی را با استفاده از رگرسیون درختان جفتی و روش‌های زمین‌آماري برای تخمین آب معادل برف در کوهستان‌های راکی کلرادو مقایسه کردند [۶]. نتایج نشان داد مدل‌های درختی بیشترین دقت را دارند. پژوهشگران [۲۲] از تکنیک کریجینگ معمولی با روند خارجی به منظور برآورد آب مکانی برف استفاده کردند و نتایج آن را با نتایج به‌دست‌آمده از

منطقه برنامه‌ریزی کرد. علاوه بر این، می‌توان میزان تغییرات بارش و آب معادل حاصل از آن را در طول دوره آماری مشخص کرد.

۲. روش‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در طول جغرافیایی $54^{\circ} 56'$ - $50^{\circ} 53' 58''$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 12' 11''$ - 33° واقع شده است و بخش‌هایی از غرب استان اصفهان و نیز شمال استان چهارمحال و بختیاری را در بر می‌گیرد. مساحت حوزه مطالعاتی بالغ بر ۵۱۲۸ کیلومتر مربع و از مناطق برف‌خیز استان اصفهان است. محدوده مورد نظر دارای چهارده ایستگاه برف‌سنجی است. شکل ۱ نحوه پراکنش آن‌ها همراه با ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوزه مطالعاتی و اطراف آن را نشان می‌دهد. آمار مورد نظر، که شامل موقعیت ایستگاه‌های برف‌سنجی غرب استان اصفهان، ارتفاع ایستگاه‌ها و نیز داده‌های آب معادل برف در دوره آماری ۱۳۶۸ - ۱۳۸۹ بود، از اداره آب منطقه‌ای اصفهان تهیه شد (جدول ۱).



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی و ایستگاه‌های برف‌سنجی و باران‌سنجی

داده‌های آب معادل برف برای فصل زمستان به تفکیک ماه وجود داشت. پس از بررسی داده‌های هر

است. در پژوهشی دیگر [۱۲] آب معادل برف در یکی از زیرحوضه‌های کوهستانی کارون (زیرحوضه صمصامی) با استفاده از GIS پهنه‌بندی شد. محققان نخست همبستگی آب معادل برف با ارتفاع نظیر آن را به کمک روابط مختلف رگرسیونی تعیین و سپس بهترین رابطه را بر اساس ضریب همبستگی انتخاب کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، بهترین روابط همبستگی بین آب معادل برف و ارتفاع به ترتیب رابطه غیرخطی چندجمله‌ای، غیرخطی لگاریتمی و خطی بود که در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. همچنین، نتایج این پژوهش بیانگر آن است که نقشه پهنه‌بندی آب معادل برف، که از طریق ارتفاع و به کارگیری رابطه غیرخطی چندجمله‌ای به دست آمده است، انطباق بسیار مطلوبی با نقشه به دست آمده از درون‌یابی دارد. پژوهشگران [۱۱] کارایی روش وزنی را در برآورد توزیع مکانی آب معادل برف با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که روش وزنی قادر به برآورد قابل اطمینانی از توزیع مکانی آب معادل برف است. دیگر پژوهشگران [۱۰] نیز از روش کریجینگ معمولی برای درون‌یابی آب معادل برف در حوضه صمصامی استفاده کردند.

هدف اصلی این پژوهش ارائه بهترین روش برآورد آب معادل برف و تعیین توزیع مکانی و زمانی آن در مناطق صعب‌العبور و بدون آمار و نیز پهنه‌بندی آب معادل برف در محدوده ایستگاه‌های برف‌سنجی استان اصفهان است. نتایج این پژوهش کمک خواهد کرد که، با صرف زمان و هزینه کمتر، بتوان اطلاعات نسبتاً قابل قبولی از آب معادل برف در حوزه مورد نظر به دست آورد و بر اساس آن برای منابع آبی

9.3 حوضه آبخیز مورد نظر، که دربرگیرنده همه ایستگاه‌ها باشد، ترسیم شد. در مرحله بعد، خصوصیات آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 16 بررسی شد و از آزمون آماری کولموگراف-اسمیرنوف برای بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها استفاده شد.

ایستگاه در طول دوره آماری، ماه دی، به علت دامنه تغییرات کمتر و منظم‌تر در طول دوره آماری، انتخاب شد و روش‌های زمین‌آماری برای پهنه‌بندی آب معادل برف برای این ماه ارزیابی شد. سپس، مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار ArcSWAT قابل لینک با نرم‌افزار ArcGIS

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی

شماره	نام ایستگاه	ایستگاه برف‌سنجی		ایستگاه باران‌سنجی	
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	نام ایستگاه
۱	چلگرد	۵۰ - ۰۸	۳۲ - ۲۸	۲۴۰۰	محمدآباد
۲	نصیرآباد	۵۰ - ۱۸	۳۲ - ۲۲	۲۴۵۰	زفره
۳	محمدآباد	۵۰ - ۰۸	۳۲ - ۳۲	۲۳۶۰	لنج
۴	شیخ‌شبان	۵۰ - ۳۶	۳۲ - ۳۵	۲۳۷۰	پل کله
۵	قلعه مرغ	۵۰ - ۱۳	۳۲ - ۳۲	۲۳۰۰	میمه
۶	دره‌گاو	۵۰ - ۱۸	۳۲ - ۳۴	۲۲۰۰	دامنه
۷	سودرجان	۵۰ - ۲۳	۳۲ - ۳۰	۲۳۸۰	اسکندری
۸	بارده	۵۰ - ۳۲	۳۲ - ۳۳	۲۴۲۰	تیران
۹	بادیجان	۵۰ - ۲۰	۳۳ - ۰۳	۲۳۸۰	پل زمان‌خان
۱۰	گردنه اشن	۵۰ - ۳۵	۳۳ - ۰۶	۲۴۷۰	شهرکرد
۱۱	اسلام‌آباد	۵۰ - ۴۲	۳۲ - ۳۸	۲۳۵۰	سد زاینده‌رود
۱۲	قلعه‌شاهرخ	۵۰ - ۲۵	۳۲ - ۴۰	۲۲۲۰	قلعه شاهرخ
۱۳	گردنه بوئین	۵۰ - ۰۸	۳۳ - ۰۴	۲۴۰۰	
۱۴	سینگرد	۵۰ - ۲۶	۳۲ - ۴۸	۲۱۵۰	

بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. رابطه ۲ چگونگی محاسبه اوزان را در این روش نشان می‌دهد:

$$\lambda_i = \left(\frac{D_0}{D_i} \right)^\alpha - 1 \quad (2)$$

که در آن λ_i وزن نقطه نمونه i ام، D_i فاصله بین نقطه نمونه i ام و نقطه مجهول، α توان وزن‌دهی و D_0 شعاع همسایگی است.

انتخاب توان در روش IDW می‌تواند با روش اعتبارسنجی تقاطعی صورت گیرد. نکته‌ای که در این روش وجود دارد این است که به نقاط دارای فاصله یکسان از نقطه مورد نظر وزن یکسان داده می‌شود و موقعیت و آرایش آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود [۱۷].

روش توابع شعاع محور (RBF)

این روش می‌تواند روی داده‌های دارای نویز، که به طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند، اعمال شود و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار را روی داده‌ها انجام دهد. این روش یک تابع $f(x,y)$ را می‌یابد که نه تنها از همه داده‌های موجود می‌گذرد، بلکه مقدار یک تابع انحنا، که میزان همواربودن تابع $f(x,y)$ را می‌سنجد، نیز کمینه می‌کند. در روش RFF، تابعی که میزان تابع انحنا برای آن مینیمم می‌شود به شکل عمومی زیر است و تفاوت روش‌های مختلف RBF در نحوه تعریف تابع (E)RBF در رابطه ۳ است.

$$f(x,y) = \sum_{j=1}^n a_j E(\|x-x_j, y-y_j\|) + b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (3)$$

به طوری که $\| \cdot \|$ بیانگر طول بردار، x و y متغیرهای مکانی، (x_j, y_j) مختصات مکانی j امین نقطه مشاهداتی پارامتر Z_j و E یک RBF است RBF توابع مختلفی دارد که می‌توان از آن‌ها در

پس از آماده‌سازی داده‌ها در محیط ArcGIS 9.3، با استفاده از این نرم‌افزار، روش‌های زمین‌آماري و قطعی بررسی شد و برای هر سال بهترین روش درون‌یابی از بین چهار روش مورد بررسی بر اساس کمترین میزان ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) مشخص شد. RMSE با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n} \right)^{1/2} \quad (1)$$

که در آن O_i و P_i مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده و n تعداد کل مقادیر زوجی است. کمترین مقدار RMSE مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را روی هم منطبق می‌کند و نشان‌دهنده خطای کمتر مدل است.

درون‌یابی را به چند روش می‌توان انجام داد. نخست می‌توان این روش‌ها را به گروه‌های جهانی و محلی، دقیق و غیردقیق و قطعی و احتمالی طبقه‌بندی کرد. روش‌های به‌کاربرده شده در این تحقیق به شرح زیر است:

روش عکس فاصله وزنی (IDW)

از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی روش عکس فاصله وزنی است. در این روش، وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول بر اساس فاصله بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود. این اوزان با توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند؛ به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مجهول را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را با طول یکنواخت‌تری

غیرخطی استفاده کرد یا با بهره‌گیری از تبدیل‌های آماری توزیع متغیر را نرمال کرد [۷].

روش کوکریجینگ^۲

همان طور که در آمار کلاسیک روش‌های چندمتغیره وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان با روش کوکریجینگ، که بر اساس همبستگی بین متغیر اصلی و یک متغیر کمکی استوار است، به تخمین متغیر اصلی پرداخت. معادله کوکریجینگ به شرح رابطه ۸ است:

$$Z^*(X_i) = \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot Z(X_k) + \sum_{k=1}^n \lambda_k \cdot U(X_k) \quad (8)$$

که در آن λ_k وزن مربوط به متغیر Z در موقعیت X_k ، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی U در موقعیت X_k و $U(X_k)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر کمکی در موقعیت X_k است.

محاسبه نیم‌تغییرنمای متقابل برای محاسبه اوزان به صورت رابطه ۹ است:

$$h = \frac{1}{2} n [Z(x_i+h) - Z(x_i)] \times [Y(x_k+h) - Y(x_k)] \quad (9)$$

که در آن $\gamma_{ZY}(h)$ نیم‌تغییرنمای متقابل بین متغیر Z و Y ، $Z(x_i)$ متغیر مشاهده‌شده و $Y(x_k)$ متغیر کمکی است [۱۷]. در این پژوهش، از ارتفاع ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی به عنوان متغیر کمکی استفاده شده است.

علاوه بر این، برای بررسی نتایج به‌دست‌آمده، از شاخص SPI یا شاخص بارندگی معیارشده نیز استفاده شده است. این شاخص، در حقیقت، ابزاری قوی برای تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی است و به صورت رابطه ۱۰ قابل محاسبه است:

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{Sd} \quad (10)$$

که در آن P_i متوسط بارش سال مورد نظر، P میانگین

درون‌یابی استفاده کرد). a_j, b_0, b_1, b_2 ضرایبی هستند که باید تعیین شوند تا تابع f به طور صریح مشخص شود. البته، نخست باید تابع RBF (E) مشخص شود [۱۷].

روش کریجینگ^۱

کریجینگ بهترین تخمینگر خطی نااریب و عاری از خطای سیستماتیک است. همچنین، واریانس تخمین نیز در آن حداقل است، بنابراین:

$$E[Z(X_i) - Z^*(X_i)] = 0 \quad (4)$$

که در آن $Z(X_i)$ مقدار مشاهده‌شده متغیر در نقطه i ام با مختصات معلوم، $Z^*(X_i)$ مقدار تخمینی در همان نقطه نام و E امید ریاضی است.

رابطه ۴ را می‌توان به صورت رابطه ۵ نوشت:

$$E[Z(X_i) - \sum_{k=1}^n \lambda_k Z(X_k)] = 0 \quad (5)$$

که در آن λ_k وزن داده‌های مشاهده‌ای است. با عملیات ریاضی خواهیم داشت:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad (6)$$

بنابراین، شرط نااریبی کریجینگ بیانگر آن است که مجموع ضرایب وزنی تخمین باید مساوی یک باشد. شرط دیگر در روش کریجینگ این است که واریانس تخمین باید حداقل باشد. اعمال این شرط به حل معادله ماتریسی زیر (رابطه ۷) منتهی می‌شود:

$$AX = B \Rightarrow X = A^{-1} \cdot B \quad (7)$$

که در آن A ماتریس γ_{ij} (مقدار مدل نیم‌تغییرنما بین نمونه‌های i و j)، B ماتریس γ_{0i} (مقدار مدل نیم‌تغییرنما بین نقطه مجهول و نقاط نمونه i) و X ماتریس ضرایب λ (وزن نمونه نام برای تخمین نقطه مجهول) است [۱۷]. در استفاده از این تخمینگر متغیر Z باید توزیع نرمال داشته باشد، در غیر این صورت، باید از کریجینگ

نرمال نبودن داده‌ها. هنگامی که مقدار P-Value بیشتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر قبول می‌شود. همان گونه که جدول ۲ نیز نشان می‌دهد، کلیه مقادیر P-Value در طول دوره آماری، به جز در سال ۱۳۸۰، بیشتر از ۰/۰۵ است؛ این موضوع نشان‌دهنده نرمال بودن داده‌هاست. داده سال ۱۳۸۰ نیز با لگاریتم‌گیری نرمال شده است. سپس، واریوگرام داده‌ها ترسیم شده است. خصوصیات نیم‌تغییرنماهای بررسی شده در کل دوره آماری از جمله شیب کم و رفتار سهمی گونه در نزدیکی مبدأ مختصات، افزایش منظم منحنی با افزایش فاصله تا رسیدن به حد آستانه، شیب کم بخش میانی نیم‌تغییرنما، رسیدن به سقف معین و اثر قطعه‌ای کم بیانگر مناسب بودن آن‌ها برای اجرای روش‌های زمین آماری است. جدول ۲ نمونه‌ای از این نیم‌تغییرنما را، که مربوط به داده‌های سال ۱۳۸۱ است، نشان می‌دهد.

بارش بلندمدت ایستگاه و Sd انحراف معیار بارش ایستگاه است. طبق این روش، خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود [۴].

۳. نتایج

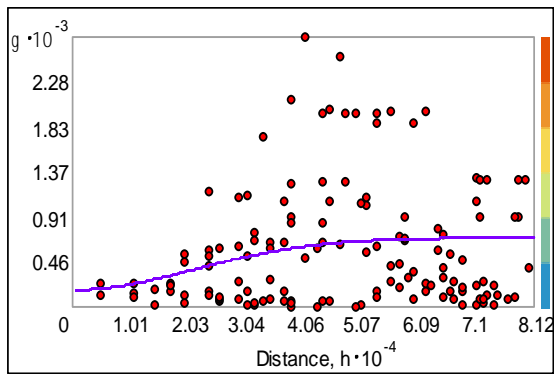
با استفاده از روش‌های زمین آماری می‌توان، با تعدادی نقطه نمونه برداری شده، شناختی نسبی از پارامتر مورد نظر در کل پهنه مطالعاتی به دست آورد. بدین منظور، در منطقه مطالعاتی مورد نظر، آب معادل برف با استفاده از آمار چهارده ایستگاه برف‌سنجی در منطقه برای دی‌ماه پهنه‌بندی شد. برای نیل بدین هدف، نخست آزمون کولموگراف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها انجام شد. آزمون آماری کولموگراف-اسمیرنوف بر پایه دو فرض است: فرض صفر: نرمال بودن داده‌ها و فرض یک:

جدول ۲. نتایج آزمون کولموگراف-اسمیرنوف

P-Value	سال	P-Value	سال	P-Value	سال	P-Value	سال
۰,۲۲۳	۱۳۸۶	۰,۰۲۰	۱۳۸۰	۰,۶۲۱	۱۳۷۴	۰,۸۷۱	۱۳۶۸
۰,۴۳۶	۱۳۸۷	۰,۹۲۷	۱۳۸۱	۰,۳۱۹	۱۳۷۵	۰,۸۸۹	۱۳۶۹
۰,۳۰۲	۱۳۸۸	۰,۴۲۸	۱۳۸۲	۰,۸۹۹	۱۳۷۶	۰,۴۱۶	۱۳۷۰
۰,۶۲۸	۱۳۸۹	۰,۴۰۳	۱۳۸۳	۰,۹۲۲	۱۳۷۷	۰,۰۷۷	۱۳۷۱
۰,۴۹۵	Log ۱۳۸۰	۰,۳۶۸	۱۳۸۴	۰,۵۹۰	۱۳۷۸	۰,۹۹۳	۱۳۷۲
		۰,۴۱۹	۱۳۸۵	۰,۵۹۹	۱۳۷۹	۰,۱۵۶	۱۳۷۳

توان‌های گوناگونی بود. توابع مورد بررسی در روش کریجینگ و کوکریجینگ شامل Spherical, Circular, Exponential و Gaussian و در روش تابع شعاع محور شامل Completely Regularized Spline, Spline

پس از تشخیص تناسب داده‌ها از لحاظ همگنی محیط، ایستایی و روند، چهار روش درون‌یابی-شامل کریجینگ، کوکریجینگ، تابع شعاع محور و عکس فاصله وزنی- بررسی شد. هر روش دارای مدل‌ها و



شکل ۲. منحنی نیم‌تغییرنما (سال ۱۳۸۱)، روش کریجینگ، مدل گوسی

Inverse Multiquadric, Multiquadric, With Tension و Thin Plate Spline بود. در روش عکس فاصله وزنی نیز توان‌های مختلف بررسی شد. معیار انتخاب بهترین تابع یا توان بر اساس کمترین میزان RMSE بود (جدول‌های ۳ تا ۶). در مرحله بعد، بهترین روش از میان روش‌های بررسی شده نیز بر اساس کمترین میزان RMSE انتخاب شد (جدول ۷) و نقشه‌های پهنه‌بندی آب معادل برف دی‌ماه در محدوده مطالعاتی در طول دوره آماری ۱۳۶۸ – ۱۳۸۹ در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 ترسیم شد.

جدول ۳. نتایج انتخاب بهترین تابع برای روش کریجینگ بر اساس RMSE کمتر در دوره آماری ۱۳۶۸ – ۱۳۸۹ در منطقه مطالعاتی

سال	مدل	RMSE	سال	مدل	RMSE	سال	مدل	RMSE	سال	مدل	RMSE
۱۳۶۸	Gaussian	۳۷,۱۸	۱۳۷۴	Exponential	۲۰,۳۲	۱۳۸۰	Exponential	۴۸,۰۹	۱۳۸۶	Spherical	۱۹,۰۴
۱۳۶۹	Exponential	۱۳,۲۵	۱۳۷۵	Exponential	۲۶,۴۸	۱۳۸۱	Gaussian	۱۰,۴۴	۱۳۸۷	Spherical	۷,۷۸
۱۳۷۰	Exponential	۱۰۰,۵	۱۳۷۶	Circular	۱۸,۲۱	۱۳۸۲	Spherical	۱۸,۱۱	۱۳۸۸	Exponential	۲۹,۰۶
۱۳۷۱	Spherical	۳۰,۹۹	۱۳۷۷	Spherical	۱۴,۲۷	۱۳۸۳	Gaussian	۱۵,۳۹	۱۳۸۹	Circular	۲۶,۱۶
۱۳۷۲	Exponential	۱۶,۴۵	۱۳۷۸	Exponential	۱۴,۲۴	۱۳۸۴	Exponential	۱۷,۵۸			
۱۳۷۳	Exponential	۵۲,۹۵	۱۳۷۹	Exponential	۲۱,۸	۱۳۸۵	Gaussian	۴۲,۹۴			

جدول ۴. نتایج انتخاب بهترین تابع برای روش کوکریجینگ بر اساس RMSE کمتر در دوره آماری ۱۳۶۸ – ۱۳۸۹ در منطقه مطالعاتی

سال	مدل	RMSE	سال	مدل	RMSE	سال	مدل	RMSE	سال	مدل	RMSE
۱۳۶۸	Exponential	۳۵,۸۱	۱۳۷۴	Exponential	۲۰,۳	۱۳۸۰	Exponential	۵۱,۲	۱۳۸۶	Spherical	۱۸,۴۳
۱۳۶۹	Exponential	۱۳,۶۵	۱۳۷۵	Exponential	۲۷,۱۵	۱۳۸۱	Spherical	۱۰,۹۵	۱۳۸۷	Exponential	۸,۰۹
۱۳۷۰	Exponential	۱۰۰,۲	۱۳۷۶	Circular	۱۸	۱۳۸۲	Gaussian	۱۵,۸۵	۱۳۸۸	Gaussian	۲۸,۵۴
۱۳۷۱	Circular	۳۰,۲۱	۱۳۷۷	Exponential	۱۳,۹۹	۱۳۸۳	Circular	۱۵,۸۱	۱۳۸۹	Circular	۲۵,۹۸
۱۳۷۲	Gaussian	۱۶,۰۸	۱۳۷۸	Exponential	۱۴,۴۳	۱۳۸۴	Exponential	۱۷,۲۹			
۱۳۷۳	Exponential	۵۲,۲۷	۱۳۷۹	Gaussian	۲۲,۲۷	۱۳۸۵	Exponential	۴۲,۹			

جدول ۵. نتایج انتخاب بهترین تابع برای روش RBF بر اساس RMSE کمتر در دوره آماری ۱۳۶۸ - ۱۳۸۹ در منطقه مطالعاتی

سال	Kernel function	parameter	RMSE	سال	Kernel function	parameter	RMSE
۱۳۶۸	Spline with Tension	۰,۰۰۱۲۴	۳۹,۷۳	۱۳۷۹	Inverse Multiquadric	۸۴۶۸,۳	۱۹,۹۲
۱۳۶۹	Completely Regularized	۰,۰۰۰۱۸۵	۸,۶۴	۱۳۸۰	Inverse Multiquadric	۱۴۳۹۳	۳۸,۴۷
۱۳۷۰	Completely Regularized	۰,۰۰۱۲۴	۹۸,۹۳	۱۳۸۱	Spline with Tension	۰,۰۰۰۰۸۰	۱۱,۷۸
۱۳۷۱	Completely Regularized	۰,۰۰۰۱۹۸	۲۵,۱۴	۱۳۸۲	Completely Regularized	۰,۰۰۰۱۲۱	۱۰,۷۱
۱۳۷۲	Inverse Multiquadric	۸۶۶۷,۵	۱۵,۷۶	۱۳۸۳	Multiquadric	۰	۱۵,۹۹
۱۳۷۳	Inverse Multiquadric	۲۵۵۷۶	۲۵,۳۷	۱۳۸۴	Multiquadric	۰	۱۷,۱۳
۱۳۷۴	Completely Regularized	۰,۰۰۰۱۰۳	۸,۴۲	۱۳۸۵	Inverse Multiquadric	۲۰۲۳,۲	۴۵,۰۳
۱۳۷۵	Completely Regularized	۰,۰۰۰۲۶۴	۲۰,۹	۱۳۸۶	Completely Regularized	۰,۰۰۰۲۷۱	۱۵,۱۴
۱۳۷۶	Multiquadric	۳۱۶۱	۱۵,۶۳	۱۳۸۷	Completely Regularized	۰,۰۰۰۴۴۰	۷,۹۴
۱۳۷۷	Inverse Multiquadric	۶۳,۱۵۸	۱۴,۱۱	۱۳۸۸	Spline with Tension	۰,۰۰۰۱۶۵	۲۶,۱۴
۱۳۷۸	Multiquadric	۱۳۸۶۸	۱۱,۷۶	۱۳۸۹	Thin Plate Spline	۰,۰۰۲۴۷	۲۱,۴۸

جدول ۶. نتایج انتخاب بهترین توان برای روش IDW بر اساس RMSE کمتر در دوره آماری ۱۳۶۸ - ۱۳۸۹ در منطقه مطالعاتی

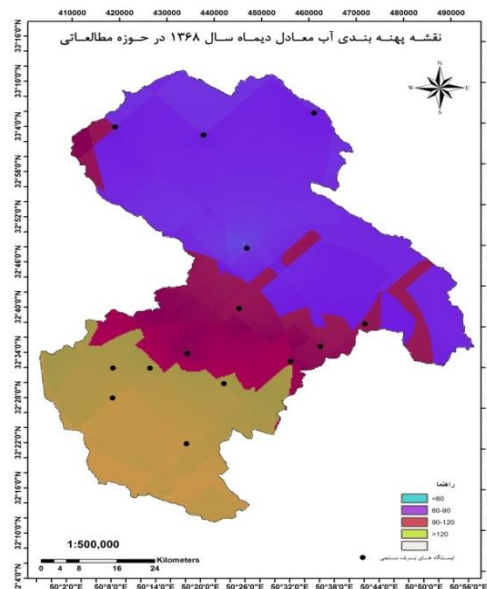
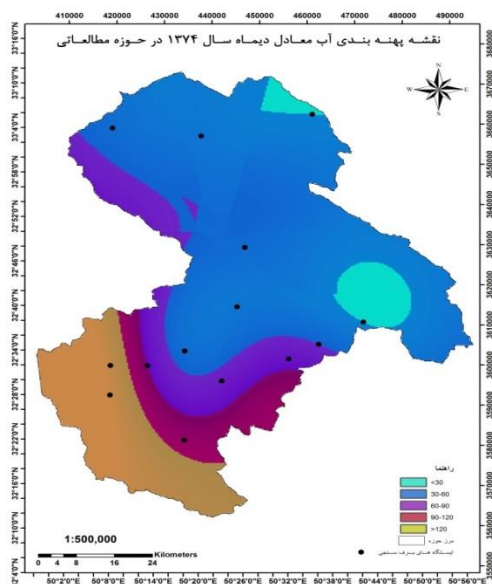
سال	توان	RMSE	سال	توان	RMSE	سال	توان	RMSE	سال	توان	RMSE
۱۳۶۸	۱,۰۴	۴۰,۳۳	۱۳۷۴	۵,۵۵	۱۹,۶۵	۱۳۸۰	۹,۷۵	۳۱,۹۴	۱۳۸۶	۶,۹۱	۱۶,۳
۱۳۶۹	۴,۴۱	۱۴,۲۴	۱۳۷۵	۷,۱۷	۲۳,۰۴	۱۳۸۱	۲,۸۳	۱۴,۳۶	۱۳۸۷	۱۳,۴۹	۵,۸۴
۱۳۷۰	۸,۰۱	۹۰,۵۷	۱۳۷۶	۵,۸۶	۲۴,۷۱	۱۳۸۲	۴,۹۸	۲۲,۵۷	۱۳۸۸	۲,۷۰	۳۲,۶۳
۱۳۷۱	۴,۰۹	۳۶,۵	۱۳۷۷	۱	۱۴,۵	۱۳۸۳	۳,۶۶	۱۷,۵۳	۱۳۸۹	۵,۹۰	۲۷,۹۹
۱۳۷۲	۳,۲۸	۱۴,۳۷	۱۳۷۸	۳,۴۹	۱۳,۶۸	۱۳۸۴	۵۴,۶۸	۱۴,۴۵			
۱۳۷۳	۷,۰۴	۳۳,۳۲	۱۳۷۹	۳,۳۱	۲۲,۶۸	۱۳۸۵	۱,۹۹	۴۳,۶۲			

جدول ۷. انتخاب بهترین روش زمین آماری برای هر سال بر اساس RMSE کمتر

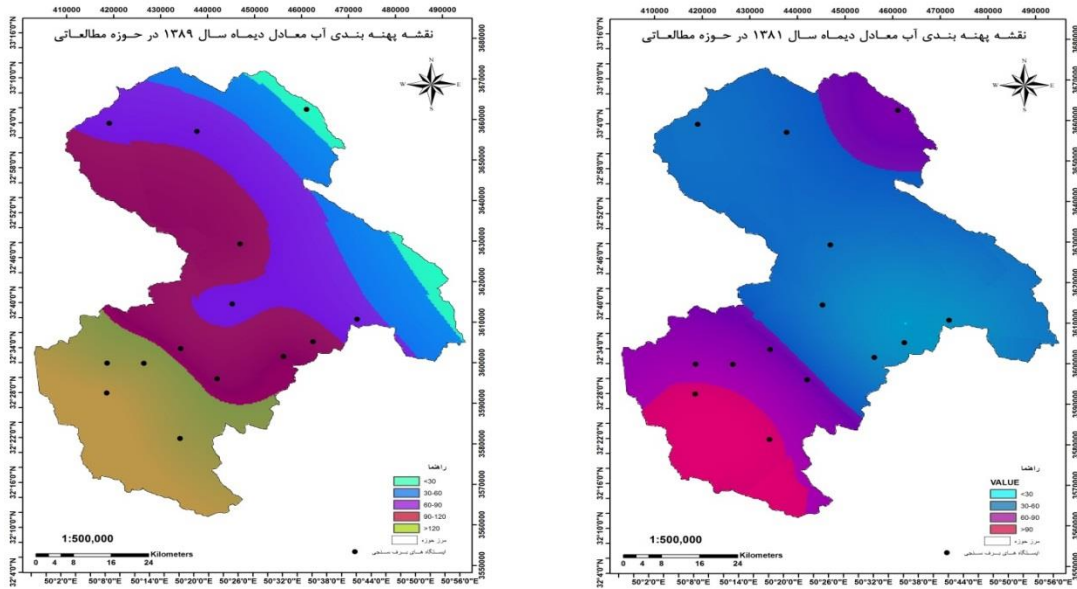
سال	روش	تابع (یا توان)	سال	روش	تابع (یا توان)	سال	روش	تابع (یا توان)	سال	روش	تابع (یا توان)
۱۳۶۸	Co-Kriging	Exponential	۱۳۷۴	RBF	Completely Regularized	۱۳۸۰	RBF	Inverse Multiquadric	۱۳۸۶	RBF	Completely Regularized
۱۳۶۹	RBF	Completely Regularized	۱۳۷۵	RBF	Completely Regularized	۱۳۸۱	Kiriging	Gaussian	۱۳۸۷	IDW	۱۳,۴۹
۱۳۷۰	IDW	۸,۰۱	۱۳۷۶	RBF	Multiquadric	۱۳۸۲	RBF	Completely Regularized	۱۳۸۸	RBF	Spline with Tension
۱۳۷۱	RBF	Completely Regularized	۱۳۷۷	Co-Kriging	Exponential	۱۳۸۳	Kiriging	Gaussian	۱۳۸۹	RBF	Thin Plate Spline
۱۳۷۲	IDW	۳,۲۸	۱۳۷۸	RBF	Multiquadric	۱۳۸۴	IDW	۵۴,۶۸			
۱۳۷۳	RBF	Inverse Multiquadric	۱۳۷۹	RBF	Inverse Multiquadric	۱۳۸۵	Co-Kriging	Exponential			

جنوبی منطقه عقب‌نشینی کرده‌اند؛ این موضوع می‌تواند بیانگر شروع یک دوره خشک‌سالی در منطقه باشد. در سال ۱۳۸۱، طبقه ۳۰-۶۰mm بیشترین وسعت منطقه را در بر گرفته است. طبقه ۶۰-۹۰mm نسبت به سال ۱۳۷۴ پیشروی اندکی داشته و در بخش‌های کوچکی در شمال منطقه ظاهر شده است. طبقه ۹۰-۱۲۰mm نیز به سمت مناطق جنوبی منطقه پسروی کرده و طبقه بیش از ۱۲۰mm نیز حذف شده که می‌تواند بیانگر ادامه خشک‌سالی‌ها باشد. در سال ۱۳۸۹، این روند معکوس شده است و طبقات ۶۰-۹۰mm، ۹۰-۱۲۰mm و بیش از ۱۲۰mm به سمت مناطق شمالی و شرقی منطبق پیشروی کرده‌اند که می‌تواند گواهِ بر پایان خشک‌سالی و شروع ترسالی در منطقه باشد.

سپس، نقشه‌های پهنه‌بندی آب معادل برف در حوزه مطالعاتی بر اساس مناسب‌ترین روش معرفی شده در جدول ۷، با استفاده از ArcGIS 9.3، ترسیم شد. همان‌طور که شکل‌های ۳ و ۴ نیز نشان می‌دهد، طبقه کمتر از ۶۰mm در سال ۱۳۶۸ و طبقه کمتر از ۳۰mm در سال ۱۳۸۱ در منطقه مطالعاتی وجود نداشته است. در سال ۱۳۶۸، طبقه ۶۰-۹۰mm بیشترین وسعت را در منطقه داشته است و طبقه بیش از ۱۲۰mm نیز در بخش‌های نسبتاً وسیعی از جنوب منطقه مطالعاتی وجود داشته است. در سال ۱۳۷۴، طبقه کمتر از ۳۰mm در بخش‌های کوچکی از منطقه ظاهر شده و طبقه ۳۰-۶۰mm وسعت بیشتری را به خود اختصاص داده و از وسعت طبقات دیگر نیز کاسته شده است و این طبقات به سمت مناطق



شکل ۳. سمت راست، نقشه پهنه‌بندی آب معادل برف دی‌ماه ۱۳۶۸ (روش کوکریجینگ، تابع نمایی) و نقشه سمت چپ، دی‌ماه ۱۳۷۴ (روش RBF، تابع Completely Regularized)



شکل ۴. سمت راست، نقشه پهنه بندی آب معادل برف دی ماه ۱۳۸۱ (روش کریجینگ، تابع گوسی) و نقشه سمت چپ، دی ماه ۱۳۸۹ (روش RBF، تابع Thin Plate Spline)

جدول ۸. مقایسه شاخص SPI در طول دوره آماری در ایستگاه های مطالعاتی (باران سنجی)

شاخص SPI				
۱۳۸۹	۱۳۸۱	۱۳۷۴	۱۳۶۸	نام ایستگاه
۰٫۴۶	-۰٫۲۸	-۰٫۷۲	-	محمدآباد
۰٫۲۴	-۰٫۱۹	-۰٫۱۸	۱٫۰۶	زفره
۰٫۷۳	-۰٫۶۵	-۰٫۳۲	۰٫۹۲	لنج
۰٫۴۳	-۰٫۱۱	-۰٫۱۸	-۰٫۰۵	پل کله
۰٫۷۰	۰٫۳۷	۰٫۰۲	۰٫۰۲	میمه
۰٫۲۵	۰٫۳۷	۰٫۹۲	۰٫۳۷	دامنه
۰٫۵۰	۰٫۶۲	۰٫۷۵	۰٫۱۹	اسکندری
۰٫۷۹	-۰٫۲۷	-۰٫۱۶	۰٫۸۱	تیران
۰٫۵۶	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۵۶	پل زمان خان
۰٫۰۹	-۱٫۱۳	۱٫۷۴	-۰٫۲۷	شهرکرد
۰٫۷۵	۰٫۶۴	۰٫۳۴	۰٫۵۹	سد زاینده رود
۰٫۷۶	۰٫۶۷	۰٫۶۷	۰٫۱۸	قلعه شاهرخ

حاصل شده برای یک منطقه را به راحتی به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد. به عنوان نمونه، محققان [۱۱] روش وزنی را در سراب رودخانه کارون [۲۲] و روش کریجینگ معمولی با روند خارجی را در حوضه آبریز گاتینیو به مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی معرفی کردند. بنابراین، لازم است که هر منطقه و هر متغیر جداگانه بررسی شود تا روش مناسبی برای منطقه مورد نظر و پارامتر مورد بررسی حاصل شود.

علاوه بر این، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان آب معادل برف از سمت جنوب و غرب حوزه به سمت شمال و شرق کاهش یافته است. از طرفی، همان طور که در نقشه‌ها نیز نشان داده شد، آب معادل برف دی‌ماه در سال ۱۳۶۸ از توزیع متعادل‌تری در سطح حوزه برخوردار بود، ولی در بیشتر سال‌های دهه ۱۳۸۰، به‌ویژه از سال ۱۳۸۵ به بعد، توزیع آب معادل برف حالت نامتوازن‌تری به خود گرفت؛ علت آن خشک‌سالی‌های گسترده در استان اصفهان است. این مورد در مناطقی با برف‌خیزی کمتر بیشتر نمایان است و بیانگر آن است که این مناطق بیشتر تحت تأثیر خشک‌سالی واقع شده‌اند و بیشتر شامل مناطق واقع در شمال و شرق حوزه مطالعاتی است. نتایج به‌دست آمده از محاسبه شاخص خشک‌سالی SPI نیز این نتایج را تأیید می‌کند. بر این اساس، مقدار شاخص SPI در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱ نسبت به سال ۱۳۶۸ کاهش و، در عوض، در سال ۱۳۸۹ دوباره افزایش یافته است. علاوه بر این، میزان این تغییرات در ایستگاه‌های واقع در شمال و شرق حوزه مطالعاتی بیشتر است؛ در حالی که در ایستگاه‌هایی با بارش بیشتر واقع در جنوب و غرب حوزه روند ذکر شده چندان مشخص نیست.

برای بررسی صحت نتایج به‌دست آمده، شاخص خشک‌سالی SPI در ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در منطقه مطالعاتی و اطراف آن برای دوره آماری ۱۳۶۸ - ۱۳۸۹ محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده روندی مشابه آنچه برای نقشه‌های پهنه‌بندی آب معادل برف به دست آمد نشان می‌دهد؛ به طوری که در بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی مقدار شاخص SPI در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱ افت پیدا کرده (منفی شده) و سپس در سال ۱۳۸۹ مقدار این شاخص افزایش یافته است. نکته جالب توجه اینکه در ایستگاه‌های واقع در شرق و شمال حوزه، که بارش کمتری نیز دارند، روند ذکر شده مشخص‌تر و حاکی از وقوع خشک‌سالی‌های شدیدتر، نسبت به ایستگاه‌های واقع در جنوب و غرب حوزه، است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بی‌اطلاعی از توزیع مکانی آب معادل برف سبب خطای زیادی در تخمین حجم آب می‌شود. بنابراین، برای برآورد دقیق حجم و رواناب حاصل از ذخایر برفی، دست‌یابی به توزیع مکانی آب معادل برف ضروری است.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در محدوده مطالعاتی روش تابع شعاع‌محور (RBF) در نزدیک به ۶۰ درصد از سال‌ها برای پهنه‌بندی آب معادل برف نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد. همان گونه که جدول ۷ نیز نشان می‌دهد، نظم و روند منطقی خاصی در انتخاب روشی خاص با تابع و توانی خاص وجود ندارد. روش‌های درون‌یابی بسته به نوع متغیر و همچنین ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه آرایش آن‌ها دقت متفاوتی ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج

References

- [1] Asaakare, H. (2008). Application of Kriging method in the precipitation interpolation, the Case Study, precipitation of 7/12/2008 in Iran, *Geography & Development*, 12, 25-42.
- [2] Bocchiola, D. and Groppelli, B. (2010). Spatial estimation of snow water equivalent at different dates within the Adamello Park of Italy, *Cold Regions Science and Technology*, 63(3), 97-109.
- [3] Bocchiola, D. and Rosso, R. (2007). The distribution of daily snow water equivalent in the central Italian Alps, *Advances in Water Resources*, 30, 135-147.
- [4] Edwards, D.C. and McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales, Climatology Report Number 97-2, *Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins*, 174 p.
- [5] Elder, K., Dozier, J. and Michaelsen, J. (1991). Snow accumulation and distribution in an Alpine watershed, *Water Resources Research*, 27(7), 1541-1552.
- [6] Erxleben, J., Elder, K. and Davis, R. (2002). Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow distribution in the Colorado Rocky Mountains, *Hydrological Processes*, 16, 3627-3649.
- [7] Ghahroodi Tali, M. (2002). Evaluation of the kriging interpolation, *Geographical Research*, 43, 95-108.
- [8] Haji Hashemi Jazy, M.R., Atashgahi, M. and Hamidian, A.H. (2011). Mapping the spatial distribution of groundwater contamination, Tools to manage water resources, *7th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering, Isfahan, Iran*.
- [9] Li, J. and Heap, A.D. (2012). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences, Performance and impact factors, *Ecological Informatics*, 6, 228-241.
- [10] Marofi, S., Tabari, H. and Zare Abyaneh, H. (2011). Predicting spatial distribution of snow water equivalent using multivariate non-linear regression and computational intelligence methods, *Water Resour Manage*, 25, 1417-1435.
- [11] Marofi, S., Tabari, H., Zare Abyaneh, H. and Sharifi, M.R. (2010). Estimating the spatial distribution of snow water equivalent in the upstream of Karoon river using GIS, *Soil and Water Science*, 20/1(2), 1-16.
- [12] Marofi, S., Tabari, H., Zare Abyaneh, H., Sharifi, M.R. and Akhoondali, A. (2009). Zoning of snow water equivalent in an mountain subbasin of Karun using GIS, Case study, Samsami basin, *Agricultural Sciences & Natural Resources*, 16(3), 1-11.
- [13] Molotch, N.P. and Margulis, S.A. (2008). Estimating the distribution of snow water equivalent using remotely sensed snow cover data and a spatially distributed snowmelt model, A multi-resolution, multi-sensor comparison, *Advances in Water Resources*, 31, 1503-1514.
- [14] Pecušová, Z., Parajka, J. and Hrušková, K. (2002). Spatial estimation of snow water equivalent in the mountain basin Bystra, *ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia*.
- [15] Porhemmat, J. (2002). Runoff distribution model obtained from snowmelt using remote sensing data and GIS system. *Ph.D. thesis*, Islamic Azad University, Oloom va Tahghighat branch, Tehran, 222 p.
- [16] Raeisiaan, R., Porhemmat, J., Abdollahi, Kh. and Ghatre, M. (2006). Time variation accumulation of snow depth and water equivalent in the northern of Karun branches, Case Study, Chery pass, *1st Conference on Optimum Utilization of Water Resources, Sharekord, Iran*.

- [17] Saghafian, B., Rahimi Bandar Abadi, S., Danesh Kar Araste, P., Mohamadzade, M. and Fattahi, E. (2008). *Guideline of spatial distribution of climatological factors using point data, Islamic Republic of Iran, Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision, Bureau of Technical Execution System*, 148 p.
- [18] Saghafian, B., Razmkhah, H. and Ghermez Cheshmeh, B. (2011). Assessing Regional changes of annual precipitation using geostatistical methods, Case Study, Fars Province, *Water Resources Engineering*, 4, 29-39.
- [19] Schneider, K., Schober, J. and Stotter, J. (2012). Comparing the spatial variability of snow depth on glacierized and non-glacierized surfaces using a geostatistical approach, *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-5279.
- [20] Sharifi, M.R., Akhoondali, A.M., Porhemmat, J. and Mohammadi, J. (2007). Evaluation of two methods of linear equations and ordinary kriging to estimate the spatial distribution of snow depth in the basin Samsami, *Journal of Science and Watershed Engineering*, 1(1), 24-38.
- [21] Tabari, H., Marofi, S., Zare Abyaneh, H., Amiri Chayjan, R. and Sharifi, M.R. (2008). Comparison of combined methods and artificial neural network for estimation snow water equivalent in Samsami basin, *3th Conference on Water Resources Management of Iran, Tabriz, Iran*.
- [22] Tapsoba, D., Fortin, V., Anctil, F. and Hache, M. (2008). Use of the kriging technique with external drift for a map of the water equivalent of snow, application to the Gatineau River Basin, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(1), 289-297.
- [23] Vafakhah, M., Mohseni Saravi, M., Mahdavi, M. and Alavi Panah, S.k. (2008). Application of geostatistics estimation of snow depth and density of Orazan watershed, Iran, *Watershed Management Science & Engineering*, 2(4), 49-55.