یادداشت تحلیلی

چالش‌های تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور و ظرفیت‌های مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جامع در پشتیبانی از آن

مجید دلاور؛ دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران. * m.delavar@modares.ac.ir

بحران‌های آبی فعلی و پیش‌رو در کشور و از طرفی ضعف‌های اطلاعاتی و مسائل موجود در زمینه یکپارچه‌سازی و سازماندهی اطلاعات مدیریتی بین‌بخشی، تخمین صحیح منابع و مصارف منابع آب و همچنین ارزیابی جامع گزینه‌های مدیریتی، لزوم وجود ابزارها و زیر ساخت‌هایی که امکان بهبود تصمیم‌گیری‌ها و جهت‌گیری‌های مدیریتی را فراهم آورد را آشکار می‌سازد.
تحلیل سیستم‌های منابع آب به منظور تدوین راهبردهای مدیریتی مناسب و حل مسائل و موضوعات آبی، مستلزم وجود اطلاعات مختلف به منظور ایجاد درکی مناسب و عمیق از فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه، جریان‌های آب قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت، ارتباط با کاربری اراضی و ارائه تصویری جامع در این خصوص است. در این راستا مطالعات «بیلان منابع آب» در سطح کشور به عنوان یکی از پشتوانه‌های اصلی تحلیل و تصمیمات مدیریتی در بخش آب تلقی می‌گردد که علیرغم تلاش‌های فراوانی که جهت تهیه و بروزرسانی آن انجام شده است، همچنان نقاط ضعفی دارد که امکان بکارگیری آن را تصمیم گیری‌های مدیریتی محدود می‌سازد. این نوشتار ضمن اشاره به مهم‌ترین نقاط ضعف کاربرد اطلاعات مستخرج از مطالعات بیلان آبی در کشور، به ارزیابی ظرفیت‌های مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جامع در جهت ارتقای کارایی این‌گونه مطالعات، می‌پردازد.

چالش‌ها و نقاط ضعف رویکرد موجود در مطالعات بیلان آبی در پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور

مهمترین نقاط ضعف رویکرد موجود در مطالعات بیلان آبی در پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور را می‌توان از دو منظر فنی و مدیریتی مورد توجه قرار داد:

الف) چالش‌های فنی و محاسبات اجزای بیلان

در این زمینه مهمترین موارد عبارتند از:

– عدم امکان پایش/ ضعف سیستم پایش مکانی و زمانی مؤلفه‌های بیلان: برآورد مناسب اجزای بیلان آبی در درجه اول مستلزم دسترسی به اطلاعات دقیق، کافی و به‌روز از مؤلفه‌های آن است. علیرغم توسعهٔ شبکه پایش هواشناسی و هیدرومتری در کشور، همچنان گستردگی نامناسب مکانی شبکه‌های سنجش، دقت پایین و طول دوره آماری نامناسب آن‌ها به عنوان یکی از مشکلات اساسی در محاسبات بیلان مطرح می‌شود. این در حالی است که امکان پایش میدانی و اندازه‌گیری برخی از مؤلفه‌های مهم همچون «آب برگشتی» و «تبخیر و تعرق واقعی» نیز در گسترهٔ وسیع میسر نیست.

– عدم قطعیت زیاد برآورد برخی از مؤلفه‌های کلیدی بیلان: با توجه به ضعف اطلاعاتی و پیچیدگی‌های محاسباتی، برآورد برخی از مؤلفه‌های کلیدی همچون «مصارف آبی/ تبخیر و تعرق واقعی»، «تبادلات جریانات سطحی و زیرزمینی» و «آب برگشتی»، در شیوهٔ فعلی محاسبات بیلان با عدم قطعیت زیاد و انکارناپذیری مواجه است که عملاً کاربرد اطلاعات بیلان در امر تصمیم‌سازی را با ابهامات متعددی روبرو می‌کند.

– عدم امکان به‌روزرسانی سریع با توجه به پیچیدگی‌ها و ضعف زیرساخت‌های محاسباتی و روش‌شناسی برآورد بیلان: یکی از مهمترین دغدغه‌ها در محاسبات و کاربرد اطلاعات بیلان، ارائه اطلاعات به‌روز و نزدیک به واقعی است. این مهم ریشه در روش‌شناسی، ساختار ارتباطی سنجش و «دریافت اطلاعات» و زیرساخت‌های محاسباتی آن دارد که علیرغم تلاش‌های که در این حیطه انجام می‌شود، همچنان امکان دسترسی به اطلاعات به‌روز را فراهم نمی‌کند.

ب) چالش‌های مدیریتی و کاربردی اطلاعات بیلان

مهمترین موارد در بخش مدیریتی و کاربرد اطلاعات بیلان در امر تصمیم‌گیری عبارتند از:

- عدم پویایی و امکان بکارگیری در تجزیه و تحلیل سیاست‌های مختلف مدیریتی: سیستم جاری اطلاعات بیلان در سطح کشور، فارغ از مواردی که در بخش فنی بدان اشاره شد، به صورت ایستا و در دوره‌های زمانی خاصی تولید می‌گردد. این مسأله امکان سناریوسازی و بکارگیری آن‌ها در تجزیه و تحلیل سیاست‌های مدیریتی و درک واقع‌بینانه نسبت به چالش‌ها، اثرات جانبی و عملکرد مورد انتظار از این سیاست‌ها را به شدت کاهش می‌دهد.

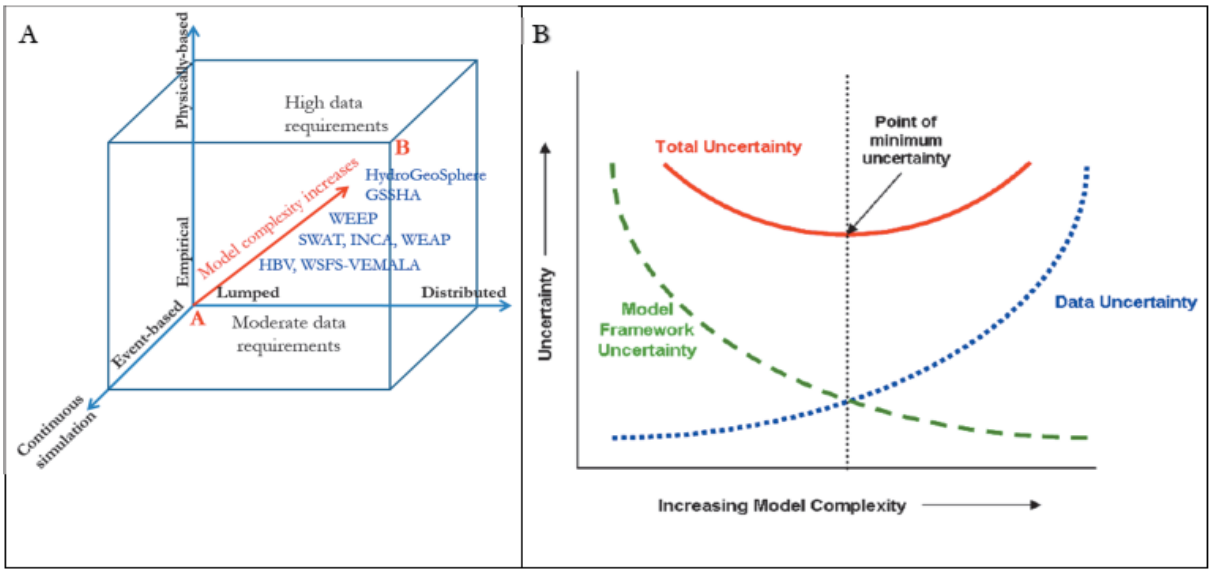
- عدم جامع‌نگری و درک مناسب از برهمکنش و نحوه تأثیرپذیری اجزای بیلان: از جمله مهم‌ترین مسائل در مدیریت پایدار منابع آب، ایجاد توازن بین پتانسیل‌های آبی هر منطقه و حصول اهداف توسعه‌ای نظیر امنیت غذایی است. لذا عدم نگرش سیستماتیک در بکارگیری اطلاعات بیلان آب کشور و ارائه راهبردهای مدیریت حوضه‌های آبریز بدون توجه به اثرات بالقوهٔ آن‌ها بر سایر اجزای بیلان آبی، علاوه بر ایجاد ناپایداری، می‌تواند منجر به ایجاد ابعاد جدیدی از چالش‌ها در این مناطق گردد. از این‌رو در تدوین و بهنگام‌سازی برنامه‌ها و سیاست‌های ملی، ارزیابی و بررسی اثرپذیری برنامه‌ها و تبعات جانبی آن‌ها به علت تأثیرات فراگیر آن در سطح کشور، بسیار حائز اهمیت است. چه‌بسا برنامه‌ها و سیاست‌های مختلفی که در اسناد بالادستی کشور مورد توجه قرارگرفته‌اند و به خاطر عدم تحلیل سیستماتیک تأثیرات آن‌ها، نه تنها اهداف خود را محقق ننموده‌اند، بلکه اثرات سوئی هم

داشته‌اند. این مسأله از جنبهٔ دیگری نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و آن درک نامناسب از برخی از واژگان بیلان آبی مانند «مصارف» و «برداشت» می‌باشد. واژگانی که گاه مترادف با هم بکار گرفته می‌شوند، ولی از منظر مفهومی و تحلیلی می‌توانند کاملاً متفاوت باشند و چه بسا همین امر منجر به درک متفاوت و نادرست از مفهوم صرفه‌جویی در یک سیستم آبی گردد. توصیه و برداشت‌های متفاوت از عملکرد سیاست‌هایی نظیر توسعه باغات در اراضی شیب‌دار و آبیاری تحت‌فشار، نتیجهٔ عدم جامع‌نگری و درک نادرست از چنین مفاهیمی هست. در این زمینه، موسسهٔ بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) با دیدگاه افزایش بهره‌وری آب مفهومی به نام «ذخیره‌سازی واقعی آب» بر اساس تحلیل مصارف آبی (آب تخلیه‌شده و غیر قابل استفاده مجدد) را پیشنهاد کرد که مبتنی بر پارادایم نئوکلاسیک می‌باشد. بر این اساس دست‌یابی به راهبردهایی با تمرکز بر مفهوم ذخیره‌سازی واقعی آب مستلزم استفاده از چارچوبی برای تحلیل «مصارف» و نه برداشت‌ها در سطح حوضه و تفسیر یکپارچهٔ نتایج بر مبنای آن است.

- چارچوب تحلیلی نامناسب و تک بعدی: اطلاعات مستخرج از شیوه‌های معمول و سنتی بیلان آبی به صورت محدود، صرفاً بعد هیدرولوژیکی سیستم‌های آبی را از منظر عرضه و برداشت آب مورد توجه قرار می‌دهند و عموماً تأثیر جنبه‌های مختلف بهره‌برداری از منابع آب از منظر بهره‌وری و مسائل مرتبط به آن را مورد توجه قرار نمی‌دهند. این در حالی است که در تصمیمات مدیریتی، علاوه بر جنبه‌های هیدرولوژیکی، توجه به سایر جنبه‌های مرتبط نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این مهم ضرورت ایجاد یک چارچوب مفهومی برای سازماندهی اطلاعات بیلان آبی در تلفیق با سایر اطلاعات، جهت مطالعه چند وجهی سیستم‌های آبی و بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب را نمایان می‌کند. این سازماندهی و تقویت شیوه‌های جاری محاسبات «بیلان منابع آب» می‌بایست در پاسخ به چالش‌های موجود و آتی در حوزهٔ عرضه و مصرف و نه تنها از دیدگاه هیدرولوژیکی، بلکه از منظر حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست نیز مورد توجه قرار دهد. چالش‌هایی که در شرایط فعلی کاملاً خودنمایی کرده و انتظار می‌رود تحت پدیده «تغییراقلیم» نیز تشدید گردد.

مدل‌های شبیه‌سازی هیدرلوژیکی و سوابق استفاده از آن‌ها در تحلیل سیاست‌های مدیریت منابع آب

استفاده از فناوری‌های به‌روز مانند سنجش از راه دور و مدل‌سازی‌های مفهومی می‌توانند به عنوان یکی از گزینه‌های مهم در تدقیق و برآورد مناسب و به‌هنگام اطلاعات بیلان، از جمله اطلاعاتی که امکان پایش محدودی دارند (نظیر تبخیر و تعرق واقعی) مورد توجه قرار گیرند. گرچه اطلاعات مستخرج از چنین فناوری‌هایی، خود نیازمند واسنجی و ارزیابی بر مبنای داده‌های مشاهداتی می‌باشد، اما بکارگیری و هم‌افزایی این اطلاعات در کنار داده‌های موجود می‌تواند چشم‌انداز مناسبی از وضعیت مؤلفه‌های بیلان آبی را فراهم کند. امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، توسعهٔ بسیاری پیدا کرده و انواع مختلفی از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌های خرد و کلان سیستم‌های منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های هیدرولوژیکی به عنوان شالودهٔ اصلی غالب شبیه‌سازی‌های انجام شده در حوزه آب در واقع تصویر ساده‌ای از فرآیندهای هیدرولوژیکی واقعی یک حوضه‌آبریز در قالب معادلات ریاضی، تجربی و آماری هستند. از نظر نوع روابط مورد استفاده در شبیه‌سازی چرخه آب در حوضه، این مدل‌ها به چهار گروه مدل‌های داده‌محور[1] (یا مدل‌های جعبه سیاه[2])، مدل‌های تجربی[3]، مدل‌های هیدرولوژیکی پایه‌فیزیکی[4] و مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی[5] قرار می‌گیرند. از دیدگاه نحوه تصویرسازی ناهمگنی مکانی حوضه نیز مدل‌های هیدرولوژیکی به سه گروه توده‌ای[6]، توزیعی[7] و نیمه‌توزیعی[8] تقسیم می‌شوند. در شکل (۱) نحوهٔ ارتباط طیف‌های مختلف مدل‌های شبیه‌سازی در حوزهٔ آب، پیچیدگی و نیازهای اطلاعاتی و عدم قطعیت حاصل از شبیه‌سازی آورده شده است. همانطور که مشخص است در این بین، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی نیمه‌توزیعی به دلیل ساده‌سازی محاسبات،کاهش نیازهای اطلاعاتی و عدم قطعیت نهایی شبیه‌سازی و در عین لحاظ نمودن ارتباط فیزیکی مفهومی بین پدیده‌های مختلف با اقبال بیشتری روبرو بوده است (Beven، ۲۰۱۲).



شکل ۱- انوع مختلف مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و نحوهٔ ارتباط آن‌ها با داده‌های مورد نیاز و عدم قطعیت فرآیند مدل‌سازی (Grayson و Blöschl، ۲۰۰۰)

از جمله مدل‌های مفهومی پرکاربرد در حوزهٔ مدیریت منابع آب، مدل‌های شبیه‌سازی مفهومی جامع[۹] هستند. این طیف از مدل‌ها به دلیل قابلیت آنها در بررسی تأثیرات متقابل اجزای بیلان آبی حوضه‌های آبریز با شرایط اقلیم و مدیریت حاکم برآنها در یک بازه زمانی پیوسته و بلندمدت، از اهمیت دو چندانی در زمینهٔ مدیریت منابع آب برخوردار هستند. مدل‌های شبیه‌سازی جامع مختلفی در حوزه مدیریت منابع آب، توسعه و به‌کار برده شده‌اند که مدل‌هایHSPF، VIC، WEAP Mike Basi و SWAT، از آن جمله هستند. از ویژگی‌های مهم این طیف از مدل‌ها، کاربرد آن، هم در مراکز تحقیقاتی و هم در نهادهای غیر تحقیقاتی (مانند بانک جهانی و اتحادیه اروپا) در راستای تحلیل سیاست‌های مدیریت منابع آب می‌باشد. از جمله کاربردهای این مدل‌ها بدین منظور، می‌توان به پروژه سازگاری با تغییر اقلیم اتحادیه اروپا (CCTAME[۱۰]) در سال ۲۰۱۲ اشاره کرد. در این مطالعه از مدل SWAT به عنوان یک مدل شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های کشاورزی، انرژی و جنگل‌ها و بررسی اقدامات سازگاری بر بخش‌های یاد شده، استفاده شده است. در مطالعهٔ دیگری توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در تعدادی از حوضه‌های بزرگ آمریکا نیز این مدل به همراه مدل HSPF برای شبیه‌سازی اثرات عوامل مختلف اقلیمی و انسانی بر کمیت و کیفیت آب و تحلیل راهکارهای مدیریتی مورد استفاده قرار گرفت (Butcher و همکاران، ۲۰۱۰). در پروژه MICCI[۱۱] در کشور هند نیز که با حمایت انجمن تحقیقات محیط‌زیست طبیعی انگلستان (NERC) و وزارت علوم زمین هند در سال ۲۰۱۲ انجام شد، به منظور بررسی اثرات عوامل اقلیمی بر بخش کشاورزی و ارزیابی راهکارهای مدیریت آبیاری، از مدل‌های جامع استفاده گردید. در این مطالعه طیف متنوعی از اقدامات سازگاری در بخش کشاورزی شامل تغییر راندمان آبیاری، تغییر الگوی کشت و کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. بانک جهانی هم در پروژه‌ای تحت عنوان «ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی» از مدل‌های جامع به عنوان مدل شبیه‌ساز استفاده نمود. این پروژه در کشورهای مختلفی از جمله هند و برزیل (Sanghi و Mendelsohn، ۲۰۰۸)، چین (Wang و همکاران، ۲۰۱۴)، کامرون (Molua و Lambi، ۲۰۰۷)، مصر (Eid و همکاران، ۲۰۰۷)، سریلانکا (Kurukulasuriya و Ajwad، ۲۰۰۷) و همچنین در سطح قاره آفریقا (Kurukulasuriya و همکاران، ۲۰۰۶) و آمریکای لاتین (Seo و Mendelsohn، ۲۰۰۸) انجام شد و نتایج مطالعات حاکی از قابلیت و انعطاف‌پذیری مناسب این‌گونه مدل‌ها در بکارگیری در مطالعات مختلف مدیریت منابع آب است. در جدول (۱) نیزکاربرد مدل‌های جامع در برخی از مطالعات منابع آبی مهم در سطح جهان آمده است. توانایی این طیف از مدل‌ها در مسائل مختلف آبی و شبیه‌سازی طیف متنوعی از راه‌کارهای مدیریتی، به خوبی در این جدول قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱- نحوه بکارگیری مدل‌های شبیه‌سازی جامع در برخی از مطالعات منابع آبی

سازمان مطالعه‌کننده	منطقه مورد مطالعه	اهداف	راهکارهای شبیه‌سازی شده	مدل‌های مورد استفاده	مراجع
بانک جهانی (۲۰۰۷-۲۰۱۴)	هند، برزیل، مصر، چین، آمریکا، کامرون، سریلانکا، آمریکای لاتین، قاره آفریقا	شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و سیستم‌های کشاورزی وابسته	تغییر الگو و جایگزینی کشت، تغییر الگوهای آبیاری و کوددهی، تغییر تقویم کشت	EPIC, SWAT	Sanghi و Mendelsohn، (۲۰۰۸)؛ Wang و همکاران، (۲۰۱۴)؛ Molua و Lambi، (۲۰۰۷)؛ Eid و همکاران، (۲۰۰۷)؛ Ajwad و Kurukulasuriya، (۲۰۰۷)؛ Kurukulasuriya و همکاران، (۲۰۰۶)؛ Seo و Mendelsohn، (۲۰۰۸)
موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، ۲۰۱۴	حوضه Koshi در کشور نپال	شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و شرایط توسعه‌ای حوضه	بررسی اثرات توسعه سازه‌ای نظیر سدهای بزرگ و کوچک در کاهش اثرات تغییر اقلیم	SWAT	Bharati و همکاران (۲۰۱۴)
دپارتمان حفاظت محیط زیست نیویورک (DEP)، ۲۰۰۸	حوضه آبریز NYC آمریکا	بررسی اثرات مدیریتی و اقلیمی بر تغذیه‌گرایی مخازن سطحی	مدیریت بهره‌برداری از مخازن	GWLF-VSA, SWAT, CEQUAL-W2, OASIS	Webster (۲۰۰۸)
دپارتمان انرژی آمریکا، ۲۰۱۴	جهانی	بررسی عوامل تغییرات جریانات سطحی و تغذیه آب زیر زمینی	مدیریت برداشت آبی	WEAP, SWAT	Hejazi و همکاران (۲۰۱۴)
آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، دپارتمان انرژی آمریکا، سازمان علوم ملی آمریکا، ۲۰۱۴	جهانی	شبیه‌سازی اثرات انسانی و اقلیمی بر منابع آب و شرایط توسعه‌ای	مدیریت سطح کشت و الگوی کشت	Aquacro, SWAT	Schlosser و همکاران (۲۰۱۴)

ظرفیت‌های مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جامع در پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور

تأکید برنامه‌های توسعه پنج سالهٔ کشور و همچنین اسناد ملی بالادستی بر مدیریت به هم پیوسته منابع آب در کشور، ضرورت انجام مطالعات لازم به منظور بسترسازی اجرای این نوع مدیریت را آشکار می‌سازد. در این راستا توسعه و بکارگیری مدل‌های شبیه‌سازی جامع در شرایط اطلاعاتی کشور و توسعه دانش بومی در این زمینه را می توان به عنوان بستر مناسبی جهت پشتیبانی از این نوع مدیریت و اتخاذ تصمیمات واقع‌بینانه تر در مدیریت منابع آب کشور قلمداد کرد. توسعه و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی جامع به عنوان یک سامانه یکپارچه و قابل اتکای پشتیبانی از تصمیم، می‌تواند نقش مهمی در پاسخگویی به بسیاری از سؤالات کلیدی در مدیریت به هم پیوسته منابع آب را فراهم نماید، که از جمله این قابلیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. امکان شبیه‌سازی برهمکنش و تحلیل تغییرات کلیه مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه در شرایط متنوع اقلیمی و مدیریتی در بخش‌های مختلف حوضه و در دوره‌های مختلف زمانی.

۲. امکان محاسبه پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر و تغییرات آن در دوره‌های زمانی مختلف.

۳. امکان تفکیک منابع آب سبز و آبی و میزان بهره‌برداری از آن‌ها در بخش‌های مختلف و در دوره‌های زمانی مختلف.

۴. امکان تفکیک اثرات عوامل انسانی و اقلیمی بر شرایط هیدرولوژیکی.

۵- امکان سناریوسازی و بررسی طیف متنوعی از راهکارهای مدیریتی در حوزه آب.

۶-کاهش هزینه‌هایی که هر از چند سال یکبار برای آماربرداری صورت می‌گیرد.

۷-شبیه‌سازی و ارزیابی تبعات جانبی برنامه‌ها و طرح‌های توسعه برهم (مانند اثرات جانبی توسعهٔ سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی و حقابه‌های محیط‌زیستی).

پی‌نوشت

1-Data-driven models
2-Black-box
3-Empirical models
4-Physically based hydrological models
5-Conceptual hydrologic models
6-Lumped
7-Distributed
8-Semi-distributed
Integrated conceptual model 9-
10-Climate Change – Terrestrial Adaptation & Mitigation in Europe

منابع

Bharati L., Gurung P., Jayakody P., Smakhtin V. and Bhattarai U. 2014. The projected impact of climate change on water availability and development in the Koshi Basin, Nepal. Mountain Research and Development, 34(2): 118-130.

Beven K. J. 2012. Rainfall-runoff modelling: the primer. John Wiley & Sons, Ltd. DOI:10.1002/9781119951001.

Butcher J. B., Parker A., Johnson T., and Weaver C. P. 2010. Nationwide watershed modeling to evaluate potential impacts of climate and land use change on hydrology and water quality. In Watershed modeling, proceedings of the 2010 watershed management conference (pp. 1078-1089). Madison, WI: ASCE.

Eid H. M., El-Marsafawy S. M., and Ouda S. A. 2007. Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: a Ricardian approach. World Bank Policy Research Working Paper, (4293).

Grayson R. and Blöschl G. (Eds.). 2000. Spatial patterns in catchment hydrology: observations and modelling. CUP Archive. cambridge university press. The Edinburgh Building, Cambridge, United Kingdom.

Hejazi M.I., Edmonds J., Clarke L., Kyle P., Davies E., Chaturvedi V., Wise M., Patel P., Eom J. and Calvin K. 2014. Integrated assessment of global water scarcity over the 21st century under multiple climate change mitigation policies. Hydrology and Earth System Sciences, 18(8):2859-2883.

Kurukulasuriya P. and Ajwad M.I. 2007. Application of the Ricardian technique to estimate the impact of climate change on smallholder farming in Sri Lanka. Climatic Change, 81:.39-59.

Kurukulasuriya P., Mendelsohn R., Hassan R., Benhin J., Deressa T., Diop M., ... and Dinar A. 2006. Will African agriculture survive climate change?. The World Bank Economic Review, 20(3): 367-388.

Molua E. and Lambi C.M. 2007. The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team. Policy Res. Work, p.4364.

Sanghi A. and Mendelsohn R. 2008. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. Global Environmental Change, 18(4): 655-665.

Seo S.N. and Mendelsohn R. 2008. Measuring impacts and adaptations to climate change: a structural Ricardian model of African livestock management1. Agricultural economics, 38(2): 151-165.

Schlosser C.A., Strzepek K., Gao X., Fant C., Blanc É., Paltsev S., Jacoby H., Reilly J. and Gueneau A. 2014. The future of global water stress: An integrated assessment. Earth's Future, 2(8): 341-361.

Wang X. 2014. Advances in separating effects of climate variability and human activity on stream discharge: An overview. Advances in Water Resources, 71: 209-218.

Webster M. 2008. Incorporating path dependency into decision-analytic methods: An application to global climate-change policy. Decision Analysis,5(2): 60-75.