

برآورد آب معادل برف در استان کرمان جهت مدیریت منابع آب با استفاده از داده های سنجش از دور مایکروویو غیر فعال به روش شبکه های عصبی مصنوعی و تکنیک های رگرسیون چندگانه^۱

یاسر امینی^۲

عباس علیپور^۳

سیدمصطفی هاشمی^۴

سجاد باقری سیدشکری^۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۴/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۳۰

چکیده

پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده است و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را در ایجاد رواناب های سطحی و آب های زیرزمینی در حوضه های آبریز کشور ایفا می کند. آشکارسازی و تعیین ویژگی های مختلف برف و یخ با استفاده از داده های سنجش از دور، که در هیدرولوژی کاربرد وسیعی دارد، روش نوینی را در به دست آوردن پارامترهای مورد نیاز هیدرولوژی پدید آورده است. در این تحقیق با استفاده از دمای روشنایی واحد گمانه زن مایکروویو پیشرفته (AMSU-A) A، روی ماهواره های NOAA، و الگوریتم های مختلف بازایی (رگرسیون، شبکه های عصبی مصنوعی و...) آب معادل برف در حوضه های آبریز استان کرمان در فصل زمستان طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۶) محاسبه و صحت سنجی شده است. به دلیل عدم همزمانی اخذ داده های ایستگاهی و گذر ماهواره، طی دوره مورد مطالعه، در مجموع اطلاعات دیده بانی شده برای ۱۰۴ روز از پنج ایستگاه برف سنجی که تقریباً با اطلاعات مایکروویو ماهواره ای همزمان بوده اند از منطقه تحت بررسی گردآوری شده است. براساس نتایج به دست آمده، روش شبکه های عصبی مصنوعی با مقادیر شاخص های خطا ($MSE=0/11$ و $RMSE=0/05$) و حجم آب معادل برف (۴۵۹۲۷۰۰۰۰ مترمکعب) و پوشش برف ۱۰/۸۳ درصد روزانه برای ۱۰۴ روز انتخابی، برآورد بهتری نسبت به روش رگرسیون چندگانه با مقادیر شاخص های خطا ($MSE=7/51$ و $RMSE=2/74$) و حجم آب معادل برف (۵۳۰۳۴۷۵۰۰ مترمکعب) و الگوریتم بازایی آب معادل برف سنجده ی AMSU-A با برآوردهای مقادیر شاخص های خطا ($MSE=9/66$ و $RMSE=9/52$) و حجم آب معادل برف (۳۳۸۹۸۵۰۰۰ مترمکعب) داشت. این نتایج همچنین نشان می دهند که مشاهدات این گمانه زن پتانسیل بالایی را برای آشکارسازی پوشش برف دارد و استفاده از اطلاعات آن برای محاسبه آب معادل برف در مناطقی نظیر استان کرمان که با محدودیت ایستگاه های زمینی برف سنجی مواجه است پیشنهاد می شود. از آنجایی که این منطقه قابلیت ریزش برف را در فصل زمستان دارا می باشد بنابراین اطلاعات درباره آب معادل برف در این منطقه برای بسیاری از کاربردهای هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیم شناسی و همچنین تولید برق آبی و پیش بینی سیلاب ضروری است.

واژه های کلیدی: آب معادل برف، شبکه های عصبی مصنوعی، گمانه زن ماکروویو پیشرفته، استان کرمان

۱- این مقاله مستخرج از پروژه «برآورد آب معادل برف در استان کرمان جهت مدیریت منابع آب (با استفاده از اطلاعات مایکروویو ماهواره ای به روش شبکه های عصبی مصنوعی و تکنیک های رگرسیون چندگانه)» مرکز تحقیقات راهبردی دفاعی، گروه آماد و فن آوری دفاعی (پژوهشکده دانا) می باشد.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه هرمزگان (نویسنده مسئول) aminiyaser93@gmail.com

۳- استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه امام حسین amayesh@mtrd.ir

۴- دانشجوی دکتری تخصصی جغرافیای سیاسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران hashemi2006@gmail.com

۵- دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران sbagheri.geo@gmail.com

۱- مقدمه

برف به عنوان منبع حیاتی تأمین آب شیرین نقش برجسته‌ای را در چرخه‌ی جهانی آب بازی می‌کند (نچرالیم، ۲۰۱۰). اطلاعات درباره آب معادل برف در مقیاس منطقه‌ای برای بسیاری از کاربردهای هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی و همچنین تولید برق‌آبی و پیش‌بینی سیلاب ضروری است. محاسبات و برآورد ذخایر برفی جهت برآورد منابع آب و برنامه‌ریزی صحیح آن در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله کشور ایران، که دارای ریزش‌های فصلی برف می‌باشد، از اهمیت زیاد برخوردار است (بیرویدان، ۱۳۸۲). لذا بارش برف مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب، به‌ویژه در فصول گرم سال، محسوب می‌گردد (فتنریور و همکاران، ۱۳۸۴). درحوضه‌های آبخیز کوهستانی و مرتفع، ذوب برف و رواناب حاصل از آن سهم عمده‌ای در تولید جریان و تأمین منابع آب دارد. به‌طورمتوسط ۶۲٪ سطح نیمکره شمالی در اواسط زمستان پوشیده از برف است. بیش از ۳۲٪ سطح زمین بارش فصلی برف دارد و حدود ۱۲٪ آن به‌طور دائم از برف و یخ پوشیده شده است (دویزیر، ۱۹۸۹). ارتفاعات استان کرمان، دنباله رشته کوه‌های مرکزی ایران است که از چین‌خوردگی‌های آتش‌فشانی آذربایجان شروع شده و به‌طرف بلوچستان کشیده می‌شود و امتداد آن‌ها چندین بار در فلات مرکزی به‌وسیله حوضه‌های پست داخلی و کویر قطع می‌گردد. بخش قابل‌توجهی از به آب رها در کوه‌های کرمان به صورت برف می‌باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را در ایجاد رواناب‌های سطحی ایفا می‌کند. در این راستا، مشکل اصلی، نداشتن شبکه‌های مترکم برف‌سنجی، مستمر نبودن اندازه‌گیری‌ها و همچنین عدم دسترسی به مناطق برف‌گیر دور دست و صعب‌العبور می‌باشد. برای رفع این نقیصه، سنجش‌ازدور که یک تکنیک مهم برای مطالعات محیطی است، می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد مدنظر قرار گیرد (جاوید انباردان، ۱۳۸۲). از کاربردهای مهم

سنجش‌ازدور در هیدرولوژی برآورد پارامترهای مربوط به برف، از جمله سطح پوشیده از برف (SCA^1) و آب معادل برف (SWE^2) را می‌توان نام برد. آب معادل برف پارامتر مهم هیدرولوژیکی است که به‌عنوان مقدار آبی که از ذوب برف به دست می‌آید تعریف می‌شود (هال، ۲۰۰۵). اطلاعات سنجش‌ازدور به دلیل دید یکپارچه و وسیع، قابلیت تفکیک طیفی بالا، جمع‌آوری مکرر و ارزان اطلاعات در مقایسه با سایر روش‌های جمع‌آوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر این به کارگیری این روش موجب افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی عظیم زمانی، مالی، انسانی و به دست آوردن نتایج دقیق و ارزشمند علمی می‌شود (جاوید انباردان، ۱۳۸۲). در بین گستره طیفی مورد استفاده در سنجش‌ازدور، سنجنده‌های مایکروویو، به دلیل قابلیت عبور از ابر، تنها ابزارهای سنجش‌ازدور فضا مینا می‌باشند که می‌توانند اطلاعاتی درباره‌ی برف و یخ‌برف فراهم کنند. این مزیتی است که در دورسنجی با امواج مرئی و فرسرخ امکان‌پذیر نیست، با این حال تجزیه‌وتحلیل پیچیده‌ی داده‌های مایکروویو از نقایص این روش دورسنجی است. ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری برف توسط امواج مایکروویو، شامل عمق آب معادل، محتوای آبی، چگالی، اندازه و شکل ذرات، دما، و همچنین حالت برف (خشک / مرطوب) و پوشش زمین، می‌باشند (روشنی، ۱۳۸۷).

بخش عظیمی از ایران، شامل مناطق خشک و نیمه‌خشک است به‌گونه‌ای که تمامی این مناطق کم‌وبیش با بحران آب مواجه‌اند. در همین مناطق و در حوضه‌های آبخیز کوهستانی، بخشی از بارش سالانه به‌صورت برف نازل می‌شود. استان کرمان با وسعتی معادل ۱۷۵۰۶۹ کیلومترمربع پهناورترین استان کشور بوده و دارای آب‌وهوای خشک تا فراخشک می‌باشد. با توجه به این که استان کرمان با بحران آب مواجه است و همچنین از دریاچه‌های آب شیرین و رودخانه‌های بزرگ دور است، عملاً استفاده از منابع آب جایگزین در این

2- Snow Cover Area

3- Snow Water Equivalent

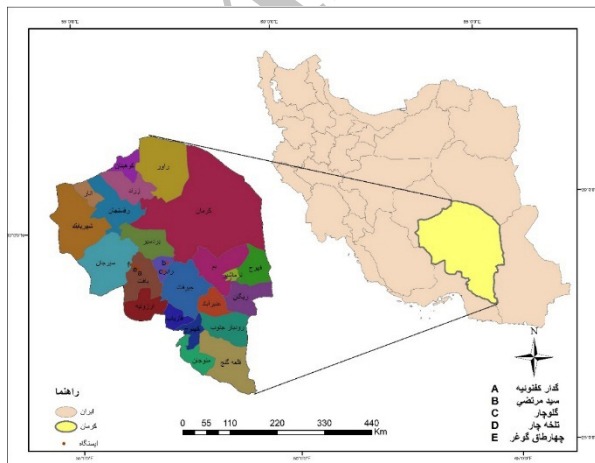
4-Hall

1-Naturalium

استان کرمان می‌باشند که طی یک دوره ۱۰ ساله برای فصل زمستان محاسبه و صحت سنجی شده است. کرمان با در بر گرفتن بیش از ۱۱ درصد از وسعت ایران و حدود ۱۸۱/۷۸۵ کیلومترمربع یکی از پهناورترین استان‌های ایران می‌باشد. این استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد، که از شمال به استان خراسان جنوبی، از غرب به استان‌های یزد و فارس، از جنوب به هرمزگان و از شرق به استان سیستان و بلوچستان محدود می‌شود. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ و برای سهولت رؤیت پراکندگی ایستگاه‌ها، توزیع جغرافیایی آنها نیز در نگاره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های

مورد مطالعه			
نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر
گدارکف‌نویه	۲۹°۱۵'۱۵"	۵۶°۲۲'۱۲"	۲۹۰۲
سیدمرتضی	۲۹°۱۸'۳۶"	۵۷°۷'۱۲"	۲۱۹۷
گلوچار	۲۹°۱۰'۱۲"	۵۷°۱'۴۸"	۲۲۰۳
تلخه‌چار	۲۹°۱۲'۳۶"	۵۶°۲۵'۴۸"	۲۹۰۴
چهارطاق‌گوغر	۲۹°۱۸'۳۶"	۵۶°۱۵'۰۰"	۳۰۰۰



نگاره ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان امکان‌پذیر نمی‌باشد، بنابراین تنها راه ممکن جهت کاهش مشکلات، مدیریت صحیح و استفاده بهینه از منابع موجود است. با توجه به این‌که برف از منابع موجود در این منطقه می‌باشد و تاکنون تحقیقی در این زمینه برای استان کرمان صورت نگرفته، بازیابی آب معادل برف امری ضروری می‌باشد. از آنجایی‌که ایستگاه‌های زمینی در این منطقه معدوم می‌باشد، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ابزار سنجش‌ازدور یک روش مفید می‌باشد.

باوجود اینکه مطالعات گسترده‌ای در سطح جهانی به منظور برآورد آب معادل برف با استفاده از اطلاعات مایکروویو ماهواره‌ای انجام شده، اندازه‌گیری این پارامتر با استفاده از اطلاعات مایکروویو، در کشور، انجام نگرفته و یا اگر مطالعاتی هم انجام شده محدود به اطلاعات سنجه‌های مایکروویو نسل‌های قبلی است که از توان تفکیکی مناسبی برخوردار نیستند.

هدف این مطالعه بررسی پتانسیل نسل جدید تابش سنجه‌ای مایکروویو، یعنی واحد گمانه‌زن مایکروویو پیشرفته (AMSU)، برای برآورد پارامترهای برف از جمله پوشش و آب معادل برف در حوضه‌های برف خواب استان کرمان و وضعیت آبی این منطقه از لحاظ ذخیره برفی است. به دلیل محدودیت ایستگاه‌های برف‌سنجی، نتایج فقط برای حوضه‌های آبریز استان کرمان، که مشاهدات ایستگاهی در آن قابل دسترس بوده است، اعتبارسنجی شده‌اند. ابتدا الگوریتم اندازه‌گیری آب معادل برف مربوط به سنجنده‌ی AMSU-A، که توسط تیم تحقیقاتی NOAA پیشنهاد شده، بر روی محدوده‌ی مطالعاتی اعتبارسنجی می‌شود و سپس روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک رگرسیون چندگانه برای اصلاح آن مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- روش تحقیق

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه‌های برف‌خیز

$$y = 100 \frac{p_s}{p_w} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه y چگالی ویژه برف، p_s چگالی برف، p_w چگالی آب می‌باشد. معادل برفی را می‌توان از این رابطه بدست آورد:

$$Swe = y * d_s \quad \text{رابطه (۳)}$$

آب معادل برف برحسب متر و چگالی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب حاصل می‌شود.

۲-۴-۲- واحد گمانه‌زن مایکروویو پیشرفته AMSU

نصب تابش سنج‌های مایکروویو روی ماهواره‌های مدار قطبی یک گام بزرگ در تاریخ گمانه‌زنی جو و بازیابی پارامترهای سطحی از فضا محسوب می‌شود. واحد گمانه‌زن مایکروویو پیشرفته (AMSU) نسل جدید تابش‌سنج‌های مایکروویو است که برای این منظور طراحی شده است. این گمانه‌زن ۲۰ کانال دارد و از سه مدول مجزا، AMSU-A (کانال‌های ۱ و ۲)، و AMSU-B (کانال‌های ۳-۱۵)، تشکیل شده است.

لازم به توضیح است که دو مدول AMSU-A1 و AMSU-A2 با هم تحت نام AMSU-A شناخته می‌شوند. این سه مدول با همدیگر تابش حرارتی مایکروویو گسیلی از سطح زمین و جو آن را در باند اکسیژن از ۵۰ تا ۵۸ گیگاهرتز، دو خط جذبی بخار آب در ۲۲ و ۱۸۳ گیگاهرتز و چندین کانال پنجره جوی در بین این خطوط را اندازه می‌گیرند (جدول ۳). جدول ۳ شماره کانال و باند فرکانسی سه مدول گمانه‌زن AMSU را نشان می‌دهد. کانال‌های ۱، ۲، ۳، ۱۵ و ۱۶ نسبت به تابش گسیلی از سطح، کانال‌های ۴ تا ۱۴ کانال‌های گمانه‌زنی دمای جوی و کانال‌های ۱۷ تا ۲۰ کانال‌های گمانه‌زنی رطوبت می‌باشند و به تابش گسیلی از لایه‌های مختلف جو از سطح زمین تا ارتفاع تقریبی ۵۰ کیلومتر حساس‌اند (م، ۲۰۰۸).

این ابزار سنجش تاکنون بر روی ۶ ماهواره عملیاتی NOAA نصب شده است که هر کدام در زمان‌های مختلفی از شبانه‌روز فضای ایران را پوشش می‌دهند (جدول ۴). جدول

۲-۲- داده‌ها و اطلاعات

۱-۲-۲- داده‌های زمینی

داده‌های زمینی موردنیاز جهت انجام تحقیق شامل ۵ ایستگاه برف سنجی (جدول ۱) در طی دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله می‌باشد که ۱۰۴ روز داده دریافت شد.

۲-۲-۲- داده‌های سنجش از دور

جهت انجام تحقیق از سنجنده AMSU-A ماهواره NOAA استفاده گردید. مشخصات کانال‌های مورد استفاده و تعداد تصاویر (این تصاویر از منبع <http://www.class.ncdc.noaa.gov> جهت برآورد آب معادل برف در جدول شماره ۲ مشاهده می‌گردد).

جدول ۲: مشخصات کانال‌های مورد استفاده در

تحقیق

کانال	سنجنده	رزولوشن مکانی (کیلومتر مربع)	طول موج (GHz)	تعداد تصاویر
۱	AMSU-A	۲۵	۲۳/۸	۱۰۴
۲	AMSU-A	۲۵	۳۱/۳	۱۰۴

۲-۳- محاسبه آب معادل برف در ایستگاه‌های زمینی

آب معادل برف عمق آبی است که در نتیجه ذوب کامل توده برف حاصل می‌شود (پوگیو و گینوما، ۲۰۱۵). به عبارت دقیق‌تر، ارتفاع آب حاصل از ذوب ستونی از یک پشته که در آن تبخیر و یا خروج آب صورت نگیرد، که مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$swe = p_s * d_s \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه swe معادل آب برفی، p_s چگالی برف، d_s عمق برف می‌باشد.

آب معادل برف را همچنین می‌توان از طریق چگالی ویژه برف نیز محاسبه نمود که چگالی ویژه از رابطه زیر حاصل می‌شود:

۲-۵- دمای تابشی واحد گمانه‌زن مایکروویو

پیشرفته AMSU-A (A)

طبق تعریف پلانک تمام اجسامی که دمایی بالاتر از صفر کلونین دارند از خود تابش گسیل می‌کنند. تابش گسیلی از یک جسم سیاه با رابطه زیر، که به رابطه پلانک مشهور

$$B_{\lambda} = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda T}\right)} \gg B_{\lambda}(T) = \frac{C_1\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)-1} \quad (4)$$

است، داده می‌شود. C_1 ثابت بولتزمن، T دمای مطلق برحسب کلونین و C_2 و C_1 ثابت‌های تابشی هستند. در طول موج‌های در حد میلیمتر و سانتیمتر و دماهای موجود در زمین و جو آن کمیت $\ll 1$ است. در نتیجه $\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)$ را می‌توان با $1 + \frac{C_2}{\lambda T}$ تقریب زد. با اعمال این تقریب بر معادله پلانک خواهیم داشت:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{C_1}{C_2} \lambda^{-4} T \quad (5)$$

این رابطه که به‌عنوان تقریب ریلی جینز شناخته می‌شود، به‌سادگی بیان می‌کند که در ناحیه مایکروویو طیف، تابش گسیلی از جسم با دمای آن متناسب است. در حقیقت، در ناحیه مایکروویو، معمول است که تابندگی (تابش گسیلی) را بر مقدار $\frac{C_1}{C_2} \lambda^{-4}$ تقسیم و خارج قسمت به‌عنوان دمای تابشی^۲ معرفی می‌شود:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{C_1}{C_2} \lambda^{-4} T \gg T_B = \frac{C_1}{C_2} \lambda^4 B_{\lambda}(T) \quad (6)$$

اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای به صورت تابندگی تک‌فام $(B_{\lambda}(T))$ است که در مرکز پیش‌پردازش داده‌ها مطابق با رابطه‌ی شماره ۶ به دمای تابشی (T_B) تبدیل و به‌عنوان داده‌های Level 1B در آرشیو داده‌های ماهواره‌ای ذخیره می‌گردند.

۲-۶- الگوریتم بازیابی آب معادل برف سنجنده‌ی

AMSU-A

همانطور که در بخش ۲-۴ ذکر شد، کانال‌های ۱، ۲، ۳ و ۱۵ تابش سنج AMSU-A، که مجموعاً به‌عنوان کانال‌های پنجره جوی شناخته می‌شوند، دمای تابشی نزدیک سطح زمین را اندازه می‌گیرند و در نتیجه نسبت به پارامترهای

۴ نوع مدار و تاریخ پرتاب این ماهواره‌ها را نشان می‌دهد. این ماهواره‌ها همگی از ارتفاع تقریبی ۸۵۰ کیلومتری هر ۱۰۲ دقیقه یک‌بار زمین را دور می‌زنند و هر نقطه در روی زمین دو بار در شبانه‌روز در معرض دید هر ماهواره قرار می‌گیرد. با وجود ۶ ماهواره در مدار بنابراین هر موقعیت خاص در روی زمین را می‌توان ۱۲ بار در شبانه‌روز مشاهده کرد. تابش سنج AMSU عمود بر رد ماهواره با عرض برداشت تقریبی ۲۳۰۰ کیلومتر عمل اسکن را انجام می‌دهد. جزئیات بیشتر درباره‌ی این تابش سنج را می‌توان در مرجع مذکور یافت.

جدول ۳: شماره کانال و باند فرکانسی تابش سنج AMSU

Instrument	Channels	(Frequencies)(GHz)
AMSU-A2	1	23.8
	2	31.4
AMSU-A1	3	50.3
	4	52.8
	5	115.53.59±
	6	54.4
	7	54.9
	8	55.5
	9	57.2
	10	217.57.29±
	11	048.322±.57.29±
	12	022.322±.57.29±
	13	010.322±.57.29±
	14	0045.322±.57.29±
	15	89.0
AMSU-B	16	89.0
	17	150.0
	18	183.3±1
	19	183.3±3
	20	183.3±7

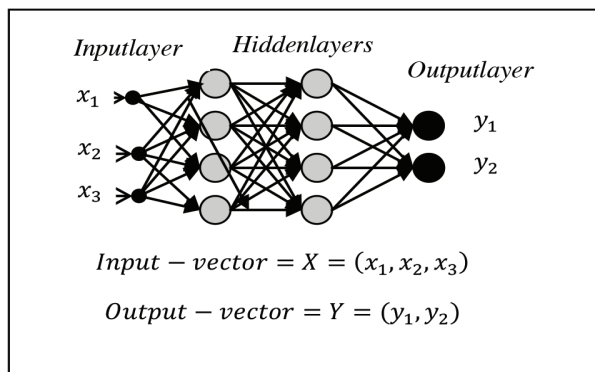
جدول ۴: مدار و تاریخ پرتاب ماهواره‌های هواشناسی NOAA

ماهواره	مدار(زمان عبور از استوا)	تاریخ پرتاب
NOAA-15	قبل از ظهر (۰۷:۳۰)	۱۳ می ۱۹۹۸
NOAA-16	بعدازظهر	۲۱ سپتامبر ۲۰۰۰
NOAA-17	قبل از ظهر(۰۰:۱۰)	۲۴ جون ۲۰۰۲
NOAA-18	بعدازظهر	۲۰ می ۲۰۰۵
METOP-A	قبل از ظهر	۱۹ اکتبر ۲۰۰۶
NOAA-19	بعدازظهر	۶ فوریه ۲۰۰۹

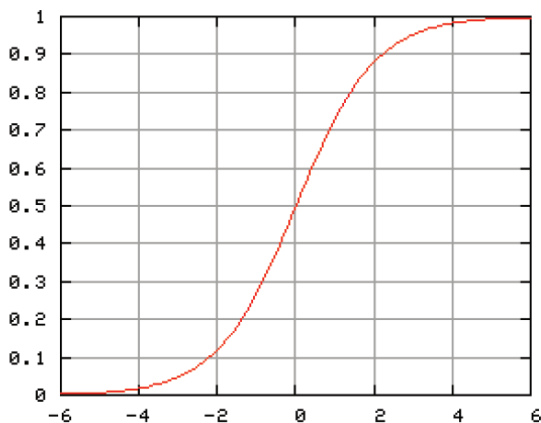
1- Rayleigh - Jeans

2- Brightness temperature

یک نورون مجموع وزنه‌ای اتصالات آن است که به جلو منتقل می‌شود و یکی از ورودهای نورون‌ها در لایه بعدی شبکه را تشکیل می‌دهد به طور ضمنی جهت پردازش اطلاعات را نیز بیان می‌کند. از این رو این نوع شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای به عنوان شبکه‌های عصبی پیش‌خوران شناخته می‌شوند. ساختار شبکه عصبی چندلایه‌ای متغیر است، اما در حالت کلی شامل چندین لایه از نورون‌ها خواهد بود. لایه ورودی هیچ نقش محاسباتی در بردار و صرفاً وظیفه‌اش انتقال بردار ورودی به شبکه است.



نگاره ۲: یک شبکه عصبی با دو لایه میانی



نگاره ۳: تابع لجستیک $(y = \frac{1}{1+e^{-ax}})$

اگر تابع انتقال خطی باشد در آن صورت شبکه عصبی چندلایه‌ای فقط قادر است توابع خطی را مدل‌سازی کند. به دلیل سادگی در محاسبه مشتق، معمولاً تابع لجستیک، همان‌طوری

سطح زمین از جمله پوشش برف و آب معادل برف حساس هستند. داده‌های AMSU-A که به طور گسترده در بسیاری از برنامه‌های کاربردی نوآ و در سراسر جهان به منظور تولید محصولاتی برای پیش‌بینی آب و هوا، گمانه‌زنی دمای جوی، تجزیه و تحلیل روند تغییر اقلیم و مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ برحسب تابندگی و یا دمای تابشی قابل دسترس می‌باشند (م، ۲۰۰۸). الگوریتم اندازه‌گیری آب معادل برف مربوط به سنجنده‌ی AMSU-A توسط سزار کنگولی، از همکاران تیم تحقیقاتی سازمان ملی جو و اقیانوس (NOAA) در سال ۲۰۰۶ ارائه گردیده است. در این الگوریتم که دمای تابشی کانال‌های ۱ و ۲، یعنی مدل AMSU-A2، بکار رفته به صورت زیر تعریف می‌شود (کنگولی و همکاران، ۲۰۰۶)

$$SWE = K_1 + K_2(TB_1 - TB_2) \quad (7)$$

که در آن TB_1 دمای تابشی کانال ۲۳/۸ گیگاهرتز و TB_2 دمای تابشی کانال ۳۱/۴ گیگاهرتز روی سنجنده‌ی AMSU-A می‌باشد. در این رابطه، K_1 و K_2 ضرایب تجربی هستند و از طریق رگرسیون به دست می‌آیند. بر اساس مطالعات منطقه‌ای در ایالات متحده‌ی آمریکا این ضرایب، $K_1 = 2/6$ و $K_2 = 0/39$ به دست آمده و SWE ، آب معادل برف برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

۷-۲- روش شبکه‌های عصبی

شبکه عصبی چندلایه‌ای، همان‌طور که در نگاره ۲ نشان داده شده، شامل دستگاه ساده‌ای از نورون‌های (گره‌های) مرتبط باهم است که در آن ارتباط بین یک بردار ورودی و یک بردار خروجی با یک نگاشت غیرخطی نمایش داده می‌شود. نورون‌ها به وسیله وزن‌ها به هم متصل شده و سیگنال خروجی هر نورون، که تابعی از مجموع ورودی‌های آن است، توسط یک تابع تبدیل غیرخطی ساده (که تابع تحریک نامیده می‌شود) جایگزین می‌شود. این برهم‌نهی تعدادی تابع انتقال غیرخطی ساده است که شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای را قادر می‌سازد تا توابع بدخیم غیرخطی را تخمین بزنند. خروجی

ایبانه، ۱۳۹۱). شبکه‌های عصبی نسبت به روش‌های معمولی بازیابی به چند دلیل برتری دارند. اولین و مهم‌ترین برتری شبکه‌های عصبی این است که آن‌ها به هیچ فرض قبلی در ارتباط با توزیع داده‌های آموزشی نیاز ندارند. فایده دیگر روش شبکه‌های عصبی این است که هیچ تصمیمی در ارتباط با اهمیت نسبی اندازه‌گیری‌های ورودی مختلف لازم نیست گرفته شود. در طی مرحله آموزش وزن‌ها اصلاح شده تا اندازه‌گیری‌های ورودی دقیق‌تر انتخاب شوند. با این همه شبکه‌های عصبی داروی همه دردها نیستند.

در این تحقیق برای برآورد آب معادل برف، شبکه عصبی تک لایه با الگوریتم پس انتشار خطا برگزیده شد که نرم‌افزار Terminal حاوی SNNS با ورژن ۴٫۲ استفاده شد. این نرم‌افزار در محیط لینوکس اجرا می‌گردد. لایه‌های ورودی در این روش، داده‌های دمای روشنایی باند یک و باند دوم ماهواره می‌باشد. تعداد نورون‌ها در هر لایه بر اساس آزمون و خطا بین دو تا ده نورون تغییر داده شد. ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمون شبکه انتخاب شد. اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود (کوچک‌زاده، ۱۳۸۴). از اینرو برای جلوگیری از اشباع زودهنگام نورون‌ها و یکسان‌سازی ارزش داده‌ها برای شبکه، بایستی ورودی آنها در محدوده‌ی معینی بین ۱ و ۱- نرمالیزه شود. در این تحقیق، کلیه داده‌های مورد استفاده در شبکه‌ی عصبی مصنوعی مطابق رابطه‌ی زیر بین ۰ و ۱ نرمالیزه شده‌اند (کومار و همکاران، ۲۰۰۲):

$$X_{normal} = \frac{X_0 - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در رابطه فوق X_0 داده خام (ورودی یا خروجی)، X_{min} و X_{max} مقادیر کمینه و بیشینه‌ی X_0 در فایل داده‌های ورودی یا خروجی و X_{normal} مقدار نرمالیزه کمیت X_0 است.

جهت نرمالیزه کردن داده‌های ایستگاهی از رابطه زیر استفاده گردید (رضوانیزاده، ۱۳۹۲):

$$X_{normal} = \frac{X_0}{X_{max}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در نگاره ۳ نمایش داده شده، به‌عنوان تابع انتقال^۱ بکار می‌رود. یک شبکه عصبی چندلایه‌ای ممکن است یک یا چندلایه میانی^۲ نیز داشته باشد و نهایتاً یک لایه خروجی^۳ دارد. شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای به عنوان شبکه‌های کاملاً متصل شده^۴، که در آن هر نورون به همه نورون‌ها در لایه‌ی قبلی و بعدی شبکه (لایه‌های مجاورش) متصل شده است، معرفی می‌شوند (کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴).

با انتخاب مجموعه مناسبی از وزنه‌ای اتصالات و تابع انتقال، شبکه عصبی چندلایه‌ای می‌تواند هر تابع هموار و اندازه‌پذیری را بین بردارهای ورودی و خروجی تخمین بزند. شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای توانایی یادگیری از طریق آموزش را دارند. آموزش نیازمند مجموعه‌ای از اطلاعات آموزشی است که شامل مجموعه‌ای از بردارهای ورودی و خروجی متناظر می‌باشند. هنگام آموزش، شبکه عصبی چندلایه‌ای مکرراً با اطلاعات آموزشی جدید مواجه شده و وزن‌ها در شبکه اصلاح می‌شوند تا اینکه نگاهت موردنظر حاصل شود. شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای به روش نظارتی^۵ آموزش می‌بینند. در طی آموزش، خروجی شبکه عصبی چندلایه‌ای، برای یک بردار ورودی داده شده، ممکن است مساوی خروجی موردنظر نباشد. در این حالت، سیگنال خطا به صورت اختلاف بین خروجی موردنظر و خروجی واقعی تعریف می‌شود. بزرگی این سیگنال خطا، برای تعیین مقدار درجه‌ای از وزن‌ها که باید هنگام آموزش تغییر داده شود، به طوری که در مجموع خطای شبکه عصبی چندلایه‌ای کاهش یابد، بکار می‌رود. تعداد زیادی الگوریتم وجود دارند که می‌توانند برای آموزش شبکه عصبی چندلایه‌ای بکار روند. وقتی که آموزش با داده‌های آموزشی فراگیر (جامع) و به طور مناسبی انجام شود، شبکه عصبی چندلایه‌ای قادر است به اطلاعات جدید که قبلاً ندیده تعمیم یابد (زارع،

- 1- Activation function
- 2- Hidden layer
- 3- Output layer
- 4- Fully connected
- 5- Supervised

۲-۸- روش رگرسیون چندگانه، که در رابطه فوق X_0 داده خام (ورودی یا خروجی)،

رگرسیون چندگانه به بررسی متغیر وابسته‌ای می‌پردازد که به صورت خطی، به چند متغیر کنترل شده ارتباط دارد (بایزیدی و همکاران، ۱۳۹۱).

در این روش که در محیط نرم افزار 5 origin اجرا شده است آب معادل برف به عنوان متغیر وابسته و عوامل مؤثر در آن (مانند دماهای تابشی دو کانال سنجنده AMSU-A) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده است. داده‌های آموزش و آزمون نیز همان داده‌های مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به کار رفته در این تحقیق می‌باشند.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج حاصل از الگوریتم سنجنده و اعتبارسنجی آن

برای اعتبارسنجی الگوریتم، ابتدا داده‌های آب معادل برف مربوط به ۵ ایستگاه برف‌سنجی حوضه‌های آبریز استان کرمان، در دوره ۱۰ ساله ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ برای فصل زمستان از سازمان تحقیقات منابع آب کشور وابسته به وزارت نیرو و همچنین سازمان آب منطقه‌ای کرمان اخذ گردید. پس از آن، اطلاعات میکروویو ماهواره‌ای متناظر با تاریخ روزهایی که گزارش آب معادل برف داشته‌اند، از واحد گمانه‌زن میکروویو پیشرفته (AMSU-A) روی ماهواره‌ی مدار قطبی NOAA از وب سایت <http://www.class.noaa.gov> اخذ شد. لازم به توضیح است که ممکن است همه‌ی عبورهای ماهواره ایستگاه‌های انتخابی را پوشش ندهند به همین دلیل تعداد کل داده‌های جمع‌آوری شده برابر ۱۲۰

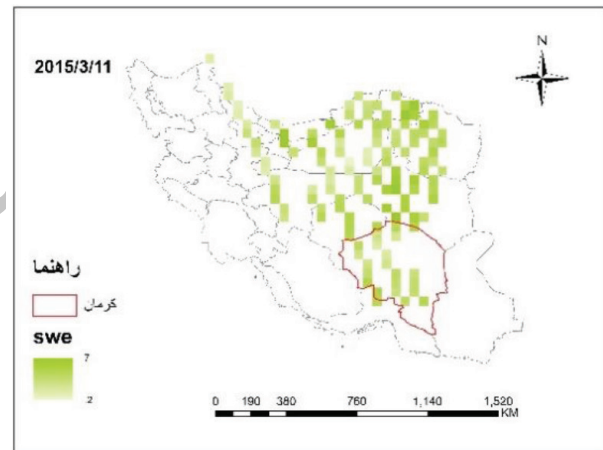
ارزیابی عملکرد و انتخاب بهترین روش با توجه به محاسبه شاخص‌های آماری زیر تعیین شد (جولیف ۲۰۰۳):

الف) ریشه میانگین مجذور خطا: این شاخص از رابطه

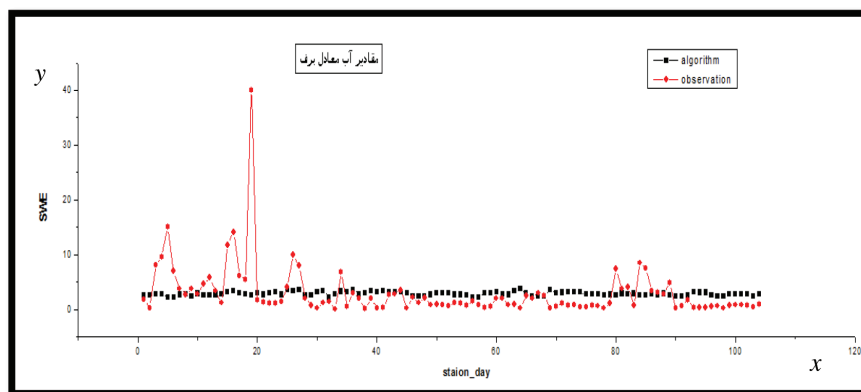
زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2 \right]^{1.2} \quad (10)$$

که در آن F_i مقدار پیش‌بینی شده (مقدار خروجی واقعی محاسبه‌شده)، O_i مقدار مشاهده‌شده و N_i تعداد داده‌ها می‌باشد.



نگاره ۴: نقشه آب معادل برف حاصل از اجرای الگوریتم سنجنده AMSU-A برای بخشی از کشور



نمودار ۱: مقادیر آب معادل برف بدست آمده توسط الگوریتم سنجنده (محور x برای روز ۱۰ سال) و محور y برحسب میلی متر)

۲-۳- نتایج حاصل از بازیابی آب معادل برف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی
۳-۲-۱- آماده‌سازی ورودی‌ها و طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی متشکل از ترکیبات دمای تابشی دو کانال گمانه‌زن AMSU-A به‌عنوان ورودی انتخابگر دیدند و با تکرار آموزش شبکه عصبی با ساختارهای مختلف، یعنی یک لایه میانی و همچنین تغییر تعداد نورون‌ها در هر لایه، مقدار خطای آموزش و آزمون محاسبه گردید که نتایج حاصل از این خطاها و انتخاب بهترین ساختار حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶: خطای آموزش (SSE) مدل‌ها با ورودی دمای تابشی دو کانال گمانه‌زن AMSU-A برای فصل زمستان

مدل‌های شبکه عصبی	خطای آموزش	مدل‌های شبکه عصبی	خطای آموزش
۲-۲-۱	۱/۲۸۰	۲-۱۲-۱	۱/۲۷۶
۲-۳-۱	۱/۲۸۴	۲-۱۳-۱	۱/۹۳۳
۲-۴-۱	۱/۲۷۵	۲-۱۴-۱	۱/۲۶۰
۲-۵-۱	۱/۲۸۰	۲-۱۵-۱	۱/۲۷۶
۲-۶-۱	۱/۲۸۴	۲-۱۶-۱	۱/۲۸۰
۲-۷-۱	۱/۹۹	۲-۱۷-۱	۱/۲۶۳
۲-۸-۱	۱/۲۸۳	۲-۱۸-۱	۱/۲۸۳
۲-۹-۱	۱/۲۰۲	۲-۱۹-۱	۱/۲۸۱
۲-۱۰-۱	۱/۱۳۵	۲-۲۰-۱	۱/۲۷۷
۲-۱۱-۱	۱/۲۶۳		

پس از اینکه شبکه مورد آموزش قرار گرفت، ساختاری که در آن کمترین خطا مشاهده شد به‌عنوان ساختار منتخب (۱-۱۰-۲)، انتخاب گردید. در نهایت این ساختار بر روی داده‌های آزمون اجرا گردید و خطای آزمون محاسبه گردید که نتایج این ساختار، وزن‌های بین این لایه‌ها و میزان خطای آزمون در جدول ۷ و ۸ نمایش داده شده است.

داده می‌باشد که پس از صحت‌سنجی، تعداد داده‌ها به ۱۰۴ روز تقلیل یافت. با توجه به اینکه در الگوریتم بازیابی آب معادل برف (رابطه‌ی ۴) فقط دمای تابشی کانال‌های اول و دوم سنجنده مورد استفاده قرار می‌گیرد در نتیجه دمای تابشی کانال‌های فوق و برای ایستگاه‌های انتخابی استخراج گردید. سپس الگوریتم آب معادل برف برای فصل زمستان اجرا گردید که نتایج آن در نمودار ۱ ارائه گردیده است.

نمودار ۱ نتایج آب معادل برف حاصل از اجرای الگوریتم با مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی ایستگاهی برای فصل زمستان را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد دامنه‌ی تغییرات مقدار برآورد شده از الگوریتم بازیابی آب معادل برف بسیار کم و کمتر از ۳ میلیمتر است (نقاط مشکی در نمودار) درحالی‌که دامنه‌ی تغییرات مقدار مشاهده‌شده در ایستگاه‌ها (نقاط قرمز در نمودار) به‌خصوص در قسمت ابتدایی نمودار بسیار گسترده و بین صفر تا ۴۰ میلیمتر در تغییر است. نقشه آب معادل برف (نگاره ۴) نیز حاکی از آن است که در برخی از نقاط ایستگاهی، الگوریتم سنجنده، آب معادل برف را صفر برآورد کرده در حالیکه اندازه‌گیری‌های زمینی گزارش آب معادل برف داشته‌اند. برای آشکارسازی خطای موجود، شاخص‌های آماری که بیشتر توضیح داده شدند (روابط ۷ و ۸) برای فصل مورد مطالعه محاسبه و در جدول ۵ داده شده است (جهت اعتبارسنجی از ۱۰۴ روز ایستگاه زمینی استفاده گردید).

جدول ۵: نتایج حاصل از برآورد آب معادل برف توسط الگوریتم سنجنده نسبت به مقادیر واقعی در فصل زمستان

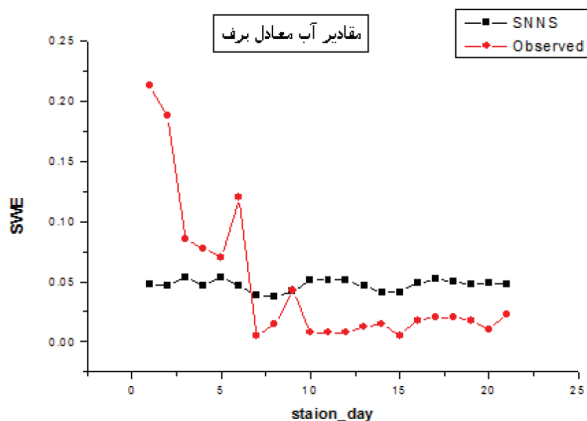
زمان	RMSE	MSE
زمستان	۹/۵۲	۹۰/۶۶

دو راه برای بهبود بازیابی، مورد آزمون قرار گرفته است:

- اصلاح ضرایب الگوریتم بر اساس روش رگرسیون چندگانه و پیدا کردن ضرایب، متناسب با شرایط آب و هوایی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه
- استفاده از متدهای دیگر نظیر شبکه عصبی

نتایج برآورد آب معادل برف توسط ساختار منتخب (۱-۱) در فصل زمستان بین داده‌های مقادیر مشاهده شده و مقادیر حاصل از شبکه عصبی برای داده‌های آموزش و آزمون برای فصل زمستان در دو نمودار ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

نقشه آب معادل برف (نگاره ۵) نیز حاکی از آن است که در برخی از نقاط ایستگاهی، الگوریتم سنجنده، آب معادل برف را صفر برآورد کرده در حالیکه اندازه‌گیری‌های زمینی گزارش آب معادل برف داشته‌اند.



نمودار ۲: روزهای مورد آموزش

برای آشکارسازی خطای موجود، چهار شاخص آماری مرسوم یعنی ریشه میانگین مربعی خطا (RMSE)، میانگین مربع خطا (MSE)، میانگین (Mean) و درصد خطا (%) بین مقادیر اندازه‌گیری شده و بازیابی شده برای فصل زمستان، محاسبه و در جدول ۸ ارائه شده است همچنین جهت نمایش بهتر این مقادیر، نمودار ۴ ارائه گردید.

۳-۳- نتایج حاصل بازیابی آب معادل برف با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه

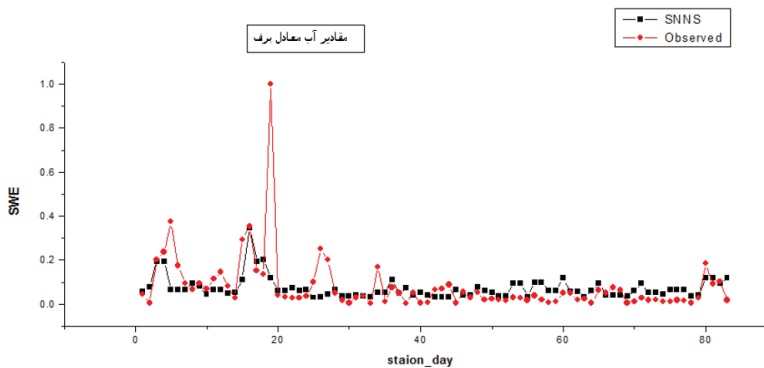
رگرسیون بین دمای روشنایی دو کانال گمانه‌زن AMSU-A برحسب کلونین (T2, T1) با آب معادل برف می‌باشد. معادله رگرسیون این فصل در رابطه ۱۱ داده شده است.

جدول ۷: اوزان بهترین ساختار شبکه عصبی در داده‌های آموزش

اوزان بین لایه میانی و لایه خروجی بهترین ساختار (SSE=1/135)		اوزان بین لایه میانی و لایه ورودی و لایه میانی بهترین ساختار (SSE=1/135)	
رابط	وزن	رابط	وزن
۱-۳	-۰/۵۴	۲-۳	-۲/۶۲
۱-۴	-۱/۳۳	۲-۴	-۲/۰۷
۱-۵	-۲/۰۲	۲-۵	۲/۸۷
۱-۶	۱/۴۳	۲-۶	۲/۰۶
۱-۷	-۰/۶۷	۲-۷	۱۷/۸۴
۱-۸	-۱/۴۹	۲-۸	-۰/۰۵
۱-۹	۳/۳۷	۲-۹	۲/۹۳
۱-۱۰	-۱/۳۷	۲-۱۰	-۰/۹۸
۱-۱۱	-۱/۶۳	۲-۱۱	۱/۴۲
۱-۱۲	-۰/۹۲	۲-۱۲	۰/۶۲
		۳-۱۳	۳-۱۳
		۴-۱۳	۴-۱۳
		۵-۱۳	۵-۱۳
		۶-۱۳	۶-۱۳
		۷-۱۳	۷-۱۳
		۸-۱۳	۸-۱۳
		۹-۱۳	۹-۱۳
		۱۰-۱۳	۱۰-۱۳
		۱۱-۱۳	۱۱-۱۳
		۱۲-۱۳	۱۲-۱۳

جدول ۸: اوزان بهترین ساختار شبکه عصبی در داده‌های آزمون

اوزان بین لایه میانی و لایه خروجی بهترین ساختار (SSE=0/068)		اوزان بین لایه میانی و لایه ورودی و لایه میانی بهترین ساختار (SSE=0/068)	
رابط	وزن	رابط	وزن
۱-۳	-۰/۷۰	۲-۳	۰/۴۲
۱-۴	-۰/۹۳	۲-۴	-۱/۲۱
۱-۵	-۱/۲۷	۲-۵	۰/۱۱
۱-۶	-۱/۲۲	۲-۶	-۰/۴۱
۱-۷	-۰/۵۷	۲-۷	-۰/۹۱
۱-۸	۰/۲	۲-۸	-۰/۰۸
۱-۹	-۰/۶۴	۲-۹	۱/۱۸
۱۰-۱	۵۰/۰-	۱۰-۲	۳۶/۰
۱۱-۱	۲/۱-	۱۱-۲	۰۲/۱-
۱۲-۱	۸۲/۰	۱۲-۲	۹۲/۰-
		۳-۱۳	۳-۱۳
		۴-۱۳	۴-۱۳
		۵-۱۳	۵-۱۳
		۶-۱۳	۶-۱۳
		۷-۱۳	۷-۱۳
		۸-۱۳	۸-۱۳
		۹-۱۳	۹-۱۳
		۱۰-۱۳	۱۰-۱۳
		۱۱-۱۳	۱۱-۱۳
		۱۲-۱۳	۱۲-۱۳



نمودار ۳: روزهای مورد آزمون

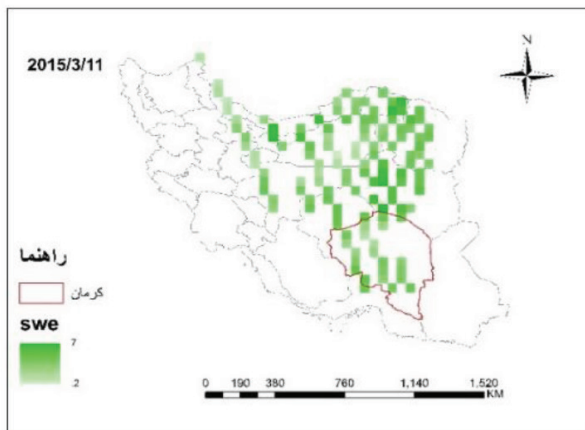
جدول ۹: نتایج حاصل از برآورد آب معادل برف توسط شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مقادیر واقعی در فصل زمستان

زمان	خطای آموزش	خطای آزمون	بهترین ساختار	RMSE	MSE	Bias
فصل زمستان	۱/۱۳۵	۰/۰۶۸	۲-۱۰-۱	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۰۰۶

نمودار پراکندگی، بین مقادیر واقعی آب معادل برف مشاهده‌ای و برآورده شده توسط مدل رگرسیون برای الگوهای آزمون برای فصل تحت بررسی در نمودار ۵ رسم شده است.

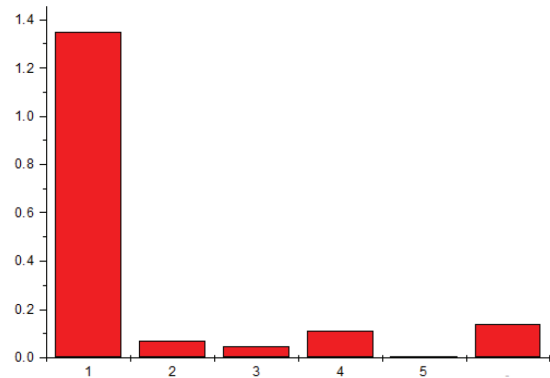
$$SWE = -1.7626(T_1) - 1.5589(T_2) + 0.2679 \quad (11)$$

برای ارزیابی بازیابی‌ها، شاخص‌های آماری خطای RMSE، MSE، BIAS و Mean بین مقادیر دیده‌بانی شده و محاسبه شده توسط رگرسیون محاسبه گردیده است که نتایج مربوطه به آن در جدول ۱۰ ارائه شده است.



نگاره ۵: نقشه آب معادل برف حاصل از روش رگرسیون چندگانه برای بخشی از کشور

همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد دامنه‌ی تغییرات مقدار برآورد شده از مدل رگرسیون بازیابی آب معادل برف بسیار کم و کمتر از ۴ میلیمتر است (نقاط مشکی در نمودار) درحالی‌که دامنه‌ی تغییرات مقدار مشاهده شده در ایستگاه‌ها (نقاط قرمز در نمودار) به‌خصوص در قسمت ابتدایی نمودار بسیار گسترده و بین صفر تا ۹ میلیمتر در تغییر است.



نمودار ۴: نمایش شاخص‌های آماری محاسبه شده

جدول ۱۰: مقادیر شاخص‌های آماری خطا مربوط به داده‌های آزمون برای آب معادل برف بازیابی شده از رگرسیون چندگانه در فصل زمستان

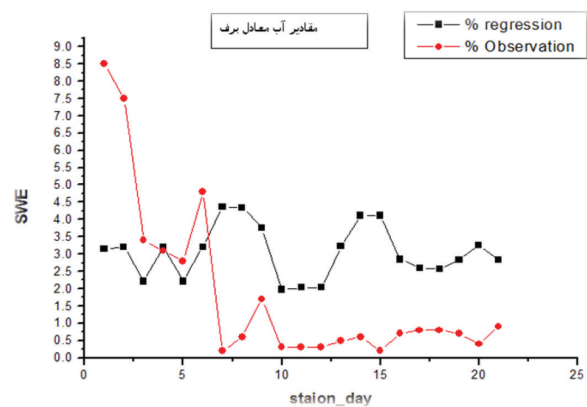
زمان	RMSE	MSE	Bias	Mean
زمستان	۲/۷۴	۷/۵۱	۵/۱۵۸	۷/۵۱

برف دارد. همچنین پس از استخراج مناطق با پوشش برفی، مشخص گردید که به طور میانگین ۱۰/۸۳۰ (۱۸۲۲۵) کیلومتر مربع) درصد (از ۱۰۴ روز) از پوشش منطقه را برف شامل می‌شود که بیشترین بخش آن را کوه‌های شمال غربی و مرکزی (قله پلوار، کوه‌های جوپار، کوه‌های خبر و ...) این استان را دربرمی‌گیرد.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی از تحقیق حاضر ارزیابی پتانسیل تابش سنج میکروویو پیشرفته به منظور برآورد آب معادل برف در حوضه‌های آبریز استان کرمان می‌باشد. الگوریتم بازیابی آب معادل برف سنجنده AMSU-A بر روی منطقه‌ای از آمریکا توسط کنگولی و همکاران در سال ۲۰۰۶ برای مقادیر کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر به خوبی جواب داد بود. همچنین در ایران نیز نمونه کار توسط غیبی و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای استان تهران صورت گرفت که به دلیل عمق بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر برف نتایج خوبی مشاهده نگردید اما نتایج حاصل از اعتبارسنجی این الگوریتم برای حوضه‌های آبریز استان کرمان خطای بیشتری نسبت به منطقه آمریکا داشت. بنابراین برای اصلاح الگوریتم امکان استفاده از رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. ضمن اینکه در به‌کارگیری این دو روش از داده‌های یکسان استفاده شد. در نهایت نتایج به‌دست آمده، کارایی و دقت شبکه عصبی مصنوعی را در برآورد آب معادل برف نسبت به روش رگرسیون چندگانه نشان داد.

از آنجایی که اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر به دلیل عدم دسترسی به مناطق برف گیر دور دست و صعب‌العبور، نداشتن شبکه متراکم برف سنجی و مستمر نبودن اندازه‌گیری‌ها مشکل است اطلاعات میکروویو ماهواره‌ای به دلیل پوشش کلی و تفکیک فضایی بالا در مقایسه با تابش مرئی و فروسرخ، پتانسیل بالاتری در برآورد پوشش و همچنین آب معادل برف دارد. همچنین در مقایسه با الگوریتم‌های مبتنی برخلاف دمای روشنایی، شبکه‌های عصبی مصنوعی



نمودار ۵: نتایج آب معادل برف توسط مدل رگرسیون چندگانه در فصل زمستان

۳-۴- نتایج حاصل از محاسبه حجم آب معادل برف استان کرمان

جهت محاسبه حجم آب برای منطقه مورد مطالعه از برنامه Matlab و نرم افزار ARC GIS استفاده گردید. بدین صورت که ابتدا دمای روشنایی کانال ۱ و ۲ ماهواره به همراه مختصات جغرافیایی (lon و lat) به محیط نرم افزار فراخوانی شده و به صورت چهارستون با خروجی اکسل تهیه گردید. سپس منطقه مورد نظر استخراج و پیکسل‌های برفی مشخص گردیدند. برای محاسبه مساحت برفی لایه‌ها وارد نرم‌افزار ARC GIS شده و مساحت پیکسل‌های برفی مشخص گردید. در نهایت مساحت پوشش برفی برای ۱۰۴ روز استخراج گردید و مقدار میانگین روزانه برای هر روش در جدول ۱۱ مشاهده می‌گردد.

جدول ۱۱: میانگین حجم آب معادل برف روزانه (از ۱۰۴

روز) استان کرمان

روش محاسبه	حجم آب معادل برف (M ³)
الگوریتم سنجنده	۳۳۸۹۸۵۰۰۰
رگرسیون چندگانه	۵۳۰۳۴۷۵۰۰
شبکه عصبی مصنوعی	۴۵۹۲۷۰۰۰۰

این نتایج نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی نتیجه بهتری از روش‌های دیگر جهت برآورد حجم آب معادل

۳. جاوید انباردان، ف، ۸۲-۸۱، سنجش و شناسایی برف روزانه با داده‌های ماهواره میکرو موج SSM/I، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران.

۴. خواجه‌ای، آ، ۱۳۹۲، برآورد آب معادل برف با استفاده از اطلاعات میکروویو ماهواره‌ای به روش شبکه عصبی و تکنیک‌های رگرسیون چندگانه (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز استان تهران). دانشگاه هرمزگان.

۵. روشنی، ن، ولدان زوج، م ج، رضایی، ی، ۱۳۸۷، "برف سنجی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی - یخچال علم چال)"، همایش ژئوماتیک.

۶. زارع ابیانه، حمید، ۱۳۹۱، "برآورد توزیع مکانی آب معادل برف و چگالی برف با استفاده از روش ANN (حوضه‌های آبخیز آذربایجان غربی)"، ژورنال مهندسی منابع آب، دوره ۵، شماره ۱۵، ص ۱۲-۱.

۷. طبری، معروفی، زارع ابیانه، امیری چایجان، شریفی؛ حسین، صفر، حمید، رضا، محمدرضا (۱۳۸۷). "مقایسه روش‌های ترکیبی و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین آب معادل برف در زیرحوضه صمصامی". سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.

۸. قنبرپور، م.ر، م. محسنی ساوری، ب. ثقفان، ح. احمدی وک. عباسپور. ۱۳۸۴. "تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۳.

۹. نجفی ایگدیر، احمد، ۱۳۸۶، "برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهر چایی ارومیه"، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۶.

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

11- Dozier, j. 1989. "Spectral signature of alpine snow

بسیار بهتر عمل می‌کنند و مقادیر دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. نتایج دیگر حاصل از انجام این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- نتایج نشان می‌دهد که آب معادل برف محلی می‌تواند از اندازه‌گیری‌های تابش‌سنج‌های میکروویو ماهواره‌ای با دقت نسبتاً خوبی در شرایط سرد زمستانی برآورد شود.

۲- تحقیق حاضر که اولین بار در ایران در مقیاس ماهانه و فصلی با داده‌های سنجنده ی میکروویو غیرفعال AMSU-A انجام شده است، نشان داد که داده‌های این سنجنده از پتانسیل بالایی جهت شناسایی قلمرو پوشش‌های برفی و همچنین برآورد آب معادل برف برخوردار می‌باشد.

۵- پیشنهادات

با توجه به بررسی‌های انجام شده به منظور بهبود نتایج پیشنهاد می‌شود که:

۱- از آنجایی که در استان کرمان بیشترین بارش برف در مناطق کوهستانی می‌باشد لذا بازیابی معمولاً با خطاهایی همراه هست، بنابراین برای بهبود نتیجه برای منطقه پست نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲- برای دقت کار، نقشه‌های تهیه‌شده با میکروویو با نقشه‌های برف و آب معادل برف از دیگر منابع مانند داده‌های زمینی با داده‌های سنجنده‌های فروسرخ حرارتی با هم مقایسه گردند.

۳- به دلیل فقدان اطلاعات میدانی کافی از اندازه‌گیری برف، تعداد ایستگاه‌های زمینی در منطقه مورد مطالعه افزایش یابد.

۴- از اطلاعات سازمان هواشناسی کل کشور برای تهیه یک بانک اطلاعاتی دقیق از داده‌های زمینی، استفاده شود.

منابع و مأخذ

۱. بایزیدی، ا، اولادی، ب، عباسی، ن، ۱۳۹۱، «تحلیل داده‌های پرسشنامه‌ای به کمک نرم‌افزار SPSS (PASW) 19»، انتشارات عابد.

۲. بیرودیان، ن، ۱۳۸۲، برف و بهمن (مدیریت مناطق برف‌گیر)، دانشگاه امام رضا (ع). ص ۲۳.

- 21- Poggio, L., & Gimona, A. (2015). Sequence-based mapping approach to spatio-temporal snow patterns from MODIS time-series applied to Scotland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 122-135.
- 22- Roebber, P.J., Bruening, S.L., Schultz, D.M. and Cortinas JR., J.V. (2002). "Improving snowfall forecasting by diagnosing snow density", *Weather and Forecast*, 18, 264-287.
- 23- Salas, J. D., Boes, C. D. and Smith, R. A.. 1982. "Estimation of ARIMA models with seasonal parameters". *Water Resour. Res.* 18: 1006-1010
- 24- Tedesco, M., Pulliainen, J., Takala, M., Hallikainen, M., & 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.
- 25- Tong, Jinjun, De'ry, Stephen J., Jackson, Peter L., and Derksen, Chris, 2010, "Testing snow water equivalent retrieval algorithms for passive microwave remote sensing in an alpine watershed of western Canada", *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 36, Suppl. 1, pp, S74–S86.
- cover from the Landsat thematic mapper", *Remote sensing environment* 28: 9-22
- 12- Erxleben, J., K. Elder and R. Davis. 2002. "Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow distribution in Colorado Rocky Mountains". *Hydrol. Proc.* 16: 3627-3649.
- 13- Hall, Dorothy K., Kelly, Richard EJ., Forester, James L., and Chang, Alfred Tc., 2005, "Estimation of Snow Extent and Snow Properties", *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, Edited by M G Anderson.
- 14- International hydrological programme (IHP) (2009). "The international classification for seasonal snow on the ground, working group on snow classification", UNESCO, paris.
- 15- Jolliffe, Ian T., and Stephenson, David B., 2003, "Forecast Verification A Practitioner's Guide in Atmospheric Science".
- 16- Kumar, M., Raghuvanshi N.S., Singh, R., Wallender, W.W., and Pruitt, W.O., 2002, "Estimating Evapotranspiration Using Artificial Neural Network". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(4): 224-233.
- 17- Kongoli, Cezar., Dean, Charles A., Helfrich, Sean R., and Ferraro, Ralph R., 2006, "The Retrievals of Snow Cover Extent and Snow Water Equivalent from a Blended Passive Microwave-Interactive Multi-Sensor Snow Product", 63rd EASTERN SNOW CONFERENCE, Newark, Delaware USA.
- 18- Langlois, A., Scharien, R., Geldsetzer, T., Iacozza, J., Barber, D.G., and Yackel, J., 2008, "Estimation of snow water equivalent over first-year sea ice using AMSR-E and surface observations, *Remote Sensing of Environment*", 112, 3656–3667.
- 19- Mo, T., and Liu, Q., 2008, "A study of AMSU-A measurement of brightness temperatures over the ocean", *journal of geophysical research*, vol. 113, D17120, doi:10.1029/2008JD009784.
- 20- Naturalium, rerum., 2010, "Hydrological Snowmelt Modelling in Snow Covered River Basins By Means of Geographic Information System and Remote Sensing (Case Study -- Latyan Catchment in Iran)", *The Dissertation for Ph. D degree*.