برآورد آب معادل برف در استان کرمان جهت مدیریت منابع آب با استفاده از داده های سنجش از دور مایکروویو غیر فعال به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک‌های رگرسیون چندگانه[1]

یاسر امینی[2] عباس علیپور[3]

سیدمصطفی هاشمی[4] سجاد باقری سیدشکری[5]

تاریخ دریافت مقاله:۹۵/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۳۰

****

چکیده

پوشش برف معرف میزان آب ذخیره‌شده است و درنتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را درایجاد رواناب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبریز کشور ایفا می‌کند. آشکارسازی و تعیین ویژگی‌های مختلف برف و یخ با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، 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 گمانه‌زن مایکروویو پیشرفته A (AMSU-A)، روی ماهواره‌های NOAA، و الگوریتم‌های مختلف بازیابی (رگرسیون، شبکه‌های عصبی مصنوعی و...) آب معادل برف در حوضه‌های آبریز استان کرمان در فصل زمستان طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۶) محاسبه و صحت‌سنجی شده است. به دلیل عدم همزمانی اخذ داده‌های ایستگاهی و گذر ماهواره، طی دوره موردمطالعه، درمجموع اطلاعات دیده‌بانی شده برای ۱۰۴ روز از پنج ایستگاه برف سنجی که تقریباً با اطلاعات مایکروویو ماهواره‌ای همزمان بوده‌اند از منطقه تحت بررسی گردآوری‌شده است. براساس نتایج به دست آمده، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با مقادیر شاخص‌های خطا (MSE=۰/۱۱ و RMSE=۰/۰۵) 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 شاخص‌های (MSE=۷/۵۱ و RMSE=۲/۷۴) و حجم آب معادل برف (۵۳۰۳۴۷۵۰۰ مترمکعب) و الگوریتم بازیابی آب معادل برفِ سنجنده‌ی AMSU-A با برآوردهای مقادیر شاخص‌های خطا (MSE=۹۰/۶۶ و RMSE=۹/۵۲) و حجم آب معادل برف (۳۳۸۹۸۵۰۰۰ مترمکعب) داشت. این نتایج همچنین نشان می‌دهند که مشاهدات این گمانه‌زن 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 ایستگاه‌های زمینی برف سنجی مواجه است پیشنهاد می‌شود. ازآنجایی‌که این منطقه قابلیت ریزش برف را در فصل زمستان دارا می‌باشد بنابراین اطلاعات درباره آب معادل برف در این منطقه برای بسیاری از کاربردهای هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی و همچنین تولید برق‌آبی و پیش‌بینی سیلاب ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آب معادل برف، شبکه‌های عصبی مصنوعی، گمانه‌زن 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 ماهواره‌ای به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک‌های رگرسیون چندگانه)» مرکز تحقیقات راهبردی دفاعی، گروه آماد و فن‌آوری 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

٤- دانشجوی دکترای تخصصی جغرافیای سیاسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران m.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 *(نَچرالیم[1]، 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 ازجمله کشور ایران، که دارای ریزش‌های فصلی برف می‌باشد، از اهمیت زیاد برخوردار است *(بیرودیان، ۱۳۸۲)*. لذا بارش برف مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب، به‌ویژه در فصول گرم سال،محسوب می‌گردد *(قنبرپور و همکاران، ۱۳۸٤)*. درحوضه‌های آبخیز کوهستانی و مرتفع، ذوب برف و رواناب حاصل از آن سهم عمده‌ای در تولید جریان و تأمین منابع آب دارد. به‌طورمتوسط ٦۲% 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 متراکم 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، ازجمله سطح پوشیده از برف (SCA[2]) و آب معادل برف (SWE[3]) 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[4]، 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 مورداستفاده در سنجش‌ازدور، سنجنده‌های مایکروویو، به دلیل قابلیت عبور از ابر، تنها ابزارهای سنجش‌ازدور فضا مبنا می‌باشند که می‌توانند اطلاعاتی درباره‌ی برف و یخ‌برف فراهم کنند. این مزیتی است که در دورسنجی با امواج مرئی و فروسرخ امکان‌پذیر نیست، بااین‌حال 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 ۱۷۵۰٦۹ کیلومترمربع پهناورترین استان کشور بوده و دارای آب‌وهوای خشک تا فراخشک می‌باشد. باتوجه 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

1-Naturalium

2- Snow Cover Area

3- Snow Water Equivalent

4-Hall

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 معدود 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 انجام‌شده، اندازه‌گیری این پارامتر با استفاده از اطلاعات مایکروویو، در کشور، انجام نگرفته و یا اگر مطالعه‌ای هم انجام‌شده محدود به اطلاعات سنجنده‌های 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 ازجمله پوشش و آب معادل برف در حوضه‌های برف خواب استان کرمان و وضعیت آبی این منطقه ازلحاظ ذخیره برفی است. به دلیل محدودیت ایستگاه‌های برف‌سنجی، نتایج فقط برای حوضه‌های آبریز استان کرمان، که مشاهدات ایستگاهی در آن قابل‌دسترس 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.

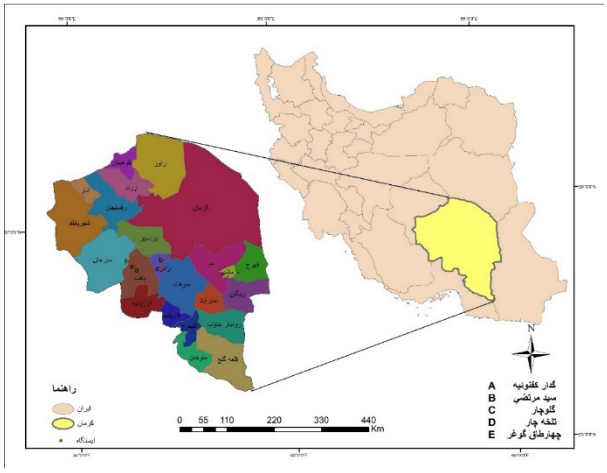
۲- روش تحقیق

۲-۱- محدوده موردمطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه‌های برف‌خیز 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 طول‌شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض‌شمالی 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 داده‌شده است.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های موردمطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا برحسب متر
گدارکفنوئیه	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´۰˝	۳۰۰۰



نگاره ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

۲-۲- داده‌ها و اطلاعات

۲-۲-۱- داده‌های زمینی

داده‌های زمینی موردنیاز جهت انجام تحقیق شامل ۵ ایستگاه برف سنجی (جدول ۱) در طی دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله می‌باشد که ۱۰٤ 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 دریافت گردید) جهت برآورد آب معادل برف در جدول شماره ۲ مشاهده می‌گردد.

جدول ۲: مشخصات کانال‌های مورد استفاده در تحقیق

کانال	سنجنده	رزولوشن مکانی (کیلومترمربع)	طول موج (GHz)	تعداد تصاویر
۱	AMSU-A	۲۵	۲۳/۸	۱۰٤
۲	AMSU-A	۲۵	۳۱/۳	۱۰٤

۲-۳- محاسبه آب معادل برف در ایستگاه‌های زمینی

آب معادل برف عمق آبی است که درنتیجه ذوب کامل توده برف حاصل می‌شود *(پوگیو و گینوما[1]، 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:

$$swe = p_s * d_s$$ رابطه (۱)

در این رابطه swe معادل آب برفی، ps چگالی برف، ds 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:

$$y = 100\frac{p_s}{p_w}$$ رابطه (۲)

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

$$Swe = y * d_s$$ رابطه (۳)

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

۲-٤- 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 ۱۵-۳)، AMSU-A2 (کانال‌های ۱ و ۲)، و AMSU-B (کانال‌های ۲۰-۱٦) 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 ۱٦ نسبت به تابش گسیلی از سطح، کانال‌های ٤ تا ۱٤ 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 *(مُ[2]، ۲۰۰۸)*.

این ابزار سنجش تاکنون بر روی ٦ ماهواره عملیاتی NOAA نصب شده است که هر کدام در زمان‌های مختلفی از شبانه‌روز فضای ایران را پوشش می‌دهند (جدول ٤). جدول

1-Laura Poggio, Alessandro Gimona

2-Mo

٤ 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 درروی زمین دو بار در شبانه‌روز در معرض دید هر ماهواره قرار می‌گیرد. باوجود ٦ ماهواره در مدار بنابراین هر موقعیت خاص درروی زمین را می‌توان ۱۲ بار در شبانه‌روز مشاهده کرد. تابش‌سنج AMSU عمود بر رد ماهواره با عرض برداشت تقریبی ۲۳۰۰ کیلومتر عمل اسکن را انجام می‌دهد. جزئیات بیشتر درباره‌ی این تابش‌سنج را می‌توان در مرجع مذکور یافت.

جدول ۳: شماره کانال و باند فرکانسی تابش‌سنج 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 ٤: مدار و تاریخ پرتاب ماهواره‌های هواشناسی NOAA

ماهواره	مدار(زمان عبور از استوا)	تاریخ پرتاب
NOAA-15	قبل از ظهر (۳۰ : ۰۷)	۱۳ می ۱۹۹۸
NOAA-16	بعدازظهر	۲۱ سپتامبر ۲۰۰۰
NOAA-17	قبل از ظهر(۰۰ : ۱۰)	۲٤ جون ۲۰۰۲
NOAA-18	بعدازظهر	۲۰ می ۲۰۰۵
METOP-A	قبل از ظهر	۱۹ اکتبر ۲۰۰٦
NOAA-19	بعدازظهر	٦ فوریه ۲۰۰۹

۲-۵- دمای تابشی واحد گمانه‌زن مایکروویو پیشرفته A (AMSU-A)

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

$$B_\lambda = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right)} \gg B_\lambda(T) = \frac{C_1\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)-1}$$ رابطه (٤)

که k ثابت بولتزمن، T دمای مطلق برحسب کلوین و C1 و C2 ثابت‌های تابشی هستند. در طول موج‌های در حد میلیمتر و سانتیمتر و دماهای موجود در زمین و جو آن کمیت $\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) \gg 1$ است. درنتیجه $\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)$ را می‌توان با $1+\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)$تقریب زد. با اعمال این تقریب بر معادله پلانک خواهیم داشت:

$$B_\lambda(T) = \frac{C_2}{C_1}\lambda^{-4}T$$ رابطه (٥)

این رابطه که به‌عنوان تقریب ریلی جینز[1] 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 به عنوان دمای تابشی[2] معرفی می‌شود:

$$B_\lambda(T) = \frac{C_1}{C_2}\lambda^{-4}T \gg T_B = \frac{C_1}{C_2}\lambda^4 B_\lambda(T)$$ رابطه (٦)

اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای به صورت تابندگی تک‌فام ($B_\lambda(T)$) است که در مرکز پیش‌پردازش داده‌ها مطابق با رابطه‌ی شماره ٦ به دمای تابشی (T_B) تبدیل و به‌عنوان داده‌های Level 1B در آرشیو داده‌های ماهواره‌ای ذخیره می‌گردند.

۲-٦- الگوریتم بازیابی آب معادل برفِ سنجنده‌ی AMSU-A

همانطور که در بخش ۲-٤ ذکر شد، کانال‌های ۱، ۲، ۳ و ۱۵ تابش‌سنج AMSU-A، که مجموعاً به‌عنوان کانال‌های پنجره جوی شناخته می‌شوند، دمای تابشی نزدیک سطح زمین را اندازه می‌گیرند و در نتیجه نسبت به پارامترهای

1- Rayleigh - Jeans
2- Brightness temperature

سطح زمین ازجمله پوشش برف و آب معادل برف حساس هستند. داده‌های AMSU-A که به‌طور گسترده در بسیاری از برنامه‌های کاربردی نوآ و در سراسر جهان به‌منظور 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 *(مَم، ۲۰۰۸)*. الگوریتم اندازه‌گیری آب معادل برف مربوط به سنجنده‌ی AMSU-A توسط سزار کُنگولی، 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 *(کُنگولی و همکاران، ۲۰۰۶)*:

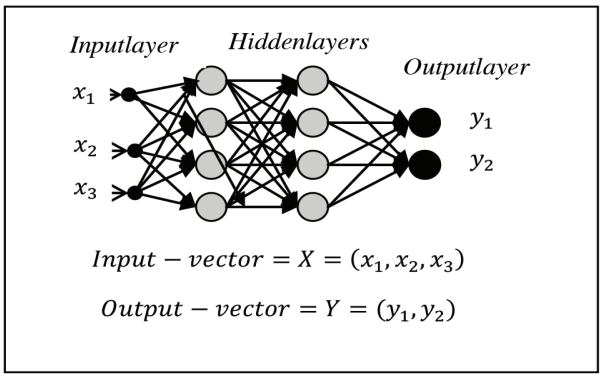
$$SWE = K_1 + K_2(TB_1 - TB_2)$$

رابطه (۷)

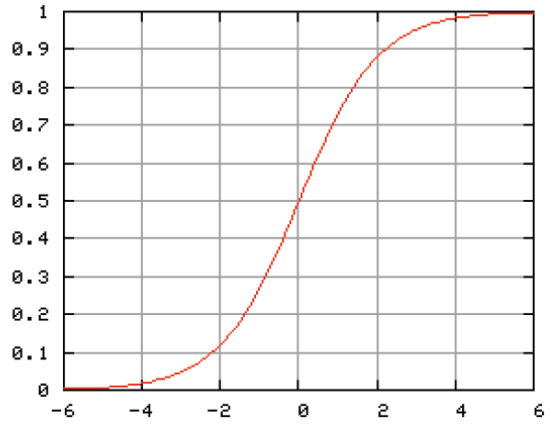
که در آن TB_1 دمای تابشی کانال ۲۳/۸ گیگاهرتز و TB_2 دمای تابشی کانالِ ۳۱/٤ گیگاهرتز روی سنجنده‌ی AMSU-A می‌باشد. در این رابطه، K1 و K2 ضرایب تجربی هستند و از طریق رگرسیون به دست می‌آیند. بر اساس مطالعات منطقه‌ای در ایالات‌متحده‌ی آمریکا این ضرایب، K1=۲/٦ و K2=۰/۳۹ به‌دست‌آمده و SWE، آب معادل برف برحسب سانتی‌متر می‌باشد.

۲-۷- روش شبکه‌های عصبی

شبکه عصبی چندلایه‌ای، همان‌طور که در نگاره۲ نشان داده‌شده، 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 یک نورون مجموع وزنه‌ای اتصالات آن است که به جلو منتقل می‌شود و یکی از ورودهای نورون‌ها در لایه بعدی شبکه را تشکیل می‌دهدبه‌طور ضمنی جهت پردازش اطلاعات را نیز بیان می‌کند. ازاین‌رو 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 برندارد و صرفاً وظیفه‌اش انتقال بردار ورودی به شبکه است.



نگاره ۲: یک شبکه عصبی با دولایه میانی



نگاره۳. 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 محاسبه‌ی مشتق، معمولاً تابع لجستیک، همان‌طوری

که در نگاره ۳ نمایش داده شده، به‌عنوان تابع انتقال[1] بکار می‌رود. یک شبکه عصبی چندلایه‌ای ممکن است یک یا چندلایه میانی[2] نیز داشته باشد و نهایتاً یک لایه خروجی[3] دارد. شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای به عنوان شبکه‌های کاملاً متصل شده،[4] که در آن هر نورون به همه نورون‌ها در لایه‌ی قبلی و بعدی شبکه (لایه‌های مجاورش) متصل شده است، معرفی می‌شوند *(کوچکزاده و همکاران، ۱۳۸٤)*.

با انتخاب مجموعه مناسبی از وزنه‌ای اتصالات و تابع انتقال، شبکه عصبی چندلایه‌ای می‌تواند هر تابع هموار و اندازه‌پذیری رابین 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 نگاشت موردنظر حاصل شود. شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای به روش نظارتی[5] آموزش می‌بینند. در طی آموزش، خروجی شبکه عصبی چندلایه‌ای، برای یک بردار ورودی داده‌شده، ممکن است مساوی خروجی موردنظر نباشد. در این حالت، سیگنال خطا به‌صورت 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، به‌طوری‌که 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، ابیانه، 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 درارتباط 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 تااندازه‌گیری‌های 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 ٤,۲ 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 واردکردن داده‌ها به‌صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود *(کوچک‌زاده، ۱۳۸٤)*. 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 مورداستفاده در شبکه‌ی عصبی مصنوعی مطابق رابطه‌ی زیر بین ۰ و ۱ نرمالیزه شده‌اند *(کومار و همکاران، ۲۰۰۲)*:

$$X_{normal} = \frac{X_0 - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$ 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)*:

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

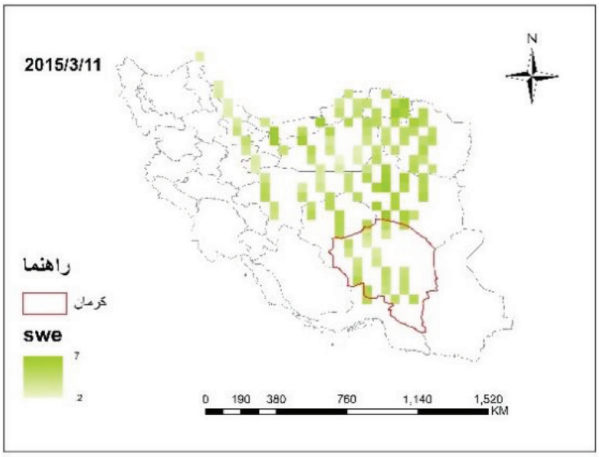
1- Activation function
2- Hidden layer
3- Output layer
4- Fully connected
5- Supervised

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

$$RMSE = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(F_i - O_i)^2]^{1.2}$$ رابطه (۱۰)

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



نگاره٤: نقشه آب معادل برف حاصل از اجرای الگوریتم سنجنده AMSU-A برای بخشی از کشور

۲-۸- روش رگرسیون چندگانه

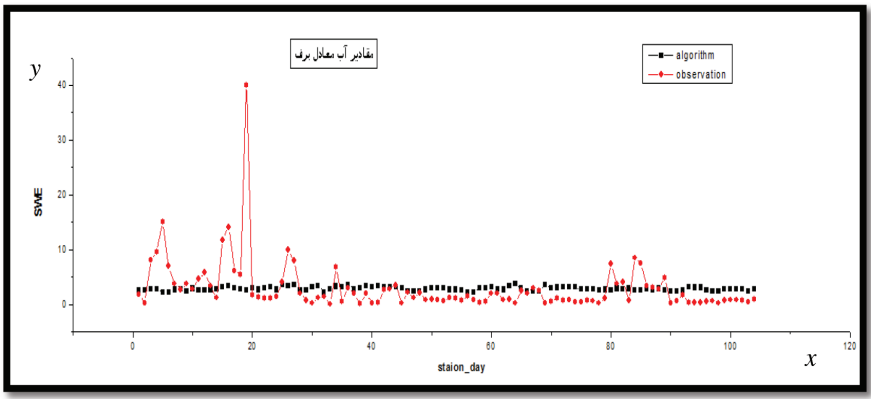
رگرسیون چندگانه به بررسی متغیر وابسته‌ای می‌پردازد که به صورت خطی، به چند متغیر کنترل شده ارتباط دارد *(بایزیدی و همکاران، ۱۳۹۱)*.

در این روش که در محیط نرم افزارorigian5 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 به‌کار 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 ۲۰۰٦ 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 مایکروویو ماهواره‌ای متناظر با تاریخ روزهایی که گزارش آب معادل برف داشته‌اند، از واحد گمانه‌زن مایکروویو پیشرفته (AMSU-A) 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 جمع‌آوری‌شده برابر ۱۲۰



نمودار ۱: مقادیر آب معادل برف بدست آمده توسط الگوریتم سنجنده (محور x برای ۱۰٤ روز (۱۰سال) و محور y برحسب میلی متر)

داده می‌باشد که پس از صحت‌سنجی، تعداد داده‌ها به ۱۰٤ روز تقلیل یافت. با توجه به اینکه در الگوریتم بازیابی آب معادل برف (رابطه‌ی٤) فقط دمای تابشی کانال‌های اول و دوم سنجنده مورد استفاده قرار می‌گیرد در نتیجه دمای تابشیِ 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 ٤۰ میلیمتر در تغییر است. نقشه آب معادل برف (نگاره ٤) نیز حاکی از آن است که در برخی از نقاط ایستگاهی، الگوریتم سنجنده، آب معادل برف را صفربرآورد کرده در حالیکه اندازه‌گیری‌های زمینی گزارش آب معادل برف داشته‌اند.

برای آشکارسازی خطای موجود، شاخص‌های آماری که پیشتر توضیح داده شدند (روابط ۷ و ۸) برای فصل مورد مطالعه محاسبه و در جدول ۵ داده شده است (جهت اعتبارسنجی از ۱۰٤ روز ایستگاه زمینی استفاده گردید).

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

MSE	RMSE	زمان
۹۰/٦٦	۹/۵۲	زمستان

دو راه برای بهبود بازیابی، مورد آزمون قرارگرفته است:
۱- اصلاح ضرایب الگوریتم بر اساس روش رگرسیون چندگانه و پیدا کردن ضرایب، متناسب با شرایط آب و هوایی و توپوگرافی منطقه موردمطالعه
۲- استفاده از متدهای دیگر نظیر شبکه عصبی

۳-۲- 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 باساختارهای مختلف، یعنی یک لایه‌ی میانی و همچنین تغییر تعداد نورون‌ها در هرلایه،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 ٦ نمایش داده شده است.

جدول ٦: 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	۱/۲۷٦
۲-۳-۱	۱/۲۸٤	۲-۱۳-۱	۱/۹۳۳
۲-٤-۱	۱/۲۷۵	۲-۱٤-۱	۱/۲٦۰
۲-۵-۱	۱/۲۸۰	۲-۱۵-۱	۱/۲۷٦
۲-٦-۱	۱/۲۸٤	۲-۱٦-۱	۱/۲۸۰
۲-۷-۱	۱/۹۹	۲-۱۷-۱	۱/۲٦۳
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	۱/۲٦۳		

پس از اینکه شبکه مورد آموزش قرار گرفت، ساختاری که در آن کمترین خطا مشاهده شد به‌عنوان ساختار منتخب (۱-۱۰-۲)، انتخاب گردید. درنهایت این ساختار بر روی‌داده‌های 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 داده‌شده است.

جدول ۷: اوزان بهترین ساختار شبکه عصبی در داده‌های آموزش

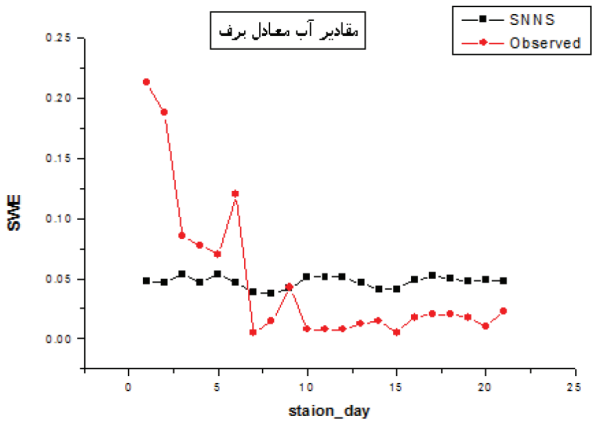
اوزان بین لایه ورودی و لایه میانی بهترین ساختار (SSE=1/135)				اوزان بین لایه میانی و لایه خروجی بهترین ساختار (SSE=1/135)	
رابط	وزن	رابط	وزن	رابط	وزن
۱-۳	-۰/۵٤	۲-۳	-۲/٦۲	۳-۱۳	-۲/۰۲
۱-٤	-۱/۳۳	۲-٤	-۲/۰۷	٤-۱۳	۰/۸۸
۱-۵	-۲/۰۲	۲-۵	۲/۸۷	۵-۱۳	۱/۸٦
۱-٦	۱/٤۳	۲-٦	۲/۰٦	٦-۱۳	-۰/٤۷
۱-۷	-۰/٦۷	۲-۷	۱۷/۸٤	۷-۱۳	۱۰/۵٦
۱-۸	-۱/٤۹	۲-۸	-۰/۰۵	۸-۱۳	-۰/۱۰
۱-۹	۳/۳۷	۲-۹	۲/۹۳	۹-۱۳	-۵/۵۳
۱-۱۰	-۱/۳۷	۲-۱۰	-۰/۹۸	۱۰-۱۳	-۰/۲٦
۱-۱۱	-۱/٦۳	۲-۱۱	۱/٤۲	۱۱-۱۳	۱/۲۰
۱-۱۲	-۰/۹۲	۲-۱۲	۰/٦۲	۱۲-۱۳	۰/۷۰

جدول ۸: اوزان بهترین ساختار شبکه عصبی در داده‌های آزمون

اوزان بین لایه ورودی و لایه میانی بهترین ساختار ۱-۱۰-۲ (SSE=0/068)				اوزان بین لایه میانی و لایه خروجی بهترین ساختار ۱-۱۰-۲ (SSE=0/068)	
رابط	وزن	رابط	وزن	رابط	وزن
۱-۳	-۰/۷۰	۲-۳	۰/٤۲	۳-۱۳	-۰/۸٤
۱-٤	-۰/۹۳	۲-٤	-۱/۲۱	٤-۱۳	-۱/٦۰
۱-۵	-۱/۲۷	۲-۵	۰/۱۱	۵-۱۳	-۱/٤۰
۱-٦	-۱/۲۲	۲-٦	-۰/٤۱	٦-۱۳	-۱/۱۹
۱-۷	-۰/۵۷	۲-۷	-۰/۹۱	۷-۱۳	-۰/۸۰
۱-۸	۰/۲	۲-۸	-۰/۰۸	۸-۱۳	-۰/٤۲
۱-۹	-۰/٦٤	۲-۹	۱/۱۸	۹-۱۳	۰/٦۷
۱-۱۰	۵۰/۰-	۱۰-۲	۳٦/۰	۱۳-۱۰	۹۳/۰-
۱-۱۱	۲/۱-	۱۱-۲	۰۲/۱-	۱۳-۱۱	۵۰/۱-
۱-۱۲	۸۲/۰	۱۲-۲	۹۲/۰-	۱۳-۱۲	۳۸/۰-

نتایج برآورد آب معادل برف توسط ساختار منتخب (۱-۱۰-۲) در فصل زمستان بین دادهای مقادیر مشاهده‌شده 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.

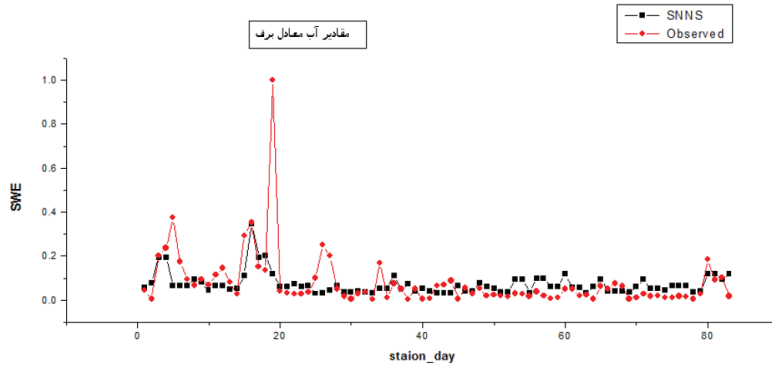


نمودار ۲: روزهای مورد آموزش

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 ٤ 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 کلوین (T2,T1) با آب معادل برف می‌باشد. معادله رگرسیون این فصل در رابطه ۱۱ داده‌شده است.



نمودار ۳: روزهای مورد آزمون

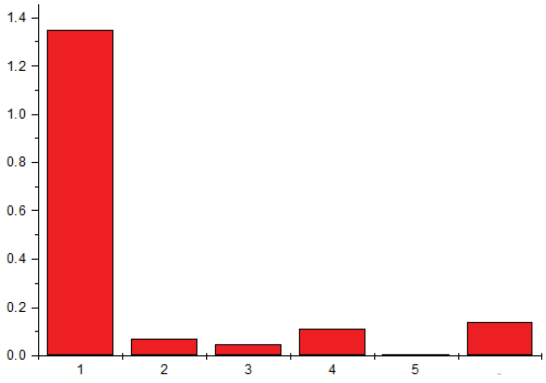
جدول ۹: نتایج حاصل از برآورد آب معادل برف توسط شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مقادیر واقعی در فصل زمستان

زمان	خطای آموزش	خطای آزمون	بهترین ساختار	RMSE	MSE	Bias
فصل زمستان	۱/۱۳۵	۰/۰٦۸	۲-۱۰-۱	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۰۰٦

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

رابطه (۱۱)

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

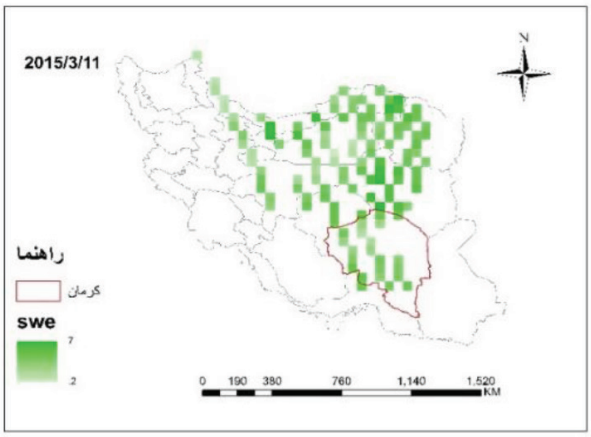


نمودار ٤: نمایش شاخص‌های آماری محاسبه شده

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

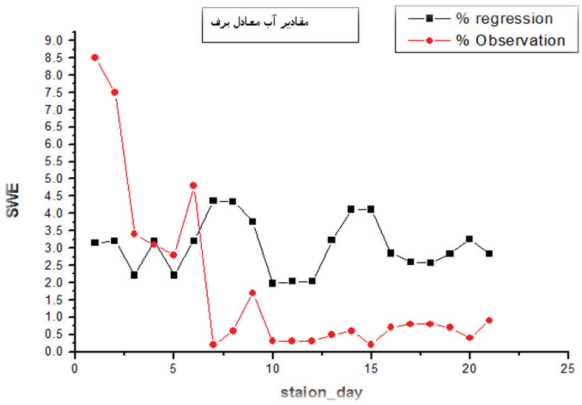
زمان	RMSE	MSE	Bias	Mean
زمستان	۲/۷٤	۷/۵۱	۵/۱۵۸	۷/۵۱

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



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

همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد دامنه‌ی تغییرات مقدار برآورد شده از مدل رگرسیون بازیابی آب معادل برف بسیار کم و کمتر از ٤ 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 ۵: نتایج آب معادل برف توسط مدل رگرسیون چندگانه در فصل زمستان

۳-٤-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 (lat و lon) 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 نرم‌افزارARC GIS شده و مساحت پیکسل‌های برفی مشخص گردید. درنهایت مساحت پوشش برفی برای ۱۰٤ روز استخراج گردید و مقدار میانگین روزانه برای هر روش در جدول ۱۱ مشاهده می‌گردد.

جدول ۱۱: میانگین حجم آب معادل برف روزانه (از ۱۰٤ روز) استان کرمان

حجم آب معادل برف (M^3)	روش محاسبه
۳۳۸۹۸۵۰۰۰	الگوریتم سنجنده
۵۳۰۳٤۷۵۰۰	رگرسیون چندگانه
٤۵۹۲۷۰۰۰۰	شبکه عصبی مصنوعی

این نتایج نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی نتیجه بهتری از روش‌های دیگر جهت برآورد حجم آب معادل برف دارد. همچنین پس از استخراج مناطق با پوشش برفی، مشخص گردید که به‌طور میانگین ۱۰/۸۳۰ (۱۸۲۲۵ کیلومترمربع) درصد (از ۱۰٤ 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.

٤- نتیجه‌گیری

هدف اصلی از تحقیق حاضر ارزیابی پتانسیل تابش‌سنج مایکروویو پیشرفته به‌منظور 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 ۲۰۰٦ برای مقادیر کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر به‌خوبی 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 موردبررسی قرار گرفت. ضمن اینکه در به‌کارگیری این دو روش از داده‌های یکسان استفاده شد. درنهایت نتایج به‌دست‌آمده، کارایی و دقت شبکه عصبی مصنوعی را در برآورد آب معادل برف نسبت به روش رگرسیون چندگانه نشان داد.

ازآنجایی‌که اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر به دلیل عدم دسترسی به مناطق برف‌گیر دوردست و صعب‌العبور، نداشتن شبکه متراکم برف سنجی و مستمر نبودن اندازه‌گیری‌ها مشکل است اطلاعات مایکروویو 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

بسیار بهتر عمل می‌کنند و مقادیر دقیق‌تری را ارائه می‌دهد.

نتایج دیگر حاصل از انجام این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

۱- نتایج نشان می‌دهد که آب معادل برف محلی می‌تواند از اندازه‌گیری‌های تابش‌سنج‌های مایکروویو 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 مایکروویو غیرفعال AMSU-A انجام‌شده 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 باخطاهایی همراه هست، بنابراین برای بهبود نتیجه برای منطقه پست نیز مورد استفاده قرار گیرد.

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

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

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

منابع و مآخذ

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.

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

٤. خواجه‌ای، ،آ، ۱۳۹۲، برآورد آب معادل برف با استفاده از اطلاعات مایکروویو 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 ـ یخچال علم چال)"، همایش ژئوماتیک.

٦. زارع ابیانه، حمید، ۱۳۹۱، "برآورد توزیع مکانی آب معادل برف و چگالی برف با استفاده از روش ANN (حوزه‌های آبخیز آذربایجان غربی)"، ژورنال مهندسی منابع آب، دوره۵، 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 زیرحوضهٔ 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.۱۳۸٤. "تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد۵۸، شماره ۳.

۹. نجفی ایگدیر، احمد، ۱۳۸٦، "برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهر چایی ارومیه"، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷٦.

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

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, Dorothly 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- Intenational hydrological programme (IHP) (2009). "The intenational classification for seasonal snow on the glound, working group on snow classification", UNESCO,paris.

15- Jollieffe, Ian T., and Stephenson, David B., 2003," Forecast Verification A Practitioner's Guide in Atmospheric Science".

16- Kumar, M., Raghuwanshi 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.

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.