



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## تخمین آب معادل برف با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارتفاع منطقه (مطالعه موردی: حوضه ساروق چای)

هادی انصاری<sup>۱</sup> و \* صفر معروفی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، آستاد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۳۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** آب معادل برف، یکی از پارامترهای مهم در چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد. در ایران اندازه‌گیری عمق برف و آب معادل آن در ایستگاه‌های برف‌سنجی به علت خودکار نبودن ایستگاه‌ها و مشکلات اندازه‌گیری آن به‌طور محدودی صورت می‌گیرد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه آب معادل برف، سرعت باد، درجه حرارت، بارش و ارتفاع منطقه از عوامل تأثیرگذار بر میزان آب معادل برف می‌باشند. از آنجایی که مقادیر پارامترهای سرعت باد، درجه حرارت و بارش می‌توانند در طولانی مدت بر آب معادل برف تأثیرگذار باشند، بنابراین هدف این مطالعه استفاده از پارامترهای هواشناسی و جغرافیایی برای تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه مورد مطالعه می‌باشد. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و کاربرد روش‌های مختلف درونیابی، پس از انتخاب بهترین روش که به‌وسیله معیارهای ارزیابی صورت گرفت، مقادیر بارش، دما و سرعت باد به‌صورت میانگین‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی در حوضه ساروق چای تخمین زده شد. بعد از تخمین پارامترهای ذکر شده، همبستگی تک‌تک هر یک از این پارامترها با آب معادل برف ایستگاه‌ها بررسی شد. پارامترهایی که بیش‌ترین همبستگی را داشتند، انتخاب شدند. سپس در نرم‌افزار SPSS بین این پارامترها و ارتفاع ایستگاه‌ها، با آب معادل برف آن‌ها یک رگرسیون چندمتغیره به‌دست آمد. رابطه به‌دست آمده با داده‌های اندازه‌گیری شده آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی صحت‌سنجی شد.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین‌های بارش، دمای ۴۰ روزه و سرعت باد ۳۰ روزه، به‌ترتیب بیش‌ترین همبستگی را با آب معادل برف ایستگاه‌ها نشان دادند. بهترین رابطه رگرسیونی برای تخمین آب معادل برف با استفاده از این پارامترها به‌دست آمد. ارزیابی داده‌های واقعی و محاسباتی با توجه به معیار ناش-ساتکلیف (۰/۸۳) و ضریب همبستگی (۰/۹۱) صورت گرفت. نتایج نشان داد که رابطه رگرسیونی به‌دست آمده از دقت خوبی برای تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی مورد مطالعه برخوردار است.

**نتیجه‌گیری:** در این پژوهش، با توجه به کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق کوهستانی شمال‌غربی کشور از روش‌های درونیابی برای تخمین مقادیر پارامترهایی سرعت باد بارش و دما، در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین روش‌های درونیابی، توابع پایه شعاعی با مدل چندربعی معکوس برای میانگین سرعت

\* مسئول مکاتبه: [smarofi@yahoo.com](mailto:smarofi@yahoo.com)

باد ۱۰ الی ۵۰ روزه، مدل نواری کاملاً منظم برای تخمین میانگین دمای ۱۰ الی ۵۰ روزه و روش کریجینگ با مدل گوسین برای برآورد میانگین بارش ۱۰ الی ۵۰ روزه در ایستگاه‌های برف‌سنجی از دقت خوبی برخوردار هستند. با استفاده از پارامترهایی که بیش‌ترین همبستگی را با آب معادل برف داشتند، یک رابطه رگرسیونی برای تخمین آب معادل برف به‌دست آمد. ارزیابی رابطه رگرسیونی نشان داد می‌توان از آن برای تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های مربوطه استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** آب معادل برف، ایستگاه برف‌سنجی، حوضه ساروق‌چای، زمین‌آمار

### مقدمه

برف یک مؤلفه مهم در مطالعات هیدرولوژیکی و چرخه‌های هواشناسی و اقلیم به‌علت اثرات آن بر بازتاب سطح زمین و تعادل تابش خالص است. در عرض‌های جغرافیایی بالا و بیش‌تر مناطق کوهستانی زمین، بخش قابل‌توجهی از بارش کل سالانه به‌صورت برف است و بسیاری از رودخانه‌ها از ذوب برف سرچشمه می‌گیرند که نشان‌دهنده منبع اصلی آب شیرین در بسیاری از مناطق است (۲۶). آب معادل برف یکی مشخصه‌های مهم پوشش برف است، با این حال اندازه‌گیری آب معادل برف وقت‌گیر است و روش‌های جایگزین می‌تواند مفید باشد. برای کاربردهای هیدرولوژیکی، ما نیاز به دانستن مشخصه‌های پوشش برف توسط آب معادل برف آن هستیم (۱۴). اطلاعات قابل‌اعتماد در مورد مقدار آب ذخیره شده در پوشش برف حوضه آبریز از اهمیت بالایی برای بسیاری از جنبه‌های هیدرولوژی و مدیریت منابع آب، به‌عنوان مثال بهره‌برداری از مخازن، بهینه‌سازی مدیریت برق آبی، شهری و صنعتی، کنترل سیلاب و تفریح و سرگرمی برخوردار است (۲۰).

مطالعه در زمینه برف توسط برخی از پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به الدر و همکاران (۱۹۹۱) در حوضه‌های واقع در

کالیفرنیا با مطالعه بر روی عوامل ارتفاع، شیب، تابش، شاخص‌های بادپناهی و بادروبی اشاره نمود. بر اساس نتایج این پژوهش شاخص بادپناهی مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر ضخامت برف معرفی می‌باشد (۵). همچنین مولوچ و همکاران (۲۰۰۵) در حوضه توکوپاه واقع در جنوب کالیفرنیا، شاخص بادپناهی را به‌عنوان یک عامل مؤثر بر توزیع مکانی ضخامت برف معرفی نمودند (۲۱). جین و همکاران (۲۰۰۹) در حوضه‌ای واقع در هیمالیا اثر ارتفاع و زاویه شیب را بر توزیع مکانی برف انباشت مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که تأثیر زاویه شیب بر میزان برف‌انباشت در ارتفاعات بالا بیش‌تر است (۱۳). طبری و همکاران (۲۰۱۰) با مقایسه روش‌های ترکیبی و هوش مصنوعی برای برآورد آب معادل برف در حوضه صمصامی مطالعاتی انجام دادند. آن‌ها برای تخمین پارامتر آب معادل برف از هفت روش، رگرسیون خطی چندمتغیره، تابع تشخیص، کریجینگ معمولی، ترکیب کریجینگ معمولی- رگرسیون خطی چندمتغیره، ترکیب کریجینگ معمولی- تابع تشخیص، شبکه عصبی مصنوعی، ترکیب شبکه عصبی مصنوعی- الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. بر اساس این نتایج، روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی- الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد (۲۵).

حجام و شرعی‌پور (۲۰۰۳)، ذوب برف را در حوضه آبریز طالقان مورد بررسی قرار داده و ضریب

اساس این نتایج، داده‌های برآورد شده اختلاف ۱۳ درصدی را با داده‌های مشاهداتی نشان دادند (۷). رحیمی و داناپور (۲۰۱۲) در منطقه کوه‌رنگ در استان چهارمحال و بختیاری داده‌های اقلیمی و ارتفاع برف آن را برای یک دوره ۲۰ ساله را به کمک روش‌های زمین‌آماری، رگرسیون چندمتغیره و تحلیل‌های عاملی بررسی کردند. با توجه به روش‌های استفاده شده، دمای متوسط روزانه، دماهای خشک و تر ساعت ۹ صبح، به‌ترتیب دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۴۷، -۰/۶۴۰ و ۰/۶۵۲- با ارتفاع برف داشتند (۲۴).

با توجه به پژوهش‌های مشابه انجام شده در زمینه آب معادل برف که چند نمونه از آن‌ها ذکر شد، سرعت باد، درجه حرارت و ارتفاع منطقه از عوامل تأثیرگذار بر میزان آب معادل برف می‌باشند. از آنجایی که مقادیر پارامترهای سرعت باد، درجه حرارت و بارش می‌توانند در طولانی‌مدت بر آب معادل برف تأثیرگذار باشند و در مطالعات صورت گرفته قبلی فقط تأثیر این پارامترها بر آب معادل برف در مقیاس روزانه (در همان روز اندازه‌گیری برف) انجام شده‌است. طول دوره‌های زمانی که پارامترهای مربوطه بیش‌ترین تأثیر را بر آب معادل برف با توجه به اقلیم منطقه دارند، می‌تواند برای برآورد آب معادل برف و مطالعات هیدرولوژی برف اهمیت داشته باشد. به همین علت در پژوهش حاضر جهت بررسی رابطه آب معادل برف اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های برف‌سنجی با پارامترهای مؤثری نظیر دما، بارش و سرعت باد، از میانگین‌های بلندمدت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه) این پارامترها استفاده گردید.

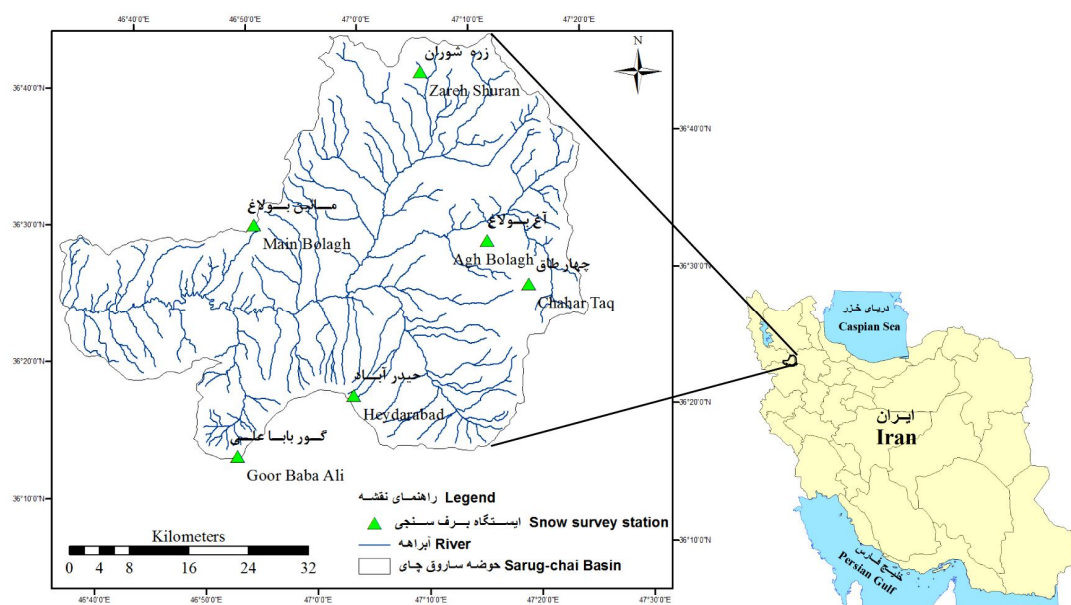
برفی را برای تمام ماه‌های سال محاسبه نمودند و ۵۶ درصد بارش سالانه حوضه را به‌صورت برف تخمین زدند ایشان به کمک معادلات گرادیان دما و بارش توانستند ذخیره برفی حوضه را برآورد نمایند (۱۲). غیور و همکاران (۲۰۰۴)، در حوضه رودخانه تجریش با استفاده از داده‌های میانگین حداقل، متوسط و حداکثر دمای ماهانه و بارش ماهانه، توانستند نقشه‌های هم دما و هم بارش را به‌دست آورده و از روی این نقشه‌ها سطح پوشش برف و میزان بارش برف و باران را در ماه‌های مختلف به‌دست آورند. نتایج نشان داد که برف‌گیری در این حوضه از ماه اکتبر شروع و در ماه ژانویه به حداکثر مقدار خود می‌رسد (۱۱).

معروفی و همکاران (۲۰۱۰) همبستگی بین شاخص بادپناهی و ضخامت برف را به کمک رگرسیون‌های خطی و غیرخطی چندجمله‌ای در یکی از زیرحوضه‌های کارون مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از روابط به‌دست آمده و به‌کارگیری روش‌های درون‌یابی توزیع مکانی ضخامت برف در حوضه مورد مطالعه را برآورد کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص بادپناهی با ضخامت برف دارای رابطه معنی‌دار و مستقیمی در سطح پنج درصد می‌باشد و ضریب همبستگی بین این دو پارامتر در رگرسیون غیرخطی چندجمله‌ای بیش‌تر از رگرسیون خطی است (۱۹). فتح‌زاده و زارع‌بیدکی (۲۰۱۲) پس از تعیین اوج انباشت برف، مقدار درجه-روزهای لازم تا ذوب کامل برف را تعیین نمودند. ایشان همچنین با معکوس کردن معادله درجه-روز، مقدار آب معادل برف را در هر نقطه از حوضه آبخیز شمشک برآورد کردند و سپس ارقام برآورد شده را با مقادیر مشاهداتی حاصل از اندازه‌گیری صحرائی مورد مقایسه قرار دادند. بر

۳۶ درجه، ۱۲ دقیقه و ۵۹ ثانیه تا ۳۶ درجه، ۴۶ دقیقه و ۳۲ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت این حوضه ۲۴۱۸ کیلومترمربع می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در آن نشان داده شده‌اند.

### مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه ساروق‌چای یکی از زیرحوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. این حوضه در مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه، ۳۶ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۴۷ درجه، ۲۳ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول شرقی و



شکل ۱- موقعیت حوضه ساروق‌چای و ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در آن.

Figure 1. Location of the Sarug-chai basin and the study sites.

حوضه ساروق‌چای که در شکل ۱ موقعیت آن‌ها نشان داده شده‌اند نیز استفاده گردید. این ایستگاه‌ها که زیر نظر وزارت نیرو می‌باشند در ماه‌های دی، بهمن و اسفند دارای آمار برف‌سنجی می‌باشد. در جدول ۲ مشخصات ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در حوضه ساروق‌چای آورده شده است.

داده‌های هواشناختی: به‌منظور تحلیل داده‌های آب معادل برف، از داده‌های بارش، دما و سرعت باد ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.

ضمناً از داده‌های آب معادل برف سال‌های آبی ۸۴-۸۵ الی ۹۱-۹۰ ایستگاه‌های برف‌سنجی واقع در

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی.

Table 1. Characteristics synoptic stations studied.

| ارتفاع (متر)<br>Elevation (m) | مختصات ایستگاه (U.T.M)<br>Station coordinates |         | ایستگاه<br>Station     |
|-------------------------------|---|---------|------------------------|
|                               | X   | Y       |                        |
| 1817                          | 688320  | 4030364 | تکاب<br>Takab          |
| 1338                          | 537098  | 4089407 | نقده<br>Naqadeh        |
| 1373                          | 681772  | 3911845 | سندج<br>Sanandaj       |
| 1300                          | 591647  | 4091390 | میاندوآب<br>Miandoab   |
| 1351                          | 563875  | 4067379 | مهاباد<br>Mahabad      |
| 1883                          | 736206  | 3974171 | بیجار<br>Bijar         |
| 1443                          | 513399  | 4061604 | پیرانشهر<br>Piranshahr |
| 1386                          | 608812  | 3931004 | مریوان<br>Marivan      |
| 1386                          | 608915  | 4043794 | بوکان<br>Bukan         |
| 1600                          | 581116  | 3984323 | بانه<br>Baneh          |

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های برف‌سنجی حوضه ساروق چای.

Table 2. Snow survey stations Characteristics of Sarug – chai.

| ارتفاع (متر)<br>Elevation (m) | مختصات ایستگاه (U.T.M)<br>Station coordinates |         | ایستگاه<br>Station            |
|-------------------------------|---|---------|-------------------------------|
|                               | X   | Y       |                               |
| 2210                          | 667750  | 4401114 | گور بابا علی<br>Goor Baba Ali |
| 2410                          | 682535  | 4020991 | حیدرآباد<br>Heydarabad        |
| 2320                          | 667142  | 4042887 | ماین بولاغ<br>Main Bolagh     |
| 2030                          | 687552  | 4060497 | زره شوران<br>Zareh Shuran     |
| 2200                          | 698486  | 4043542 | آغ بولاغ<br>Agh Bolagh        |
| 2500                          | 704588  | 4038134 | چهارطاق<br>Chahar Taq         |

## روش تحقیق

تخمین پارامترهای بارش، دما و سرعت باد: برای بررسی همبستگی بین آب معادل برف و مقادیر بارش، دما و سرعت باد، مقادیر پارامترهای بارش، دما و سرعت باد به صورت میانگین‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه (قبل از تاریخ اندازه‌گیری آب معادل برف) در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک محاسبه و از روش‌های درون‌یابی برای تخمین این پارامترها در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی استفاده شد. در روش‌های درون‌یابی، مقادیر برآوردی از مجموع حاصل ضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط مشاهده‌ای به دست می‌آید. معادله کلی روش‌های مختلف میان‌یابی به صورت زیر است (۲).

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

که در آن،  $Z^*(x_i)$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $x_i$  و  $\lambda_i$  وزن آماری که به نمونه  $x_i$  نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه  $i$  ام در برآورد است.

تفاوت عمده روش‌های مختلف میان‌یابی، در برآورد فاکتور وزنی یادشده می‌باشد. روش‌های به کار برده شده در این پژوهش شامل موارد ذیل می‌باشند:

**الف- روش کریجینگ:** یکی از روش‌های زمین‌آماری است که بر اساس تحلیل نیم‌تغییرنما استوار می‌باشد. نیم‌تغییرنما یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد. از نظر تعریف،

اگر واریانس بین نقاط با فاصله  $h$  کوچک باشد، نشانه وابستگی بیش‌تر متغیر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله، نیم‌تغییرنما نامیده می‌شود که آن را با  $\gamma(h)$  نشان می‌دهند. تابع نیم‌تغییرنما، تغییرات یک پارامتر را با در نظر گرفتن فاصله به صورت معادله زیر نشان می‌دهد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (2)$$

که در آن،  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i+h)$  مقادیر متغیر به ترتیب در نقاط  $x_i$  و  $x_i+h$  و  $N(h)$  تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته به ازای هر فاصله  $h$  می‌باشد (۱۱). این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است و بهترین تخمین‌گر نارایب می‌باشد که علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید (۱۵). در این پژوهش از روش کریجینگ معمولی<sup>۱</sup> با واریوگرام‌های مدل کروی<sup>۲</sup>، نمایی<sup>۳</sup> و گوسین<sup>۴</sup> استفاده گردید.

**ب- روش توابع پایه شعاعی:** از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات روش این است که مقادیر بیش‌تر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کم‌تر از حداقل مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد (۱). در این پژوهش روش توابع پایه شعاعی با مدل‌های توابع نواری کاملاً منظم<sup>۵</sup>، چنددربعی<sup>۶</sup>، چنددربعی معکوس<sup>۷</sup> و نواری با ضخامت کم<sup>۸</sup> به کار برده شد.

- 1- Ordinary Kriging
- 2- Spherical
- 3- Exponential
- 4- Gaussian
- 5- Completely Regularized Spline
- 6- Multiquadric
- 7- Inverse Multiquadric
- 8- Thin Plate Spline

(RMSE)، انحراف استاندارد عمومی<sup>۴</sup> (GSD) و معیار نش- ساتکلیف<sup>۵</sup> (NS) اشاره کرد. رابطه‌های مربوطه به قرار زیر هستند (۳، ۶).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]}{n} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (۵)$$

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x)} \quad (۶)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Z(x_i) - \bar{Z}(x)]^2} \quad (۷)$$

که در آن‌ها،  $n$  تعداد نقاط مشاهده‌ای،  $\bar{Z}(x)$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای،  $Z^*(x_i)$  مقدار برآوردی در نقطه  $i$  ام و  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای برای نقطه  $i$  ام می‌باشد.

**بررسی سطح معنی‌داری:** برای بررسی همبستگی بین دو متغیر کمی از آزمون همبستگی استفاده می‌شود. چنانچه آزمون همبستگی معنی‌دار باشد نشان‌دهنده ارتباط خطی دو متغیر با یکدیگر است. برای محاسبه ضریب همبستگی و آزمون مربوطه برای متغیرهای مورد بررسی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

**تخمین آب معادل برف:** با توجه به روش‌های مختلف درون‌یابی و ارزیابی آن‌ها، بهترین روش انتخاب و نقشه‌های پهنه‌بندی تولید و مقادیر پارامترهای بارش، دما و سرعت باد به‌صورت میانگین ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه در

ج- چندجمله‌ای موضعی: این روش حداقل مجذورات متناسب را بین گره‌های شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به‌عنوان وزن گره تخصیص می‌دهد. در این روش بر اساس ضرایب تخصیص داده شده و همچنین با به‌دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و سوم بین مقادیر  $x$ ،  $y$  و  $Z$  و حداقل‌سازی اطلاعات محاسبه شده، درون‌یابی صورت می‌گیرد (۱۸).

$$\sum_{i=1}^N w_i [F(x_i, y_i) - z_i]^2 = \text{Minimize} \quad (۳)$$

د- روش معکوس فاصله: یک روش درون‌یابی با وزن‌دهی متوسط است که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند. هنگامی که گره شبکه برآورد می‌گردد، وزن‌های تخصیص داده شده نقاط به مقادیر کوچکی تقسیم گردیده به‌طوری‌که مجموع همه وزن‌های نقاط، برابر یک می‌باشد (۹).

ذ- معیار ارزیابی روش‌های درون‌یابی: به‌منظور مقایسه روش‌های به‌کار برده شده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین روش، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل<sup>۱</sup> استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، مقدار پارامتر مربوطه در آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به‌طوری‌که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، مقادیر برآوردی وجود خواهد داشت.

معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی وجود دارد، که می‌توان به میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> (MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا<sup>۳</sup>

3- Root Mean Squared Error  
4- General Standard Deviation  
5- Nash- Sutcliffe

1- Cross Validatio  
2- Mean Absolute Error

برخوردار است. بعد از تعیین مدل‌های مطلوب که به وسیله معیارهای ارزیابی صورت گرفت، مقادیر پارامترهای ذکر شده در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی تخمین زده شد. سپس همبستگی تک‌تک پارامترها با آب معادل برف ایستگاه‌ها بررسی شد که مقادیر میانگین‌های سرعت باد ۳۰ روزه، بارش و دمای ۴۰ روزه بیش‌ترین همبستگی را با آب معادل برف ایستگاه‌ها نشان دادند. با توجه با اقلیم منطقه و این‌که به دلیل کوهستانی بودن، تقریباً در شش ماه از سال حوضه مورد مطالعه دارای پوشش برفی است (با توجه به نقشه‌های پوشش برفی استخراج شده از تصاویر ماهواره ترا)، انتظار می‌رفت که آب معادل برف اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها به مقادیر پارامترهای مؤثر بر برف در روزهای قبل از اندازه‌گیری بستگی داشته باشد که با نتایج به‌دست آمده همخوانی دارد.

در این حوضه میانگین‌های ۳۰ و ۴۰ روزه بیش‌ترین همبستگی را با آب معادل برف نشان دادند ولی در مناطق دیگر با اقلیم و پوشش برف سالانه متفاوت ممکن است این دوره‌های زمانی کم یا زیاد شوند که به احتمال زیاد هرچه مقدار بارش برف و پوشش برفی سالانه کم‌تر باشد این دوره‌های زمانی کم‌تر و هرچه بیش‌تر باشد به‌علت تأثیرپذیری بیش‌تر برف از این پارامترهای مؤثر، دوره‌های زمانی بلند مدت خواهد بود. در شکل ۲ همبستگی پارامترها با آب معادل برف ایستگاه‌ها آورده شده است.

محل ایستگاه‌های برف‌سنجی تخمین زده شد. بعد از تخمین این پارامترها در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی، همبستگی بین این پارامترها و داده‌های آب معادل برف محاسبه، و پارامترهایی که بیش‌ترین همبستگی را داشتند، انتخاب شدند. سپس در نرم‌افزار SPSS بین این پارامترها و ارتفاع ایستگاه‌ها، با آب معادل برف آن‌ها یک رگرسیون چندمتغیره به‌دست آمد که این رابطه با داده‌های مشاهداتی صحت‌سنجی شد.

### نتایج و بحث

با توجه به مبانی مطرح شده در قسمت مواد و روش‌ها، برای تخمین مقادیر پارامترهای بارش، دما و سرعت باد به‌صورت میانگین‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه در محل ایستگاه‌های برف‌سنجی، از ۱۲ مدل درون‌یابی استفاده شد. سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی، این مدل‌ها با هم مقایسه شدند. در جدول‌های ۳ و ۴ برای نمونه نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای میانگین‌های ۳۰ و ۴۰ روزه آورده شده است.

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی نشان می‌دهد که روش توابع پایه شعاعی با مدل چندربعی معکوس دقت خوبی در تخمین میانگین سرعت‌های باد ۱۰ الی ۵۰ روزه دارد، ولی در مورد میانگین دمای ۱۰ الی ۵۰ روزه روش توابع پایه شعاعی با مدل نواری کاملاً منظم از دقت خوبی برخوردار می‌باشد. برای میانگین بارش‌های ۱۰ الی ۵۰ روزه نیز روش کریجینگ مدل گوسین از دقت خوبی برای تخمین پارامترها



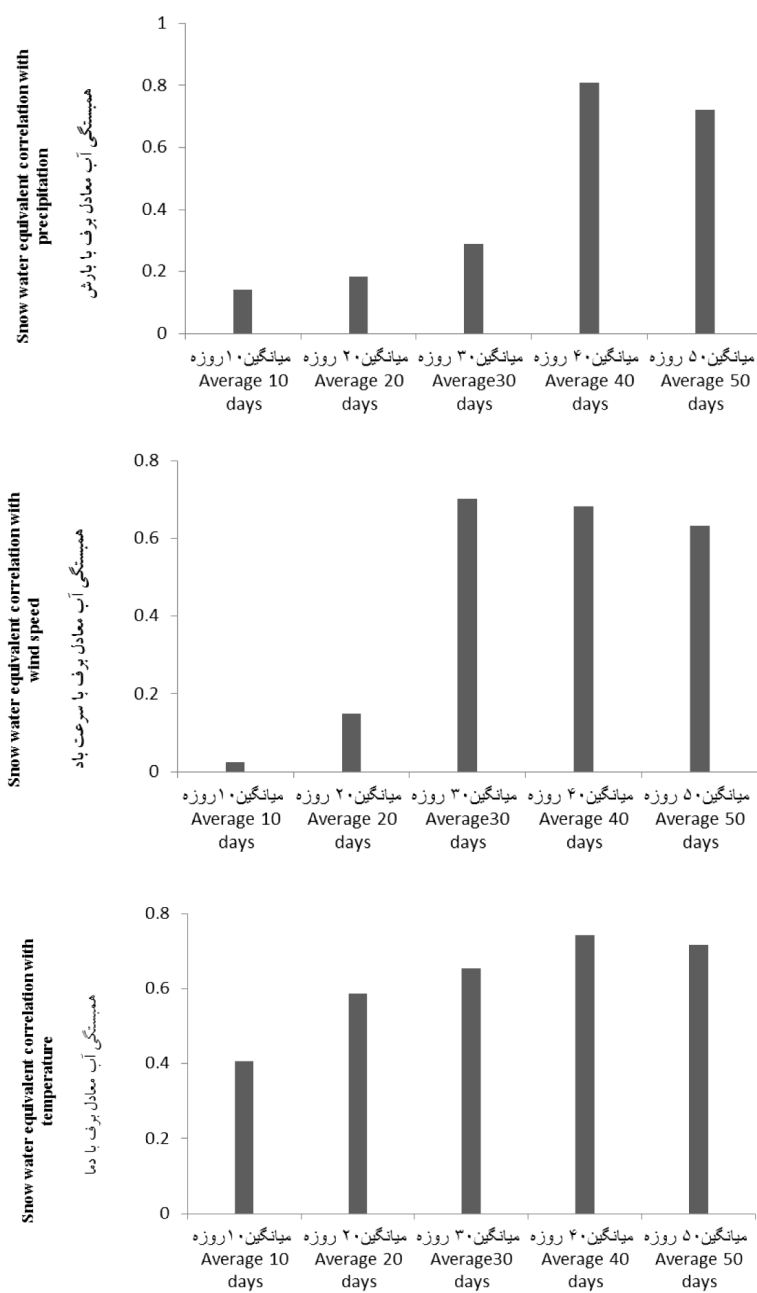
جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد میانگین‌های سرعت باد، دما و بارش ۳۰ روزه.  
 Table 3. The results of interpolation methods for estimating the average wind speed, temperature and precipitation for 30 days.

| میانگین بارش ۳۰ روزه          |      |      | میانگین دمای ۳۰ روزه        |      |      | میانگین باد ۳۰ روزه  |      |      | مدل   | روش  |
|-------------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|----------------------|------|------|---|--|
| Average precipitation 30 days |      |      | Average temperature 30 days |      |      | Average wind 30 days |      |      | Model   | Method                                     |
| MAE                           | GSD  | RMSE | MAE                         | GSD  | RMSE | MAE                  | GSD  | RMSE |   |  |
| 0.36                          | 0.37 | 0.54 | 1.13                        | 0.37 | 1.41 | 0.78                 | 0.37 | 1.06 | کروی<br>Spherical                                 | کریدجینگ<br>Kriging                        |
| 0.49                          | 0.46 | 0.68 | 1.24                        | 0.40 | 1.56 | 0.79                 | 0.36 | 1.02 | نمایی<br>Exponential                              |  |
| 0.30                          | 0.25 | 0.37 | 0.69                        | 0.19 | 0.76 | 0.82                 | 0.39 | 1.11 | گوسین<br>Gaussian                                 |  |
| 0.33                          | 0.27 | 0.40 | 0.59                        | 0.18 | 0.71 | 0.71                 | 0.35 | 1.00 | نوری کاملاً منظم<br>Completely Regularized Spline |  |
| 0.43                          | 0.39 | 0.57 | 0.54                        | 0.22 | 0.87 | 0.67                 | 0.31 | 0.90 | نوری با ضخامت کم<br>Thin Plate Spline             | توابع پایه شعاعی<br>Radial basis functions |
| 0.36                          | 0.30 | 0.44 | 0.64                        | 0.19 | 0.73 | 0.61                 | 0.30 | 0.86 | چنددرجی<br>Multiquadric                           |  |
| 0.33                          | 0.28 | 0.40 | 0.63                        | 0.19 | 0.74 | 0.47                 | 0.18 | 0.53 | چنددرجی معکوس<br>Inverse Multiquadric             |  |
| 0.54                          | 0.48 | 0.70 | 1.01                        | 0.31 | 1.20 | 1.28                 | 0.56 | 1.61 | درجه ۱<br>Power 1                                 | چندجمله‌ای موضعی<br>Local polynomial       |
| 0.42                          | 0.33 | 0.48 | 0.90                        | 0.28 | 1.10 | 1.33                 | 0.60 | 1.70 | درجه ۲<br>Power 2                                 |  |
| 0.69                          | 0.66 | 0.98 | 1.32                        | 0.46 | 1.79 | 1.02                 | 0.42 | 1.20 | توان ۱<br>Power 1                                 | فاصله معکوس<br>Inverse Distance            |
| 0.56                          | 0.56 | 0.82 | 1.23                        | 0.43 | 1.64 | 1.08                 | 0.44 | 1.26 | توان ۲<br>Power 2                                 |  |
| 0.52                          | 0.48 | 0.71 | 1.64                        | 0.51 | 1.95 | 1.13                 | 0.47 | 1.34 | توان ۳<br>Power 3                                 |  |

\* واحد MAE و RMSE برای سرعت باد متر بر ثانیه، برای دما درجه سلسیوس و برای بارش میلی‌متر است. GSD هم برعکس است.

جدول ۴- نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد میانگین سرعت باد، دما و بارش ۴۰ روزه.  
 Table 4. The results of interpolation methods for estimating the average wind speed, temperature and precipitation for 40 days.

| میانگین بارش ۴۰ روزه |      |      | میانگین دمای ۴۰ روزه |      |      | میانگین باد ۴۰ روزه |      |       | مدل                           | روش  |
|----------------------|------|------|----------------------|------|------|---------------------|------|-------|-------------------------------|--|
| MAE                  | GSD  | RMSE | MAE                  | GSD  | RMSE | MAE                 | GSD  | RMSE  | Model                         | Method                                     |
| 0.28                 | 0.37 | 0.46 | 0.97                 | 0.49 | 1.22 | 1.12                | 0.52 | 1.36  | کروی                          | کریدجینگ<br>Kriging                        |
| 0.38                 | 0.44 | 0.56 | 1.02                 | 0.55 | 1.35 | 1.07                | 0.50 | نمایی |                               |  |
| 0.29                 | 0.28 | 0.36 | 0.56                 | 0.29 | 0.71 | 1.09                | 0.53 | گوسین |                               |  |
| 0.28                 | 0.30 | 0.38 | 0.57                 | 0.28 | 0.69 | 1.06                | 0.49 | 1.29  | نمایی کاملاً منظم             | توانج پایه شعاعی<br>Radial basis functions |
| 0.38                 | 0.41 | 0.52 | 0.72                 | 0.35 | 0.86 | 1.19                | 0.58 | 1.53  | Completely Regularized Spline |  |
| 0.32                 | 0.33 | 0.42 | 0.59                 | 0.29 | 0.71 | 1.15                | 0.56 | 1.47  | نمایی با ضخامت کم             |  |
| 0.27                 | 0.31 | 0.39 | 0.60                 | 0.29 | 0.71 | 0.41                | 0.17 | 0.48  | Thin Plate Spline             |  |
|                      |      |      |                      |      |      |                     |      |       | چنددرجی                       |  |
| 0.46                 | 0.48 | 0.61 | 0.92                 | 0.45 | 1.12 | 1.26                | 0.60 | 1.57  | چنددرجی معکوس                 | چندجمله‌ای موضعی<br>Local polynomial       |
| 0.41                 | 0.36 | 0.46 | 0.85                 | 0.44 | 1.10 | 1.53                | 0.74 | 1.95  | Multiquadric                  |  |
| 0.55                 | 0.64 | 0.81 | 1.14                 | 0.64 | 1.58 | 0.99                | 0.45 | 1.18  | Inverse Multiquadric          |  |
| 0.41                 | 0.52 | 0.66 | 1.04                 | 0.58 | 1.44 | 1.05                | 0.48 | 1.26  | درجه ۱                        | فاصله معکوس<br>Inverse Distance            |
| 0.37                 | 0.45 | 0.57 | 1.00                 | 0.54 | 1.33 | 1.10                | 0.51 | 1.34  | درجه ۲                        |  |
|                      |      |      |                      |      |      |                     |      |       | درجه ۳                        |  |

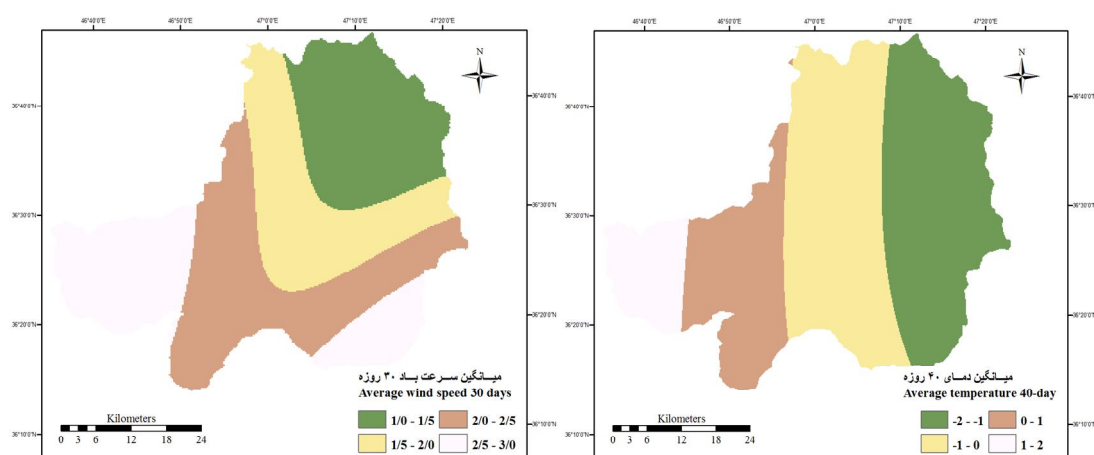


شکل ۲- همبستگی آب معادل برف با پارامترهای مورد بررسی.

Figure 2. Snow water equivalent correlation with parameters considered.

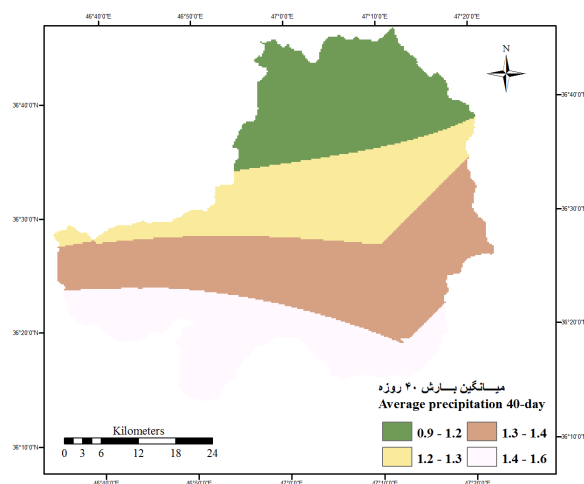
یکی از تاریخ‌های اندازه‌گیری (۸۷/۱۱/۳۰)، ایجاد شده‌اند، آورده شده است.

در شکل‌های ۳ و ۴ برای نمونه نقشه پهنه‌بندی پارامترهای مربوطه که با استفاده از روش‌های زمین‌آماري ذکر شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS در



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی میانگین دمای ۴۰ روزه با روش نواری کاملاً منظم و سرعت باد ۳۰ روزه با روش چنددرجی معکوس.

Figure 3. The Zoning of map average temperature 40-day with Completely Regularized Spline and wind speed 30 days with Inverse Multiquadric method.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی میانگین بارش ۴۰ روزه با روش کریجینگ با مدل گوسین.

Figure 4. The Zoning of map average precipitation 40-day with Kriging method, Gaussian model.

است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد همبستگی بین آب معادل برف و میانگین بارش و دمای ۴۰ روزه و میانگین سرعت باد ۳۰ روزه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. آب معادل برف و ارتفاع ایستگاه‌ها همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند.

چون پارامترهای میانگین‌های سرعت باد ۳۰ روزه، بارش و دمای ۴۰ روزه بیش‌ترین همبستگی را با آب معادل برف داشتند، همراه با ارتفاع ایستگاه‌ها برای به‌دست آوردن رابطه رگرسیونی جهت تخمین آب معادل برف ایستگاه‌ها استفاده شدند. در جدول ۵ میزان همبستگی بین پارامترهای ذکر شده و آب معادل برف ایستگاه‌ها و سطح معنی‌داری آن‌ها آورده شده

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین آب معادل برف و پارامترهای مورد بررسی.

**Table 5. The correlation coefficients between snow water equivalent and parameters.**

| سطح معنی داری (p) | ضریب همبستگی پیرسون (r)         | پارامتر  |
|-------------------|---------------------------------|--|
| Significant level | Pearson correlation coefficient | Parameter  |
| 0.001             | -0.703                          | میانگین سرعت باد ۳۰ روزه<br>Average wind speed 30 days |
| 0.000             | -0.743                          | میانگین دمای ۴۰ روزه<br>Average temperature 40 days    |
| 0.000             | 0.808                           | میانگین بارش ۴۰ روزه<br>Average precipitation 40 days  |
| 0.047             | 0.823                           | ارتفاع ایستگاه<br>Station altitude                     |

سانتی گراد)، P میانگین بارش ۴۰ روزه (میلی متر)، H ارتفاع ایستگاه‌های برف‌سنجی (متر) می‌باشد. هم‌چنان که از رابطه به دست آمده مشهود است آب معادل برف به دست آمده از این رابطه با میانگین سرعت باد و دما رابطه عکس دارد. یعنی هرچه مقادیر این پارامترها بیش‌تر باشد آب معادل برف تخمینی کم و هرچه مقادیر این پارامترها کم‌تر باشد آب معادل برف به دست آمده بیش‌تر خواهد بود.

دما رابطه مستقیم با ذوب برف دارد. یعنی هرچه دما بالاتر باشد میزان ذوب برف نیز بیش‌تر شده و عمق برف انباشته در ایستگاه‌ها نیز کاهش می‌یابد. از آن‌جا که عمق برف رابطه مستقیم با آب معادل برف دارد در اثر کاهش عمق برف، آب معادل برف نیز کاهش می‌یابد یعنی دما رابطه عکس با آب معادل برف داشته و با افزایش دما آب معادل برف کاهش می‌یابد.

افزایش سرعت باد باعث افزایش تبخیر از سطح برف شده و افزایش تبخیر باعث افزایش میزان ذوب برف و در نتیجه کاهش آب معادل برف می‌شود. ضمناً سرعت باد باعث جابجایی برف از مناطق بادگیر به مناطق بادپناه شده و باعث کاهش میزان برف‌انباشت و عمق برف در سطوح بادگیر (سطوحی که از سرعت باد زیادی نسبت به سطوح دیگر

مطالعات نشان داده که روش‌های مبتنی بر رگرسیون می‌تواند یک روش قابل اعتماد برای تخمین آب معادل برف در حوضه‌های بزرگ در فصل انباشت برف باشد (۸). برای محاسبه رابطه رگرسیونی به منظور تخمین آب معادل برف، از آمار مشاهداتی آب معادل برف ایستگاه‌ها از سال آبی ۸۵-۸۴ الی ۸۸-۸۷ (در مجموع شامل ۷۲ داده مشاهداتی) و چهار پارامتر میانگین‌های سرعت باد ۳۰ روزه (متغیر مستقل)، بارش ۴۰ روزه (متغیر مستقل)، دمای ۴۰ روزه (متغیر مستقل) در تاریخ‌های اندازه‌گیری برف و ارتفاع ایستگاه‌ها (متغیر مستقل) که همبستگی معنی‌داری با آب معادل برف (متغیر وابسته)، داشتند، استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS رگرسیون چندمتغیره که در رابطه ۸ آورده شده است به دست آمد.

(۸)

$$SWE = -8/215 - 2/1WS - 0/52T + 21/9P - 0/001H$$

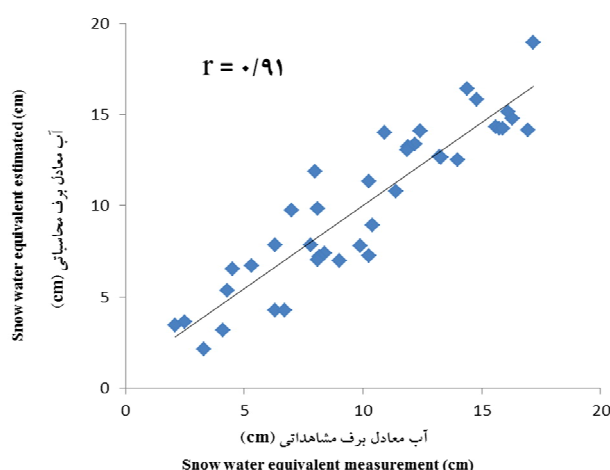
$$n=72 \text{ و } R^2=0/94$$

که در آن، SWE آب معادل برف روزانه در فصل زمستان (سانتی متر)، WS میانگین سرعت باد ۳۰ روزه (متر بر ثانیه)، T میانگین دمای ۴۰ روزه (درجه

سینوپتیک و کاربرد روش‌های مطلوب ذکر شده، پارامترهای میانگین سرعت باد ۳۰ روزه، میانگین دما و بارش ۴۰ روزه در محل ایستگاه‌های سینوپتیک در تاریخ‌های اندازه‌گیری آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی محاسبه شد. مقادیر این پارامترها در رابطه ۸ جایگذاری گردید و مقادیر تخمینی آب معادل برف تعیین شد. بعد از تخمین مقادیر آب معادل برف، این مقادیر با داده‌های اندازه‌گیری شده آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی در سال‌های ۸۹-۸۸ الی ۹۱-۹۰ به مدت سه سال که در مجموع شامل ۴۰ داده مشاهداتی بود، مقایسه و ارزیابی شد که نتایج آن در شکل ۵ و جدول ۶ آورده شده است.

برخوردار است) می‌شود (۲۷). در اثر کاهش عمق برف، آب معادل برف نیز که رابطه مستقیمی با عمق برف دارد کاهش می‌یابد برعکس طبق رابطه فوق آب معادل برف با میانگین بارش رابطه مستقیم داشته و هرچه بارش بیش‌تر باشد آب معادل به‌دست آمده نیز بیش‌تر خواهد بود. با توجه به این‌که در رابطه به‌دست آمده ضریب میانگین بارش بزرگ‌تر از ضریب سایر متغیرها است پس نتیجه می‌شود بارش بیش‌ترین تأثیر را بر آب معادل برف در این حوضه دارد، که با نتایج میزوکامی و همکاران همخوانی دارد (۲۰).

برای ارزیابی رابطه فوق، با استفاده از داده‌های سرعت باد، بارش و دمای روزانه ایستگاه‌های



شکل ۵- نمودار همبستگی بین آب معادل برف مشاهداتی ایستگاه‌ها با آب معادل برف محاسباتی.

Figure 5. Correlation between between snow water equivalent observation with snow water equivalent estimated.

جدول ۶- نتایج ارزیابی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی.

Table 6. Evaluation results observational and computational amounts of snow water equivalent in snow stations.

| MAE  | GSD  | NS   | RMSE |
|------|------|------|------|
| 1.56 | 0.17 | 0.83 | 1.74 |

این پژوهش نشان می‌دهد در کشورهایی مثل ایران که به‌علت نبود ایستگاه‌های برف‌سنجی خودکار، اندازه‌گیری پارامترهایی مثل آب معادل برف مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی است، با کاربرد چنین

نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های واقعی و محاسباتی آب معادل برف در ایستگاه‌ها برف‌سنجی نشان‌دهنده تخمین خوب آب معادل برف در ایستگاه‌ها با استفاده از رابطه رگرسیونی است. نتایج

روش‌هایی و برآورد روابط رگرسیونی بین آب معادل برف و پارامترهایی مثل سرعت باد، بارش، دما و ارتفاع، آب معادل برف را با دقت خوبی محاسبه و در مطالعات منابع آب از آنها استفاده کرد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با توجه به نبود اندازه‌گیری‌های هواشناسی در ایستگاه‌های برف‌سنجی از روش‌های درون‌یابی برای تخمین مقادیر پارامترهایی سرعت باد بارش و دما، در محل ایستگاه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین روش‌های درون‌یابی، توابع پایه شعاعی با مدل چندربعی معکوس برای میانگین سرعت باد ۱۰ الی ۵۰ روزه، مدل نواری کاملاً منظم برای تخمین میانگین دمای ۱۰ الی ۵۰ روزه و روش کریجینگ با مدل گوسین برای برآورد میانگین بارش ۱۰ الی ۵۰ روزه در ایستگاه‌های برف‌سنجی از دقت خوبی برخوردار هستند.

لو و همکاران برای تخمین سرعت باد در انگلستان و ولز از هفت روش درون‌یابی استفاده کردند. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌ها نشان داد که روش کریجینگ از دقت خوبی در تخمین سرعت باد برخوردار است. ولی با توجه به این که در این مطالعه از روش‌هایی مثل توابع پایه شعاعی (در مطالعه حاضر به‌عنوان روش مناسب انتخاب شده است) استفاده نشده است بنابراین نمی‌توان نتایج این دو مطالعه را با هم مقایسه کرد (۱۶).

دی‌پیزا و همکاران برای تخمین میانگین بارش ماهانه و سالانه در سیسیل ایتالیا، سه روش درون‌یابی (کریجینگ، عکس فاصله و توابع پایه شعاعی) را به‌کار بردند. نتایج نشان از دقت خوب روش کریجینگ داشت که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۴). همچنین نتایج این پژوهش در تخمین توزیع مکانی بارش با نتایج مطالعات ذبیحی و همکاران و ناوم و سانیس مطابقت دارد (۲۲، ۲۹).

مهدیان و همکاران در تخمین دمای ماهانه و سالانه در جنوب‌شرق ایران با استفاده از روش‌های درون‌یابی، روش تابع پایه شعاعی با مدل نواری ضخامت کم را بهترین روش برای برآورد این متغیرها در این منطقه دانستند (۱۷). پریس و همکاران نیز روش نواری با ضخامت کم را برای تخمین دمای ماهانه و سالانه در غرب و شرق کانادا، روش مناسب تشخیص دادند. این در حالی است که در دو مطالعه ذکر شده از روش نواری کاملاً منظم که در این مطالعه روش مناسبی بوده، استفاده نشده است (۲۳). یانگ و همکاران برای برآورد توزیع مکانی دما در جنوب انگلستان از چهار روش درون‌یابی استفاده کردند. ارزیابی روش‌ها نشان داد روش نواری کاملاً منظم از دقت خوبی برخوردار است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (۲۸).

با استفاده پارامترهایی که بیش‌ترین همبستگی را با آب معادل برف داشتند (میانگین سرعت باد ۳۰ روزه، میانگین دمای ۴۰ روزه و میانگین بارش ۴۰ روزه) به همراه ارتفاع ایستگاه‌ها، یک رابطه رگرسیونی برای تخمین آب معادل برف به‌دست آمد. در رابطه به‌دست آمده، ضرایب دما و سرعت باد منفی و ضریب بارش مثبت بود و بارش بیش‌ترین تأثیر را روی آب معادل برف به‌علت داشتن ضریب بزرگ‌تر نشان داد. میزوکامی و همکاران نیز برای تخمین آب معادل برف ماهانه در غرب ایالات متحده با استفاده از پارامترهای هواشناسی و جغرافیایی به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های واقعی و محاسباتی آب معادل برف نشان داد که رابطه رگرسیونی به‌دست آمده از دقت خوبی برای تخمین آب معادل برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی مورد مطالعه برخوردار است و می‌توان از این رابطه در مواقعی که در ایستگاه‌های مربوطه به هر دلیل اندازه‌گیری صورت نگرفته باشد، استفاده کرد (۲۰).

## منابع

1. Carlson, R.E., and Foley, T.A. 1991. The Parameter R2 in Multiquadric Interpolation. *Computers Math.* 21: 29-42.
2. Delbari, M., Khaiat Kholghi, M., and Mahdian, M.H. 2004. Evaluating geostatistics methods in estimating hydraulic conductivity in Shib-Ab and Posht-Ab, Sistan Plain, Iran. *Iran. J. Agric. Sci.* 35: 1-12. (In Persian)
3. Dowlatabadi, S., and Zomorodian, S.M.A. 2014. Hydrological Simulation of Firoozabad Basin By SWAT. *Iranian of Irrigation and Water Engineering.* 4: 38-48. (In Persian)
4. Di Piazza, A., Lo Conti, F., Noto, L.V., Viola, F., and La Loggia, G. 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 13: 396-408.
5. Elder, K.J., Dozier, J., and Michaelsen, J. 1991. Snow Accumulation and Distribution in an Alpine Watershed. *Water Resources Research.* 27: 1541-1552.
6. Egli, L., Jonas, T., and Meister, R. 2009. Comparison of different automatic methods for estimating snow water equivalent. *Cold Regions Science and Technology.* 57: 107-115.
7. Fathzade, A., and Zare Bidaki, R. 2012. Estimating distribution of snow water equivalent at times of snow accumulation using of degree - days model. *Iran. J. Soil Water Res.* 43: 171-177. (In Persian)
8. Fassnacht, S.R., Dressler, K.A., and Bales, R.C. 2003. Snow water equivalent interpolation for the Colorado River Basin from snow telemetry (SNOTEL) data. *Water Resources Research.* 39: 1208-1218.
9. Franke, R. 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. *Mathematics of Computations.* 33: 181-200.
10. Ghayoor, H.A., Kaviani, M.R., and Mohseni, B. 2004. Estimates of coverage and the amount of snowfall in the mountains north of Tehran, Case Study: River Basin Tajrish. *Geographical Research.* 19: 15-33. (In Persian)
11. Golmohammadi, G., Marofi, S., and Mohammadi, K. 2009. Regionalisation of runoff coefficient in Hamedan Province using Geostatistical Methods and GIS, *J. Sci. Agric. Technol. Natur. Resour.* 46: 1-15. (In Persian)
12. Hjam, S., and Sharei Pur, Z. 2003. Snowmelt in the basin Taleghan. *Geographical Research.* 35: 49-62. (In Persian)
13. Jain, S.K., Goswami, A., and Saraf, A.K. 2009. Role of elevation and aspect in snow distribution in western Himalaya. *Water Resour Management.* 23: 71-83.
14. Jonas, T., Marty, C., and Magnusson, J. 2009. Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *J. Hydrol.* 378: 161-167.
15. Kitanidis, P.K. 1993. Geostatistics, P 1-39. In: D.R. Maidment, (ED), *Handbook of Hydrology.* Part 20. McGraw-Hill Press, New York.
16. Luo, W., Taylor, M.C., and Parker, S.R. 2008. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *J. Climatol.* 28: 947-959.
17. Mahdian, M.H., Rahimi Bandarabady, S., Sokouti, R., and Norouzi Banis, Y. 2009. Appraisal of the Geostatistical Methods to Estimate Monthly and Annual Temperature. *J. Appl. Sci.* 9: 128-134.
18. Marofi, S., Toranjeyan, A., and Zare Abyaneh, H. 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain. *J. Water Soil Cons.* 16: 169-187. (In Persian)
19. Marofi, S., Tabari, H., Zare Abyaneh, H., and Sharifi, M.R. 2010. Investigating the influence of wind on spatial distribution of snow accumulation in one of Karoon sub-basins (case study-Samsami basin). *J. Water Irrig. Engin.* 1: 31-44. (In Persian)
20. Mizukami, N., Perica, S., and Hatch, D. 2011. Regional approach for mapping climatological snow water equivalent over the mountainous regions of the western United States. *J. Hydrol.* 400: 72-82.



21. Molotch, N.P., Colee, M.T., Bales, R.C., and Dozier, J. 2005. Estimating the spatial distribution of snow water equivalent in an alpine basin using binary regression tree models: the impact of digital elevation data independent variable selection. *Hydrological Processes*. 19: 1459-1479.
22. Naoum, S., and Tsanis, I.K. 2004. Ranking Spatial Interpolation Techniques Using a Gis-based DSS». *J. Global Nest*. 6: 1-20.
23. Price, D.T., Mckenny, D.W., Nelder, I.A., Hutchinsen, M.F., and Kesteven, J.L. 2000. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 101: 81-94.
24. Rahimi, D., and Danapvr, M. 2012. Analysis of Effectiveness of Climatic Variation on Snow Depth Case Study: Koohrang). *Geographic Space*. 12: 61-75. (In Persian)
25. Tabari, H., Marofi, S., Zare Abyane, H., and Sharifi, M.R. 2010. Comparison of artificial neural network and combined models in estimating spatial distribution of snow depth and snow water equivalent in Samsami basin of Iran. *Neural Computing and Applications*. 19: 625-635.
26. Wang, J.R., and Tedesco, M. 2007. Identification of atmospheric influences on the estimation of snow water equivalent from AMSR-E measurements. *Remote Sensing of Environment*. 111: 398-408.
27. Winstral, A., Elder, K., and Davis, R.E. 2002. Spatial snow modeling of wind-redistributed snow using terrain based parameters. *J. Hydrometeorol*. 3: 524-528.
28. Yang, J.S., Wang, Y.Q., and August, P.V. 2004. Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity. *J. Environ. Inf*. 4: 40-47.
29. Zabihi, A., Solaimani, K., Shabani, M., and Abravsh, S. 2012. An Investigation of Annual Rainfall Spatial Distribution Using Geostatistical Methods (A Case Study: Qom Province). *Physical Geography Research Quarterly*. 43: 102-112. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Snow water equivalent estimation using meteorological data and land elevation (A case study: Sarug-chai basin)**

**H. Ansari<sup>1</sup> and \*S. Marofi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Water Resource Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Water Resource Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan

Received: 01/19/2015; Accepted: 07/22/2015

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Snow water equivalent (SWE) is a key parameter in hydrological cycle. In Iran, measurement of snow depth and its water equivalent is usually limited due to lack of automated snow measuring instruments. According to research conducted in the field of snow water equivalent, wind speed, temperature, precipitation and elevation are the factors affecting the amount of snow water equivalent. Because values for wind speed, temperature and precipitation can affect the long-term snow water equivalent, therefore the aim of this study was using meteorological and geographical parameters to estimate snow water equivalent of snow stations in the study area.

**Materials and Methods:** In the current study, based on meteorological data and interpolation method snow water equivalent was estimated. In this regard, first, average amounts of precipitation, air temperature and wind speed were computed during periods of 10, 20, 30, 40 and 50 days. Then, binary correlations between snow water equivalent and the parameters were estimated. Parameters that had the highest correlation were selected. Then in SPSS software between these parameters and the elevation of the stations, the snow water equivalent to a multiple regression was obtained. The regression equation were validated with snow water equivalent data measurement in snow stations

**Results:** Based on these results, the average precipitation, 40-days temperature and wind speed of 30-days, showed the highest correlation with snow water equivalent, respectively. The best snow water equivalent equation was obtained using the relevant parameters. Estimated data was also compared with the observed data, based on the Nash- Sutcliffe criteria (NS=0.83) and regression coefficient ( $r=0.91$ ). The results showed an acceptable accuracy of the equation on snow water equivalent estimation.

**Conclusion:** In this study, due to the lack of meteorological measuring in snow stations, the interpolation methods for estimating the amount of precipitation, wind speed and temperature parameters the location station was used. The results indicated that among the interpolation methods, radial basis functions with model of Inverse Multiquadric for average wind speed of 10 to 50 days, Completely Regularized Spline model to estimate the average temperature of 10 to 50 days and kriging method with Gaussian model for estimating the average precipitation 10 to 50 days, had the high accuracy in the snow stations. Using the parameters that were most correlated with snow water equivalent, a regression equation to estimate snow water equivalent was obtained. Evaluation showed regression equation can be used to estimate snow water equivalent in the respective stations.

**Keywords:** Snow water equivalent, Snow measuring instruments, Sarug-chai basin, Geostatistics

---

\* Corresponding Author; Email: smarofi@yahoo.com