



مدل‌های سطح زمین (LSMs) و نقش آنها در مدیریت بحران آب در شرایط تغییر اقلیم با تأکید بر معرفی مدل VIC-3L

گلاره غفاری^۱، علی سلاجقه^۲، علیرضا مساح بوانی^۳، علیرضا مقدم نیا^۴، جاوده تکیه خواه^۵

۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیز- گرایش آب دانشگاه تهران، پژوهشگر دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- دانشیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۴- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۵- هیئت علمی جهاد دانشگاهی استان کردستان

چکیده

برای برآورد دقیق رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم یکی از رویکردهای مطالعات اکوهیدرولوژیکی، جفت نمودن مدل‌های شبیه‌سازی چرخه آب، کربن و نیتروژن در اکوسیستم (پوشش گیاهی) تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم با مدل‌های سطح زمین (LSMs) برای شبیه‌سازی رواناب تحت تأثیر این تغییرات است، زیرا اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی که برای کمی نمودن میزان رواناب و فرآیندهای هیدروژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند پوشش گیاهی را به صورت ثابت در نظر می‌گیرند در صورتی که تغییر در میزان بارش و دما باعث تغییر در پوشش گیاهی می‌شود که این به نوبه خود بر میزان تبخیر- تعرق واقعی و گیرش گیاهی و سایر موارد تأثیرگذار خواهد بود. 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. این مدل‌ها را می‌توان به عنوان مرز پایینی مدل‌های گردش جو (GCM) دانست. مدل VIC-3L یکی از پرکاربردترین مدل‌های سطح زمین (LSMs) است که در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته و توانایی شبیه‌سازی در ابعاد سلولی ۰/۱۲۵ درجه تا ۳ درجه را در گام‌های زمانی ساعتی و روزانه دارد. این مدل یک مدل بزرگ مقیاس، نیمه توزیعی و کد باز بوده که به وسیله لیانگ و همکاران با زبان C برای سیستم عامل‌های یونیکس و لینوکس در دانشگاه واشینگتن آمریکا و جهت استفاده سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) در سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS) تهیه شده است و نتایج مطالعات گسترده نشان می‌دهد که این مدل قابلیت بالایی در شبیه‌سازی مولفه‌های بیلان آب و دبی خروجی حوضه‌ها دارد.

واژگان کلیدی

مدل‌های سطح زمین (LSMs)، مدل VIC-3L، بحران آب، تغییر اقلیم



۱. مقدمه

با توجه به این که مدیریت جامع منابع آب در شرایط تغییر اقلیم یکی از چالش‌های امروز بشر در قرن ۲۱ شناخته شده است، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب از اهمیت به‌سزایی برخوردار است [۱]. فرایندهای هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز تحت تأثیر اقلیم، مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز (نظیر توپوگرافی، خاک و پوشش گیاهی) و فعالیت‌های انسان قرار می‌گیرد. با توجه به نقش مولد اقلیم و وقوع پدیده گرمایش جهانی هوا و تغییرات اقلیمی ضرورت مطالعه این فرایندها اهمیت بیشتری می‌یابد. پیش‌بینی میزان در دسترس بودن آب با مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی ناشی از ریز مقیاس نمایی مدل‌های جهانی و منطقه‌ای، افزایش ۱۰ تا ۴۰ درصدی در میانگین سالانه رواناب در عرض‌های جغرافیایی شمالی و کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی را در سایر نقاط کره زمین (جنوب اروپا، شرق و جنوب شرقی استرالیا) نشان می‌دهد [۲]. این احتمال وجود دارد که تغییرات آب و هوایی در آینده مانند تغییرات دما، بارش و فراوانی وقایع حدی فرآیندهای اکوهیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهند.

تاکنون مطالعات زیادی اثر تغییر اقلیم را بر منابع آب بررسی کرده‌اند که در اکثر این مطالعات چرخه اکوهیدرولوژیکی به‌عنوان یکی از مواردی که به‌صورت قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی قرار خواهد گرفت نادیده گرفته شده است [۳]، به‌گونه‌ای که در این مدل‌سازی‌ها معمولاً یا پوشش گیاهی نادیده گرفته شده و یا مقدار این پارامتر در دوره‌های آبی ثابت فرض شده است [۴]. در صورتی که با توجه به رابطه بین بیوسفر، هیدروسفر و اتمسفر، پوشش گیاهی تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌تواند تغییر کند و این تغییر در شاخص سطح برگ (LAI) می‌تواند بر میزان رواناب تأثیر گذار باشد [۵]، بنابراین، تحلیل اثر تغییرات آب و هوایی و کمی‌سازی اثر این تغییرات در دوره‌های آبی بر اکوسیستم و هیدرولوژی آن بسیار مهم است.

برای برآورد دقیق رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم یکی از رویکردهای مطالعات اکوهیدرولوژیکی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آبی، جفت نمودن مدل‌های شبیه‌سازی چرخه آب، کربن و نیتروژن در اکوسیستم (پوشش گیاهی) تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم با مدل‌های سطح زمین (LSMs) برای شبیه‌سازی رواناب تحت تأثیر این تغییرات است، زیرا اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی که برای کمی نمودن میزان رواناب و فرآیندهای هیدروژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند پوشش گیاهی را به‌صورت ثابت در نظر می‌گیرند در صورتی که تغییر در میزان بارش و دما باعث تغییر در پوشش گیاهی می‌شود که این به‌نوبه خود بر میزان تبخیر- تعرق واقعی و گیرش گیاهی و سایر موارد تأثیرگذار خواهد بود [۶]، [۷]، [۸] و [۹]. همچنین مدل‌های بارش- رواناب به‌دلیل این‌که فاقد فرآیندهای بیوفیزیکی مانند پویایی پوشش گیاهی هستند در واسنجی طی دوره‌های اقلیمی ترسالی و اعتبارسنجی در طی دوره‌های اقلیمی خشکسالی ضعیف عمل می‌کنند [۱۰]، [۱۱] و [۱۲].

برآورد صحیح و دقیق توزیع رطوبت، دمای خاک، تبخیر- تعرق و میزان جریان رودخانه در مطالعات اکوهیدرولوژیکی، هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و اقلیمی از اهمیت چشم‌گیری برخوردار است. در این میان مدل‌های سطح زمین (LSMs) با تأکید بر بیلان انرژی و رطوبتی در نمایش فرآیندهای دینامیکی و فیزیکی سطح زمین نقش مهمی را بازی می‌کنند. بنابراین استفاده از مدل‌سازی یکپارچه که بتواند چرخه هیدرولوژیکی را با در نظر گرفتن متغیرهای غالب هواشناسی، خاک‌شناسی، گیاه‌شناسی و هیدرولوژیکی مؤثر در این چرخه به‌طور کامل شبیه‌سازی نماید، از تأثیر به‌سزایی برخوردار است [۱۳].

۲. مرور منابع

تاکنون مطالعات متعددی در مورد کاربرد موفقیت آمیز مدل‌های سطح زمین و مدل VIC-3L در حوضه‌های مختلف سراسر دنیا گزارش شده است [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹] و [۲۰]. تنگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای در آمریکای شمالی در غرب مکزیک متغیر سال به‌سال شاخص سطح برگ (LAI) ماهانه و میانگین ماهانه شاخص سطح برگ (LAI) بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS را در مدل VIC-3L برای پیش‌بینی تبخیر- تعرق سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ و اعتبارسنجی نتایج با مشاهدات دو سایت برج کواریانس eddy به‌کار بردند. آن‌ها دریافتند که استفاده از میانگین ماهانه شاخص سطح برگ (LAI) در مدل VIC-3L به‌دلیل اینکه تفاوت‌های سالانه پوشش گیاهی از شروع دوره خواب تا رشد آن ارائه نشده است، تبخیر- تعرق را بیش‌تر از ۱۰ تا ۳۰ درصد برآورد می‌کند [۴]. فورد و کوپرینگ (۲۰۱۳) اثر استفاده از داده‌های مشاهداتی ماهانه شاخص سطح برگ (LAI) را در مقایسه با



میانگین ماهانه شاخص سطح برگ (LAI) در شبیه‌سازی رطوبت خاک با مدل VIC-3L برای دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ در شرق اوکلاهما، در ایالات متحده بررسی کردند [۲۱].

اومیر و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی اقدام به ارزیابی متغیرهای مدل‌های سطح زمین CLM و VIC-3L با استفاده از محصولات سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای MODIS نمودند. آنالیز حساسیت نشان‌دهنده روند منفی بین رطوبت خاک و شارهای انرژی به‌دلیل توپوگرافی و پوشش برف بود [۲۲]. ژنگ و همکاران (۲۰۱۸) اقدام به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌های فلات تبت در چین نمودند و بدین منظور از مدل سطح زمین VIC-3L استفاده نمودند. برای این منظور از ۵ مدل مختلف GCM استفاده نمودند و نتایج مدل‌ها نشان داد که دما و بارش در منطقه به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش دما میزان بارش برف و آب معادل برف کاهش خواهد یافت درحالی‌که میزان رواناب و دبی رودخانه‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت [۲۳]. ناز و همکاران (۲۰۱۸) از مدل بزرگ مقیاس VIC-3L با رزولوشن ۱:۲۴ درجه برای بررسی میزان اثر تغییر اقلیم بر شدت وقایع حدی و اثر آن‌ها بر میزان ورودی سدها در ایالت متحده آمریکا استفاده نمودند. برای این منظور از ۱۰ مدل GCM و سناریو RCP8.5 استفاده نمودند. نتایج نشان دهنده افزایش جریان‌های بیشینه برای ۴۴ درصد از حوضه‌ها و کاهش جریان‌های کمینه برای ۱۱ درصد از حوضه‌ها بود [۲۴].

لیو و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی اقدام به بررسی اثرات تغییرات پوشش گیاهی بر کنترل تغییرات پارامترهای رواناب، تبخیر-تعرق و رطوبت خاک نمودند. در این تحقیق با هدف فهمیدن اینکه چگونه تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) و پارامترهای اقلیمی بر روند فصلی و دراز مدت تبخیر-تعرق، رطوبت خاک و رواناب تأثیرگذار است از مدل بزرگ مقیاس VIC-3L در طول دوره ۲۰۰۹-۱۹۸۳ استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که تغییر در شاخص سطح برگ (LAI) بعد از بارش به‌عنوان دومین عامل مؤثر در تعیین تغییرات میزان تبخیر-تعرق و نفوذ حتی در فصل سرد محسوب می‌شود و پویایی پوشش گیاهی می‌تواند تأثیر بسیار مؤثری بر چرخه هیدرولوژی در مقیاس قاره‌ای داشته باشد [۲۵]. بیون و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی اقدام به بررسی اثرات تغییر اقلیم در قرن ۲۱ بر روی رژیم جریان فصلی و وقایع حدی هیدرولوژیک مانند سیلاب، جریان‌های پایه و رطوبت خاک در منطقه Great Lakes بر روی ۲۰ حوزه آبخیز در آمریکا نمودند و برای این منظور از مدل هیدرولوژیکی VIC-3L با استفاده از داده‌های تاریخی و نتایج شبیه‌سازی مدل‌های GCMs نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که جریان روزانه رواناب در سال ۲۰۸۰ در اکثر حوضه‌ها به‌دلیل افزایش میزان بارش در فصل زمستان و بهار حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که یک شیف‌ت یک ماهه در پیک رواناب به‌سمت جلو مخصوصاً در حوضه‌هایی که رژیم برفی در آن‌ها غالب است اتفاق خواهد افتاد که با کاهش معنی‌داری در آب معادل برف در این حوضه‌ها همراه خواهد بود. رطوبت خاک تا سال ۲۰۵۰ افزایش معنی‌داری در بیش‌تر حوضه‌ها داشته، اما از سال ۲۰۸۰ به‌بعد کاهش نسبی در میزان رطوبت خاک مخصوصاً در بخش‌های شمالی حوضه دارد [۲۶].

۳. مدل‌های سطح زمین^۱ (LSMs)

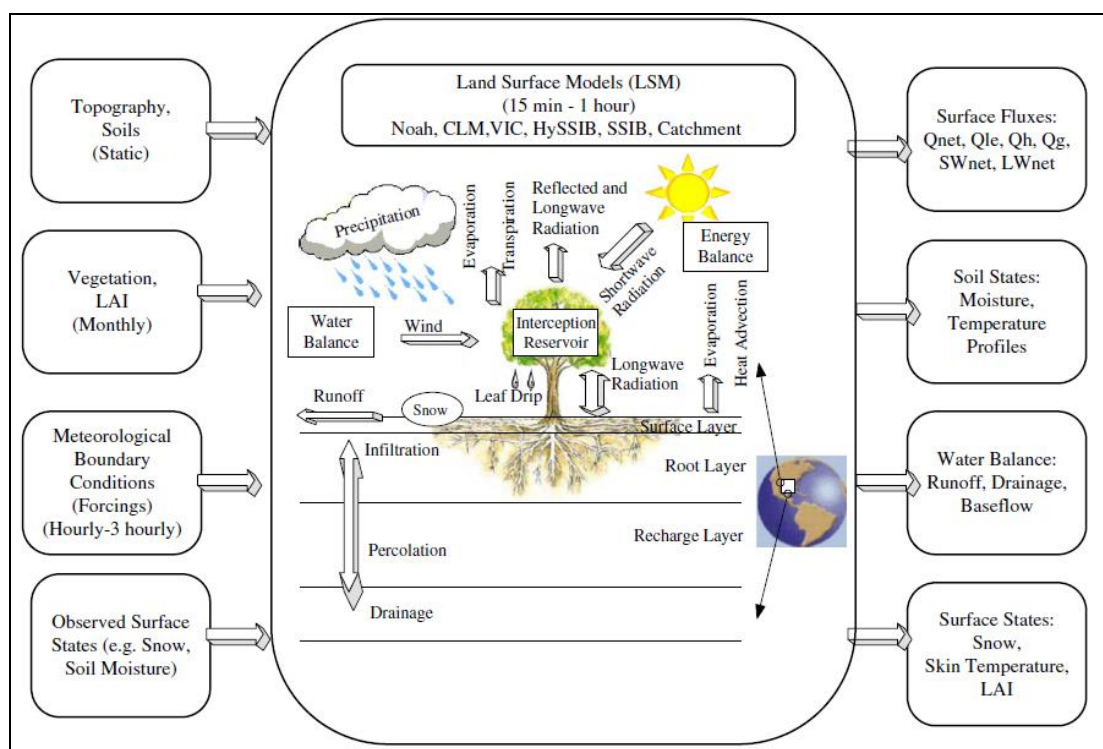
LSMs به‌طور عمده از معادلات ریاضی نسبتاً ساده شده‌ای برای مفهوم‌سازی و ترکیب فرایندهای پیچیده، توزیع فضایی، شیمیایی و اکولوژیکی فرآیندهایی که تبادلات میان ماده، انرژی و حرکت^۲ بین سطح زمین و اتمسفر را بر عهده دارند استفاده می‌کند. این رویکرد به‌طور قابل توجهی توپولوژی سیستم سطح زمین را ساده کرده و پارامترهای فضایی و ابعاد را کاهش می‌دهد. نتیجه این فرایندهای تجمیع و ساده‌سازی این است که پارامترهایی از LSMs که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند باید از طریق کالیبراسیون و مقایسه نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی رطوبت خاک، دمای خاک، CO₂، بخار آب، جریان انرژی تخمین زده شوند. این اندازه‌گیری‌ها برای کمی‌سازی و تخمین پارامترهای مدل‌های LSMs بسیار حیاتی هستند [۲۷] و [۲۸]. 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

^۱ Land Surface Models

^۲ momentum



منابع آب می‌شوند. مدل‌های سطح زمین را می‌توان به‌عنوان مرز پایینی مدل‌های گردش جو (GCM) دانست [۲۹] و [۳۰]. این مدل‌ها شامل مدل‌سازی تفکیک میزان بارش به رواناب و تبخیر- تعرق، تفکیک تابش خالص به شار گرمای نهان، محسوس و زمینی است. از جمله خروجی‌های مدل‌های سطح زمین رطوبت و دمای خاک در گام‌های زمانی مختلف است. دما و رطوبت خاک به‌خصوص در نزدیک سطح زمین میزان تعرق گیاهان، تبخیر خاک، پوشش و رشد گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌عنوان مثال اگر میزان رطوبت خاک کم برآورد شده باشد منجر به کاهش تبخیر- تعرق و افزایش شار گرمای محسوس و دمای سطح زمین خواهد شد [۳۱]. شکل ۱ فرآیندهای مؤثر در تبادلات سطح زمینی را به‌همراه ورودی‌ها و برخی خروجی‌های مدل‌های سطح زمین نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمایشی از فرآیندهای مؤثر در مدل‌های سطح زمین

۱.۳ کاربرد مدل‌های سطح زمین

مدل‌های سطح زمین به‌صورت گسترده‌ای برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تبادلات اندازه حرکت^۱، انرژی و ماده بین بیوسفر و اتمسفر^۲ در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی استفاده می‌شوند. این مدل‌ها همچنین نقش کلیدی در ارزیابی اثرات تغییرات زیست محیطی (اقلیم، کاربری اراضی و پوشش زمین) بر روی جریان‌های بیوژئوشیمیایی آب و انرژی در رابطه متقابل بین آب و اتمسفر، آنالیز ساده رابطه علت و معلولی بین فرآیندهایی که اثرات متقابل بین اتمسفر و زمین را مدیریت می‌کنند، شبیه‌سازی تغییرات زمانی و مکانی مبادلات گازهای دی اکسید کربن، اثرات متقابل نیتروژن- کربن، رطوبت خاک- بارش، رطوبت خاک- دما را بازی می‌کنند. مدل‌های سطح زمین با توانایی بالقوه در توصیف فرآیندهای درونی چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی و مکانی با دقت بالا، حل توأم بیلان انرژی و رطوبتی گزینه مناسبی در برآورد متغیرهایی مانند توزیع رطوبت و دمای خاک و غیره به نظر می‌رسند. مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس به‌علت دارا بودن اساس فیزیکی، توزیعی عمل نموده و با در نظر گرفتن عمده فرآیندهای تأثیرگذار در بیلان انرژی و آب حوضه، از

۱ momentum

۲ biosphere and overlying atmosphere



قابلیت مناسبی جهت شبیه‌سازی مواردی همچون توزیع مکانی رواناب در سطح حوضه، تبخیر- تعرق، رطوبت خاک، دمای خاک و جریان رودخانه‌ای برخوردار می‌باشند.

۲,۳. تفاوت مدل‌های سطح زمین^۱ با مدل‌های هیدرولوژیکی رایج^۲

با توجه به تغییرات جهانی اقلیمی و همزمان با آن تغییرات زمانی و مکانی دما و بارش، شاهد تغییرات زمانی و مکانی گسترده‌ای در مؤلفه‌های بیلان آب شامل تبخیر- تعرق، رواناب، رطوبت خاک و غیره خواهیم بود. بنابراین برای مدیریت بهتر منابع آب ضروری است که نحوه توزیع مکانی و زمانی مؤلفه‌های بیلان آب را مدنظر داشته باشیم. مدل‌های هیدرولوژیکی بسیاری برای بررسی اثر تغییرات آینده اقلیم بر روی منابع آب توسط محققان گسترش یافته است، این مدل‌ها مفهومی هستند (پارامترها فیزیکی نیستند و عمدتاً مبتنی بر روش CN هستند) و نسبت به مدل‌های سطح زمین دارای چندین محدودیت عمده می‌باشند به‌گونه‌ای که بیلان انرژی و پویایی پوشش گیاهی در این مدل‌ها نادیده گرفته شده است، جفت کردن این مدل‌ها با مدل‌های GCM بسیار سخت و گاه غیر ممکن است، شبیه‌سازی آن‌ها به‌صورت آفلاین می‌باشد و پارامترها به‌صورت یکنواخت یا کاملاً توزیع شده در نظر گرفته شده‌اند [۲۳]. یکی از عمده‌ترین مواردی که در مدل‌های سطح زمین بسیار به آن توجه شده است در نظر گرفتن پوشش گیاهی به‌صورت دینامیک می‌باشد. در بیش‌تر تحقیقات از مقادیر پیش‌فرض پوشش گیاهی استفاده شده است و پویایی و دینامیک بودن آن در طول زمان مدنظر قرار نگرفته است، درحالی‌که در مدل‌های سطح زمین به پوشش گیاهی به‌عنوان یک پارامتر پویا و دینامیک توجه شده است. این مدل‌ها، به مدل‌های سطح زمین مورد استفاده در مدل‌های گردش عمومی جو بسیار نزدیک هستند، اما تکیه اصلی آن‌ها بر مدل‌سازی رواناب، جریان رودخانه‌ای و بیلان آبی حوضه می‌باشد. از جمله تفاوت‌های مدل‌های سطح زمین در نحوه مدل‌سازی مکانیسم جریان رودخانه می‌باشد. مدل‌های سطح زمین در دو حالت جفت شده و جفت نشده با مدل‌های AOGCM قابل کاربرد هستند. در واقع یکی از مزیت‌های مدل‌های سطح زمین نسبت به مدل‌های هیدرولوژیکی امکان جفت شدن^۳ با مدل‌های جوی می‌باشد که در مدل‌های هیدرولوژیکی امکان چنین جفت شدنی وجود ندارد. مدل‌های جفت نشده با مدل‌های جوی مدلی هستند که شرایط جوی برای آن‌ها معلوم در نظر گرفته می‌شود و خروجی‌های مدل بر عملکرد مدل‌های جوی تأثیری ندارند، درحالی‌که مدل‌های جفت شده با مدل‌های جوی مدلی هستند که شرایط جوی شامل خروجی‌های مدل جویی می‌باشند و خروجی‌های مدل نیز می‌توانند به‌صورت ورودی‌های مدل‌های جوی عمل کنند، یعنی باهم اثر متقابل دارند و به واقعیت نزدیک‌تر هستند [۳۰]. تفاوت‌های کلی مدل‌های هیدرولوژیکی با مدل‌های سطح زمین در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: تفاوت بین مدل‌های هیدرولوژیکی سنتی و مدل‌های سطح زمین (LSMs)

مدل	مدل‌های هیدرولوژیکی	مدل‌های سطح زمین
هدف	پیش‌بینی سیل، تأمین آب	پیش‌بینی سیل، تأمین آب، جفت شدن با GMCها
شار	فقط بیلان آب در آن مهم است	بیلان آب و انرژی در آن مهم است
نوع مدل	عمدتاً مدل‌های مفهومی هستند (پارامترها فیزیکی نیستند و عمدتاً مبتنی بر روش CN هستند)	بیشتر مبتنی بر فرمول‌های فیزیکی هستند (به‌عنوان مثال هدایت هیدرولیکی و ...)
پوشش گیاهی	به‌صورت کلی و ایستا در نظر گرفته می‌شوند	به‌صورت کامل و پویا در سری‌های زمانی در نظر گرفته می‌شوند
پارامترها	پارامترها به‌صورت یکنواخت هستند	پارامترها به‌صورت توزیعی هستند
نوع اجرا	شبیه‌سازی به‌صورت آفلاین	هم می‌تواند به‌صورت پویا با GMCها کوپل شده و هم شبیه‌سازی آفلاین داشته باشند

۱ Land surface models

۲ Traditional Hydrology Model

۳ Couple



۳.۳. انواع مدل‌های سطح زمین

میزان ساده‌سازی مدل‌های مختلف سطح زمین از فرایندهای پیچیده طبیعی منجر به تفاوت در ساختار مدل‌های سطح زمین شده است (تفاوت بین مدل‌ها در مدل‌سازی تفکیک بارش به رواناب، تبخیر- تعرق، تفکیک انرژی موجود به شار گرمای محسوس، نهان و زمینی). از جمله تفاوت‌های بین مدل‌های مختلف سطح زمین در ساختار و به تبع آن در پارامترهای مدل می‌باشد. مانند تفاوت در محاسبات شار گرمای محسوس و نهان، تفاوت در رفتار تاج پوشش گیاهی، تفاوت در تعداد لایه‌های خاک جهت نمایش رفتار هیدرولوژیکی خاک و یا چگونگی انتقال اطلاعات از لایه‌های بالاتر به لایه‌های پایین‌تر خاک می‌باشد. به‌طور آشکار مدل‌های سطح زمین با تعداد لایه‌های کم‌تر ممکن است توزیع رطوبت خاک را به‌طور دقیق نشان ندهند که منجر به برآورد نادرست تبخیر- تعرق و رواناب می‌شود [۳۰]. جریان رودخانه تکمیل کننده چرخه هیدرولوژیکی است. بنابراین بررسی شبیه‌سازی جریان رودخانه می‌تواند عملکرد جامعی از مدل سطح زمین را در بخش‌های مختلف مانند رطوبت خاک، میزان نفوذ، تبخیر- تعرق و میزان ذوب برف را به نمایش بگذارد. از جمله تفاوت‌های مدل‌های سطح زمین، مدل‌سازی مکانیسم جریان رودخانه می‌باشد. در ادامه به یک نوع از تقسیم‌بندی‌های مدل‌های سطح زمین بر اساس مدل‌سازی رواناب سطحی اشاره می‌شود:

- ۱- رواناب مازاد نفوذ بدون احتساب تغییرات مکانی متغیرهای مؤثر مانند بارش، ظرفیت نفوذ: وقوع رواناب سطحی وابسته به تجاوز میزان بارش از ظرفیت نفوذ است. مانند مدل‌های BEST, ALSIS و PLACE^۱
- ۲- رواناب مازاد اشباع بدون احتساب تغییرات مکانی متغیرها: وقوع رواناب سطحی وابسته به اشباع لایه سطحی خاک است. مانند مدل‌های ECMWF, BUCK و SEWAB
- ۳- رواناب مازاد نفوذ با احتساب تغییرات مکانی متغیرها مانند مدل‌های NCEP^۲ و SSiB
- ۴- رواناب مازاد اشباع با احتساب تغییرات مکانی متغیرها مانند مدل MOSAIC
- ۵- رواناب مازاد اشباع و نفوذ با احتساب تغییرات مکانی متغیرها مانند مدل VIC-3L

۴. مدل سطح زمین VIC-3L

نخستین اطلاعات طبقه‌بندی شده بخش هیدرولوژی NASA در مرکز^۳ GSFC داده‌های استخراج شده از سیستم جهانی همسان‌سازی اطلاعات زمینی^۴ (GLDAS) هستند که مدل هیدرولوژیکی مشترک بین سازمان ملی هوانوردی آمریکا^۵ (NASA)، مرکز پرواز فضایی گارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوسی و جو^۶ (NOAA) و مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیط زیست^۷ (NCEP) می‌باشد. GLDAS در حال تولید یک سری از داده‌های وضعیت زمین (مانند رطوبت خاک و دمای سطح زمین) و شار (مانند تبخیر و شار گرمای محسوس) است که مقادیر زیادی از اطلاعات مربوط به رطوبت را جمع‌آوری کرده و مدل‌های متعددی از سطح زمین ارائه می‌دهد. این سیستم از چهار نوع از مدل‌های سطح زمین (مدل VIC-3L، مدل^۸ CLM، مدل NOAA و مدل MOSAIC) برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب با مقیاس مکانی ۱ درجه برای کل کره زمین و ۰/۱۲۵ درجه برای آمریکا استفاده می‌کند [۳۲]. مدل VIC-3L یکی از پرکاربردترین مدل‌های سطح زمین (LSMs) است که در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته که توانایی شبیه‌سازی در ابعاد سلولی ۰/۱۲۵ درجه تا ۳ درجه را در گام‌های زمانی ساعتی و روزانه دارد [۳۳] و یک مدل بزرگ مقیاس، نیمه توزیعی، کد باز^۹

^۱ Parameterization for Land Cloud Exchange

^۲ National Center for Environmental Prediction

^۳ Goddard Space Flight Center

^۴ Global Land Data Assimilation System

^۵ National Aeronautics and Space Administration

^۶ America's National Oceanic and Atmospheric Administration

^۷ National Centers for Environmental Prediction

^۸ Community Land Model

^۹ Open source



بوده که به وسیله لیانگ^۱ و همکاران با زبان C برای سیستم عامل‌های یونیکس و لینوکس^۲ در دانشگاه واشینگتن آمریکا^۳ و جهت استفاده سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا^۴ (NASA) در سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS) نوشته شده است [۳۴] و [۳۵].

۱.۴ ساختار مدل VIC-3L

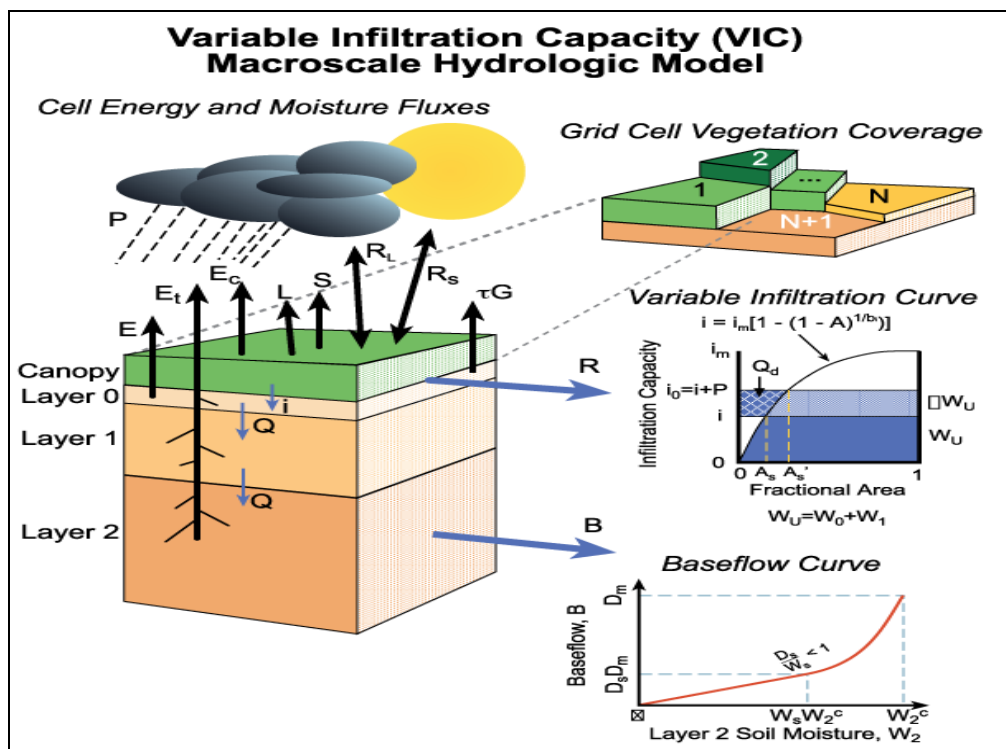
به‌عنوان یک مدل نیمه توزیعی بزرگ مقیاس، مدل VIC-3L شار حرارتی محسوس و نهان (گرمای نهان تبخیر) را با استفاده از روابط فیزیکی محاسبه می‌نماید اما برای نمایش و برآورد رواناب سطحی و دبی پایه از مدل‌های مفهومی (مدل آرنو) استفاده می‌کند [۳۶]. در این مدل هر سلول به‌طور جداگانه مدل شده و هیچ‌گونه اندرکنش و یا انتقال جریانی بین سلول‌ها رخ نمی‌دهد. به‌عبارت دیگر این مدل تنها سری زمانی رواناب را که به‌طور غیر یکنواخت در هر سلول توزیع شده، محاسبه می‌نماید. همچنین از آنجائی که این مدل توانائی در نظر گرفتن تغییرات هندسی درون سلولی را دارا نمی‌باشد، در نتیجه برای انتقال جریان سطحی و دبی پایه به خارج از سلول و انتقال آن در شبکه آبراهه‌ها برای رسیدن به خروجی حوضه، یک مدل روندیابی مجزا برای شبیه‌سازی دبی رودخانه که بر مبنای تابع انتقال خطی می‌باشد، توسط لومن و همکاران [۳۷] توسعه داده شده است. این مدل برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان، نتایج بدست آمده از اجرای مدل VIC-3L را با استفاده از یک مدل Route ساده، در شبکه آبراهه‌های حوضه روندیابی می‌کند. در مدل Route فرض بر این است که جریان آب هرگز از داخل آبراهه به داخل سلول وارد نمی‌شود. هنگامی که جریان مورد نظر وارد آبراهه می‌شود، از چرخه هیدرولوژیکی و به‌عبارت بهتر از بیلان آبی سلول خارج می‌شود. در شکل ۲ نمائی شماتیک از ساختار مدل بزرگ مقیاس VIC-3L ارائه شده است [۳۳].

۱ Xu Liang

۲ Linux and Unix

۳ University of Washington

۴ National Aeronautics and Space Administration



شکل ۲: نمایی شماتیک از ساختار مدل بزرگ مقیاس VIC-3L [۳۴]

این مدل در محدوده وسیعی از موضوعات مختلف مانند مطالعات هیدرولوژی و شبیه‌سازی بیلان آب و انرژی، مطالعات اکوهیدرولوژیکی و بررسی نقش پوشش گیاهی در مدیریت منابع آب، اندرکنش بین زمین- اتمسفر- پوشش گیاهی- هیدروسفر، تغییر اقلیم، مدل‌سازی رطوبت خاک، تبخیر- تعرق، برآورد آب معادل ذوب برف و غیره به کار گرفته شده است. مدل VIC-3L توانایی اجرا در هر دو حالت بیلان انرژی و بیلان آب را دارا می‌باشد [۳۳].

۵. بحث و نتیجه‌گیری

اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی بارش- رواناب جهت اجرای دقیق و واسنجی کامل نیاز به اندازه‌گیری پارامترهای زیادی داشته که گاهی 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، که این امر باعث سهولت، سرعت عمل و دقت در انجام محاسبات و پیش‌بینی‌های می‌شود که در نتایج تحقیقات نیجسن و همکاران، ۱۹۹۷؛ وود و همکاران، ۱۹۹۷؛ لومن و همکاران، ۱۹۹۸؛ عبدالله و همکاران، ۱۹۹۶؛ بولینگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ سو و همکاران، ۲۰۰۵؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۷؛ هملت و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیونه و همکاران، ۲۰۱۳؛ ونو و همکاران، ۲۰۱۵؛ وونگ و همکاران، ۲۰۱۵ این امر مشهود است و نشان از قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی دبی جریان دارند.

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

منابع

- [1] Vertessy, R. A., Watson, F., and Osullivan, S., 2001. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests, *Forest Ecology and Management*, 143(1–3), 13–26.
- [2] Milly, P. C. D., Dunne, K. A., and Vecchia, A. V., 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate, *Nature*, 438, 347–350.
- [3] Peel, M., Mahon, T. A., and Finlayson, B. L., 2010. Vegetation impact on mean annual evapotranspiration at a global catchment scale, *Water Resources Research* 46(9).
- [4] Tang, Q., Vivoni, E. R., Muñoz-Arriola, F. and Lettenmaier, D. P., 2011. Predictability of Evapotranspiration Patterns Using Remotely Sensed Vegetation Dynamics during the North American Monsoon, *Journal of Hydrometeorology*, 13(1), 103–121.
- [5] Peel, M. C., 2009. Hydrology: catchment vegetation and runoff, *Progress in Physical Geography*, 33(6), 837–844.
- [6] Govind, A., Muñoz-Arriola, F. and Lettenmaier, D., 2009. A spatially explicit hydro-ecological modeling framework (BEPS-TerrainLab V2.0): model description and test in a boreal ecosystem in Eastern North America, *Journal of Hydrology*, 367, 200–216.
- [7] Morales, P., et al., 2005. Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest biomes. *Global Change Biology*, 11, 2211–2233.
- [8] Sitch, S., Smith, B., and Prentice, I.C., 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic vegetation model, *Global Change Biology*, 9, 161–185.
- [9] Walko, R.L. et al., 2000. Coupled atmosphere–biophysics–hydrology models for environmental modeling, *Journal of Applied Meteorology*, 39, 931–944.
- [10] Coron, L., Andreassian, V., Perrin, C., Lerat, J., Vaze, J., Bourqui, M., and Hendrickx, F., 2012. Crash testing hydrological models in contrasted climate conditions: an experiment on 216 Australian catchments, *Water Resour. Res.*, 48.
- [11] Merz, R., Parajka, J., and Blöschl, G., 2011. Time stability of catchment model parameters: implications for climate impact analyses, *Water Resour. Res.*, 47.
- [12] Vaze, J., Post, D. A., Chiew, F. H. S., Perraud, J. M., Viney, N. R., and Teng, J., 2010. Climate nonstationarity– validity of calibrated rainfall-runoff models for use in climate change studies, *J. Hydrol.*, 394, 447–457.
- [13] Zhang, H., Franssen, H., Han, X., Jasper A., Harry Vereecken, V., 2017. State and parameter estimation of two land surface models using the ensemble Kalman filter and the particle filter, *hydrology and earth science, Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 4927–4958.
- [14] Nijssen, B.N., Lettenmaier, D.P., Liang, X., Wetzel, S.W., and Wood, E.F., 1997. Streamflow simulation for continental-scale river basins, *Water Resour. Res.*, 33(4), 711–724.
- [15] Wood, E. F., Lettenmaier, D. P., Liang, X., Nijssen, B., and Wetzel, S. W., 1997. Hydrological modeling of continental-scale basins, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1997, 25, 279–300.

- [16] Lohmann, D., Raschke, E., Nijssen, B., Lettenmaier, D. P., 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] Bowling, L. C., Storck, P., Lettenmaier, D. P., 2000, Hydrologic effects of logging in western Washington, United States, *Water Resource Research*, 36(11), 3223-3240.
- [18] Su, F. G., Adam, J. C., Bowling, L. C., and Lettenmaier, D. P., 2005. Stream flow simulations of the terrestrial Arctic domain, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110, D08112.
- [19] Zhu, C.M., Lettenmaier, D.P., 2007. Long-term climate and derived surface hydrology and energy flux data for Mexico 1925-2004, *Journal of Climate*, 20(9), 1936-1946.
- [20] Wong, C.P., Jiang, B., Kinzig, A.P., Lee, K.N., Ouyang, Z., 2015. Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy, *Ecol. Lett.* 18, 108–118.
- [21] Ford, T. W., and Quiring, S. M., 2013. Influence of MODIS-derived dynamic vegetation on VIC simulated soil moisture in Oklahoma, *J. Hydrometeorol*, 14, 1910–1921.
- [22] Umair, M., Kim, D., Ray, R., Choi, M., 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.
- [23] Zhong, R., He, Y., Chen, X., 2018. Responses of the hydrological regime to variations in meteorological factors under climate change of the Tibetan plateau, *Atmospheric Research*, 214, 296–310,
- [24] Naz, B. S., Kao, S., Ashfaq, M., GAO, H., Rastogi, D., Gangrade, S., 2018. Effects of climate change on streamflow extremes and implications for reservoir inflow in the United States, *Journal of Hydrology*, 556, 359–370.
- [25] Liu, M., Adama, J. C., Richey, A., Zhu, Z., Mynenic, R., 2018. Factors controlling changes in evapotranspiration, runoff, and soil moisture over the conterminous U.S.: Accounting for vegetation dynamics, *Journal of Hydrology*, 565, 123–137.
- [26] Byun, K., Chiu, assimilation system (GLDAS) products, services and application from NASA hydrology data and information services center (HDISC), In *Proceedings of the ASPRS 2009 Annual Conference*, Baltimore, Maryland, 2009.
- [27] Williams, M., Richardson, A. D., Reichstein, M., Stoy, P. C., Peylin, P., Verbeeck, H., Carvalhais, N., Jung, M., Hollinger, D. Y., Kattge, J., Leuning, R., Luo, Y., Tomelleri, E., Trudinger, C. M., and Wang, Y.-P., 2009. Improving land surface models with FLUXNET data, *Biogeosciences*, 6, 1341–1359.
- [28] Bonan, G. B., 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests, *Science*, 320, 1444–1449.
- [29] Tian Y., Peters-Lidard C.D., Kumar S. V., Geiger J., Houser P.R., Easman J.L., Dimeyer P., Doty B., and Adams J., 2008. High-performance Land Surface modeling with a Linux Cluster, *Computers and Geosciences*, 34, 1492-1504.
- [30] 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.
- [31] Blyth E., Best M., Cox P., Essery R., Boucher O., Harding R., Prentic C., Vidale P.L., and Woodward I., 2006. JULES: a new community Land Surface Model, *Global Change Newsletter*, 66. 9-11.

4th National Conference of Water Crisis in Iran and the Middle East

.....
WATERCONF www.WaterConf.ir
.....



- [32] Fang, H., Beaudoin, H. K., Rodell, M., Teng, W. L., and Vollmer, B. E., 2009. Global Land data Abdulla, F. A., Lettenmaier, D. P., Wood, 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.
- [33] Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., and Burges, S. J., 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models, J. Geophys. Res, 99(D7), 14415–14428.
- [34] <http://vic.readthedocs.io/en/master/Overview/SnowModelText/>
- [35] <https://ldas.gsfc.nasa.gov/GLDAS/GLDASgoals.php>
- [36] Nijssen, B., Donnell, G. M., Lettenmaier, D. P., Lohmann, D., Wood, E. F., 2001. Predicting the discharge of global river, Journal of Climate, 14, 3307-3323.
- [37] 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.