

واژه‌های کلیدی: تحلیل تشخیص، ردیاب‌ها، منشایی، منابع رسوب، مدل‌های ترکیبی

مرور پیشینه و معرفی مدل‌های سطح زمین (LSMs)

مقدمه

سطح زمین به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی واقع در مرز بین اتمسفر و لیتوسفر، به طرق مختلف و در مقاطع زمانی مختلف با جو و اقیانوس تعامل دارد. این تعامل با جو شامل بیلان انرژی (گرمای محسوس^۱، گرمای نهان^۲، شار حرارتی خاک، انرژی شیمیایی (فتوسنتز))، بیلان آب^۳ (تبخیر و تعرق، رواناب، ذخیره)، بیلان اندازه حرکت^۴ (باد)، بیلان کربن^۵ و سایر گازها مانند متان و نیتروژن است. سطح زمین جزء اصلی مدل‌های اقلیمی است. این جزء، بخش‌بندی انرژی موجود در سطح بین گرمای محسوس و گرمای نهان و هم‌چنین بخش‌بندی آب بین تبخیر و رواناب را کنترل می‌کند. سطح زمین نیز محل ذخیره کربن زمین است. شواهد بسیاری وجود دارد که تحت تأثیر بیلان آب و انرژی، فرایندهای سطح زمین به‌شدت بر تغییر اقلیم از مقیاس محلی به منطقه‌ای و جهانی تأثیر می‌گذارند [۶۰]. تغییرات در متغیرهای کلیدی سطح زمین (به‌عنوان مثال آلودگی سطح، طول زبری سطح، رطوبت خاک، دمای سطح زمین و پوشش اراضی) منجر به تغییرات در آب و هوا و تغییر در حساسیت آب و هوا به سایر اختلالات خواهد شد. به‌نوبه خود، تغییرات اقلیمی بازخوردهایی برای سطح زمین فراهم می‌کند و بر فرایندهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی سطح زمین اثر می‌گذارد. بنابراین، سطح زمین توجه بیش‌تری از جامعه علمی هیدرولوژی، اتمسفری، محیط زیست، سنجش از دور، اکولوژی و علوم دیگر جلب می‌کند [۱] و [۸۱]. در واقع بازخورد بین سطح زمین و جو در نتیجه این واقعیت است که اگر جریان‌های آب و گرما از سطح زمین به جو تغییر کند، به‌عنوان یک نتیجه رطوبت، دما و فشار هوا در جو تغییر خواهد کرد. از آن‌جا که آب و هوا تأثیر زیادی بر روی جریان‌های سطح-زمین می‌گذارد، شرایط تغییر یافته در جو ممکن است به‌طور قابل توجهی به سطح زمین باز گردد و یا به تغییر جابجایی در سطح زمین کمک کند [۵۶]. اکنون نیز شواهد و مدارک قوی وجود دارد که نشان می‌دهد سطح زمین در طیف وسیعی از مقیاس‌های زمانی (چند ثانیه

مریم محمدرضایی^{۱*} و عبدالرضا بهره‌مند^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.35.5.2

چکیده

سطح زمین از عناصر اصلی واقع در مرز بین اتمسفر و لیتوسفر است. تغییرات در مشخصات سطح زمین بر بیلان آب سطحی تأثیر می‌گذارد. به‌طور خاص، تغییر در ماهیت پوشش گیاهی بر برگاب و تعرق مؤثر بوده و تغییر در توزیع پوشش گیاهی، تعادل بین شارهای ناشی از خاک و آن‌هایی که از طریق فرایندهای تاج پوشش حاصل می‌شوند، را تغییر می‌دهد. تغییرات در تبخیر و تعرق، تبخیر خاک، تبخیر مجدد از برگاب بر رواناب و میزان رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد. این موارد سپس از طریق پیوند با بیلان انرژی سطح، بر انواع فرایندهای دیگر تأثیر می‌گذارند. به‌منظور بررسی تعاملات سطح زمین-جو در مقیاس‌های هیدرولوژیکی، استفاده از مدل‌های سطح زمین ضرورت پیدا می‌کند، که این مدل‌ها با هدف تعیین شرایط مرزی پایین اتمسفر برای مدل‌های عددی اتمسفریک توسعه یافته‌اند. این مطالعه قصد دارد به ارائه و معرفی مدل‌های سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی بپردازد. روش تحقیق حاضر، به‌صورت توصیفی-مروری و ابزار جمع‌آوری اطلاعات، اسناد و مدارک در ارتباط با موضوع است. مطالعات نشان می‌دهد از مدل‌های سطح زمین جهت ارائه شبیه‌سازی‌های بیلان آب، انرژی و کربن برای بررسی و شناخت بیش‌تر در مقیاس منطقه‌ای و جهانی استفاده می‌شود که با به‌کارگیری مؤثر و شناخت این مدل‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی-مکانی، بررسی ارتباط سطح زمین با مدل‌های اقلیمی، هیدرولوژی و در نتیجه درک بهتر رفتار مؤلفه‌های آن دو نیز میسر می‌شود.

3. Sensible heat

4. Latent heat

5. Water balance

6. Momentum balance

7. Carbon balance

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران، نویسنده مسئول

Email: mrezaei501@yahoo.com

۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

تا میلیون‌ها سال)، بر آب و هوا و اقلیم تأثیر می‌گذارد [۶۶ و ۵۹]. جهت شناخت ارتباط متقابل سطح زمین- جو و درک بازخوردهای آن‌ها، مدل‌های سطح زمین^۱ به کار گرفته شده است. این مدل‌ها با تأکید بر بیلان آب و انرژی در نمایش فرآیندهای دینامیکی و فیزیکی سطح زمین، نقش مهمی را بازی می‌کنند [۸۴]. مدل‌های سطح زمین شامل فرایند تبادل آب و حرارت بین سطح زمین و جو است. این مدل‌ها با تأکید بر شبیه‌سازی فرایندهای فیزیکی و دینامیکی، منجر به تعیین شارهای آب و انرژی جهت کاربردهایی مانند مطالعات تغییرات آب و هوا، پیش‌بینی خشکسالی، سیلاب و مدیریت منابع آب می‌شوند [۷۸ و ۸۴]. مدل‌های سطح زمین در ابتدا، اواخر دهه ۱۹۶۰ به‌طور خاص برای استفاده در برنامه‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی برای مدل‌های گردش عمومی^۲ به کار گرفته شد [۴۶]. تولید و توسعه‌ی نسل‌های مختلف مدل‌های سطح زمین به‌منظور تعیین شرایط مرزی پایین مدل‌های اتمسفری و در نتیجه شبیه‌سازی بیلان آب، انرژی و کربن در سیستم ارائه شده است. استفاده از مدل‌های مبتنی بر انرژی سطح زمین در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، یک اتصال پویا را برای مدل اتمسفری امکان‌پذیر می‌سازد. چنین سیستمی یک چارچوب منحصر به فرد برای بررسی تعاملات سطح زمین-جو در مقیاس‌های هیدرولوژیکی فراهم می‌کند. LSMs اغلب در مقیاس‌های جهانی و قاره‌ای استفاده می‌شوند. برای در نظر گرفتن مقیاس‌های بزرگ جغرافیایی، LSMs منطقه شبیه‌سازی را به سلول‌های بی‌شماری تقسیم می‌کنند، که به‌عنوان واحد شبیه‌سازی استفاده می‌شود. اندازه این سلول‌ها به دلیل محدودیت‌های محاسبه برای مدل‌های گردش عمومی جوی^۳، به‌طور کلی درشت (۳۰۰-۵۰ کیلومتر) است. در LSM‌های اولیه فرض می‌شد که هر سلول توسط یک «برگ بزرگ» پوشیده شده است. از آن‌جا که امکان بررسی گونه‌های گیاهی در مقیاس‌های بزرگ جغرافیایی امکان‌پذیر نیست، این مدل‌ها گونه‌های گیاهی را به تعداد کمی از انواع عملکردی گیاه^۴ مانند درختان سوزنی برگ همیشه‌سبز، درختان برگ‌ریز معتدل و پهن‌برگ و چمن‌زارهای C₃ و C₄ طبقه‌بندی می‌کنند. PFT نوعی طبقه‌بندی از گونه‌های گیاهی است که براساس عملکردهای اکولوژیکی یا خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آن‌ها ایجاد شده است [۳۵ و ۴۰]. از این‌رو LSMs یک مؤلفه کلیدی در درک چرخه کربن زمین و چگونگی افزایش CO₂ در جو توسط ذخایر کربن زمین است [۶۲]. هدف از مقاله حاضر، ارائه یک بررسی از مدل‌های سطح زمین، مرور و معرفی کلی آن‌ها، هم‌چنین بررسی و معرفی LSMs مبتنی بر انرژی که با مدل‌سازی توزیعی هیدرولوژیکی ترکیب شده است، می‌باشد. علاوه بر مرور کلی، به توسعه و تکامل نسل‌های مختلف LSMs، بررسی ارتباط آن‌ها با دیگر علوم و در نهایت چشم‌انداز آن‌ها در آینده پرداخته شده است.

1. Land Surface Models (LSMs)
2. General Circulation Models (GCMs)
3. Atmospheric General Circulation Models (AGCM)
4. Plant Functional Types (PFTs)

روش تحقیق

روش تحقیق، مروری-توصیفی است و ابزار جمع‌آوری آن، شامل مطالعات در زمینه موضوع، مرور منابع و اطلاعات کتابخانه‌ای مرتبط با آن در مقیاس جهانی است. برای این منظور، ابتدا تشریح مدل‌سازی سطح زمین و معرفی کلی مدل‌های سطح زمین صورت گرفته است، در ادامه به بیان تاریخچه و توسعه نسل‌های مختلف مدل‌های سطح زمین، هم‌چنین اهمیت ارتباط آن‌ها با دیگر رشته‌های علمی به‌خصوص علم سنجش از دور پرداخته شده است. در نهایت به بیان اهمیت چشم‌انداز آینده این مدل‌ها و نتیجه‌گیری کلی آن پرداخته شده است.

پیشینه تحقیق

سطح زمین نقش بارزی در سیستم اقلیمی ایفا می‌کند بدین صورت که در مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی، تغییرات در سطح زمین، بر اقلیم تأثیر می‌گذارد. شواهدی برای حمایت از این بیانیه، از مطالعات متعددی به دست می‌آید که تأثیر تغییر ویژگی‌های سطح زمین را بررسی می‌کند. برخی از تحقیقات اساسی که نشان‌دهنده حساسیت آب و هوا نسبت به آلودگی سطح زمین است، توسط لوال [۳۹]، کونینگتون و روتنره [۱۶]، چارنی و همکاران [۹]، سود و فنسی [۷۵]، لفگرن [۴۳] انجام شد. مینتز [۵۲] آزمایش‌های اولیه را مرور کرد و اولین دیدگاه را ارائه داد که سطح زمین برای مخاطبان مدل‌سازی اقلیم اهمیت دارد. اخیراً، همراه با تغییراتی در ورودی گاز گلخانه‌ای توسط بتس [۲] اهمیت زبری نیز به‌خوبی مورد بررسی قرار گرفته است [۷۶ و ۷۷]. سلرز و دورمن [۶۸] بررسی کردند که تبخیر و تعرق با رطوبت خاک به‌طور غیر خطی تغییر می‌کند، به‌خصوص هنگامی که خاک در حال خشک شدن است و زمانی که رطوبت خاک به زیر ۰/۵ برسد. مطالعات زیادی با استفاده از مدل بیوسفر ساده^۵ در حالت آف‌لاین و همراه انجام شده است. مطالعات آف‌لاین شامل (۱) عملکرد کلی مدل در برابر مشاهدات برای انواع مختلف زمین و تحت شرایط ورودی‌های مختلف [۶۸]، [۷۲ و ۷۳] و (۲) تولید مجموعه داده‌های بیوفیزیکی سطح زمین [۴۴] و SiB [۶۸]. با GCMs برای مطالعه استراتژی اجرا مرتبط شده است [۶۳ و ۶۴]: بررسی تأثیرات جنگل‌زدایی گرمسیری بر اقلیم منطقه‌ای [۵۴]، مقایسه اثرات دو برابری تابشی و فیزیولوژیکی CO₂ جو بر روی اقلیم [۶]، شبیه‌سازی غلظت و جریان‌های CO₂ سطح زمین [۱۸]، ارزیابی ^{۱۸}O در CO₂ اتمسفر [۱۱]، ارزیابی حساسیت آب و هوا به تغییرات اندازه‌گیری شده رشد گیاهان [۷]، و بررسی اثرات پوشش گیاهی بر دامنه دمای روزانه [۱۴]. هم‌چنین شواهدی وجود دارد که نشان‌دهنده اهمیت بازخورد فیزیولوژیکی و ساختاری از افزایش CO₂ در زیست‌کره است [۱، ۱۵، ۲۷، ۳۶، ۴۱، ۶۱ و ۶۷]. دو بازخورد عمده افزایش CO₂ در پوشش گیاهی، ساختاری (افزایش شاخص سطح

برگ^۱ و ریشه‌ها) و فیزیولوژیکی (کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش مقاومت روزنه‌ای) است. مطالعات جدیدتر چیس و همکاران [۱۰] بر نقش LAI متمرکز شده است که پس از یک تغییر مشخص، تغییر در دما و بارندگی جهانی را نشان می‌دهد. حساسیت آب و هوا و تغییرات در اقلیم به ظرفیت نگهداری آب خاک توسط میلی و دونه [۵۱]، میلی [۵۰] و دچارنه و لاول [۴۶] مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه جدید مطالعاتی در مدل‌های اقلیمی، نقش ریشه‌ها است. در مقیاس‌های زمانی طولانی، کلاسن و همکاران [۱۲]، نقش فعل و انفعالات پوشش گیاهی-اقلیم را بررسی کرده‌اند. دروزنی و پلچر [۱۹] مدل‌سازی جذب آب ریشه را در یک مدل سطح زمین پیچیده همراه با یک مدل اقلیمی مورد بررسی قرار دادند و حساسیت اقلیم را نسبت به نحوه کار با ریشه‌ها یافتند. کلیدون و هیمان [۳۸]، زنگ و همکاران [۸۳] نیز حساسیت به تغییرات در عمق ریشه را مورد بررسی قرار دادند. همچنین فعالیت‌هایی برای بررسی حساسیت مدل‌های اقلیمی به هیدرولوژی (به‌عنوان مثال دوچارن و همکاران، [۲۴]) و بیان انرژی سطح انجام شده است [۲۰]. طرح انتقال اتمسفر-بیوسفر^۲ در مدل‌های آب و هوایی جهانی برای بررسی تأثیرات اقلیم منطقه‌ای جنگل زدایی گرمسیری (به‌عنوان مثال، دیکینسون و هندرسون-سلرز [۲۱]) و تأثیرات دو برابری مقاومت روزنه بر منابع آب جنوب غرب آمریکا استفاده شده است [۴۸]. BATS هم‌چنین در مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای با وضوح بالا استفاده شده است [۲۹]. فدس و همکاران [۲۶] نقش ریشه‌ها را با جزئیات بیشتر در مدل‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی بررسی کردند. بازخورد بین فرآیندهای جو و سطح زمین در مقیاس‌های زمانی فصلی توسط ایستمن و همکاران [۲۵] و لو و همکاران [۴۵] بررسی شده است. ایستمن و همکاران [۲۵] نشان دادند که اثر بیولوژیکی دو برابری CO₂ در چمن‌زارهای مرکزی ایالات متحده بر اقلیم منطقه قابل توجه است. پرویز و همکاران [۵۷] در تحقیقی از مدل سطح زمین VIC جهت برآورد دمای سطح زمین و جریان رودخانه در حوزه آبخیز سفیدرود استفاده نمودند. مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی در ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه، نشان‌دهنده افزایش ضریب ناش-ساتکلیف به‌هنگام استفاده از روش معکوس مجذور فاصله تصحیح شده نسبت به ارتفاع، به‌عنوان روش درون‌یابی داده‌های هواشناسی در هر سلول بود. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل VIC در مکانیسم شبیه‌سازی رواناب نسبت به پارامتر شکل ظرفیت نفوذ از حساسیت بیش‌تری برخوردار است. غفاری و همکاران [۲۸] به ارزیابی عملکرد مدل سطح زمین ظرفیت نفوذپذیری متغیر^۳ در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز قره سو پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که این مدل سطح زمین با توجه به بزرگ مقیاس بودن، دارای قابلیت بالایی در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز قره‌سو است. بیان مختصری از نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در بررسی تأثیر جزئیات سطح زمین و اقلیم، گویای نقش متقابل آن دو

1. Leaf Area Index (LAI)
2. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS)
3. Variable Infiltration Capacity (VIC-3L)

بر یک‌دیگر است. از این‌رو با توجه به تحقیقات علمی گذشته، مقاله حاضر در ادامه به‌منظور درک بیش‌تر به ارائه مفاهیم مربوط به مدل‌های سطح زمین و معرفی جزئیات آن‌ها پرداخته است.

مدل‌سازی سطح زمین

تابش کل جذب‌شده در سطح زمین معادل با انتشار تابش حرارتی و اشعه مادون قرمز به اتمسفر، تلفات گرمای نهان مرتبط با تبخیر و تعرق، تلفات گرمای محسوس و انتشار انرژی در خاک است. نقش اصلی هر مدل سطح زمین، شبیه‌سازی دقیق تقسیم‌بندی تابش خالص در سطح زمین به جریان‌های این مولفه‌هاست، در صورتی که اطلاعات مربوط به سطح زمین و داده‌های اقلیمی در اختیار قرار گیرد [۵۶]. علاوه بر این در مرز بین اتمسفر و هیدرولوژی، سطح زمین ارتباط بین چندین رشته‌های علمی را فراهم می‌کند و مدل‌سازی سطح زمین، موضوعی برای تحقیق قوی در جوامع هیدرولوژی، اتمسفری و سنجش از دور در دهه‌های گذشته شده است. ترکیب این تلاش‌ها برای پیش‌بینی‌های موفقیت‌آمیز تغییرات آینده اهمیت حیاتی دارد [۵۶].

مدل‌های سطح زمین

در مقیاس‌های جهانی، مدل‌های اقلیمی شواهد قابل‌توجهی را ارائه می‌دهند که نشان می‌دهد سطح زمین بر اقلیم تأثیر می‌گذارد [۵۶]. به‌عنوان مثال، هاروی [۳۲ و ۳۳] نشان داد که تغییر پوشش زمین طی ۷۰۰۰ سال گذشته، تغییرات اقلیمی را به‌صورت منطقه‌ای و جهانی تقویت کرده است. اکنون شواهد و مدارک بسیار قوی وجود دارد که نشان می‌دهد تغییرات سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای در مناطق کلیدی می‌تواند از طریق ارتباطات جوی باعث ایجاد تغییرات چشم‌گیر در مناطق دورافتاده جغرافیایی شود. به‌نظر می‌رسد که این تغییرات بر بیان آب، انرژی، اندازه حرکت و کرین تأثیر می‌گذارد. شواهد در چهار گروه اصلی قرار دارد [۶۰]:

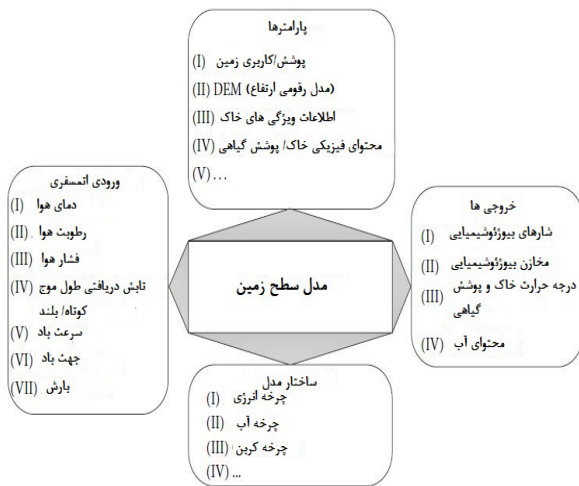
۱- تغییرات گسترده در مشخصات اصلی سطح زمین (آلبدو، طول زبری، ظرفیت نگه‌داشت آب خاک، ریشه‌ها) منجر به تغییر در اقلیم و تغییر در حساسیت آب و هوا به سایر اختلالات می‌شود. ۲- تغییرات سطحی در مقیاس منطقه‌ای (به‌عنوان مثال ساحل) بر اقلیم منطقه تأثیر می‌گذارد. ۳- کم‌تر اثبات شده است که این تغییرات بر اقلیم جهانی در مناطق دور از اختلال تأثیر می‌گذارد، اما این شواهد، به‌تدریج قانع‌کننده‌تر می‌شود. ۴- به‌منظور توضیح کامل تغییرات طولانی‌مدت آب و هوا در اقلیم جهانی و منطقه‌ای (با مقیاس زمانی ده‌ها تا صدها هزار سال)، بازخورد بین اقلیم و زیست‌کره باید در نظر گرفته شود.

تابش موج کوتاه ساطع‌شده توسط خورشید بازتاب، جذب‌شده و یا توسط جو منتقل می‌شود. مقدار انرژی طول موج کوتاه (S) به سطح زمین می‌رسد و برخی بازتاب می‌شود (بسته به نوع آلبدو). اشعه مادون قرمز نیز توسط سطح زمین (بسته به دما و شار برگشتی

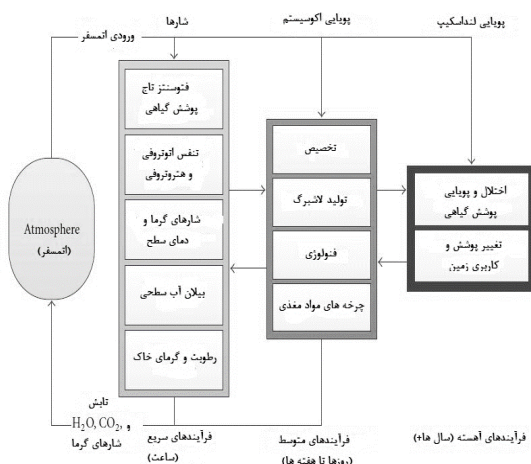
4. Land-Cover Change (LCC)

ساختار مدل‌های سطح زمین

به‌طور کلی، LSM معمولاً از چهار مؤلفه اصلی تشکیل شده است، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است. پارامترها شامل اطلاعات اصلی در مورد خصوصیات سطح زمین می‌باشند که برای شروع و کارکرد مدل مهم هستند. داده‌های ورودی جوی، نیروهای محرکه برای بیلان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر است. برای ساختار مدل، فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مرتبط با چرخه‌های مختلف (انرژی سطح، آب و کربن) معمولاً با تعاریف فرایند و اتصال مختلف همراه هستند. تحت پشتیبانی اجزای فوق، طیف وسیعی از فرایندهای مرتبط با اطلاعات پویایی سطح زمین در طیف وسیع مقیاس‌های زمانی از مقیاس‌های ساعتی تا سالانه از جمله چرخه روزانه جریان‌های بیوژئوشیمیایی، آبگیرها، پوشش گیاهی / دمای خاک، محتوای آب، پویایی روزانه یا هفتگی اطلاعات اکوسیستم (فنولوژی و چرخه مواد مغذی)، تغییر سالانه پویایی پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی / پوشش شبیه‌سازی می‌شود (شکل ۲) [۸۰].



شکل ۱: اجزای عمومی یک مدل سطح زمین [۸۰]



شکل ۲: طرح‌واره‌ای از مدل سطح زمین [۸۰]

از زمین و جو) از سطح زمین دریافت (L دریافتی) و ساطع می‌شود (L برگشتی). بیلان خالص تابش موج کوتاه ورودی و منعکس شده، و تشعشع موج بلند و خروجی در سطح زمین، تابش خالص R_n نامیده می‌شود (فرمول ۱) [۶۰]:

$$R_n = S\downarrow(1-\alpha) + L\downarrow - L\uparrow \quad (1)$$

R_n باید توسط گرمای محسوس (H)، گرمای نهان (λE) ، شار گرمای خاک (G) و انرژی شیمیایی (F) که در حین فتوسنتز ذخیره می‌شود و با تنفس آزاد می‌شود (که معمولاً در مدل‌های اقلیمی از بین می‌رود، به دلیل کم‌تر از مقدار ۱ درصد از میزان جذب شده)، معادل شود (فرمول ۲) [۶۶]:

$$R_n = H + \lambda E + G + F \quad (2)$$

بارش‌هایی که بر روی سطح زمین نازل می‌شود، یا توسط پوشش گیاهی متوقف می‌شود یا مستقیماً به سطح خاک می‌رسد. بارش‌هایی که از تاج پوشش گیاهی عبور می‌کند، یا تبخیر می‌شود یا به سطح زمین می‌ریزد، و قطره‌های همراه با بارندگی که مستقیماً به سطح می‌رسد، یا نفوذ می‌کند یا در سطح خاک (رواناب سطحی) جریان می‌یابد. آبی که نفوذ می‌کند، ممکن است از سطح خاک تبخیر شود، از طریق خاک تخلیه شود، یا توسط ریشه‌ها جمع شود و از بین برود. در حالی که آب در خاک است، به‌عنوان رطوبت خاک شناخته می‌شود و اگرچه تنها بخش کمی از کل آب در خاک ذخیره می‌شود (۱۲٪/۰/۰۵۵)، اما در تهیه غذا و آب شیرین نقش اساسی دارد. نقش اساسی سطح زمین، تقسیم‌بندی آب موجود به تبخیر (E) و رواناب است (در اینجا بارش (P) فرض می‌شود، اما می‌تواند شامل ذوب برف نیز باشد) که معمولاً به یک جزء سریع (رواناب سطحی) و یک جزء کند (رواناب زیرزمینی) تقسیم می‌شود. به‌طور کلی این معادله‌سازی شارهای ورودی و خروجی آب را، بیلان آب سطحی گفته می‌شود (فرمول ۳) [۶۰]:

$$P = E - R_{\text{drain}} - R_{\text{surf}} - \Delta S \quad (3)$$

در این جا ΔS تغییر در ذخیره سازی رطوبت خاک است. توسعه مدل‌های سطح زمین از سال ۱۹۶۰ در درک تعاملات پیچیده (تعاملات بیوفیزیکی، هیدرولوژیکی و زیست‌ژئوشیمیایی) بین سطح زمین و اتمسفر در مقیاس کوچک و بزرگ مؤثر می‌باشد [۸۰]. LSM های مبتنی بر انرژی دارای مزیت بزرگی نسبت به مدل‌های تبخیر و تعرق مفهومی است، که فقط تبخیر و تعرق واقعی را ارائه می‌دهد و هم‌چنین اکثر LSM های مبتنی بر انرژی، به‌صورت یک مدل ستونی یک‌بعدی هستند که جزئیات منطقه ریشه و پوشش گیاهی را توصیف می‌کنند [۵۶].

1. Net radiance
2. Latent heat
3. Soil heat flux
4. Chemical energy
5. Evaporation
6. Precipitation

تکامل نسل‌های مختلف مدل‌های سطح زمین

زمین به‌عنوان بخشی از چرخه آب، پیوندی (از طریق آب‌های سطحی و زیرزمینی) بین جو و اقیانوس ایجاد می‌کند. مدل‌های سطح زمین یک ارتباط کلیدی بین مدل‌های جوی و مدل‌های هیدرولوژیکی است [۵]. روش رایجی که برای مدل‌سازی سطح زمین استفاده می‌شود، در نظر گرفتن سطح زمین به‌عنوان یک آنالوگ الکتریکی است.

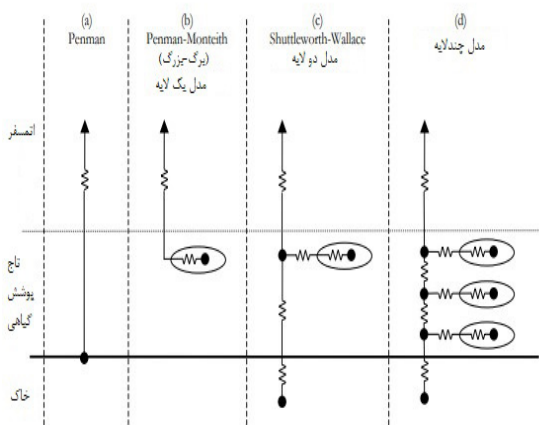
اساساً، این آنالوگ الکتریکی بیان می‌کند که نرخ تبادل (F) مقدار بین دو نقطه A و B (به‌عنوان مثال سطح زمین و محیط اطراف آن)، توسط اختلاف پتانسیل آن مقدار (X) (به‌عنوان مثال فشار بخار، درجه حرارت و یا دی‌اکسید کربن) هدایت می‌شود و توسط تعدادی از مقاومت‌ها (r) کنترل می‌شود که به آب و هوای محلی، هم‌چنین ویژگی‌های داخلی سطح زمین و پوشش گیاهی بستگی دارد (فرمول ۴) [۵۶]:

$$F = C \frac{X_B - X_A}{r_{AB}} \quad (4)$$

بسته به کمیت در نظر گرفته شده، یک مقدار ثابت است. یکی از اولین و مشهورترین مدل‌هایی که تبخیر را با استفاده از آنالوگ الکتریکی تخمین می‌زند توسط پنمن [۵۸] توسعه داده شد، که تبخیر را از یک سطح مرطوب با اتصال آنالوگ مقاومت به بیلان انرژی سطح، و هم‌چنین حذف نیاز برای پتانسیل سطح با فرض اینکه فشار بخار اشباع، یک تابع خطی از درجه حرارت است، توصیف می‌کند. در مدل‌های کامپیوتری جدیدتر، استفاده از یک راه‌حل تکراری بیلان انرژی سطح، رایج است، به‌این ترتیب دمای سطح به‌عنوان یک نتیجه جانبی محاسبه جریان‌های سطحی، ظاهر می‌شود [۵۶]. پنمن فرض کرد که تنها مقاومت در حال کار، بین سطح مرطوب و محیط اطراف، به‌اصطلاح مقاومت اتمسفری است [۵۸]. مقاومت اتمسفری، توانایی هوا را برای انتقال مقدار از سطح نشان می‌دهد. یکی از اولین مدل‌های LSM که از رویکرد پنمن^۱ استفاده می‌کرد، و از این رو فرض می‌کرد که آب بخار شده سطح زمین در مقدار مشابه با سطح مرطوب است، مدل "باکت"^۲ توسط منابه [۵۸] بود. مدل‌های نوع مونیت-پنمن^۳ اغلب به‌عنوان مدل یک‌لایه^۴ یا برگ بزرگ^۵ نامیده می‌شوند، زیرا آن‌ها بین تبخیر خاک و تعرق تمایز قائل نیستند، اما سطح زمین را به‌عنوان یک سطح همگن تلقی می‌کنند. سادگی آن‌ها و در عین حال پایه فیزیکی، مدل‌های یک‌لایه را به‌طور گسترده مورد استفاده قرار داده است. در پوشش گیاهی انبوه، چنین مدل‌های "برگ بزرگ"^۶ برای نشان دادن تبخیر-تعرق به اثبات رسیده است [۵۳]. نمونه‌هایی از مدل‌های برگ بزرگ، مدل تاپ آپ^۶ توسط اسپچالتز و همکاران [۶۵]، هام و هیلمن [۳۰] مشاهده کردند که برای یک محصول پنبه با

1. Penman
2. Bucket
3. Penman-Monteith
4. One-layer
5. Big-leaf
6. TOPUP

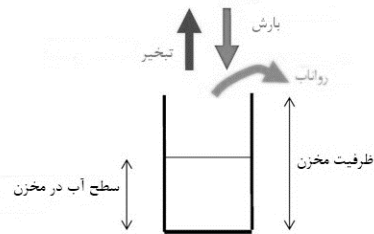
شاخص سطح برگ ۱/۶ دهم، شار گرمای محسوس تولید شده در سطح خاک، یک سوم انرژی موجود برای تعرق را به‌خود اختصاص می‌دهد و نتیجه مشابهی برای تگراس توسط هیلمن و همکاران [۳۴] به‌دست آمد. در چنین مواردی مدل‌های یک لایه قادر به توصیف دقیق جریان‌های سطح زمین نیستند و این منجر به توسعه مدل‌های دو لایه شده است. مدل‌های دو لایه شامل یک لایه‌ی تاج پوشش نیمه‌شفاف است که در قسمت بالایی سطح خاک قرار دارد، به‌طوری که تنها راه برای ورود یا خروج گرما و رطوبت لایه‌ی سطحی، لایه‌ی تاج پوشش می‌باشد که به‌موجب آن، شارهای مؤلفه‌ها مجاز به تعامل هستند [۵۶]. یک ساختار استفاده‌شده به‌طور گسترده برای مدل‌های دو لایه‌ای، ساختار ارائه‌شده توسط شاتلورس و والاس [۷۴] است. این ساختار دارای مقاومت روزنه‌ای برای پوشش گیاهی است، مشابه آنچه که در مدل‌های «بزرگ‌برگ» استفاده می‌شود. اما هم‌چنین مقاومت در سطح بستر را برای کنترل تبخیر خاک ایجاد می‌کند. مدل‌های دو لایه از این نوع، شامل سه مقاومت آئرو‌دینامیکی است که انتقال بین جریان-هوا سطح برگ و متوسط تاج پوشش، جریان-هوا سطح خاک و متوسط تاج پوشش و جریان-هوا متوسط تاج پوشش را تا ارتفاع مرجع بالای محصول کنترل می‌کند. مدل بیوسفر ساده (SiB2) توسط سلرز و همکاران [۷۱] نشان‌دهنده این نوع مدل است. ساختار نسل‌های مختلف مدل‌های سطح زمین و مقاومت آئرو‌دینامیکی آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمایش مقاومت‌های آئرو‌دینامیکی در مدل‌های مختلف سطح زمین [۶۰]

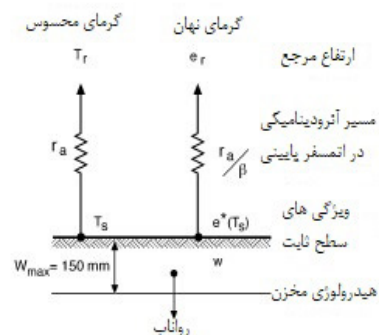
در تاریخ توسعه مدل‌های سطح زمین، LSMها هم در ساختارهای مکانیسم و هم در تکنیک‌های عددی بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته‌اند. LSMها از جهات مختلفی می‌توانند متفاوت باشند: نمایش تغییرپذیری مکانی زیرشبکه در ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی، توپوگرافی و ذخیره آب، رواناب سطحی و پارامترسازی ذوب برف. به‌طور کلی، سه نسل مدل سطح زمین وجود دارد [۶۰]. نسل اول:

اولین LSM توسط منابه^۱ [۵۸] در یک مدل اقلیمی اجرا شد که شامل توزیع ساده و ایده آل اقیانوس ها و قاره ها بود و چرخه فصلی یا روزانه را نشان نداد. این LSM با استفاده از یک معادله ساده بیلان انرژی، هدایت گرما به داخل خاک (فرض معقول با توجه به عدم چرخه روزانه یا فصلی) را نادیده گرفت [۶۰]. منابه [۵۸] عمق و ظرفیت نگهداشت آب خاک را در سطح جهانی، ثابت در نظر گرفت، که در آن تبخیر توسط محتوای آب خاک، زیر یک آستانه‌ی خاص محدود شد. اگر رطوبت خاک از حد تعیین شده فراتر رود، پس از آن بارش بیشتر، باعث ایجاد رواناب می‌شود. این پارامترسازی هیدرولوژی معمولاً "مدل مخزنی منابه" نامیده می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴: مدل مخزنی

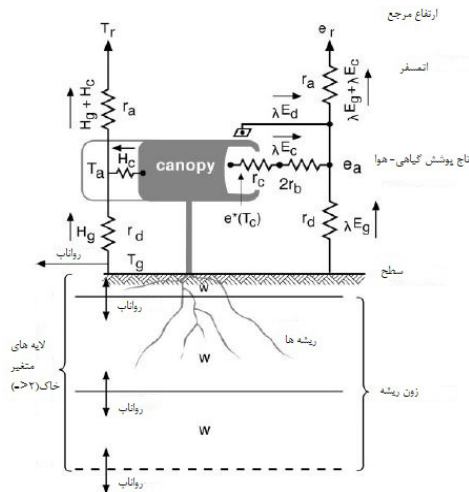
در این نسل، فرض می‌شود که لایه خاک دارای عمق خاک یکسان و ظرفیت ثابت آب در سطح جهان است و خصوصیات خاک از نظر مکانی ثابت است. تبخیر فقط در شرایطی اتفاق می‌افتد که محتوای آب خاک، بالاتر از مقدار آستانه باشد و رواناب زمانی تولید می‌شود که رطوبت خاک از محدودیت اشباع بیش‌تر شود و بارش‌های بعدی هم‌چنان ادامه یابد. تعرق پوشش گیاهی در مدل در نظر گرفته نشده است و جذب آب خاک توسط ریشه‌ها از خاک عمیق نیز نادیده گرفته می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵: تصویر مدل سطح زمین نسل اول. اصطلاحاتی که در متن تعریف نشده‌اند عبارتند از ارتفاع مرجع برای دما T_r حداکثر ظرفیت رطوبت خاک (W_{max}) و رطوبت خاک w . اصلاح شده از Sellers و همکاران [۶۹]

ظرفیت یکنواخت نگهداشت آب، نقاط ضعف در ارائه تبخیر و تعرق که صریحاً شامل نقش مقاومت تاج پوشش در مقاومت سطح نمی‌شود و استفاده از همان مقاومت آتروپینامیکی برای گرما، آب و اندازه حرکت از انتقادهای رایج بود. علاوه بر ساده‌سازی‌ها در فرآیند تبخیر، طرح‌های نسل اول یک یا دو لایه را برای دمای خاک لحاظ می‌کنند، که ممکن است برای ثبت تغییرات درجه حرارت در مقیاس‌های زمانی، اعم از مقیاس زمانی روزانه تا مقیاس‌های چندساله کافی نباشد. نسل دوم: به‌طور کلی، شواهد و منابع موجود نشان می‌دهد طرح‌های نسل دوم عملکرد بهتری نسبت به برنامه‌های نسل اول دارند. دامنه طرح‌های نسل دوم معمولاً از طرح‌های ساده فراتر می‌رود. مدل‌های نسل دوم نمایش فیزیکی سطح قاره و احتمالاً شبیه‌سازی اقلیم را بهبود بخشیده‌اند زیرا در کنار بهبود شبیه‌سازی تبخیر، پارامترهای پوشش گیاهی، هم‌چنین شامل نمایش بهتر دما و رطوبت خاک هستند [۶۰]. مدل‌های نسل دوم بین خاک و پوشش گیاهی در سطح تفاوت قائل هستند. LSM‌های نسل دوم نیز صریحاً تأثیر پوشش گیاهی در انتقال اندازه حرکت را نشان

می‌دهند. مدل‌های نسل دوم معمولاً سیستم پوشش گیاهی - خاک را به‌گونه‌ای نشان می‌دهند که سطح به‌جای این که منفعل باشد (مانند مدل‌های نسل اول) با جو ارتباط برقرار می‌کند. بنابراین در LSM نسل دوم، فعل و انفعالات در سیستم اتمسفر خاک و پوشش گیاهی به‌خوبی نشان داده شده است (شکل ۶) [۶۰].



شکل ۶: تصویر یک مدل سطح زمین نسل دوم. اصطلاحاتی که در متن تعریف نشده‌اند مقاومت لایه مرزی r_b و مقاومت سطح خاک r_h است. اصلاح شده از Sellers و همکاران [۶۹]

مهم‌ترین پیشرفت و محدودیت عمده LSM‌های نسل دوم این است که آن‌ها با در نظر گرفتن شرایط گیاهی و محیطی، میزان هدایت تاج پوشش گیاهی را به‌صورت تجربی مدل می‌کنند، اما آن‌ها فقط از این هدایت برای تعرق مدل استفاده می‌کنند. مدل‌های نسل

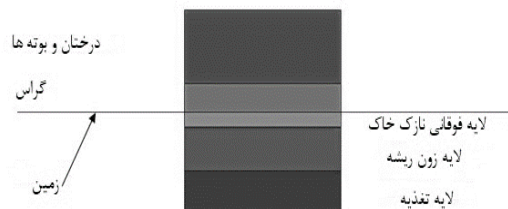
به مسئله جذب کربن توسط گیاهان فراهم می‌کند. شبیه‌سازی فعل و انفعالات بین تغییرات CO_2 و فعالیت زیست‌کره به یک برنامه نسل سوم نیاز دارد [۶۰]. نسل سوم LSM شامل کنترل بیولوژیکی تبخیر و تعرق است (شکل ۹). در این مدل‌ها، بیوشیمی فتوسنتز با بیوفیزیک هدایت روزنه در ارتباط است [۶۰]. شکل ۱۰ شماتیکی از افزایش سطوح جزئیات در روش‌های مدل‌سازی سطح را نشان می‌دهد. کادر دوم، مدل‌های سطح زمین نسل اول و دوم را نشان می‌دهد. به علاوه فنولوژی پوشش گیاهی (استفاده از طریق مدل‌های نیمه‌مکانیکی فتوسنتز و تنفس برگ)، مدل‌های نسل سوم را تعریف می‌کند. تخصیص بیلان کربن خالص، و سایر موارد اضافی برای منعکس کردن چرخه کامل کربن زمینی، طرح سطح زمین را به یک مدل گیاهی پویا جهانی^۲ تبدیل می‌کند. در هر حالت، الزامات قابل اضافه شدن هستند، به طوری که یک DGVM همراه، نیاز به مدل سطح زمین سنتی (معمولاً نسل دوم) دارد [۶۰].

دوم شامل طرح انتقال بیوسفر- اتمسفر، مدل سطح زمین Noah و مدل سطح زمین تعامل بین خاک، بیوسفر و اتمسفر^۱ می‌باشند [۸۰]. طرح انتقال بیوسفر- اتمسفر دارای سه لایه خاک و یک لایه پوشش گیاهی است. فرض می‌شود پوشش گیاهی در BATS یک لایه مسطح متخلخل و یکنواخت است. در BATS، محتوای رطوبت خاک برای سه لایه خاک هم‌پوشانی محاسبه می‌شود: لایه فوقانی، منطقه ریشه و کل لایه فعال (شکل ۷) [۸].



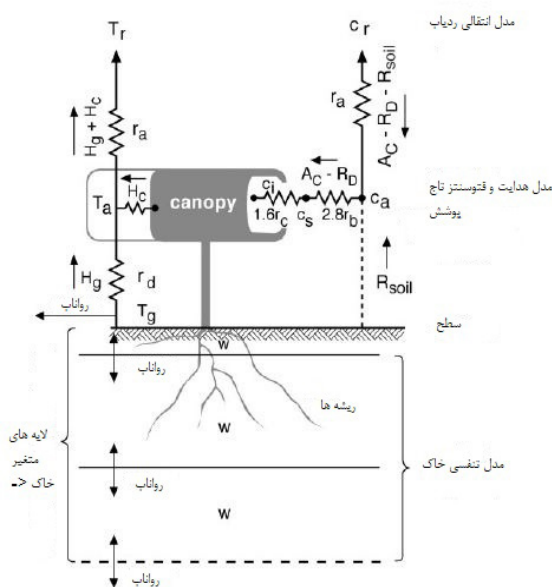
شکل ۷: مدل BATS

مبنای مدل ساده بیوسفر (SiB)، مدل‌سازی پوشش گیاهی است. دلیل پارامتری شدن پوشش گیاهی این است که نقش مهمی در جذب اشعه ورودی دارد. SiB دارای سه لایه خاک و دو لایه پوشش گیاهی است. در دو لایه پوشش گیاهی SiB، لایه بالایی از درختان یا بوته‌ها تشکیل شده است در حالی که لایه زمین برای چمن‌ها است (شکل ۸) [۸].



شکل ۸: مدل SiB

دو نسل مدل قبلی bucket، یعنی BATS و SiB تنها مدل‌های یک‌بعدی (در جهت عمودی) هستند. اگرچه قرار است نهایتاً در مدل‌های جوی سه‌بعدی مورد استفاده قرار گیرند، این مدل‌های سطح زمین تعامل‌های افقی بین سلول‌های مجاور را نادیده می‌گیرند. علاوه بر این، محدودیت‌های عمده زیر باید مورد توجه قرار گیرد: رواناب مدل نشده است، پوشش گیاهی به صورت خطی رفتار می‌کند، فقط سه جزء زمین (خاک، برف و پوشش گیاهی) وجود دارد و انواع پوشش گیاهی در نظر گرفته نمی‌شود [۸]. نسل سوم: در اواخر دهه ۱۹۸۰ به رسمیت شناخته شد که اضافه شدن تاج پوشش ابزاری برای بهبود شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و هم‌چنین پرداختن



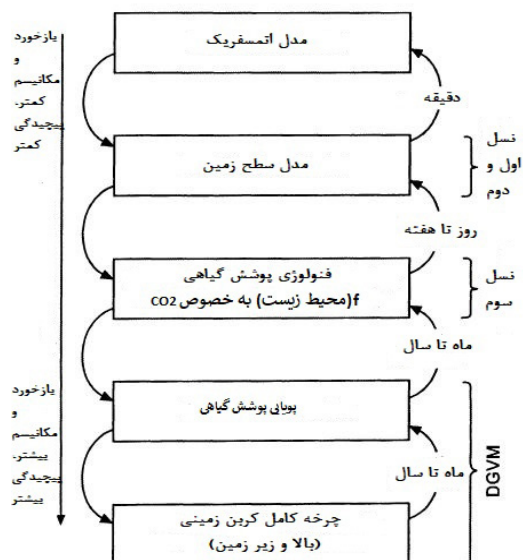
شکل ۹: تصویر یک مدل سطح زمین نسل سوم. اصطلاحاتی که در متن مشخص نشده‌اند فشارهای جزئی فضای هوایی تاج c_a ، داخلی در برگ c_b ، در سطح برگ c_s و در ارتفاع مرجع c_r میزان فتوسنتز تاج است، R_D میزان تنفس تاج و R_{soil} میزان تنفس خاک است [۶۰].

چشم‌انداز آینده مدل‌های سطح زمین

در حالی که اکثر LSM‌های مبتنی بر انرژی شامل شرح مفصلی از پوشش گیاهی و منطقه ریشه هستند، تعاملات بین آب زیرزمینی، منطقه ریشه و آب سطحی، و همچنین جریان‌های سطح جانبی و زیر سطحی، به‌طور معمول در نظر گرفته نمی‌شود و در نتیجه این مدل‌ها برای تولید نتایج دقیق در مناطقی که این تعاملات مهم هستند، شکست خواهد خورد. برخلاف این امر، هیدرولوژیست‌ها سابقه‌ای طولانی برای توسعه و استفاده از مدل‌های توزیعی دارند، که این تعاملات را در نظر می‌گیرند، اما تاکنون LSM‌های مبتنی بر انرژی به‌ندرت در مدل‌سازی یکپارچه هیدرولوژیکی کاربرد دارد [۵۶]. با این وجود، افزایش مقدار و هم‌چنین بهبود کیفیت و تفکیک داده‌های اقلیمی سطح زمین و نزدیک سطح زمین گرفته شده از سنجش از دور، به‌طور قابل‌توجهی چشم‌انداز استفاده از LSM‌های مبتنی بر انرژی را در مدل‌سازی هیدرولوژیکی توزیع کرده است. با افزایش سریع قدرت محاسباتی که به مدل‌های پیشرفته‌تر برای مناطق بزرگ‌تر و دوره‌های با مدت زمان طولانی‌تر کمک می‌کند، LSM‌های مبتنی بر انرژی ممکن است شروع به ارائه جایگزین جذاب به مدل‌های مفهومی که در اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی در حال اجرا هستند، کنند [۵۶]. اجرای مدل‌های مبتنی بر انرژی سطح زمین، اتصال به سنجش از دور را تقویت می‌کند و امکان استفاده از بعضی از داده‌های سنجش از دور^۱ را که در حال حاضر به‌صورت مؤثرتری در دسترس هستند امکان‌پذیر می‌کند. ارتباط بین سنجش از دور و مدل‌سازی توزیعی هیدرولوژیکی برای اکثر برنامه‌های آینده حیاتی خواهد بود و احتمالاً امکان ارزیابی مکانی دقیق‌تر را بهبود می‌بخشد [۵۶]. LSM‌های مبتنی بر انرژی هم‌چنین امکان اتصال به مدل‌های اتمسفری در مقیاس کوچک را به‌صورت پویا از طریق یک مدل مشترک سطح-زمین ارائه می‌کنند. این اتصال پویا چارچوب منحصر به‌فردی را برای بررسی مسائل مربوط به تعاملات جو-سطح زمین در مقیاس هیدرولوژیکی فراهم می‌کند [۵۶]. پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی در آینده هم‌چنان به‌عنوان یک مسئله مهم برای هیدرولوژیست‌ها و دانشمندان جوی در سال‌های آتی باقی خواهد ماند. از نظر محققان، در حال حاضر هیچ مدل جوی در مقیاس متوسط قادر به اجرا در حالت اقلیمی نیست و با توجه به مقیاس کاربرد مدل‌های فعلی منطقه‌ای^۲، اتصال بین مدل هیدرولوژیکی پیچیده و RCM امکان‌پذیر نمی‌باشد. با این حال، توسعه مدل‌های اقلیمی که در مقیاس متوسط کار می‌کنند، در حال حاضر در دست تحقیق است و زمانی که این مدل‌ها عملیاتی شوند، برای مطالعات ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی، ایده‌آل خواهند بود [۵۶].

نتیجه‌گیری

ارتباط بین مدل جوی و LSM، به‌منظور بررسی روابط متقابل



شکل ۱۰: شماتیک افزایش سطوح جزئیات در روش‌های مدل‌سازی سطح [۶۰]

بنابراین، طرح‌های نسل سوم با روشی که برای مدل‌سازی کربن استفاده می‌شود، قابل‌شناسایی هستند. این LSM‌ها به نمایش سایر فرایندها (دمای خاک، هیدرولوژی خاک و رواناب) می‌پردازند، مشابه آنچه در LSM‌های نسل دوم موجود است [۶۰]. این مدل‌های اکولوژیکی روی کربن و سایر چرخه‌های زیست ژئوشیمیایی تمرکز می‌کنند. دو جعبه پایین شکل بالا، از روابط عملکردی گیاه برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی استفاده می‌کنند [۴] و از گام‌های زمانی استفاده می‌کنند که باعث شده است تا ارتباط آن‌ها با مدل‌های اقلیمی مشکل‌ساز شود [۴۹]. این مدل‌های اکولوژیکی به‌جای تمرکز بر این که چگونه سطح زمین انرژی و آب را به‌عنوان یک شرط مرزی برای جو تقسیم می‌کند، بر نحوه واکنش بیوسفر زمینی به جو (در مقیاس‌های زمانی ماه‌ها تا سال‌ها) تمرکز می‌کنند.

ارتباط مدل‌های سطح زمین با دیگر علوم

LSM‌ها، بدون شک، از تلاش‌های مشترک در رشته‌های مختلف علمی بهره‌مند شدند [۵۶]. این علم از افرادی که به‌طور مستقل کار می‌کنند، از میان تیم‌های چندرشته‌ای بزرگ‌تر توسعه یافته است. اکنون برای هم‌کاری با دانشمندان اقلیمی برای ساخت LSM به متخصصان در زمینه علوم شیمی، بیولوژیک و علوم زمین نیاز است. به جامعه سنجش از دور، کارشناسان سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و علوم رایانه نیاز است تا با افرادی که در علوم بیوژئوشیمیایی و بیوفیزیکی کار می‌کنند هم‌کاری شود [۶۰]. علاوه بر این، درک پیشرفته از فیزیک دمای خاک، فرآیندهای رطوبت خاک، هیدرولوژی بزرگ‌مقیاس، فیزیک برف، انتقال تابش، بیوشیمی در سطح فتوسنتز و اکولوژی در مقیاس بزرگ، فرآیندهای لایه مرزی، چرخه بیوشیمیایی و علم پیشرفته رایانه، مورد نیاز است [۶۰].

1. Remote Sensing (RS)
2. Regional Current Models (RCM)

from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*, 408:187-190.

3. Beven, K. J. 2000. *Rainfall-runoff Modelling*. Wiley: Chichester.

4. Bonan, G. B., Levis, S. Kergoat, L., Oleson, K. W. 2002. In press: Landscapes as patches of plant functional types: an integrating concept for climate and ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles*. DOI: 10.1029/2000GB001360.

5. Boone, A. A., Habets, F., Noilhan, J., Clark, D., Dirmeyer, P., Fox, S., Gusev, Y., Haddeland, I., Koster, R., Lohmann, D., Mahanama, S., Mitchell, K., Nasonova, O., Niu, G. Y., Pitman, A., Polcher, J., Shmakin, A. B., Tanaka, K., Van Den Hurk, B., Vérant, S., Verseghy, D., Viterbo, P., and Yang, Z. L. 2004. "The Rhône-Aggregation Land Surface Scheme Intercomparison Project: An Overview." *Journal of Climate*, 17: 187-208.

6. Bounoua, L., Collatz, G. J., Sellers, P. J., Randall, D. A., Dazlich, D. A., Los, S. O., Berry, J. A., Fung, I., Tucker, C. J., Field, C. B., Jensen, T. G. 1999. Interactions between vegetation and climate: Radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO₂. *Journal of Climate*, 12:309-324.

7. Bounoua, L., Collatz, G. J., Los, S. O., Sellers, P. J., Dazlich, D. A., Tucker, C. J., Randall, D. A. 2000. Sensitivity of climate to changes in NDVI. *Journal of Climate*, 13: 2277-2292.

8. Cedric, H, D. 2006. Literature Review: Land Surface Models and Surface Water Hydrology. GEO387H.

9. Charney, J., Quirk, W. J., Chow, S. H., Kornfield, J. 1977. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi arid regions. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 34: 1366-1385.

10. Chase, T. N., Pielke, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R., Running, S. W. 1996. Sensitivity of a general circulation model to global changes in leaf area index. *Journal of Geophysical Research*, 101: 7393-7408.

11. Ciais, P., Denning, A. S., Tans, P.P., Berry, J.A., Randall, D.A., Collatz, G.J., Sellers, P.J., White, J.W., Trolier, M., Meijer, H.A., Francey, R.J. 1997. A three-dimensional synthesis study of δO^{18} in atmospheric CO₂. 1. Surface fluxes. *Journal of Geophysical Research*, 102: 5857-5872.

12. Claussen, M., Brovkin, V., Ganopolski, A., Kubatzki, C., Petoukhov, V. 1998. Modeling global terrestrial vegetation-climate interaction. *Philosophical Transactions*

زمین-جو و بازخورد آن، به این صورت است که LSM، مدل جوی را با شارهای گرما و رطوبت، فشار سطح و تابش در سطح زمین تغذیه می‌کند و مدل جوی نیز متغیرهای تابش خورشیدی، زمینی و متغیرهای هواشناسی (دما، باد، رطوبت، بارش و فشار) را از پایین‌ترین سطح مدل تا LSM فراهم می‌کند [۸۰]. با توجه به اثر متقابل آب‌های سطحی و زیرزمینی در یک مدل سطح زمین، تقسیم‌بندی بیلان آب در بین رطوبت خاک، تبخیر-تعرق و میزان تخلیه، دارای اهمیت است. استفاده از LSM‌های مبتنی بر انرژی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی یک اتصال پویا را برای مدل اتمسفری امکان‌پذیر می‌سازد. چنین سیستمی یک چارچوب منحصر به فرد برای بررسی تعاملات سطح زمین-جو در مقیاس‌های هیدرولوژیکی فراهم می‌کند. بیلان توأم آب و انرژی قاعدتاً به برآورد صحیح‌تر مولفه‌ها به خصوص تبخیر و تعرق منجر می‌شود که مدل‌های هیدرولوژی می‌توانند از آن بهره ببرند [۵۶]. با توجه به پیشرفت و اجرای گسترده مدل‌های مختلف سطح زمین در اکثر نقاط دنیا و اهمیت بررسی مطالعات بیلان آب و انرژی در یک حوزه آبخیز جهت مدیریت بهتر منابع، در ایران توجه زیادی به این مدل‌ها و کاربرد آن‌ها صورت نگرفته است و فقط به مطالعه بسیار محدود در حد ارزیابی یک مدل در مقیاس کوچک برای یک حوزه آبخیز، اشاره شده است. این عدم به‌کارگیری می‌تواند به دلیل کمبود و فقر اطلاعات و آمار (با توجه به نیاز داده‌ای و پارامتری گسترده مدل‌های سطح زمین چون هواشناسی)، سطح زمین (خاک‌شناسی و پوشش گیاهی) و هیدرولوژیکی (خصوصاً برای داده‌های برف)، عدم دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای با فرمت مناسب برخلاف گسترش روزافزون تکنولوژی‌های ماهواره‌ای و مدل‌های رایانه‌ای، هم‌چنین عدم وجود پایگاه داده برای خاک و پوشش گیاهی با دقت زمانی و مکانی خاص و در نهایت به‌خصوص کدباز بودن آن مدل‌ها و اجرا در سیستم عامل‌های Linux و Unix باشد. پیشنهاد می‌شود با توجه به قابلیت بالای اجرای این مدل‌ها در موضوعات مختلف، جهت بررسی ارتباط سطح زمین و پارامترهای اقلیمی-هیدرولوژیکی در کشور ایران و هم‌چنین در ارتباط با خشکسالی و سیلاب حوزه‌های آبخیز کشور با هماهنگی مؤسسات سنجش از دوری جهت اخذ تصاویر ماهواره‌ای روی این مدل‌ها بیش‌تر تمرکز شود و به ارزیابی و توسعه آن‌ها در مطالعات مختلف با دقت بالا پرداخته شود.

منابع

1. Betts, A.K., Ball, J.H., Beljaars, A., Miller, M.J., Viterbo, P.A. 1996. "The land surface-atmosphere interaction: a review based on observational and global modeling perspectives". *Journal of Geophysical Research*: Atmospheres, 101(3): 7209- 7225.

2. Betts, R. A. 2000. Offset of the potential carbon sink

- description of soil water-holding capacity on the global
13: 4393–4413. water cycle in a GCM. *Journal of Climate*,
24. Ducharne, A., Laval, K., Polcher, J. 1998. Sensitivity
of the hydrological cycle to the parameterization of soil
hydrology in a GCM. *Climate Dynamics*, 14: 307–327.
25. Eastman, J. L., Coughenour, M. B., Pielke, R. A. 2001.
The effects of CO₂ and landscape change using a coupled
plant and meteorological model. *Global Change Biology*, 7:
797–815.
26. Feddes, R. A., Hoff, H., Bruen, M., Dawson, T.,
deRosnay, P., Dirmeyer, P., Jackson, R. B., Kabat, P.,
Kleidon, A., Lilly, A., Pitman, A. J. 2001. Modeling root
water uptake in hydrological and climate models. *Bulletin of
the American Meteorological Society*, 82: 2797–2809.
27. Friedlingstein, P., Bopp, L., Ciais, P., Dufresne, J.
L., Fairhead, L., LeTreut, H., Monfray, P. 2001. Positive
feedback between future climate change and the carbon
cycle. *Geophysical Research Letters*, 28: 1543–1546.
28. Ghaffari, G., Salajegh, A., Masah Bavani, A.
Moghadamnia, A. Fahmi, H. Tjrishi, M. A. M. 2019.
Evaluating of VIC-3L Land Surface Model for Simulation
of Stream Flow of Gharesou watershed. *Jwmseir*, 13 (47):
96-106. (In Persian).
- Y., Nishizawa, K., C. B. Fu. 1999. A 29. Giorgi, F. Huang,
seasonal cycle simulation over eastern Asia and its sensitivity
to radiative transfer and surface processes, *J. Geophys. Res.*,
104: 6403- 6423.
30. Ham, J. M., Heilman, J. L. 1991. Aerodynamic and
surface resistances affecting energy transport in a sparse
crop, *Agri. Forest Meteorol*, 53: 267–284.
31. Harvey, L. D. D. 1988. On the role of high latitude ice,
snow and vegetation feedbacks in the climatic response to
external forcings. *Climatic Change*, 13: 191–224.
32. Harvey, L. D. D. 1989a. An energy balance climate
model study of radiative forcing and temperature response at
18 ka. *Journal of Geophysical Research*, 94: 12873–12884.
33. Harvey, L. D. D. 1989b. Milankovitch forcing,
vegetation feedback, and North Atlantic deep-water
formation. *Journal of Climate*, 2: 800–815.
34. Heilman, J. L., McInnes, K. J., Savage, M. J., Gesch, R.
W., Lascano, R. J. 1994. Soil and canopy energy balance
in a west Texas vineyard, *Agri. Forest Meteorol*, 71: 99–114.
35. Hisashi, S., Akihiko, I., Akinori, I., Takashi, I., Etsushi
of the Royal Society of London, Series B, 353: 53–63.
13. Claussen, M., Brovkin, V., Ganopolski, A. 2001.
Biogeophysical versus biogeochemical feedbacks of large
scale land cover change. *Geophysical Research Letters*, 28:
1011–1014.
14. Collatz, G. J., Bounoua, L., Los, S.O., Randall, D.A.,
Fung, I.Y., Sellers, P.J. 2000. A mechanism for the influence
of vegetation on the response of the diurnal temperature
range to changing climate. *Geophysical Research Letters*,
27: 3381-3384.
15. Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A.,
Totterdell, I. J. 2000. Acceleration of global warming due to
carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*,
408: 184–187.
16. Cunnington, W. M., Rowntree, P. R. 1986. Simulations
of the Saharan atmosphere-dependence on moisture and
albedo. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological
Society*, 112: 971–999.
17. Deardorff, J. W. 1978. Efficient prediction of ground
surface temperature and moisture with inclusion of a layer
of vegetation. *Journal of Geophysical Research*, 83: 1889–
1903.
18. Denning, A. S., Collatz, G. J., Sellers, P. J. 1996.
Simulations of terrestrial carbon metabolism and atmospheric
CO₂ in a general circulation model. 1. Surface carbon fluxes,
Tellus, B48: 521-542.
19. DeRosnay, P., Polcher, J. 1998. Modelling root water
uptake in a complex land surface scheme coupled to a GCM.
Hydrology and Earth System Sciences, 2: 239–255.
20. Desborough, C. E., Pitman, A. J., McAvaney, B. 2001.
Surface energy balance complexity in GCM land surface
models, part II: coupled simulations. *Climate Dynamics*, 17:
615–626.
21. Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A. 1988.
Modeling tropical deforestation – A study of GCM land
surface parameterizations, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 114: 439-
462.
22. Dorman, J. L., Sellers, P. J. 1989. A global climatology
of albedo, roughness length and stomatal resistance for
atmospheric general circulation models as represented
by the simple biosphere model (SiB). *Journal of Applied
Meteorology and Climatology*, 28 (9): 833-855.
23. Ducharne, A. Laval, K. 2000. Influence of the realistic

The atmospheric circulation and hydrology of the Earth's surface, *Mon. Wea. Rev.*, 97: 739–774.

47. Martin, B., Andy, B., Olivier, B. 2008. Land Surface Modelling., MOSAC.

48. Martin, M., Dickinson, R. E., Yang, Z. L. 1999. Use of a coupled land surface general circulation model to examine the impacts of doubled stomatal resistance on the water resources of the American Southwest, *J. Climate*, 12: 3359–3375.

49. Martin, P. 1993. Vegetation responses and feedbacks to climate: a review of models and processes. *Climate Dynamics*, 8: 201–210.

50. Milly, P. C. D. 1997. Sensitivity of greenhouse summer dryness to changes in plant rooting characteristics. *Geophysical Research Letters*, 24: 269–271.

51. Milly, P. C. D., Dunne, K. A. 1994. Sensitivity of the global water cycle to the water-holding capacity of land. *Journal of Climate*, 7: 506–526.

52. Mintz, Y. 1984. The sensitivity of numerically simulated climates to land-surface boundary conditions. In *The Global Climate*, Houghton JT (ed.). Cambridge University Press, 79–105.

53. Monteith, J. L., Unsworth, M. 1990. *Principles of Environmental Physics*, ButterworthHeinemann, London.

54. Nobre, C. A., Sellers, P. J. Shukla, J. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change, *J. Climate*, 4: 957–988.

55. Oki, T. 1999. The global water cycle. In *Global Energy and Water Cycles*, Browning KA, Gurney RJ (eds). Cambridge University Press, 10–29.

56. Overgaard, J., Rosbjerg, D., Butts, M. B. 2005. Land-surface modelling in hydrological perspective., *Biogeosciences Discussions*, 2:1815–1848.

57. Parviz, L., Kholghi, M., Araghi Nejjhad, Sh., Valizadeh, K. 2011. An Assessment of the Integrated Variable Infiltration Capacity and Routing Model in the Sefidroad River Basin. *Journal of Water and Soil*, 25(3): 570–582. (In Persian).

58. Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proc. R. Soc. Lond.* 25 A, 193:120–146.

59. Pielke, R. A., Avissar, R., Raupach, M., Dolman, A.J., Zeng, X., Denning, AS. 1998. Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather

K. 2015. Current status and future of land surface models, *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(1) 34–47.

36. Henderson-Sellers, A., Pitman, A. J., Love, P. K., Irannejad, P., Chen, T. 1995. The project for intercomparison of land surface parameterization schemes (PILPS) phases 2 and 3. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76: 489–503.

37. Kleidon, A., Heimann, M. 1998. A method of determining rooting depth from a terrestrial biosphere model and its impacts on the global water- and carbon cycle. *Global Change Biology*, 4: 275–286.

38. Kleidon, A., Heimann, M. 2000. Assessing the role of deep rooted vegetation in the climate system with model simulations: mechanism, comparison to observations and implications for Amazonian deforestation. *Climate Dynamics*, 16: 183–199.

39. Laval, K. 1986. General circulation model experiments with surface albedo changes. *Climatic Change*, 9: 91–102.

40. Lavorel, S., Diaz, S., Cornelissen, H., Garnier, E., Harrison, SP., McIntyre, S., Pausas, JG., Pérez-Harguindeguy, N., Urcelay, C. 2007. Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail? In *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*, Eds. Canadell JG, Pataki DE, Pitelka LF, 171–186.

41. Levis, S., Foley, J. A., Pollard, D. 2000. Large scale vegetation feedbacks on a doubled CO₂ climate. *Journal of Climate*, 13: 1313–1325.

42. Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., Burges, S. J. 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 99: 415–428.

43. Lofgren, B. M. 1995. Surface albedo–climate feedback simulated using two-way coupling. *Journal of Climate*, 8: 2543–2562.

44. Los, S. O., Collatz, G. J. et al. 2000. A global 9-yr biophysical land surface dataset from NOAA AVHRR data, *J. Hydrometeorol*, 1:183–199.

45. Lu, L., Pielke, R.A., Liston, G.E., Parton, W.J., Ojima, D., Hartman, M. 2001. Implementation of a two-way interactive atmospheric and ecological model and its application to the central United States. *Journal of Climate*, 14: 900–919.

46. Manabe, S. 1969. Climate and the ocean circulation.

- Baldocchi, D., Berry, J., Ryan, M., Ranson, K.J., Crill, P.M., Lettenmaier, D.P., Margolis, H. 1997. Experiment overview, scientific results, and future directions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(24): 28731–28769.
70. Sellers, P. J., Mintz, Y., Sud, Y. C., Dalcher, A. 1986. A simple biosphere model (SiB) for use in within general circulation models, *J. Atmos. Sci*, 43: 505–531.
71. Sellers, P. J., Randall, D., Collatz, G., Berry, J., Dazlich, C. F. D., Zhang, C. 1996. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs Part I: Model formulation, *J. Clim*, 9: 676–705.
72. Sellers, P. J., Shuttleworth, W. J., Dorman, J. L., Dalcher, A., Roberts, J. M. 1989. Calibrating the simple biosphere model for Amazonian tropical forest using field and remote-sensing data. 1. Average calibration with field data. *Journal of Applied Meteorology*, 28: 727-759.
73. Sen, O. L., W. J. Shuttleworth Z.-L. Yang. 2000. Comparative evaluation of BATS2, BATS and SiB2 with Amazon data, *Journal of Hydrometeorology*, 1(2):135-153.
74. Shuttleworth, W. J. Wallace, J. S. 1985. Evaporation from sparse crops – an energy combination theory, *Q. J. R. Meteor. Soc*, 111: 839–855,
75. Sud, Y.C., Fennessy, M. J. 1982. A study of the influence of surface albedo on July circulation in semi-arid regions using the GLAS GCM. *Journal of Climatology*, 22: 105–125.
76. Sud, Y. C., Shukla, J., Mintz, Y. 1988. Influence of land surface roughness on atmospheric circulation and precipitation: a sensitivity study with a general circulation model. *Journal of Applied Meteorology*, 27: 1036–1054.
77. Sud, Y. C., Smith, W. E. 1985. The influence of surface roughness of deserts on the July circulation — a numerical study. *Boundary Layer Meteorology*, 33: 15–49.
78. 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.
79. Warrch-sagi, K., Stieglitz, M., Mengelkamp, H., Raschke, E. 2008. Streamflow Simulation Reveal the Impact of the Soil Parametrization. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(6): 751-762.
80. Wei, Z.h., Ainong, L. 2015. A Review on Land Surface and climate. *Global Change Biology*, 4: 461–475.
60. Pitman, A. J. 2003. “The evolution of, and revolution in, landsurface schemes designed for climate models,” *International Journal of Climatology*, 23: (5)479–510.
61. Pollard, D., Thompson, S. L. 1995. Use of a land-surface-transfer scheme (LSX) in a global climate model: the response to doubling stomatal resistance. *Global and Planetary Change*, 10: 129–161.
62. Prentice, I. C., Farquhar, G. D., Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heimann, M., Jaramillo, V. J., Kheshgi, H. S., Scholes, R. J., Wallace, D. W. R. 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press: Cambridge, 183–237.
63. Randall, D. A., D. A. Dazlich, et al. 1996. A revised land surface parameterization (SiB2) for GCMs. 3. The greening of the Colorado State University general circulation model, *J. Climate*, 9: 738- 763.
64. Sato, N., Sellers, P. J., Randall, D.A., Schneider, E.K., Shukla, J., Kinter III, J.L., Hou, Y.T., Albertazzi, E. 1989. Effects of implementing the simple biosphere model in a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46:(18) 2757-2782.
65. Schultz, K., Franks, S., Beven, K. 1998. TOPUP – A TOPMODEL based SVAT model to calculate evaporative fluxes between the land surface and the atmosphere, Version 1.1, Program documentation, Department of Environmental Science, Lancaster University, UK.
66. Sellers, P. J. 1992. Biophysical models of land surface processes. In *Climate System Modelling*, Trenberth KE (ed.). Cambridge University Press.
67. Sellers, P. J. Dickinson, R. E., Randall, D. A., Betts, A. K., Hall, F. G., Berry, J. A., Collatz, G. J., Denning, A. S., Mooney, H. A., Nobre, C. A., Sato, N., Field, C. B., Henderson-Sellers, A. 1997. Modelling the exchanges of energy, water and carbon between continents and the atmosphere *Science*, 275: 502–509.
68. Sellers, P. J., Dorman, J. L. 1987. Testing the simple biosphere model (SiB) using point micrometeorological and biophysical data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 26: 622-651.
69. Sellers, P. J., Hall, F. G., Kelly, R. D., Black, A.,

83. Zeng, X., Dai, J., Dickinson, R. E., Shaikh, M. 1998. The role of root distribution for climate simulation over land. *Geophysical Research Letters*, 25: 4533–4536.
84. Zhong, R., Yanhu, H., 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.
- Processes Modelling over Complex Terrain, Hindawi Publishing Corporation, 10: 60-71.
81. Wood, E. F., Lettenmaier, D. P., Zartarian, V. G. 1992. A land-surface hydrology parameterization with subgrid variability for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2717–2728.
82. Williams, M., Richardson Reichsteinetal. A.D. M. 2009. “Improving land surface models with FLUXNET data,” *Biogeosciences*, vol. 6 (7):1341–1359.



Abstract

Literature and introduce of Land Surface Models (LSMs)M. Mohammadrezaei*¹ and A. Bahremand²

Received: 2021/03/11 Accepted: 2021/11/20

The land surface is one of the main elements that located on between the atmosphere and lithosphere. Changes in land surface characteristics affect surface water balance. In particular, change in the nature of vegetation affect interception and transpiration. Change in vegetation distribution alter the balance between soil-induced fluxes and obtained through canopy processes. Changes in evapotranspiration, soil evaporation, re-evaporation from interception, etc. affect runoff and soil moisture. Then these affect a variety of other processes by linking to the surface energy balance. In order to investigate the surface-atmosphere interactions in hydrological scales, it is necessary to use surface models, which have been developed with the aim of determining the lower atmospheric boundary conditions for numerical-atmospheric models. This study intends to present and introduce land surface models on a regional and global scale. The method of the present research is descriptive-review and means of collecting information, documents related to the subject. Studies show that land surface models are used to provide simulations of water balance, energy balance and carbon balance for further study and understanding on a regional and global scale, which can be effectively applied and recognized by these models at different Temporal-spatial scales, it is possible to study the relationship between the surface of the earth and climatic models, hydrology, and as a result, a better understanding of the behavior of their two components.

Keywords: Carbon balance, Energy balance, Hydrological- land surface modeling, Water balance.

1. PhD candidate of Watershed Management Engineering, Faculty of Rangeland and Watershed, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Corresponding Author, Email: Mrezaei501@yahoo.com

2. Associate Professor, Faculty of Rangeland and Watershed, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran