ارزیابی روش‌های زمین آماری به منظور برآورد توزیع مکانی عمق برف درمناطق نیمه‌خشک؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز سخوید

سمیه ابدام[۱]، علی فتح‌زاده[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۲۰

چکیده

در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کوهستانی به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران، برف انباشته‌شده در برفچال‌ها ذخیره قابل‌توجهی از منابع آب حوزه‌ها را ایجاد می‌کند. همچنین به دلیل اینکه در بسیاری از موارد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب قابل‌دسترس برای مصارف کشاورزی، از سرشاخه‌های مناطق کوهستانی تامین می‌گردد، آگاهی از این رژیم هیدرولوژیکی، از اساسی‌ترین نیازهای مدیران منابع آب هست.توزیع مکانی ذخایر برفی، به منظور برآورد هرچه دقیق‌تر رواناب حاصل از آن‌ها، از اهمیت خاصی در آب شناختی برف برخوردار است. معمولاً دستیابی به توزیع مکانی عمق از راه اطلاعات مشاهده‌ای و در مقیاسی محدود، صورت می‌گیرد. این در حالی است که به دلیل محدودیت‌های عملی، جمع‌آوری اطلاعات، به ویژه در حوزه‌های بزرگ، دشوار و گاهی غیرممکن است. لذا توسعه روش‌هایی که بتواند عمق برف را در نقاط فاقد اندازه‌گیری، برآورد نماید و نیز بررسی دامنه کاربرد آن‌ها، امری ضروری است. در این پژوهش محدوده‌ای به مساحت ۱۶هکتار در حوزه آبخیز سخوید تفت انتخاب و با بهره‌گیری از ۲۱۶ داده عمق برف، به ارزیابی روش‌های زمین آماریکریجینگ ، کوکریجینگ، توابع شعاع محور (RBF) و روش عکس فاصله (IDW) در برآورد توزیع مکانی عمق برف پرداخته شد. واریوگرام داده‌ها با استفاده از نقاط اندازه‌گیری عمق برف رسم شد. واریوگرام به دست آمده نشان داد که مناسب‌ترین مدل واریوگرام از نوع نمایی می‌باشد به گونه‌ای که این واریوگرام دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۵ و آستانه ۰/۵۳۳بوده که دال بر وجودساختار فضایی بسیار قوی بین داده‌ها است. تحلیل واریوگرام و آماره صحت‌سنجی(RMSE) روش‌های مذکور نشان داد که از بین این روش‌ها روش کریجینگ در پهنه‌بندی عمق برف مناسب‌تر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که از بین روش‌های معمول کریجینگ روش کریجینگ جهانی دارای کمترین خطا (۱۱/۴۹) و بهترین برآورد از عمق برف در حوزه مورد مطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز سخوید، زمین آمار، عمق برف، واریوگرام.

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری- دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ۰۹۱۷۸۵۱۵۴۵۹
[۲]- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان،(نویسنده مسئول) ۰۹۱۳۳۵۲۶۸۷۸، afathzadeh@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

برف یکی از انواع مختلف بارش است که از چگالش توده‌های هوایی مرطوب در طی صعود و در شرایطی که درجه حرارت هوا کمتر از نقطه انجماد باشد ایجاد می‌گردد (غیور و همکران، ۲۰۰۴). به طور متوسط ۶۰ درصد نیمکره شمالی در اواسط زمستان پوشیده از برف است؛ بیش از ۳۰ درصد سطح زمین بارش فصلی برف دارد و حدود ۱۰ درصد از سطح زمین به طور دائم از برف و یخ پوشیده شده است (فتح‌زاده، ۲۰۰۹). اگرچه بخش کوچکی از سطح کره زمین را مناطق کوهستانی در برمی‌گیرد، اما همین مقدار اندک در چشم‌انداز هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز تأثیر شگرفی دارند. در کشور ما هیدرولوژی برف مقوله‌ایست که کمتر به آن پرداخته شده است. این در حالی است که اکثر رودخانه‌های کشور که جریان دائم دارند، حوزه آبخیزشان برفگیر می‌باشد. همچنین چشمه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین نیز اکثراً در حوزه‌های برفگیر قرار دارند. بررسی‌های انجام‌شده در کشور نشان می‌دهد که حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برفگیر جریان دارند. این رقم در برخی مناطق غرب کشور تا حدود ۹۰ درصد فزونی می‌یابد (وزیری، ۲۰۰۵). توزیع و مقدار پوشش برف نقش مهمی در سیستم‌های طبیعی و دست ساز انسان در ایالات متحده شمال شرقی دارد. هرگونه تغییرات در اقلیم مقدار، توزیع و زمان برف ممکن است در دراز مدت عواقب زیست محیطی و اقتصادی داشته باشد (تریهورن و دگاتانو، ۲۰۱۲). ذخایر برفی حوزه‌های کوهستانی از منابع مهم کشور است که شناخت دقیق کمیت این منابع به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و هم به دلیل بهره‌برداری بهینه از منابع آب ضروری است. بخشی از آب مورد نیاز برای کشاورزی در جهان از ذوب برف‌های باریده شده در زمستان تأمین می‌شود. علاوه بر کشاورزی، برف در تأمین آب مورد نیاز برای شرب نیز نقش بسیار مهمی دارد. مسئله تأمین آب شرب در سال‌هایی که خشک‌سالی بر منطقه حمکفرما باشد یا شرایط کلی آب و هوایی منطقه خشک و نیمه‌خشک باشد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پوشش برف اثرات قابل توجهی در آب و هوا، مانند انرژی تابشی منطقه‌ای و گردش جوی و حرارتی دارد (تریهورن و دگاتانو، ۲۰۱۲).

الگو و ساختار تغییرات مکانی عمق برف از الزام‌های پهنه‌بندی برف به شمار می‌آید (الدر و همکاران، ۱۹۹۸). با توجه به اینکه جمع‌آوری داده‌های دقیق در این مورد نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی است و نیز با توجه به سطح وسیع مناطق کوهستانی و برف‌گیر کشور، و نیز تنگناها و مشکلات زمانی و مالی، فراهم کردن داده‌های پایه از سطح این مناطق با روش‌های موجود، دشوار است (نجفی و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین یکی از راه‌حل‌های موجود در این خصوص، داشتن تعداد محدودی اطلاعات نقطه‌ای و استفاده از روش‌های درون‌یابی برای برآورد عمق برف در نقاطی که فاقد آمار مشاهده‌ای هستند، می‌باشد (بالک و الدر، ۲۰۰۰). در این‌گونه روش‌ها عمق برف یا به واسطه رابطه‌ای که با عوامل توپوگرافی دارد و یا با اتکا به ویژگی ساختار تغییرات مکانی، مدل می‌شود. در حالت نخست مدل کردن عمق برف از طریق روابط معادله‌های همبستگی چندگانه با ترکیب خطی عوامل (ارکسلبنت و همکاران، ۲۰۰۲؛ مارچند و کیلینگتونت، ۲۰۰۱) و یا با ترکیب غیرخطی آن‌ها صورت می‌گیرد (الدرت و همکاران، ۱۹۹۵: اریکسونت، ۲۰۰۵). در حالت دوم مدل شدن عمق برف از طریق روش‌های زمین‌آماری انجام می‌شود (هوسان و دتویلر، ۱۹۹۱).

مطالعات زیادی جهت برآورد توزیع مکانی عمق برف در سراسر جهان صورت گرفته است و با توجه به شرایط مختلف منطقه‌ای، نتایج متفاوتی به دست آمده است. در این خصوص می‌توان به تحقیقات انجام‌شده مرتبط با توزیع مکانی عمق برف در حوزه‌های آبخیز برفخیز اشاره کرد. در ایران شریفی و همکاران، (۲۰۰۷) به ارزیابی برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوزه آبخیز صمصامی پرداختند؛ نتایج نشان داد که با استفاده از روش معادله‌ی همبستگی خطی ۶۷ درصد تغییرات عمق برف، تحت تأثیر عوامل ارتفاع، جهت، شیب شمالی- جنوبی و نمایه بادپناهی قرار دارد؛ و نیز می‌توان با روش کریجینگ معمولی و با استفاده از اطلاعات بالا ۶۴ درصد تغییرات عمق برف را مدل نمود. وفاخواه و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان پرداختند. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین مدل واریوگرام از نوع کروی

Archive of SID

www.SID.ir

در رابطه با عمق و چگالی برف است. به گونه‌ای که واریوگرام عمق برف دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۰۱۰، سقف ۰/۰۵ و دامنه تأثیر ۱۸۶ متر بوده و واریوگرام چگالی دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۱۰۳، سقف ۰/۰۴۸۵و دامنه تأثیر ۷۳۶۸ متر است. واریانس تصادفی نمونه‌ها در رابطه با عمق برف کم بوده و برآورد مناسبی از عمق برف را نشان می‌دهد. درحالی‌که در مورد چگالی برف واریانس تصادفی نمونه‌ها زیاد بوده و برآورد مناسبی از چگالی برف را نشان نمی‌دهد. برآورد مقادیر عمق و چگالی برف با تحلیل واریوگرام به دست آمده، به روش کریجینگ معمولی انجام گرفت و نشان داد که روش زمین آمار با تحلیل واریوگرام به روش کریجینگ برای عمق و چگالی برف مناسب می‌باشد. باقری فهرجی (۲۰۱۱) به برآورد توزیع مکانی عمق برف و آب معادل برف در حوزه‌های آبخیز کوهستانی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در حوزه آبخیز بیداخوید یزد پرداخت. عملیات نمونه‌برداری از عمق برف و آب معادل برف به صورت سیستماتیک ـ تصادفی در ۲۵۲ نقطه از ارتفاعات شیرکوه یزد، حوزه بیداخوید انجام شد. سپس روش‌های درون‌یابی تابع معکوس فاصله وزن‌دار، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی عمق برف روش کریجینگ معمولی بر روش‌های کوکریجینگ و تابع معکوس فاصله وزن‌دار برتری دارد.

مارچند و کیلینگویت (۲۰۰۱) برای برآورد عمق برف از روش معادلهٔ با ترکیب‌های خطی و غیر خطی از عوامل توپوگرافی شامل: ارتفاع، جهت شیب، زاویه شیب و شکل انحناء سطح زمین در سطوحی نزدیک به ۳۶ کیلومترمربع استفاده کردند. آنها در سطوح غیر جنگلی توانستند مقدار ۱۵/۶ درصد از تغییرات مربوط به مشاهدات عمق برف را با ترکیب خطی و حداکثر ۲۰/۱ درصد از تغییرات یاد شده را توسط ترکیب غیر خطی از عوامل توپوگرافی مدل نمایند. ارکسلبرن (۲۰۰۲) از دو روش کریجینگ و معادله همبستگی خطی برای برآورد عمق برف در حوزه‌ای واقع در کلرادو به مساحت یک کیلومترمربع و ارتفاع متوسط ۲۹۵۳ متر استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ در مقایسه با روش معادله همبستگی خطی، از مزیت بیشتری برخوردار است. به طوری که روش کریجینگ معمولی توانست ۱۹ درصد از تغییرات موجود در مشاهدات عمق برف را مدل نماید. حال آنکه این مقدار در روش معادله همبستگی خطی فقط ۶/۸ درصد به دست آمد. همچنین مقدار خطای مطلق برآورد نسبت به میانگین عمق برف در روش کریجینگ ۱۲ درصد و در روش معادله همبستگی خطی ۱۴ درصد بود. قابل‌ذکر است که آن‌ها در حوزه دیگر که دارای پوشش جنگلی بودند، نتیجه معکوس در مقایسه با نتیجه مذکور به دست آوردند. مولوتچ و همکاران (۲۰۰۵) از روش کریجینگ معمولی برای برآورد عمق برف در حوزه‌ای به مساحت ۱۹/۱ کیلومترمربع واقع در نوادای کالیفرنیا استفاده کردند. نتایج آن‌ها برای ماه آوریل با میانگین عمق برف ۲۵۵ سانتی‌متر نشان داد که روش مزبور، ۳۷درصد از تغییرات موجود در مشاهدات را مدل کرده است. اریکسون و همکاران (۲۰۰۵) به منظور مدل کردن تأثیر عوامل توپوگرافی بر روی عمق برف از روش معادله‌ی همبستگی خطی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد هنگامی که افزون بر استفاده از ترکیب خطی عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، زاویه شیب، تابش و نمایه بادپناهی از اثرات آن‌ها به صورت ترکیب‌های غیرخطی نیز استفاده شود، توانایی بیشتری در مدل کردن روند موجود در مشاهده‌ها، ایجاد می‌شود. تاپسوبا و همکاران (۲۰۰۸) از تکنیک کریجینگ معمولی با روند خارجی[3] به منظور برآورد توزیع مکانی آب معادل برف استفاده نموده و نتایج آنها با توزیع مکانی در حوضه آبریز رودخانه گاتینیو[4] منطقه کبک کانادا، (برآورد شده از طریق تکنیک کریجینگ معمولی) مقایسه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که تکنیک کریجینگ معمولی با روند خارجی نسبت به کریجینگ معمولی روش مناسب‌تری جهت برآورد توزیع مکانی آب معادل برف می‌باشد.

به این ترتیب در استفاده از یک روش معین، در مطالعات گوناگون نتایج متفاوتی به چشم می‌خورد. در این پژوهش هدف آن است تا کاربرد روش کریجینگ ، کوکریجینگ، توابع شعاع محور (RBF) و روش عکس فاصله (IDW) در برآورد توزیع مکانی مقدار عمق برف در یک

3 - Kriging Technique with External Drift
4 - Gatineau

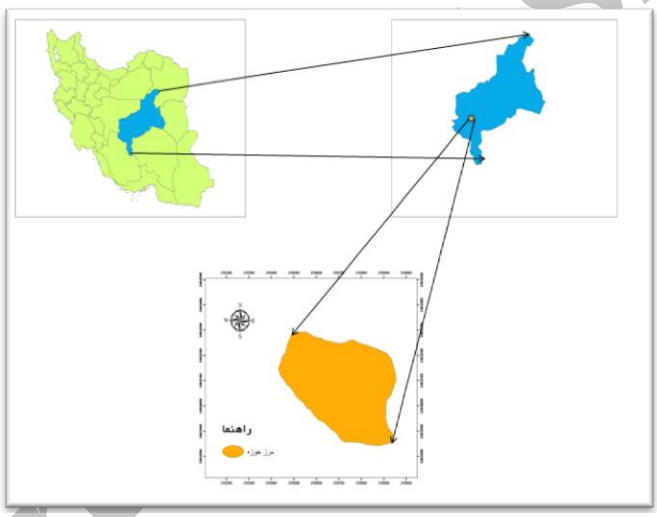
Archive of SID
www.SID.ir

حوزه آبخیز واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوزه آبخیز سخوید تفت با مساحت ۱۶هکتار می‌باشد. به دلیل اینکه این حوزه در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد؛ و از آنجایی که در بسیاری از مناطق به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران، برف انباشته‌شده در برف چال‌ها ذخیره قابل‌توجهی از منابع آب حوزه‌ها را ایجاد می‌کند. همچنین به دلیل اینکه در بسیاری از موارد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب قابل‌دسترس برای مصارف کشاورزی، از مناطق کوهستانی که دارای بارش بیشتری هستند تأمین می‌گردد، بنابراین آگاهی از ذخیره یادشده، از اساسی‌ترین نیازهای مدیران منابع آب می‌باشد. بخش عمده این حوزه کوهستانی بوده و بیشینه، کمینه و میانگین ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۹۹۰، ۲۸۴۰ و ۲۹۰۰ متر می‌باشد. بیش‌ترین بارش‌های منطقه در ماه‌های بهمن و اسفند و همچنین در اوایل بهار اتفاق می‌افتد و پس از آن بارش‌های شایان توجهی در پاییز رخ می‌دهد و یک فصل نسبتاً طولانی و خشک تابستان هم از ویژگی‌های اقلیمی این منطقه می‌باشد. میانگین بارش منطقه نزدیک به ۲۲۲ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه۱۴درجه سلسیوس می‌باشد. در شکل یک موقعیت حوزه مورد مطالعه آورده شده است.



شکل(۱): موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه

روش مطالعه و نمونه‌گیری

با انجام عملیات میدانی طی سه روز در بهمن ماه ۱۳۹۰عمق برف در ارتفاعات گوناگون، با استفاده از نمونه‌بردار برف مدل مونت ـ رز به صورت سیستماتیک در ۲۱۶نقطه اندازه‌گیری شد. سپس مختصات نمونه‌ها با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد. آزمون نرمال بودن داده‌های عمق برف با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSSو با آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف[1] انجام شد. معیار نرمال بودن، مقدار احتمال بیش‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد، به این معنی که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. در صورتی که داده‌ها با توجه به این آزمون نرمال نباشند با توجه به مقادیر چولگی آن‌ها و با استفاده از اشکال تغییر یافته[2] داده‌ها نرمال می‌شوند.

1- Kolmogrov-smirnov Test

2- Transform

www.SID.ir

تجزیه و تحلیل آماری

روی هم رفته یک آنالیز می‌تواند به مرحله آنالیز ساختاری و بهترین برآورد خطی نااریب[1] تقسیم گردد. آنالیز ساختاری شامل انتخاب یک مدل تغییرات مکانی نظیر یک نیم تغییر نما بوده و به همین دلیل گاهی واریوگرافی نیز خوانده می‌شود (Goovaerts, 1997) تابع واریوگرام به صورت رابطه ۱است.

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}+\sum_{i=1}^{N(h)}(Z(xi)-Z(xi+h)\text{^}2 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه$\gamma(h)$: مقدار واریوگرام، N: جفت نمونه‌ها، h: فاصله، x_i: متغیر و $z(x_i)$: مقدار متغیر می‌باشد. برای ترسیم نیم تغییرنما لازم است ابتدا مقدار $\gamma(h)$ را به ازای مقادیر مختلف h محاسبه و سپس مقادیر بهدست آمده را به ازای فواصل مختلف h دریک نمودار رسم کرد. به نیم تغییرنمایی که از طریق نمونه‌های اندازه‌گیری شده به دست می‌آید، نیم تغییرنما تجربی گفته می‌شود (حسنی پاک، ۱۹۹۸). یک نیم تغییرنما دارای مشخصاتی شامل آستانه[2]، فاصلهٔ مؤثر[3] و اثر قطعه‌ای[4] است (وفاخواه و همکاران، ۲۰۰۸).

مقدار آستانه بیش‌ترین مقدار نیم تغییرنما است که در واقع همان واریانس مکانی متغیر مورد نظر می‌باشد. کمترین نقطه نیم تغییرنما اثر قطعه‌ای بوده و بیانگر واریانس خطای اندازه‌گیری است و فاصلهٔ موثر نیز بیانگر فاصله‌ای است که درآن نیم تغییرنما دارای بیش‌ترین مقدار می‌گردد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار داد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ۰/۲۵-۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامیکه بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی ضعیف می‌باشد (محمدی، ۲۰۰۱).

واریانس تصادفی در اثر اشتباه نمونه‌گیری ایجاد می‌گردد و باعث می‌شود که واریوگرام از مبدأ مختصات شروع شود؛ هر قدر میزان واریانس تصادفی کوچک‌تر باشد، دقت در نمونه‌گیری‌ها بالا خواهد بود. قابلیت واریوگرام در برآورد وابستگی بین نمونه‌ها در دامنه تأثیر ظاهر می‌شود. در خارج از این دامنه واریوگرام به خط راستی تبدیل می‌شود و در این حالت، وابستگی مکانی متغیرها از بین می‌رود. متغیرهایی که طول و عرض یکسانی دارند، می‌بایست در واریوگرام مربوط مقدار عرض از مبدأ آن‌ها صفر باشد ولی در عمل مشاهده شده که به دلیل وجود خطای نمونه‌گیری و یا خطای تجزیه نمونه‌ها و یا وجود علل فیزیکی مشخص دارای مقدار قابل‌توجهی واریانس تصادفی هستند. بهترین برآورد خطی نااریب، به عنوان تابع خطی داده‌ها، برآورد مقادیر ناشناخته‌ای‌است که دارای کمترین واریانس بوده، همچنین نااریب باشند که با استفاده از مدل ساخته شده طی آنالیز ساختاری صورت می‌گیرد. در این تحقیق روش‌های درون‌یابی زیر برای ارزیابی عمق برف در حوزه مورد مطالعه استفاده شده است.

۱- کریجینگ معمولی[5](O.K)

کریجینگ معمولی از جمله برآورد کننده‌های زمین آماری است که برای برآورد عمق در مقیاس‌های محلی[6] مورد استفاده قرار می‌گیرد (کورال و کریسی، ۱۹۹۶). کریجینگ معمولی را به صورت یک جمع خطی وزن دار نشان می‌دهد که هدف یافتن وزن‌های آماری نمونه‌ها است به طوری که علاوه بر نااریب بودن برآورد، واریانس برآورد نیز حداقل گردد.

$$Z(x_i)=\sum_{i=1}^{m}\lambda_i Z(x_i) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه $Z(x_i)$ برآورد آماری از متغیر مورد نظر و λ_i وزن آماری اختصاص داده شده به نمونه است.mتعداد نمونه‌های قرار گرفته در همسایگی نقطه مورد نظر می‌باشد.

1-Best Linear Unbiased Estimation (BLUE)
2- Sill
3 - Range effect
4 - Nugget effect

5-Ordinary Kriging
6-Local Scales

Archive of SID
www.SID.ir

۲- کوکریجینگ[1]

همانطور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد در زمین آمار 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 زیر می‌باشد:

$$Z(x_i)= \sum_{i=1}^{m} \lambda_i Z(x_i) \sum_{k=1}^{n} \lambda_k . U.(X_k)$$ رابطه(۳)

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

۳- عکس فاصله وزنی[2](IDW)

روش عکس فاصله یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی کاربرد زیادی دارد. فرض اساسی این روش بر این است که با افزایش فاصله، میزان تأثیر عوامل در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آن اندازه‌گیری نشده است، از مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش‌بینی، عامل وزن بر اساس فاصله‌ی نقاط از یکدیگر تعیین می‌شود که به نقاط نزدیک محل نمونه، وزن بیشتر و به نقاط دورتر، وزن کمتر اختصاص می‌یابد. با استفاده از تابع زیر می‌توان مقادیر مربوط به نقاط مختلف را به دست آورد.

$$Z=\frac{\sum_{i=1}^{N}\frac{Zi}{di^{\wedge}m}}{\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{di^{\wedge}m}}$$ رابطه(۴)

که در آن Z_i: مقادیر نمونه، d_i: فاصله اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه؛ mعامل توان؛ n: تعداد نقاط نمونه می‌باشند.

۴- روش توابع شعاع محور[3](RBF)

این روش می‌تواند روی داده‌های نویزداری که به طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال شده و یک درون‌یابی چند متغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد. در این روش یک تابع f(x,y)را می‌یابد که این تابع نه تنها از تمامی داده‌های موجود می‌گذرد بلکه مقدار یک تابع انحناء را که میزان هموار بودن تابع f(x,y)را می‌سنجد را نیز کمینه می‌کند.

به عبارت دیگر، روش RBFتابعی را می‌یابد که مشابه یک ورقه نازک است که به طور همواری خم شده است و مقید به گذشتن از داده‌ها می‌باشد؛ که به صورت تابع زیر می‌باشد.

$$f(x,y)= \sum_{j=1}^{n} a_j E(\| x-x_j , y-y_j \|)+b_0 +b_{1x} +b_{2y}$$ رابطه(۵)

به طوریکه □ ۰□ بیانگر طول بردار، X و Y متغیرهای مکانی، (X_j , Y_j) مختصات مکانی j امین نقطه مشاهده‌ای پارامترZ_jو Eیک RBFمی‌باشد. a_j, b_0 , b_1, b_2ضرایبی هستند که باید تعیین شوند تا تابع fبه طور صریح مشخص شود. البته ابتدا بایستی تابع RBF(E)را نیز مشخص کنیم.

به منظور دستیابی بهترین و کم خطاترین روش درون‌یابی در رابطه با تهیه نقشه پهنه‌بندی عمق برف در منطقه، نیاز به استفاده از یک معیار مناسب برازش می‌باشد. در رابطه با مقایسه روش‌های زمین آماری، معیاره‌های مورد بررسی، آماره RMSEاست. هر چه مقدار این آماره صحت سنجی کمتر باشد روش مورد نظر در نشان دادن تغییرات مکانی پارامتر مورد نظر بهینه‌تر عمل می‌کند.

نتایج

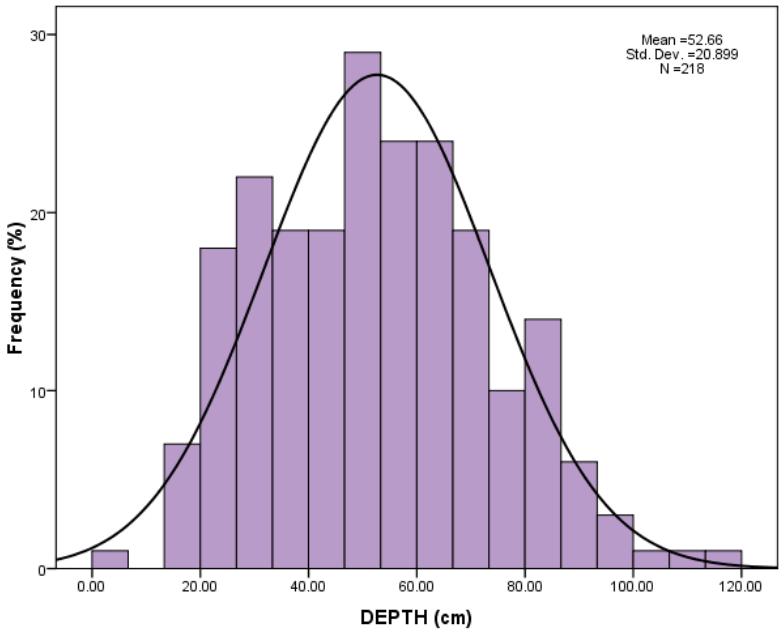
ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار spssبا کمک آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. جدول(۱) و شکل(۲) نشان می‌دهد که داده‌های خام اولیه عمق برف نرمال هستند.

1-Cokriging
2-Inverse Distance Weighting
3- Radial Basis Function (RBF)

Archive of SID
www.SID.ir

جدول(۱): مقادیر برخی از آماره‌های عمق برف

عامل	میانگین	واریانس	کمینه	بیشینه	دامنه	آزمون کلموگروف ـ اسمیرنوف آماره
عمق برف (cm)	۵۲/۸۷	۴۲۹/۳	۱۷	۱۱۴	۹۷	۲/۰



شکل(۲): هیستوگرام و منحنی نرمال عمق برف

نتایج مقایسه روش‌های زمین آماری نشان داد که از بین روش‌های مرسوم زمین آماری همچون عکس فاصله وزنی (IDW)، توابع شعاع محور (RBF)، کریجینگ و کوکریجینگ(CO.K) روش کریجینگ در درون‌یابی عمق برف با دارا بودن مقدارRMSEبرابر با ۱۴/۴۹، (کمترینRMSE نسبت به سایر روش‌ها) روش بهینه است. در جدول ۲ مقادیر آماره RMSE در مورد هر یک از روش‌ها آورده شده است.

جدول(۲): مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی بر اساس آماره RMSE

Row	Type model	RMSE
۱	Kriging	۱۱/۴۹
۲	IDW	۱۱/۸۹
۳	Co.kriging	۱۲
۴	RBF	۱۲/۴۶

هر چه مقدار آماره صحت سنجی RMSE کمتر باشد واریوگرام حاصل در نشان دادن تغییرات مکانی پارامتر مورد نظر بهینه‌تر عمل می‌کند. بر این اساس روش کریجینگ بهینه‌ترین برازش را با تغییرات مکانی عمق برف در نشان می‌دهد.

با مقایسه واریوگرام‌های روش‌های مختلف کریجینگ همچون کریجینگ ساده(S.K)[1]، کریجینگ معمولی(O.K)[2] و کریجینگ جهانی(U.K)[3]؛ مشخص گردید که روش کریجینگ جهانی واریوگرام خوش‌برازش‌تری را نسبت به سایر روش‌های کریجینگی داراست. به گونه‌ای که تابع نمایی این روش با دارا بودن مقدار RMSE برابر با ۱۱/۴۹ کمترین خطا را نسبت به سایر روش‌های کریجینگی داراست. در جدول ۳ مشخصات واریوگرام بهینه روش‌های مختلف

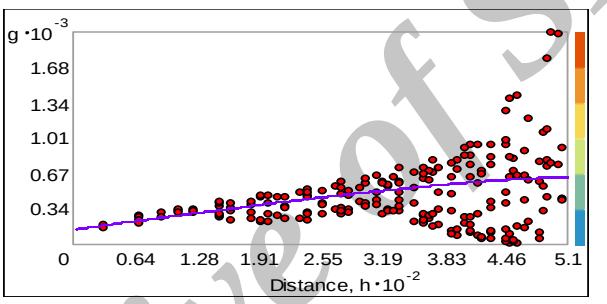
[1]- Simple Kriging
[2]- Ordinary Kriging
[3]-Universal Kriging

Archive
www.SID.ir

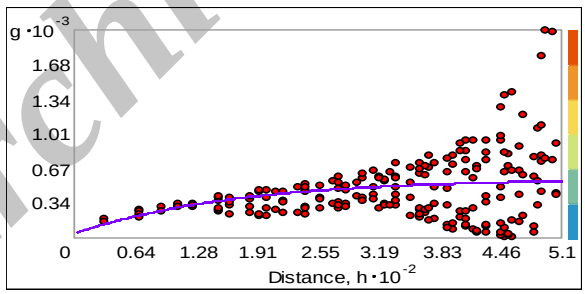
کریجینگ آورده شده است. همچنین در شکل ۳ تا ۵ واریوگرام‌های مدل کروی، نمایی و قوسی کریجینگ جهانی آورده شده است. که با توجه به جدول ۳ و شکل ۴ از بین روش‌های کریجینگ، مدل کریجینگ جهانی با تابع نمایی با دارا بودن کمترین مقدار RMSE بهترین واریوگرام در پهنه‌بندی و میان‌یابی عمق برف در حوزه آبخیز سخوید می‌باشد.

جدول(۳): مشخصات واریوگرام بهینه روش‌های کریجینگ در مورد عمق برف

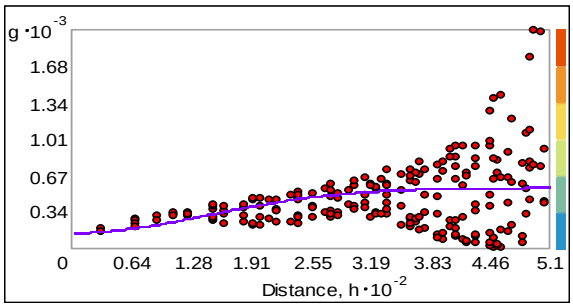
Nugget/ Sill	RMSE	Nugget	Sill	Model	Type	Row
۰/۱۶	۱۱/۹	۰/۱	۰/۵۸۹	Circular	O.K	۱
۰/۱۷	۱۱/۶۲	۰/۰۸۲	۰/۴۸۲	Exponential	O.K	۲
۰/۳۶	۱۲/۸۱	۰/۱۵	۰/۴۱۳	Gaussian	O.K	۳
۰/۱۶	۱۱/۹	۰/۱	۰/۵۸۹	Circular	U.K	۴
۰/۰۹	**۱۱/۴۹**	**۰/۰۵**	**۰/۵۳۳**	**Exponential**	**U.K**	**۵**
۰/۳۶	۱۲/۸۱	۰/۱۵	۰/۴۱۳	Gaussian	U.K	۶
۰/۸۱	۱۲/۴۹	۱/۹۱	۲/۳۵	Circular	S.K	۷
۰	۱۱/۵	۰	۴/۳۱	Exponentail	S.K	۸
۰/۹	۱۲/۷۴	۲	۲/۲	Gaussian	S.K	۹



شکل(۳): واریوگرام تابع **Circular**مدل کریجنیگ جهانی (**U.K**)



شکل(۴): واریوگرام تابع **Exponential**مدل کریجینگ جهانی (**U.K**)

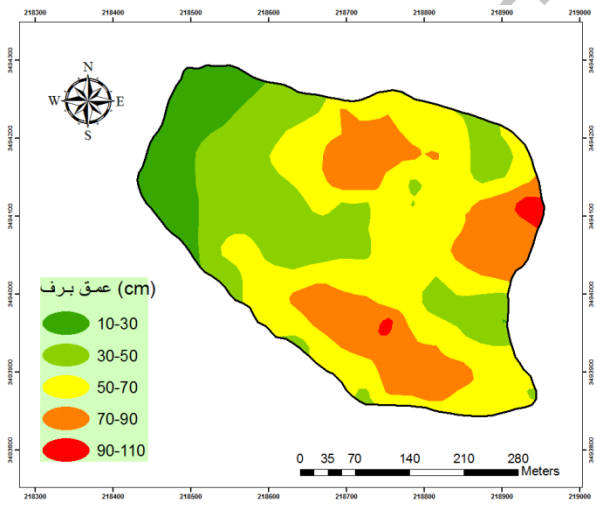


شکل ۵: واریوگرام تابع **Gaussian** مدل کریجینگ جهانی (**U.K**)

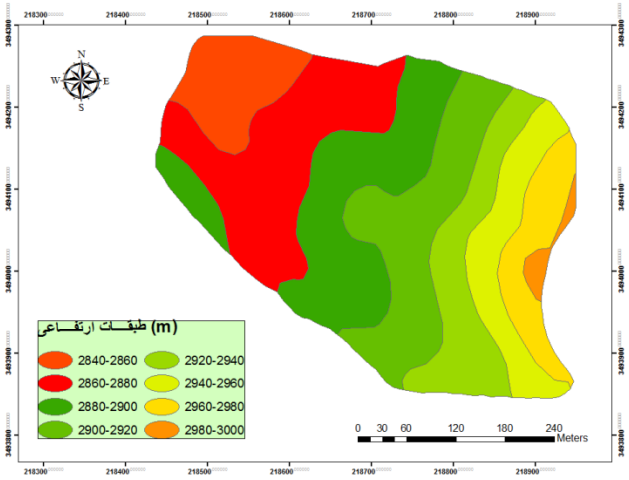
Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به جدول ۳ و شکل ۴ چون روش کریجینگ جهانی نسبت با سایر روش‌ها دارای RMSE کمتری بوده‌است؛ و همچنین واریوگرام آن برازش بهتری را با داده‌ها دارد، لذا روش کریجینگ جهانی به عنوان روش مناسب جهت تهیه نقشه تغییرات عمق برف منطقه سخوید یزد انتخاب می‌شود. شکل ۶ نقشه پهنه‌بندی عمق برف منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تحلیل واریوگرام عمق برف بیانگر آن است که شبیه نیم تغییرنمای به دست آمده نمایی می‌باشد. بر اساس آنچه که در جدول ۳و شکل ۴ مشخص است، در رابطه با عمق برف اثر قطعه‌ای واریوگرام (۰/۰۵) نسبت به سقف واریوگرام (۰/۵۳۳) کم است، این به آن مفهوم است که بین داده‌ها، ساختار فضایی بسیار قوی بوده، این ویژگی همگنی در داده‌های جمع‌آوری شده عمق برف را نشان می‌دهد (پایین بودن اثر قطعه‌ای نشان دهنده‌ی این موضوع است).

از آنجایی که با افزایش ارتفاع عمق برف افزایش می‌یابد برای بررسی اثر ارتفاع بر روی عمق برف نقشه طبقات ارتفاعی بوسیله نرم‌افزار Arc GIS رسم شد، و در ارتفاعات مختلف و دامنه‌های شمالی و جنوبی عمق برف با نقشه پهنه‌بندی عمق برف مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۷).



شکل۶: نقشه پهنه‌بندی عمق برف با استفاده از روش Exponential Universal Kriging در حوزه آبخیز سخوید یزد



شکل ۷: نقشه طبقات ارتفاعی در حوزه آبخیز سخوید یزد

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

تمام داده‌هایی که با درون‌یابی کریجینگ در زمین آمار به دست می‌آید، با ساختار کلی واریوگرام و به ویژه به مقدار اثر قطعه‌ای در واریوگرام بستگی دارد. هر قدر، میزان اثر قطعه‌ای زیاد باشد، توان پیش‌بینی توسط مدل واریوگرافی کاهش می‌یابد. در واریوگرام، مربوط به عمق برف محدوده‌ی مطالعاتی، اثر قطعه‌ای مقدار کمی داشته که به دلیل وجود ساختار فضایی قوی در بین مقادیر عمق برف در فاصله‌های گوناگون مورد بررسی، است و همچنین دامنه‌ی تأثیر در واریوگرام نیز مقدار کمی دارد که دلالت بر ساختار فضایی قوی در فاصله کوتاه‌تر دارد و از آنجایی که توانایی زمین آمار بر اساس تغییرات پیوسته مکانی متغیرهای محیط بنا شده است، این ویژگی، همگنی در داده‌های جمع‌آوری شده عمق برف را نشان می‌دهد (کم بودن اثر قطعه‌ای نشان دهنده‌ی این موضوع است). کم بودن اثر قطعه‌ای در واریوگرام به دست آمده، می‌تواند به دلیل تغییرات کم عمق برف در فاصله اندک باشد. نتایج ارزیابی برآوردها به وسیله‌ی کریجینگ حکایت از دقت بالا و کارآمدی این روش در برآورد عمق برف در منطقه مورد مطالعه است که دلیل آن کم بودن اثر قطعه‌ای در واریوگرام عمق برف می‌باشد.

پایین بودن اثر قطعه‌ای واریوگرام عمق برف در حوزه آبخیز مورد مطالعه حاکی از تأثیر پذیری کم عمق برف از عوامل توپوگرافی مثل ارتفاع، شیب و جهت در فواصل کم می‌باشد؛ و همچنین کم بودن دامنه تأثیر و اثر قطعه‌ای عمق برف نشان دهنده‌ی تغییر پذیری شدید این پارامترها در فاصله‌های زیاد است. این تغییر پذیری به گونه‌ای است که هر گونه ناهمسانگردی را در منطقه پوشش داده است. این نتیجه، با نتایج وفاخواه و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان همخوانی دارد.

همچنین نتایج جدول ۳ و واریوگرام عمق برف مشخص است که اثر قطعه‌ای واریوگرام (۰/۰۵) نسبت به سقف واریوگرام (۰/۵۳۳) کم است و این به این مفهوم است که ما بین داده‌های عمق برف ساختار فضایی قوی حکم فرماست؛ که این خود نشان می‌دهد که روش درون‌یابی به کار برده شده در برآورد توزیع مکانی عمق برف مناسب می‌باشد. این نتیجه، با نتایج پژوهش مولوتچ (۲۰۰۵) مطابقت و همخوانی دارد.

در مقایسه با نتایج سایر پژوهشگران، نتیجه این پژوهش با نتایج پژوهش(ارکسلبرن و همکاران (۲۰۰۲)، شریفی و همکاران (۲۰۰۷) و باقری فهرجی (۲۰۱۱) در مورد برآورد صحیح عمق برف توسط روش کریجینگ همخوانی دارد.

به نظر می‌رسد روش نمونه‌گیری با طبقه‌بندی محیط به واحدهای همگن و طبقه‌بندی مناسب داده‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، باعث همسانگردی در بین داده‌ها شده و تغییرپذیری مکانی داده‌ها را کاهش داده و در پی آن اثر قطعه‌ای کاهش یافته و توانایی زمین آمار افزایش می‌یابد. در کل زمین آمار در مقیاس‌های کوچک و در حد دامنه تأثیر داده‌ها و در شرایطی که محیط از همگنی بیشتر برخوردار باشد، نتایج بهتری در مقایسه با به کارگیری آمار معمولی، خواهد داشت. همچنین انتخاب تعداد مناسب از داده‌ها، در به کارگیری این روش موثر است.

با توجه نقشه پهنه‌بندی عمق برف و نقشه طبقات ارتفاعی مشخص شد که دامنه‌های شمال شرقی و جنوب شرقی به دلیل واقع شدن در ارتفاعات بالا بیش‌ترین عمق برف (عمق بیش از ۴۰ سانتی‌متر) و دامنه‌های شمال غربی به دلیل واقع شدن در ارتفاعات پایین و تحت تأثیر قرار گرفتن درجه حرارت‌های بالا عمق کمی از برف را دارا می‌باشند (عمق کمتر از ۱۵ سانتی‌متر). به طور کلی دامنه‌های رو به شمال بیش‌ترین برف را نسبت به دامنه‌های جنوبی منطقه دریافت نموده‌اند. به علاوه به طور کلی عمق برف در دامنه‌های غربی بیش‌تر از شرقی است که دلیل آن را می‌توان تحت تأثیر قرار گرفتن دامنه‌های غربی به صورت تله عمل نموده و عمق برف در این مکان‌ها به صورت چشم‌گیر افزایش یافته است.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱-حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستک)، انتشارات دانشگاه تهران.

۲- محمدی، ج. ۱۳۸۰. مروری بر مبانی ژئواستاتیستیک و کاربرد آن در خاک‌شناسی، مجله علوم خاک و آب.

۳- نجفی، م.، ج. شیخی‌وند و ج. پرهمت، ۱۳۸۳. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوزه‌های برف‌گیر با استفاده از مدل SRM (مطالعه موردی حوزه‌ی سد مهاباد)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

۴- شریفی، م.ر، م. آخوندعلی و ج. پرهمت. ۱۳۸۶. ارزیابی دور روش همبستگی خطی و کریجینگ معمولی به منظور برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوزه آبخیز صمصامی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

۵- وفاخواه، م.، م. محسنی ساروی، م. مهدوی و س.ک. علوی پناه. ۱۳۸۷. کاربرد زمین آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

۶- فتح‌زاده، ع. ۱۳۸۷. برآورد توزیع مکانی آب معادل برف در حوزه آبخیز کرج با استفاده از سنجش از دور و مدل بیلان انرژی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.

۷- وزیری، ف. ۱۳۸۲. هیدرولوژی کاربردی در ایران- کتاب دوم: شناسایی یخچال‌های طبیعی در ایران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۸- باقری فهرجی، ر. ۱۳۹۰. برآورد توزیع مکانی آب معادل برف در حوزه‌های آبخیز کوهستانی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی حوزه آلخیز بیداخوید)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد میبد.

9-Balk, B. & K. Elder. 2000.Combining binary decision tree and geostatistical methods to estimate snow distribution in a mountain watershed, Water Resources Research, 36:13-26.

10-Carrol, S.S. and N. Cressie. 1996.Acomparison of geostatistical methodologiesused to estimate snow water equivalent,Water Resources Bull., 32: 267-278.

11-Elder, K.,G. Dozier and J. Michaelsen. 1991. Snow Accumulation and Distribution in an Alpine Watershed, Water Resources Research, 27(7):1541-1552.

12-Elder, K., J. Michaelsen & J. Dozzier. 1995.Small basin modeling of snow water equivalence using binary regression tree methods, IAHS Publ., No. 228.

13-Elder, K., R. Rosenthal & R.E. Davis, 1998. Estimating the spatial distribution of snow water equivalence in a mountain watershed, Hydrological Processes, 12: 1793-1808.

14-Erickson, T.A., M.W. Williams and A. Winstral. 2005. Persistence oftopographic controls on the spatialdistribution of snow in rugged mountain, Colorado, United States, Water ResourcesResearch , 41:1-17.

15-Erxleben, J., K. Elder & R. Davis. 2002.Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow stribution in Colorado Rocky Mountains, Hydrological Processes, 16: 3627-3649.

16-Hosang, J. and K. Dettwiler. 1991.Evalution of a water equivalent of snow cover map in a small catchment area using a geostatistical approach, Hydrological Processes, 5: 283-290.

17- Marchand, W.D. and A. Killingtveit. 2001. Analyses of the Relation between Spatial Snow Distribution and Terrain Characteristics, 58th Estern Snow Conference Ottawa, Ontario, Canada.

18-Marchand, W.D. & A. Killingtveit. 2005.Statistical probability distribution of snow depth at the model sub-grid cell spatial scale, Hydrological Processes, 19: 355-369.

19-Molotch, N.P., M.T. Colee, R.C. Bales and J. Dozier. 2005.Estimating the spatial distribution of snow water equivalent in an alpine basin using binary regrnion tree models: the impact of digital elevation data independent variable selection, Hydrological Processes, 19:1459-1479.

20- Tapsoba, D., V. Fortin, F. Anctil and M. Hache. 2008. Use of the kriging technique with external drift for a map of the water equivalent of snow: application to the Gatineau River Basin, 32: 1. 289-297.

21- Tryhorn, L., DeGaetano, Art. 2012. A methodology for statistically downscaling seasonal snow cover characteristics over the Northeastern United States, 10. 1002/joc. 3626.

Archive of SID

www.SID.ir

Geostatistical methods to estimate the spatial distribution of snow depth in the watershed Skhvyd

S Ebdam[1], A. Fathzadeh[2]

Abstract

Spatial distribution of snow reserves, in order to more accurately estimate the runoff from their understanding of the importance of water is snow. Spatial distribution of snow depth required to achieve the observational data and the compressed scale, be done. However, due to practical limitations, collect information, particularly on the scale, it is difficult and sometimes impossible. Methods can not measure the depth of snow in places, and also to estimate the extent of their use in this regard is essential. The study a range an area of 16 acres in the watershed Taft called the Skhvyd and using 216 data deep snow, using geostatistical kriging, Cokriging, Radial Basis Function (RBF) and inverse distance method (IDW) was. Variogram plotted snow depth was measured using 216 points. Variogram obtained showed that the most appropriate variogram model is exponential, so that the variogram has a Nugget of 0/05 and a Sill of 0/533, has been, which means that there is a strong spatial structure of the data. Variogram analysis and verification statistics (RMSE) between the methods of extraction methods showed that kriging is better in snow depth zonation. The results showed that the universal kriging, kriging methods with minimum error (11/49) and the best estimate of snow depth in the study area.

Keywords: Snow depth, Geostatistical, Variogram, watershed Sakhvid.

Archive of SID

[1]- Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources Education Integrated ardakan

[2] - Master student Watershed - School of Natural Resources, Yazd University

www.SID.ir