دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تهیهٔ نقشه رقومی آب معادل برف با استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری و روش شبکهٔ عصبی مصنوعی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز سخوید)

سمیه ابدام[۱]، علی فتح‌زاده[۲]، روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی[۳] و جواد محجوبی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد
۲- دانشیار، دانشگاه اردکان، (نویسنده مسوول: fatzade@ardakan.ac.ir)
۳- استادیار، دانشگاه اردکان
۴- کارشناس ارشد شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان یزد
تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۸

چکیده

اگرچه بخش کوچکی از سطح کرهٔ زمین را مناطق کوهستانی در بر می‌گیرد، اما همین مقدار اندک در چشم‌انداز هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز تأثیر شگرفی دارد. با توجه به این که در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، بحران آب مقوله‌ای جدی است، پایش مقادیر برف باریده شده در بخش‌های کوهستانی این مناطق بسیار حائز اهمیت است. معمولاً دست‌یابی به توزیع مکانی آب معادل برف از راه اطلاعات مشاهده‌ای و در مقیاسی محدود، صورت می‌گیرد، این در حالی است که به دلیل محدودیت‌های میدانی و صعب العبور بودن مناطق کوهستانی، جمع‌آوری اطلاعات به ویژه در حوزه‌های بزرگ، دشوار و گاهی غیرممکن است. بدین ترتیب، توسعهٔ روش‌هایی که بتواند آب معادل برف را در نقاط فاقد اندازه‌گیری برآورد نماید و نیز بررسی دامنهٔ کاربرد آن‌ها، امری ضروری است. در این پژوهش محدوده‌ای به مساحت ۱۶ هکتار در منطقهٔ سخوید یزد انتخاب و با استفاده از نمونه‌بردار مدل مونت- رز در ۲۱۶ نقطه، دادهٔ آب معادل برف اندازه‌گیری شد. سپس به کمک ۳۱ پارامتر ژئومورفومتری حوزه، به ارزیابی کارآیی روش شبکهٔ عصبی مصنوعی در برآورد توزیع مکانی آب معادل برف پرداخته شد و بدین ترتیب، نقشهٔرقومی آب معادل برف تهیه گردید. نتایج حاصله نشان داد که شبکهٔ عصبی مصنوعی با ضریب تعیین ۰/۸۳ و مجذور میانگین مربعات خطا برابر با ۳/۵۵ قادر به پیش‌بینی آب معادل برف است. همچنین نتایج آنالیز حساسیت شبکهٔ عصبی مصنوعی نشان داد که از بین پارامترهای به کار رفته در پیش‌بینی آب معادل برف، پارامترهای مقطع طولی انحناء، مقطع عرضی انحناء، انحناء، اثرباد، شیب، شاخص هموارى قله، شیب حوزه و شاخص هموارى دره، جزء مؤثرترین عوامل در پیش‌بینی آب معادل برف هستند.

واژه‌های کلیدی: آب معادل برف، شبکهٔ عصبی مصنوعی، آنالیز حساسیت، پارامترهای ژئومرفومتری، حوزهٔ آبخیز سخوید

مقدمه

برف، یکی از انواع مختلف بارش است که از چگالش توده‌های هوایی مرطوب در طی صعود و در شرایطی که درجهٔ حرارت هوا، کم‌تر از نقطهٔ انجماد باشد ایجاد می‌گردد (۱۳). به طور متوسط ۶۰ درصد نیمکرهٔ شمالی در اواسط زمستان پوشیده از برف است؛ بیش از ۳۰ درصد سطح زمین، بارش فصلی برف دارد و حدود ده درصد از سطح زمین، به طور دائم از برف و یخ پوشیده شده است (۵). اگرچه بخش کوچکی از سطح کرهٔ زمین را مناطق کوهستانی در بر می‌گیرد، اما همین مقدار اندک در چشم‌انداز هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز تأثیر شگرفی دارند. در کشور ایران، هیدرولوژی برف مقوله‌ای است که کم‌تر به آن پرداخته شده است. این در حالی است که اکثر رودخانه‌های ایران که جریان دائم دارند، حوزهٔ آبخیزشان برفگیر است. هم‌چنین چشمه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین نیز اکثراً در حوزه‌های برف‌گیر قرار دارند. این رقم در برخی مناطق غرب کشور تا حدود ۹۰ درصد افزایش می‌یابد (۲۶). با توجه به این که مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با کمبود آب مواجه است، در نتیجه توجه میزان برف باریده شده در این مناطق بسیار حائز اهمیت است. این مسئله نه تنها در ایران که در بخش‌های مختلف دنیا نیز مورد توجه محققین بوده است؛ برای مثال، در شرق ایالات متحده اعلام شده است که نحوهٔ توزیع برف نقش مهمی در محیط‌های طبیعی و شهری دارد. هر گونه تغییر در اقلیم و در نتیجه در مقدار توزیع برف، ممکن است در طولانی‌مدت عواقب زیست‌محیطی و اقتصادی دربرداشته باشد (۲۴). ذخایر برفی حوزه‌های کوهستانی، از منابع مهم کشور ایران است که شناخت دقیق کمیت این منابع به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و نیز 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 مهمی دارد. مسألهٔ تأمین آب شرب در سال‌هایی که خشکسالی بر

منطقه حکمفرما باشد یا شرایط آب و هوایی منطقه، خشک و نیمه‌خشک باشد، اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند (۲۰). تحقیقات نشان می‌دهد که آب شرب مورد نیاز بیش از یک میلیارد نفر از ساکنان دنیا، از رواناب ناشی از ذوب برف‌ها تأمین می‌شود و انتظار می‌رود تغییرات آیندهٔ اقلیم سبب تغییرات عمده در سهم برف از بارش و نیز زمان ذوب برف‌ها گردد که این خود، دلیل مهمی بر اعمال مدیریت مصرف و بهره‌برداری بهینه از منابع آب در این مناطق است (۱۷). هم‌چنین، پوشش برف، اثرات قابل توجهی در آب و هوا، مانند انرژی تابشی منطقه‌ای و گردش جوی و حرارتی دارد (۲۴).

با توجه به الگوی پراکنش مکانی عمق برف در مناطق مختلف یک حوزه، پهنه‌بندی عمق برف امری ضروری است (۷). با توجه به این که جمع‌آوری داده‌های دقیق در این مورد، نیازمند صرف وقت و هزینهٔ زیادی است و نیز با توجه به سطح وسیع مناطق کوهستانی و برف‌گیر کشور ایران و نیز تنگناها و مشکلات مالی و زمانی، ثبت و اندازه‌گیری داده‌های مشاهداتی از سطح این مناطق با روش‌های موجود دشوار است (۱۶). بنابراین، با توجه به پیچیدگی فرآیند برآورد آب معادل برف و مشکلات موجود در اندازه‌گیری پارامترهای برف در مناطق کوهستانی و هم‌چنین، ناکافی بودن ایستگاه‌های برف‌سنجی در مناطق مرتفع، استفاده از روش‌های غیرمستقیم همانند روش‌های آماری برای تهیهٔ نقشهٔ توزیع مکانی آب معادل برف امری گریزناپذیر است.

امروزه تهیهٔ نقشهٔ توزیع مکانی آب معادل برف و بررسی خصوصیات برف، اغلب به وسیلهٔ روش‌های آماری معمول و با فرض تصادفی نبودن تغییرات ویژگی‌های برف در نقاط مختلف صورت گرفته که این امر، باعث نادیده گرفتن تغییرپذیری ذاتی برف می‌شود. چنین روش‌هایی، پلی‌گون‌هایی از برف را ایجاد می‌کنند که در حال حاضر منبع اطلاعات از توزیع مکانی برف است. اما استفاده از این نقشه‌ها، مشکلاتی دارد که بیش‌تر این مشکلات به دلیل منطقهٔ ناپیوسته‌ای است که در نقشه‌برداری برف استفاده می‌شود، در صورتی که تغییرات خصوصیات برف در یک منطقه پیوسته است و شکستن چنین محیط پیوسته‌ای به گروه‌های مکانی و طبقه‌ای مجزا، باعث از دست رفتن مقدار قابل ملاحظه‌ای از اطلاعات می‌شود. از طرف دیگر، روش‌های معمول شناسایی برف، نیازمند نمونه‌برداری متراکم است که این گونه عملیات، نیازمند صرف وقت و هزینه‌های فراوان است.

با توجه به مشکلات موجود در تهیه نقشه‌های برف و نیز نمونه‌برداری برف و نیاز مبرهن به ارائهٔ اطلاعات قابل اعتمادتر و به هنگام در مورد برف با هزینهٔ منطقی و ارتقاء تفسیر نتایج به نحوی که افراد غیرمتخصص نیز بتوانند از این اطلاعات استفاده کنند، نیاز به استفاده از روش‌های نوین در تهیهٔ نقشه برف وجود دارد. امروزه مشخص شده که دقت نقشه‌های رقومی برف برای برآورد توزیع مکانی داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ برف به علت در نظر گرفتن پیوستگی مکانی داده‌ها نسبت به روش‌های معمول آماری بیش‌تر می‌باشد (۲۴). نقشه‌برداری رقومی برف به دلیل افزایش منابع داده‌های کمکی یا محیطی فراوان، به صورت عملی می‌تواند به انتقادات وارده به برف‌سنجی مرسوم فایق آید. تا به حال، روش‌های متعددی برای پیش‌بینی مکانی برف ارائه شده است؛ برای مثال، شریفی و همکاران (۱۹) به ارزیابی برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوزهٔ آبخیز صمصامی پرداختند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد که با استفاده از روش معادلهٔ هم‌بستگی خطی، ۶۷ درصد تغییرات عمق برف تحت تأثیر عوامل ارتفاع، برای، شیب شمالی- جنوبی و نمایهٔ بادپناهی قرار می‌باشند و نیز می‌توان با روش کریجینگ معمولی و با استفاده از اطلاعات بالا، ۶۴ درصد تغییرات عمق برف را برآورد کرد. وفاخواه و همکاران (۲۵)، به ارزیابی کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزهٔ آبخیز اورازان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین مدل واریوگرام، نوع کروی آن در رابطه با عمق و چگالی برف است. به گونه‌ای که واریوگرام عمق برف دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۰۱۰، سقف ۰/۰۵ و دامنهٔ تأثیر ۱۸۶ متر بوده و واریوگرام چگالی دارای اثر قطعه‌ای ۰/۰۱۰۳، سقف ۰/۰۴۸۵ و دامنهٔ تأثیر ۷۳۶۸ متر است. واریانس تصادفی نمونه‌ها درباره 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، با استفاده از روش کریجینگ معمولی انجام گرفت و نتایج نشان داد که روش زمین‌آمار با تحلیل واریوگرام به روش کریجینگ برای عمق و چگالی برف مناسب است. باقری فهرجی (۴)، به برآورد توزیع مکانی عمق برف و آب معادل برف در حوزه‌های آبخیز کوهستانی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در حوزهٔ آبخیز بیداخوید یزد پرداخت. عملیات نمونه‌برداری از عمق برف و آب معادل برف به صورت سیستماتیک- تصادفی در ۲۵۲ نقطه از ارتفاعات شیرکوه یزد در حوضهٔ بیداخوید انجام گرفت. سپس روش‌های درون‌یابی تابع معکوس فاصلهٔ وزن‌دار، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی

عمق برف، روش کریجینگ معمولی بر روش‌های کوکریجینگ و تابع معکوس فاصلهٔ وزن‌دار برتری دارد. مولتچ و همکاران (۱۵)، از روش کریجینگ معمولی برای برآورد عمق برف در حوزه‌ای به مساحت ۱۹/۱ کیلومترمربع واقع در کالیفرنیا استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان برای ماه آوریل با میانگین عمق برف ۲۵۵ سانتی‌متر نشان داد که روش مزبور، ۳۷ درصد از تغییرات موجود در مشاهدات را برآورد کرده است. اریکسون و همکاران (۹)، به منظور نشان دادن تأثیر عوامل توپوگرافی بر روی عمق برف از روش معادلهٔ هم‌بستگی خطی استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد وقتی افزون بر استفاده از ترکیب خطی عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، زاویهٔ شیب، تابش و نمایهٔ بادپناهی از اثرات آن‌ها به صورت ترکیب‌های غیرخطی نیز استفاده شود، توانمندی بیش‌تری در شبیه‌سازی روند موجود در مشاهده‌ها، ایجاد می‌شود. تابسوبا و همکاران (۲۲)، از تکنیک کریجینگ معمولی با روند خارجی[1] به منظور برآورد توزیع مکانی آب معادل برف استفاده نمودند و نتایج به دست آمده از تحقیق‌شان را با توزیع مکانی برف در حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ گاتینیو[2] واقع در منطقهٔ کبک کانادا (برآورد شده از طریق تکنیک کریجینگ معمولی) مقایسه نمودند. ایشان نتیجه گرفتند که تکنیک کریجینگ معمولی با روند خارجی، نسبت به کریجینگ معمولی روش مناسب‌تری برای برآورد توزیع مکانی آب معادل برف است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی، یکی از روش‌های نوین برای برآورد آب معادل برف است. شبکهٔ عصبی مصنوعی براساس ارتباطات داخلی بسیار گسترده همانند سیستم عصبی مغز انسان بنا نهاده شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی، جزء سیستم‌های دینامیکی هستند که با پردازش داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای اطلاعات را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند و ابزار مؤثری برای مدل کردن سیستم‌های غیرخطی و پیچیده هستند (۱۴). مزیت شبکه‌های عصبی نسبت به سیستم‌های هوشمند دیگر، قدرت یادگیری آن‌ها در مقیاس خیلی کوچک از محیط پیرامونشان و توانایی تعمیم این یادگیری است. به طور کلی در این روش تلاش می‌شود براساس روابط ذاتی میان داده‌ها، مدلی خطی یا غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد. در دهه‌های اخیر، شبکهٔعصبی مصنوعی در بسیاری از مطالعات برای برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی به کار رفته‌اند (۶،۲). ولی مطالعات اندکی در زمینهٔ برآورد پارامترهای برف انجام شده است (۱). این درحالی است که در بین این مطالعات اندک، هیچ مطالعه‌ای در مورد برآورد پارامترهای برف با استفاده از کلیه اجزاء سرزمین صورت نگرفته است. رابر و همکاران (۱۸) برای پیش‌بینی بارش برف از شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که شبکهٔ عصبی مصنوعی، دقت پیش‌بینی بارش برف را بهبود می‌بخشد. تدسکو و همکاران (۲۳)، از شبکهٔ عصبی مصنوعی برای برآورد آب معادل برف و عمق برف از طریق داده‌های SSMI[3] استفاده نمودند و نتایج آن را با الگوریتم SDP[4]، الگوریتم مبتنی بر HUT[5] و الگوریتم چانگ[6] مقایسه نمودند و دریافتند که نتایج به دست آمده از شبکهٔ عصبی مصنوعی بهتر از نتایج الگوریتم‌های فوق‌الذکر می‌باشد. زارع ابیانه (۲۷)، به برآورد توزیع مکانی ارتفاع آب معادل برف و چگالی برف در استان آذربایجان غربی ایران با استفاده از روش شبکهٔ عصبی مصنوعی پرداخت. نتایج تحقیق وی نشان داد که انتخاب توپولوژی شبکه و یا معماری ۲-۶-۳ نسبت به دو توپولوژی شبکه و یا معماری ۲-۲-۶-۶-۳ و ۲-۶-۶-۶-۳ جواب‌های مناسب‌تری داشت، به طوری که در معماری ۲-۶-۳ پس از ۲۷۰ تکرار محاسباتی شبکهٔ طراحی شده به همگرایی رسید. با توجه به نتایج حاصل از آرایش ۲-۶-۳ با تابع محرک لونبرگ مارکوات، شبکه موفق شد تا ۹۲ درصد از تغییرات چگالی و آب معادل برف را براساس سه متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در سطح حوزه‌های آبخیز آذربایجان غربی برآورد نماید.

در حال حاضر، شناسایی و نقشه‌برداری برف با روش‌های آماری در کشورهای توسعه یافته تقریباً به اتمام رسیده و اطلاعات پایه به صورت رقومی، برای پردازش آن‌ها با فنون نوین قابل دسترس‌تر است. ولی توقف و رکود فعالیت‌های برف‌سنجی در کشورهای در حال توسعه مانند ایران که بیش‌تر به مسائل اقتصادی مربوط می‌شود، باعث شده است تا اطلاعات خام و دقیق، برای پردازش اطلاعات فراهم نباشد. بنابراین لزوم تهیهٔ نقشه‌های توزیع مکانی برف با مقیاس بزرگ در مناطقی که اهمیت و اولویت بیش‌تری دارند، با استفاده از اطلاعات و روش‌های موجود و به کارگیری روش‌های نوین احساس می‌شود. بنابراین پژوهش حاضر با این رویکرد طرح‌ریزی شده است که اقدام به تهیهٔ نقشهٔ رقومی آب معادل برف در منطقهٔ خشک ایران مرکزی نماید.

مواد و روش‌ها

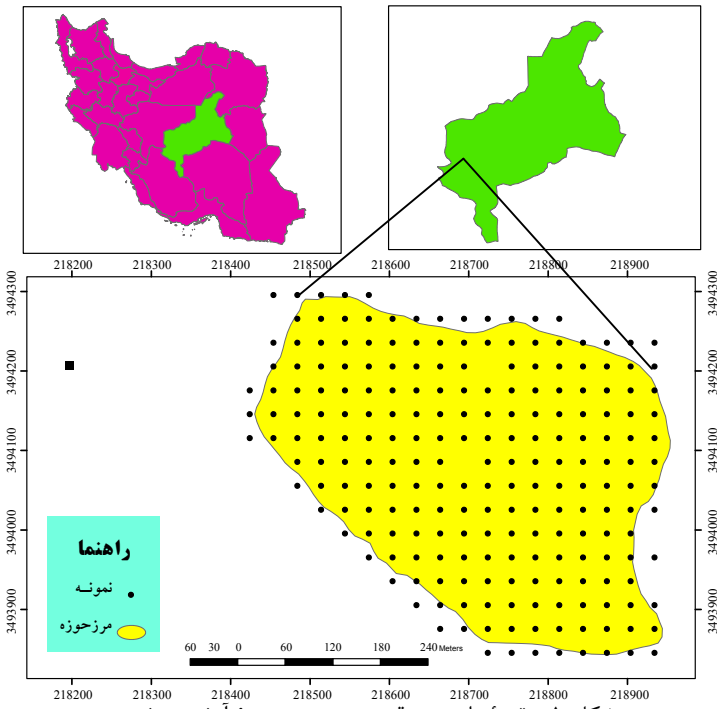
منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز سخوید با مرکز ثقل ۵۴ درجه و ۲ دقیقه و ۱۴ ثانیهٔ طول جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه و ۵۱ ثانیهٔ عرض جغرافیایی در شرق شهرستان تفت در استان

یزد واقع گردیده است. این حوزۀ آبخیز از نظر تقسیم‌بندی کل حوزه‌های آبخیز کشور زیرحوزه‌ای از حوزۀ آبخیز سانیج استان یزد محسوب می‌گردد. مساحت حوزۀ آبخیز سخوید برابر با ۱۶ هکتار (۱۶۰۰ کیلومتر مربع) است. این حوزه در منطقۀ خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. در بسیاری از مناطق به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران، برف انباشته شده در برف‌چال‌ها ذخیرۀ قابل توجهی از منابع آب حوزه‌ها را ایجاد می‌کند، همچنین در بسیاری از موارد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب قابل دسترس برای مصارف کشاورزی از مناطق کوهستانی که دارای بارش بیش‌تری هستند، تأمین می‌گردد. بنابراین آگاهی از ذخیرۀ یاد شده، از اساسی‌ترین نیازهای مدیران منابع آب می‌باشد. بخش عمدۀ این حوزه کوهستانی بوده و بیشینه، کمینه و میانگین ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۹۹۰، ۲۸۴۰ و ۲۹۰۰ متر است. اقلیم منطقۀ مورد مطالعه براساس طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک سرد است. میانگین بارندگی سالانۀ منطقۀ مورد مطالعه در طول دورۀ آماری ۱۳۹۰- ۱۳۷۴ برابر با ۲۲۲/۸ میلی‌متر است. هم‌چنین متوسط دمای سالانه ۱۴ درجۀ سلسیوس می‌باشد. بیش‌ترین بارش‌های منطقه در ماه‌های فوریه و مارس و نیز در اوایل بهار اتفاق می‌افتد و پس از آن، بارش‌های شایان توجهی در پاییز رخ می‌دهد. یک فصل نسبتاً طولانی و خشک تابستان هم از ویژگی‌های اقلیمی این منطقه است. شکل ۱، نقشۀ پایه و موقعیت عمومی محدودۀ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش مطالعه و نمونه‌گیری

برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های پارامترهای لازم، نسبت به انجام عملیات میدانی در طی سه روز در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۰ اقدام گردید. داده‌های آب معادل برف به صورت سیستماتیک و در ۲۱۶ نقطه از محدوده داخل و مجاور حوزۀ آبخیز سخوید برداشت شد (شکل ۱). به منظور انجام فرآیند نمونه‌برداری با دقت بالا، از نمونه بردار مدل مونت-رز (فدرال) ساخت شرکت ریکلی آمریکا استفاده گردید. در این نمونه‌بردار وزن لوله خالی نمونه‌بردار ثابت بوده و نیروسنج مربوطه به گونه‌ای طراحی شده است که با قرائت عدد نیروسنج لوله محتوی برف، مستقیماً آب معادل برف (برحسب سانتی‌متر) به دست می‌آید (شکل ۲).



شکل ۱- نقشۀ پایه و موقعیت عمومی حوزۀ آبخیز سخوید.

شکل ۲- انجام نمونه‌برداری با استفاده از نمونه‌بردار مدل مونت رز.

نمونه‌ها در شبکه‌ای به فواصلسه۰ متری اندازه‌گیری شد و در هر نقطه، پارامترهای آب معادل برف و مختصات نقاط، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. از این پارامترهای اندازه‌گیری شده، پارامتر آب معادل برف به صورت خروجی شبکهٔ عصبی مصنوعی انتخاب شد. سپس آزمون نرمال بودن داده‌های آب معادل برف با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و با آزمون کلموگروف- اسمیرنوف[1] انجام شد. معیار نرمال بودن، مقدار احتمال بیش‌تر از ۰/۰۵ است، 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 یافتهٔ[2] داده‌ها نرمال می‌شوند. سپس به بررسی روش شبکهٔ عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی آب معادل برف پرداخته شد.

انتخاب پارامترهای مناسب برای ورودی شبکهٔ عصبی مصنوعی بسیار مهم است. با انتخاب پارامترهای ورودی مناسب، شبکهٔ عصبی مصنوعی قادر خواهد بود که خروجی مطلوب‌تری ارائه دهد (۱۲). انتخاب هر یک از عوامل مؤثر بر توزیع مکانی آب معادل برف، به میزان قابل دسترس بودن آن و به معنی‌دار بودن اثر آن برای توزیع برف انباشت و موقعیت مکانی و زمانی بستگی دارد. عوامل مؤثر توپوگرافی و اقلیمی در مکان‌های مختلف، با یکدیگر متفاوت است. برای به دست آوردن پارامترهای مؤثر در آب معادل برف که بتوان از آن‌ها برای ورودی‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده کرد، از پارامترهای زمین‌نما استفاده گردید. در تحقیق حاضر از مدل رقومی سازمان نقشه‌برداری کشور با بزرگنمایی ده و ۲۰ متر استفاده گردید. سپس روی هر یک از مدل‌های رقومی ده و ۲۰ متر، یک فیلتر گذاشته شد و در نهایت بعد از آماده کردن چهار مدل رقومی ارتفاعی، از آن‌ها برای استخراج کردن اطلاعات کمکی برای ورودی شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده گردید.

ساگا یک نرم‌افزار ترکیبی جی آی اس محور و سیستمی برای آنالیز اتوماتیک داده‌های علوم زمین است. این نرم‌افزار یک نرم‌افزار رایگان و کد باز در زمینه جی آی اس است که برای ویرایش داده‌های فضایی کاربرد دارد. نرم‌افزار ساگا در ابتدا از طرف تیم کوچکی از بخش جغرافیای طبیعی دانشگاه Göttingen آلمان گسترش یافت. پارامترهای زمین‌نمای ذکر شده در جدول ۱ در محیط سامانهٔ جغرافیایی ساگا (SAGA) محاسبه و به صورت ورودی‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی انتخاب گردید.

روش استخراج تمام پارامترهای مزبور در روش ارائه شده توسط هنگل و همکاران (۱۰) تشریح گردیده است. پس از استخراج پارامترهای زمین‌نما از چهار مدل رقومی ارتفاعی، شبکهٔ عصبی مصنوعی برای هر چهار مدل رقومی ارتفاعی اجرا شد.

در ادامهٔ این تحقیق با روش آزمون و خطا، اقدام به تعیین تعداد لایه‌های پنهان شبکهٔ عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با تابع فعال‌سازی سیگموئید برای پارامتر آب معادل برف گردید. هم‌چنین تعداد نرون‌های لایهٔ پنهان نیز به صورت سعی و خطا تعیین گردید که تعداد این نرون‌ها از ۲ تا ۲۰ متغیر بوده و بهترین تعداد نرون با داشتن کم‌ترین خطا با روش سعی و خطا مشخص شد. هم‌چنین در این تحقیق به علت کارایی، سادگی و سرعت بالا، از الگوریتم آموزشی لونبرگ مارکورات استفاده گردید (۳). در تحقیق حاضر از نرم‌افزار نروسلوشن (Neurosolutions-5) برای ساختن شبکهٔ عصبی مصنوعی و در نهایت شبیه‌سازی آب معادل برف استفاده گردید.

1- Kolmogrov-smirnov Test

2- Transform

جدول ۱- پارامترهای زمین‌نما برای ورودی‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی

Input	Row	Input	Row
Modified Catchment Area	۱۷	Cell Balance	۱
MRRTF	۱۸	Catchment Slope	۲
MRVBF	۱۹	Channel Network Base Level	۳
Normalized Height	۲۰	Catchment Area	۴
Plan Curvature	۲۱	Flow Accumulation	۵
Profile Curvature	۲۲	Flow Connectivity	۶
Slope	۲۳	Flow Direction	۷
Slope Height	۲۴	Aspect	۸
Standardized Height	۲۵	Analytical Hillshading	۹
Strahler Order	۲۶	Curvature Classification	۱۰
Stream Power	۲۷	Altitude Above Channel Network	۱۱
Valley Depth	۲۸	Curvature	۱۲
Wetnwss Index	۲۹	Slope Lenght	۱۳
Wind Effect	۳۰	Convergence Index	۱۴
High	۳۱	LS Factor	۱۵
		Mid Slope Positon	۱۶

برای ارزیابی کارایی مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی با توابع انتقال[1] و الگوریتم یادگیری مختلف و نیز برای تعیین تعداد تکرارهای[2] مطلوب، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد عناصر پردازش لایه یا لایه‌های پنهان از آماره‌های ضریب هم‌بستگی[3] و مجذور میانگین مربعات خطا[4] (MAE) استفاده شده که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$r = \frac{\sum (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \overline{X})^2 (Y_i - \overline{Y})^2}}$$ رابطه (۱)

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z_o - Z_p)^2}$$ رابطه (۲)

در این روابط، X_i و Y_i به ترتیب iامین دادهٔ واقعی و برآورده شده، $\overline{X}$ و $\overline{Y}$ به ترتیب میانگین کل داده‌های X_i و Y_i، Z_o مقادیر پیش‌بینی شده، Z_p: مقادیر مشاهداتی و n: تعداد کل نمونه‌های ارزیابی شده هستند.

آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت برای تعیین میزان حساسیت یک پارامتر خروجی به تغییرات در پارامترهای ورودی به کار می‌رود. سپس برای تعیین حساسیت آب معادل برف به متغیرهای ورودی از آنالیز حساسیت استفاده گردید. آنالیز حساسیت در محیط نرم‌افزار NeuroSolutions انجام شده است. برای اجرای این آنالیز، نرم‌افزار یک پارامتر ورودی را تغییر می‌دهد، در صورتی که سایر پارامترهای ورودی ثابت هستند و میزان تغییر در خروجی را (میزان تغییر در آب معادل برف) محاسبه می‌نماید. این کار به ترتیب برای همهٔ پارامترهای ورودی آب معادل برف انجام شد و از بین کلیهٔ پارامترهای ورودی، مؤثرترین پارامترها بر آب معادل برف انتخاب گردیدند.

نتایج و بحث

نرمال بودن داده‌های آب معادل برف با استفاده از نرم‌افزار spss با کمک آزمون کلموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۲ نشان داد که داده‌های خام اولیهٔ آب معادل برف نرمال نیستند. لذا با استفاده از روش تبدیل داده‌ها (لگاریتم‌گیری)، داده‌ها نرمال شدند.

1- Transfer Functions 2- Epoch 3- Correlation coefficient 4- Mean absolute error

جدول ۲- میزان خطای مدل‌های رقومی ارتفاعی استفاده شده در شبکهٔ عصبی مصنوعی

مدل رقومی ارتفاعی	RMSE	R
مدل رقومی ارتفاعی با بزرگ‌نمایی ۱۰ متر	۸/۵۵	۰/۳۶
مدل رقومی ارتفاعی با بزرگ‌نمایی ۱۰ متر فیلتر شده	۶/۲۷	۰/۴۲
مدل رقومی ارتفاعی با بزرگ‌نمایی ۲۰ متر	۵/۳۵	۰/۶۴
مدل رقومی ارتفاعی با بزرگ‌نمایی ۲۰ متر فیلتر شده	۴/۷۷	۰/۷۲

جدول ۳- مقادیر برخی از آماره‌های آب معادل برف

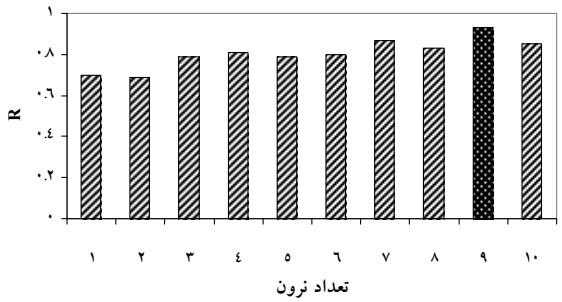
عامل	میانگین	واریانس	کمینه	بیشینه	دامنه	آزمون کلموگروف- اسمیرنوف	
						آماره (پیش از تبدیل)	آماره (بعد از تبدیل)
آب معادل برف (cm)	۲۰/۹	۷۲/۶۲	۵	۵۹	۵۴	۰	۰/۰۹

مقایسه ارقام مندرج در جدول (۲) نشان داد که مدل رقومی ارتفاعی با رزولیشن ۲۰ متر فیلتر شده، دارای خطای کمتری است لذا از پارامترهای استخراج شده از مدل رقومی با وضوح ۲۰ متر فیلتر شده برای شبیه‌سازی آب معادل برف استفاده شد. لازم به ذکر است توپولوژی شبکه، یک فاکتور اساسی در طراحی شبکهٔ عصبی مصنوعی است، چراکه این ساختار روی سرعت یادگیری و صحت پیش‌بینی اثر می‌گذارد. تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها نیز جزء اجزای اصلی شبکهٔ پرسپترون چند لایه هستند. به جز توپولوژی شبکهٔ عصبی مصنوعی که ذکر گردید، تعداد اپوک در مرحلهٔ یادگیری بسیار حائز اهمیت است؛ به علت این‌که در هر مرحله آموزش (اپوک) شبکه عصبی مصنوعی الگوی بین داده‌های مستقل و وابسته را بهتر یاد می‌گیرد و از طرف دیگر با بیش از حد آموزش دیدن قدرت برآورد را از دست می‌دهد. تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی ثابت بوده و بسته به تعداد ورودی و خروجی مدل به کار گرفته شده‌اند. لایهٔ ورودی شبکه، شامل ۳۱ پارامتر ژئومرفومتری و لایهٔ خروجی شامل یک نرون است که این لایه، شامل آب معادل برف است. تعداد نرون‌ها در لایه‌های مخفی بستگی به پیچیدگی مسألهٔ مورد نظر دارد. داده‌های به کار رفته در شبکهٔ عصبی مصنوعی به دو دسته تقسیم شدند، به طوری که ۷۵ درصد داده‌ها (شامل ۲۱۶ داده) برای آموزش و مابقی داده‌ها یعنی ۲۵ درصد (شامل ۵۴ داده) برای اعتبارسنجی اختصاص داده شد (۳). پس از تعیین مجموعهٔ داده‌های اعتبارسنجی و آموزش، ساختار بهینهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی (تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها) با روش سعی و خطا با استفاده از معیارهای R^2 و RMSE تعیین گردید. برای شبیه سازی توزیع مکانی آب معادل برف، پارامترهای ذکر شده در جدول (۱) ورودی‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی درنظرگرفته شد. پس از اجرای مدل مقادیر RMSE و R^2 محاسبه گردید که در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. با توجه به این شکل‌ها ملاحظه می‌شود که حداقل مقدار R^2 و RMSE مربوط به ۹ نرون در لایهٔ مخفی است. R^2 و RMSE برای پارامتر آب معادل برف با بهترین ساختار شبکهٔ عصبی به ترتیب ۰/۸۳ و ۳/۵۵ به دست آمده است.

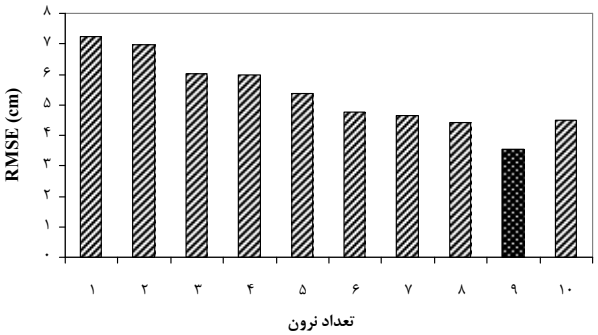
به منظور ارزیابی و مقایسهٔ عملکرد شبکهٔ عصبی مصنوعی از داده‌های اعتبارسنجی (شامل ۵۴ داده) استفاده شد. مقادیر خروجی شبکهٔ عصبی مصنوعی با مقادیر مشاهده‌ای متناظر آن مقایسه شد و جزئیات آن براساس ضریب هم‌بستگی و میانگین خطای مطلق استخراج گردید که بهترین نتایج به دست آمده برای مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی در جدول ۴ آورده شده است. بهترین ساختار براساس نتایج به دست آمده، شبکهٔ پرسپترون چند لایه با تابع فعالیت سیگموئید، برای یک لایهٔ پنهان ۱-۹-۳۱ است و تعداد تکرار و ضریب گشتاور برای بهترین شبکه به ترتیب ۱۰۰۰ و ۰/۷ هستند.

نتایج شبکهٔ عصبی مصنوعی با ضریب هم‌بستگی ۰/۸۳، حاکی از موفق بودن این روش در پیش‌بینی توزیع مکانی آب معادل برف است (شکل ۵)، طبری و همکاران (۲۱) نیز با به کارگیری شبکهٔ عصبی مصنوعی و رگرسیون غیر خطی به پیش‌بینی آب معادل برف پرداخته و نشان دادند که شبکهٔ عصبی مصنوعی با ضریب هم‌بستگی ۰/۷۰ قادر به پیش‌بینی آب معادل برف است. شریفی و همکاران (۱۹) با به کارگیری پارامترهای ارتفاع، زاویهٔ شیب، برای شمالی- جنوبی، برای شرقی- غربی و نمایهٔ بادپناهی به پیش‌بنی عمق برف پرداختند. نتایج نشان داد که با به کارگیری پارامترهای ذکر شده با مقدار میانگین مطلق خطای ۳۵/۲۹ می‌توان به پیش‌بینی عمق برف پرداخت. در صورتی که در این تحقیق با استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری، مقدار میانگین مطلق خطا بسیار کم بوده و

برابر با ۲/۵۳ گردید که این مسأله، نشان‌دهندهٔ این است که پارامترهای ژئومرفومتری در پیش‌بینی آب معادل برف بسیار مؤثر است و می‌توان به نتایج بهتری دست یافت.



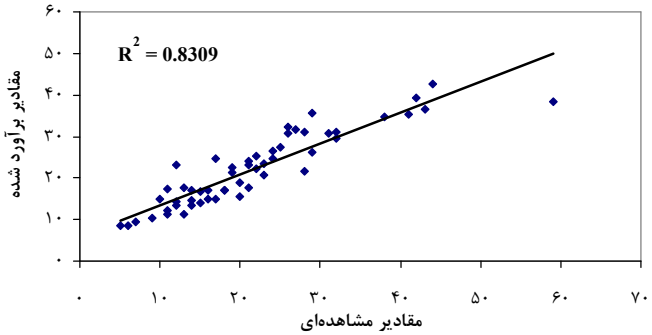
شکل ۳- مقادیر R برای تعداد نرون متفاوت در پیش‌بینی پارامتر آب معادل برف.



شکل ۴- مقادیر RMSE برای تعداد نرون متفاوت در پیش‌بینی پارامتر آب معادل برف.

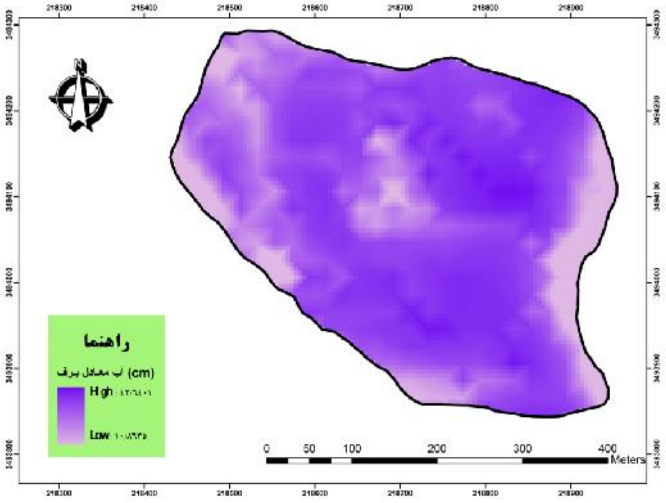
جدول ۴- جزئیات ساختار شبکهٔ عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی آب معادل برف

مدل	آرایش	تابع فعالیت	R^2	RMSE	MAE
MLP	۱-۹۱-۳۱	سیگموئید	۰/۸۳	۳/۵۵	۲/۵۳



شکل ۵- همبستگی مقادیر برآورد شدهٔ شبکهٔ عصبی مصنوعی و مقادیر مشاهده‌ای.

پس از به دست آوردن شبکهٔ عصبی مصنوعی با ساختار بهینه، اقدام به تهیهٔ نقشهٔ توزیع مکانی آب معادل برف با استفاده از روش شبکهٔ عصبی مصنوعی شد. برای این منظور، مقادیر برآوردی شبکهٔ عصبی مصنوعی وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و با استفاده از دستورات مناسب، نقشهٔ پهنه‌بندی آب معادل برف تهیه شد (شکل ۶).



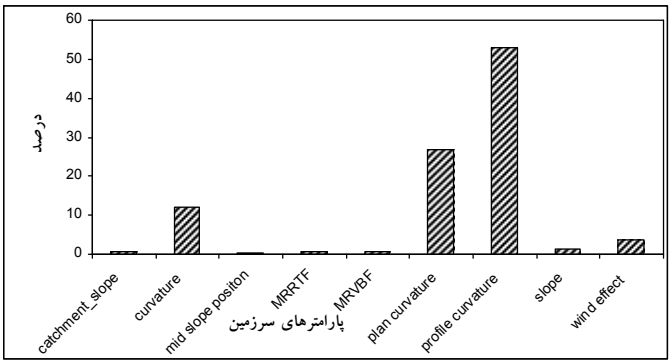
شکل ۶- نقشهٔ پهنه‌بندی توزیع مکانی آب معادل برف با پرسپترون چند لایه.

نتایج آنالیز حساسیت شبکهٔ عصبی مصنوعی نیز نشان داد که از بین پارامترهای ژئومرفومتری به کار رفته در شبکهٔ عصبی مصنوعی، پارامترهای مقطع طولی انحناء، مقطع عرضی انحناء، انحناء، اثر باد، شیب، شاخص هموار قله، شیب حوزه و شاخص هموار دره، جزء مؤثرترین عوامل در پیش‌بینی آب معادل برف هستند. در شکل ۷، نمودار مؤثرترین عوامل در آب معادل برف نشان شده است.

در این تحقیق، روش شبکهٔ عصبی مصنوعی برای برآورد توزیع مکانی آب معادل برف با استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از بررسی نتایج، مشخص شد که به کارگیری شبکهٔ عصبی مصنوعی با ضریب هم‌بستگی (R)۰/۸۳ برای پیش‌بینی آب معادل برف موفقیت‌آمیز بوده است و این شبکه می‌تواند با گرفتن اطلاعات ورودی ذکر شده با دقت مناسبی، آب معادل برف را خروجی ارائه بدهد.

توپولوژی بهترین شبکه، تنها با سعی و خطا مشخص می‌گردد و هیچ روند خاصی برای تعیین بهترین شبکه چه از لحاظ تعداد لایه‌های پنهان یا تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان وجود ندارد.

با مشاهدهٔ نتایج مشخص شد که بهترین ساختار شبکهٔ عصبی مصنوعی، شبکهٔ پرسپترون چند لایه با یک لایهٔ پنهان و نه نرون در آن است. با افزایش تعداد لایه‌های پنهان برای این مسأله، خطای شبکه زیادتر گردید.



شکل ۷- مؤثرترین عوامل در پیش‌بینی آب معادل برف.

به طور کلی، می‌توان گفت شبکهٔ عصبی مصنوعی در این مسأله مانند بسیاری از مسائل هیدرولوژی موفق بوده است. تدسکو و همکاران (۲۳)، نیز قابلیت‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی در برآورد آب معادل برف را مورد تأیید قرار دادند.

پس از انجام آنالیز حساسیت از طریق شبکهٔ عصبی مصنوعی، از بین کلیهٔ پارامترهای به کار رفته،مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تغییرات مکانی آب معادل برف در محدودهٔ مورد مطالعه به ترتیب اهمیت مقطع طولی انحناء، مقطع عرضی انحناء، انحناء، اثر باد، شیب، شاخص همواری قله، شیب حوزه و شاخص همواری دره به دست آمدند. شکل ۷، تأثیر هر پارامتر فیزیوگرافی (پارامتر ژئومرفومتری) را بر روی آب معادل برف نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها،این طور استنباط می‌شود که پارامتر مقطع طولی انحناء، مؤثرترین پارامتر کمکی در مدل است و این پارامتر، ۵۳ درصد در مدل استفاده شده است. هم‌چنین پارامتر کمکی مهم دیگر، پارامتر مقطع عرضی انحناء است که ۲۷ درصد در مدل وارد شده است. سومین پارامتر مهم در پیش‌بینی آب معادل برف، پارامتر انحناء است که این پارامتر نیز ۱۲ درصد در مدل وارد شده است. این موضوع می‌تواند مؤید این مطلب باشد که در این منطقه، پارامتر انحناء نیز از مؤثرترین پارامترها در آب معادل برف است. پارامترهای ژئومرفومتری در توزیع مکانی برف و ویژگی‌های آن از جمله آب معادل برف بسیار مؤثر هستند، چرا که توزیع مکانی تابش خورشیدی، انحناء، درجهٔ حرارت و رطوبت را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از پارامترهای ژئومرفومتری، پارامتر انحناء است، این پارامتر در واقع تأثیر انحناء بر مکان و میزان تجمع برف در نقاط مختلف را نشان می‌دهد. به طوری که در مطالعهٔ حاضر، این یک پارامتر پیش‌بینی‌کنندهٔ معنی‌دار در مدل برآورد کنندهٔ آب معادل برف محسوب شد.

یکی از پارامترهای بسیار مهم دیگر که در پیش‌بینی آب معادل برف مؤثر است، اثر باد است. پارامتر اثر باد، ارتباط مستقیم با آب معادل برف دارد، به طوری که در مناطق بادروب به دلیل این که برف‌ها تجمع کم‌تری می‌یابند، آب معادل برف کم می‌شود و در مناطق بادپناه به دلیل تجمع بیش‌تر برف، باعث افزایش بیش‌تر آب معادل برف می‌شود. این نتیجه در راستای نتایج محققین دیگر است؛ برای مثال، شریفی و همکاران (۱۹)، نشان دادند که شاخص بادپناهی با آب معادل برف، دارای رابطهٔ مستقیم و معنی‌دار در سطح ۵ درصد است و با افزایش شاخص بادپناهی، آب معادل برف افزایش می‌یابد. هم‌چنین اریکسون و همکاران (۹)، نشان دادند عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، زاویهٔ شیب، تابش و نمایهٔ بادپناهی روی عمق برف موثر هستند و استفاده از این عوامل در شبیه‌سازی برف بسیار مفید است.

منابع

1. Agarwal, A., S.K. Mishra, S. Ram and J.K. Singh. 2006. Simulation of Runoff and Sediment Yield Using Artificial Neural Networks. Biosystems Engineering, 94: 597-613.
2. Ahmad, S. and S.P. Simonovic. 2005. An Artificial Neural Network Model for Generating Hydrograph from Hydrometeorological Parameters. Journal of Hydrology, 315: 236-251.
3. Amini, M., K.C. Abbaspour, H., Khademi, N. Fathianpour, M. Afyuni and R. Schulin. 2005. Neural Network Models to Predict Cation Exchange Capacity in Arid Regions of Iran. European Journal of Soil Science, 53: 748-757.
4. Bagheri-Fahrji, R. 2011. Estimating the Spatial Distribution of Snow Water Equivalentin Mountain Watersheds Using Geostatistic Methods (Case Study: Bidakhovid), M.Sc. Thesis, Islamic Azad University Maybod branch, 147 pp (In Persian).
5. Bales, R. C. 2007. Field Methods in Snow Hydrology, University of California, Merced. 87 pp.
6. Chen, J. and B.J. Adams. 2006. Integration of Artificial Neural Networks with Conceptual Models in Rainfall-Runoff Modeling. Journal of Hydrology, 318: 232-249.
7. Elder, K.G. Dozier and J. Michaelsen. 1991. Snow Accumulation and Distribution in an Alpine Watershed. Water Resources Research, 27: 1541-1552.
8. Elder, K.R. Rosenthal and R.E. Davis. 1998. Estimating the Spatial Distribution of Snow Water Equivalence in a Mountain watershed. Hydrological Processes, 12: 1793-1808.
9. Erickson, T.A., M.W. Williams and A. Winstral. 2005. Persistence of Topographic Controls on the Spatial Distribution of Snow in Rugged Mountain, Colorado, United States. Water Resources Research, 41: 1-17.
10. Hengl, T.G., B.M. Huvelink and A. Stein. 2004. A Generic Framework for Spatial Prediction of Soil Variables Based on Regression-kriging. Geoderma, 120: 75-93.
11. Huang, M., G. Peng, J. Zhang and S. Zhang. 2006. Application of Artificial Neural Networks to the Prediction of Dust Storms in Northwest China. Global and Planetary Change, 52: 216-224.

12. Hosang, J. and K. Dettwiler. 1991. Evaluation of a Water Equivalent of Snow Cover Map in a Small Catchment Area Using a Geostatistical Approach. Hydrological Processes, 5: 283-290.
13. Marchand, W.D. and A. Killingtveit. 2001. Analysis of the Relation between Spatial Snow Distribution and Terrain Characteristics. 58th Estern Snow Conference Ottawa, Ontario, Canada. pp: 71-84.
14. Menhaj, M. 2007. Fundamental of Artificial Neural Networks. Amirkabir Press. 716 pp (In Persian).
15. 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 Region Tree Models: the Impact of Digital Elevation Data Independent Variable Selection. Hydrological Processes, 19: 1459-1479.
16. Najafi, M., J. Sheykhiv and J. Porhemat. 2006. Run off from Melting Snow in Snow Areas Using SRM (Case Study Mahabad). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 3: 111-121 (In Persian).
17. Potter, T.D. and B.R. Colman. 2003. Handbook of Weather, Climate and Water: Dynamics, Climate, Physical Meteorology, Weather Systems, and Measurements. Wiley-Interscience Press, 1974 pp.
18. Roebber, P.J., S.L. Bruening, D.M. Schultz and J.V. Cortinas. 2002. Improving Snowfall Forecasting By diagnosing Snow Density. Weather and Forecast, 18: 264-287.
19. Sharifi, M.R., M. Akhund-Ali and J. Porhemat. 2007. Assess the Linear Correlation and Ordinary Kriging Method to Estimate the Spatial Distribution of Snow Depth in the Watershed Samsami. Journal of Watershed Management Science & Engineering, 1: 24-38. (In Persian)
20. Steppuhn, H. 1981. Snow and Agriculture, In Handbook of Snow: Principles, Processes, Management and Use. Blackburn Press, 776 pp.
21. Tabari, H., S. Marofi, H. Zare Abyaneh and M.R. Sharifi. 2010. Comparison of Artificial Neural Networks and Combined Models in Estimating Spatial Distribution of Snow Depth and Snow Water Equivalent in Samsami Basin of Iran. Neural Computing Applications, 19: 625-635.
22. 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, Canadian Journal of Civil engendering 32: 289-297.
23. Tedesco, M., J. Pulliainen, M. Takala, M. Hallikainen and P. Pampaloni. 2004. Artificial Neural Network-Based Techniques for the Retrieval of SWE and Snow Depth from SSM/I data. Remote Sensing Environment, 90: 76-85.
24. Tryhorn, L. and A. DeGaetano. 2012. A Methodology for Statistically Downscaling Seasonal Snow Cover Characteristics over the Northeastern United States, International Journal of Climatology, 33: 2728-2743.
25. Vafakhah, M., M. Mohseni Saravi, M. Mahdavi and S.K. AlaviPanah. 2008. Geostatistics Application to Estimate Snow Depth and Density in the Watershed Ourazan. Journal of Watershed Management Science & Engineering, 4: 49-55 (In Persian).
26. Vaziri, F. 2005. An Applied Hydrology in Iran-The Second Book: Identification of Glaciers in Iran, Management and Planning Organization, Press, 430 pp (In Persian).
27. Zareabyaneh, H. 2012. Estimating the Spatial Distribution of Snow Water Equivalent and Snow Density Using ANN Method (Case Study Watershed Azarbayejan) Journal of Water Resources Engineering, 5: 23-35.

Digital Mapping of Snow Water Equivalent using an Artificial Neural Network and Geomorphometric Parameters (Case study: Sakhvid watershed, Yazd)

Somaye Ebdam[1], Ali Fathzadeh[2], Rouhollah Taghizadeh-Mehrjardi[3] and Javad Mahjoobi[4]

1- Graduated M.Sc. of Watershed Management, Yazd University
2- Associate Professor, Ardakan University (Corresponding Author: fatzade@ardakan.ac.ir)
3- Assistant Professor, Ardakan University
4- M.Sc. of Yazd Province Regional Water Authority
Received: October 15, 2013 Accepted: November 9, 2014

Abstract

Although a small portion of the Earth's surface is covered by the mountains, but it has a large impact on watershed hydrological perspective Because of the water crisis in arid and semi-arid regions of Iran, monitoring of the amount of snow in these areas is very important. Usually, access to the spatial distribution of snow water equivalent is limited to small scale using sampled data. However, due to the limitations of the mountainous, snow sampling of area is difficult and sometimes impossible in the large basins. Thus, the development of methods in order to estimate snow water equivalent at the un-sampled locations is essential. In this research, an area of 16 ha area in Yazd province was selected and snow water equivalent was measured at 216 points using a Mt. Rose snow sampler. Then the application of artificial neural network method was evaluated using 31 geomorphometric parameters and the digital map of snow water equivalent was obtained. The results showed that the artificial neural network can estimate the snow water equivalent by a R2=0.83 and RMSE= 3.55.The results of the sensitivity analysis are also showed that among the ANN parameters used in the prediction of snow water equivalent, Plan Curvature, Profile Curvature, Curvature, Wind Effect, Slope, Multiresolution ridge top flatness index (MRRTF), Catchment slope and Multi resolution index of valley bottom flatness (MRIVBF) are the effective parameters to predict snow water equivalent, respectively.

Keywords: Artificial Neural Network, Geomorphometric Parameters, Sakhvid Watershed, Sensitivity Analysis, Snow Water Equivalent