

## برآورد توزیع مکانی ارتفاع آب معادل برف و چگالی برف حوضه‌های آبخیز استان آذربایجان

### غربی

حمید زارع ابیانه\*<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۱۳

### چکیده

در مناطق کوهستانی بخش قابل ملاحظه‌ای از ریزشهای جوی به صورت برف است و ارزیابی مقدار کمی این گونه ریزشها بر اساس چگالی و آب معادل برف می‌باشد. لذا بررسی روشهای نوین و تعیین الگوریتمهای مناسب برای پیش‌آگاهی و شبیه‌سازی مقادیر ذخیره‌ی برفی حوضه‌ها ضروری است. در این تحقیق، با به‌کارگیری شبکه‌ی عصبی مصنوعی دو متغیر چگالی و آب معادل برف در حوضه‌های آبخیز آذربایجان غربی برآورد گردیدند. در طراحی شبکه‌ی عصبی مصنوعی از سه متغیر مستقل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای نقاط برف‌سنجی به‌عنوان عناصر ورودی کمک گرفته شد. شبکه‌ی عصبی مصنوعی طراحی شده شامل سه نرون در لایه‌ی ورودی، دو نرون در لایه‌ی خروجی، ۶ تا ۱۸ نرون در لایه (های) میانی و یک یا چند لایه در بخش میانی بود. نتایج نشان دادند که آرایش ۳-۶-۲ نسبت به دو آرایش ۳-۶-۲ و ۳-۶-۲-۶-۶-۳-۶-۶ جواب‌های مناسب‌تری داشت، بطوری‌که در آرایش ۳-۶-۲ پس از ۲۷۰ تکرار محاسباتی شبکه‌ی طراحی شده به همگرایی رسید. با توجه به نتایج حاصل از اجرای آرایش ۳-۶-۲ با تابع محرک لونیگ 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 حوضه‌های آبخیز آذربایجان غربی برآورد نماید. نتایج مطالعه‌ی حاضر در مقایسه با پژوهشهای مشابه مؤید عملکرد مناسب شبکه‌ی عصبی با در نظر گرفتن کمترین عناصر ورودی زودیافت، در برآورد همزمان دو متغیر آبشناسی بود. **واژه‌های کلیدی:** برف‌سنجی، چگالی برف، آب معادل برف، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، آذربایجان غربی.

۱ - دانشیار گروه مهندسی آبیاری، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان  
\* نویسنده مسئول: zareabyaneh@gmail.com

## مقدمه

برف مهمترین گونه‌ی بارش مناطق کوهستانی شمال باختری ایران است که افزایش یا کاهش آن، فعالیتهای دیگر پدیده‌های نیواری، کشاورزی و حتی گردشگری را تحت تاثیر قرار می‌دهد، ضمن آن‌که برف منبع مهمی برای تغذیه‌ی جریانهای رودخانه‌ای در بهار و تابستان است (نکونام و مزیدی، ۱۳۸۹). آب معادل برف<sup>۱</sup> (SWE) حاصل واکنشهای متقابل و مرتبط به هم در یک حوضه‌ی آبخیز است که فراسنجهای آبشناسی مانند جریانهای سطحی، تغذیه‌ی آخوانها، روان گشتن سیلابها و پوششهای گیاهی را متاثر می‌سازد (رسولی و ادهمی، ۱۳۸۶). آزاد شدن برفاب، نقش مهمی در تامین آب کشاورزی و تغذیه‌ی منابع زیرزمینی داشته، و به اعتقاد گودینسون و همکاران (۲۰۰۰) حدود یک سوم آب مورد نیاز کشاورزی سراسر کره‌ی زمین از برف تامین می‌شود. طبق بررسیهای مشایخی (۱۳۶۹) بیش از ۵۰ درصد آبهای سطحی و زیرزمینی ایران، حاصل ذوب برف در مناطق مختلف کشور است. بنابراین، آگاهی از میزان ذخایر برفی برای ذخیره‌سازی، مهار کردن سیلابها و تامین آب مورد نیاز پایین دست لازم است (حجام و شرعی‌پور، ۱۳۸۲). لزوم اطلاع از مقدار برف در محاسبات تراز آبی و برنامه‌ریزی‌های آبیاری از یک‌سو و فقدان داده‌های مناسب هواشناسی در خصوص برف از سوی دیگر، ارائه یک شبیه ساده، کم هزینه و دقیق را ضروری می‌سازد. در همین راستا، معروفی و همکاران (۱۳۸۸) نابسندگی ایستگاههای برف‌سنجی را در مناطق مرتفع، و شریفی و همکاران (۱۳۸۵) کمبود اطلاعات مشاهده‌ای را دلیل ابداع روشهایی برای شبیه‌سازی این فراسنج براساس اطلاعات مشاهده‌ای محدود و مقادیر متغیرهای مستقل قابل دسترس دانسته‌اند. ذوب برف فرایندی پیچیده و غیرخطی می‌باشد که شبیه‌سازی آن با توجه به تغییرات زمانی و مکانی برف نسبت به باران پیچیده‌تر است (نجفی و همکاران، ۱۳۸۳). اگرچه ممکن است پژوهشهای تفصیلی مربوط به برف جنبه‌ی تحقیقاتی داشته باشد، لیکن بسیاری از طرحهای مهندسی و

آبخیزداری نیازمند برآوردهای مناسبی از کمیت و کیفیت برف و آب معادل آن است. برای پایش زمانی و مکانی برف معمولاً از روشهای شبیه‌سازی ریاضی، تجربی، هوش مصنوعی، سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. شفیع‌ی (۱۳۷۶) در مطالعه‌ی موردی صورت گرفته در سد امیرکبیر، با بررسی ساز و کار ذوب برف و استفاده از روش وایازی چند متغیره و براساس داده‌های برف‌سنجی، موفق به برآورد بده ورودی به آبگیر سد شد. به‌همین ترتیب، نکونام و مزیدی (۱۳۸۹) برای تحلیل پوشش برف از روش وایازی دما - بارش موفق به برآورد ضریب برفی و ذخیره برف در حوضه آبخیز فخرآباد از زیر حوضه‌های دشت یزد - اردکان شدند. غیور و همکاران (۱۳۸۳) با به‌کارگیری عناصر دما (کمینه، بیشینه، و میانگین‌های ماهانه و سالانه) و عناصر بارش (میانگین‌های بارش ماهانه و سالانه) در قالب شبیه‌های تجربی موفق به برآورد سطوح برفی و ذوب آنها در ماههای مختلف برای شش ایستگاه شمالی تهران شدند. کونوسوکه و همکاران (۲۰۰۶)، در گزارش خود با تاکید بر نقش ارتفاع، موفق به برآورد آب معادل برف با یک شبیه وایازی خطی، و ایجاد نقشه‌ی توزیعی برای حوضه‌ای کوهستانی در شمال مغولستان گردیدند. نتایج آنان نشان دادند مقدار کمی فراسنج آب معادل برف با ارتفاع از سطح دریای نقاط برف‌سنجی رابطه‌ای خطی دارد. در مطالعه‌ای دیگر، با استفاده از ارتفاع، زاویه‌ی شیب، مقدار تابش، نمایه بادپناهی<sup>۲</sup> در قالب شبیه‌های خطی و اثرات متقابل آنها در قالب شبیه‌های غیرخطی نتایج مناسبی برای شبیه‌سازی ضخامت برف حاصل شدند (اریکسون و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج پژوهش شریفی و همکاران (۱۳۸۵) مؤید تاثیرپذیری ۶۷ درصدی تغییرات عمق برف از عوامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب شمالی - جنوبی، و نمایه بادپناهی بود. رسولی و ادهمی (۱۳۸۶) با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی مودیس<sup>۳</sup>، آب معادل برف را در حوضه‌ی آبخیز آجی‌چای و رایگانی و همکاران (۱۳۸۷) تغییرات نقشه‌های پوشش برفی از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در دوره‌های فاقد تصویر را

2 - wind shelter index

3 - MODIS

1 - snow water equivalent

همکاران (۱۳۸۳)، که اعتقاد به استفاده از اطلاعات زیاد اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی پوششهای برفی دارند، این پژوهش با هدف برآورد ضخامت آب معادل و چگالی برف با به‌کارگیری تعداد معدودی از اطلاعات ثابت و زودیافت، در قالب شبیه‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در حوضه‌ی آذربایجان غربی برآورد گردید. منطقه‌ی مورد مطالعه یکی از حوضه‌های مرزی در ناحیه شمال‌غرب کشور است که دروازه‌ی اصلی رطوبتی کشور از ناحیه‌ی اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه به‌شمار می‌رود.

### مواد و روشها

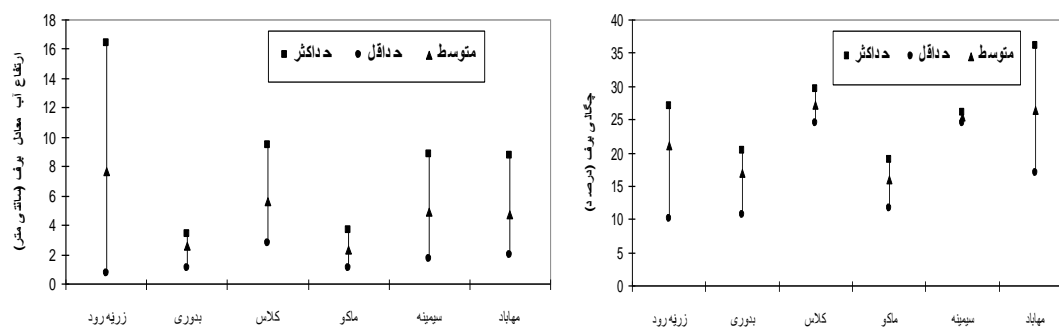
منطقه‌ی شمال‌غربی ایران با پستی و بلندی کوهستانی، از یک‌سو تحت تاثیر سامانه‌های آب و هوایی عرضهای میانه بویژه سامانه‌ی بادهای غربی، و از سوی دیگر تحت تاثیر پرفشار سیبری است. بارش بسنده باران و برف، و حوضه‌های آبخیز مناسب با جریانهای فصلی و دایمی، نقش مهمی را در ارزشمندی فعالیت کشاورزی و دامداری این مناطق دارند. حوضه آبخیز آذربایجان غربی در شمال‌غربی ایران قرار دارد که از نظر تقسیمات اداری شامل دو استان آذربایجان غربی و کردستان می‌باشد. از آن‌جا که بخش اعظمی از ریزشهای جوی منطقه به‌شکل برف بوده، و برف اهمیت زیادی در تامین آب آبیگرهای موجود در منطقه دارد، لذا شبیه‌سازی برف و فراسنجهای آن مدنظر قرار گرفت.

برای انجام این تحقیق از آمار و اطلاعات برف‌سنجی سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ شامل مقادیر چگالی، ارتفاع، و ارتفاع آب معادل برف استفاده شد. اطلاعات فوق از ۱۰۴ نقطه‌ی مشاهده‌ای ۵۴ ایستگاه برف‌سنجی در ماههای دی، بهمن و اسفند مربوط به شش زیرحوضه به‌نامهای زرینه‌رود، بدوی، کلاس، ماکو، سیمینه‌رود و مه‌آباد بود (گزارش برف‌سنجی، ۱۳۹۰). در شکل ۱ مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین عمق آب معادل برف و چگالی آن برای هر یک از شش زیر حوضه نشان داده شده‌اند. محور افقی شکل ۱ نام زیرحوضه‌ها، و محور عمودی آن چگالی برف (درصد) و ارتفاع آب معادل برف (سانتی‌متر) است.

محاسبه نمودند. از جمله راهکارهای مناسب دیگر استفاده از روشهای نوین مانند هوش مصنوعی است که رویکرد مناسبی در زمینه شبیه‌سازی مسائل آبشناسی و هواشناسی است. به‌اعتقاد بسیاری از محققان، شبیه‌های عصبی ساختار ریاضی قابل انعطافی دارند که قادر به شناسایی روابط پیچیده‌ی غیرخطی میان داده‌های ورودی و خروجی، و شبیه‌سازی داده‌های با عدم قطعیت بالا می‌باشند (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۸۹). شبیه‌های عصبی به‌دلیل عدم نیاز به تعریف رابطه‌ی ریاضی پیچیده برای پدیده‌های نامشخص، و با وزن‌دهی به‌عوامل موثر با هدف ساده‌سازی و کارآمد شدن، از توانایی مطلوبی برخوردارند. به‌رغم کاربرد موفق روشهای هوشمند عصبی در بسیاری از مطالعات آبشناسی، مطالعات اندکی در زمینه برآورد فراسنجهای برف انجام شده است. سالاس و همکاران (۱۹۸۲) نتایج مناسبی را از پیش‌بینی جریان چهار ماهه‌ی رود لس‌پینوس، کلرادو، آمریکا به‌کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> (ANN) براساس اطلاعات چهل ساله‌ی جریان رود و آب معادل برف گزارش کردند. به‌همین ترتیب، نتایج رابری و همکاران (۲۰۰۲) در پیش‌بینی بارش برف با شبکه‌های هوشمند عصبی حاکی از دقت بالای پیش‌بینی‌ها بود. تدریسکو و همکاران (۲۰۰۴) از شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای برآورد ضخامت برف و آب معادل آن استفاده نمودند؛ نتایج آنان مؤید صحت و دقت بالای شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مقایسه با الگوریتمهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای بود. معروفی و همکاران (۲۰۱۱)، به‌منظور برآورد ضخامت برف و آب معادل آن، سه روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، تلفیقی عصبی-ژنتیک و وایزی را به کار برده و نشان دادند که دقت نتایج شبکه‌ی عصبی تلفیق یافته با الگوریتم ژنتیک بهتر از دو روش دیگر بود.

از آن‌جا که اندازه‌گیری فراسنجهای برف همانند سایر فراسنجهای هواشناسی و آبشناسی در سطح وسیع به‌سادگی میسر نیست، و فراهم کردن داده‌های پایه در مناطق کوهستانی با روشهای موجود دشوار است (نجفی و همکاران، ۱۳۸۳)، لذا شبیه‌سازی راهکار مناسب و مفیدی است. به‌همین دلیل، برخلاف نظر غیور و

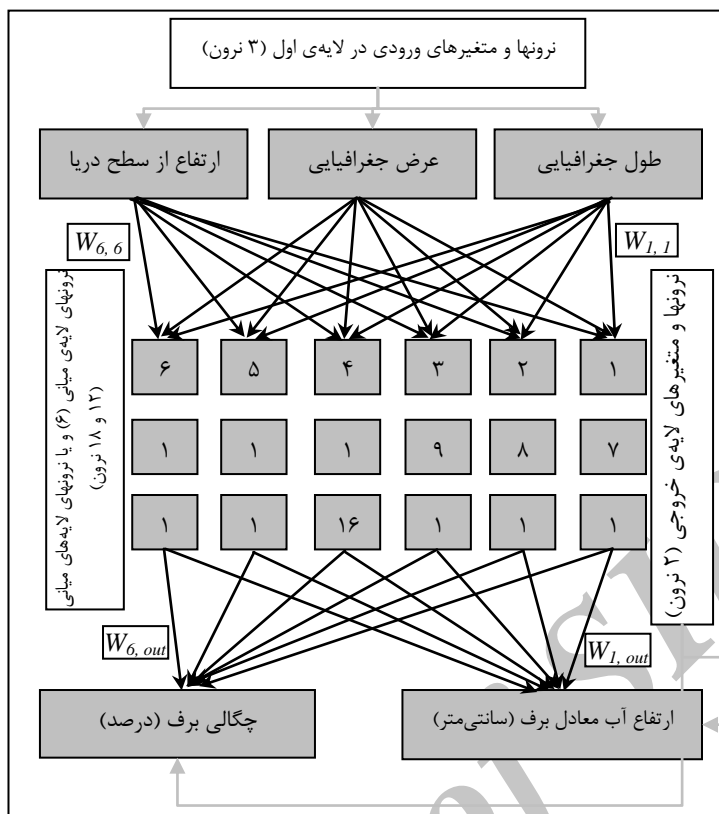
1 -artificial neural network



شکل ۱- میانگین، کمینه و بیشینه چگالی برف (درصد) و ارتفاع آب معادل برف (سانتی‌متر) در حوضه‌های آبخیز شمال غربی ایران (سال آبی ۹۰-۱۳۸۹)

ایستگاههای برف‌سنجی به‌دست می‌آیند، ضمن آن‌که کم بودن شمار متغیرهای شبیه‌سازی، به‌شرط محفوظ ماندن کارایی شبیه و دقت برآوردها، بر ارزش کاربردی آن می‌افزاید (زارع ابیانه و بیات ورکشی، ۱۳۹۰). به‌کارگیری چنین داده‌هایی به‌دلیل محدودیت‌های مکانی و زمانی تجهیز ایستگاههای کوهستانی از دیدگاه اقتصادی قابل توجیه است. در گام بعدی ساختارهای متفاوتی از شبکه‌ی عصبی مصنوعی براساس شمار نرونهای لایه‌های ورودی، میانی و خروجی گسترش و توسعه یافتند. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، متغیرهای وابسته در لایه‌ی ورودی، بر اساس مطالعات صورت گرفته و انجام آزمون همبستگی پیرسون، به‌تعداد سه نرون ( $n=3$ ) در لایه‌ی ورودی و دو نرون در لایه‌ی خروجی بودند. تعداد نرون بخش میانی مضربی از تعداد نرونهای لایه‌ی ورودی ( $2n$ ) برابر با ۶ نرون در یک لایه، ۱۲ نرون در دو لایه و ۱۸ نرون در سه لایه بودند. در شکل ۲ ساختار طرح‌واره شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده، شامل یک لایه‌ی عناصر ورودی، یک لایه‌ی عناصر خروجی و یک تا سه لایه میانی آمده است.

رویکرد مورد استفاده در این پژوهش، شبکه‌ی عصبی مصنوعی بود که از توانایی خوبی در پیش‌بینی فرایندهای غیرخطی براساس روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی برخوردار است (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۰). دلیل اصلی استفاده از رویکرد هوش مصنوعی دقت و سرعت بالای دستیابی به‌جواب با لحاظ کمترین اطلاعات در شرایط نابسند بودن داده‌های در دسترس بود. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادرند تا براساس روابط ذاتی مابین مقادیر کمی متغیرها، نگاشتی غیرخطی بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته ایجاد کنند. برای ایجاد یک شبیه‌سازی شبکه‌ی عصبی، ابتدا متغیرهای ورودی (مستقل) براساس پیشنهادها و پژوهشگران، و همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته برگزیده شدند. متغیرهای ورودی، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای نقاط برف‌سنجی بود که در گزارشهای اریکسون و همکاران (۲۰۰۵) و طبری و همکاران (۱۳۸۸) بر نقش آنها در مقدار کمی برف و دیگر ویژگیهای آن تاکید شده است. متغیرهای ورودی در گروه اطلاعات ثابت و زودیافت بود که با یکبار اندازه‌گیری برای



شکل ۲ - طرح کلی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه مورد استفاده در شبیه‌سازی ویژگی‌های برف منطقه مورد مطالعه.

نوع پرسپترون چند لایه<sup>۱</sup> (MLP) با الگوریتم پس انتشارخطا<sup>۲</sup> (BP) به عنوان شبکه‌ای ساده و پرکاربرد به داده‌ها برازش داده شد. بررسی‌های انجام شده نشان دادند تقریباً در تمامی فرایندهای هواشناسی و آبشناسی از این نوع شبکه عصبی استفاده شده است (کولیالی و همکاران، ۲۰۰۰). در این نوع الگوریتم خطای خروجی شبکه برآورد و با انتشار به داخل سامانه، وزنه‌های انتخابی در شبیه اصلاح می‌گردند. فرایند اصلاح وزنه‌ها در تمام عناصر سامانه تا حصول بهترین وزنه‌ها برای داشتن صحیح‌ترین خروجیها ادامه می‌یابد. برای اجرای شبکه‌ی عصبی مصنوعی، تمامی داده‌های ورودی در سه ستون مجزا به تعداد ایستگاههای برف‌سنجی، و داده‌های خروجی نیز به صورت متناظر با ستونهای ورودی در ستون چهارم و پنجم دسته‌بندی شدند. مناسب بودن کیفیت داده‌ها با آزمون توالی<sup>۳</sup> و سپس معیارسازی داده‌ها در محدوده‌ی صفر تا یک به-

هر یک از نرونهای لایه‌ی اول (لایه‌ی ورودی) شبکه‌ی عصبی با اتصالات وزنی سازگار شونده ( $W_{ij}$ ) به نرونهای لایه‌ی میانی بعدی و از لایه‌ی میانی اول به نرونهای لایه‌ی میانی دوم و سوم، و در نهایت به نرونهای لایه‌ی خروجی اتصال می‌یابند. وزن دهی به داده‌ها از جمله مزیت‌های شبکه‌ی عصبی است که امکان برآوردهای مختلف قابل انتظار از شبکه را فراهم ساخته، و شرایط گزینش شبکه‌ای با ساختار مناسب را از راه مقایسه برآوردها با مقادیر مشاهده‌ای ایجاد می‌کند. برای انجام عملیات شبیه‌سازی و پردازش داده‌ها از نسخه‌ی پنجم بسته‌ی نرم‌افزاری NeuroSolution با قابلیت اجرا در محیط ویندوز استفاده شد. این نرم‌افزار، به‌واسطه‌ی استفاده از توابع محرک گوناگون از بین تابع محرکهای موجود در جعبه‌ی نرم‌افزار امکان طراحی، قابلیت یادگیری و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی را داشته و در برگیرنده شبکه‌های متفاوت با قوانین یادگیری مختلف است (ناسه و همکاران، ۲۰۰۹؛ زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۹۰). به کمک این نرم‌افزار یک شبیه شبکه‌ی عصبی از

1 - multi layer perceptron

2 - back propagation

3- run test

(۱)

$$r = \frac{n \left( \sum_{i=1}^n (T_i Y_i) \right) - \left( \sum_{i=1}^n T_i \right) \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n (T_i)^2 - \left( \sum_{i=1}^n T_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n (Y_i)^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}} \quad -1 \leq r \leq +1$$

ضریب همبستگی یکی از شاخصهای مناسب آماری است که در عین سادگی، در مواقعی که مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی دارای اختلاف فاحش با روند یکنواخت باشند، گویای تطابق آنها نیست. به‌همین دلیل برای ارزیابیهای حاصل از شبکه‌ی عصبی مصنوعی از آماره‌ی مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> (RMSE)، که نشان‌دهنده بیش برآورد<sup>۵</sup> یا کم برآورد<sup>۶</sup> شبکه می‌باشد، براساس رابطه‌ی ۲ نیز استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

در روابط فوق،  $T_i$  مقدار واقعی (هدف)،  $Y_i$  مقدار پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد الگوهاست.

در آخرین مرحله، مناسب بودن عملکرد شبکه با ترسیم نتایج محاسباتی و مقادیر مشاهداتی به‌شکل یک نمودار وایازی خطی ( $Y_{(model)} = a + b Y_{(obs.)}$ ) برمبنای نزدیک بودن ضریب  $a$  (عرض از مبدأ) به صفر و ضریب  $b$  (شیب خط) به یک، ارزیابی گردیدند (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹).

### نتایج و بحث

در شکل ۱ مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین ارتفاع آب معادل برف و چگالی برف برای شش زیر حوضه رسم گردیدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دامنه‌ی مقادیر ضخامت آب معادل برف متفاوت است. در این میان ضخامت آب معادل برف در حوضه‌ی آبخیز زرینه‌رود از دامنه‌ی بالاتر، و حوضه‌ی آبخیز بدوری از دامنه‌ی نسبتاً کمتری برخوردار است، درحالی‌که چنین شرایطی برای چگالی برف در ایستگاه‌های مزبور برقرار نیست. به عبارت دیگر بیشترین چگالی برف مربوط به ایستگاه مهاباد، و کمترین آن به ایستگاه زاینده رود تعلق دارد. دلیل تفاوت دامنه‌ی آب برف و چگالی آن می‌تواند در تفاوت ضریب

منظور افزایش سرعت و دقت شبکه در پاسخ به نشانه‌های ورودی، صورت گرفت (کسکین و همکاران، ۲۰۰۹). از آن‌جاکه نرم‌افزار مورد استفاده از توانمندی خودکار معیارسازی داده‌ها و اعتبارسنجی متقابل<sup>۱</sup> برخوردار است، لذا نیازی به انجام عملیات معیارسازی داده‌ها نبود. مطابق عرف معمول در آماده‌سازی داده‌ها برای اجرای شبکه‌ی عصبی، تمامی داده‌ها در نرم‌افزار Excel به صورت تصادفی به دو دسته داده‌های آموزش (۸۰ درصد) و داده‌های آزمایش (۲۰ درصد) تقسیم گردیدند. از داده‌های آموزش برای آموزش شبکه، و از داده‌های آزمون برای صحت‌سنجی نتایج شبکه استفاده شد (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹). برای آموزش شبکه از قانون آموزشی لونبرگ مارکوات، و برای تعیین تعداد بهینه‌ی تکرار محاسباتی شبکه<sup>۲</sup> از روش سعی و خطا استفاده گردید. تعداد بهینه تکرار محاسباتی حداقل تعداد تکرار لازم برای رسیدن به پایداری در جواب است. برای این منظور، روند تغییرات خطای اجرای شبکه بر حسب تعداد تکرار در قالب نمودار چرخه‌ی تکرار محاسباتی تا ۱۰۰۰ چرخه ترسیم گردید.

به منظور بررسی پایداری نتایج، برای ساختار پیشنهادی، اقدام به کاربرد اطلاعات ۳۵ ایستگاه برف‌سنجی شد. این اطلاعات مربوط به ضخامت برف و مقادیر متناظر آب معادل برف اندازه‌گیری شده در سال آبی ۱۳۸۸-۸۹ از همین منطقه بودند. نتایج حاصل از اجرای مجدد شبیه پیشنهادی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده تجزیه و تحلیل گردیدند. ارزیابیهای نتایج شبکه عصبی در هر دو سال آماری از طریق مقایسه با مقادیر مشاهداتی، در قالب محاسبه آماره‌های خطاسنجی بودند. یکی از آماره‌های مورد استفاده در ارزیابی نتایج، ضریب همبستگی<sup>۳</sup> (r) بود که مقدار آن از رابطه‌ی به‌دست می‌آید.

4- root mean square error

5 - over estimate

6- under estimate

1 -cross validation

2 -epoch

3 -correlation coefficient

خروجی مدنظر قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار SPSS در تعیین ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای وابسته (آب معادل و چگالی برف) و متغیرهای مستقل (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) مطابق جدول ۱ استخراج شدند. از آن‌جا که شبیه در پاسخ به متغیرهای ورودی، بطور هم‌زمان دو متغیر چگالی و آب معادل برف را در هر یک از نقاط برف‌سنجی برآورد می‌نماید، لذا میانگین هندسی ضریب همبستگی مدنظر قرار گرفت.

تغییرات این دو متغیر باشد که از سوی طبری و همکاران (۱۳۸۸) در حوضه آبخیز صمصامی از زیر حوضه‌های اصلی کارون نیز گزارش شده است. ضریب تغییرات عوامل آب معادل و چگالی برف به ترتیب ۷۴ درصد و ۲۶ درصد بودند. ضریب تغییرات معیاری از تغییرپذیری نسبی است که براساس طبقه‌بندی ویل‌دینگ و درس (۱۹۸۳) مقدار بیش از ۱۵ درصد در گروه متغیرهای با ضریب تغییرات زیاد طبقه‌بندی می‌شوند.

برای انتخاب متغیرهای ورودی به لایه‌ی اول شبکه‌ی عصبی، علاوه بر استناد به تحقیقات مشابه، جدول ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای ورودی و

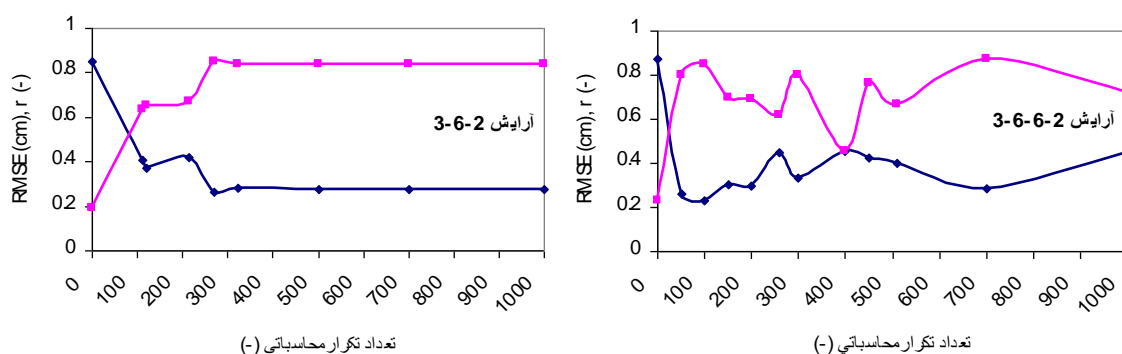
جدول ۱- ضریب همبستگی متغیرهای مورد استفاده.

| ورودی              |               |               | متغیر                           |
|--------------------|---------------|---------------|---------------------------------|
| ارتفاع از سطح دریا | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |                                 |
| ۰/۷۷               | ۰/۳۴          | ۰/۵۹          | ارتفاع آب معادل برف (سانتی متر) |
| ۰/۵۹               | ۰/۵۰          | ۰/۶۶          | چگالی (درصد)                    |
| ۶۸                 | ۴۲            | ۶۲/۵          | میانگین هندسی                   |

(۱۳۸۳) نیز ضریب همبستگی متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی با رواناب حاصل از ذوب برف را برای حوضه‌ی مهاباد به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۳۹ و ۰/۲۵ گزارش کرده‌اند.

در شکل ۳ روند تغییرات خطا و ضریب همبستگی به همراه تعداد تکرارهای محاسباتی تا حصول شرایط پایداری در جوابها بازای ۱۰۰۰ تکرار محاسباتی آمده‌اند. در این شکل، مقادیر میانگین مجذور خطای اجرای شبکه از الگوی پرسپترون، و قانون یادگیری لوبنبرگ مارکوات در محور عمودی و مقادیر تکرار محاسباتی در محور افقی نشان داده شده‌اند. این شکل براساس دو آرایش ۲-۶-۳ و ۲-۶-۶-۳ تنظیم شده است و نتایج اجرای شبیه برای آرایش ۲-۶-۶-۳ با ۱۸ نرون در سه لایه‌ی میانی، به دلیل عدم همگرایی در رسیدن به جواب مناسب و مشابهت با آرایش ۲-۶-۶-۳ حذف گردیدند.

همان‌گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، ضریب همبستگی هر متغیر با متغیر دیگر متفاوت است. تفاوت در ضریب همبستگی بیانگر متفاوت بودن اهمیت نسبی هر متغیر مستقل در شبیه‌سازی شبکه عصبی است؛ به عبارت دیگر هر متغیر مستقلی که ضریب همبستگی آن بیشتر باشد، درجه‌ی اثرگذاری آن بر متغیرهای وابسته (چگالی و ضخامت آب معادل برف) بیشتر است. براساس جدول ۱، فراسنج ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی با ضریب همبستگی ۶۸ و ۴۲ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر متغیرهای مجهول چگالی و آب معادل برف دارند. در تأیید نتایج جدول ۱ می‌توان به مطالعه‌ی معروفی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد که تاثیر متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی را در برآورد تغییرات آب معادل برف در سراب کارون به ترتیب ۲۹/۰، ۶۲/۵ و ۴۲/۰ درصد گزارش کرده‌اند. همچنین نجفی و همکاران

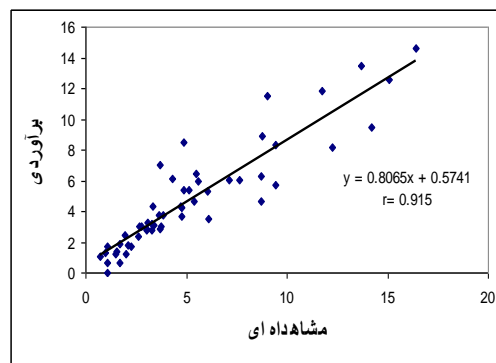
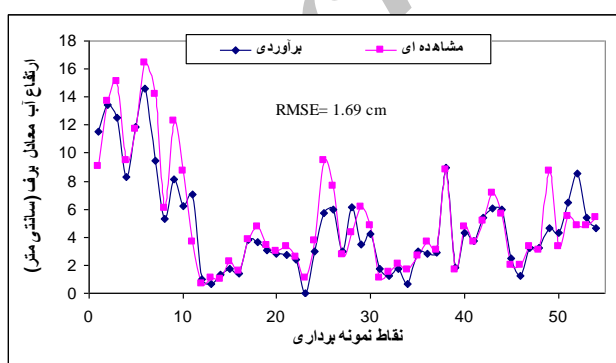


شکل ۳ - مقایسه‌ی نتایج اجرای شبکه‌ی عصبی مصنوعی با تعداد تکرار محاسباتی متفاوت.

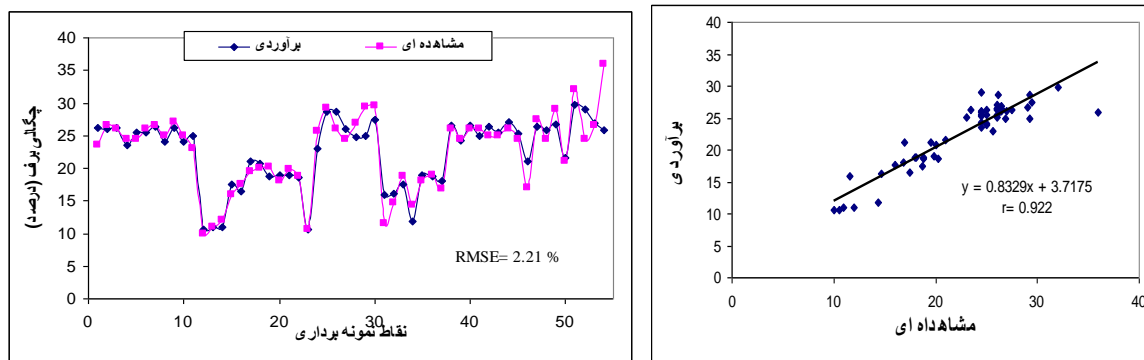
محاسباتی همگرا و تا ۱۰۰۰ تکرار محاسباتی مقادیر فوق حفظ گردیدند؛ بدین ترتیب، نتایج آرایش ۳-۶-۲ با ۲۷۰ تکرار محاسباتی به واسطه‌ی همگرایی در جواب از میانگین خطای کمتری برخوردار بوده و در مقایسه با دو آرایش دیگر قابل تأیید است.

پس از تعیین ساختار بهینه شبکه عصبی، نتایج اجرای ساختار بهینه بطور مجزا برای هر یک از متغیرهای خروجی مورد تجزیه قرار گرفتند. در شکل ۴ نتایج چگالی و ارتفاع آب معادل برف برآوردی با کاربرد از روش ANN با آرایش ۳-۶-۲ در کنار مقادیر مشاهده‌ی به دو صورت یک به یک و گروه زمانی ارائه شده، و در ترسیم این شکل از داده‌های آموزش و آزمایش شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردیده است.

شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش شمار نرونها از ۶ در لایه‌ی میانی به ۱۲ و ۱۸، شبکه به سمت همگرایی در جواب سوق نیافته است. به عبارت دیگر، افزایش تعداد نرونها در لایه‌ی میانی به خطای بیشتر و ضریب همبستگی کمتر منجر شده است. بایستی توجه داشت که افزایش تعداد نرونها در بخش میانی شبکه می‌تواند موجب خطر بیش‌برازشی (به‌خاطر سپردن مثالهای آموزشی و کم شدن توان پیش‌بینی) شبکه شود (یاوری و مهدوری، ۱۳۸۵). به نظر می‌رسد که شبکه با داشتن تعداد زیاد لایه‌های پنهان و نرونهای مربوط، بیش از اندازه براساس داده‌های دوره آموزش واسنجی می‌گردد، و قدرت انعطاف را برای الگوهای دیگر داده‌ای، از دست می‌دهد (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۸). ارزش آماره‌های RMSE و  $r$  برای هر سه آرایش نشان داد که آرایش ۳-۶-۲ پس از ۲۷۰ تکرار







شکل ۴- نتایج اجرای شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد ارتفاع آب معادل و چگالی برف نقاط نمونه‌برداری شده

نتایج برآوردهای ۳۵ ایستگاه برف‌سنجی سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۵ آورده شده‌اند.

### نتیجه‌گیری

فرایند ذوب برف حاصل برهم‌کنش اجزای مختلف اقلیمی و گیاتاشناسی می‌باشد. شبکه‌ی عصبی مصنوعی ابزار مناسبی در شبیه‌سازی عوامل مختلف برف است. در این پژوهش عوامل چگالی و آب معادل برف به کمک شبکه‌ی هوشمند عصبی برآورد شده که و با مقادیر مشاهداتی مقایسه گردیدند. نتایج نشان دادند عملکرد شبیه‌های عصبی در برآورد همزمان چگالی و آب معادل برف مناسب بود. شبیه شبکه عصبی طرح شده از اطلاعات موقعیت نسبی جغرافیایی نقاط برف‌سنجی در لایه ورودی استفاده کرد. این اطلاعات شامل طول، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای هر یک از نقاط بودند. اطلاعات مورد استفاده در گروه اطلاعات ثابت و زودیافت است که برای هر یک از ایستگاه‌های برف‌سنجی طی یک مرحله‌ی اندازه گرفته می‌شدند. این گروه اطلاعات در مقایسه با دیگر اطلاعات اقلیمی و گیاتاشناسی از خطای کمتری برخوردارند؛ از سویی، استفاده از اطلاعات هواشناسی در لایه‌ی ورودی شبکه‌ی عصبی مصنوعی نیازمند به تجهیز ایستگاه‌های متفاوت است که هزینه و وقت زیادی را می‌طلبند. بطور کلی می‌توان توانایی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد عوامل مربوط به برف را مشابه بسیاری از مسائل آبشناسی تأیید نمود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به جز در چند مورد، مقادیر برآورد شده با مقادیر مشاهده شده در حوضه‌ی آبخیز آذربایجان غربی بسیار نزدیک به هم می‌باشند که دلالت بر کارایی مناسب شبیه دارد. مقایسه‌ی نتایج هر دو متغیر خروجی نشان می‌دهد که شبیه پیشنهادی شبکه‌ی عصبی، هر یک از متغیرهای چگالی و آب معادل برف را با ضریب همبستگی ۰/۹۲ برآورد نموده است. به عبارت دیگر، شبیه پیشنهادی توانایی برآورد ۹۲ درصد از تغییرات چگالی برف و آب معادل برف را دارد.

عدم همخوانی برخی مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی بخصوص مقادیر حدی را می‌توان ناشی از تصادفی بودن پدیده‌های آبشناسی دانست (پوربخشیان و همکاران، ۱۳۹۰). همان‌گونه که از قبل نیز اشاره شد، همبستگی خوبی بین مقادیر برآوردی و واقعی وجود دارد. در این مطالعه ضریب همبستگی برای هر دو متغیر در حد ۰/۹۲ بود. طبری و همکاران (۱۳۸۸)، با لحاظ ۷ فراسنج ورودی موفق به برآورد همزمان ضخامت برف با ضریب همبستگی ۰/۸۴ در سراب کارون شدند. همچنین مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر با مطالعه‌ی معروفی و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیانگر دقت نتایج این پژوهش است. از طرفی، متغیرهای لحاظ شده در ورودی شبکه‌ی عصبی از جمله متغیرهای زودیافت جغرافیایی هستند که به کمک آنها می‌توان در پیش‌بینی و تحلیل متغیرهای آبشناسی برف استفاده کرد. از نتایج دیگر این مطالعه توانمندی شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌باشد که توانسته است به خوبی توزیع مکانی مشخصات برف منطقه مورد مطالعه را شناسایی کرده، و برآوردهای قابل قبولی را ارائه نماید. در نهایت، برای ارزیابی پایداری شبکه پیشنهادی،

## منابع

۱. پوربخشیان، س، م. ر. مجدزاده طباطبائی، س. موسوی ندوشنی، و ش. منصوری. ۱۳۹۰. شبیه تصادفی پیش بینی عمق آبستگي بستر رودخانه شریانی براساس تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها. نشریه آب و خاک. ۲۵: ۲۱۶-۲۲۹.
۲. حجام، س، و ز. شرعی پور. ۱۳۸۲. ذوب برف در حوضه آبخیز طالقان. پژوهش‌های جغرافیائی ۴۶: ۴۹-۶۲.
۳. رایگانی، ب، ج. خواجه‌الدین، س. سلطانی کویابی، و س. براتی. ۱۳۸۷. محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره های فاقد تصویر. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم. شماره چهل و چهارم. ۳۱۵-۳۳۱.
۴. رسولی، ع.ا، و س. ادهمی. ۱۳۸۶. محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده MODIS. فصلنامه جغرافیا و توسعه. و ۱۰: ۲۳-۳۶.
۵. زارع ابیان، ح، و م. بیات ورکشی. ۱۳۹۰. ارزیابی شبیه‌های هوشمند عصبی و تجربی در تخمین رواناب سالانه. نشریه آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی. ۲۵: ۳۷۵-۳۶۵.
۶. زارع ابیان، ح، م. بیات ورکشی، و ص. معروفی. ۱۳۹۰. محاسبه تبخیر تفرق واقعی گیاه سیر به روش شبیه‌سازی چندگانه تحت شرایط کاشت لایسیمتر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۸: ۸۹-۱۰۷.
۷. زارع ابیان، ح، م. بیات ورکشی، ص. معروفی، و ر. امیری چاپچان. ۱۳۸۹. ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج تطبیقی عصبی فازی در کاهش فراسنجهای تبخیر تفرق گیاه مرجع. آب و خاک. علوم و صنایع کشاورزی. ۲۴: ۲۹۷-۳۰۵.
۸. شریفی، م، ر، ع. م. آخوندعلی، و ج. پرهت. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات آب معادل برف با ارتفاع در مقیاس حوضه های کوچک (مطالعه موردی حوضه صمصامی از سرشاخه های کارون). هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۷ صفحه.
۹. شفیع علویه، ر. ۱۳۷۶. هیدرولوژی برف، مطالعه موردی سد امیرکبیر پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی کرج.
۱۰. طبری، ح، ص. معروفی، ح. زارع ابیان، ر. امیری چاپچان، م. ر. شریفی، و ع. م. آخوندعلی. ۱۳۸۸. مقایسه روشهای غیرخطی با روشهای هوش محاسباتی در برآورد توزیع مکانی آب معادل برف در سراب کارون. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳: ۲۹-۴۰.
۱۱. غیور، ح، م. ر. کاویانی، و ب. محسنی. ۱۳۸۳. برآورد سطح پوشش و مقدار ریزش برف در ارتفاعات شمال تهران مطالعه موردی حوضه رودخانه تجریش (دربند و گلابدره). فصلنامه تحقیقات جغرافیائی ۷۵: ۱۵-۳۳.
۱۲. فتاحی، ا، ک. نوحی، و م. دلاور. ۱۳۸۸. بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با نشانه‌های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیائی ۲۴ (۴ پیاپی ۹۵): ۱۰۹-۱۲۹.
۱۳. مشایخی، ت. ۱۳۶۹. استفاده از هیدرولوژی برف در بررسی‌های منابع آب، دفتر بررسی‌های منابع آب، بخش آبهای سطحی.
۱۴. معروفی، ص، ح. طبری، ح. زارع ابیان، م. ر. شریفی، و ع. م. آخوندعلی. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی آب معادل برف در یکی از زیرحوضه‌های کوهستانی کارون با استفاده از GIS (مطالعه موردی: زیرحوضه صمصامی). علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۶: ۲۹۱-۲۸۱.
۱۵. نجفی، م، ر، ج. شیخی‌وند، و ج. پرهت. ۱۳۸۳. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های برف-گیر با استفاده از شبیه SRM (مطالعه موردی حوضه سد مهاباد). علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱: ۱۱۱-۱۲۱.
۱۶. نکونام، ز، و ا. مزیدی. ۱۳۸۹. تحلیل پوشش برف در حوضه فخرآباد یزد. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. ۶ صفحه.
۱۷. وزارت نیرو. ۱۳۹۰. گزارش برف سنجی سال آبی ۹۰-۱۳۸۰. شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. معاونت پژوهش و مطالعات پایه. دفتر مطالعات پایه منابع آب.

- distribution of snow water equivalent using multivariate non-linear regression and computational intelligence methods. *Water Resour. Manage.* 24: 1417-1435.
27. Nasseh, S., Mohebbi, Sarrafi, A. A. and Taheri, M. 2009. Estimation of pressure drop in Venturi scrubbers based on annular two-phase flow model, artificial neural networks and genetic algorithm. *J. Chem. Eng.* 150: 131-138.
28. Roebber, P. J., Bruening, S. L. Schultz, D. M. and Cortinas, J. V. 2002. Improving snowfall forecasting by diagnosing snow density. *Weather and Forecast* 18: 264-287.
29. Salas, J. D., Boes, C. D. and Smith, R. A.. 1982. Estimation of ARIMA models with seasonal parameters. *Water Resour. Res.* 18: 1006-1010
30. Tedesco, M., Pulliainen, J., Takala, M., Hallikainen, M. and Pampaloni, P. 2004. Artificial neural network-based techniques for the retrieval of SWE and snow depth from SSM/I data. *Remote Sens. Environ.* 90: 76-85.
31. Wilding, L. P., and Drees, L. R. 1983. Spatial variability and pedology. P.83-116. In L.P. Wilding, N.E. Smeck, and G.F. Hall (ed), *Pedogenesis and soil taxonomy: I. Concepts and interactions.* Elsevier
۱۸. وفاه خواه، م.، م. محسنی ساروی، م. مهدوی، و س.ک. علوی پناه. ۱۳۸۷. کاربرد زمین آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوضه آبخیز اورازان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲: ۴۹-۵۵.
۱۹. یآوری، م.، و س. مهدوری. ۱۳۸۵. پیش‌بینی نرخ نفوذ ماشین‌های تونل‌بری با استفاده از شبکه‌های عصبی نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران (ویژه‌نامه مهندسی معدن). ۴۰ (۱): ۱-۱۲. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴۴): ۳۱۵-۳۳۱.
۲۰. همتی، ر.، س. محمدی، و م. معصوم زاده. ۱۳۹۰. امکان‌سنجی بارورسازی ابرها، گامی نوین در مدیریت تامین منابع آب کشاورزی استان اردبیل. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۵ صفحه.
21. Coulibaly, P., Anctil, F. and Bobee, B. 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. *Hydrol.* 230: p. 244-257.
22. Erickson, T. A., Williams, M. W. and Winstral, A. 2005. Persistence of topographic controls on the spatial distribution of snow in Rugged Mountain, Colorado, United States. *Water Resour. Res.* 41:1-17.
23. Goodinson, B. E., Rango, A. and Walker, A. E. 2000. Snow and ice. Remote sensing in hydrology and water management. Springer Pub., Berlin.
24. Keskin, M. E., Terzi, Ö. and Taylan, D. 2009. Estimating daily pan evaporation using adaptive neural-based fuzzy inference system. *Theor. Appl. Climatol.* 98:79-87.
25. Konosuke, S., Tsutomu, K., Yinsheng, Z., Mamoru, I. and Yoshihiro, I. 2006. Altitudinal distribution of snow water equivalent in the Tuul River Basin, Mongolia. *Int Workshop on Terrestrial Change in Mongolia.* 7 Pp.
26. Marofi, S., Tabari, H. and Zare Abyaneh, H. 2011. Predicting spatial