

## مقدمه

برآورد صحیح و دقیق توزیع رطوبت خاک، دمای خاک، تبخیر- تعرق و میزان جریان رودخانه در مطالعات هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و اقلیمی از اهمیت چشم‌گیری برخوردار است. در این میان مدل‌های سطح زمین<sup>۷</sup> با تأکید بر بیلان انرژی و رطوبتی در نمایش فرایندهای دینامیکی و فیزیکی سطح زمین نقش مهمی را بازی می‌کنند [۳۱]. مدل‌های سطح زمین شامل فرایند تبادل آب و حرارت بین سطح زمین و جو است. این مدل‌ها تأکید زیادی بر شبیه‌سازی فرایندهای فیزیکی و دینامیکی دارند که منجر به تعیین شارهای انرژی و رطوبتی جهت کاربردهایی مانند مطالعات تغییرات آب و هوا، پیش‌بینی خشکسالی، سیلاب و مدیریت منابع آب می‌شوند [۲۴ و ۲۶]. این مدل‌ها شامل مدل‌سازی تفکیک میزان بارش رواناب، تبخیر- تعرق، تفکیک تابش خالص به شار گرمای نهان، محسوس و زمینی است [۵]. مدل‌های هیدرولوژیکی بسیاری توسط محققان گسترش یافته است، این مدل‌ها مفهومی هستند و نسبت به مدل‌های سطح زمین (LSMs) دارای چندین محدودیت عمده می‌باشند به‌گونه‌ای که بیلان انرژی و پویایی پوشش گیاهی در این مدل‌ها نادیده گرفته شده است و جفت کردن این مدل‌ها با مدل‌های GCM بسیار سخت و گاه غیر ممکن است و شبیه‌سازی آن‌ها به‌صورت آفلاین می‌باشد. همچنین این مدل‌ها عمدتاً مدل‌های مفهومی هستند (پارامترها فیزیکی نیستند و عمدتاً مبتنی بر روش CN هستند) و پارامترها به‌صورت یکنواخت یا کاملاً توزیع شده در نظر گرفته شده‌اند [۳۱].

یکی از پرکاربردترین مدل‌های سطح زمین (LSMs) که در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته و از محبوبیت و کاربرد بیشتری در میان محققین سراسر جهان برخوردار می‌باشد، مدل VIC-3L می‌باشد [۱۴]. این مدل یک مدل بزرگ مقیاس، نیمه توزیعی و توسعه یافته به‌وسیله لیانگ<sup>۸</sup> در دانشگاه واشینگتن آمریکا<sup>۹</sup> برای استفاده سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا<sup>۱۰</sup> (NASA) در سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی<sup>۱۱</sup> (GLDAS) می‌باشد. این مدل می‌تواند معادلات توازن آب و انرژی را حل کند و به‌عنوان یک مدل تحقیقاتی محسوب می‌شود که به‌صورت موفق در حوضه‌های

## ارزیابی مدل بزرگ مقیاس سطح زمین VIC-3L در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز قره‌سو

گللاه غفاری<sup>۱</sup>، علی سلاجقه<sup>۲</sup>، علیرضا مساح بوانی<sup>۳</sup>،  
علیرضا مقدم نیا<sup>۴</sup>، هدایت فهمی<sup>۵</sup> و مسعود آقا محمدحسین تجریشی<sup>۶</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹

## چکیده

مدل‌های سطح زمین به‌صورت گسترده‌ای برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تبدلات اندازه حرکت، انرژی و ماده بین بیوسفر و اتمسفر در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی استفاده می‌شوند. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل سطح زمین VIC-3L در شبیه‌سازی دبی روزانه در حوزه آبخیز قره‌سو با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵ درجه از تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه‌های اطلاعاتی جهانی برای تهیه ورودی‌های مدل استفاده به‌عمل آمد و دبی روزانه حوضه برای دوره زمانی ۲۰۰۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۸/۰۹/۳۰ صحت‌سنجی و دوره ۱۹۹۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۳/۰۱/۰۱ و اسنجی گردید. نتایج حاصل از ارزیابی کارایی مدل با شاخص‌های آماری ضریب تبیین و ضریب کارایی ناش- سات‌کلیف به‌ترتیب در دوره اسنجی معادل ۰/۷۵ و ۰/۷۳ و در دوره صحت‌سنجی ۰/۷۲ و ۰/۷۴ حاکی از عملکرد بالای مدل در شبیه‌سازی دبی روزانه ایستگاه قره‌سو بود. در کل با توجه به بزرگ مقیاس بودن مدل VIC-3L و استفاده از آن در مقیاس حوزه آبخیز در این پژوهش، می‌توان گفت این مدل از قابلیت بالایی برخوردار است.

**کلیدواژه‌ها:** مدل‌های سطح زمین (LSMs)، مدل VIC-3L، حوزه آبخیز قره‌سو، دبی روزانه

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز- گرایش آب، دانشگاه تهران
۲. نویسنده مسئول و استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: salajegh@ut.ac.ir
۳. دانشیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۴. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۵. معاون مدیر کل دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا وزارت نیرو
۶. استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

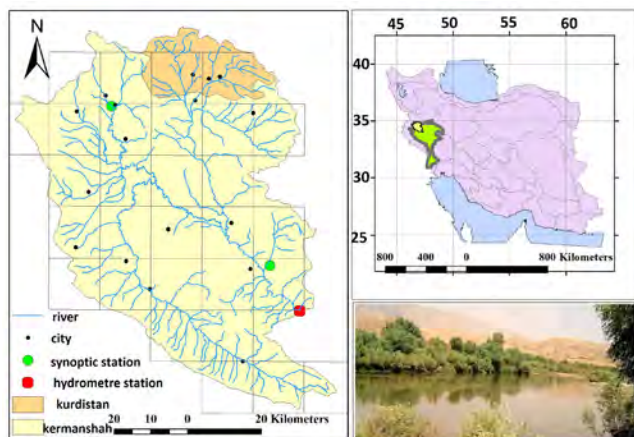
7. Land Surface Model
8. Xu Liang
9. University of Washington
10. National Aeronautics and Space Administration
11. Global Land Data Assimilation System

دبی روزانه رودخانه چالوس نمودند. بررسی شاخص کارائی (ناش- ساتکلیف) به دست آمده در مراحل واسنجی (۰/۸۴) و صحت سنجی (۰/۷۴) حاکی از آن است که مدل مذکور از توانائی مناسبی جهت شبیه سازی هیدروگراف جریان خروجی از حوضه آبریز رودخانه چالوس برخوردار می باشد. پرویز و همکاران [۲۲] در تحقیقی از مدل سطح زمین VIC جهت برآورد دمای سطح زمین و جریان رودخانه در حوزه آبخیز سفید رود استفاده نمودند. مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی در ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه، مبین افزایش ضریب ناش- ساتکلیف به هنگام استفاده از روش معکوس مجذور فاصله تصحیح شده نسبت به ارتفاع به عنوان روش درون یابی داده های هواشناسی در هر سلول بود. نتایج آن ها نشان داد که مدل VIC در مکانیسم شبیه سازی رواناب نسبت به پارامتر شکل ظرفیت نفوذ از حساسیت بیش تری برخوردار است. هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی مدل بزرگ مقیاس VIC-3L در برآورد و شبیه سازی دبی روزانه در مقیاس حوزه آبخیز و استفاده از داده های شاخص سطح برگ به جای داده های پیش فرض مدل و پایگاه داده های اقلیمی ECMWF می باشد. بدین منظور سعی شده است مدل VIC-3L در سطح حوضه قره سو با استفاده از داده های ماهواره ای و پایگاه های اطلاعاتی جهانی واسنجی و صحت سنجی شود.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قره سو واقع در استان کرمانشاه جزو حوزه های آبخیز درجه ۴، یکی از زیر حوزه های حوزه آبخیز کرخه است. مساحت حوزه مورد نظر ۵۵۳۴ کیلومتر مربع بوده که متوسط بارش سالیانه در کل حوضه بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر متغیر می باشد. ارتفاع حداقل این حوزه ۱۱۸۰ متر و ارتفاع حداکثر آن ۳۳۴۶ متر می باشد. شکل ۱ نمایش شماتیکی از حوزه قره سو می باشد.



شکل ۱- موقعیت حوضه مورد مطالعه

Fig 1. location of studied watershed

مختلف سراسر دنیا گزارش شده است [۱، ۶، ۱۰، ۱۵، ۱۶، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸ و ۳۲] استفاده شده است. این مدل به صورت کد باز بوده<sup>۱</sup> و برای سیستم عامل های یونیکس و لینوکس<sup>۲</sup> توسعه یافته است [۱۱ و ۱۲]. متأسفانه با توجه به اجرای موفقیت آمیز این مدل در اکثر نقاط دنیا، در ایران به دلیل کدباز بودن و اجرا در سیستم عامل های لینوکس و یونیکس، استقبال زیادی از این مدل صورت نگرفته است.

بیون و همکاران [۸] در تحقیقی اقدام به بررسی اثرات تغییر اقلیم در قرن ۲۱ بر روی رژیم جریان فصلی و وقایع حدی هیدرولوژیک مانند سیلاب، جریان های پایه و رطوبت خاک در منطقه Great Lakes بر روی ۲۰ حوزه آبخیز در آمریکا با استفاده از مدل VIC-3L نمودند. نتایج آن ها نشان داد که جریان روزانه رواناب در سال ۲۰۸۰ در اکثر حوضه ها به دلیل افزایش میزان بارش در فصل زمستان و بهار حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. محمد و همکاران [۱۸] در تحقیقی اقدام به ارزیابی متغیرهای مدل های سطح زمین VIC-3L و CLM با استفاده از خروجی سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره ای MODIS نمودند. آنالیز حساسیت نشان دهنده روند منفی بین رطوبت خاک و شارهای انرژی تابش طول موج بلند ورودی بود که دلیل آن وضعیت توپوگرافی و پوشش برف منطقه ذکر شده است. ژنگ و همکاران [۳۱] اقدام به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه های فلات تبت در چین با مدل سطح زمین VIC-3L نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش دما میزان بارش برف و آب معادل برف کاهش خواهد یافت در حالی که میزان رواناب و دبی رودخانه ها به طور قابل ملاحظه ای افزایش خواهد یافت. هم چنین ناز و همکاران [۱۹] از مدل بزرگ مقیاس VIC-3L با مقیاس مکانی 1:24 درجه برای بررسی میزان اثر تغییر اقلیم بر شدت وقایع حدی و اثر آن ها بر میزان ورودی سدها در ایالت متحده آمریکا استفاده نمودند. برای این منظور از ۱۰ مدل GCM و سناریو RCP8.5 استفاده نمودند که نتایج نشان دهنده افزایش جریان های پیشینه برای ۴۴ درصد از حوضه ها و کاهش جریان های کمینه برای ۱۱ درصد از حوضه ها بود.

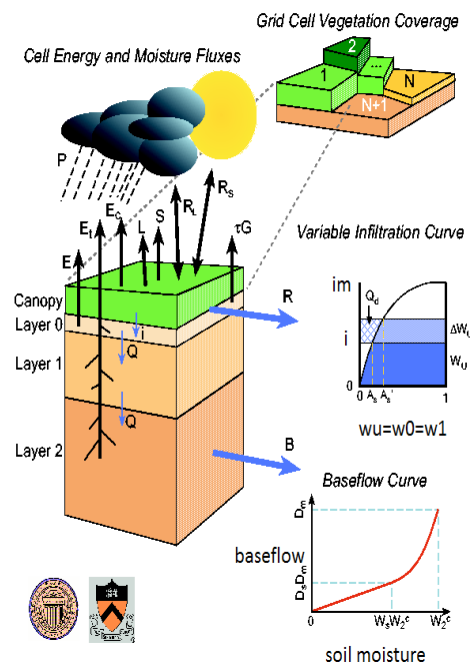
عزیزیان و همکاران [۴] در تحقیقی اقدام به ارزیابی کارائی منابع بارشی بازتحلیل شده و مبتنی بر تکنیک های سنجش از دور جهت مدل سازی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل بزرگ مقیاس VIC-3L در حوزه آبخیز سفیدرود نمودند و بدین منظور از پایگاه های بارشی بازتحلیل شده ECMWF و PERSIAN استفاده نمودند. نتایج حاصل از ارزیابی آماری حاکی از آن بود که در مقیاس زمانی روزانه پایگاه ECMWF با دارا بودن همبستگی معادل ۰/۸۳ با داده های زمینی از عملکرد بسیار بهتری نسبت به پایگاه PERSIAN برخوردار می باشد. عزیزیان و شکوهی [۳] در مطالعه ای اقدام به ارزیابی مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس VIC-3L برای شبیه سازی

1. Open source
2. Linux and Unix

## معرفی مدل VIC-3L

این مدل به صورت نیمه توزیعی بوده و توانایی شبیه سازی در ابعاد سلولی ۰/۱۲۵ درجه تا ۳ درجه را در گام های زمانی ساعتی و روزانه دارد. مدل سازی VIC-3L شامل مدل سازی دو نوع از فرآیندهای حاکم بر طبیعت شامل مدل سازی فرآیندهای عمودی مانند تبخیر- تعرق، رواناب سطحی و زیرسطحی و دومی شامل مدل سازی فرآیندهای افقی از جمله روندیابی جریان می باشد [۱۴]. در این پژوهش شبکه بندی منطقه با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵ در ۰/۱۲۵ درجه در نظر گرفته شد، به گونه ای که کل حوزه آبخیز قره سو به ۲۹ سلول ۰/۱۲۵ درجه ای تقسیم بندی و از مدل های VIC-3L نسخه 4.1.1 و مدل Route نسخه 1.0 در سیستم عامل لینوکس اوبونتو نسخه 16.04 استفاده شد. در این پژوهش جهت اجرای مدل VIC-3L و مدل Route در حوزه آبخیز قره سو از اطلاعات تصاویر ماهواره ای و پایگاه های داده جهانی و جهت واسنجی مدل از داده های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری قورباغستان استفاده شد. به گونه ای که دوره ۲۰۰۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۸/۰۹/۳۰ با گام زمانی روزانه جهت دوره واسنجی و دوره ۱۹۹۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۲/۰۹/۳۰ با گام زمانی روزانه جهت صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت زیرا به دلیل وجود شکست در منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب حوضه در سال ۲۰۰۹ به دلیل اجرای عملیات آبخیزداری در منطقه دبی حوضه از حالت طبیعی خارج شده بود. این مدل از نظریه منحنی نفوذ [۲] برای محاسبه میزان نفوذ و

### Variable Infiltration Capacity (VIC) Macroscale Hydrologic Model



شکل ۲- نمائی شماتیک از ساختار مدل بزرگ مقیاس VIC-3L

Fig 2: Schematic representation of the VIC-3L Land Surface Model

رواناب در سطح یک سلول محاسباتی استفاده می کند. در این مدل هر سلول به طور جداگانه مدل شده و هیچ گونه اندرکنش و یا انتقال جریانی بین سلول ها رخ نمی دهد. به عبارت دیگر این مدل تنها سری زمانی رواناب را که به طور غیر یکنواخت در هر سلول توزیع شده، محاسبه می نماید. در نتیجه برای انتقال جریان سطحی و دبی پایه به خارج از سلول و انتقال آن در شبکه آبراهه ها برای رسیدن به خروجی حوضه، بایستی از مدل Route که توسط لومن و همکاران [۱۶] توسعه داده شده، استفاده نمود [۱۱ و ۱۲]. نمایی شماتیک از ساختار مدل بزرگ مقیاس VIC-3L در شکل ۲ ارائه شده است.

### داده های مورد استفاده

اجرای مدل VIC-3L مستلزم آماده سازی و تهیه فایل های ورودی است. در کل تعداد فایل های ورودی و خروجی مدل بستگی به الگوریتم مورد نظر دارد که از مدل انتظار داریم اجرا کند. برای شبیه سازی بیلان آب نیازمند تهیه ۶ فایل ورودی شامل داده های هواشناسی<sup>۱</sup>، فایل پارامتر خاک<sup>۲</sup>، فایل کتابخانه پوشش گیاهی<sup>۳</sup>، فایل پارامتر پوشش گیاهی<sup>۴</sup>، فایل برف<sup>۵</sup> و فایل کنترل مدل<sup>۶</sup> می باشد و فرمت اکثر ورودی ها و خروجی های مدل به فرمت فایل های NetCDF می باشد و تمامی داده ها با استفاده از اسکریپت های خاصی در مدل به مقیاس ۰/۱۲۵ درجه تبدیل و با هم مقیاس شدند.

### فایل داده های هواشناسی

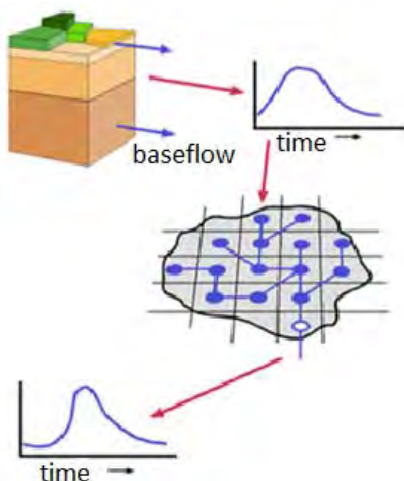
فایل داده های هواشناسی شامل داده های بارش (میلی متر)، حداکثر دما (درجه سانتی گراد)، حداقل دما (درجه سانتی گراد)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، فشار اتمسفر، تابش طول موج بلند ورودی، رطوبت نسبی و غیره برای هر سلول شبکه در طول دوره آماری می باشد. جهت تهیه داده های هواشناسی از داده های مرکز پیش بینی میان مدت جوی اروپایی (ECMWF) با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵ درجه و در فرمت فایل NetCDF به صورت ۱۲ ساعته از بازه زمانی ۱۹۹۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۸/۰۹/۳۰ استفاده شد.

### فایل خصوصیات خاک

فایل خصوصیات خاک نیز به نوبه خود یکی از ورودی های اصلی مدل های سطح زمین (LSMs) بوده و نقش اساسی را در مدل سازی بیلان رطوبت و تولید رواناب بر عهده دارد. در این مطالعه پارامترهای هیدرولوژیکی خاک و پارامترهای حرارتی مورد نیاز برای سه لایه خاک حدود ۵۴ پارامتر می باشد که پارامترهایی مانند بافت خاک، عمق خاک هر لایه، هدایت هیدرولیکی اشباع شده (mm/day) در هر لایه خاک، پارامتر انتشار رطوبت خاک (mm/mm) در هر لایه، محتوای رطوبت هر لایه (mm)، ضخامت رطوبت هر لایه (m) و

1. Meteorological Forcing Files
2. Soil Parameter File
3. Vegetation Library File
4. Vegetation Parameter File
5. Snow File
6. Global Parameter File

۳ نمایشی از مراحل روندیابی مدل ارائه شده است.



شکل ۳- نمایشی از مراحل روندیابی مدل Route [۱۱]  
Fig 3. An Overview of Route Modeling Processes

### فایل‌های ورودی مدل Route

مدل VIC-3L اجزای بیلان آب را در هر سلول شبکه شبیه‌سازی نموده و جهت شبیه‌سازی هیدروگراف خروجی حوضه این مدل باید با مدل Route کوپل شود، به طوری که مدل Route بتواند از خروجی‌های مدل VIC-3L به عنوان ورودی استفاده کند. جهت اجرای مدل Route علاوه بر فایل‌های خروجی مدل VIC-3L، نیاز به یک سری فایل‌های ورودی است که بیش‌تر مربوط به پارامترهای روندیابی می‌باشد و شامل فایل‌های مسیر جریان، سرعت جریان، پخش جریان<sup>۵</sup>، Xmask که شامل اندازه هر سلول بر حسب متر جهت محاسبات طول و عرض جغرافیایی سلول‌ها می‌باشد، درصد مشارکت، مکان ایستگاهی<sup>۶</sup> و فایل کنترل مدل Route می‌باشد که در مقیاس مکانی ۰/۱۲۵ درجه و با کمک نقشه رقومی ارتفاعی حوضه (DEM) با فرمت tif تهیه شدند.

### تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

در این مطالعه جهت تحلیل حساسیت مدل از روش یک پارامتر در هر مرتبه<sup>۷</sup> (OAT) در گام‌های زمانی مختلف یعنی تغییر پارامترها به‌طور مستقل و بررسی تأثیر آن‌ها در نتایج خروجی مدل استفاده شد.

### واسنجی مدل‌های VIC-3L و Route

در کل می‌توانیم مدل VIC-3L و Route را به‌عنوان دو بخش از یک چارچوب مدل‌سازی بزرگ‌تر مورد توجه قرار دهیم که هر

2. Flow Direction File
3. Flow Velocity File
4. Flow Diffusion File
5. Xmask File
6. Station Location File
7. One factor at a Time (OAT)

غیره را شامل می‌شود. در این پژوهش برای تهیه نقشه خاک از پایگاه داده جهانی خاک همگن شده<sup>۱</sup> (HWSD) سازمان فائو با مقیاس ۱ کیلومتری (۳۰ آرک-ثانیه) و دیتابیس مربوط به آن استفاده شد.

### فایل‌های کتابخانه پوشش گیاهی و خصوصیات پوشش گیاهی

فایل کتابخانه پوشش گیاهی برای هر نوع پوشش گیاهی شامل ۵۸ پارامتر است که جهت محاسبات تبخیر-تعرق بکار می‌روند و اطلاعاتی در مورد مقاومت تاج پوشش گیاهی، حداقل مقاومت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ، آلدو، ارتفاع جابجایی پوشش گیاهی، حداقل اشعه مادون قرمز دریافتی در فرآیند تعرق، و غیره می‌باشد. جهت تهیه این فایل از پایگاه داده GLDAS سایت NASA و تصاویر ماهواره‌ای MODIS MCD12Q1 با مقیاس مکانی ۵۰۰ متر استفاده به عمل آمد. همچنین فایل خصوصیات پوشش گیاهی تعداد درصد پوششی، نوع و مقدار شاخص سطح برگ به همراه ضخامت و درصد هر بخش ریشه برای هر نوع پوشش گیاهی را در هر سلول شبکه تعریف می‌کند. جهت تهیه این فایل از پایگاه داده GLDAS سایت NASA و تصاویر ماهواره‌ای MODIS MCD12Q1 با مقیاس مکانی ۵۰۰ متر استفاده به عمل آمد.

### فایل باندهای برف

باند ارتفاعی برف برای بهبود عملکرد مدل در مناطقی با توپوگرافی مشخص، به ویژه در مناطق کوهستانی استفاده می‌شود. این فایل حاوی اطلاعاتی است که برای تعریف ویژگی‌های هر باند ارتفاعی مورد استفاده در مدل برف وجود دارد [۲]. جهت تهیه این فایل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS MOD10A2 با مقیاس مکانی ۵۰۰ متر استفاده شد.

### فایل کنترل مدل

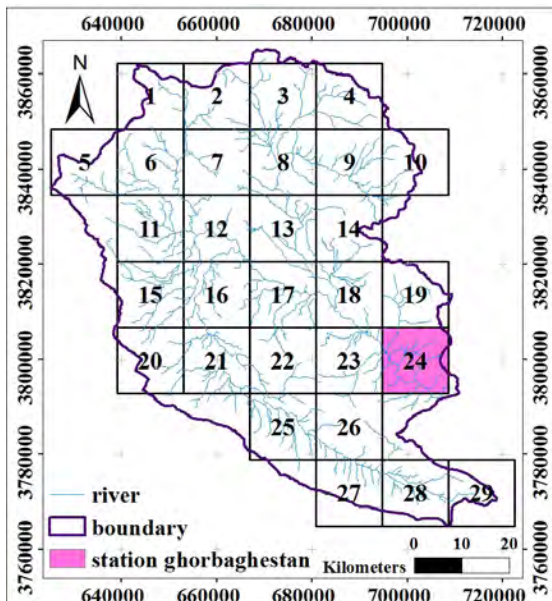
این فایل مهم‌ترین فایل ورودی برای اجرای مدل VIC-3L است. در این فایل پارامترهای کنترل مدل شامل نوع شبیه‌سازی، پارامترهای اصلی شبیه‌سازی، پارامترهای بیلان آب و انرژی، روش حل بیلان انرژی سطح، زمان شروع و پایان شبیه‌سازی، گام‌های شبیه‌سازی و غیره را تعریف و تنظیم می‌کند.

### معرفی مدل Route

این مدل برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان خروجی از حوضه، نتایج بدست آمده از اجرای مدل VIC-3L را با استفاده از یک مدل روندیابی ساده که بر مبنای تابع انتقال خطی می‌باشد در شبکه آبراه‌های حوضه روندیابی می‌کند مجموع جریان سطحی و زیر سطحی مدل VIC-3L ابتدا به خروجی سلول (روندیابی درون سلولی) و سپس به شبکه رودخانه (روندیابی بین سلولی) هدایت می‌شود. جهت در نظر گرفتن تفاوت در زمان پیمایش رواناب در نقاط مختلف سلول، رواناب روزانه مدل VIC-3L توسط هیدروگراف واحد پیچش می‌شود که در واقع شبیه‌سازی درون سلولی است. جریان درون سلولی باید به خروجی حوضه هدایت شود که این مسئله از طریق شبکه رودخانه امکان‌پذیر است. در شکل

1. Harmonized World Soil Database





شکل ۵- شبکه محاسباتی و مکان ایستگاه هیدرومتری قورباغستان

Fig 5. Computational grid and the location of the Gurbaghestan hydrometric station

$$R^2 = \frac{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_{obs} - \bar{O})(S_{sim} - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_{obs} - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_{sim} - \bar{S})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

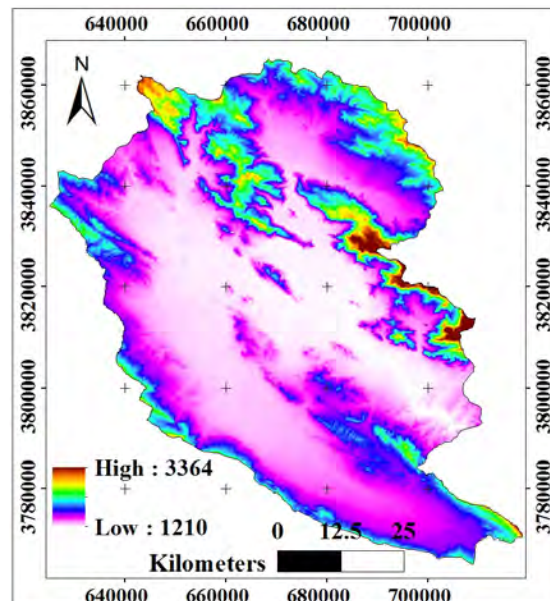
$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_{sim} - O_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (O_{obs} - \bar{O}_{obs})^2} \quad (2)$$

که  $O_{obs}$  داده‌های مشاهده‌ای،  $\bar{O}$  میانگین داده مشاهده‌ای،  $S_{sim}$  داده شبیه‌سازی شده،  $\bar{S}$  میانگین داده شبیه‌سازی شده و  $n$  تعداد داده‌هاست [۷، ۹ و ۱۳].

### نتایج

نتایج حاصل از تهیه فایل‌های ورودی مدل VIC-3L و مدل ROUTE در شکل‌های ۴ تا ۱۳ ارائه شده است.

در این مدل حوزه آبخیز قره‌سو به ۲۹ سلول با ابعاد ۰/۱۲۵ درجه تقسیم تا بیلان آب در هر سلول به صوت مجزا محاسبه شود. همان‌گونه که عنوان شد برای تهیه فایل پارامترهای خاک از پایگاه داده HWSD (<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en>) استفاده به عمل آمد که این پایگاه داده شامل نقشه خاک جهانی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ و پایگاه داده‌ای شامل ویژگی‌هایی مانند کربن ارگانیک، pH، ظرفیت ذخیره‌سازی آب، عمق خاک، ظرفیت کاتیون تبادلی خاک، کل مواد مغذی قابل تعویض، محتوی آهک و گچ، درصد سدیم تبادلی، شوری، کلاس بافت خاک و گرانولومتری و غیره برای هر نوع خاک بعضی از



شکل ۴- نقشه DEM حوزه آبخیز قره‌سو

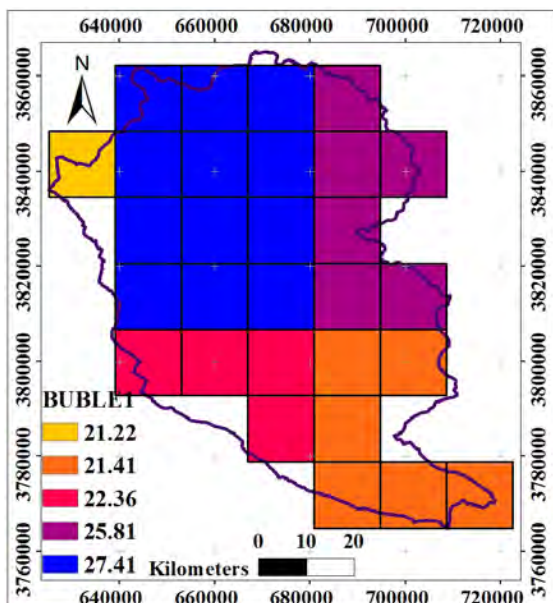
Fig 4. DEM Map of Gharsou watershed

دو مدل حاوی پارامترهایی هستند که نیاز به کالیبراسیون یا تخمین اولیه‌ای دارند [۲۹]. علی‌رغم این که بسیاری از پارامترهای این مدل‌ها مبتنی بر داده‌های سنجش از دور و یا پایگاه‌های داده جهانی می‌باشد ولی برخی از آن‌ها را نمی‌توان با استفاده از این منابع و یا حتی اندازه‌گیری مستقیم تعیین نمود. این پارامترها مفهومی بوده و گاهی دارای مقادیر غیر فیزیکی می‌باشند که باید مقادیر بهینه آن‌ها را پیدا کنیم. در این پژوهش در مدل VIC-3L ۵ پارامتر منحنی نفوذ متغیر<sup>۱</sup> (b\_infil)، کسری از حداکثر رطوبت خاک<sup>۲</sup> (Dsmax<sup>۲</sup> Ds)، پارامتر (Dm) DsMax، کسری از حداکثر رطوبت خاک<sup>۳</sup> (Ws) و ضخامت هر لایه خاک مرطوب<sup>۴</sup> (D3 و D1، D2) و در مدل روندیابی پارامترهای سرعت موج و ضریب پخشیدگی برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند [۱۷]؛ [۲۱].

### معیارهای کارایی مدل

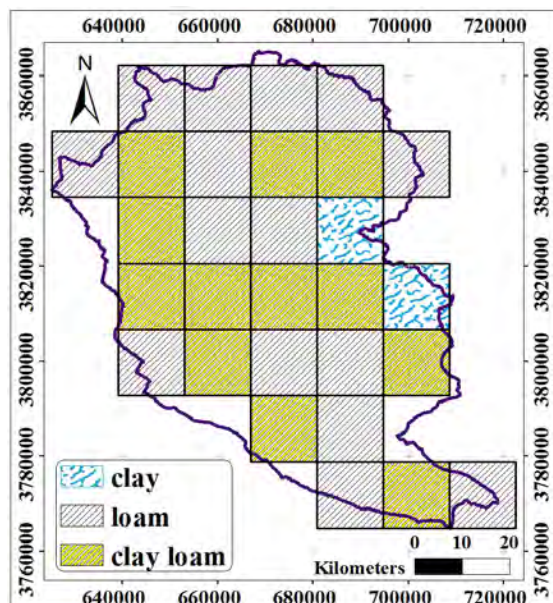
به منظور تعیین دقت نتایج مدل از شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب کارایی (ME) به شرح زیر استفاده شد: ضریب تبیین ( $R^2$ ) نسبت واریانس متغیر وابسته پیرامون میانگین که با متغیرهای پیش‌بینی کننده مستقل بیان می‌شود و ضریب کارایی (ME) روش ناش- سانتکلیف می‌باشد که به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

1. Variable infiltration curve parameter
2. fraction of the Dsmax parameter
3. Fraction of maximum soil moisture
4. thickness of each soil moisture layer



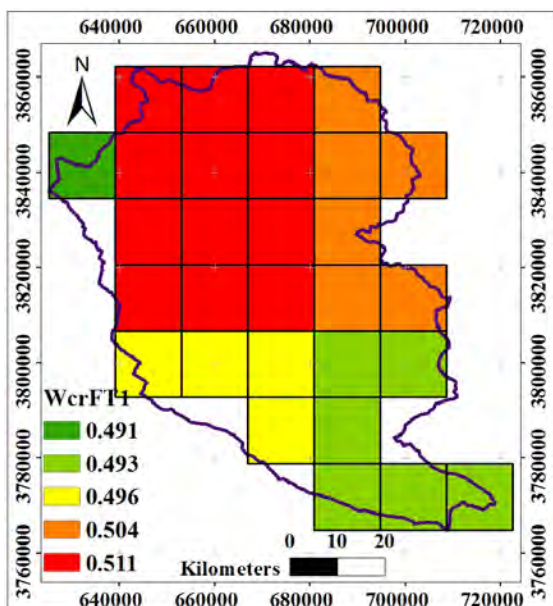
شکل ۸- فشار حبابی خاک در لایه اول خاک

Fig 8. Soil bubble pressure (cm) in the first layer of soil



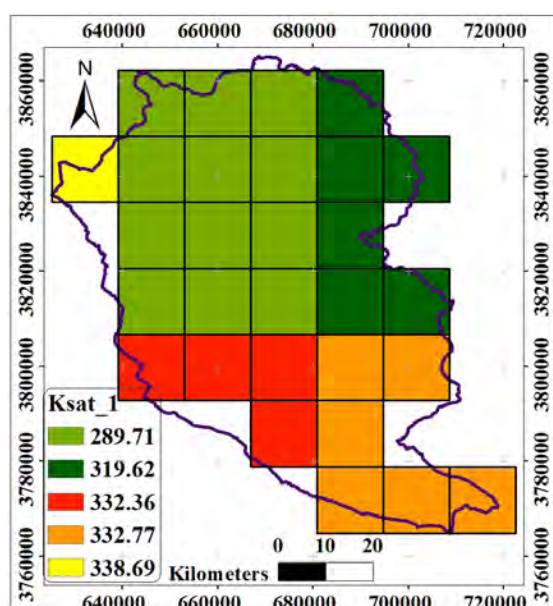
شکل ۶- نقشه بافت خاک در هر سلول

Fig 6. the soil Map texture in each cell



شکل ۹- کسری از رطوبت خاک در نقطه بحرانی

Fig 9. A fraction of the soil moisture at the critical point



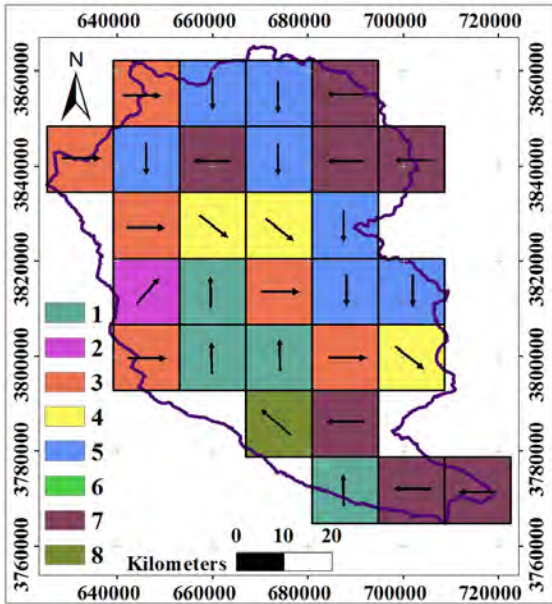
شکل ۷- هدایت هیدرولیکی اشباع شده در لایه اول خاک

Fig 7. Hydraulic conductivity saturated in the first layer of soil

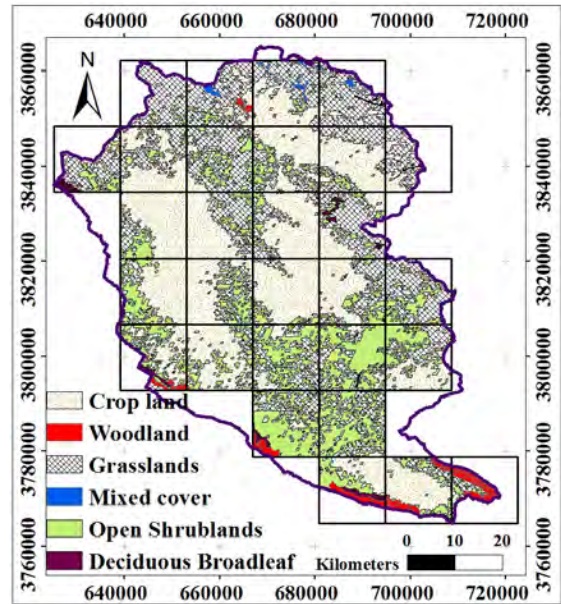
NetCDF، gedit و سایر فرمت‌های سیستم عامل لینوکس می‌باشند که قابل ارائه در متن مقاله نمی‌باشند. پس از مدل‌سازی جریان رودخانه‌ای، تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی نیز مورد بررسی قرار گرفت و مقدار متوسط تغییرات تابع هدف در اثر تغییرات در هر پارامتر محاسبه شد. هم‌چنین در جدول ۱ پارامترهای بهینه در مرحله واسنجی مدل VIC-3L و مدل Route ارائه شده است.

پارامترهای خاک در شکل‌های ۶ تا ۹ ارائه شده است. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نقشه پوشش گیاهی و نمونه‌ای از پوشش سطح برف حوضه ارائه شده است. هم‌چنین در شکل ۱۲ و ۱۳ نقشه جهت جریان و نقشه درصد مشارکت در مدل ROUTE ارائه شده است. شایان ذکر است سایر فایل‌های ورودی اشاره شده در بخش داده‌های مورد استفاده در فرمت‌هایی غیر از نقشه مانند فرمت

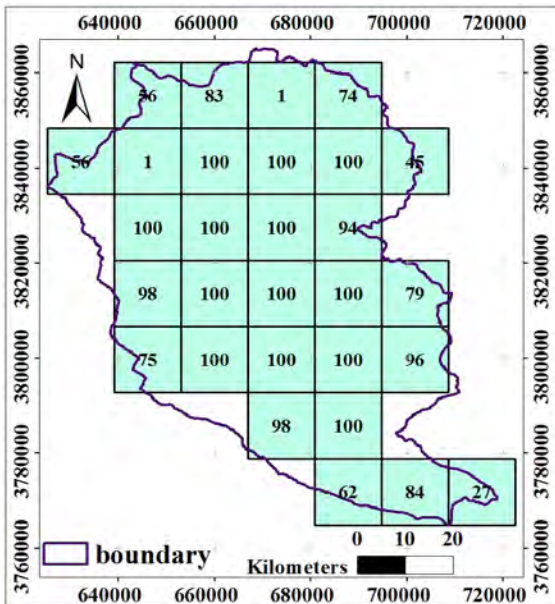




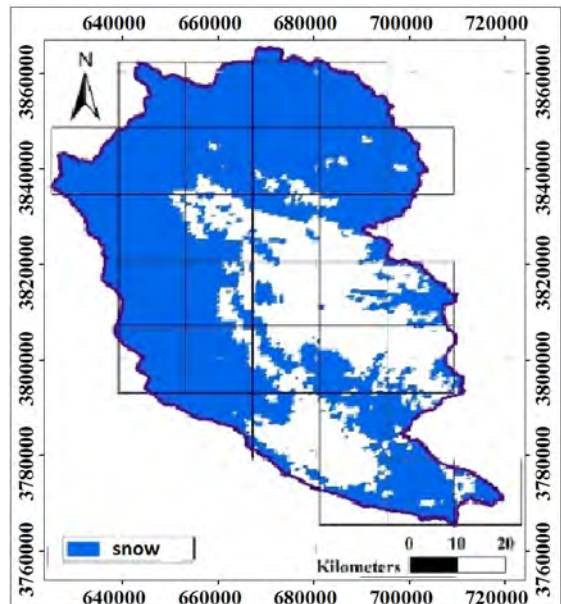
شکل ۱۲- نقشه جهت جریان در حوزه آبخیز قره‌سو  
Fig 12. Map of flow direction in Ghareso watershed



شکل ۱۰- نقشه پوشش گیاهی حوزه  
Fig 10. vegetation map



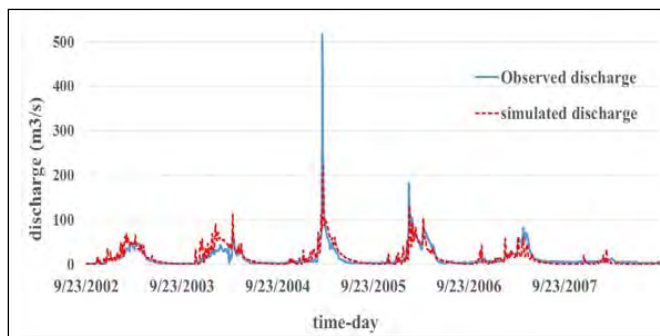
شکل ۱۳- نقشه درصد مشارکت در حوزه آبخیز قره‌سو  
Fig 13. Map of participation percentage in Ghareso watershed



شکل ۱۱- پوشش برف سطح حوزه آبخیز قره‌سو در ۲۰۰۷/۰۱/۰۸  
Fig 11. Snow cover at Ghareso watershed on 08/01/2007

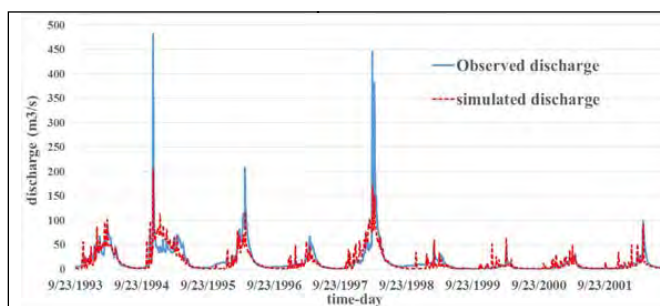
ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب کارایی (ME) در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی روزانه در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج حاصل از ارزیابی مدل توسط شاخص‌های آماری



شکل ۱۴- نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در دوره واسنجی

Fig 14. The results of simulation of the model during calibration period



شکل ۱۵- نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در دوره

#### صحت‌سنجی

Fig 15. The results of model simulation in the verification period

مدل از داده‌های ایستگاه هیدرومتری قورباغستان استفاده شد، که علی‌رغم این‌که از داده‌های زمینی استفاده نشده بود نتایج حاصل از ارزیابی کارایی مدل نشان داد که این مدل قابلیت بسیار خوبی برای شبیه‌سازی دبی حوضه دارد به‌گونه‌ای که در مرحله واسنجی، شاخص‌های آماری ناش-سانتکلیف و ضریب تبیین به ترتیب معادل ۰/۷۳ و ۰/۷۵ و در مرحله صحت‌سنجی ۰/۷۲ و ۰/۷۴ بدست آمد که حاکی از کارایی بالای این مدل در شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه دارد که با نتایج تحقیقات محمد و همکاران [۱۸]، ناز و همکاران [۱۹]، عزیزیان و همکاران [۳]، عزیزیان و شکوهی [۴] و پرویز و همکاران [۲۲] مبنی بر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی دبی جریان مطابقت دارد.

بررسی عملکرد مدل نشان می‌دهد که مدل مذکور توانایی بالایی در شبیه‌سازی دبی‌های پایه داشته ولی در برآورد مقدار دقیق دبی‌های پیک قدرت لازم را نداشته و مقادیر دبی پیک را در وقایع سیلاب کم‌تر از میزان واقعی برآورد نموده است که به دلیل ویژگی‌های حوضه و وقوع سیلاب‌های ناشی از ذوب برف می‌باشد به‌گونه‌ای که مثلاً در مورخ ۲۰۰۵/۰۳/۱۳ که میزان دبی پیک مشاهده‌ای معادل ۵۱۹ متر مکعب بر ثانیه بوده است و مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل معادل ۲۲۰ متر مکعب بر ثانیه بوده است که عددی معادل ۴۲ درصد دبی پیک را برآورد نموده است. هم‌چنین در مورخ ۲۰۰۶/۰۲/۰۷ که

جدول ۱- پارامترهای بهینه مدل در مرحله واسنجی مدل‌ها

Table 1. Optimal Model Parameters in Calibration Model

| Models  |                                  |   |
|---|----------------------------------|---|
| عدد بهینه پارامتر<br>Parameter optimum number | دامنه تغییرات<br>variation range | پارامتر<br>Parameter  |
| 0.027   | 0.00001 – 0.4                    | b_infiltr   |
| 0.535   | 0.001 – <1                       | Ds  |
| 3.357   | ۰ > -30                          | Dm  |
| 0.817   | >0.5 – 0.9                       | Ws  |
| 0.3   | 0.1-2.5                          | D1  |
| 1.05  | 0.1-2.5                          | D2  |
| 0.210   | 0.1-2.5                          | D3  |
| 1.25  | 1-3                              | سرعت موج (m/s)<br>Wave speed (m/s)  |
| 675   | 200-400                          | ضریب پخشیدگی<br>(m <sup>2</sup> /s)<br>Distribution coefficient (m <sup>2</sup> /s) |

جدول ۲- نتایج حاصل از ارزیابی مدل توسط شاخص‌های

آماري ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و ضریب کارایی (ME)

Table 2. The results of the model evaluation by the coefficients of statistical analysis (R<sup>2</sup>) and efficiency coefficients (ME)

| دوره<br>period           | سال شروع<br>Start year | سال پایان<br>End of year | (R <sup>2</sup> ) | (ME) |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|------|
| واسنجی<br>Calibration    | 2003/01/01             | 2008/09/30               | 0.75              | 0.73 |
| صحت‌سنجی<br>Verification | 1993/01/01             | 2003/01/01               | 0.72              | 0.74 |

#### بحث و نتیجه‌گیری

اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی بارش- رواناب برای اجرای دقیق و واسنجی کامل نیاز به اندازه‌گیری پارامترهای زیادی داشته که گاه‌ها یا بسیار وقت‌گیر یا پرهزینه می‌باشد. اما مدل‌های سطح زمین (LSMs) علی‌رغم دارا بودن پارامترهای متعدد و بسیار زیاد در ساختار خود، این قابلیت را دارند که بدون استفاده از داده‌های زمینی و صرفاً با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه‌های داده‌ای جهانی اجرا شوند. در این تحقیق نیز مدل سطح زمین VIC-3L به کمک داده‌های سنسجش از دور مانند تصاویر پوشش گیاهی حوضه، داده‌های هواشناسی ECMWF و پایگاه داده جهانی خاک همگن شده (HWSD) و GLDAS اجرا شد و صرفاً برای واسنجی

1. Harmonized World Soil Database



میزان دبی پیک ۱۸۰ متر مکعب بر ثانیه بوده است که مدل آن را ۱۲۵ متر مکعب بر ثانیه پیش‌بینی نموده است که معادل ۶۹ درصد دبی واقعی بوده است. اما در کل دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل مذکور به‌خوبی توانسته است از روند موجود در داده‌های دبی مشاهده‌ای تبعیت نماید و روند دبی‌های پایه و پیک را به‌خوبی مدل نماید.

نتایج بدست آمده نشان داد که مدل VIC-3L نسبت به تغییر هر کدام از پارامترها حساسیت متفاوتی از خود نشان می‌دهد. چنانچه خروجی‌های مورد استفاده جهت تحلیل حساسیت مدل را به سه دسته حداقل دبی جریان (دبی پایه)، متوسط دبی جریان و حداکثر دبی جریان تقسیم کنیم ترتیب تأثیرگذاری پارامترهای مدل VIC-3L به این صورت است که چنانچه در مدل‌سازی جریان‌های حداقل (دبی پایه) برای ما مهم باشد پارامترهای  $Ws$  و  $d2$  بیش‌ترین تأثیر و اهمیت و پارامترهای  $b\_infil$  و  $d3$  دارای کم‌ترین اثر می‌باشند. به‌گونه‌ای که برای مدل‌سازی این نوع از جریان و واسنجی مدل می‌توانیم پارامترهای  $Ws$ ،  $d2$ ،  $Dsmax$  و  $Dm$  را جهت واسنجی انتخاب نماییم. درحالی‌که اگر متوسط دبی جریان برای ما حائز اهمیت باشد پارامترهای تأثیرگذار عبارتند از  $b\_infil$ ،  $d2$ ،  $Ws$  و  $Dsmax$ . هم‌چنین اگر حداکثر دبی جریان برای ما مهم باشد به‌ترتیب پارامترهای  $Ws$ ،  $d2$ ،  $Dsmax$  و  $Dm$  مهم‌ترین پارامترها محسوب می‌شوند.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نشان داد که پارامتر منحنی نفوذ متغیر ( $b\_infil$ ) شکل منحنی ظرفیت نفوذ متغیر را معین کرده و کنترل‌کننده مقدار آبی است که می‌تواند در خاک نفوذ کرده و مقادیر ظرفیت نفوذ موجود را به‌عنوان تابعی از منطقه شبکه سلولی اشباع وابسته توصیف می‌کند، مقادیر بالای این پارامتر موجب کاهش مقدار نفوذ و افزایش رواناب سطحی خواهد گردید. پارامتر کسری از  $Dsmax$  ( $Ds$ )، کسری از پارامتر  $Dm$  است که در آن دبی پایه غیرخطی شروع شده و به‌سرعت افزایش می‌یابد. مقادیر بالای این پارامتر با محتوای کم آب در پایین‌ترین لایه خاک، موجب تولید دبی پایه بزرگ‌تری در لایه پائینی خاک خواهد گردید. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی مدل در مقیاس زمانی روزانه نشان می‌دهد که افزایش پارامتر  $Ds$  موجب کاهش بیش‌تر دبی پایه خواهد شد. پارامتر  $DsMax$  ( $Dm$ ) به هدایت هیدرولیکی خاک بستگی داشته و عبارتست از حداکثر دبی پایه که می‌تواند توسط لایه تحتانی خاک تولید شود. بررسی عملکرد مدل نیز حاکی از آن است که مقادیر پائین این پارامتر موجب افزایش دبی پایه و کاهش مقدار دبی پیک هیدروگراف جریان خواهد گردید. پارامتر کسری از حداکثر رطوبت خاک ( $Ws$ ) مشابه پارامتر  $Ds$  بوده و مبین میزان تخلیه آب ذخیره شده در لایه سوم خاک و مشارکت آن در دبی پایه است. مقادیر بالای  $Ws$  محتوای آب مورد نیاز برای افزایش سریع جریان پایه غیر خطی را که تمایل دارد پیک رواناب را به تأخیر اندازد افزایش خواهد داد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در مقیاس روزانه افزایش پارامتر  $Ws$  موجب افزایش دبی حداقل و کاهش دبی حداکثر

هیدروگراف جریان می‌شود. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که اثر تغییر این پارامتر تأثیر زیادی بر متوسط دبی روزانه ندارد.

هم‌چنین عمق خاک بسیاری از متغیرهای مدل را تحت تأثیر قرار داده و به‌طورکلی هرچه خاک ضخیم‌تر باشد جریان پیک فصلی کاهش یافته و جریان پایه غالب می‌شود که این به‌دلیل افزایش تلفات ناشی از تبخیر- تعرق می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی اثر لایه‌های تحتانی خاک بر عملکرد مدل از اعماق ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۳ متر برای لایه اول استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که عمق لایه اول خاک تأثیر چندانی بر هیدروگراف خروجی مدل ندارد و افزایش عمق خاک به‌صورت بسیار ناچیزی باعث کاهش دبی پیک می‌شود که در بیش‌تر مطالعات جهت کاهش پارامترهای واسنجی معمولاً فرض بر این است که عمق لایه اول خاک معادل ۱۰ سانتی‌متر است. درحالی‌که بر خلاف لایه اول، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که با افزایش عمق لایه دوم خاک، متوسط دبی روزانه کاهش چشم‌گیری خواهد داشت به‌گونه‌ای که افزایش میزان عمق خاک از ۰/۵ به ۲ متر باعث کاهش شدید دبی پیک خواهد شد درحالی‌که اثر معنی‌داری بر روی دبی پایه نخواهد داشت. درحالی‌که افزایش میزان عمق خاک در لایه سوم از ۰/۱ به ۵ متر باعث افزایش قابل‌توجهی در میزان دبی پایه می‌شود. به‌گونه‌ای که افزایش عمق خاک موجب افزایش توان نگهداشت رطوبتی خاک شده و بخش عمده‌ای از بارش در خاک ذخیره و به مرور زمان در اثر نفوذ ثقلی و یا تبخیر- تعرق از خاک خارج و به دبی پایه رودخانه اضافه خواهد گردید. ذکر این نکته نیز ضروریست که اثر تغییر عمق لایه دوم خاک بر حداقل مقادیر جریان در مقیاس‌های زمانی مختلف نیز بسیار بیش‌تر از تأثیر عمق لایه سوم خاک می‌باشد.

در کل با توجه به بزرگ مقیاس بودن مدل VIC-3L و استفاده از آن در مقیاس حوزه آبخیز در این پژوهش، می‌توان گفت این مدل از قابلیت بالایی برخوردار بوده است مخصوصاً این‌که در اجرای این مدل جز در مرحله واسنجی، از هیچ‌گونه داده زمینی استفاده نشده است و تمامی داده‌های مورد نیاز مدل از تصاویر ماهواره‌ای و دیتابیس‌های جهانی استفاده شده است که با توجه به محدودیت‌های مدل‌های هیدرولویکی بارش- رواناب در خصوص اندازه‌گیری‌های بسیار زیاد و صرف وقت و هزینه‌های بسیار بالا برای اجرای این مدل‌ها، می‌توان مدل‌های سطح زمین را جایگزین مناسبی برای مدل‌های بارش- رواناب در نظر گرفت.

## منابع

1. Abdulla, FA. Lettenmaier, DP. Wood, and E. Smith, J. 1996. Application of a macro scale hydrologic model to estimate the water balance of the Arkansas Red river basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 101(D3): 7449-7459.
2. Andreadis, S. and Lettenmaier, D. 2009. Modeling

13. Krause, P. Boyle, D. and Base, F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model Assessment. *Advances in Geosciences* .5: 89–97.
14. Liang, X. Lettenmaier, E. Wood, F. and Burges, S. 1994. A Simple Hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes for GSMs. *Geophys.* 99(D7): 415-428.
15. Livneh, B. Rosenberg, E.A. Lin, C. Nijssen, B. Mishra, V. Andreadis, K.M. Maurer, E.P. and Lettenmaier, D.P. 2013. A long-term hydrologically based dataset of land surface fluxes and states for the conterminous United States: update and extensions. *Clim.* 26: 9384–9392.
16. Lohmann, D. Raschke, E. Nijssen, B. and Lettenmaier, DP. 1998. Regional scale hydrology: I. Formulation of the Regional scale hydrology: I. Formation of the VIC-2L model coupled to a routing model. *Hydrological Science Journal.* 43(1): 131-141.
17. Lohmann, DR. and Raschke, E. 1996. A large-scale horizontal routing model to be coupled to land surface parameterization schemes. *Tellus A.* 48: 708-721.
18. Muhammad, U. Daeun, K. Ram, L. and Minha, C. 2018. Estimating land surface variables and sensitivity analysis for CLM and VIC simulations using remote sensing products. *Science of the Total Environment.* 633: 470-483.
19. Naz, B. Shih-Chieh Kao, S. Ashfaq, M. Huilin, G. Deeksha, R. and Sudershan, G. 2018. Effects of climate change on streamflow extremes and implications for reservoir inflow in the United States. *Journal of Hydrology.* 556: 359-370
20. Nijssen, B. Donnell, G, Lettenmaier, D. and Lohmann, D. 2001. Predicting the discharge of global river. *Journal of Climate.* 14: 3307-3323.
21. Nijssen, B.N. Lettenmaier, D. Liang, X. Wetzal, S. and Wood, E. 1997. Streamflow simulation for continental-scale river basins. *Water Resour.* 33(4): 711-724.
22. Parviz, L. Kholghi, M. Araghi Nejhada, Sh. and Vali zadeh, K. 2011. An Assessment of the Integrated Variable Infiltration Capacity and Routing Model in the Sefidroad River Basin. *Journal of Water and Soil* snow accumulation and ablation processes in forested environments. *Water Resour.* 45: 1010-1029.
3. Azizyan, A. and Shukouhi, A. 2018. Evaluating and Sensitivity Analysis of a Macro Scale Hydrological Model (VIC-3L) for Simulation of Stream Flow at Different Time Scales. *Journal of Civil and Environmental Engineering.* 47(2): 39-52. (In Persian)
4. Azizyan, A. Shayeghi, and A. Luka, B. 2019. Evaluating the Efficiency of Reanalysis and Remote-Sensing based Rainfall Data sets for Hydrological Modeling Using VIC-3L Large Scale Model. *Iran Water Resources Research.* 15(1): 50-60. (In Persian)
5. Blyth, E. Best, M. Cox, P. Essery, R. Boucher, O. Harding, R. Prentic, C. Vidale, P. and Woodward, I. 2006. a new community Land Surface Model. *Global Change Newsletter.* 66: 9-11.
6. Bowling, L. Storck, P. and Lettenmaier, DP. 2000. Hydrologic effects of logging in western Washington, United States. *Water Resource Research.* 36(11): 3223-3240.
7. Bray, I. and Xie, H. 1993. A regression method for estimating Suspended sediment yield for engaged watersheds in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Engineering.* 20: 82-87.
8. Byun, K. Chiu, Ch. And Hamlet, A. 2019. Effects of 21st century climate change on seasonal flow regimes and hydrologic extremes over the Midwest and Great Lakes region of the US. *Science of the Total Environment.* 650: 1261–1277.
9. Gurpal, S. Harmel, D. Haggard, B. and Schmidt, G. 2008. Evaluation of Regression Methodology with Low-Frequency Water Quality Sampling to Estimate Constituent Loads for Ephemeral Watersheds in Texas. *J Environ Qual.* 37: 1847-1854.
10. Hamlet, A.F. Elsner, M.M. Mauger, G. Lee, S. and Tohver, I. 2013. An overview of the Columbia Basin climate change scenarios project: approach, methods, and summary of key results. *Atmosphere-Ocean.* 51: 392–415.
11. <http://vic.readthedocs.io/en/master/Overview/SnowModelText/>
12. <https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/GLDASgoals.php>

28. Wood, EF. Lettenmaier, DP. Liang, X. Nijssen, B. and Wetzel, SW. 1997. Hydrological modeling of continental-scale basins. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 25: 279-300.
29. Yapo, P. Gupta, H. and Sorooshian, S. 1998. Multi-objective global optimization for hydrologic models. *J. Hydrology*. 204(1): 83-97.
30. Zhang, H. Harrie, J. Hendricks, F. Xujun, H. Jasper, A. Vrugt, H. and Vereecken, H. 2017. State and parameter estimation of two land surface models using the ensemble Kalman filter and the particle filter. *Hydrology and earth science*. 21: 4927-4958.
31. Zhong, R. Yanhu, H. and Xiaohong, C. 2018. Responses of the hydrological regime to variations in meteorological factors under climate change of the Tibetan plateau. *Atmospheric Research*. 214: 296-310.
32. Zhu, C. and Lettenmaier, D. 2007. Long-term climate and derived surface hydrology and energy flux data for Mexico 1925-2004. *Journal of Climate*. 20(9): 1936-1946.
23. Su, FG. Adam, JC. Bowling, LC. and Lettenmaier, DP. 2005. Stream flow simulations of the terrestrial Arctic domain. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 110: 1-25.
24. Tian, Y. Peters-Lidard, C.D. Kumar, S. Geiger, J. Houser, P. Easman, J. Dimeyer, P. Doty, B. and Adams, J. 2008. High-performance Land Surface Modeling with a Linux Cluster. *Computers and Geosciences*. 34: 1492-1504.
25. Vano, J. Nijssen, B. and Lettenmaier, D.P. 2015. Seasonal hydrologic responses to climate change in the Pacific Northwest. *Water Resour*. 51: 1959-1976.
26. Warrch-sagi, K. Stieglitz, M. Mengelkamp, H. and Raschke, E. 2008. Streamflow Simulation Reveal the Impact of the Soil Parametrization. *Meteorologische Zeitschrift*. 17(6): 751-762.
27. Wong, C.P. Jiang, B. Kinzig, A.P. Lee, K.N. and Ouyang, Z. 2015. Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy. *Ecol*. 18: 108-118.