

مدل‌های متنوعی از مدل‌های ذوب برف شهری تا مدل‌های جامع هیدرولوژیکی متناسب با اهداف خاصی ارائه شده‌اند. هم‌چنین نتایج حاصل از مطالعات نشان داد به‌طور کلی محاسبات ذوب برف در سه روش عمده شاخص دما (درجه-روز)، بیلان انرژی و ترکیبی از دو روش شاخص دما و بیلان انرژی (روش تلفیقی) خلاصه می‌شوند. در مجموع می‌توان گفت که متناسب با شرایط حاکم بر حوزه مطالعاتی و متناسب با اهداف مورد نظر برای ارزیابی جامع از مطالعات برف به انتخاب یکی از روش‌ها و کاربرد آن می‌توان با استفاده از تحقیق حاضر اقدام نمود.

واژه‌های کلیدی: آب معادل برف، ایران، سطح پوشش برف، مدل‌سازی، مدیریت جامع

مقدمه

کشور ایران کشور کم‌آبی است که در منطقه خشک و نیمه خشک کره زمین قرار گرفته است. بنابراین بارش برف به‌ویژه در تابستان مهم‌ترین عامل موثر برای تامین آب است و نیز یکی از فاکتورهای مهم کنترل‌کننده هیدروکلیماتیکی زمین‌شناسی منطقه محسوب می‌شود. در شمال غرب ایران، بارش اکثراً در فصل‌های سرد به شکل برف بوده و به‌دلیل خصوصیات کوهستانی این مناطق، منابع برف در طول سال دوام دارند. بنابراین، مدیریت علمی منابع آبی در این شکل از برف برای حفظ تامین آب قابل مصرف در این مناطق ضروری است [۴۷]. علاوه بر این، بارش برف نقش حساس و حیاتی در هیدرولوژی منطقه دارای برف به‌ویژه در بهار به‌دلیل مشارکت رواناب ناشی از ذوب برف در ایجاد جریان آبراهه‌ای دارد [۴۵]. بنابراین توجه به ابعاد مختلف مطالعات انجام شده در خصوص برف و ارائه نتایج جامع در این خصوص از اهمیت فوق‌العاده‌ای برای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و نیز سیاست‌گذاری در خصوص اجرای پروژه‌ها و طرح‌های اجرایی مربوط به مدیریت جامع و یکپارچه حوزه‌های آبخیز ضروری است، بر همین اساس در تحقیق حاضر، سوابق کلیه مطالعات انجام شده در خصوص مسائل حاکم بر برف و لحاظ شرایط لازم برای انتخاب مدل از جمله شرایط توپوگرافی، کاربری اراضی، پوشش زمین و مقیاس‌های مکانی و زمانی داده‌ها با استفاده از منابع و مستندات موجود برای کشور ایران به‌شرح زیر بررسی شد.

مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی ذوب برف

زینب حزباوی^۱ و مهدی وفاخواه^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۸

چکیده

در تحقیق حاضر یک جمع‌بندی از مطالعات صورت گرفته در زمینه برف، مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی ذوب برف در ایران از مجموعه مقالات ارائه شده در مجلات و نیز مجامع علمی داخلی و خارجی ارائه شده است. لزوم انجام چنین تحقیقی برای جلوگیری از انجام تحقیقات تکراری و نیز کسب دیدگاه جامع و نیز آشنایی با روند تحقیقات انجام شده در این زمینه بسیار مهم و اساسی می‌باشد. هم‌چنین مدیران و برنامه‌ریزان بخش اجرا نیز با بهره‌گیری از نتایج و اطلاعات ارائه شده در تحقیق حاضر می‌توانند با قاطعیت بیش‌تری به تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و نیز سیاست‌گذاری در خصوص اجرای پروژه‌ها و طرح‌های اجرایی اقدام بکنند. نتایج حاکی از پیشرفت‌های سریع در مدل‌سازی ذوب برف - رواناب به‌دلیل وجود بحث تغییر اقلیم و علاقه محققان به شبیه‌سازی اقلیمی جهان و تغییرات هیدرولوژی برف می‌باشد. مدل‌ها و روش‌های متنوعی در زمینه مدل‌سازی برف وجود دارد. تشخیص این‌که کدام یک از مدل‌ها و ابزارها می‌تواند برای شبیه‌سازی ذوب برف به‌راحتی مورد استفاده یا اصلاح قرار بگیرد نیازمند یک مطالعه جامع و تحلیل کامل در این خصوص وجود دارد. لذا تحقیق پیش‌رو با هدف بررسی سوابق مدل‌های ارائه شده در زمینه ذوب برف و لحاظ شرایط لازم برای انتخاب مدل از جمله شرایط توپوگرافی، کاربری اراضی، پوشش زمین و مقیاس‌های مکانی و زمانی داده‌ها با استفاده از منابع و مستندات موجود برای کشور ایران انجام شد. پژوهش حاضر بیش‌تر مبتنی بر مقالات ارائه شده در مجلات، کنفرانس‌ها، منابع مختلف اینترنتی، دستورالعمل مدل‌ها و گزارش‌هایی بوده است که در خصوص مدل‌های ذوب برف ارائه شده است. با بررسی دقیق مقالات مرتبط با مدل‌های رایج ذوب برف مشاهده شد که

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار (نویسنده مسئول) گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران، vafakhah@modares.ac.ir

محاسبه آب معادل برف^۱

آب معادل برف یک پارامتر کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی است و اطلاعات محلی درباره آب معادل برف برای کاربردهای مختلف هیدرولوژیکی و هواشناسی و تولید نیروآب و پیش‌بینی سیل نیاز است [۴۹]. تخمین صحیح آب معادل برف برای مدیریت مناسب منابع تامین آب به‌ویژه به هنگام سیلاب و خشکسالی‌ها ضروری است. امروزه به دلیل تغییر اقلیم، وقوع زمستان‌های کوتاه و کاهش میزان برف در بین بارش سالانه در ارتفاعات انتظار می‌رود، که قطعا فشار بر منابع آب و بنابراین نیاز ما را به تعیین دقیق آب معادل برف در زمان و مکان خاص تقویت می‌کند [۴۵]. از طرفی تخمین رواناب حاصل از ذوب برف و بارندگی برای برنامه‌های مدیریتی منابع آب بسیار حائز اهمیت است [۳۸].

آب معادل برف اطلاعات مهمی برای مدیریت منابع آب فراهم می‌کند و یک موضوع عمده تحقیقات در زمینه ارزیابی سنجش از دور پوشش برف و ذوب آن می‌باشد. بر مبنای مطالعات صورت گرفته دستیابی به تخمین‌های صحیح آب معادل برف، در حوزه‌های کوهستانی پوشیده از برف، هدف اولیه برای همه مدل‌های هیدرولوژیکی برف است. تا قرن ۲۱، ارزیابی مدل با استفاده از اندازه‌گیری‌های در محل^۲ و تکنیک درون‌یابی مکانی محاسبه می‌شد اما امروزه، تکنیک‌های سنجش از دور منجر به اندازه‌گیری‌های مستقیم عمق برف با قدرت تفکیک مکانی بالا انجام می‌شود. DMS^۳، GOES^۳، Landsat^۳، SPOT^۳، NOAA-AVHRR و SSM/I از جمله ماهواره‌هایی هستند که در مطالعات برف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Tabari و همکاران [۴۹] با روش‌های مختلف رگرسیون خطی چندمتغیره، تحلیل تابع تشخیص، کریجینگ معمولی، کریجینگ معمولی- رگرسیون خطی چندمتغیره، کریجینگ معمولی- تحلیل تابع تشخیص، شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی- الگوریتم ژنتیک عمق برف و آب معادل برف را تخمین زده و روش‌ها را مورد مقایسه قرار دادند. پژوهش در حوزه آبخیز صمصامی واقع در شهرکرد، جنوب غرب ایران با مساحت ۵/۲ کیلومتر مربع انجام شد. نتایج نشان داد که روش‌های شبکه عصبی-الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره قادر به پیش‌بینی آب معادل برف در سطح مطلوب از دقت شدند. گرچه، مدل شبکه عصبی-الگوریتم ژنتیک دارای بالاترین ضریب تعیین ($R^2=0.70$) و کم‌ترین جذر میانگین مربع خطا ($RMSE=0.202$) ($P<0.50$) و کم‌ترین مقدار آب معادل برف در شرق منطقه مطالعاتی و بالاترین میزان آن در غرب منطقه جایی که عرض جغرافیایی بالایی داشت به‌دست آمد [۴۹].

طبری و همکاران [۱۷] امکان استفاده از رگرسیون غیرخطی،

جدول ۱ معیارهای آماری مربوط به عوامل موثر بر عمق برف (طبری و همکاران [۱۷])

عوامل	R ^۲	RMSE
طول جغرافیایی	۰/۳۱	۳۲۷
عرض جغرافیایی	۰/۱۸	۱۴۴۲۹۸/۲
ارتفاع از سطح دریا	۰/۲۶	۷۰/۳
شاخص بادپناهی	۰/۲۰	۷۲/۳
زاویه شیب	۰/۰۲	۸۰/۱
جهت شیب شمالی-جنوبی	۰/۱۳	۷۵/۵
جهت شیب شرقی-غربی	۰/۰۴	۶۲۵/۴

شبکه عصبی مصنوعی و بهینه‌سازی پارامترهای آن از طریق الگوریتم ژنتیک در برآورد آب معادل برف را بررسی کردند. آن‌ها عوامل موثر بر برف و آب معادل برف را طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شاخص بادپناهی، زاویه شیب، جهت شیب شمالی جنوبی، جهت شیب شرقی- غربی بر شمرند و سه عامل ارتفاع از سطح دریا، شاخص بادپناهی و جهت شیب شمالی جنوبی به‌ترتیب بالاترین تاثیر را در منطقه مطالعاتی داشتند. اطلاعات آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

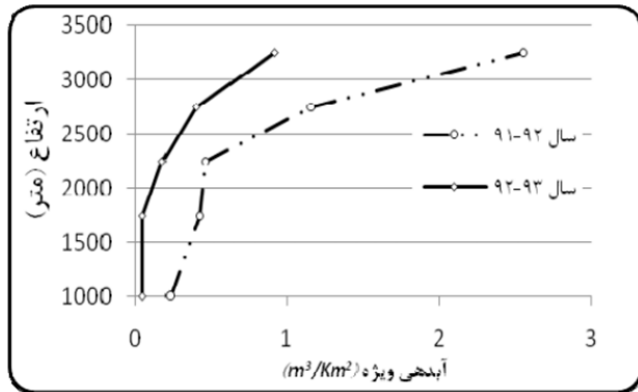
Marofi و همکاران [۴۴] با استفاده از رگرسیون غیرخطی چندمتغیره و روش هوش محاسباتی به پیش‌بینی توزیع مکانی آب معادل برف پرداختند. ارزیابی منابع آب به‌دست آمده از بارش برف در حوزه‌های کوهستانی بسیار مهم است. در این تحقیق، عمق برف و آب معادل برف برای کمی کردن منابع آب ذخیره شده در برف بررسی شد. روش رگرسیون خطی چندمتغیره و ۴ نوع از شبکه عصبی مصنوعی و مدل الگوریتم ژنتیک تلفیق‌یافته با شبکه عصبی در ابتدا برای پیش‌بینی آب معادل برف در حوزه آبخیز صمصامی ارزیابی شد. سپس تکنیک کریجینگ معمولی برای درون‌یابی مقادیر آب معادل برف استفاده شد. بدین‌منظور، هفت مدل مختلف رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی و مدل الگوریتم ژنتیک تلفیق‌یافته با شبکه عصبی، دربرگیرنده ترکیب مختلف پارامترهای اقلیمی و توپوگرافی برای ارزیابی درجه اثر هر کدام از این پارامترها بر آب معادل برف توسعه داده شد. نتایج آزمایشات مختلف نشان داد که مدل الگوریتم ژنتیک تلفیق‌یافته با شبکه عصبی ۵ با استفاده از الگوریتم آموزش Delta-Bar-Delta و تابع فعال سیگموئید با ورودی ارتفاع، حداکثر شیب رو به باد جهات شمالی-جنوبی، شیب و طول جغرافیایی در تخمین آب معادل برف بهترین عملکرد را داشت. به‌طور کلی نتایج بیان‌گر این بود که مدل الگوریتم ژنتیک تلفیق‌یافته با شبکه عصبی مناسب‌ترین مدل برای تخمین آب معادل برف در منطقه مطالعاتی بود. آنالیز حساسیت نشان داد که ارتفاع و حداکثر شیب روبه باد پارامترهای مهم‌تر موثر بر آب معادل برف

1. snow water equivalent (SWE)

2. In Situ

3. Geostationary Operational Environmental Satellite

4. Root Mean Square Error (RMSE)



شکل ۱- رابطه آبدهی ویژه ذوب برف و ارتفاع برای دوره‌های آماری (ثقفیان و همکاران [۶])

از ذوب برف بیش‌تر از مناطق با ارتفاع کم‌تر به‌دست آمده بود. علت این امر را مربوط به سه عامل عمده گزارش کردند. اولاً با افزایش ارتفاع دما کاهش می‌یابد و این امر موجب می‌شود بارندگی‌های بیش‌تری به صورت برف شکل بگیرد. ثانیاً مقدار بارش معمولاً با ارتفاع افزایش می‌یابد. ثالثاً نرخ ذوب برف در ارتفاعات به دلیل دمای پایین‌تر کم‌تر است. این عامل هم‌چنین باعث می‌شود تا آب حاصل از ذوب برف فرصت کافی برای نفوذ به زمین را داشته باشد و سپس به مرور توسط رودخانه زهکشی شود. در ارتفاعات به دلیل شکل هرمی کوه‌ها با افزایش ارتفاع مساحت کاهش یافته و این مساله باعث کاهش میزان بودجه برفی با افزایش ارتفاع شد. آبدهی ویژه میزان تاثیر هر واحد از ناحیه ارتفاعی در مقدار رواناب ناشی از ذوب برف در خروجی از حوزه را نشان می‌دهد. در شکل ۱ رابطه آبدهی ویژه با ارتفاع در حوزه مطالعاتی کارون نشان داده شده است.

مشاهدات سنجش از دور به‌طور ویژه‌ای برای تهیه داده‌های ورودی با جزئیات خاص برای مدل‌سازی رواناب ناشی از تغییرپذیری مکانی و زمانی پوشش برف بسیار مفید است. پیش‌بینی رواناب در کوتاه مدت و بلندمدت در تصمیم‌گیری مسئولین بسیار مهم است. به‌عنوان مثال پیش‌بینی کوتاه‌مدت رواناب در ارزیابی خطر سیل در فصل ذوب برف بسیار مهم است. پیش‌بینی بلندمدت رواناب می‌تواند اطلاعات موثر در مدیریت منابع آب تولید شده از ذوب برف در فصل بعدی فراهم بکند. تنها مدلی که بسیار بهینه‌سازی شده است برای ورودی داده‌های پوشش برف حاصل از سنجش از دور مدل SRM مربوط به Martinec [۴۲] می‌باشد. در این مدل ذوب برف از سطح پوشیده شده (SCA) از برف استخراج شده از سنجش از دور محاسبه می‌شود. SRM روش درون‌یابی سطح پوشش برف در پیش‌بینی کوتاه مدت همیشه نتایج خوبی را ارائه نمی‌دهد. در این تحقیق محصولات پوشش برف حاصل از سنجش از دور و داده‌های هواشناسی و زمین‌شناسی در مدل‌سازی رواناب ذوب برف استفاده شد. رواناب ناشی از ذوب برف در طول ۶ سال در حوزه

نسبت به دیگر پارامترها بوده است.

شرافتی و همکاران [۱۳] مدل SWEG^۱ را برای برآورد آب معادل برف به‌طور روزانه معرفی کردند و استفاده از الگوریتم ژنتیک برای واسنجی پارامترهای این مدل با کاربرد ترکیب آن با مدل SSP بر حوزه آبخیز به‌منظور پیش‌یابی آورد ورودی به سد طرق با مساحتی در حدود ۱۴۲ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۷۸۱ متر از سطح دریا واقع در شمال شرق کشور در استان خراسان شمالی را مورد آزمایش قرار داده بودند. مقایسه مدل نهایی SWEG (با بهرگیری از الگوریتم ژنتیک برای تعیین ضرایب مدل) با مدل ابتدایی SWEG (عدم بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک) تاییدکننده افزایش دقت مدل SWEG بوده است. به‌طوری‌که در حدود ۰/۵۲ در ضریب هم‌بستگی خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی بهبود حاصل شده بود. برای کاهش متغیرهای مستقل اولیه به‌منظور افزایش نسبت طول دوره آماری به تعداد این متغیرهای مستقل و حذف همبستگی درونی میان آنان اقدام به تهیه مدل SSP شده بود. آن‌ها استفاده از یک جستجوگر قوی برای انتخاب متغیرهای مستقل اولیه و انتخاب مولفه‌های موثر در پیش‌یابی آورد ماهانه رودخانه را از برتری‌های مدل SSP و عدم در نظر گرفتن برداشت آب در دوره‌های مورد نظر برای پیش‌بینی را از ضعف‌های مدل SSP برشمردند. از این رو پیشنهاد کردند که مدل در پیش‌بینی آورد حوزه‌های آبخیز کوچک و حوزه‌هایی که برداشت از رودخانه کم و شرایط طبیعی حوزه حفظ شده باشد، استفاده شود.

مدل MRS^۲

مدل SRM یک مدل هیدرولوژیکی است که برای تخمین جریان روزانه در حوزه‌های کوهستانی استفاده می‌شود. این مدل رواناب حاصل از ذوب برف را با استفاده از پارامترهای هیدرولوژیکی و خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز محاسبه می‌کند و نیز نتایج را به صورت نمودار و به‌صورت عددی نشان می‌دهد [۵۰].

ثقفیان و همکاران [۶] پژوهشی با هدف تفکیک سهم ذوب برف در رواناب کل حوزه برفی-بارانی و بررسی تغییرات میزان ذوب برف با ارتفاع در سطح حوزه کارون تا قبل از سد کارون ۱ انجام دادند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سطوح تحت برف در منطقه در یک دوره تاریخی استخراج شد. منطقه با به‌کارگیری نرم‌افزار GIS به پنج ناحیه ارتفاعی تقسیم شد و مساحت متناظر با هر دامنه ارتفاع تعیین شد. مدل SRM واسنجی و اعتبارسنجی شد. با توجه به هیدروگراف‌های تولید شده رواناب حاصل از ذوب برف از هر یک از نواحی ارتفاعی در ماه خاصی رخ داد. به‌عنوان مثال در ناحیه ارتفاعی ۵ که مرتفع‌ترین ناحیه بود در اواسط ماه بهمن اتفاق افتاد. یعنی جریان ناشی از ذوب برف در نواحی کم‌ارتفاع حدود ۴ تا ۵ ماه زودتر از حداکثر جریان نواحی با ارتفاع بیش‌تر، در رواناب رودخانه مشارکت کرده بود. در مناطق مرتفع‌تر حوزه، نسبت رواناب حاصل

1. Snow Water Equivalent Generator

2. Snow Runoff Model

آبخیز حبله رود واقع در استان سمنان مدل سازی شد. کالمن فیلتر^۱ برای پیش بینی سطح پوشیده از برف با توجه به منحنی های تخلیه سطح پوشیده از برف در زیرحوزه ها به جای روش درون یابی سطح پوشیده از برف در مدل SRM استفاده شد. پیش بینی هفتگی SRM با دقت با استفاده از کالمن فیلتر داده های حاصل از سطح پوشیده از برف بهبود پیدا کرده است [۴۰].

Vafakhah و همکاران [۵۰] رواناب حاصل از ذوب برف یک نقش قابل توجهی در ذخیره آب در حوزه های آبخیز مناطق کوهستانی دارد. مطالعه حاضر برای تخمین رواناب حاصل از ذوب برف توسط مدل SRM در حوزه آبخیز طالقان انجام شد. هدف از این مطالعه ارزیابی درجه روز و تابش SRM بوده و نیز روش مناسب برای درون یابی دما پیشنهاد می دهد که ورودی بسیار مهم مدل SRM محسوب می شود. مقادیر پارامترهای ورودی تعریف شدند و شبیه سازی مدل انجام شد. آب نموده های محاسباتی و مشاهده ای رسم شدند. آب نموده ها به صورت چشمی و نیز با استفاده از ضریب کارایی نش ساتکلیف و درصد تفاضل حجم مقایسه شدند. ضریب نش ساتکلیف در دوره اعتبارسنجی از ۰/۶۵ تا ۰/۸۶ و ۰/۸۰ تا ۰/۸۸ به ترتیب برای مدل های درجه روز و تابشی تخمین زده شد. درصد تفاضل حجمی در دوره اعتبارسنجی ۱/۸۵ تا ۱۸/۳۶ برای مدل درجه روز و ۰/۶۵ تا ۴/۵۴- برای مدل تابشی به دست آمد. هفت روش مختلف درون یابی دما با استفاده از مدل های درجه روز و تابشی SRM برای کل حوزه آبخیز طالقان اجرا شد. نتایج نشان داد که تخمین دما به وسیله روش های مختلف می تواند سبب تفاوت هایی بین رواناب تخمین شده و مشاهده شده ایجاد بکند. همچنین برای غلبه بر کمبود داده های اندازه گیری شده در مدل سازی رواناب ناشی از ذوب برف، روش درون یابی دما و اضافه کردن فاکتور تابش به مدل، کمک بزرگی در بهبود دقت شبیه سازی و تشریح رفتار هیدرولوژی برف در حوزه آبخیز می کند.

مدل TAWS

Gosain و Solaymani [۴۸] هدف اصلی این روش شبیه سازی حوزه آبخیز کرخه محصور به برف است. حوزه آبخیز کرخه در جنوب غرب کشور با عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ تا ۴۹ درجه شرقی با مساحت کلی ۵۰۸۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است. در این حوزه حدود ۴۵ درصد بارش در ماه های زمستان از دسامبر تا مارس اتفاق می افتد و اکثر ماه های تابستان مثل ژوئن تا سپتامبر بدون بارش است. خصوصیات هیدرولوژی حوزه آبخیز کرخه به دلیل توپوگرافی متنوع و تنظیمات طبیعی زمین شناسی (مخروط افکنه و نهشته های تراس دره ای و سنگ های تامورفویک مثل کارست)، اقلیمی و اکولوژی آن، نامتعارف و غیریکنواخت است. به طور کلی حوزه آبخیز دارای یک

اقلیم مدیترانه ای، زمستان های مرطوب و تابستان های گرم و خشک است. مدل SWAT برای شبیه سازی حوزه آبخیز کرخه استفاده شد. مدل SWAT با استفاده از داده های زمینی (DEM) با قدرت تفکیک ۹۰ متر، کاربری زمین (استخراج شده از تصاویر ETM⁺ سال ۲۰۰۲ با قدرت تفکیک ۵۰ متر)، نوع خاک (FAO) و شرایط هواشناسی زمینی (سازمان هواشناسی ایران) تنظیم شد. دو روش دستی و خودکار برای واسنجی استفاده شد. الگوریتم برازش عدم قطعیت متوالی^۶ در برنامه SWAT-CUP برای بهینه سازی پارامترها استفاده شد. ارزیابی واسنجی با استفاده از روش گرافیکی^۷، ضریب کارایی نش ساتکلیف^۸، درصد انحراف^۹ و نسبت جذر میانگین مربع خطا (RMSE) به انحراف استاندارد مشاهدات^{۱۰} استفاده شدند.

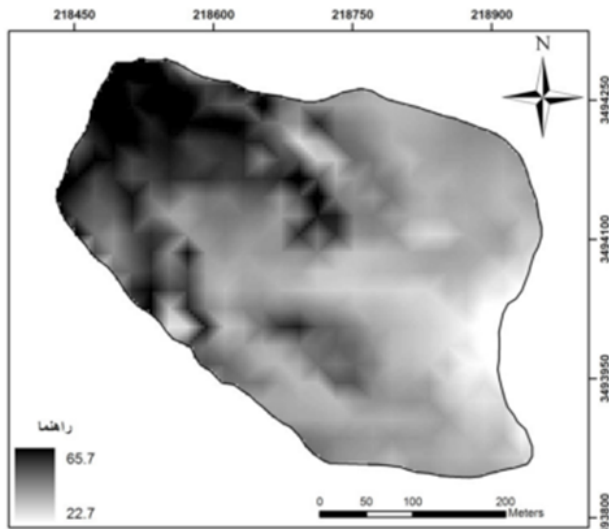
روش درجه روز^{۱۱}

Raeisian و Porhemmat [۴۶] مدل های مختلفی برای محاسبه ذوب برف استفاده می شود. از جمله مدل درجه روز که متداول ترین آن ها بوده و محاسبات آن بر اساس پارامترهای درجه حرارت است. در این مدل، علاوه بر دما، فاکتور درجه روز به وسیله واسنجی در هر منطقه و استخراج فاکتور مدل بر اساس داده های به دست آمده از طریق همبستگی است. این بررسی در منطقه چاری واقع در استان چهار محال و بختیاری به عنوان منطقه نماینده اندازه گیری برف در زاگرس مرکزی اجرا شد. هفت مکان برای تحلیل برف تعیین شد و سه شاخص با توزیع مستطیل مثلث با ۲۰ متر طول در طرفین هر مکان قرار داده شد. روش های مقیاس تراکم^{۱۲} برای تعیین مقدار ذوب برف استفاده شد. متوسط دمای روزانه در هر مکان بر اساس اطلاعات ایستگاه های هواشناسی اطراف منطقه و روابط درجه دما محاسبه شد. از نوامبر ۲۰۰۵ تا می ۲۰۱۱، عمق و چگالی برف به صورت هفتگی ثبت شد و آب معادل آن به طور همزمان اندازه گیری شد. مقدار ذوب برف ناشی از آب معادل برف از دو ثبت متوالی محاسبه شد (بدون دوره باران). داده های چهار شاخص مختلف شامل مجموع متوسط دمای دوره، مجموع دمای متوسط مثبت دوره، میانگین دمای متوسط دوره، میانگین متوسط دمای مثبت دوره آنالیز شد و فاکتور درجه روز محاسبه شد.

Khoshkhood و همکاران [۴۱] بیان کردند CoupModel یک مدل انتقال حجم و گرمای فیزیکی را برای شبیه سازی دمای خاک زمستانه، عمق یخ زدگی خاک و عمق برف برای یک دوره ۱۴ ساله در مناطق مرتفع واسنجی کردند. روش مبتنی بر مونت کارلو برای

3. Digital Elevation Model
4. Enhanced Thematic Mapper Plus
- 5 Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO)
6. Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2)
7. Graphical Procedure
8. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)
9. Percent Bias (PBIAS)
10. Observations Standard Deviation (OSR)
11. Degree- Day Factor
12. Scale-density

1. Kalman filtering
2. Soil Water Assessment Tool



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی چگالی برف رسم شده با استفاده از تمامی داده‌های کمکی (منطقه سخوید دشت یزد- اردکان) (فتح‌زاده و قزایی منش [۲۱])



شکل ۳- آنالیز حساسیت در بین ورودی‌ها (فتح‌زاده و قزایی منش [۲۱])

است. با جایگزین کردن نرون دمایی با نرون شرطی آستانه و بررسی نتایج دو مرحله، نرون شرطی توانست موثر عمل بکند. Moosavi و همکاران [۴۳] برای تولید نقشه‌های پوشش برفی فراکتالی از مدل‌های هیبرید هوش مصنوعی - موجکی استفاده کردند. در ابتدا پوشش برفی از داده‌های MODIS^۲ حذف شد و تصاویر بدون ابر تولید شد. سپس تصاویر ETM+ دسته‌بندی شده مبتنی بر SVM^۳ به عنوان نقشه‌های مبنا برای دستیابی به داده‌های آموزش و آزمون برای مدل‌های دسته‌بندی شده زیر پیکسل استفاده شد. مدل سازی ANN^۴ و ANFIS^۵ با استفاده از داده‌های خام (بدون پیش‌پردازش مبتنی بر موجک) انجام شد. در گام بعدی، چندین موجک و سطوح مادر در ترکیب داده‌های اصلی برای دستیابی به ضرایب موجک تجزیه شد. سپس، داده‌های تجزیه شده برای فرآیند

فرآیند واسنجی مبتنی بر معیارهای کارایی موضوعی استفاده شد. آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل با انتخاب ۳۰ پارامتر و با استفاده از ۲۲۰۰۰ نمونه گرفته شده از دامنه عدم قطعیت پارامترها اجرا شد. شاخص نش ساتکلیف برای ارزیابی کارایی مدل و کاربرد یک آستانه میانبر برای کارایی در عمق برف و دمای خاک استفاده شد. ۱۶۱ رفتار شبیه‌سازی به عنوان نمونه پذیرفته شده برای نمایش شرایط صحرایی شناسایی و در نظر گرفته شد. آنالیز حساسیت مدل بعضی از پارامترهای مربوط به تبخیر خاک، خصوصیات هیدرولیکی خاک و مدل سازی برف را مهم‌ترین پارامترها معرفی نمود. آنالیز عدم قطعیت مدل برای دمای خاک زمستانه یک توافق منطقی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در اکثر موارد نشان داد. اگرچه یک خطای سیستماتیک در بعضی دوره‌ها به دلیل عدم قطعیت بالای چگالی واقعی برف و جزئیات ذوب برف اتفاق افتاد. عدم قطعیت هم چنین ناشی از فرض‌های ساده‌سازی مدل با توجه به خصوصیات دمایی برف و دمای درون پوشش برف بوده است. عمق برف در مراحل تجمع و ذوب توسط مدل در اکثر موارد تشریح شد.

فتح‌زاده و قزایی منش [۲۱] کارایی یکی از روش‌های هوش مصنوعی در شبیه‌سازی پراکنش مکانی چگالی برف در یکی از منطقه سخوید دشت یزد- اردکان را ارزیابی کردند. برای این کار داده‌های چگالی برف با استفاده از نمونه بردار مدل مونت-رز در ۲۱۶ نقطه برداشت گردید. از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲۰ متر برای استخراج اطلاعات کمکی استفاده شد. پارامترهای زمین نما در محیط سامانه جغرافیایی ساگا^۱ از امکانات متعلق به نرم افزار قدرتمند سامانه اطلاعات جغرافیایی محاسبه و استخراج شدند. در شکل ۲ نقشه توزیع مکانی چگالی برف رسم شده با استفاده از تمامی داده‌های کمکی منطقه سخوید دشت یزد- اردکان نشان داده شده است.

نتایج این مطالعه نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی از دقت خوبی برای برآورد چگالی برف برخوردار است. به طوری که این مدل توانسته است ۸۶ درصد از تغییرات برف را مدل کند. هم چنین موثرترین پارامترها شامل انحنا، نیرخ طولی، نیرخ عرضی، انحنا، اثر باد، موقعیت میانی شیب، شاخص همواری، قله، شاخص همواری دره، سایه اندازی، ارتفاع نرمال شده و شیب معرفی شدند که در شکل ۳ نتایج آنالیز حساسیت برای آن را مشاهده می کنید.

مدل های هوش مصنوعی و شبکه عصبی مصنوعی

اعلمی و حسین‌زاده [۱] برای پیش بینی بارش رواناب حوزه آبخیز برف گیر ليقوان چای در دامنه شمالی سهند واقع در استان آذربایجان شرقی با وسعت ۷۶ کیلومتر مربع از شبکه‌های عصبی چندلایه استفاده نمودند. از آنجایی که حوزه مطالعاتی برف گیر بوده، اثر دما و تبدیل برف به رواناب حائز اهمیت بوده و در ادامه مورد بررسی قرار گرفته و نرونی با نام نرون شرطی آستانه دمایی (CTT) تعریف شده

1. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA)

2. Moderate Resolution Imaging Spectrometer
3. Support Vector Machine
4. Artificial Neural Networks
5. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

مدل‌سازی استفاده شد. مدل‌های ANN، ANFIS، شبکه عصبی مصنوعی-موجک و شبکه عصبی فازی-موجک برای ارزیابی اثر تبدیل سیگنال بر توانایی مدل‌های هوش مصنوعی مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تبدیل موج به‌عنوان یک روش پیش‌پردازش می‌تواند کارایی مدل‌های ANN و ANFIS را ارتقا بدهد. این اطلاعات دقت ۹۲/۴۵ درصد برای مدل شبکه عصبی فازی-موجک، ۸۶/۱۳ درصد برای شبکه عصبی مصنوعی-موجک، ۷۲/۲۳ درصد برای مدل ANFIS و ۶۶/۷۸ درصد برای مدل ANN را نشان داد. در واقع مدل‌های هیبرید هوش مصنوعی-موجک می‌تواند خصوصیات سیگنال‌های اصلی (ورودی‌های مدل) به دقت از طریق تجزیه سیگنال‌های غیر ایستا و پیچیده در قالب سیگنال‌های ایستا و ساده‌تر استخراج کند. اثر مثبت فازی‌سازی به همراه تبدیل موجک در مدل شبکه عصبی استنتاج فازی-موجک مورد تایید قرار گرفت.

روش‌های سنجش از دور میکروویو فعال و یا غیر فعال

به دلیل اهمیت موضوع هیدرولوژی برف در مناطق مختلف، روش‌های بسیار زیادی ارائه شده‌اند. به طور کلی، در مدل‌سازی ذوب برف معمولاً یکی از روش‌های شاخص دما، بیلان انرژی^۲ و ترکیبی از دو روش شاخص دما و بیلان انرژی (روش تلفیقی)^۳ به کار برده می‌شود. روش بیلان انرژی جامع‌ترین روش است اما نسبت به روش‌های دیگر نیازمند بیش‌ترین متغیرهای ورودی اقلیمی محلی است. تعادل بین جرم و انرژی برای برف تجمعی در معادلات بیلان انرژی حکومت می‌کند، در حالی‌که روش‌های شاخص دما، با استفاده از یک رابطه تجربی با دمای هوا ذوب را تخمین می‌زند و ساده‌ترین روش با حداقل متغیرهای ورودی (بارش، دما و ضریب ذوب برف) ارائه می‌دهند. مزیت‌های عمده روش شاخص دما سادگی آن، دسترسی زیاد داده‌های دما، هوا و کرائی کامپیوتری در واسنجی و شبیه‌سازی هستند. این روش، به‌طور کلی برای پیش‌بینی تجمع برف و ذوب آن به‌ویژه برای مکان‌های باز معرفی شده‌اند و برای پیش‌بینی‌های عملکردی نوعاً استفاده می‌شوند. اساس هر مدل ذوب برف، زیربرنامه‌ها یا محاسبات ریاضی است که یکی از دو دیدگاه عمده بیلان انرژی یا شاخص دما را توصیف می‌کند. هر دو روش به شدت در شرایط متنوع در حال استفاده هستند.

یک مزیت منحصر به فرد داده‌های ماهواره‌ای امکان تعیین خط برف و محاسبه مساحت پوشیده از برف است. اخیراً قابل دسترس بودن داده‌های سنجش از دور کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی دارای مولفه‌های برف را بهبود داده است. پوشش نزدیک به روزانه داده‌های MODIS و قدرت تفکیک متوسط آن یک ابزار قدرتمندی برای تحلیل سری زمانی سطح پوشیده از برف فراهم کرده است. به دلایل مختلفی از قبیل پوشش ابری، مشکلات فنی و غیره تصاویر یا در

دسترس نیستند یا غیرقابل استفاده هستند [۳۶].

Abdollahi و Batelaan [۳۷] با مطالعه ۲۷ تصویر MODIS از NASA به محاسبه سطح پوشیده از برف در مقیاس حوزه آبخیز پرداختند و نیز از تکنیک NDSI در این مطالعه استفاده کردند. هم‌چنین از داده‌های دمایی ایستگاه کوه‌رنگ تهیه شده توسط سازمان هواشناسی ایران در طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۰۸ استفاده کردند. ارتفاع ایستگاه کوه‌رنگ ۲۲۸۵ متر از سطح دریا و از نظر جغرافیایی در عرض ۲۶°۳۲ و طول ۵۰°۰۷ واقع شده است. در این مطالعه پوشش برف استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان متغیر وابسته و دما به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. برای بیان رابطه بین این دو متغیر از بسته CURVEEXPERT ۱,۴ استفاده شد. این برنامه از الگوریتم Levenberg-Marquardt برای حل رگرسیون غیرخطی با ترکیب روش steepest-descent و تکنیک سری Taylor استفاده می‌کند. این روش قابل استفاده در هر زمان است. وقتی پهنه برف قابل دسترس نیست و این روش پهنه برفی را بر اساس داده‌های باقی‌مانده تخمین بکند. به دلیل همبستگی بالا و واریانس پایین مدل‌های لجستیک^۴، نمایی^۵، ریچارد^۶، گامپتر^۷ و خطی^۸ انتخاب شدند.

رایگان و همکاران [۴۰] استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور پایش پدیده‌های طبیعی مانند برف با توجه به کاهش قابل ملاحظه هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان بسیار موثر خواهد بود. در پایش پیوسته سطح پوشیده از برف نیاز به سنجنده‌هایی است که دوره بازگشت کوتاه مدت دارند. با توجه به اهمیت پایش سطح پوشیده از برف در مباحث مختلف محیط زیستی، اقلیمی و هیدرولوژی، در این تحقیق تلاش شده به کمک تصاویر ماهواره‌ای MODIS سطح پوشیده از برف برآورد شود که تصاویر نهایی برف‌دار بسیار به تصاویر واقعی نزدیک بودند. هم‌چنین سعی شد به کمک روابط ساده و استفاده از پارامترهایی که تقریباً در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند، مانند درجه حرارت حداکثر و متوسط روزانه، تغییرات سطح برف به کمک عملیات GIS برآورد شود. بنابراین با توجه به ابری بودن مناطق برفگیر در اکثر طول دوره برفی، استفاده از این روش به‌منظور تهیه تصاویر سطح پوشیده از برف یکی از کاربردهای موثر و مطمئن خواهد بود.

Ghanbarpour و همکاران [۳۹] تعیین خصوصیات برف در حوزه‌های آبخیز کوهستانی به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی پیچیده پوشش برف مشکل است. نمایش درست تغییرات پوشش برف در مکان و زمان یک فاکتور مهم در مدل‌سازی ذوب برف، پیش‌بینی هیدرولوژیکی، برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت خشکسالی محسوب می‌شود. این مطالعه نشان داد که چگونه داده‌های سنجش

4. Logistic
5. Exponential
6. Richards
7. Gompertz
8. Linear Fit

1. Energy-balance (EB)
2. Temperature Index (TI)
3. Hybrids Combining the Preceding Approaches

از دور می‌تواند برای شبیه‌سازی تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات پوشش برف در حوزه‌های کوهستانی مکمل اندازه‌گیری‌های داده‌های زمینی هیدرولوژی و هواشناسی باشد. در این مطالعه حوزه آبخیز کارون واقع در جنوب غرب کشور، به دلیل اهمیت آن در تجمع ذخایر بزرگ برف، و متعاقبا مشارکت ذوب برف در کل رواناب مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرپذیری پوشش برف توسط استخراج نقشه‌های شاخص‌های پوشش برف با استفاده از داده‌های سنجنش از دور شبیه‌سازی شد. مشارکت ذوب برف در رواناب با استفاده از مدل توازن آب فصلی و نیز تخمین‌های مبتنی بر روش‌های غیرمستقیم با مدل‌سازی متغیرهایی مانند دمای بحرانی، که یک متغیر مهم در مطالعات برف است تعیین شد. توافق بین روش‌های غیرمستقیم استفاده شده در این مقاله یک نتیجه قابل توجه است که قابل اعتماد بودن روش به هنگام کمبود داده را نشان می‌دهد.

Shahabi و همکاران [۴۷] بیان کرده‌اند که تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف پایش این نقش را بسیار سخت و پیچیده کرده است و اندازه‌گیری‌های صحرایی به‌ویژه در مناطق کوهستانی، بدون استفاده از فن‌آوری‌های جدید غالباً غیرممکن است. در این مطالعه، تصاویر MODIS، با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر برای تهیه یک نقشه منطقه پوشش برف با استفاده از شاخص NDSI در حوزه آبخیز زاب واقع در آذربایجان غربی استفاده شد. داده‌های ترکیبی هشت روزه برای کمینه کردن اثر پوشش ابری و حداکثر کردن مقدار تصاویر (SCA) قابل استفاده شد. اهمیت برف در این حوزه آبخیز با استفاده از مدل SRM به‌عنوان یکی از کاربردهای اصلی تصاویر روزانه MODIS بر اساس الگوریتم‌های مختلف شبیه‌سازی شد. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری برف بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه آبخیز زاب مرکزی از تصاویر پیشرفته رادیومتری انعکاس و رهایش دمایی مکانی با استفاده از روش درونیابی دوخطی استخراج شد. شاخص SCA به همراه آستانه طیفی ۲ و ۴، یک رابطه ثابت برای استخراج نقشه پوشش برف در منطقه مطالعاتی فراهم کرد. برای جریان آب شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ یک ضریب تعیین ۰/۸۹۵۳ و یک تفاضل حجم ۰/۱۴۹۸ به‌دست آمد و نشان‌دهنده یک ارتباط خوب بین رواناب اندازه‌گیری شده و محاسباتی با استفاده از SRM در حوزه آبخیز زاب مرکزی بوده است. اولین نتایج فرآیند مدل‌سازی نشان داد که سطح پوشیده از برف MODIS می‌تواند برای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مقادیر رواناب ذوب برف در حوزه آبخیز زاب مرکزی بود. مطالعات نشان داد که نتایج سطح پوشیده از برف در منطقه مطالعاتی قابل اعتمادتر بودند.

Zarenistanak و همکاران [۵۲] روند دما، بارش و سطح پوشیده از برف را در مناطق جنوب غرب کشور ارزیابی کردند. تحقیق عمدتاً در دوره پوشیده از برف شامل دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل در منطقه صورت گرفت. این تحقیق به دو بخش تقسیم شد. بخش اول شامل یک تحلیل روند در دما، بارش و سطح پوشیده

از برف در ماه‌های مذکور بود. روند در این پارامترها با رگرسیون خطی آزمون و سطح معنی‌داری با آزمون t -test تعیین شد. آزمون من کندال نیز برای تایید نتایج رگرسیون خطی استفاده شد. آزمون من کندال ترتیبی^۱ برای تشخیص نقطه تغییر در این سری استفاده شد. برای تحلیل پوشش برف، تصاویر سنجنش از دور از ماهواره NOAA^۲ با سنجنده با قدرت تفکیک رادیومتری بالا AVHRR^۳ برای دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۷ استفاده شد. قسمت دوم تحقیق شامل طرح آینده مبتنی بر ۴ مدل تحت سناریوهای B1 و A1B بوده است. تحلیل روند دما نشان‌دهنده یک افزایش معنی دار در طول فوریه و آوریل بوده است. طرح دما نشان داد که دما ممکن است بین ۱/۱۲ تا ۷/۸۷ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ در منطقه مطالعاتی بود. نتایج سری بارش نشان داد که اکثر ایستگاه‌ها روند غیر معنی‌داری در طول قرن بیستم داشتند. بارش ممکن است بر اساس اکثر مدل‌ها تحت دو سناریو کاهش پیدا کند اما کاهش زیاد نیست. نتایج روند نشان داد که سطح پوشیده از برف روند معنی‌داری ندارد. طرح سناریوها نشان داد که سطح پوشیده از برف ممکن است کاهش پیدا کند همان‌طور که در تمام مدل‌ها تحت سناریوهای مذکور در انتهای قرن ۲۱ که هم جهت با افزایش دما بوده است.

شمس و همکاران [۱۶] برای پایش سطوح برفی به استفاده از تصاویری با قدرت تفکیک زمانی نسبتاً بالا پرداختند. در این تحقیق نتایج حاصل از SCS^۴ حاصل از تصاویر MODIS از طریق مقایسه با تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی متوسط مانند ASTER^۵ واقع بر سکوها‌های مشابه MODIS ارزیابی می‌شود. در این پژوهش شاخص NDSI برگرفته از MODIS و ASTER در مناطقی با شیب ۲۰ تا ۵۰ درصد مقایسه شد و دو مدل MODMASTER و MODFASTER برای بهبود دقت تخمین SCS به‌وسیله MODIS ایجاد شد. نتایج به‌دست آمده از MODMASTER نشان‌گر ضریب تعیین با شاخص برف مشابه MODIS به میزان تقریباً ۷۶ درصد و RMSE در حدود ۰/۰۴۷ است. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده بهبود در برآورد سطح پوشیده شده از برف است. هم‌چنین نجف‌زاده و همکاران [۳۲] تغییرات سطح پوشش برف زیرحوزه پلاسجان از زیرحوزه‌های زاینده رود و واقع در قسمت مرکزی کشور را با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای NOAA در سال‌های ۷۱-۱۳۷۰ و ۷۲-۱۳۷۱ استخراج کردند. از داده‌های زمینی و تغییرات سطح پوشش برف در سال ۷۲-۱۳۷۱ برای واسنجی مدل SRM استفاده کردند. نتایج نشان داد که از مدل SRM برای پیش‌بینی جریان‌های روزانه حوزه‌های برف‌گیر که ذوب برف فاکتور اصلی رواناب است می‌توان استفاده کرد.

1. SQ-MK test

2. National Oceanic and Atmospheric Agency

3. Advanced Very High Resolution Radiometer

4. Soil Conservation Service

5. Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer

مدل سازی رواناب ذوب برف

انتخاب مدل برای پیش بینی رواناب حاصل از ذوب برف بستگی به بسیاری عوامل از جمله اهداف مدل سازی، دسترسی داده ها، خصوصیات آبخیز، و مقیاس های مکانی و زمانی کاربرد دارد. بنابراین نتیجه گیری کلی در این زمینه یک مسأله اساسی تلقی می شود. هنگامی که اهداف پروژه عمدتاً متمرکز بر الگوهای فصلی جریان آبراهه ای و کل حجم آب در دسترس برای آبرسانی باشد، آنگاه مدل های آماری یا چندین مدل فیزیکی و بازه های زمانی روزانه می تواند به کار برده شود. به هر حال، هنگامی که الگوهای روزانه ی مقادیر جریان و جریان های اوج روزانه یا فصلی مورد نیاز باشد (برای پیش بینی سیل یا تولید برق آبی)، آنگاه مدل ها با بازه های زمانی کمینه ی کوچک تر و توانایی های مدل توزیعی احتمالاً مدنظر است. بازه های زمانی کم تر از یک روز برای شبیه سازی ذوب برف معمولاً جایجایی از درجه-روز به روش های بیان انرژی را جهت پیش بینی ذوب مد نظر قرار می دهد.

اهمیت مدل سازی رواناب حاصل از ذوب برف

- تامین آب شرب^۱
- طراحی سازه های مهار سیل^۲
- آبیاری
- تولید قوه نیروی محرکه برق^۳
- مدیریت مخازن^۴

در این زمینه سجادی [۱۰] در یک مطالعه مروری به معرفی بیش از ۸ مدل در زمینه مطالعه برف در سرتاسر جهان پرداخته است. ایشان در نهایت اظهار کردند که روش درجه روز به دلیل امکان پیش بینی سیلاب ها، سادگی و دخالت درجه حرارت روزانه در این روش و کاربرد وسیع آن در حوزه های آبخیز بدون ایستگاه و تحلیل ذوب برف به ویژه روزانه کاربرد بیش تری نسبت به دو روش بیان انرژی و همبستگی چندمتغیره دارد.

جمع بندی

در تحقیق حاضر، مطالعات انجام شده در زمینه برف، مدل ها و روش های مطالعه آن برای کل کشور با هدف بررسی کیفیت نتایج ارائه شده و نمایش یک دید کلی از اهمیت برف مورد بررسی قرار گرفت. نویسندگان از منابع اطلاعاتی موجود در پایگاه های اطلاعاتی Web of Science، Scopus، SciELO، Google Scholar، Magiran، بانک مجامع علمی فارسی ایران^۵، پایگاه استنادی علوم

1. Drinking Water Supply
2. Flood Control Structures
3. Hydropower Generation
4. Reservoir Management
5. Scientific Electronic Library Online
6. Scientific Information Database (SID)

جهان اسلام (ISC)^۷ و سیویلکا^۸، پایان نامه ها و رساله های قابل دسترس استفاده کردند. در مجموع ۵۱ مطالعه انجام شده در کشور در تحقیق حاضر بررسی شد و در جدول ۲ ارائه شده است. از بین مطالعات انجام شده ۲۴ مطالعه به محاسبه رواناب حاصل از ذوب برف پرداخته شده بود (بیرویدیان و جندقی [۴]؛ پرهمت و همکاران [۵]؛ ثقفیان و همکاران [۶]؛ دلاور و همکاران [۷]؛ سجادی [۱۰]؛ سیدی علم آباد و همکاران [۱۲]؛ فتاحی و همکاران [۱۹]؛ فتح زاده و همکاران [۲۲]؛ قربانی زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد [۲۳]؛ قربانی زاده خرازی و همکاران [۲۴]؛ قنبرپور و همکاران [۲۵]؛ مرید و همکاران [۲۶]؛ مرید و همکاران [۲۷]؛ میریعقوب زاده و قنبرپور [۳۰]؛ میریعقوب زاده و همکاران [۳۱]؛ نجف زاده و همکاران [۳۲]؛ نجفی و همکاران [۳۳]؛ نجفی ایگدیر و همکاران [۳۴]؛ وفاخواه و همکاران [۳۶]؛ Fuladipannah و Jorabloo [۳۸]؛ Gharebaghi و Saberi [۴۰]؛ Raeisian و Porhemmat [۴۶]؛ Shahabi و همکاران [۴۷]؛ Vafakhah و همکاران [۵۰]). همچنین در زمینه مدل سازی فرآیند بارش ذوب بیش ترین مطالعه (۱۵ مورد) در زمینه کاربرد مدل SRM توسط بیرویدیان و جندقی [۴]؛ پرهمت و همکاران [۵]؛ ثقفیان و همکاران [۶]؛ دلاور و همکاران [۷]؛ دهقانی و همکاران [۸]؛ فتح زاده و همکاران [۱۹]؛ قربانی زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد [۲۳]؛ قربانی زاده خرازی و همکاران [۲۴]؛ میریعقوب زاده و همکاران [۳۱]؛ نجف زاده و همکاران [۳۲]؛ نجفی و همکاران [۳۳]؛ نجفی ایگدیر و همکاران [۳۴]؛ Fuladipannah و Jorabloo [۳۸]؛ Shahabi و همکاران [۴۷]؛ Vafakhah و همکاران [۵۰]؛ پرداخته شده است.

منابع

۱. ۱۳۸۹. مدل سازی فرآیند بارش- رواناب در حوزه ليقوان چای با استفاده از نرون شرطی آستانه دمایی. مجله دانش آب و خاک، ۲۰/۱ (۲): ۹۷-۱۱۰.
- ۲- برهانی داریان، ع.ر.، ضاهرپور، ج.، فاتحی مرج، ا. ۱۳۸۳. مدل های برفایی پیش بینی جریان حوزه آبریز به کمک RS و GIS. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱۵ (۲): ۲۲۵-۲۴۳.
- ۳- بنی حبیب، م.ا.، سادات جمالی، ف. ۱۳۸۹. مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی دینامیک و همبستگی خطی چندمتغیره در پیش بینی آبدهی به کمک داده های سنجش از دور. مجله دانش آب و خاک، ۲۰/۱ (۲): ۱۷۳-۱۸۴.
- ۴- بیرویدیان، ن.، جندقی، ن. ۱۳۸۴. برآورد رواناب ذوب برف به وسیله مدل اس.آرام. و مقایسه آن با اطلاعات آبنمود رودخانه در آبخیز زیارت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۶)، ۸ ص.
- ۵- پرهمت، ج.، ثقفیان، ب.، صدقی، ح. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده

7. Islamic World Science Citation Center
8. SIVILICA

جدول ۲ - جمع‌بندی مطالعات انجام شده در خصوص مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی ذوب برف در ایران

ردیف	محققان	موضوع	منطقه مطالعاتی	روش کار
۱	مرید و همکاران (۱۳۸۰)	چالش‌های موجود در تشابه‌سازی فرایند ذوب برف -	-	مروری
۲	برهانی‌داریان و همکاران (۱۳۸۳)	مدل‌های برف‌آبی پیش‌بینی جریان حوزه آبریز به کمک GIS و RS	سد دز (استان خوزستان)	روش برف‌آبی و فن‌سنجش از دور
۳	مرید و همکاران (۱۳۸۳)	عملکرد روش‌های مختلف برآورد ذوب برف با استفاده از داده‌های اقلیمی مصنوعی در شبیه‌سازی جریان شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف	-	مروری
۴	نجف‌زاده و همکاران (۱۳۸۳)	برآورد رواناب حاصل از ذوب برف	زاینده‌رود (استان اصفهان)	استفاده از عکس‌های ماهواره نوآ و مدل SRM
۵	نجفی و همکاران (۱۳۸۳)	تعیین مناطق موثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب برآورد رواناب ذوب برف	حوزه سد مهاباد	مدل SRM
۶	قنبرپور و همکاران (۱۳۸۴)	بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف	حوزه کارون	تحلیل تصاویر ماهواره‌ای
۷	بیرودیان و جندقی (۱۳۸۴)	برآورد رواناب ذوب برف	آبخیز زیارت (استان گلستان)	مدل SRM و اطلاعات آبنمود رودخانه
۸	پرهت و همکاران (۱۳۸۴)	برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه شهرچایی ارومیه	حوزه خرسان (استان خوزستان)	مدل SRM و داده‌های ماهواره‌ای
۹	نجفی ایگدیر و همکاران (۱۳۸۵)	ارزیابی دو روش معادله همبستگی خطی و کریجینگ معمولی به منظور برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوزه آبخیز صمصامی	حوزه شهرچایی ارومیه	تصاویر سنجنده نوا ماهواره AVHRR
۱۰	شریفی و همکاران (۱۳۸۶ الف)	کاربرد تحلیل خوشه‌ای به منظور تخمین عمق برف	حوزه صمصامی (جنوب غربی شهرکرد)	مدل SRM برای محاسبه رواناب برف معادله همبستگی خطی و کریجینگ معمولی
۱۱	شریفی و همکاران (۱۳۸۶ ب)	محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های فاقد تصویر	حوزه آبخیز اورازان	مدل رقمی ارتفاع و روابط رگرسیون بین متغیرهای حرارت، ارتفاع و تصویر جهت شیب
۱۲	وفاخواه و همکاران (۱۳۸۷)	کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف	تهران	نمونه‌برداری و اندازه‌گیری عمق و چگالی برف و رسم واریوگرام اجرای مدل ARPS
۱۳	مزرعه‌فراهمانی و همکاران (۱۳۸۷)	کاربست مدل پیش‌بینی عددی ARPS بر شبیه‌سازی توفان برف بهمن ۱۳۸۳ در تهران	مطالعه موردی: حوزه آبخیز	سنجش از دور و داده‌های ایستگاه‌های کلیماتولوژی، برف‌سنجی و هیدرومتری
۱۴	سیدی علم‌آباد و همکاران (۱۳۸۸)	برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS و کاربرد مدل‌های آماری	حوزه آبخیز	مدل SRM و تصاویر MODIS
۱۵	فتح‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)	ارزیابی مقایسه نسخه درجه روز و تابشی مدل SRM در همانندسازی رواناب ناشی از ذوب برف	زاینده‌رود حوزه‌های کوهستانی	به کارگیری روابط رگرسیونی پهنه‌بندی در محیط GIS
۱۶	معروفی و همکاران (۱۳۸۸)	پهنه‌بندی آب معادل برف در یکی از زیرحوزه‌های کوهستانی کارون با استفاده از GIS	حوزه آبخیز صمصامی	به کارگیری روش‌های رگرسیون غیرخطی، شبکه عصبی مصنوعی و بهینه‌سازی پارامترهای شبکه با روش الگوریتم ژنتیک
۱۷	طبری و همکاران (۱۳۸۸)	مقایسه روش رگرسیون غیرخطی با روش‌های هوش محاسباتی در برآورد توزیع مکانی آب معادل برف	سراب کارون	شبکه عصبی مصنوعی چندلایه
۱۸	اعلمی و حسین‌زاده (۱۳۸۹)	مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب	حوزه ليقوان چای (استان آذربایجان شرقی)	شبکه عصبی مصنوعی دینامیک و همبستگی خطی چندمتغیره تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره نوآ
۱۹	بنی‌حبیب و سادات جمالی (۱۳۸۹)	مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی دینامیک و همبستگی خطی چندمتغیره در پیش‌بینی آبدهی به کمک داده‌های سنجش از دور	مخزن سد شاه‌چراغی استان سمنان	

جدول ۲ - جمع‌بندی مطالعات انجام شده در خصوص مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی ذوب برف در ایران

ردیف	محققان	موضوع	منطقه مطالعاتی	روش کار
۲۱	ثقفیان و همکاران (۱۳۸۹)	تغییرات سهم رواناب ناشی از ذوب برف با ارتفاع	رودخانه کارون تا قبل از سد کارون ۱ (جنوب غربی ایران)	مدل SRM
۲۲	دهقانی و همکاران (۱۳۸۹)	ارزیابی شبیه‌سازی رواناب حوزه‌های برفی با مدل شبیه‌سازی (SRM) و شبکه عصبی برای برآورد انرژی برقی	حوزه آبخیز سردآبرود در شمال رشته کوه‌های البرز مروری	مدل شبیه‌سازی (SRM) و شبکه عصبی
۲۳	سجادی (۱۳۸۹)	مدلهای ذوب برف	حوزه آبخیز دز	گردآوری مطالب استفاده از دو مدل SRM و ECHAM۴
۲۴	قربانی‌زاده خرازی و چله‌مال دزفول نژاد (۱۳۸۹)	بررسی اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف	حوزه آبخیز کارون	استفاده از دو مدل SRM و ECHAM۴
۲۵	قربانی‌زاده خرازی و همکاران (۱۳۸۹)	پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در نیم قرن آینده تحت شرایط تغییر اقلیم	حوزه آبخیز سد کرج	استفاده از دو مدل SRM و ECHAM۴ تصاویر ماهواره‌ای MODIS شبیه‌سازی رواناب ذوب برف
۲۶	میرعقوب زاده و قنبرپور (۱۳۸۹)	بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در مدل‌سازی رواناب ذوب برف	حوزه آبخیز کرج	استفاده از دو مدل SRM و ECHAM۴ تصاویر ماهواره‌ای MODIS شبیه‌سازی رواناب ذوب برف
۲۷	دلاور و همکاران (۱۳۹۰)	شبیه‌سازی توزیعی ذوب برف در حوزه‌های کوهستانی فاقد داده	حوزه امام‌زاده داوود (استان تهران)	مدل SRM
۲۸	فتاحی و وظیفه‌دوست (۱۳۹۰)	برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS	حوزه‌های آبخیز استان گلستان	به‌کارگیری داده‌های سنجنده MODIS طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸
۲۹	میرعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۰)	مدل‌سازی جریان ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل هیدرولوژیکی رواناب حاصل از ذوب برف شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف به کمک شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی	حوزه آبخیز کرج	مدل‌سازی هیدرولوژیکی SRM
۳۰	وفاخواه و همکاران (۱۳۹۰)	شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی	حوزه آبخیز طالقان	به‌کارگیری دو روش شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی استخراج پوشش برف با استفاده از تصاویر MODIS مدل‌سازی
۳۱	سیدعباسی و همکاران (۱۳۹۱)	بررسی قابلیت پارامتر Cprecip در منظور کردن اثر برف بر پیش‌بینی دبی روزانه رودخانه به وسیله شبکه عصبی و شبکه عصبی فازی	مازندران	به‌کارگیری مدل درجه روز و تصاویر سنجنده MODIS استفاده از هوش مصنوعی
۳۲	فتح‌زاده و زارع بیدکی (۱۳۹۱)	برآورد توزیع آب معادل برف در زمان اوج انباشت برف با استفاده از مدل درجه-روز	حوزه آبخیز شمشک	به‌کارگیری مدل درجه روز و تصاویر سنجنده MODIS استفاده از هوش مصنوعی
۳۳	فتح‌زاده و قرای‌منش (۱۳۹۲)	کاربرد هوش مصنوعی در شبیه‌سازی توزیع مکانی چگالی برف در مناطق نیمه‌خشک	سرشاخه‌های دشت یزد-اردکان	استفاده از هوش مصنوعی
۳۵	شرافتی و همکاران (۱۳۹۳)	پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به سد با استفاده از ترکیب SWEG و SSP	سد طرق واقع در استان خراسان شمالی	SSP و SWEG
۳۶	شمس و همکاران (۱۳۹۴)	ارزیابی دقت شاخص NDSI استخراج‌شده از تصاویر MODIS در مناطق دارای شیب متوسط	حوزه آبخیز بازافت	مقایسه نتایج SCS حاصل از تصاویر MODIS، با تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی متوسط مانند ASTER واقع بر سکوها‌های مشابه MODIS مدل SRM
۳۷	فتاحی و همکاران (۱۳۹۰)	شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه‌های کوهستانی	حوزه آبخیز بازافت	مدل SRM
۳۸	Ghanbarpour و همکاران (۲۰۰۷)	ارزیابی تغییرپذیری زمانی و مکانی پوشش برف در حوزه‌های کوهستانی بزرگ	حوزه آبخیز کارون	بهره‌گیری از فن‌سنجش از دور
۳۹	Tabari و همکاران (۲۰۰۹)	مقایسه ANN و مدل‌های ترکیبی در تخمین توزیع مکانی عمق برف و آب معادل برف	حوزه آبخیز صمصامی	بهره‌گیری از روش‌های ANN و NNGA، روش‌های رگرسیون خطی چندمتغیره، تحلیل تابع خوشه‌ای، کریجینگ معمولی و ...

جدول ۲ - جمع‌بندی مطالعات انجام شده در خصوص مدل‌ها و روش‌های مدل‌سازی ذوب برف در ایران

ردیف	محققان	موضوع	منطقه مطالعاتی	روش کار
۴۰	Gharebaghi و Saberi (۲۰۱۱)	بهبود تخمین کوتاه مدت رواناب ناشی از ذوب برف	حوزه آبخیز حبله‌رود استان اصفهان	Kalman Filtering
۴۱	Marofi و همکاران (۲۰۱۱)	پیش‌بینی توزیع مکانی آب معادل برف	حوزه آبخیز صمصامی	رگرسیون غیرخطی چندمتغیره و روش‌های هوش محاسباتی بهره‌گیری از ۲۷ تصویر ماهواره‌ای و کاربرد روش NDSI مدل SRM
۴۲	Abdollahi و Batelaan (۲۰۱۲)	شبیه‌سازی سری زمانی برف با استفاده از تصاویر MODIS و داده‌های دما	کوه‌رنگ	مدل SWAT
۴۳	Fuladipannah و Jorabloo (۲۰۱۲)	تخمین رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از SRM	حوزه آبخیز قره‌سو	مدل SWAT
۴۴	Solaymani و Gosain (۲۰۱۲)	کاربرد SWAT در حوزه آبخیز محصور در برف کرخه	حوزه آبخیز کرخه	مدل SWAT
۴۵	Moosavi و همکاران (۲۰۱۴)	پهنه‌بندی هندسی پوشش برفی از روی تصاویر MODIS	-	مدل‌های هیبرید هوش مصنوعی
۴۶	Raeisian و Porhemmat (۲۰۱۴)	تعیین فاکتور درجه روز و ذوب برف در زاگرس مرکزی	منطقه چاری	اندازه‌گیری صحرایی
۴۷	Shahabi و همکاران (۲۰۱۴)	کاربرد نقشه‌های پوشش برف به دست آمده از تصاویر اسپکترورادیومتری با کیفیت متوسط در مدل‌سازی فرآیند رواناب ذوب برف	حوزه آبخیز زاب مرکزی	تصاویر ماهواره‌ای و مدل SRM
۴۷	Shahabi و همکاران (۲۰۱۴)	کاربرد نقشه‌های پوشش برف به دست آمده از تصاویر اسپکترورادیومتری با کیفیت متوسط در مدل‌سازی فرآیند رواناب ذوب برف	حوزه آبخیز زاب مرکزی	تصاویر ماهواره‌ای و مدل SRM
۴۷	Shahabi و همکاران (۲۰۱۴)	کاربرد نقشه‌های پوشش برف به دست آمده از تصاویر اسپکترورادیومتری با کیفیت متوسط در مدل‌سازی فرآیند رواناب ذوب برف	حوزه آبخیز زاب مرکزی	تصاویر ماهواره‌ای و مدل SRM
۴۷	Shahabi و همکاران (۲۰۱۴)	کاربرد نقشه‌های پوشش برف به دست آمده از تصاویر اسپکترورادیومتری با کیفیت متوسط در مدل‌سازی فرآیند رواناب ذوب برف	حوزه آبخیز زاب مرکزی	تصاویر ماهواره‌ای و مدل SRM
۴۸	Zarenistanak و همکاران (۲۰۱۴)	روند و تعیین دما، بارش و پوشش برفی در طی دوره پوشیده از برف	جنوب غرب ایران	بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون خطی، t-test، من-کندال، تصاویر ماهواره‌ای NOAA
۴۹	Khoshkhoo و همکاران (۲۰۱۵)	واسنجی یک مدل مبتنی بر تعادل انرژی برای شبیه‌سازی دمای خاک، عمق یخ‌زدگی خاک و عمق برف زمستانی برای یک دوره ۱۴ ساله	مناطق مرتفع ایران	به‌کارگیری مدل CoupModel و مونت کارلو و آنالیز حساسیت و عدم قطعیت
۵۰	Sedighi و Vafakhah (۲۰۱۵)	ملاحظه اثر آب معادل برف در پیش‌بینی رواناب	حوزه آبخیز لتیان	مدل‌های RBF و ANFIS
۴۸	Zarenistanak و همکاران (۲۰۱۴)	روند و تعیین دما، بارش و پوشش برفی در طی دوره پوشیده از برف	جنوب غرب ایران	بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون خطی، t-test، من-کندال، تصاویر ماهواره‌ای NOAA
۴۹	Khoshkhoo و همکاران (۲۰۱۵)	واسنجی یک مدل مبتنی بر تعادل انرژی برای شبیه‌سازی دمای خاک، عمق یخ‌زدگی خاک و عمق برف زمستانی برای یک دوره ۱۴ ساله	مناطق مرتفع ایران	به‌کارگیری مدل CoupModel و مونت کارلو و آنالیز حساسیت و عدم قطعیت
۵۰	Sedighi و Vafakhah (۲۰۱۵)	ملاحظه اثر آب معادل برف در پیش‌بینی رواناب	حوزه آبخیز لتیان	مدل‌های RBF و ANFIS
۵۱	Vafakhah و همکاران (۲۰۱۵)	تخمین رواناب حاصل از ذوب برف	حوزه آبخیز طالقان	مدل SRM تابشی

۱۷- طبری، ح. معروفی، ص.، زارع ابیانه، ح.، امیری چایجان، ر.، شریفی، م.ر.، آخوندعلی، ع.م. ۱۳۸۸. مقایسه روش رگرسیون غیرخطی با روش‌های هوش محاسباتی در برآورد توزیع مکانی آب معادل برف در سراب کارون. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۳(۵۰): ۲۹-۴۰.

۱۸- فتاحی، ا.، وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۰. برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (حوزه‌های آبخیز استان گلستان). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۶(۳): ۱۳۹۰، ۱۴۹-۱۶۸.

۱۹- فتاحی، ا.، دلاور، م.، قاسمی، ا. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM مطالعه موردی حوزه آبریز بازیافت. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۲۳): ۱۲۹-۱۴۱.

۲۰- فتح‌زاده، ع.، زارع بیدکی، ر. ۱۳۹۱. برآورد توزیع آب معادل برف در زمان اوج انباشت برف با استفاده از مدل درجه-روز. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۲): ۱۷۱-۱۷۷.

۲۱- فتح‌زاده، ع.، قرایی‌منش، س. ۱۳۹۲. کاربرد هوش مصنوعی در شبیه‌سازی توزیع مکانی چگالی برف در مناطق نیمه‌خشک (مطالعه موردی: سرشاخه‌های دشت یزد- اردکان). کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱(۲): ۱-۱۶.

۲۲- فتح‌زاده، ع.، مهدوی، م.، بالز، آر.سی.، آبکار، ع.ا.، عسکری شیرازی، ح. ۱۳۸۸. ارزیابی مقایسه نسخه درجه-روز و تابشی مدل SRM در همانندسازی رواناب ناشی از ذوب برف. نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۱(۱۶۲): ۹۹-۱۱۰.

۲۳- قربانی‌زاده خرازی، ح.، چله‌مال دزفول‌نژاد، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه دز. مجله علمی- تخصصی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ۲(۳): ۵۶-۶۶.

۲۴- قربانی‌زاده خرازی، ح.، صدقی، ح.، ثقفیان، ب.، پرهمت، ج. ۱۳۸۹. پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در نیم قرن آینده تحت شرایط تغییر اقلیم. فصلنامه مهندسی آب، ۱: ۵۱-۵۹.

۲۵- قنبرپور، م.ر.، محسنی ساروی، م.، ثقفیان، ب.، احمدی، ح.، عباس‌پور، ک.، تعیین مناطق موثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸(۳): ۵۰۳-۵۱۵.

۲۶- مرید، س.، گوساین، ای.کی.، کشاری، آ.کی. ۱۳۸۰. چالش‌های موجود در شبیه‌سازی فرایند ذوب برف- رواناب. مجله فیزیک زمین و فضا، ۲۷(۲): ۱۱-۲۰.

۲۷- مرید، س.، گوساین، ای.کی.، کشاری، آ.کی. ۱۳۸۳. عملکرد روش‌های مختلف برآورد ذوب برف با استفاده از داده‌های اقلیمی مصنوعی در شبیه‌سازی جریان. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۰(۱): ۱-۹.

از داده‌های ماهواره‌ای در حوزه‌های بدون آمار برف (مطالعه موردی حوزه خراسان در کارون). تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱): ۱-۱۱.

۶- ثقفیان، ب.، گهرنژاد، ح. و اسدی، ا. ۱۳۸۹. تغییرات سهم رواناب ناشی از ذوب برف با ارتفاع در حوزه‌های آبخیز. مجله مهندسی سازه‌های آبی، ۳(۵): ۴۷-۵۷.

۷- دلاور، م.، مرید، س.، نیکبخت، ن. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی توزیعی ذوب برف در حوزه‌های کوهستانی فاقد داده (مطالعه موردی حوضه امام زاده داوود). تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۴): ۴۱-۵۰.

۸- دهقانی، م.، مرید، س.، نوروزی، ع.ا. ۱۳۸۹. ارزیابی شبیه‌سازی رواناب حوزه‌های برفی با مدل شبیه‌سازی (SRM) و شبکه عصبی برای برآورد انرژی برقی در مواجهه با کمبود آمار. تحقیقات منابع آب ایران، ۶(۳): ۱۲-۲۴.

۹- رایگانی، ب.، خواجه‌الدین س.ج.، سلطانی کوپایی، س.، براتی، س. ۱۳۸۷. محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های فاقد تصویر. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۴: ۳۱۵-۳۳۱.

۱۰- سجادی، س.ا. ۱۳۹۱. مدل‌های ذوب برف، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۱(۸۲): ۷۱-۷۸.

۱۱- سیدعباسی، س.م.، گوران اوریمی، م.، فریدحسینی، ع.، شریفی، م.ب. ۱۳۹۱. بررسی قابلیت پارامتر Cprecip در منظور کردن اثر برف پیش‌بینی دبی روزانه رودخانه به وسیله شبکه عصبی و شبکه عصبی فازی. مجله علمی کشاورزی علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵(۱): ۸۳-۹۲.

۱۲- سیدی علم‌آباد، م.، مرادی، ح.ر.، قنبرپور، م.ر. ۱۳۸۸. برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS و کاربرد مدل‌های آماری (مطالعه‌ی موردی: حوزه آبخیز زرينه‌رود). مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳(۹): ۳۵-۴۴.

۱۳- شرافتی، ا.، ذهبیون، ب.، اریشم‌چی، ا. ۱۳۹۳. پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به سد طرق واقع در استان خراسان شمالی با استفاده از ترکیب مدل ذوب برف SWEG و مدل پیش‌بینی جریان رودخانه SSP. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۶(۱): ۱۷ ص.

۱۴- شریفی، م.ر.، آخوندعلی، ع.م.، پرهمت، ج.، محمدی، ج. ۱۳۸۶الف. ارزیابی دو روش معادله همبستگی خطی و کریجینگ معمولی به منظور برآورد توزیع مکانی عمق برف در حوزه آبخیز صمصامی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱(۱): ۲۴-۳۸.

۱۵- شریفی، م.ر.، آخوندعلی، ع.م.، پرهمت، ج.، محمدی، ج. ۱۳۸۶ب. کاربرد تحلیل خوشه‌ای به منظور تخمین عمق برف (مطالعه موردی: حوضه صمصامی. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۷(۴): ۲۵-۳۷.

۱۶- شمس، م.، مباشری، م.ر.، فاطمی، س.ب. ۱۳۹۴. ارزیابی دقت شاخص NDSI استخراج شده از تصاویر MODIS در مناطق دارای شیب متوسط. دوفصلنامه علمی-پژوهشی سنجش از دور و

- 39- Ghanbarpour, M.R., Saghafian, B., Saravi, M.M., Abbaspour, K.C. Evaluation of spatial and temporal variability of snow cover in a large mountainous basin in Iran. *Nordic Hydrology*, 38(1): 45–58.
- 40- Gharebaghi, A., Saberi, N. 2011. Improvement of Snowmelt Runoff Short-term forecast using Kalman Filtering. *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-4093-1, 2011.
- 41- Khoshkhou, Y., Rahimi, H., Jansson, P.E., Irannejad, P., Khalili, A. 2015. Calibration of an energy balance model to simulate wintertime soil temperature, soil frost depth, and snow depth for a 14 year period in a highland area of Iran. *Cold Regions Science and Technology*. doi:10.1016/j.coldregions.2015.07.008.
- 42- Martinec J (1975) Snowmelt-runoff model for stream flow forecasts. *Nord Hydrol* 6(3):145–154
- 43- Moosavi, V., Malekinezhad, H., Shirmohammadi, B. 2014. Fractional snow cover mapping from MODIS data using wavelet artificial intelligence hybrid models. *Journal of Hydrology*, 511(16): 160–170.
- 44- Marofi, S., Tabari, H., Zare Abyaneh, H., 2011. Predicting Spatial Distribution of Snow Water Equivalent using Multivariate Non-linear Regression and Computational Intelligence Methods. *Water Resources Management*. 25 (5): 1417-1435.
- 45- Oreiller, M., Nadeau, D.F., Minville, M., Rousseau, A.N. 2014. Modelling Snow Water Equivalent and Spring Runoff in a Boreal Watershed, James Bay, Canada. *Hydrol. Process*. 28, 5991–6005.
- 46- Raeisian, R. Porhemmat, J. 2014. Determining the Degree Days Factor and Snow Melt in Central Zagross, Case Study: Chery region. *Journal of Watershed Engineering and Management (Journal)*. 165-174.
- 47- Shahabi, S., Khezri, S.B., Ahmad, B., Musa, T.A. 2014. Application of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Central Zab Basin, Iran. *J. Appl. Remote Sens.* 8(1), 5p.
- 48- Solaymani, H.R., Gosain, A.K. 2012. SWAT Application for Snow Bound Karkheh River Basin of Iran, 2012 International SWAT Conference Proceedings Indian Institute of Technology Delhi, 334-347.
- ۲۸- مزرعه فراهانی، م.، احمدنیا، م.، عزیزاده، ا. ۱۳۸۷. کاربرد مدل پیش‌بینی عددی ARPS بر شبیه‌سازی توفان برف بهمن ۱۳۸۳ در تهران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۴(۴): ۱۵۵-۱۷۵.
- ۲۹- معروفی، ص.، طبری، ح.، زارع ابیانه، ح.، شریفی، م.ر.، آخوندعلی، ع.م. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی آب معادل برف در یکی از زیرحوزه‌های کوهستانی کارون با استفاده از GIS (مطالعه موردی: زیرحوزه صمصامی). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۶(۳): ۱۱ ص.
- ۳۰- میریعقوب‌زاده، م.ح.، قنبرپور، م.ر. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در مدل‌سازی رواناب ذوب برف (حوزه آبخیز سد کرج)، ۱۹ (۷۶): ۱۴۸-۱۴۱.
- ۳۱- میریعقوب‌زاده، م.ح.، قنبرپور، م.ر.، حبیب‌نژاد روشن، م. ۱۳۹۰. مدل‌سازی جریان ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل هیدرولوژیکی رواناب حاصل از ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد کرج). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۷(۳): ۴۰-۵۲.
- ۳۲- نجف‌زاده، ر.، ابریشم‌چی، ا.، تجریشی، م.، طاهری شهرآئینی، ح. ۱۳۸۳. شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف. آب و فاضلاب، ۵۲: ۱-۱۱.
- ۳۳- نجفی، م.ر.، شیخی‌وند، ج.، پرهت، ج. ۱۳۸۳. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های برف‌گیر با استفاده از مدل SRM (مطالعه موردی حوضه سد مهاباد). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۱(۳): ۱۱۱-۱۲۱.
- ۳۴- نجفی ایگدیر، ا.، قدوسی، ج.، تقفیان، ب.، پرهت، ج.، برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنسور از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه شهرچایی ارومیه. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۶: ۱۷۷-۱۸۵.
- ۳۵- وفاخواه، م.، محسنی ساروی، م.، مهدوی، م.، علوی‌پناه، س.ک. ۱۳۸۷. کاربرد زمین‌آمار در برآورد عمق و چگالی برف در حوزه آبخیز اورازان، *مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۲(۴): ۴۹-۵۵.
- ۳۶- وفاخواه، م.، محسنی ساروی، م.، مهدوی، م.، علوی‌پناه، س.ک. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف به کمک شبکه عصبی مصنوعی و نوروفازی در حوزه آبخیز طالقان. *مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۵(۱۴): ۲۳-۳۶.
- 37- Abdollahi, K., Batelaan, O. 2012. A snow extent time series assimilation using MODIS images and temperature data, case study Koohrang, Iran. *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-11622.
- 38- Fuladipannah, M. and Jorabloo, M. 2012. The Estimation of Snowmelt Runoff Using SRM Case Study (Gharasoo Basin, Iran). *World Applied Sciences Journal*, 17 (4): 433-438.

51- Sedighi, F., Vafakhah, M., 2015. Effect of Snow Water Equal Consideration in Runoff Prediction by Using RBF and ANFIS Models. Cumhuriyet University Faculty of Science Science Journal (CSJ), 36(3): 1832-1843. ISSN: 1300-1949.

52- Zarenistanak, M., Dhorde, A.G., Kripalani, R. H., Dhorde, A.A., 2014. Trends and projections of temperature, precipitation, and snow cover during snow cover-observed period over southwestern Iran. Theoretical and Applied Climatology.

49- Tabari, H., Marofi, S., Zare Abyaneh, H., Sharifi, M. R. 2010. Comparison of Artificial Neural Network and Combined Models in Estimating Spatial Distribution of Snow Depth and Snow Water Equivalent in Samsami Basin of Iran. Neural Computing and Applications, June 2010, Volume 19, Issue 4, 625-63.

50- Vafakhah, M., Nouri, A., Alavipanah, S.K. 2015. Snowmelt-runoff estimation using radiation SRM model in Taleghan watershed. Environ Earth Sci. 73:993–1003.

*Report***Snowmelt Models and Methods of Snowmelt Modeling**Z. Hazbavi¹ and M. Vafakhah^{2*}

Received: 2015/07/23 Accepted: 2015/11/19

A conclusion of studies which conducted in Iran in the field of snow, snowmelt models and snow modeling that reported in scientific journals, as well as domestic and foreign conference papers has been presented in this study. This review paper is necessary and crucial to avoid duplication studies and to acquire comprehensive vision and familiarity with the research which conducted in this field. In addition, managers and planners by using the information and results of this research can be more firmly into the decision-making, planning and policy projects and plans on the implementation of their action. The results showed rapid advances in snowmelt-runoff modeling due to the climate change issues and researcher's interest to simulate the world climatic and snow hydrology changes. There are a variety of models and methods in the field of snow modeling. Identifying the appropriate models and tools to easily simulate snowmelts need a comprehensive study and analysis in this regard. So, the present research has been formulated to investigate the literature of snow, snow models and the conditions of models application including topography, land use, land cover and data spatial and temporal scales by using the resources and documentation available to the country of Iran. The present research was conducted based on articles which published in magazines, conferences, various internet sources, models instructions and reports of different projects. Thorough literature review various models of urban snowmelt models to hydrological models adapted to specific purposes was observed. The results showed that in general the calculation of snowmelt are summarized in the three major temperature index (degree-days), energy balance and combination of temperature index and energy balance (combined method). Overall, in accordance with the conditions and objectives of the study one method and its application can be taken to comprehensive evaluation of snow researches.

Keywords: Comprehensive Management, Iran, Modeling, Snow Cover Area, Snow Water Equivalent

1. Former M.Sc Student of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, z.hazbav@modares.ac.ir

2. Associated Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, Noor 4641776489, Mazandaran, Iran, E-mail: vafakhah@modares.ac.ir