دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

شبیه‌سازی سطح پوشش برف و رواناب ناشی از ذوب آن در حوزه آبخیز هرو - دهنو در استان لرستان

حمید کریمی[۱]، حسین زینی‌وند[۲]، ناصر طهماسبی‌پور[۳]، علی حقی‌زاده[۳] و میرحسن میریعقوب‌زاده[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان
۲- دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان، (نویسنده مسوول: hzeinivand@gmail.com)
۳- استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان
۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

با توجه به اهمیت برف در بسیاری از مناطق، لازم است که رواناب حاصل از آن برای استفاده بهینه پیش‌بینی گردد. همچنین به علت ابرناکی مناطق برف‌گیر در فصل زمستان، اطلاع از سطح پوشیده از برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشکل است، بنابراین جهت مدیریت بهتر منابع آب در مناطق کوهستانی، استفاده از روش‌های کمکی برای اطلاع از سطح پوشیده از برف ضروری می‌باشد. بدین منظور حوزه آبخیز هرو - دهنو در استان لرستان با مساحت ۲۶۳ کیلومترمربع به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. در این مطالعه، مدل هیدرولوژیکی WetSpa که از روش منطقی اصلاح‌شده مبتنی بر رطوبت خاک برای شبیه‌سازی رواناب و از روش درجه- روز برای شبیه‌سازی ذوب برف استفاده می‌کند، در حوزه آبخیز هرو - دهنو به‌کاربرده شد. مدل توزیعی مکانی فیزیکی WetSpa فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی از جمله شبیه‌سازی ذوب برف را به‌صورت سلولی و در گام زمانی ساعتی و روزانه با استفاده از روش درجه- روز و روش بیلان انرژی انجام می‌دهد. در این تحقیق نتایج سطح پوشیده از برف با تصاویر ماهواره‌ای (MODIS) و جریان شبیه‌سازی‌شده به روش درجه-روز با مقادیر اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه مقایسه گردید. جهت شبیه‌سازی با مدل WetSpa از داده‌های اقلیمی روزانه یک دوره آماری ٤ سال(۱۳۸۹_۱۳۸۵) شامل: بارش، دما، تبخیر، دبی و ۳ نقشه مرجع مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، بافت خاک و کاربری اراضی با دقت اندازه سلول ۱۰۰×۱۰۰ متری استفاده شد. با توجه به نتایج، معیار ارزیابی ناش- ساتکلیف برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۰۳٤ و ۰/٦٥٥ به دست آمد؛ بنابراین مدل WetSpa دارای قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی جریان رودخانه و رواناب ناشی از ذوب برف در گام زمانی روزانه می‌باشد. همچنین با مقایسه پوشش برف مستخرج از مدل با پوشش برف تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های زمانی یکسان مشخص شد که پوشش برف شبیه‌سازی‌شده با پوشش برف مشاهده‌ای تطابق خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: درجه - روز، سطح پوشش برف، هیدرولوژی برف، MODIS، WetSpa

مقدمه

هیدرولوژی برف از شاخه‌های علم هیدرولوژی است. ریزش برف و انباشته شدن آن در حوزه‌های کوهستانی از منابع آبی بسیار مهم در این حوزه‌ها است. بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر قرار داشته و از آب حاصل از برف تغذیه می‌کنند (۱۸). همچنین برف شکلی از بارش است که به دلیل تأخیر زمانی بین زمان وقوع آن و زمان تولید رواناب و تغذیه سفره آب زیرزمینی، رفتار متفاوتی با دیگر شکل‌های بارش دارد (۱۹). علاوه بر این، با عنایت به درصد بالای میزان آلبدو، برف نقش مهمی در بیلان تابشی زمین بر عهده دارد (۴). پوشش برف یک پدیده مهم در هیدرولوژی است، ازاین‌رو مدل‌سازی انباشت و ذوب برف در مکان‌هایی که در آن ذوب برف نقش قابل‌توجهی در جریان رواناب و تعادل آب دارد، اهمیت دارد (۱۰). ذوب برف بستگی زیادی به خصوصیات برف هنگام ریزش، شرایط آب و هوایی به‌خصوص دمای هوا و بارش‌های گرم و هم‌چنین شرایط جغرافیایی حوزه دارد. شبیه‌سازی ذوب برف برای دوره‌های زمانی مشخص در مناطق با درجه حرارت کم‌تر از دمای آستانه ذوب، به این دلیل که بخش زیادی از بارش سالانه به شکل برف بوده و نقش مؤثر جریان آب ناشی از ذوب برف در ایجاد رواناب اهمیت دارد (۶). شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف در عرصه‌های مختلفی کاربرد داشته که ازجمله آن‌ها تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، کنترل و هشدار سیل، تفرجگاه، مدیریت مخازن تولید برق و غیره را می‌توان نام برد. (۲۴). در هیدرولوژی کاربردی پیش‌بینی جریان اوج و شبیه‌سازی هیدرو گراف سیل در مسیل یا رودخانه یک فرآیند خیلی پیچیده است، زیرا نوسان متغیرهای هیدرولوژیکی در مکان و زمان به‌عنوان یک تابعی از ورودی‌های آب و هوایی، تغییرپذیری مکانی ناشی از توپوگرافی و کاربری اراضی و انواع خاک است (۱۱). تاکنون مدل‌های مختلفی جهت تعیین و برآورد ذوب برف ارائه‌شده است. به‌طورکلی مدل‌ها، روابط ساده‌شده‌ای از کل سیستم می‌باشند که بیانگر واقعیت‌های موجود در آن سیستم هستند. استفاده از مدل‌های مختلف، زمینه را برای تعمیم اطلاعات و پیش‌بینی آینده فراهم می‌کند و به‌طورکلی هدف نهایی استفاده از مدل‌ها، تصمیم‌گیری صحیح و دقیق راجع به مسائل هیدرولوژی است (۱).

بیرودیان و همکاران (۲) به‌منظور تخمین رواناب حاصل از ذوب برف و بررسی دقت مدل‌های شبیه‌سازی، مدل SRM را

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

در حوزه آبخیز زیارت به کاربردند. آنان میزان رواناب خالص ناشی از ذوب برف را برآورد کردند. همچنین از طریق آزمون (t) به مقایسه رواناب مشاهداتی حاصل از اندازه‌گیری مستقیم، با رواناب برآورد شده از مدل SRM پرداختند سپس نتیجه گرفتند بین ارقام دو روش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد اما عواملی همانند شرایط فیزیکی حوزه، وجود اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی همراه با دقت اولیه مدل، اهمیت دارد. وفاخواه (۲۵) باهدف شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف به کمک شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و داده‌های اندازه‌گیری در حوزه آبخیز طالقان، نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی و نرو فازی هر دو دارای کارایی بالایی در پیش‌بینی جریان بوده و دخالت دادن ارتفاع آب معادل برف باعث افزایش کارایی ساختار شبکه می‌شود. شن سوی و اوی زال (۲۶) به‌منظور ارزیابی روش‌های پیش‌بینی سطح پوشش برف با استفاده از داده‌های MODIS[1] و استخراج منحنی تخلیه برف (SDC)[2] برای هر ارتفاعی و اصلاح پیش‌بینی تخلیه در یک روز جلوتر به‌صورت روزانه با استفاده از سطوح پوشیده از برف و پیش‌بینی عددی داده‌های آب‌وهوا (NWP)[3] به‌طور خاص برای حوزه آبخیز بالادست رودخانه فرات در کشور ترکیه نتیجه گرفتند که به‌طورکلی کاربرد مدل نتایج امیدوارکننده‌ای برای پیش‌بینی سطح پوشش برف و رواناب با کارایی به ترتیب بالاتر از ۰/۶ و ۰/۸۵ ارائه می‌دهد. زینی وند و دسمت (۳۲ و ۳۰) از طریق روش بیلان انرژی با استفاده از مدل توزیعی مکانی با پایه فیزیکی (WetSpa) به شبیه‌سازی سطح پوشش برف و پیش‌بینی رواناب حاصل از ذوب برف در حوزه آبخیز سد لتیان پرداختند. نتایج نشان داد که سطح پوشش برف شبیه‌سازی‌شده با سطح پوشش برف سنجنده MODIS تطابق خوبی دارد. همچنین با مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی با دقت ۸۷ درصد در شبیه‌سازی بر اساس معیار ارزیابی ناش – ساتکلیف نتیجه گرفتند تطابق بسیار خوبی بین داده‌های شبیه‌سازی مدل و مشاهداتی وجود دارد. میر جعفری (۱۴) با شبیه‌سازی سطح پوشیده از برف و بررسی تغییرات مکانی و زمانی آن با مدل پویا و قطعی WetSpa در حوزه آبخیز قره‌سو (اردبیل) از دو روش شاخص دما و تعادل انرژی در شبیه‌سازی ذوب برف استفاده کرد و نتیجه گرفت که روش تعادل انرژی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه برف‌گیر رودخانه قره‌سو نتایج بهتری را نشان می‌دهد. همچنین در مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی سطح پوشیده از برف با دو روش شاخص دما و تعادل انرژی با تصاویر ماهواره‌ای MODIS نشان داد که انطباق خوبی بین این تصاویر، به‌ویژه درروش تعادل انرژی وجود دارد. رحمان و همکاران (۲۲) به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و روند ذوب شدن یخچال‌های طبیعی از مدل SWAT در حوزه آبخیز بالادست رود رون[4] در سوئیس استفاده کردند. آنان نشان دادند عملکرد مدل هم ازنظر بصری و هم از نظر آماری رابطه خوبی بین جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده دارد.

در این مقاله جهت شبیه‌سازی رواناب، بر ریزش باران و ذوب برف تأکید شده است. در این راستا از مدل هیدرولوژیکی توزیع یافته مکانی WetSpa، برای پیش‌بینی رواناب و شبیه‌سازی انباشت و ذوب برف به روش درجه- روز (Degree - day) استفاده شد. علاوه بر این مدل قادر است پوشش برف را برای دوره شبیه‌سازی نیز پیش‌بینی کند. از آنجایی‌که طیف‌سنج تصویربرداری باقدرت تفکیک متوسط (MODIS) فرصت خوبی برای مطالعه توزیع برف به‌صورت روزانه فراهم می‌کند (۷). لذا از پوشش برف تصاویر ماهواره‌ای MODIS در روزهای فاقد ابر جهت مقایسه با پوشش برف مستخرج از مدل استفاده شد.

هدف اول از انجام این مطالعه شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل توزیعی مکانی WetSpa است. همچنین هدف دوم این مقاله مقایسه سطح برف شبیه‌سازی شده توسط مدل WetSpa با سطح برف تصاویر سنجنده MODIS است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز هرو – دهنو در استان لرستان قرار دارد. این حوزه یکی از سرشاخه‌های رودخانه کرخه است که آب آن به خلیج‌فارس می‌ریزد. حوزه هرو – دهنو حدفاصل ′۲۲ °۳۳ الی ′۳۲ °۳۳ عرض شمالی و ′۴۱ °۴۸ الی ′۵۹ °۴۸ طول شرقی قرار دارد. مساحت این حوزه تا محل قرارگیری ایستگاه هیدرومتری دهنو که خروجی حوزه است حدود ۲۶۳ کیلومترمربع است. حداکثر ارتفاع حوزه ۲۹۶۰ متر، حداقل ارتفاع حوزه ۱۷۵۷ متر (خروجی حوزه، ایستگاه هیدرومتری دهنو) و ارتفاع میانگین حوزه ۲۱۵۲ متر می‌باشد (۹). کلیه‌ای نقشه‌های مورداستفاده در این مطالعه منطبق بر یک سیستم سلولی ۱۰۰×۱۰۰ متری در نرم‌افزار ArcGIS است؛ بنابراین مدل ارتفاعی رقومی از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. نقشه کاربری اراضی شامل سه کاربری اراضی، جنگل مخلوط (۱۰۰/۲۸ کیلومترمربع برابر ۳۸/۰۶ درصد مساحت حوزه)، مرتع (۱۴۳/۸۳ کیلومترمربع برابر ۵۴/۶ درصد مساحت حوزه) و پوشش گیاهی طبیعی (۱۹/۳۲ کیلومترمربع برابر ۷/۳۴ درصد مساحت حوزه) است. نقشه بافت خاک حوزه شامل ۴ نوع بافت خاک شنی لومی (۸۶/۹۳ کیلومترمربع برابر ۳۳ درصد مساحت حوزه)، شنی رسی لومی (۴/۲۱ کیلومترمربع برابر ۱/۶ درصد مساحت حوزه)، رسی لومی (۵۰ کیلومترمربع برابر ۱۹ درصد مساحت حوزه) و رسی (۱۲۲/۲۹ کیلومترمربع برابر ۴۶/۴ درصد مساحت حوزه) است. همچنین از داده‌های اقلیمی یک دوره آماری ۴ ساله (مهر ۱۳۸۵ تا شهریور ۱۳۸۹) شامل ۴ ایستگاه باران‌سنجی (هواشناسی دورود، هرو دهنو، چم چیت و تیره دو رود)، ۲ ایستگاه تبخیر سنجی (هواشناسی دورود و هرو دهنو)، ۱ ایستگاه دماسنجی (هرو – دهنو) و از داده‌های جریان ایستگاه هیدرومتری هرو – دهنو استفاده شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی، ایستگاه‌های باران‌سنجی و شبکه آبراهه حوزه آبخیز موردمطالعه در استان لرستان را نشان می‌دهد.

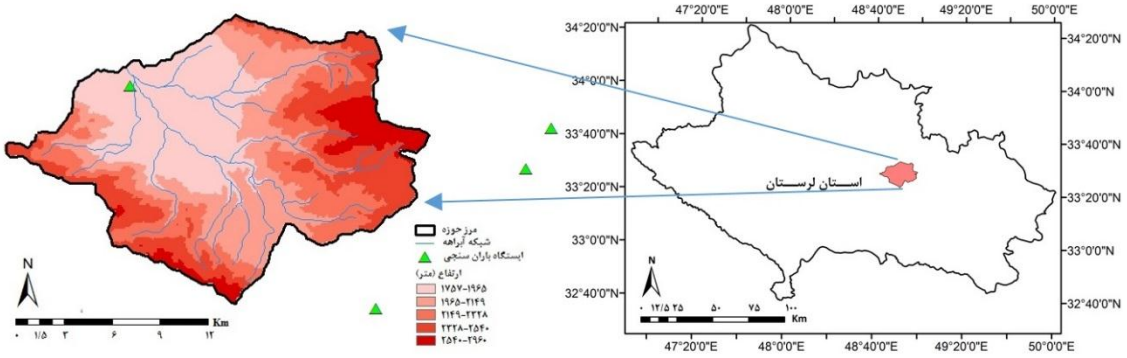
مدل مورداستفاده

WetSpa یک مدل پیوسته توزیعی هیدرولوژیکی ـ

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
2- Snow Depletion Curve
3- Numerical Weather Prediction
4- Rhone River

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

فیزیکی برای انتقال آب و انرژی بین خاک، گیاهان و جو است که در اصل توسط وانگ و همکاران توسعه‌یافته است (۲۷). برای هر سلول شبکه، چهار لایه در جهت عمودی در زون گیاه، زون ریشه، زون انتقال (سطح خاک) و زون اشباع در نظر گرفته‌شده است.



شکل ۱- مدل ارتفاعی رقومی، موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و شبکه آبراهه همراه با موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Geographic location of Horo-Dehno watershed, showing watershed stream network, digital elevation model (DEM) and location of precipitation stations

فرآیندهای هیدرولوژیکی در نظر گرفته‌شده در مدل شامل بارش، برگاب، اختلاف تراز، رواناب سطحی، نفوذ، تبخیر و تعرق، تراوش، رواناب تأخیری، جریان زیرزمینی و بیلان آب در زون ریشه و زون اشباع است. بیلان کلی آب برای سلول رستری، مرکب از بیلان آب برای گیاه، خاک لخت و قسمت‌های غیر قابل‌نفوذ هر سلول است (۱۱). در مدل WetSpa جهت شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف، دو روش شامل روش انرژی بالانس و روش درجه - روز وجود دارد؛ که در این مطالعه به علت کمبود داده‌های ورودی از به کار بردن روش بیلان انرژی صرف‌نظر گردید و روش درجه - روز استفاده شد. شبیه‌سازی ذوب برف بر اساس روش درجه - روز با استفاده از داده‌های دمای روزانه صورت می‌گیرد. در ادامه روش درجه - روز در مدل WetSpa تشریح می‌گردد.

شاخص مفهومی دما یا همان درجه - روز، یک رویکرد فیزیکی در شرایط عدم دسترسی به داده‌های تابش است (۱۲). هنگامی‌که درجه حرارت هوا زیر دمای پایه ذوب برف T_0 است، بارش و تجمع برف در تاج پوشش بوته گیاهان و در سطح خاک صورت می‌گیرد. برف انباشته‌شده زمانی که درجه حرارت از دمای T_0 بالاتر رود شروع به ذوب شدن می‌کند. علاوه بر این، ذوب برف در اثر حرارت منتقل‌شده از باران به برف در نظر گرفته‌شده است. در مدل، حجم آب حاصل از ذوب برف هنگامی‌که به سطح خاک می‌رسد به بارش خالص اضافه می‌شود. آب حاصل از ذوب نهایی برف به این صورت محاسبه می‌شود (۳۰):

$$M = Max\left[0,(k_{snow} + k_{rain}P)(T_a - T_0)\right]$$

رابطه‌ی (۱)

که در آن، M: میزان آب حاصل از ذوب روزانه برف در سلول i (میلی‌متر در روز)، T_a: میانگین درجه حرارت روزانه هوای سلول i (درجه سانتی‌گراد)، T_a: دمای پایه ذوب برف یا دمای آستانه ذوب برف (درجه سانتی‌گراد)، K_{snow}: فاکتور میزان ذوب برف (ذوب روزانه بر درجه سانتی‌گراد) و K_{rain}: ضریب درجه - روز ناشی از حرارت منتقل‌شده از بارش باران (روز در درجه سانتی‌گراد) است. درجه حرارت بحرانی T_0 اغلب به‌طور مستقیم با 0 درجه سانتی‌گراد تنظیم می‌شود. فاکتور میزان ذوب برف K_{snow} پارامتر مؤثری است و با شرایط و ویژگی‌های برف متغیر است. بااین‌حال می‌توان K_{snow}، T_0 و K_{rain} را واسنجی کرد.

دما و پوشش برف در اغلب موارد در یک حوزه کوهستانی متفاوت است و در بسیاری از موارد اطلاعات کامل اقلیمی از مناطق کوهستانی در دسترس نیست. برای منظور کردن تغییرات زیاد درجه حرارت به ازای ارتفاع، گزینه‌ای برای تطبیق سری مرجع برای هر سلول شبکه‌ای به‌وسیله اصلاح گرادیان در مدل به‌قرار زیر وجود دارد.

$$MV_i = MV_{ref} + \beta_S (H_i - H_{ref})$$

رابطه‌ی (۲)

که در آن، MV_i: متغیر آب و هوایی در سلول i (میلی‌متر بر روز)، MV_{ref}: متغیر آب و هوایی در ایستگاه آب و هوایی مرجع (میلی‌متر بر روز)، H_i و H_{ref} ارتفاع در سلول i و ایستگاه مرجع و β_S متغیر گرادیان آب و هوایی است (۳۰).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

ورودی‌ها، پارامترها و نحوه اجرای مدل WetSpa

تهیه یک پایگاه داده جامع برای اجرای مدل WetSpa در یک آبخیز خاص به معنی تعیین کامل ساختار زهکشی آبخیز، توزیع مکانی کلاس‌های کاربری اراضی، نوع خاک و مجموعه داده‌های هواشناسی و هیدرومتری موردنیاز پروژه می‌باشد (۱۶). ورودی‌های مدل WetSpa شامل دو نوع داده، نقشه‌های پایه به‌صورت رستری و در قالب اسکی فایل، همچنین داده‌های اقلیمی شامل بارش، دما، تبخیر و جریان است. پس از آماده کردن سه نقشه پایه، مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، نقشه بافت خاک و نقشه کاربری اراضی در نرم‌افزار ArcGIS 10، نقشه‌ها به نرم‌افزار ArcView 3.2 منتقل می‌شود و سایر نقشه‌های پارامترهای رقومی – هیدرولوژیکی بر اساس این سه نقشه پایه و جدول‌های ویژه مورداستفاده مدل WetSpa، ساخته می‌شود. درمجموع ۳۰ نقشه برای اجرای مدل WetSpa موردنیاز می‌باشد که همگی آن‌ها بر اساس سه نقشه پایه در نرم‌افزار ArcView ساخته می‌شوند. پس از تهیه سه نقشه پایه و تولید نقشه‌های توزیعی و آماده‌سازی اطلاعات هواشناسی و پارامترهای عمومی مدل، زمینه برای اجرای اولیه مدل فراهم می‌شود.

پارامترهای مدل WetSpa

در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف با مدل WetSpa جهت واسنجی (Calibration) دقیق، ۱۱ پارامتر قراردادی در نظر گرفته‌شده است. پارامترهای مذکور فیزیکی بوده و در کنترل رواناب هیدروگراف خروجی نقش مهمی دارند؛ امّا تعیین نمودن آن‌ها در مقیاس شبکه سلولی مشکل می‌باشد، بنابراین برای کسب نتایج بهتر واسنجی این پارامترها در مقابل داده‌های رواناب مشاهده‌ای ترجیح داده می‌شود (۶). پارامترهای عمومی مدل در بخش شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف عبارت‌اند از: فاکتور مقیاس برای محاسبات جریان زیرسطحی (K_i)، ضریب افت آب‌های زیرزمینی (K_g)، ذخیره اولیه آب‌های زیرزمینی (G_0)، ضریب درجه روز – دما (K_{snow})، ضریب درجه روز – باران (K_{rain})، مؤلفه رواناب سطحی برای شدت بارندگی نزدیک صفر (K_{run})، حداکثر شدت بارش (P_{max})، فاکتور تصحیح برای تبخیر و تعرق پتانسیل (K_{ep})، مقدار رطوبت نسبی اولیه (K_ss)، بیش‌ترین ذخیره آب زیرزمینی (G_{max})، دمای پایه ذوب برف (T_0) است.

معیارهای ارزیابی دقت مدل WetSpa

برای ارزیابی نتایج آماری خروجی از این مدل علاوه بر معیار کیفی مشاهده تطابق هیدروگراف‌ها معیارهای آماری زیر نیز مورداستفاده قرار گرفت.

انحراف مدل (MB[1]): اختلاف میانگین نسبی بین دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد. مقادیر کوچک MB نمایان‌گر نتایج مطلوب مدل‌سازی است. مقدار ایده‌آل این معیار (رابطه ۳) صفر است.

کارایی معیار ناش و ساتکلیف (NSE[2]): یک ضریب بی‌بعد به‌صورت رابطه (۴) است. این معیار نشان‌دهنده دقت شبیه‌سازی بوده و شامل استاندارد واریانس باقی‌مانده‌ها می‌شود. معیار NSE از مقادیر منفی بی‌نهایت تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر شود نشان‌دهنده تناسب بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی‌شده می‌باشد. معیار ناش – ساتکلیف برای جریان‌های کم (NSL[3]): این معیار (رابطه ۵) لگاریتم ناش – ساتکلیف است که برای جریان‌های کم مناسب است. درواقع با این معیار کیفیت شبیه‌سازی جریان‌های کم ارزیابی می‌گردد و بهترین آن یک است. معیار ناش – ساتکلیف برای جریان‌های زیاد (NSH[4]): این معیار (رابطه ۶) نیز همان ناش – ساتکلیف است که برای جریان‌های زیاد مناسب است. در این رابطه وزن بیش‌تری به جریان‌های زیاد اختصاص‌یافته است. بهترین آن یک است (۲۰). معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE[5]): این معیار (رابطه ۶) همواره مثبت بوده و بهترین مقدار آن صفر است؛ که نشان‌دهنده عملکرد مدل است.

رابطه‌ی (۳)
$$MB = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Qs_i - Qo_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} Qo_i}$$

رابطه‌ی (۴)
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Qs_i - Qo_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Qo_i - \overline{Qo}\right)^2}$$

رابطه‌ی (۵)
$$NSL = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\ln(Qs_i + \varepsilon) - \ln(Qo_i + \varepsilon)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left[\ln(Qo_i + \varepsilon) - \ln(\overline{Qo} + \varepsilon)\right]^2}$$

رابطه‌ی (۶)
$$NSH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Qo_i + \overline{Qo})(Qs_i - Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Qo_i + \overline{Qo})(Qo_i - \overline{Qo})^2}$$

1- Model bias
2- Nash Sutcliffe Efficiency
3- Nash Sutcliffe coefficient for low flow
4- Nash Sutcliffe coefficient for high flow
5- Root Mean Square Error

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

رابطه‌ی (۷)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_O - Q_i)^2}{n}}$$

که در این روابط Qs_i دبی شبیه‌سازی‌شده، Qo_i دبی مشاهداتی در گام زمانی i (مترمکعب بر ثانیه)، $\overline{Qo}$ نشان‌دهنده میانگین جریان مشاهداتی، N تعداد گام‌های زمانی است. ε مقدار قراردادی جزئی جهت اجتناب از مقدار صفر در مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده، Qo دبی اندازه‌گیری شده (مترمکعب بر ثانیه) و Q_i دبی محاسبه‌شده است.

تصاویر ماهواره‌ای

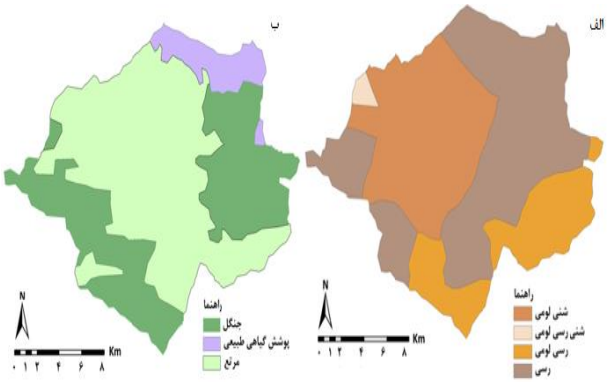
در این مطالعه جهت مقایسه و راستی آزمایی مدل در بخش پیش‌بینی پوشش برف، از تصاویر پردازش‌شده سنجنده MODIS (Product Images) MODIS/Terra) که (Snow Cover Daily L3 Global 500 m SIN Grid از طریق پایگاه اینترنتی (http://reverb.echo.nasa.gov) سازمان ناسای ایالات‌متحده آمریکا در دسترس می‌باشد، استفاده شد. سنجنده MODIS یکی از تجهیزات کلیدی در ماهواره ترا[1] و آکوا[2] محسوب می‌شود. مسیر حرکت ماهواره ترا از شمال به سمت جنوب بوده و به‌گونه‌ای که هر روز صبح از خط استوا عبور می‌کند درحالی‌که ماهواره آکوا از جنوب به سمت شمال حرکت کرده به‌گونه‌ای که هر روز عصر از استوا می‌گذرد. ماهواره ترا در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا در چهارم می ۲۰۰۲ میلادی به فضا پرتاب شد (۴). سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند در محدوده طیفی ۰/۴۱ تا ۱۴/۵ میکرومتر بوده و قدرت تفکیک آن در زاویه عمود به سطح زمین ۲۵۰ متر در ۲ باند (باندهای ۱ و ۲)، ۵۰۰ متر در ۵ باند (باندهای ۳ تا ۷) و ۱۰۰۰ متر در ۲۹ باند (باندهای ۸ تا ۳۶) طیفی است (۱۵ و ۲۰). تصاویر پوشش برف MODIS یکی از محصولات ژئوفیزیکی به‌دست‌آمده از MODIS هستند؛ که از مزایای محصول این سنجنده، بهتر شدن قدرت تفکیک مکانی، توانائی تشخیص ابر/ برف و پوشش سراسری MODIS است (۳ و ۵). با به‌کارگیری تصاویر پردازش‌شده مورداشاره، دیگر نیازی به اعمال تصحیحات رایج جهت بارزسازی برف از ابر (شاخص NDSI) در تصاویر سنجنده MODIS نخواهد بود.

در این مطالعه تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر سنجنده MODIS (MOD10A1) استفاده شد. دلیل استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر در این تحقیق جهت محاسبه سطح پوشیده از برف، این است که باندهای مادون‌قرمز و مادون‌قرمز میانی که برای تشخیص برف به کار می‌رود در محدوده قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر قرار می‌گیرند. تصاویر انتخاب‌شده متعلق به ۳ مقطع زمانی قبل از ذوب برف، در حین ذوب برف و بعد از ذوب برف می‌باشند.

نتایج و بحث

نقشه‌های مورداستفاده در مدل WetSpa

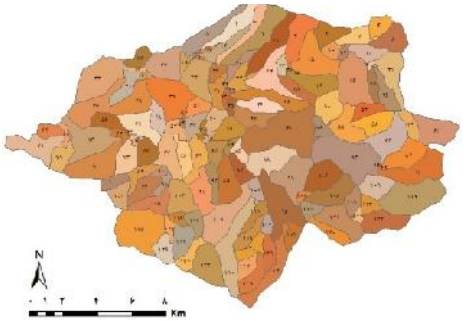
سه نقشه پایه موردنیاز مدل که قبلاً مورداشاره قرار گرفت در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. در مدل WetSpa، کلیه مؤلفه‌های بیلان آبی و عوامل هیدرولوژیک مدل به‌صورت توزیعی – مکانی بوده و به‌صورت نقشه قابل‌ارائه می‌باشند (۱۳). علاوه بر نقشه‌های بالا ۲۷ نقشه دیگر نیز در مدلWetSpa ساخته شد که به علت محدودیت تعداد صفحات از نشان دادن آن‌ها صرف‌نظر گردید. همچنین در این مطالعه مدل WetSpa در نرم‌افزار ArcView جهت شبیه‌سازی در سطح حوزه، حوزه آبخیز را به ۱۳۵ زیر حوزه تقسیم می‌کند که در شکل (۳) نشان داده‌شده است.



شکل ۲ – الف: نقشه بافت خاک حوزه آبخیز هرو – دهنو، ب: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز هرو– دهنو
Figure 2. Soil map (a) and Landuse map of the Horo-Dehno watershed

1- Terra
2- Aqua

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]



شکل ۳- تقسیم حوزه آبخیز هرو – دهنو به ۱۳۵ زیر حوزه در نرم‌افزار ArcView جهت استفاده در مدل WetSpa
Figure 3. Division of Horo-Dehno watershed to 135 sub-watersheds in ArcView software for the use in the WetSpa model

شبیه‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل WetSpa

شبیه‌سازی فرآیند محاسبه جریان بر اساس پارامترهای مدل به‌گونه‌ای که با جریان مشاهده‌ای مطابقت و رفتارهای هیدرولوژیکی را تقلید نماید، نامیده می‌شود (۱۵). پس از اجرای مدل اقدام به شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوزه در یک دوره ۴ ساله (به‌صورت سال آبی) شد. در فرآیند واسنجی که پس از شبیه‌سازی مدل انجام می‌شود. مقادیر پارامترهای مدل به‌اندازه‌ای تغییر می‌یابند که هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی بهترین برازش را ایجاد کنند. در این مطالعه داده‌های سه سال (۱۳۸۵/۰۷/۰۱ تا ۱۳۸۸/۰۶/۳۱) برای دوره واسنجی و داده‌های سال چهارم (۱۳۸۸/۰۷/۰۱ تا ۱۳۸۹/۰۶/۳۱) برای دوره اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. جدول (۱) نتایج شبیه‌سازی دوره واسنجی و اعتبارسنجی بر اساس معیار ارزیابی ناش – ساتکلیف و ناش – ساتکلیف برای جریان‌های بالا و کم را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۴)، (۵)، (۶) و (۷) مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی‌شده به‌صورت گرافیکی، توسط مدل WetSpa در مقایسه با مقادیر جریان مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری هرو – دهنو در طی ۴ سال را نشان می‌دهد. به علت تأکید این مطالعه بر شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف از ارائه کل دوره آماری موردمطالعه به‌صورت نمودار صرف‌نظر گردید.

پارامترهای بهینه‌شده

در این مطالعه واسنجی مدل در دو مرحله واسنجی دستی و واسنجی خودکار با کمک نرم‌افزار PEST انجام شد. در مدل WetSpa ابتدا جهت مشخص‌شدن مقادیر اولیه پارامترها واسنجی دستی انجام می‌شود، سپس پارامترهای نزدیک به پارامترهای بهینه در واسنجی خودکار شناسایی‌شده و شبیه‌سازی مطلوب به‌صورت یک فرآیند مکرر با اجرا کردن بسته نرم‌افزاری مدل و بر اساس بالاترین مقدار معیار ارزیابی ناش – ساتکلیف به انجام می‌رسد. جدول (۲) مقادیر اولیه پارامترها را همراه با مقادیر واسنجی شده نشان می‌دهد. همچنین در جدول (۳) نتایج حاصل از آنالیز حساسیت پارامترهای مدل که با استفاده از PEST (مدل مستقل برآورد پارامترها)، به‌دست‌آمده، ارائه‌شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، پارامتر K_{ss} (فاکتور مقدار رطوبت نسبی اولیه) بیش‌ترین حساسیت و پارامتر K_{rain} (ضریب درجه–روز باران) کم‌ترین حساسیت را دارا است.

شبیه‌سازی سطح پوشش از برف

یکی از مشکلات مطالعه پوشش برف توسط تصاویر ماهواره‌ای ابرناکی بسیار زیاد روزهای برفی است. در تحقیقات مختلف با اعمال شاخص‌های جداسازی پوشش برف از ابر اقدام به حل این مشکل می‌کنند. مدل WetSpa نیز با شبیه‌سازی پوشش برف می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع پوشش برف برای مطالعات هیدرولوژی برف استفاده شود. در شکل ۸، سه تصویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS که حداقل ابرناکی را داشتند با پوشش برف شبیه‌سازی‌شده توسط مدل WetSpa مقایسه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی مدل WetSpa در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی جریان
Table 1. Evaluation criteria for the assessment of model performance

معیار ارزیابی	واسنجی	اعتبارسنجی
انحراف مدل (Bias)	-۰/۱۴۶۶	۰/۲۰۶۴
ناش – ساتکلیف (NSE)	۰/۷۰۳۴	۰/۶۵۵
ناش – ساتکلیف برای جریان‌های کم (NSL)	۰/۶۱۱۲	۰/۷۹۰۳
ناش – ساتکلیف برای جریان‌های زیاد (NSH)	۰/۷۳۹۸	۰/۷۱۱۲
ریشه میانگین مربعات خطا	۱/۲۲	۰/۷۷

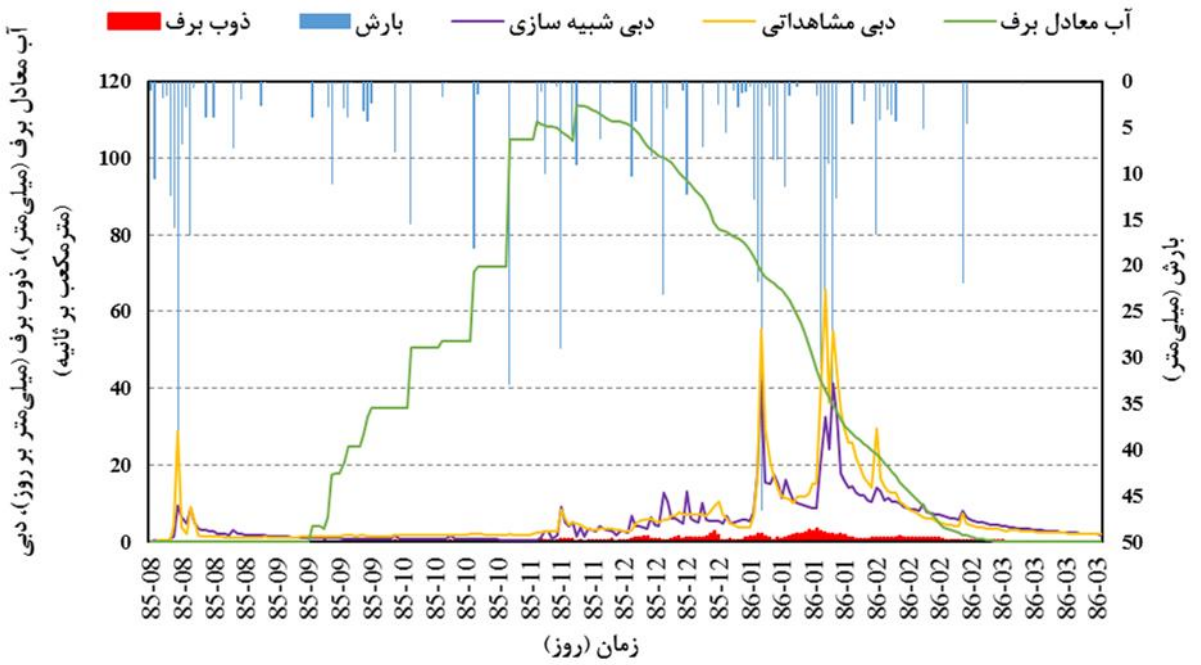
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

جدول ۲- مقادیر بهینه پارامترهای واسنجی شده و آنالیز حساسیت مدل برای شبیه‌سازی جریان در حوزه آبخیز هرو – دهنو

Table 2. Optimal Values of Calibrated Parameters and Model Sensitivity Analysis for Flow Simulation in Hero-Dehnow Basin

پارامتر	مشخصه	پارامترهای اولیه	بعد از واسنجی	حساسیت نسبی پارامتر	رتبه پارامتر
محاسبات جریان زیرسطحی	Ki	۱/۳	۲/۰۹۶	۰/۱۰۹۲۸۳	۳
ضریب افت آب‌های زیرزمینی	Kg	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱۸۹	۰/۰۱۷۰۸۶۱۷	۷
مقدار رطوبت نسبی اولیه	Kss	۰/۹	۰/۷۲۸	۰/۴۵۳۳۱۵	۱
تصحیح تبخیر و تعرق پتانسیل	Kep	۰/۳	۰/۳۵	۰/۱۴۴۰۶	۲
ذخیره اولیه آب‌های زیرزمینی	G0	۳۵	۲۵/۰۲۳	۰/۰۱۱۸۴۳۱	۹
بیش‌ترین ذخیره آب زیرزمینی	Gmax	۱۳۰۰	۳۹۰/۹۷	۰/۰۲۰۰۶۸۰۳	۶
دمای پایه ذوب برف	T0	۰/۵	۰/۶	۰/۰۱۰۹۰۹۴۴	۱۰
ضریب درجه-روز دما	Ksnow	۱	۰/۲۴۹	۰/۱۰۳۷۱۵	۴
ضریب درجه – روز باران	Krain	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۵۴	۱۱
مؤلفه رواناب سطحی	Krun	۶/۹	۷/۴	۰/۰۸۷۶۱۶۳۳	۵
شدت بارندگی	Pmax	۵۰۰	۳۵۱	۰/۰۱۵۹۶۶۱۴	۸

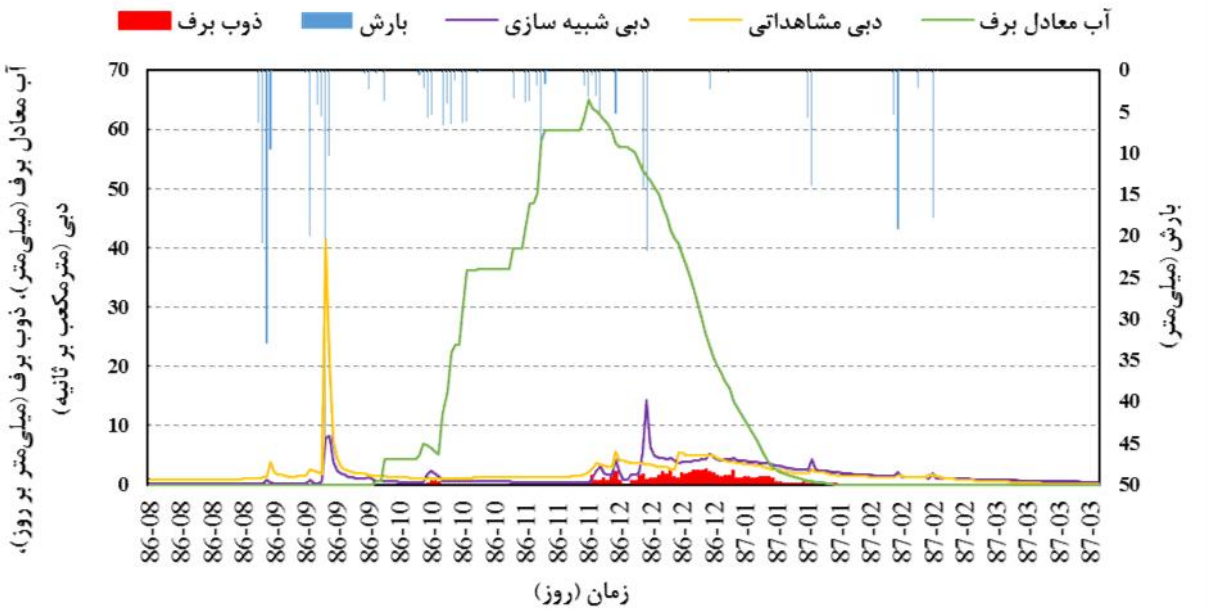


شکل ۴- متوسط بارش روزانه، دما، متوسط روزانه آب معادل برف شبیه‌سازی‌شده، ذوب برف شبیه‌سازی‌شده همراه با هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده جریان از تاریخ ۱۳۸۵/۰۸/۰۱ تا تاریخ ۱۳۸۶/۰۳/ ۳۱ در ایستگاه هیدرومتری هرو – دهنو

Figure 4. Graphical comparison between observed and calculated daily flow, using WetSpa model at Horo-Dehno between 23/10/2006 and 21/06/2007 as calibration period and daily precipitation, temperature, calculation of cumulative snow water equivalent, and snowmelt using degree-day method

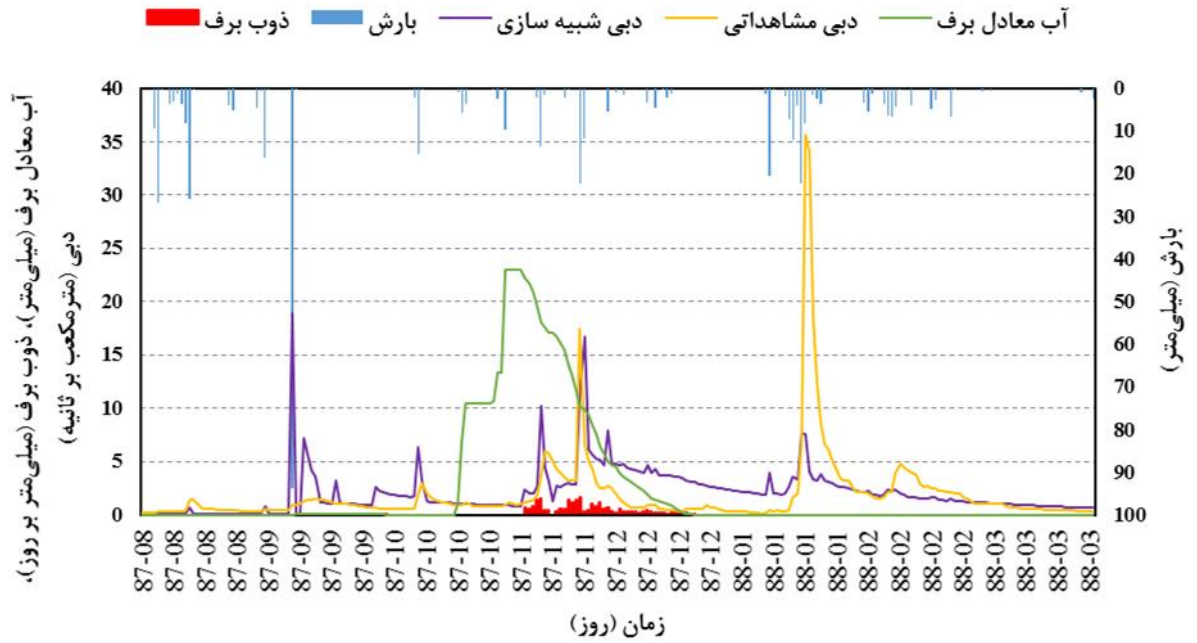
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]



شکل ۵ – متوسط بارش روزانه، دما، متوسط روزانه آب معادل برف شبیه‌سازی‌شده، ذوب برف شبیه‌سازی‌شده همراه با هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده جریان از تاریخ ۱۳۸۶/۰۸/۰۱ تا تاریخ ۳۱ /۱۳۸۷/۰۳ در ایستگاه هیدرومتری هرو – دهنو

Figure 5. Graphical comparison between observed and calculated daily flow, using WetSpa model at Horo-Dehno between 23/10/2007 and 20/06/2008 as calibration period and daily precipitation, temperature, calculation of cumulative snow water equivalent, and snowmelt using degree-day method.

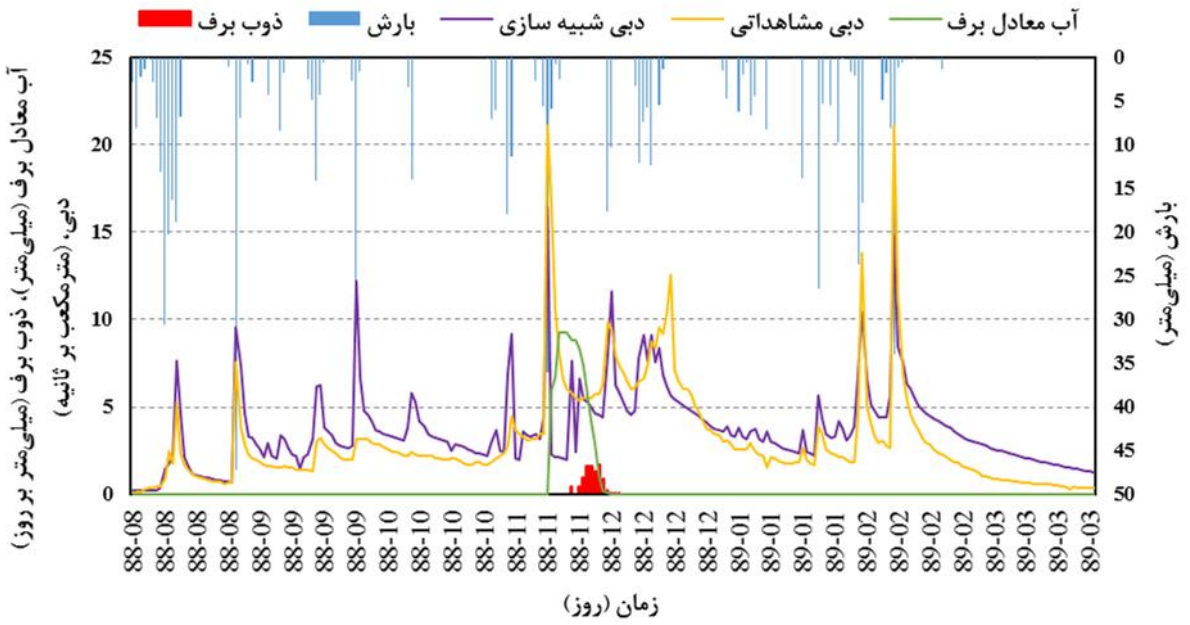


شکل ۶ – متوسط بارش روزانه، دما، متوسط روزانه آب معادل برف شبیه‌سازی‌شده، ذوب برف شبیه‌سازی‌شده همراه با هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده جریان از تاریخ ۱۳۸۷/۰۸/۰۱ تا تاریخ ۳۱ /۱۳۸۸/۰۳ در ایستگاه هیدرومتری هرو – دهنو

Figure 6. Graphical comparison between observed and calculated daily flow, using WetSpa model at Horo-Dehno between 22/10/2008 and 21/06/2009 as calibration period and daily precipitation, temperature, calculation of cumulative snow water equivalent, and snowmelt using degree-day method.

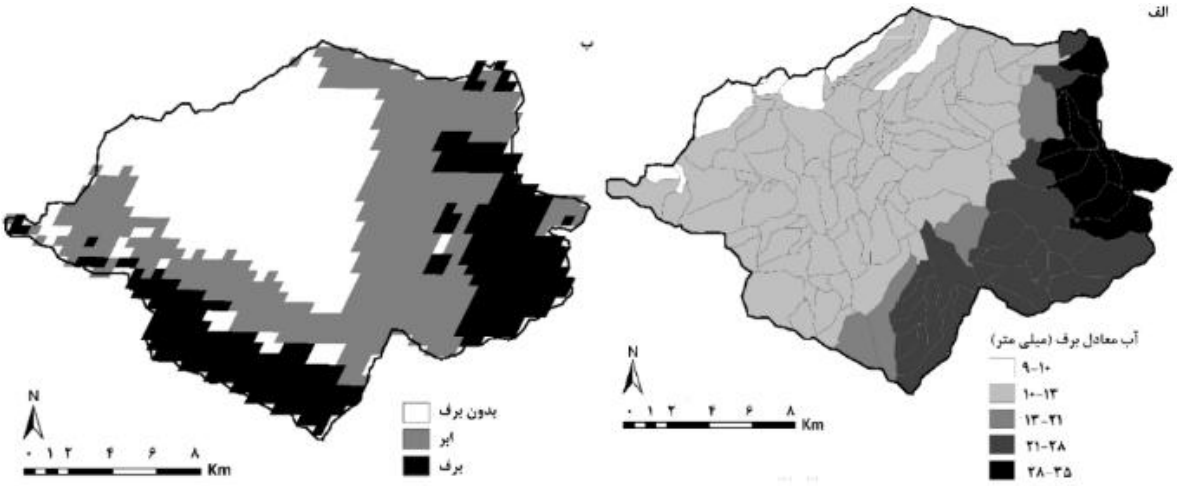
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]



شکل ۷ – متوسط بارش روزانه، دما، متوسط روزانه آب معادل برف شبیه‌سازی‌شده، ذوب برف شبیه‌سازی‌شده همراه با هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده جریان از تاریخ ۱۳۸۸/۰۸/۰۱ تا تاریخ ۳۱ /۱۳۸۹/۰۳ در ایستگاه هیدرومتری هرو دهنو

Figure 7. Graphical comparison between observed and calculated daily flow, using WetSpa model at Horo-Dehno between 23/10/2009 and 21/06/2010 as validation period and daily precipitation, temperature, calculation of cumulative snow water equivalent, and snowmelt using degree-day method

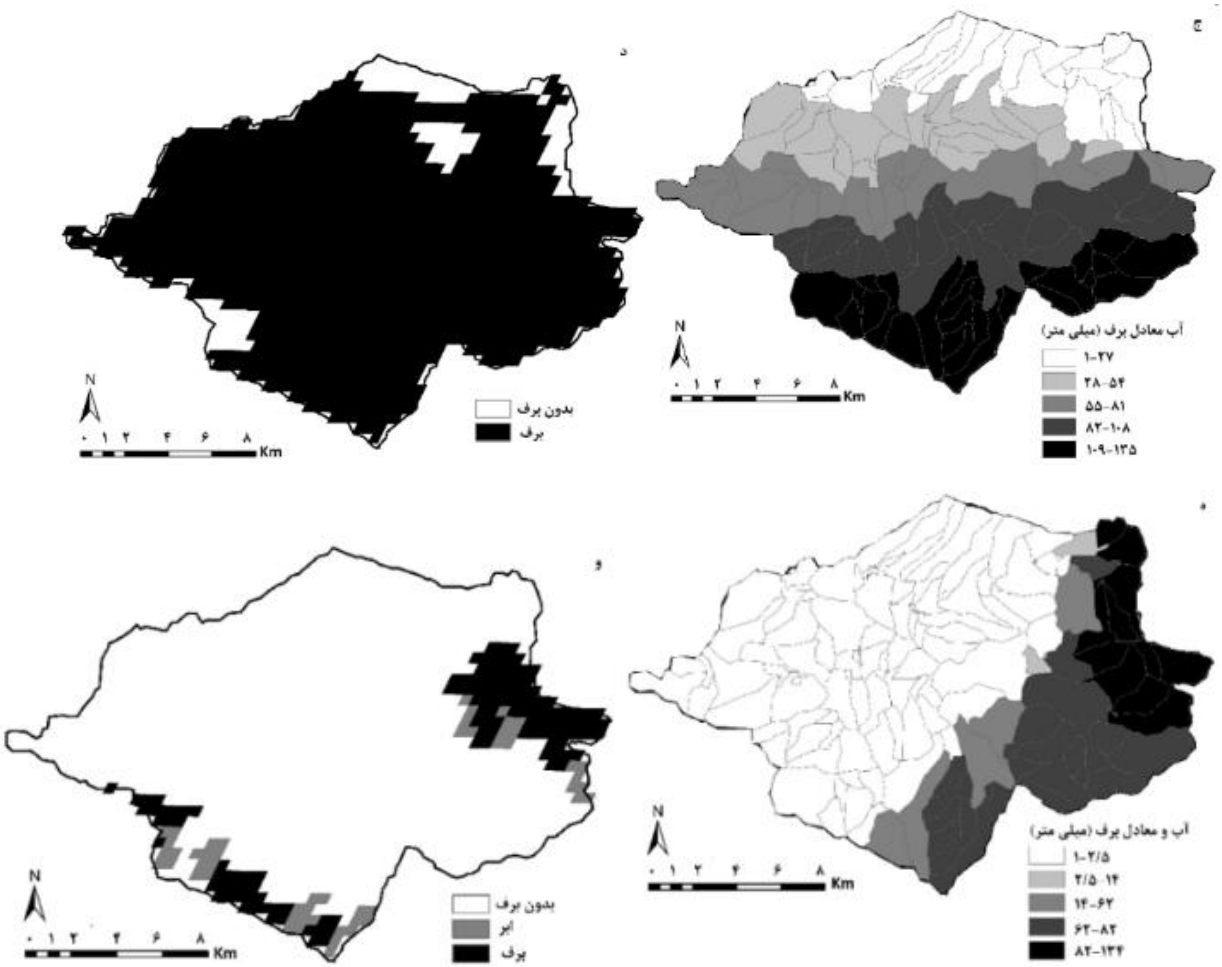


شکل ۸– پوشش برف شبیه‌سازی‌شده به‌وسیله مدل WetSpa در سمت راست (الف، ج، ه) به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۸۷/۱۱/۱۷، ۱۳۸۷/۱۰/۲۵، ۱۳۸۶/۰۱/۲۷ و پوشش برف تصاویر MODIS در سمت چپ (ب، د، و) در همان تاریخ‌ها

Figure 8. MODIS SCA output (left) and the correspondent modelled SCA and snow water equivalent SWE simulation (right); MODIS SCA output for the Horo-Dehno watershed for 05/02/2009 (a1), 14/01/2009 (b1), 16/04/2007 (c) and modelled SCA and SWE simulation for the Horo-Dehno watershed for 05/02/2009 (a2), 14/01/2009 (b2) and16/04/2007 (c3)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]



ادامه شکل ۸– پوشش برف شبیه‌سازی‌شده به‌وسیله مدل WetSpa در سمت راست (الف، ج، ه) به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۸۷/۱۱/۱۷، ۱۳۸۷/۱۰/۲۵، ۱۳۸۶/۰۱/۲۷ و پوشش برف تصاویر MODIS در سمت چپ (ب، د، و) در همان تاریخ‌ها

Continue Figur 8. MODIS SCA output (left) and the correspondent modelled SCA and snow water equivalent SWE simulation (right); MODIS SCA output for the Horo-Dehno watershed for 05/02/2009 (a1), 14/01/2009 (b1), 16/04/2007 (c) and modelled SCA and SWE simulation for the Horo-Dehno watershed for 05/02/2009 (a2), 14/01/2009 (b2) and16/04/2007 (c3)

با توجه به نتایج حاصل از کاربرد مدل WetSpa (جدول ۱)، معیار ارزیابی ناش – ساتکلیف برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۰۳۴ و ۰/۶۵۵ به دست آمد. علاوه بر این، بر اساس مقادیر سایر معیارهای ارزیابی ارائه‌شده در بخش نتایج (جدول ۱) شامل معیارهای هیدرولوژیکی، آماری و مقایسه گرافیکی نمودارهای شبیه‌سازی (شکل‌های ۴، ۵، ۶ و۷)، عملکرد مدل قابل‌قبول می‌باشد؛ بنابراین مدل WetSpa دارای قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی جریان رودخانه و رواناب ناشی از ذوب برف در گام زمانی روزانه می‌باشد. از دلایل موفقیت مدل WetSpa در شبیه‌سازی جریان و رواناب ناشی از ذوب برف، می‌توان به استفاده مدل از داده‌های فیزیکی، مانند نقشه‌های DEM، کاربری اراضی، بافت خاک و استفاده از یک معادله تقریبی موج پخش برای مسیریابی جریان کانال و جریان زیرزمینی اشاره کرد (۹،۲۸،۳۲). همچنین مدل WetSpa به واسطه وجود سه پارامتر مؤثر در برآورد ذوب برف در فرآیند واسنجی پارامترهای مدل، شبیه‌سازی دقیق‌تری از میزان جریان رواناب سطحی را به دست می‌دهد (۱۷). شکل ۴ و ۷ نشان می‌دهد، تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی در حوزه آبخیز هرو – دهنو وجود دارد. همچنین با مقایسه‌ی چشمی بین پوشش برفی پیش‌بینی‌شده با مدل WetSpa و تصاویر سنجنده MODIS در دوره زمانی یکسان (شکل ۸) مشخص شد که پوشش برف شبیه‌سازی‌شده با پوشش برف مشاهده‌ای تطابق خوبی دارد. نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های زینی وند و دسمت (۲۹،۳۱) هم‌خوانی دارد.

تولید رواناب بستگی به‌شدت باران، وضعیت رطوبت خاک و ذوب برف دارد. در این مطالعه تجمع و ذوب برف توسط یک روش درجه – روز شبیه‌سازی‌شده است. همین مسئله مشخص می‌کند که هرگونه نقص در سیستم اندازه‌گیری درجه حرارت روزانه هوا می‌تواند در شبیه‌سازی مدل تأثیرگذار

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

باشد. به‌طور مثال هنگامی‌که بارش به‌صورت باران باشد، به دلیل پایین بودن درجه حرارت هوا مدل نوع بارش را به‌صورت برف فرض می‌نماید و باران صورت گرفته در محاسبه رواناب وارد نمی‌شود درنتیجه هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده پایین‌تر از هیدروگراف مشاهداتی است. لذا شبیه‌سازی ذوب برف فرآیندی بسیار پیچیده است که جهت گرفتن نتایج دقیق به مجموعه‌ای از آمار و اطلاعات معتبر و درست وابسته است. در این تحقیق از مدل WetSpa برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی از جمله تجمع و ذوب برف، رواناب و سطح پوشش برف استفاده شد. سپس جریان شبیه‌سازی‌شده با جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی خروجی حوزه و سطح پوشش برف شبیه‌سازی‌شده مدل با سطح پوشش برف تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS مقایسه گردید. با توجه به اینکه مدل‌های یکپارچه تغییرات زمانی کوتاه‌مدت را در نظر نمی‌گیرند و از تغییرات میانگین‌گیری می‌کنند همچنین در مرحله شبیه‌سازی تغییرات هم از میانگین داده‌های مشاهداتی استفاده می‌کنند و طبیعی است که به‌دقت شبیه‌سازی در آن‌ها بالا به نظر برسد امّا در مدل‌های توزیعی مکانی مانند مدل WetSpa که تغییرات متغیرها را در گام‌های زمانی روزانه و حتی ساعتی و با دقت اندازه سلولی شبیه‌سازی می‌کنند رسیدن به‌دقت بالای ۵۵ درصد می‌تواند بسیار رضایت‌بخش باشد (۲۳). به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مدل WetSpa بدون استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در خصوص اطلاع از سطح پوشش برف در دوره شبیه‌سازی توانسته است هم شبیه‌سازی مناسبی ارائه دهد و هم سطح پوشش برف را شبیه‌سازی کند. این ویژگی که یک مدل توزیعی مکانی بارش رواناب قادر باشد با استفاده از پارامترهای مربوط به انباشت و ذوب برف پیش‌بینی درستی از پوشش برف ارائه دهد، می‌تواند درزمینه‌ی مدیریت و اطلاع از پوشش برف مناطق برف‌گیر راهگشا باشد؛ بنابراین، برای پیش‌بینی سطح پوشش و میزان رواناب حاصل از ذوب برف در مناطق کوهستانی و برف‌گیر به‌کارگیری مدل توزیعی مکانی WetSpa پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Beven, K.J. 2012. Rainfall-Runoff Modeling: The Primer, Second Edition. Wiley. Chichester. UK. 457 pp.
2. Birodian, N. and N. Jandaghi. 2006. Estimation of snowmelt runoff by using SRM model and comparison with hydrographic data in Ziarat River Basin. Journal of Agriculture Science Natural Resource, 12(6): 181-188(In Persian).
3. Entezami, H. 2010. Estimation of snowmelt runoff using MODIS satellite images in Saggez watershed (Kurdistan province). M.Sc thesis, University of Tehran. Tehran, Iran. 80 pp (In Persian).
4. Fathzadeh, A. 2008. Estimate the spatial distribution of snow water equivalent in Karaj watershed using remote sensing and energy balance model. Ph.D.dissertation. University of Tehran. Tehran, Iran, 200 pp (In Persian).
5. Flueraru, C., G. Stancalie, E. Savin and V. Craciuescu, 2006. Validation of MODIS Snowcover Products in Romania. Methodology and Conclusions. Geographic information science, Visegrad Hungary.
6. Foroutan Danseh, M. 2013. Simulation of land use change scenarios and urbanization impacts on erosion and sediment using WetSpa model in Ziarat watershed. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran. 104 pp (In Persian).
7. Jain. S.K., A. Goswami and A.K. Saraf. 2008. Role of Elevation and Aspect in Snow Distribution in Western Himalaya. Water Resour Manage, 23(1): 71-83.
8. Karimi, H. 2015. Efficiency comparison of WetSpa and SRM physical models for snowmelt runoff simulation and evaluation of snowmelt empirical formula results with the WetSpa model in Horo-Dehno Watershed, Lorestan Province. M.Sc thesis, Lorestan University. 111 pp (In Persian).
9. Karimi, H., H. Zeinivand, N. Tahmasebipour, A. Haghizadeh and M Miryaghoubzadeh. 2016. Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. Environ Earth Science, 75(8):1-16
10. Keskin, F., A.A. shensoy, S.A. Arda and Ü. Shorman. 2007. Application of Mike11 model for the simulation of snowmelt runoff in Yuvacik dam basin, Turkey. International Congress on River Basin Management, Antalya–Turkey, pp: 472-484.
11. Liu, Y.B. and F. De Smedt. 2004. WetSpa Extension, Documentation and User Manual. Ph.D. dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Belgium. 315 pp.
12. Martinec, J., A. Rango and Major, E. 1983. The Snowmelt-Runoff Model (SRM) User's Manual. NASA Reference Publ. 1100, Washington, D.C., USA.
13. Matkan, A.A., H. Zeinivand, B. Bayat, A.M. Ghafourie Ruzbahani and B. Mirbagheri. 2010. Simulation of daily stream flow and the effects of land use changes using WetSpa model in GIS (Case study: Merek Watershed, Kermanshah Province). Proceedings of the First International Conference on Modeling plant, soil, Climate, the International Center for Advanced Science and Technology, Mahan, Kerman. 23 and 24 November 2010. (In Persian).
14. Mirjafari, F. 2011. Simulation of Snow Cover (case study: Gharasou River Watershed-Ardabil Province), M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University. Nour, Iran. 200 pp (In Persian).
15. Miryaghoobzadeh, M., M.R. Ghanbarpour and M. Habibnejad Roshan. 2011. Snowmelt River Flow Modeling Using SRM model (Case Study: Karaj Dam Basin). Iran-Water Resources Research, 7(3): 40-52 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

16. Mirzaei, S. 2014. Soil Erosion and Suspended Sediment Transport Simulation and Analysis of the effects of land use changes using WetSpa model. M.Sc thesis, Lorestan University. 132 pp. (In Persian).
17. Moradipour, S., A. Bahremand, H. Zeinivand and A. Najafinejad. 2015. Distributed Simulation of Runoff in Space and Time using Wetspa Model in Taleghan Watershed. Journal of Watershed Management Research 6(12): 55-64 (In Persian).
18. Najafi, M.R., J. sheikhivand and G. Porhemmet. 2004. Estimation of runoff in a snow cover mountainous basin by usin SRM models (A case study of mahabad basin). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11(3): 111-121 (In Persian).
19. Najafzadeh, R., A. Abrishamchi, M. Tajrishy and H. Taheri shahraeeni. 2004. Stream Flow with Snowmelt Runoff Modeling Using RS and GIS (Case Study: Pelasjan sub Basin). Journal of Water and Wastewater. 52 pp (In Persian).
20. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Journal of Hydrology, 10: 282-290.
21. NASA-MODIS Websit. 2015. Available at: http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php. Accessed 19 Feb 2015.
22. Rahman, K., C. Maringanti, M. Beniston, F. Widmer, K. Abbaspour and A. Lehmann. 2012. Streamflow Modeling in Highly Managed Mountainous Glacier Watershed Using SWAT: The Upper Rhone River Watershed Case Switzerland. Water Resources Management, 27(2): 323-339.
23. Safari, A., F. De Smedt and F. Moreda. 2009. WetSpa model application in the distributed model intercomparison project (DMIP2). Journal of Hydrology, 418-419:78-89.
24. Şensoy, A. and G. Uysal. 2012. The Value of Snow Depletion Forecasting Methods towards Operational Snowmelt Runoff Estimation Using MODIS and Numerical Weather Prediction Data. Water Resources Management, 26(12): 3415-3440.
25. US Army Corps of Engineers. 1998. Runoff from snowmelt. (EM 1110-2-1406), Washington, DC, USA.
26. Vafakhah, M. 2008. Snowmelt Runoff Simulation using Artificial Neural Network, Fuzzy logic and measurement data of snow in the watershed Taleghan. Ph.D. dissertation. University of Thehran. Thehran, Iran. 200 pp (In Persian).
27. Wang, Z.M., O. Batelaan and F. De Smedt. 1996. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). Physics and Chemistry of the Earth, 21(3): 189-193.
28. Zeinivand, H. 2015. Comparison of interpolation methods for precipitation fields using the physically based and spatially distributed model of river runoff on the example of the Gharesou basin, Iran. Russ Meteorol Hydrol, 40(7): 480-488
29. Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2009a. Hydrological modeling of snow accumulation and melting on river basin scale, Water Resources Management, 23: 2271-2287.
30. Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2009b. Simulation of snow covers area by a physical based model. World Academy of Science: Engineering and Technology Journal, 55(31): 469-474.
31. Zeinivand, H. 2009. Development of Spatially Distributed Hydrological WetSpa Modules for Snowmelt, Soil Erosion and Sediment Transport. Ph.D. dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 238 pp.
32. Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2010. Prediction of snowmelt floods with a distributed hydrological model using a physical snow mass and energy balance approach, Natural Hazards Journal, 54(2): 451-468.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]

Simulation of Snow Cover Area and its Runoff in Horo-Dehno Watershed in Lorestan Province

Hamid Karimi[1], Hossein Zeinivand[2], Naser Tahmasebipour[3], Ali Haghizadeh[3] and Mirhassan Miryaghoubzadeh[4]

1- MSc. Student in Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran
2- Associate Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran, (Corresponding author: hzeinivand@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran
4- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Urmia University
Received: October 24, 2014 Accepted: January 9, 2016

Abstract

Given the importance of snow, it seems necessary to predict its resultant runoff for optimized usage. In addition, due to snowbound regions cloudiness in winter season, the notice of snow cover area (SCA) using satellite images is difficult. Hence, to help better water resources managing in mountainous areas using supplementary methods for simulating the SCA is necessary. As a case study, Horo-Dehno watershed in Lorestan Province with the area of 263 Km^2 was selected. By applying WetSpa model as a verified and promising simulation tool, snow melting runoff as well as snow cover area was simulated based on degree-day approach in Horo-Dehno watershed. Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa) is a distributed spatial-physical model that simulates different hydrological processes including snow cover area, snow accumulation and melting in a cellular manner at hourly and daily time step by employing energy balance as well as degree-day approaches. Subsequently, simulated the SCA and runoff by the model were compared to the satellite images (MODIS) and the measured discharges at the output of the watershed respectively. In this research, 4-years regional data (from 2007 to 2011) including precipitation, temperature, evaporation, runoff and three digital maps of elevation model (DEM), land use and soil texture with resolution cell size of 100 * 100 meter were used. According to the results, Nash – Sutcliffe efficiency criterion of stream-flow simulation for calibration and validation periods were 0.7034 and 0.655 respectively. Consequently, WetSpa model has promising strength for stream-flow and runoff snowmelt simulation in daily time steps. Furthermore, through comparing snow cover extracted from the model with that of MODIS satellite images at the same periods, it was revealed that simulated snow cover is in a good agreement with observed snow cover.

Keywords: Degree – day, MODIS, SCA, Snow hydrology, WetSpa

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.77]