Archive of SID

نوزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی ،معماری،عمران ومحیط زیست

مروری بر کیفیت آب در مقیاس حوضه و مدل های آلودگی منابع غیر نقطه ای

مهرتاش اسکندری پور[۱]، شاهرخ سلطانی نیا[۲*]

۱- دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان،

۲- دکترای علوم محیط زیست، دانشکده عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

niasarm@yahoo.com

چکیده

مدل های آلودگی منبع غیر نقطه ای (NPS) در مقیاس آبخیز ابزاری مهم برای درک ، ارزیابی و پیش بینی تأثیرات منفی آلودگی NPS بر کیفیت آب شده اند. امروزه مدل های NPS زیادی برای کاربران در دسترس است. با این حال ، انواع مختلف مدل ها دارای فرم و ساختار متفاوت و همچنین پیچیدگی محاسبات هستند. این امر برای کاربران دشوار است تا مدلی مناسب را برای یک برنامه خاص بدون درک دقیق محدودیت ها یا نقاط قوت برای هر مدل یا ابزار انتخاب کنند. این مقاله ۱۴ مدل آلودگی NPS در مقیاس آبخیز را ارزیابی می کند که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرد تا چگونگی و زمان استفاده از این مدل های مختلف را برای یک تلاش خاص مناسب توصیف کند. مدل هایی که ارزیابی می شوند ، ظرفیت های گسترده ای دارند که شامل مدل های ساده ای است که به عنوان ابزار غربالگری سریع مورد استفاده قرار می گیرند (به عنوان مثال ، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی بلند مدت (L-THIA) و ابزار مقایسه آلودگی و فرسایش منبع غیر نقطه ای (N-SPECT / OpenNSPECT) مدل های با پیچیدگی متوسط که نیاز به ورود جزئیات داده ها و واسنجی محدود دارند (به عنوان مثال ، عملکرد بارگیری آبخیز عمومی (GWLF) ، مدل بارگیری و مدیریت منبع (SLAMM) و قالب مدیریت ریسک تجزیه و تحلیل حوضه (WARMF)) ، مدل های پیچیده ای که شبیه سازی پیچیده ای را برای فرآیندهای آلودگی NPS با داده های فشرده و واسنجی دقیق ارائه می دهند (به عنوان مثال ، مدل آلودگی منبع غیر نقطه ای کشاورزی (AGNPS / AnnAGNPS) ، ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) ، مدل مدیریت آب طوفان (SWMM) و برنامه شبیه‌سازی هیدرولوژیکی فورترن (HSPF) و سیستم های مدلسازی که انواع مختلفی از مدل ها و ابزارهای فرعی را ادغام می کنند و حاوی بالاترین پیچیدگی برای حل تمام مراحل هیدرولوژیک هستند.این مقاله بیشتر معیارهای اساسی برای انتخاب مدل ، از جمله ملاحظات مکانی و زمانی ، واسنجی و اعتبار سنجی ، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و جهت تحقیق آینده مدل های آلودگی NPS را توضیح می دهد.

کلمات کلیدی: مدل سازی حوزه آبخیز؛ کیفیت آب؛ آلودگی منبع غیر نقطه ای؛ انتخاب مدل؛ تجزیه و تحلیل عدم قطعیت

۱- مقدمه

آلودگی منبع غیر نقطه ای (NPS) منبع عمده از آلودگی آب در جهان است. در عمل ، یک حوضه آبریز واحد اساسی نظارت و مدیریت آلودگی NPS است. برای درک بهتر مکانیسم ها و فرآیندهای پیچیده آلودگی NPS ، مدل ها و ابزارهای مختلف NPS در مقیاس حوزه آبخیز برای درک آلودگی NPS و ارزیابی کیفیت آب تولید شده است. این مدل ها و ابزارهای NPS به طور گسترده ای برای شناسایی مناطق مهم منبع آلاینده ها ، ارزیابی اثرات آلودگی NPS بر محیط آب ، ارزیابی سناریوهای آینده از هیدرولوژی و کیفیت آب استفاده می شود ، در برنامه ریزی و اجرای بهترین روشهای مدیریتی (BMPs) کمک کنید

www.SID.ir

Archive of SID

، از توسعه معیارها یا استانداردهای کیفیت آب پشتیبانی کنید ، و پشتیبانی تصمیم گیری آگاهانه را برای سیاستگذاران فراهم کنید. مدل ها در تلاش برای کاهش اثرات سو آلودگی NPS به ابزاری اساسی تبدیل شده اند. با این حال ، تنوع فعلی مدل های آلودگی NPS انتخاب مناسب ترین مدل برای یک مسئله آلودگی NPS را دشوار می کند(Tsihrintzis and Hamid, 1997a).

تنوع مدلهای فعلی از تاریخچه مدیریت حوزه های آبخیز و مطالبات برنامه ریزی ناشی می شود. با توسعه نظریه مدل ، فن آوری رایانه ای و قوانین زیست محیطی ، مدل های زیادی برای کیفیت آب و آلودگی NPS توسعه یافته یا در مدل های حوزه آبخیز (مانند مدل های هیدرولوژی یا مدل های رواناب بارش) ادغام شده اند. این مدل ها از حوضه آبریز به عنوان واحد اساسی مکانی برای شبیه سازی فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی ، هیدرولیکی ، فرسایش خاک ، انتقال رسوب و پراکندگی مواد مغذی استفاده می کنند که حساب های مربوط به آبهای سطحی ، آبهای زیرزمینی و برهم کنش آنها به عنوان یک سیستم کل است(Tsihrintzis and Hamid, 1997a). مدل استنفورد آبخیزداری ، که در سال ۱۹۵۹–۱۹۶۶ ساخته شد ، اولین مدل رایانه ای بود که تجزیه و تحلیل و مدل سازی هیدرولوژیکی حوزه را انجام داد و متعاقباً به برنامه معروف برنامه شبیه‌سازی هیدرولوژیکی فورترن (HSPF) در دهه ۱۹۷۰ تبدیل شد . بیشتر مدلهای فعلی آلودگی NPS مانند HSPF ، ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) ، مدل آلودگی منبع غیر نقطه ای کشاورزی (AGNPS) ، ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی بلند مدت (L-THIA) ، عملکرد بارگذاری آبخیزداری تعمیم یافته (GWLF) ، مدل بارگیری و مدیریت منبع (SLAMM) ، مدل مدیریت آب باران (SWMM) و منابع ارزیابی نقطه ای و غیر نقطه ای علوم سنجش بهتر [BASINS] در طی سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ توسعه یافته است. در این دوره ، مدل های NPS به صورت جداگانه برای حل یک مسئله خاص حوزه آبخیز توسعه داده شدند. پس از دهه ۹۰، به تدریج کاربرد جامع مدل ها ، پایگاه های داده ، نمایش تجسم نتایج به راه حلی گسترده برای حمایت از تصمیمات مربوط به آلودگی NPS در مقیاس حوزه آبخیز تبدیل شد. پیشرفت های زیادی در دسترسی به داده ها و وضوح داده ها (به عنوان مثال GIS ، سنجش از دور و فناوری حسگر الکترونیکی) و ادغام بین تحقیقات آلودگی NPS و سایر روش های داده محور مانند هوش مصنوعی (به عنوان مثال ، شبکه عصبی مصنوعی) و یادگیری ماشین (به عنوان مثال ، ماشین بردار پشتیبانی) برای توسعه مدل آلودگی NPS معمول شده است(Overton and Meadows, 1976).

برخی از مقالات یا گزارش های مروری که در شناسایی مدل برای کیفیت آب و مشکلات آلودگی NPS کمک می کند ، در ادبیات علمی در دو دهه گذشته منتشر شده است. دلیمان و همکاران یازده مدل کیفیت آب حوضه آبخیز شامل اجزای هیدرولوژیکی ، رسوبات و آلودگی و کاربرد در نظر گرفته شده برای هر مدل را خلاصه کرد و این مدلها را به دو نوع (شهری و غیر شهری) بر اساس انواع کاربری اراضی تقسیم کرد. مدلهای شهری شامل مدل توزیعی مسیریابی ، بارش، و رواناب (DR3M) ، ذخیره سازی ، درمان ، مدل رواناب سرریز (STORM) و SWMM است. مدلهای غیر شهری عبارتند از مدل شیمیایی ، رواناب و فرسایش از سیستمهای مدیریت کشاورزی (CREAMS) / اثرات بارگیری آبهای زیرزمینی سیستم مدیریت کشاورزی (GLEAMS) ، محاسبه کننده تأثیر فرسایش / بهره وری (EPIC) ، شبیه ساز برای منابع آب در حوضه های روستایی (SWRRB) ، فرسایش آب پروژه پیش بینی (WEPP) ، مدیریت منطقه ریشه سموم دفع آفات (PRZM)، AGNPS، HSPF و SWAT. آنها با بررسی مدل ها ، دو مدل جامع HSPF و SWAT را به کاربران توصیه کردند. منبع آلودگی سالانه کشاورزی (AnnAGNPS) مدل آلودگی ، پاسخهای مداوم ، HSPF و SWAT برای تحلیل پاسخ هیدرولوژیک بلند مدت به شیوه های مدیریت کشاورزی مناسب هستند(Huber and Dickinson, 1988). هواپیماهای CASCade در ۲ بعد (CASC2D)، MIKE SHE و سیستم مدل سازی بارش-رواناب (PRMS) می توانند هر دو شبیه سازی رویداد طولانی مدت و منفرد را انجام دهند. آنها همچنین مبانی ریاضی این مدلهای مقیاس حوزه را مورد بحث قرار دادند. و پس از تجزیه و تحلیل کاربردهای هر مدل ، پیشنهاد کردند که SWAT، HSPF و DWSM به ترتیب سه

www.SID.ir

Archive of SID

مدل امیدوار کننده در حوضه های آبخیزداری عمدتا کشاورزی ، حوزه های آبخیز کشاورزی و شهری آمیخته و یک رویداد طوفان منفرد هستند. فو و همکاران سوابق انتشار ۴۲ مدل کیفیت آب و فرسایش خاک را بر اساس پایگاه داده ادبیات پژوهش Scopus بررسی و در مورد پنج مدل پرکاربرد (SWAT، HSPF ، منبع eWater ، مدل یکپارچه آبگیر (INCA)) ، فضایی رگرسیون مرجع در ویژگی های آبخیزداری (SPARROW)) را به تفصیل بحث کردند . آنها این پنج مدل را از نظر استفاده از مدل ، توسعه مدل و عملکرد مدل ، شامل نمایش فرآیند فیزیکی ، مقیاس مکانی و زمانی ، نیاز به داده ها ، واسنجی ، اعتبارسنجی و عدم قطعیت ، و همچنین چالش های آینده در زمینه مدل سازی کیفیت آب به ویژه مربوط به داده های بزرگ و پیش بینی های دقیق است(Jewell and Adrian, 1978).

با وجود مقالات مروری قبلی ، در مورد چگونگی انتخاب یک مدل مناسب برای اهداف مدیریت و برنامه ریزی حوزه های آبخیز ، راهنمایی محدودی وجود دارد. در این مقاله ، ۱۴ مدل آلودگی NPS در مقیاس حوضه آبخیز معمول که جریان ، رسوب و غلظت مواد مغذی یا بارها را پیش بینی می کنند و کیفیت آب حوضه برآورد شده مورد بررسی قرار گرفت. این مدل ها عبارتند از: AGNPS، BASINS، GWLF، HSPF، L-THIA، SLAMM، SWAT، SWMM ، ابزار ارزیابی آبخیزداری خودکار فضایی (AGWA) ، برنامه شبیه سازی بارگیری C (LSPC) ، آلودگی منبع غیر نقطه ای و فرسایش ابزار مقایسه (N-SPECT) ، قاب مدیریت ریسک تجزیه و تحلیل آبخیزداری (WARMF) ، مدل ارزیابی آبخیزداری (WAM) و سیستم مدل سازی آبخیزداری (WMS). این مدل ها با ویژگی های کلیدی خود از جمله کاربرد اصلی در نظر گرفته شده ، اجزای مدل ، نوع کاربری مناسب زمین ، انواع پارامترهای ورودی ، مقیاس های مکانی و زمانی ، آلاینده ها ، قدرت و ضعف ، توسعه دهندگان نرم افزار یا دسترسی و در دسترس بودن ، ارزیابی و تدوین شدند. مدل های فوق در چهار گروه طبقه بندی شدند: مدل های ساده ، مدل های پیچیدگی متوسط ، گره های پیچیده و سیستم مدل سازی. جزئیات مربوط به هر گروه در بخش ۲ توضیح داده شده است. بیشتر این مدلهای آلودگی NPS مورد بحث برای استفاده عمومی هزینه ای ندارند. از آنجا که این بررسی به زیرمجموعه ای از مدلهای شناخته شده آلودگی NPS در مقیاس حوزه آبخیز محدود می شود که در حال استفاده هستند ، بسیاری دیگر از مدلهای مفید آلودگی NPS در مقیاس میدانی و دریافت آبهای بدن یا مدلهای کیفیت جریان آب مانند سری QUAL و برنامه شبیه سازی تجزیه و تحلیل کیفیت آب (WASP) ، و سایر مدل های دیگر مانند پیش بینی هوشمندانه تأثیر استراتژی های مدیریت (مواد مغذی و آب) بر تلفات فسفر از سوی LEaching (ساده) و موارد دیگر در این بررسی گنجانده نشده است. در این مطالعه، ما یک ساختار طبقه بندی ساده از پیچیدگی مدل را توسعه می دهیم و نمونه های متداولی از مدل های کیفیت آب مبتنی بر حوزه را در این دسته های پیچیدگی ارائه می دهیم تا بینشی را برای کاربران و دست اندرکاران فراهم کنیم(Alley and Veenhuis, 1979; Ahmad, 1980; Alley, 1981; Bedient and Huber, 1988).

ما سعی کردیم نه تنها ویژگی های اصلی هر مدل حوزه را منعکس کنیم ، بلکه همچنین در مورد چالش های فعلی در انتخاب مدل مانند مقیاس مکانی و زمانی ، واسنجی و اعتبار سنجی و تحلیل عدم قطعیت بحث کردیم. ما همچنین در مورد مسیر بالقوه آینده تحقیق مدل آلودگی NPS بحث کردیم. این بررسی به مدلسازان کمک می کند تا بفهمند که چگونه این ابزارها باید در عمل به کار گرفته شوند و برای تمرین کنندگان حوزه آبخیزداری و برنامه ریزی تصمیم گیری آگاهانه هنگام انتخاب مدل مناسب برای کاربردشان در رابطه با کیفیت آب و آلودگی NPS مفید باشد.

۲- ارزیابی مدل آلودگی منبع غیر نقطه ای در مقیاس آبخیزداری

ارزیابی مدل آلودگی منبع غیر نقطه ای در مقیاس آبخیز مدل های NPS در مقیاس آبخیز را می توان با توجه به معیارهای مختلفی طبقه بندی کرد که شامل روش های مورد استفاده برای تعیین کمی فرآیندهای هیدرولوژیکی (به عنوان مثال ،

www.SID.ir

Archive of SID

تجربی ، مفهومی یا مبتنی بر فیزیک) ، تنوع مکانی پارامترهای ورودی (مقیاس های یکپارچه ، نیمه توزیع شده یا توزیع شده) ، مکانی و زمانی (به عنوان مثال ، کوچک ، مزرعه ای یا حوضه آبخیز ؛ شبیه سازی رویدادی یا طولانی مدت) ، یا عدم قطعیت تولید مدل (به عنوان مثال ، قطعی یا تصادفی) برای ساده سازی انتخاب مدل ، ما مدل ها را به چهار گروه طبقه بندی کردیم: مدل های ساده ، مدل های پیچیدگی متوسط ، مدل های پیچیده و سیستم های مدل سازی. این طبقه بندی ساختار ذاتی و فرم ابزارها و مدل ها و همچنین داده ها و نیازهای واسنجی لازم برای کاربرد مدل را در نظر می گیرد. این چارچوبی را فراهم می کند که به کاربر نهایی نیز کمک می کند تا برنامه و الزامات مناسب را درک کند(Zaghloul and Al-Shurbajia, 1990).

۲-۱- مدل های ساده

مدل های ساده حداقل نیاز به داده را دارند که شامل کاربری زمین ، خاک ، بارندگی و مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM) است (برای برخی مناطق خاص اختیاری است). این نوع مدل بر اساس رابطه تجربی یا آماری بین بارهای آلودگی یا غلظت ها ، کاربری اراضی ، بارندگی و حجم رواناب ساخته شده است. این مدل ها معمولاً از روش منحنی شماره حفاظت از خاک (SCS-CN) برای محاسبه رواناب خشکی استفاده می کنند و برای محاسبه بارگذاری آلودگی از ضریب صادرات یا روش غلظت میانگین رویداد (EMC) استفاده می کنند(Alley and Veenhuis, 1979). مدلهای ساده اغلب به عنوان ابزار غربالگری سریع برای بدست آوردن بار آلودگی ناخالص در خروجی یک حوضه آبخیز یا ارزیابی بارهای آلودگی متوسط در طولانی مدت برای یک حوزه آبخیز با اندازه متوسط یا بزرگ استفاده می شوند. اگرچه مدلهای ساده ای که در اینجا شرح داده شده می توانند اطلاعات کلی خوبی را با واسنجی کمی ارائه دهند ، برخی از اعتبارسنجی مدلها ترجیح داده می شود. مدل های ساده مسیر مکانی جریان ، رسوب و انتقال آلودگی را در نظر نمی گیرند و همچنین سرنوشت آلاینده ها و مکانیسم حمل و نقل در اجسام آب شامل نمی شوند. بنابراین ، این مدل ها ظرفیت محدودی برای شبیه سازی دقیق فرآیندهای هیدرولوژیکی و فیزیکوشیمیایی دارند. این ابزارها به تنهایی ممکن است برای کمک به تصمیمات کنترل آلودگی آب که نیاز به بینش در موقعیت ها یا مکانها برای اجرای اقدامات پیشگیرانه یا نظارتی دارند ، کافی نباشند. این ابزارها همچنین به تعداد کمی از آلاینده های شبیه سازی شده محدود می شوند. مدل های ساده می توانند ابزار قدرتمندی برای درک کلی بارها یا غلظت های آلاینده ها باشند اما از جزئیات در فرآیندهای فیزیکی آلودگی NPS غافل می شوند(Attanasio and Danicic, 1994).

۲-۱-۱-L-THIA (ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی طولانی مدت)

L-THIA (ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی طولانی مدت) که توسط دانشگاه پوردو تهیه شده است ، برای برآورد تأثیرات طولانی مدت تغییر کاربری اراضی در مناطق شهری یا حومه شهر بر رواناب های سطحی ، شارژ مجدد آب های زیرزمینی و آلودگی NPS طراحی شده است. L-THIA شامل سه نسخه است: مدل پایه L-THIA ، نسخه گسترده L-THIA در اینترنت اجرا می شود. ArcL-THIA ، ابزاری داخلی مبتنی بر ArcGIS ؛ و توسعه کم تأثیر L-THIA (LID) تأثیرات تغییر کاربری زمین و شیوه های LID بر رواناب شهری و کیفیت آب را تخمین می زند(Huber and Dickinson, 1988).

L-THIA برای ارزیابی سریع میزان رواناب سالانه متوسط و کمی کردن میزان آلاینده های NPS تخلیه شده در بدن در مناطق شهری و حومه ای طراحی شده است. L-THIA به ورودی داده فشرده نیاز ندارد و می تواند تجزیه و تحلیل سناریوی جایگزین آینده "چه شود اگر" را ارائه دهد. مدل L-THIA از هیدرولوژی و اجزای کیفیت آب تشکیل شده است. L-THIA از روش عدد منحنی رواناب (CN) برای تعیین رواناب مستقیم استفاده می کند و از روش EMC برای محاسبه بارهای سالانه آلاینده استفاده می کند.لیم و همکاران با استفاده از یک رویداد بارشی برای تخمین متوسط آلودگی NPS سالانه برای ۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

آلاینده ، این مدل را بهبود بخشید. آلاینده های گنجانیده شده توسط L-THIA شامل نیتروژن ، فسفر ، رسوبات معلق ، باکتریها و فلزات است(Alley and Veenhuis, 1979).

L-THIA با موفقیت برای ارزیابی آلودگی NPS در مکان های مختلف مانند ایالات متحده ، کره جنوبی و چین استفاده شد. ژانگ و همکاران از L-THIA برای ارزیابی توزیع فضایی آلودگی NPS در چینگدائو (۱۰۶۵۴ کیلومترمربع) چین استفاده کرد و تأیید کرد که L-THIA مدلی مطمئن برای ارائه تصمیم آگاهانه برای مدیریت و برنامه ریزی کاربری اراضی است.

به طور کلی ، L-THIA یک ابزار غربالگری سریع برای ارزیابی آلودگی NPS و ارزیابی کیفیت آب در مناطق شهری است. کاربرانی که دانش محدودی در مورد هیدرولوژی و محیط زیست دارند می توانند از مدل L-THIA نیز استفاده کنند. داده های مورد نیاز برای اجرای مدل ، به ویژه در ایالات متحده به راحتی قابل دستیابی است. کاربرد L-THIA به واسنجی محدود یا فقط محدودیتی نیاز ندارد که در حوزه های آبخیز در سراسر غرب میانه ایالات متحده اعمال شود. با این حال ، L-THIA فقط می تواند حجم رواناب سالانه و بارهای آلاینده ها را نشان دهد و مسیر فضایی جریان ، رسوبات و آلاینده ها را نادیده بگیرد. فرض این مدل شامل سرنوشت آلاینده و حمل و نقل در دریافت آب نیست. از آنجا که روش EMC خود غلظت آلودگی را با گذشت زمان ثابت می داند ، L-THIA نمی تواند منعکس کننده تغییر عملکرد مدیریت (به عنوان مثال ، کود) در زمین باشد ، و نه رابطه پویا بین جریان و غلظت فصلی یا متنوع را بیان می کند. اعتبارسنجی مدل L-THIA بدون داده های ویژه سایت که در آن مدل اعمال می شود، به ویژه در کاربرد حوزه ای بزرگ که ممکن است در استفاده از زمین ، پوشش زمین ، بارش ، خاک یا مکانهایی که ناهمگنی دارند پیش بارگیری شده با داده های توپوگرافی ، یک چالش مهم باقی می ماند(Miller, 1979; Tsihrintzis and Hamid, 1997b).

N-SPECT/OpenNSPECT-۲-۱-۲

N-SPECT (ابزار مقایسه آلودگی و فرسایش غیر نقطه ای) که توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) تهیه شده است ، به مدیران اجازه می دهد تا به سرعت روابط بین کیفیت بالقوه آب موجود در آب ، آلودگی NPS و فرسایش خاک در مناطق نزدیک ساحل را بررسی کنند.N-SPECT به عنوان افزونه افزونه ArcGIS کار می کند و آخرین نسخه N-SPECT با ArcGIS 9.3 سازگار است. با این حال ، کاربران باید قبل از اجرای این مدل مجوز ArcGIS و ابزار تحلیل مکانی آن را داشته باشند. برای گسترش دسترسی به کاربران بدون مجوز تجاری ArcGIS ، مرکز خدمات ساحلی ابزار NOAA OpenNSPECT را در سال ۲۰۱۱ ارائه داد. این ابزار نسخه رایگان و منبع باز ابزار N-SPECT است. OpenNSPECT ابزاری افزونه از MapWindow GIS منبع باز است و از نظر نظری همان N-SPECT را دارد. نرم افزار ، کتابچه راهنمای کاربر و اسناد OpenNSPECT در موجود است(Hardee et al. (1978, 1979), Miller et al. 1979).

ابزارN-SPECT / OpenNSPECT حجم رواناب ، عملکرد رسوب و بارها / غلظت آلاینده ها را تخمین می زند ، مناطق حساس به فرسایش خاک را مشخص می کند و تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر کیفیت آب تخمین می زند. این مدل می تواند در یک مرحله سالانه یا زمان رویداد در یک حوضه آبریز نزدیک ساحل متوسط به بزرگ کار کند و از تجزیه و تحلیل سناریوی "چه می شود" تحت شیوه های مختلف مدیریت استفاده از زمین پشتیبانی کند. در N-SPECT/OpenNSPECT ، از روش رواناب CN برای تخمین رواناب سطحی استفاده می شود. روش EMC برای محاسبه غلظت آلاینده استفاده می شود. برای تخمین میزان فرسایش و بارهای رسوبی از معادله تجدید نظر شده جهانی برای از بین رفتن خاک (RUSLE) و معادله جهانی از بین رفتن خاک (MUSLE) استفاده شده است. برای ارزیابی عملکرد رسوب از روش نسبت رسوب (SDR) استفاده می شود. سرانجام ، این مدل با مقایسه غلظت کل آلاینده های شبیه سازی شده با استانداردهای محلی کیفیت آب ، یک درجه بندی کلی کیفیت آب تولید می کند و این رتبه را به شبکه های رودخانه ای اختصاص می دهد. آلاینده های ارزیابی شده شامل نیتروژن کل (TP) ، فسفر کل (TP) ، مواد جامد معلق (TSS) ، روی

www.SID.ir

Archive of SID

و سرب هستند. مجموعه داده های ورودی شامل DEM ، کاربری زمین ، خاک ، شیب ، بارش ، بارش و فرسایش فرسایش (فاکتور R) ، ضرایب آلاینده های محلی و استانداردهای کیفیت آب است. خروجی مدل دارای حجم و عمق رواناب ، بارها و غلظت های آلاینده انباشته ، فرسایش خاک و عملکرد کل رسوب است(Mattraw et al. 1978).

N-SPECT / OpenNSPECT برای درک و ارزیابی اثرات شیوه های مدیریت کاربری زمین بر کیفیت آب ، به ویژه برای سلامت اکوسیستم نزدیک ساحل استفاده شد. ماینا و همکاران برای بررسی رابطه بین صخره های مرجانی و تغییر محیط در حوضه های آبخیز ساحلی، ابزار N-SPECT را برای تخمین بار رسوبی سالانه در واحد سطح در دو حوضه آبریز جزیره ماداگاسکار در استرالیا به کار بردند. باتلر و همکاران از مدل N-SPECT برای محاسبه حجم رواناب و تغییرات در تحویل سالانه کل N برای هر تجزیه و تحلیل سناریو در حوضه آبریز تالی ماری (Tully Murray) در استرالیا استفاده کرد. تولوچ و همکاران ضمن ارزیابی اثرات صنعت نخل روغن در سلامت اکوسیستم نزدیک ساحل در پاپوآ گینه نو ، از مدل OpenNSPECT برای شبیه سازی رواناب و تخلیه رسوب از حوضه آبخیز ایرلند نو (۷۴۰۴ کیلومتر مربع) استفاده کرد(Hamid 1995).

۲-۲-مدل های پیچیدگی متوسط

بر خلاف مدل های ساده مورد بحث در بالا ، مدل های پیچیدگی متوسط معمولاً به ورودی داده های نسبتاً دقیق مانند توپوگرافی ، کاربری زمین ، خاک ، آب و هوا و کیفیت آب نیاز دارند. نوع مدل معمولاً به عنوان سازش بین مدلهای ساده و مدلهای پیچیده مورد استفاده قرار می گیرد. مدل های پیچیدگی متوسط نه تنها فرایندهای اساسی حرکت آب و رسوب را در بر می گیرند ، بلکه روابط تجربی را نیز برای بیان بارهای مواد مغذی ترکیب می کنند. در همین حال ، از به کارگیری مدل پیچیده حوضه ای مبتنی بر فیزیک که به داده های فشرده نیاز دارد ، خودداری می کند. محاسبه رواناب سطحی بر اساس یک اصل تعادل آب است. مرحله زمانی برخی از مدل ها مقدار روزانه رواناب ، رسوب و بارهای مواد مغذی را تخمین می زند. اگرچه مدل های پیچیدگی متوسط نیاز به واسنجی دقیق ندارند ، اعتبارسنجی مدل نیز ارجح است. اکثر این مدل ها می توانند به توسعه معیارهای کیفیت آب کمک کنند و در مقایسه با مدل های پیچیده کار ساده ای دارند. با این حال ، این مدل ها ذاتاً قابلیت شبیه سازی برای سرنوشت جریان و انتقال آلاینده ها را محدود کرده اند و تعداد آلاینده های شبیه سازی شده نیز محدود است(Tsihrintzis and Hamid,1977).

۲-۲-۱-GWLF (عملکرد بارگیری آبخیزداری تعمیم یافته)

GWLF (عملکرد بارگیری آبخیزداری تعمیم یافته) ، که در ابتدا توسط Haith و Shoemaker ساخته شد ، برای تخمین جریان ماهانه ، رسوب و بارگذاری مواد مغذی مورد استفاده قرار می گیرد و به توسعه TMDL ها از یک حوزه شهری شهری یا کشاورزی با ترکیبات مختلف استفاده از زمین کمک می کند. آخرین نسخه GWLF در مدل Mapshed ادغام شده است که هم اکنون توسط دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا با دسترسی آنلاین در نگهداری می شود.

GWLF پارامترهای توزیع شده / توده ای را ترکیب می کند و جریان مداوم طولانی مدت ، رسوب و مواد مغذی بار را از سطح زمین به جریان ها بر اساس ورودی داده های روزانه آب و هوا تخمین می زند. GWLF می تواند بارهای مغذی حل شده و فاز جامد را در جریان جریان شبیه سازی کرده و منابع مختلف آلودگی مانند رواناب سطحی ، آبهای زیرزمینی و سیستم های سپتیک را در نظر بگیرد. در زمین های کشاورزی ، GWLF از روش CN برای محاسبه رواناب و بدست آوردن بارهای مغذی محلول با ضرب حجم رواناب در غلظت مواد مغذی محلول از هر نوع کاربری اراضی استفاده می کند.GWLF بارهای مواد مغذی فاز جامد را با ضرب عملکرد رسوب ماهانه در غلظت های متوسط رسوبات مواد غذایی محاسبه می کند. با

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از اصلاح معادله جهانی خاک و فرسایش (USLE) می توان فرسایش خاک را بدست آورد. عملکرد رسوب از فرسایش خاک ، ظرفیت انتقال رواناب و نسبت تحویل رسوب (SDR) تولید می شود. در زمین شهری ، GWLF رواناب را با SWMM و مدل STORM محاسبه می کند. بارهای آلاینده کاملاً فاز جامد در نظر گرفته می شوند و با توزیع نمایی و توابع شستشو محاسبه می شوند. در آبهای زیرزمینی ، بارهای آلاینده به صورت فضایی برای یک حوضه آبریز جمع می شوند و به عنوان محصول جریان زیر سطحی و میانگین غلظت عناصر غذایی حوزه محاسبه می شوند. ورودی های GWLF شامل بارندگی ، دما ، منابع رواناب و حمل و نقل و پارامترهای شیمیایی در یک گام زمانی روزانه است. خروجی های مدل شامل جریان ماهانه ، فرسایش ماهانه خاک و عملکرد رسوب ، بارهای TN و TP ماهانه در جریان ، تخلیه ماهانه آب زیرزمینی برای جریان ، فرسایش سالانه از هر نوع کاربری اراضی و بارهای TN و TP سالانه از هر نوع کاربری اراضی است(Doyle andMiller 1980).

۲-۲-۲- LSPC (بارگیری برنامه شبیه سازی C ++)

LSPC (Loading Simulation Program C ++) ، که توسط شرکت Tetra Tech Inc. با بودجه آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) توسعه یافته است ، یک نسخه C ++ از مدل HSPF است که می تواند هیدرولوژی و کیفیت آب را شبیه سازی کند. نسخه فعلی LSPC 5.0 است که در سال ۲۰۱۵ منتشر شد. کاربران می توانند فایل های قابل نصب LSPC 5.0 و کتابچه راهنمای کاربر آن را از لینک بارگیری کنند(Wanielista, 1990).

از آنجا که LSPC کد اجزای HSPF انتخاب شده را در C ++ بازنویسی می کند ، مدل دارای الگوریتم اصلی مشابه HSPF است. ویژگی های اصلی جدید LSPC شامل یک ساختار مدولار ، یک فرم سازماندهی پرونده ورودی ، تقسیم مدل ، ارتباط هواشناسی ، ورودی / خروجی داده ، روال ها و سایر قابلیت هایی است که در HSPC وجود ندارد.LSPC می تواند جریان ، فرسایش خاک و حمل و نقل رسوبات ، کیفیت عمومی آب را از هر دو مناطق کمک کننده به ارتفاعات و دریافت آب های بدن ، و همچنین ماژول ها برای انتقال جریان ، محاسبه حداکثر بارهای روزانه (TMDL) و تخصیص منابع در یک حوزه آبخیز شهری یا کشاورزی را شبیه سازی کند. این مدل توسط بارش ساعتی هدایت می شود و می تواند رواناب های سطحی ساعتی و جریان های سطح زیرین را مدل کند. مقیاس مکانی برنامه LSPC برای یک حوضه آبخیز کوچک یا بزرگ متشکل از بیش از ۱۰۰۰ زیر آبخیز قابل اجرا است. از یک پایگاه داده Microsoft Access برای مدیریت داده ها و پرونده های آب و هوا با فرمت ASCII استفاده می شود. اجزای اصلی LSPC شامل هیدرولوژی ، برف ، دما ، آبیاری ، رسوب و همچنین مدل های فرعی کیفیت آب مانند کیفیت عمومی (GQUAL) و کیفیت دستیابی (RQUAL) است. آلاینده های شبیه سازی شده شامل رسوبات ، مواد مغذی ، فلزات ، اکسیژن محلول (DO) ، تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی (BOD) ، پلانکتون ها و سایر آلاینده ها از سرزمین های غیرقابل نفوذ و غیر قابل نفوذ هستند. ورودی LSPC شامل DEM ، خاک ، کاربری اراضی و داده های هواشناسی است. این مدل یک سری زمانی از بارگذاری عناصر غذایی ، هیدروگرافها و تأثیرات بهترین روشهای مدیریتی از پیش تعیین شده (BMP) را تولید می کند(EPA, 1983).

LSPC یک مدل هیدرولوژیکی آبخیزداری کارآمد و انعطاف پذیر برای کیفیت آب است. شن و ژائو از LSPC برای مدلسازی رواناب سطحی و جریان زیرزمینی استفاده کردند و باکتری ها منبع غیر نقطه ای بارگذاری را در حوضه آبخیز شعبه پایین ساندی (۶,۹ کیلومتر مربع) در ویرجینیا تخمین زدند. آنها دریافتند که LSPC می تواند جریان منطقی را طی یک دوره ۱۰ ساله شبیه سازی کند. هوانگ و شیانگ از LSPC برای بررسی منبع نقطه ای و آلودگی NPS حوضه مخزن پانجیاکو (۴۲۴۴۳ کیلومتر مربع) در شمال چین استفاده کردند. آنها نشان دادند که مدل توسعه یافته بر اساس LSPC از دقت کافی در نمایش مشخصات هیدرولوژیکی حوزه برخوردار است.LSPC به منظور تسهیل مدیریت داده ها ، سازماندهی و مدل سازی

www.SID.ir

Archive of SID

برای یک حوضه آبخیز پیچیده مانند مقیاس محدوده شهری (به عنوان مثال ، ایالت یا استان) طراحی شده است(Tsihrintzis and Hamid, 1997b).

۲-۲-۳-SLAMM (مدل بارگیری و مدیریت منبع)

SLAMM (مدل بارگیری و مدیریت منبع) که در ابتدا توسط رابرت پیت و جان وورهیس ساخته شد ، یک مدل برنامه ریزی مدیریت و شناسایی منطقه منبع آلاینده برای رواناب فاضلاب شهری است. آخرین نسخه SLAMM یک نسخه WinSLAMM 10.4.1 مبتنی بر ویندوز است که در سال ۲۰۱۹ منتشر شد و به طور مشترک توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) و وزارت منابع طبیعی ویسکانسین توسعه یافته است.

SLAMM / WinSLAMM مدل کیفیت مداوم طوفان شهری مبتنی بر رویداد و ابزار برنامه ریزی است که می تواند تخلیه رواناب و بارهای آلاینده را برای هر منطقه منبع در هر نوع کاربری اراضی پیش بینی کند. این مدل روابط بین مناطق منبع آلاینده های شهری و کیفیت رواناب طوفان، از جمله ارزیابی سهم مناطق منبع ، تخمین تخلیه خروجی آب طوفان ، شستشوی ذرات معلق ، روش های کنترل آب طوفان و پیش بینی غلظت و بار آلاینده ها، را بررسی می کند . انواع کاربری زمین شهری در SLAMM شامل مسکونی ، سازمانی ، تجاری ، صنعتی ، فضای باز و آزادراه ها و مربوط به ۱۴ منطقه منبع برای هر کاربری زمین است. SLAMM با استفاده از حجم تخلیه و غلظت مواد جامد معلق هنگام خروج ، غلظت و میزان آلاینده ها را محاسبه می کند. آلاینده های شبیه سازی شده شامل ذرات معلق ذرات معلق ، P، TKN، COD ، فلزات و باکتری های کلی فرم مدفوع هستند. داده های ورودی شامل طوفان ، توزیع احتمال آلاینده ، ضریب رواناب ، غلظت ذرات معلق ، تحویل خیابان در انواع مختلف کاربری زمین ، توزیع اندازه ذرات در هر منطقه منبع و اوج جریان نسبت جریان متوسط است. داده های خروجی شامل خلاصه رواناب و جریان ، مجموع طغیان و مساحت منبع ، مناطق منبع با استفاده از زمین و ریزش برای هر باران است. بهبود WinSLAMM شامل ردیابی توزیع اندازه ذرات آلودگی از طریق شبکه جریان و گزارش کاهش آلاینده ها از هر نوع کاربری زمین و دستگاه کنترل است(Warwick and Tadepalli 1991).

SLAMM / WinSLAMM قابلیت اطمینان خود را در پیش بینی تأثیرات کنترل آب طوفان بر جریان ها و بارهای آلاینده نشان داده است. هرلی و فورمن از WinSLAMM برای ارزیابی احتمالی کاهش فسفر به رودخانه چارلز در سایت نهادی پردیس آلستون (۰/۷۵ کیلومتر مربع) و منطقه صنعتی زکیم (۰/۸۱ کیلومتر مربع) در بوستون استفاده کردند. سلبیگ و همکاران WinSLAMM را برای تجزیه و تحلیل تأثیر و توزیع فضایی ذرات در آب طوفان بر اندازه مورد نیاز اقدامات کنترل آب طوفان در نظر گرفته شده برای رسیدن به هدف کاهش آلاینده ها استفاده کرد.

SLAMM / WinSLAMM در درجه اول به مشاهدات میدانی بستگی دارد تا تخمین نظری خالص که در عمل به طور گسترده تأیید نشده است. این مدل بر اساس نظریه هیدرولوژی طوفان کوچک با این مفهوم ساخته شده است که آلودگی آب طوفان در اثر وقایع بارانی مکرر ، کوچک یا متوسط ایجاد می شود. این مدل کنترل های مختلف طوفان را برای مجموعه طولانی باران در نظر گرفته است. این مدل به جای اینکه فقط آن را به عنوان بخشی از هیدرولوژیک یا هیدرولیک فیزیکی در نظر بگیرد ، شبیه سازی کیفیت آب را برجسته می کند. با این حال ، نسخه های فعلی WinSLAMM ذوب برف ، شرایط جریان پایه یا فرایندهای جریان را که می توانند آلاینده ها را حذف یا تغییر دهند در نظر نمی گیرند. همچنین ، این مدل نمی تواند فرسایش جمعی را از سایت های ساخت و ساز شهری شبیه سازی کند. علاوه بر این ، WinSLAMM یک نرم افزار عمومی نیست و مستندسازی راهنمای آن ساده است(Jewell et al. 1978).

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳-مدل های پیچیده

مدل های پیچیده می توانند فرایندهای آلودگی NPS را بر اساس فرایندهای فیزیکی ذاتی شبیه سازی کنند. این مدل ها به طور کلی هیدرولوژی ، فرسایش و فرآیند رسوب و سرنوشت و انتقال آلاینده های شیمیایی را با هم ادغام می کنند. داده های مورد نیاز برای این مدل ها معمولاً زیاد است. مدل های پیچیده برآورد رواناب ، فرسایش خاک ، رسوب و بار آلاینده ها را بر اساس در نظر گرفتن نظری جرم ، حرکت و انرژی در نظر می گیرند. مدل های پیچیده نه تنها می توانند طیف گسترده ای از مقیاس های هیدرولوژیکی و کیفیت آب را در مقیاس حوضه آبریز ، که شامل شبیه سازی کوتاه مدت و بلند مدت رواناب ، رسوبات و بارهای آلاینده است ، را فراهم کنند ، بلکه گزینه های مختلف الگوریتم را برای فرآیندهای مختلف فیزیکی برای دقت بیشتر توصیف ریاضی فرایندها به دست می دهند. این مدل ها باید قبل از استفاده در تصمیم گیری های مدیریتی ، با دقت واسنجی و اعتبارسنجی شوند ، زیرا ورودی ضعیف داده ها یا استفاده نامناسب از الگوریتم ها می تواند منجر به خطاهای بزرگی شود. این مدل ها مستندات مفصلی دارند که برای اعمال صحیح آنها اغلب به آموزش گسترده و / یا تجربه نیاز دارد. این مدلهای پیچیده برای هدایت محاسبات مدل ، به ورودی پارامترهای فشرده نیاز دارند که اغلب در بعضی مناطق در دسترس نیستند. تجزیه و تحلیل حساسیت دقیق پارامتر قبل از واسنجی مورد نیاز است ، و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت نتایج پس از اعتبار سنجی مورد ارزیابی قرار می گیرد. واسنجی و اعتبارسنجی مدل های پیچیده یک فرایند طولانی و وقت گیر است . برای استفاده از مدلهای پیچیده ، کاربران نهایی برای استفاده صحیح از این مدلها به مهارت ، آموزش کافی و تجربه نیاز دارند(Bedient and Huber 1988).

SWAT-۳-۲-۱

SWAT (ابزار ارزیابی خاک و آب) ، که توسط دکتر جف آرنولد برای USDA-ARS تهیه شده است ، مدل حوزه آبخیز پیوسته ، نیمه توزیعی و فیزیک-پایه است. مدل SWAT مرتباً به روز می شود ، SWAT2012 rev.670 ، هنگام انتشار این مقاله ، در اکتبر ۲۰۱۸ منتشر شد.

SWAT می تواند آبهای سطحی ، توسعه محصولات ، رسوبات ، عملکرد عناصر غذایی ، حمل و نقل سموم دفع آفات و تأثیر تغییر اقلیم و مدیریت زمین را بر اساس ورودیهای هیدرولوژیکی در یک حوزه آبخیز پیچیده و بدون آب تحت شرایط مختلف خاک ، پوشش گیاهی و کاربری اراضی ارزیابی کند . SWAT در مراحل زمانی روزانه یا ساعتی کار می کند و می تواند شبیه سازی طولانی مدت و مداوم را انجام دهد. مقیاس مکانی برنامه های کاربردی SWAT از حوضه آبخیز کوچک به کل قاره متغیر است.

در این ابزار یک حوضه آبریز به چندین زیر حوضه تقسیم می شود ، سپس یک زیر حوضه به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRUs) تقسیم می شود که در آن تمام مناطق زمین دارای استفاده از زمین همگن ، ویژگی های خاک و ترکیب شیب هستند. در هر واحد منابع انسانی ، اجزای هیدرولوژیکی برای آبهای سطحی ، خاک و آبهای زیرزمینی محاسبه می شوند. SWAT از روش SCS-CN یا روش نفوذ Green & Ampt برای تعیین حجم رواناب استفاده می کند و از فرمول منطقی یا روش TR-55 برای محاسبه میزان اوج جریان استفاده می کند. فرسایش خاک حاصل از بارندگی و رواناب با معادله اصلاح شده USLE محاسبه می شود. استفاده از زمین ، خاک ، هوا و توپوگرافی ورودی اولیه مورد نیاز SWAT است. خروجی SWAT شامل حجم آب است که جریان و رواناب سطح زیرزمینی و سطح زیرزمینی ، عملکرد رسوب ، ذخیره آب خاک ، تبخیر و تعرق و مواد مغذی را جمع می کند(Bedient and Huber 1988).

www.SID.ir

Archive of SID

SWMM-۲-۳-۲

SWMM (مدل مدیریت آب طوفان) ، که از سوی آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) توسعه یافته است، مدل کمیت و کیفیت رواناب رواناب توزیعی فیزیک-پایه است. آخرین نسخه مدل ۵،۱ است که یک نرم افزار مبتنی بر ویندوز است که در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است. دفترچه راهنما و فایلهای قابل نصب و نرم افزاری مدل در موجود است.

SWMM برای ارزیابی یک رویداد بارشی منفرد یا فرآیندهای مداوم بارندگی-رواناب طولانی مدت از مناطق اصلی شهری توسعه یافته است. کاربران می توانند از SWMM استفاده کنند تا: (۱) مولفه سیستم زهکشی را طراحی کنند. (۲) بارگذاری آلاینده NPS برای توسعه TMDL را محاسبه کنند. (۳) BMP و توسعه کم اثرات کنترل طوفان برای رسیدن به اهداف پایدار را برآورد کنند. (۴) سرریز فاضلاب ترکیبی و بهداشتی را ارزیابی کنند ؛ و (۵) تأثیر تغییر کاربری زمین در هیدرولوژی شهری را برآورد کنند.SWMM می تواند مقدار و کیفیت رواناب را برای مراحل زمانی ساعتی یا زیر ساعتی ردیابی کند. مقیاس مکانی برنامه های SWMM از مناطق جداگانه تا صدها هکتار متفاوت است. SWMM یک حوضه آبریز را به عنوان یک واحد هیدرولوژیکی اساسی به مجموعه ای از زیر آبگیرهای همگن تقسیم می کند. این مدل چندین فرآیند فیزیکی مانند رواناب سطحی ، نفوذ ، آبهای زیرزمینی ، مسیر یابی جریان ، مسیریابی کیفیت آب ، ذوب برف و حوضچه های سطحی را در نظر می گیرد. SWMM داده بارندگی با فرکانس ساعتی یا بیشتر را به عنوان ورودی اعمال می کند.SWMM برای مدل سازی کیفیت آب طوفان ، به تولید آلاینده های آلاینده در هر نقطه از حوضه آبریز ، به ورودی های تجمع و پارامترهای شستشو نیاز دارد. آلاینده های شبیه سازی شده شامل TN، TP، TSS ، مواد جامد قابل حل ، روغن / گریس ، BOD، COD ، جمع کل باکتری های کلی فرم، و سایر آلاینده های مشخص شده توسط کاربر هستند .

مدل SWMM معمولاً در تجزیه و تحلیل طغیان فاضلاب شهری ، کیفیت آب و انتقال آلاینده ها ، برنامه های اجرای TMDL ، اثرات شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی و اثربخشی LID استفاده شده است. نیازی و همکاران مروری ترکیبی کلی از برنامه های SWMM و تجزیه و تحلیل شکاف ارائه دادند.SWMM می تواند حمل و نقل هیدرولوژیکی و آلاینده ها را در حوضه های آبخیز پیچیده شهری شبیه سازی کند. SWMM می تواند بارندگی متغیر با زمان را در طی فرآیند شبیه سازی حساب کند. این مدل از سال ۱۹۷۱ تاکنون به طور مداوم ارتقا یافته است.یک محدودیت اصلی SWMM این است که به عنوان یک ابزار تحلیلی (نه یک ابزار طراحی) ، خروجی های کوچک (به عنوان مثال ، چاله یا ورودی) از دست دادن مستقیم را شبیه سازی نمی کند ، بلکه می تواند جمع شود(Liong et al. 1991).

۳-واسنجی و اعتبار سنجی

هدف اصلی از واسنجی ایجاد رابطه نقشه برداری بین مدل آلودگی NPS و دنیای واقعی فیزیکی است. هدف از واسنجی به حداقل رساندن خطای مدل بین نتایج شبیه سازی شده و داده های مشاهده شده با تنظیم مقادیر پارامتر ورودی انتخاب شده است. فرآیند واسنجی در نهایت ترکیبی از پارامترهای بهینه شده را پیدا می کند که باعث می شود مدل از دقت بالاتر و عدم قطعیت کمتری برخوردار شود. اعتبارسنجی با واسنجی فرآیند مشابهی دارد به استثنای استفاده از یک مجموعه داده مستقل از دوره متفاوت و پارامترهای چاه واسنجی نشده بدون تغییر. هدف از تأیید این است که اطمینان حاصل شود که مدل واسنجی شده می تواند تحت شرایط هیدرولوژیکی مشابه با واسنجی ، نتایج بدست آمده را به درستی ارزیابی کند.

مدلهای ساده به فرایندهای واسنجی و اعتبارسنجی نیاز ندارند (به عنوان مثال ، L-THIA، N-SPECT) زیرا این مدلها در یک فرآیند توسعه مدل به اندازه کافی در یک منطقه خاص تأیید شده اند. مدلهای ساده معمولاً به عنوان ابزاری برای ارزیابی سریع برای ارائه تخمین نسبی نسبی استفاده می شوند. اعتبارسنجی این مدل ها هنگامی توصیه می شود که در مناطق دیگری که تأیید نشده اند ، اعمال شوند. لیم و همکاران با برآورد رواناب و آلاینده ها در حوضه آبریز لیتر ایگل کریک (Litter Eagle Creek) در ایندیانا ، یک سیستک واسنجی اتوماتیک برای جستجوی ترکیبات بهینه CN تولید کرد. نویسندگان

www.SID.ir

Archive of SID

دریافتند که نتایج شبیه سازی شده هیدرولوژی و کیفیت آب می توانند پس از واسنجی به طور قابل توجهی بهبود یابند. مدل های ساده به دلیل سادگی ساختار مدل ، به واسنجی پارامترهای SCS-CN و / یا EMC محدود می شوند. از طرف دیگر ، اجرای مدلهای پیچیده NPS یا سیستم مدل سازی (یعنی AnnAGNPS، SWAT، SWMM، SWAT، WAM، BASINS، WMS) ورودی های پارامتری زیادی را شامل می شود ، اما بیشتر مقادیر پارامتر به دلیل تنوع مکانی دقیقاً مشخص نیستند و اندازه گیری مستقیم در دسترس نیست. بنابراین ، مدل باید این مقادیر پارامتر را از طریق واسنجی به دست آورد قبل از اینکه عملی به عنوان یک ابزار تصمیم گیری قابل استفاده باشد(Warwick and Tadepalli 1991).

مدلساز با تنظیم مقدار پارامتر و اجرای مداوم مدل ، فرآیندهای واسنجی پارامتر را انجام می دهد. روش های واسنجی یک مدل به طور معمول دارای دو روش دستی یا اتوماتیک است. واسنجی دستی به تجربه مدل ساز بستگی دارد زیرا جستجو و آزمایش همه ترکیبات پارامتر دشوار است. در بیشتر موارد ، هنگامی که آمار حاصل از عملکرد هدف ، هدف تعیین شده توسط مدل ساز را قبل از اجرای مدل برآورده کند ، روند واسنجی دستی متوقف می شود. کاربرد واسنجی دستی برای کاربران غیر متخصص پیچیده است. در مقابل ، واسنجی خودکار روشی تکراری است که می تواند با استفاده از جستجوی شبکه یا الگوریتم های دیگر و تنظیم دامنه مقدار جستجو از پارامترهای مختلف ، ترکیبات پارامتر بیشتری را امتحان کند. برخی از روش های واسنجی اتوماتیک مستقل و حرفه ای برای مدل خاص ایجاد شده اند تا کاربرد مدل های آلودگی NPS را تسهیل کرده و زمان واسنجی را کوتاه کنند. برنامه های واسنجی و عدم قطعیت SWAT (SWAT-CUP) یک برنامه نرم افزاری مستقل ، قوی و عمومی برای واسنجی خودکار پارامترها از مدل SWAT است که یکپارچه سازی اتصالات عدم قطعیت متوالی ۲ (SUFI2) ، برآورد عدم قطعیت احتمالات عمومی (GLUE) ، زنجیره مارکوف مونتو کارلو روشهای (MCMC) ، بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) و محلول پارامتر (ParaSol). تعداد پارامترهایی که می توانند توسط SWAT-CUP واسنجی شوند بیش از ۷۰۰ است. معرفی دقیق روش های مختلف واسنجی با SWAT-CUP توسط یانگ و همکاران ارائه شده است. SWAT-CUP تجزیه و تحلیل حساسیت ، واسنجی ، اعتبار سنجی و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را تسهیل می کند که تقریباً شامل کل پردازش پس از شبیه سازی SWAT است. بحث مفصل تری در مورد استفاده ، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT توسط آرنولد و همکاران ارائه شده است.علاوه بر این ، نرم افزار پشتیبانی پایگاه داده HSPF Parameter (HSPFParm) برای مدل HSPF طراحی شده است تا قبل از اجرای پیشرفت واسنجی HSPF مقدار اولیه و دامنه مورد انتظار پارامترها را شناسایی کند. سیستم خبره ای برای واسنجی HSPF (HSPEXP) برای تخمین خطای آماری برای شبیه سازی HSPF از هر پارامتر ورودی زمان ایجاد شده است ، که همچنین توصیه های تخصصی در مورد ترکیب پارامترهای بهینه شده برای بهبود واسنجی را ارائه می دهد. به عقیده دودا و همکاران ، روش HSPEXP فقط برای واسنجی دستی هیدرولوژی کار می کند ، نه برای واسنجی کیفیت آب ، و شبیه سازی برف را در نظر نمی گیرد(Linsley and Crawford,1974).

۳-۱-تجزیه و تحلیل عدم قطعیت

عدم قطعیت یک نقص طبیعی و ذاتی مدل ها است. عدم قطعیت از مدل های آلودگی NPS از سه جنبه ناشی می شود: عدم قطعیت ساختاری ، عدم قطعیت داده ها و عدم قطعیت پارامترها. طراحی مفهومی مدل ساده شده است بنابراین عدم قطعیت ساختاری را به همراه دارد. این ساده سازی ها یا فرض ها ، برخی فرایندهای فیزیکی رخ داده در یک حوزه را نادیده می گیرند. به عنوان مثال ، فرسایش بادی و فرایندهای رانش زمین به طور معمول در مدل های آلودگی NPS نادیده گرفته می شوند. علاوه بر این ، باعث عدم قطعیت نتایج شبیه سازی شده می شود زیرا مکانیزم و روند سرنوشت آلودگی و حمل و نقل در جریان ممکن است به طور کامل و صحیح در مدل های آلودگی NPS موجود در حال حاضر توصیف نشده باشد. علاوه بر این ، باعث عدم قطعیت نتایج شبیه سازی شده می شود زیرا مکانیزم و روند سرنوشت آلودگی و حمل و نقل در جریان ممکن است

www.SID.ir

Archive of SID

به طور کامل و صحیح در مدل های آلودگی NPS موجود در حال حاضر توصیف نشده باشد. عدم قطعیت ساختاری همچنین شامل برخی از وقایع ناشناخته به یک مدل ساز است اگر چه فرآیندهای موثر بر کیفیت آب در مدل مانند مخازن بالادست ، بهره برداری از سد و کوددهی در مزرعه گنجانده شده است.علاوه بر عدم قطعیت ساختاری ، برخی عدم قطعیت ها از اشتباهات داده های ورودی مانند DEM ، خاک ، بارندگی ، دما ، کاربری زمین و اندازه گیری های نقطه ای حاصل می شود ، این داده ها در مدل های پیچیده استفاده می شوند ، اما مقادیر آنها به ندرت دقیقاً مشخص است. به عنوان مثال ، عدم قطعیت مکانی بارندگی می تواند به ویژه در مناطق کوهستانی بسیار متفاوت باشد ، همچنین وضوح DEM و اندازه گیری خطای داده های نقطه ای تأثیر قابل توجهی بر عدم قطعیت مدل دارد. سرانجام ، عدم قطعیت پارامتر مسئله غیر منحصر به فرد بودن پارامتر را منعکس می کند. واضح است که راه حل بهینه شده برای واسنجی مدل هرگز منحصر به فرد نیست و ممکن است ترکیبی از پارامترهای مختلف نتایج شبیه سازی بسیار مشابهی داشته باشد. بنابراین ، برای مدل سازها بسیار مهم است که معانی فیزیکی ذاتی و دامنه ارزش پارامترهای اصلی را در مناطق تحقیقاتی خاص درک کنند. علاوه بر این ، عدم قطعیت از تعامل بین ساختار مدل ، داده های ورودی و پارامترها باعث عدم قطعیت پیچیده تری از نتایج ارزیابی شده از شبیه سازی آلودگی NPS می شود(Huber 1986).

تجزیه و تحلیل عدم قطعیت فرایندی برای تخمین تأثیر عدم قطعیت ساختاری ، ورودی داده ها و پارامترها بر نتایج مدل است. ارزیابی عدم قطعیت ساختاری مدل را می توان با تجزیه و تحلیل ویژگی های آماری از سری خطاهای تابع هدف تحت فرض بدون عدم قطعیت ورودی و پارامتر بدست آورد. روش معمول مقایسه سری خطای شبیه سازی شده از همان منطقه مورد مطالعه با مدلهای مختلف است. عدم قطعیت ورودی شامل توزیع فضایی بارندگی ، وضوح DEM و خطاهای اندازه گیری داده های نقطه ای است. تأثیر عدم قطعیت ورودی باران بر خروجی مدل بر تنظیم تراکم ایستگاه های بارندگی و توزیع فضایی آنها با مقایسه روشهای مختلف فضاسازی فضایی متمرکز است. تأثیر عدم قطعیت وضوح DEM بر خروجی مدل با تغییر اندازه شبکه DEM و مشاهده تغییر پارامتر استخراج زمین و خروجی مدل مورد مطالعه قرار می گیرد. تاکنون توجه زیادی به چگونگی تأثیر خطای اندازه گیری داده های نقطه ای بر عدم قطعیت مدل نشده است(Alley and Veenhuis, 1979; Ahmad, 1980).

۴-نتیجه گیری

این مقاله مروری خلاصه وار از ۱۴ مدل آلودگی NPS در مقیاس حوزه آبخیز را با ویژگی های اساسی مدل مانند استفاده در نظر گرفته شده ، اجزا / / قابلیت ها ، ساختار مدل ، کاربری اراضی قابل استفاده ، مقیاس مکانی و زمانی ، در دسترس بودن و همچنین نقاط قوت و محدودیت های هر مدل ارائه می دهد. دسته بندی ها ، مدل ساده (L-THIA، N-SPECT / OpenNSPECT) ، مدل پیچیدگی متوسط (GWLF، LSPC، SLAMM و WARMF) ، مدل پیچیده (AGNPS / AnnAGNPS، SWAT، SWMM، HSPF و WAM) و مدل سازی سیستم (AGWA، BASINS و WMS) برای راهنمایی کاربران در شناسایی مناسب ترین مدل برای پروژه خود استفاده می شود. یک مدل ساده به حداقل داده ها متکی است ، نیازی به واسنجی دقیق ندارد و معمولاً به عنوان یک ابزار غربالگری سریع برای ارزیابی آلودگی NPS عمل می کند. یک مدل پیچیدگی متوسط معمولاً برای مشکلات آلودگی منبع و غیر نقطه ای در حوزه های مختلف آبخیز قابل استفاده است. این مدل های پیچیدگی متوسط نیاز به ورودی دقیق داده ها اما حداقل نیاز به واسنجی دارند. آنها معمولاً به عنوان سازش بین مدلهای ساده و مدلهای پیچیده مورد استفاده قرار می گیرند. یک مدل پیچیده می تواند فرآیندهای پیچیده آلودگی NPS را در مقیاس های مختلف مکانی و زمانی نشان دهد و نیاز به ورود اطلاعات فشرده دارد. تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترها ، واسنجی ، اعتبار سنجی و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت باید هنگام استفاده از مدل های پیچیده انجام

www.SID.ir

Archive of SID

شود. یک سیستم مدل سازی به عنوان یک پلت فرم پشتیبانی تصمیم چند منظوره کار می کند که می تواند یک راه حل کامل از مسئله آلودگی NPS حوزه را فراهم کند ، اما کاربران برای استفاده مناسب باید دانش و فن حرفه ای عمیقی داشته باشند.

حذف یا عدم وجود هر یک از بسیاری از مدلهای مفید و ارزشمند در بررسی ما نباید به عنوان یک قضاوت تعبیر شود و ما خوانندگان را تشویق می کنیم که فراتر از تعداد محدود مدلهای مورد بحث در اینجا تحقیق کنند ، از جمله یک گزارش دولتی که اخیراً منتشر شده است و مدلهای محبوب مبتنی بر فراوانی انتشار آنها در ادبیات علمی (نگاه کنید به [۱۶۷]).

انتخاب مدل یک کار چالش برانگیز است و به عوامل مختلفی از جمله ماهیت موضوع حوزه آبخیز ، فرایندهایی که باید شبیه سازی شوند ، مقیاس مکانی و زمانی مطلوب ، نیاز به داده ها ، هزینه پروژه و غیره محدود می شود. جدول ۲ با نشان دادن یک طبقه بندی دقیق و مقایسه چندین مدل با ویژگی های اصلی ، برای انتخاب مدل مفید است. در میان این مدل ها ، AGNPS، SWMM و SLAMM برای یک شبیه سازی رویداد محور قابل استفاده هستند. AnnAGNPS، GWLF ، LSPC، L-THIA، N-SPECT / OpenNSPECT، WARMF و SWAT مناسب برای یک شبیه سازی مداوم و طولانی مدت است. HSPF، WAM، BASINS و WMS می توانند شبیه سازی کوتاه مدت و بلند مدت را انجام دهند.

برای اکثر مدل ها لازم است قبل از اینکه به طور عملی برای برنامه ریزی و مدیریت منابع آب حوزه استفاده شوند ، کاملاً واسنجی و اعتبارسنجی شوند. روش واسنجی دستی به کاربران غیر متخصص توصیه نمی شود. واسنجی خودکار می تواند به طور قابل توجهی عدم قطعیت مدل را کاهش دهد ، زمان واسنجی مدل را کوچک کند و به سرعت ترکیبات پارامتر بهینه سازی را پیدا کند. با این حال ، بیشتر مدلهای آلودگی NPS دارای روشهای واسنجی اتوماتیک مستقل و حرفه ای برای واسنجی مدل ، اعتبار سنجی و تحلیل عدم قطعیت نیستند. بنابراین ، ایجاد یک روش واسنجی اتوماتیک جهانی ، متقابل و خودکار که الگوریتم های پیشرفته جستجوی پارامترها را ادغام می کند ، یک مسیر امیدوار کننده خواهد بود.

از آنجا که عدم قطعیت یک ویژگی ذاتی و اجتناب ناپذیر در تمام مدل ها است ، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت هنوز یک منطقه مرزی در تحقیقات آینده مدل آلودگی NPS است. مطالعات فعلی عمدتاً بر عدم قطعیت پارامتر متمرکز هستند ، بنابراین باید در مطالعات کاهش عدم قطعیت مدل که از ساختار مدل و ورودی داده ناشی می شود ، تقویت شود ، از جمله برای توسعه اقدامات جدید تحقیق و ابداع روشهای ارزیابی عدم قطعیت. علاوه بر این ، جهت آینده مدل های آلودگی NPS شامل تقویت مطالعه مکانیسم فرآیندهای آلودگی NPS ، به ویژه برای برخی از آلاینده های خاص ، ساخت مدل ریاضی به روش صحیح تر توصیف فرآیندهای آلودگی است. کارهای بعدی همچنین در حال توسعه روش های جدید برای بهبود دقت کاربرد مدل های آلودگی NPS ، به ویژه در مناطقی است که اطلاعات محدودی دارند.

مراجع

1. Ahmad, M. (1980). `Methodology for lumped SWMM modeling', Proceedings of Stormwater Management Model (SWMM) Users Group Meeting, EPA, June 19±20. pp. 64±79.
2. Alley, W. M. (1981). `Estimation of impervious-area washo€ parameters', Wat. Resour. Res. AGU, 17, 1161±1166.
3. Alley, W. M. and Ellis, S. R. (1979). `Rainfall}runo€ modeling of ¯ow and total nitrogen from two localities in the Denver, Colorado,metropolitan area', Proceedings of Stormwater Management Model (SWMM) Users Group Meeting, EPA, May 24±25. pp. 363±401.
4. Alley, W. M. and Veenhuis, J. E. (1979). `Determination of basin characteristics for an urban distributed routing rainfall}runo€ model', Proceedings of Stormwater Management Model (SWMM) Users Group Meeting, EPA, May 24±25. pp. 1±25.

www.SID.ir

Archive of SID

5. Altman, G. D., Montgomery, R. G., King, T. I., and Patterson, C. W. (1993). `GIS and SWMM applications in developing the Lake Houston watershed management program', Proceedings of the National Annual Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, San Francisco, California, July 25±30. pp. 2239±2244.
6. Attanasio, R. and Danicic, D. (1994). `Comparing three stormwater pollutant load models', Public Works, April, 51±54.
7. Bedient, P. B. and Huber, W. C. (1988). Hydrology and Floodplain Analysis. Addison-Wesley Publishing Company, New York.
8. Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.
9. Doyle, H., Jr. and Miller, J. E. (1980). `Calibration of a distributed rainfall-runo€ model at four urban sites near Miami, Florida',Water-Resources Investigations, 80±1. US Geological Survey, NSTL Station, Mississippi 39529, USA, 87 p.Environmental Protection Agency (EPA), 1983. Results of the Nationwide Urban Runo€ Program, Vol. I±IV. Water Planning Division,WH-554, EPA, Washington, D.C.Environmental Protection Agency (EPA), 1990. National Water Quality Inventory Ð 1988 Report to Congress. O • ce of the WaterProgram Operations, Water Planning Division, Washington D.C.
10. Hamid, R. (1995). `Modeling of nonpoint source pollution from urban stormwater runo€ Ð applications to South Florida', MS Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Florida International University, Miami, Florida.
11. Hamid, R., Tsihrintzis, V. A., and Fuentes, H. R. (1995). `Model validation for runo€ pollution from urban watersheds', Proceedings of the 1995 National Conference on Water Resources Planning and Management, ASCE, Cambridge, MA, May 7±1. pp. 141±144.
12. Hardee, J., Miller, R. A., and Mattraw, H. C. (1978). `Stormwater • }runo€ data for a highway area, Broward County, Florida',US Geological Survey, Open-File Report 78±612. USGS, Tallahassee, FL 32303, USA, 166 p.
13. Hardee, J., Miller, R. A., and Mattraw, H. C. (1979). `Stormwater • }runo€ data for a multifamily residential area, Dade County, Florida',US Geological Survey, Open-File Report 79±1295. USGS, Tallahassee, FL 32303, USA, 68 p.
14. Huber, W. C. (1986). `Deterministic modeling of urban runo€ quality', in Torno, H. C., Marsalek, J., and Desbordes, M. (Eds). Urban Runoff Pollution, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Runo€ Pollution, Series G: Ecological Sciences,Vol. 10. Springer-Verlag, New York. pp. 167±242.
15. Huber, W. C. and Dickinson, R. E. (1988). Storm Water Management Model, Version 4: Users Manual, EPA 600/3-88/001a.Environmental Research Laboratory, EPA, Athens, Georgia.
16. Huber, W. C., Heaney, J. P., and Cunningham, B. A. (1985). Storm Water Management Model (SWMM) Bibliography, EPA/600/3-85/077 (NTIS PB86-136041/AS). Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, September.
17. James, L. D. and Burghes, S. J. (1982). `Selection, calibration, and testing of hydrologic models', in Haan, C. T., Johnson, H. P., and Brakensiek, D. L. (Eds), Hydrologic Modeling of SmallWatersheds, ASAE Monograph #5, St. Joseph, MI 49085, USA. pp. 435±472.
18. Jewell, T. K. and Adrian, D. D. (1978). `SWMM stormwater pollutant washo€ functions', J. Environ. Eng. Div., ASCE, 104, 1036±1039.
19. Jewell, T. K., Nunnon, T. J., and Adrian, D. D. (1978). `Methodology for calibrating stormwater models', J. Environ. Eng. Div., ASCE,104, 485±501.
20. Lee, F. and Jones-Lee, A. (1994). `Are real water quality problems being addressed by current structural best management practices,Public Works, November, 53±55.
21. Linsley, R. K. and Crawford, N. H. (1974). `Continuous simulation models in urban hydrology,' Geophys. Res. Lett., 1, 59±62.
22. Liong, S. Y., Chen, W. T., and Lum, L. H. (1991). `Knowledge-based system for SWMM runo€ component calibration', J. Wat. Resour.Plan. Manage., ASCE, 117, 507±524.
23. Lundgren, P. S. and Barber, M. E. (1993). `Development of an expert system for urban runo€', Proceedings of the Symposium onEngineering Hydrology, ASCE, San Francisco, California, July 25±30. pp. 1084±1089.
24. Mattraw, H. C., Hardee, J., and Miller, R. A. (1978). `Urban stormwater runo€ data for a residential area, Pompano Beach, Florida',US Geological Survey, Open-File Report 78±324. USGS, Tallahassee, FL 32303, USA, 108 p.
25. Miller, R. A. (1979). `Characteristics of four urbanized basins in South Florida', US Geological Survey, Open-File Report 79±694. USGS,Tallahassee, FL 32303, USA, 45 p.
26. Overton, D. E. and Meadows, M. E. (1976). Stormwater Modeling. Academic Press, New York.

www.SID.ir

Archive of SID

27. Tsihrintzis, V. A. and Hamid, R. 1997a. `Modeling and management of urban stormwater runoff quality: review', Wat. Resour.Manage., EWRA, 11(2), 137±164.
29. Tsihrintzis, V. A. and Hamid, R. (1997b). `Urban stormwater quantity/quality modeling using the SCS method and empirical equations',J. American Wat. Resour. Assoc., AWRA, 33(1), 163±176.
30. Tsihrintzis, V. A., Fuentes, H. R., and Hamid, R. (1994). `Development of an experimental watershed for testing non-point source pollution from urban runoff', Proceedings of the 1994 National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, Bualo, New York,August 2±4. pp. 1237±1241.
31. Tsihrintzis, V. A., Hamid, R., and Fuentes, H. R. (1995). `Calibration and veri®cation of watershed quality model SWMM in sub-tropical watersheds', Proceedings of the First International Conference on Water Resources Engineering, ASCE, San Antonio, Texas,August 14±18. pp. 373±378.
32. Tsihrintzis, V. A., Fuentes, H. R., and Gadipudi, R. (1996). `Modeling prevention alternatives for nonpoint source pollution at a well®eld in Florida', Wat. Resour. Bull., AWRA, 32(2), 317±331.
33. Tsihrintzis, V. A., Fuentes, H. R., and Gadipudi, R. (1997). `GIS-aided modeling of nonpoint source pollution impacts on surface and ground waters', Wat. Resour. Manage., EWRA, 11(3), 207±218.
34. Wang, W. C. H. and Williams, S. D. (1989). `SWMM application in Indian River County, Florida', Proceedings of the National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, New Orleans, Louisiana, August 14±18. pp. 454±459.
35. Wanielista, M. P. (1976). `Nonpoint source effects', Report No. ESE1-76-1, prepared for the Florida State Department of Environmental Regulation. Florida Technological University, Environmental Systems Institute, Orlando, Florida.
36.Wanielista, M. P. (1990). Hydrology and Water Quantity Control. John Wiley & Sons, Inc., New York.
37.Wanielista, M. P. and Yousef, Y. A. (1993). Stormwater Management. John Wiley & Sons, Inc., New York.
38. Warwick, J. J. and Tadepalli, P. (1991). `Effcacy of SWMM Application', J. Wat. Resour. Plan. Manage., ASCE, 117, 352±366.
39. Wright, R. M., Runge, I., Chaudhury, R. R., and Urish, D. W. (1992). `Calibration and validation of the storm water management model to the Providence area combined sewer system', Proceedings of the National Conference on Environmental Engineering, ASCE,Baltimore, Maryland, August 2±6. pp. 462±467.
40. Zaghloul, N. and Al-Shurbajia, A. M. (1990). `A storm water management model for urban areas in Kuwait',Wat. Resour. Bull., AWRA,26, 563±575.

www.SID.ir