Archive of SID

پیش‌بینی کیفیت رواناب شهری: بررسی روش‌ها و ارائه مدل منتخب

امیر تائبی
دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی اصفهان
مجید وشتانی
فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب - دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت ۷۸/۲/۲۶، تاریخ تصویب ۷۹/۱۲/۲۰)

چکیده

مدلسازی، ابزار مهم و مؤثری برای مدیریت کیفیت رواناب شهری می‌باشد. مدل‌های کیفیت رواناب شهری را می‌توان برای اهداف مختلفی از قبیل پیش بینی کیفیت، ارزیابی میزان اثرات گزینه‌های مختلف کنترل کننده آلودگی و اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی بکار برد. اهداف این تحقیق اولاً مطالعه روش‌ها و مدل‌های پیش بینی کیفیت رواناب شهری ثانیاً بررسی قابلیت استفاده از این مدل‌ها در شهرهای ایران و در نهایت ارائه مدل منتخب می‌باشند.

روش‌های مدلسازی کیفیت رواناب شهری را فرمول‌های ساده ریاضی تا مدل‌های جامع کیفیت - کمیت رایانه‌ای تشکیل می‌دهند که شامل روش غلظت ثابت یا بارگذاری واحد، روش آماری، معادلات رگرسیون، منحنی‌های سنجش، معادلات تشکیل و شستشوی آلاینده‌ها و مدل‌های جامع رایانه‌ای می‌باشند. از بررسی روش‌های مختلف نتیجه‌گیری می‌شود که برای مدل‌سازی کیفیت رواناب شهری در ایران، منطقی‌تر آن است که بخاطر نبودن داده‌ها، در ابتدا از ساده‌ترین مدل استفاده شود و به مرور زمان با تکمیل داده‌ها و نیز باکسب تجربیات لازم نسبت به انتخاب مدل‌های پیچیده‌تر همچون مدل‌های جامع رایانه‌ای اقدام شود. در این تحقیق به عنوان یک مطالعه موردی، کاربرد روش‌های مورد بحث در حوضه سی و سه پل شهر اصفهان بررسی و مدل مناسب برای پیش‌بینی کیفیت رواناب آن ارائه گردیده است.

واژه های کلیدی : کیفیت رواناب شهری، مدلسازی کیفیت آب، بار آلودگی

مقدمه

تا حدود دو دهه قبل، مهندسان، رواناب‌های شهری را فقط از جنبه‌های کنترل سیلاب و انتقال هر چه سریعتر آنها به خارج از شهر مورد توجه قرار می‌دادند. امروزه، با مشخص شدن اثرات منفی منابع غیر نقطه‌ای آلودگی بر آب‌های پذیرنده، امر کنترل کیفیت رواناب‌های شهری از اهمیت زیادی برخوردار گشته است [۱]. در واقع توجه به کیفیت رواناب‌های شهری از زمانی آغاز شد که اثرات منفی آنها بر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دیگر آب‌های پذیرنده مشخص شدند. اثرات منفی شامل تسریع در فرسایش سواحل رودحانه‌ها، تخریب زیستگاه‌های رودخانه‌ها، تسریع در پدیده یوتریفیکاسیون[1] دریاچه‌ها و تنزل کیفیت آب‌های پذیرنده می‌باشند.

از ابتدای دهه ۱۹۸۰ میلادی در بسیاری از کشورها مقررات و استانداردهایی برای کنترل کیفیت رواناب‌های شهری و مدیریت تخلیه آنها در آب‌های پذیرنده شهری وضع شده و این مقررات به طور مرتب رو به اصلاح می‌باشند. به طور مثال، در سال ۱۹۸۸ میلادی، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[2] (US EPA) اولین پیش‌نویس برنامه‌های کنترل کیفیت رواناب‌های شهری را ارائه و در سال ۱۹۹۵ میلادی نیز مقررات نهائی را برای شهرهایی که جمعیت بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر دارند وضع و منتشر نمود [۲].

در ایران در دو دهه اخیر به امر کنترل آلودگی فاضلاب‌های شهری و صنعتی از طریق ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه خانه‌های فاضلاب توجه وافر شده‌است، لیکن در زمینه کنترل آلودگی رواناب‌های شهری هیچگونه اقدامی تاکنون بعمل نیامده‌است. با مدلسازی کیفیت رواناب شهری می‌توان به اهداف مختلفی همچون پیش‌بینی غلظت و بار آلودگی رواناب‌ها و ارزیابی اثرات گزینه‌های پیشنهادی کنترل آلودگی و اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی نائل آمد. اهداف این تحقیق یکی گردآوری و مطالعه روش‌های پیش‌بینی غلظت و بارآلودگی رواناب‌های شهری

www.SID.ir

Archive of SID

و دیگری تجزیه و تحلیل این روش‌ها برای انتخاب مدل مناسب در حوضه‌های شهری ایران می‌باشد.

روشهای برآورد کیفیت رواناب شهری

چندین روش برای برآورد غلظت و بارآلودگی رواناب‌های جاری از حوضه آبریز شهری ارائه شده‌اند که عبارتند از: (۱) روش غلظت ثابت، (۲) روش بارگذاری واحد، (۳) روش آماری، (۴) معادلات رگرسیون، (۵) منحنی‌های سنجش و (۶) معادلات تشکیل و شستشوی آلاینده‌ها. در مدل‌های جامع رایانه‌ای رواناب شهری همچون SWWM[۳]، HSPF[۴]، SLAMM[۵] و STORM[۶] از روش‌های فوق استفاده شده‌است. در اینجا این روش‌ها به اختصار معرفی می‌گردند.

روش غلظت ثابت

در روش غلظت ثابت، غلظت هر آلاینده در تمام رواناب‌ها ثابت فرض می‌شود. بنابراین در روش غلظت ثابت نمی‌توان تغییرات غلظت را در مدت هر بارندگی و یا بین بارندگی‌های مختلف ملاحظه نمود. غلظت ثابت را در هر محل می‌توان از داده‌های موجود در آن محل از فرمول زیر بدست آورد:

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (EMC_i) \quad (۱)$$

که در آن C غلظت ثابت، EMC_i غلظت میانگین رخداد[۷] بارندگی i و n تعداد رخدادهای نمونه‌گیری شده می‌باشد. غلظت میانگین هر رخداد، نسبت جرم کل آلاینده به حجم کل رواناب در آن رخداد می‌باشد.

بار آلودگی سالانه رواناب را می‌توان از ضرب غلظت ثابت در حجم رواناب سالانه طبق فرمول زیر بدست آورد:

$$L = \frac{N}{n} \sum_{i=1}^{n} (\forall_i)(EMC_i) = (\forall_a)(C) \quad (۲)$$

که در آن L بار آلودگی سالانه، N تعداد رخدادهای بارندگی در سال، $\forall_i$ حجم رواناب رخداد بارندگی i و $\forall_a$ حجم سالانه رواناب‌ها می‌باشد.

روش بارگذاری واحد

بارگذاری برای هر آلاینده معمولاً بر حسب جرم آلاینده به ازاء واحد سطح حوضه در واحد زمان، مثلاً کیلوگرم بر هکتار بر سال (Kg/ha.yr) تعیین می‌شود. بنابراین با داشتن بار واحد هر آلاینده در هر منطقه، بار سالانه آن آلاینده مساوی حاصلضرب بار واحد آن در سطح منطقه می‌باشد. بارهای واحد هر منطقه منحصر به فرد بوده و به شدت به پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه بستگی دارند.

بار واحد و غلظت ثابت را می‌توان به یکدیگر تبدیل نمود. به طور مثال، واحد mg/L (یا g/m^3) ضربدر عدد ثابت ۰/۰۱ تبدیل به واحد کیلوگرم بر هکتار بر میلیمتر بارندگی (Kg/ha.mm) می‌شود. بنابراین اگر برآوردی از غلظت ثابت موجود باشد، می‌توان بار واحد و نهایتاً بار سالانه منطقه را یافت.

دو روش بارگذاری مرسوم عبارتند از: (۱) روش جداسازی مقدماتی و (۲) معادله عمومی تلفات خاک. در روش جداسازی مقدماتی بار واحد تابعی از کاربری اراضی، تراکم جمعیت و تواتر خیابان روبی می‌باشد [۳]. معادله عمومی تلفات خاک اساساً برای برآورد تلفات و رسوب گذاری خاک در مناطق کشاورزی بکار می‌رود، لیکن با تغییراتی می‌توان آن را برای برآورد بار آلودگی رواناب شهری نیز بکار برد [۴].

روش آماری

در این روش، توزیع احتمالی داده‌های غلظت میانگین رخداد بارندگی (EMCها) در منطقه مورد نظر پیش‌بینی می‌شود. توزیع فراوانی داده‌های EMC هنوز به طور کامل و قطعی مشخص نشده‌است، لیکن به اجمال می‌توان گفت که داده‌های EMC رواناب‌های شهری دارای توزیع نرمال نیستند و توزیع نرمال لگاریتمی برای آنها به طور وسیعی در مراجع گزارش شده‌است (به طور مثال مراجع [۶،۵]). برای تعیین مشخصات توزیع نرمال لگاریتمی داده‌های EMC از دو پارامتر آماری میانه و ضریب تغییرات (نسبت انحراف معیار به میانه) استفاده می‌شود. رابطه بین میانه و ضریب تغییرات با میانگین به صورت زیر است:

$$SMC = EMC_{median} (1+CV^2)^{0.5} \quad (۳)$$

که در آن SMC غلظت میانگین محل مورد مطالعه، EMC_{median} غلظت میانه و CV ضریب تغییرات داده‌های EMC است.

روش آماری سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا متداول‌ترین روش آماری است که در آن فرض شده که داده‌های EMC دارای توزیع فراوانی نرمال لگاریتمی هستند [۷] و اداره راه

www.SID.ir

Archive of SID

فدرال آمریکا[8](FHWA) این روش را در مکان‌های مختلف آمریکا اجرا نموده است [۸] . در مدل FHWA، آهنگ جریان (دبی) و حجم رواناب هر رخداد بارندگی از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$Q = \theta . i . A \quad (۴)$$

$$\forall = \theta . I . A \quad (۵)$$

که در آنها Q آهنگ جریان (حجم بر زمان)، $\forall$ حجم رواناب، θ ضریب رواناب (نسبت حجم رواناب به حجم بارندگی)، i شدت بارندگی (عمق بر زمان)، I عمق تجمعی بارندگی و A مساحت حوزه آبریز قطعه جاده است.

معادلات رگرسیون

با انجام مطالعات برنامه ملی رواناب‌های شهری آمریکا[9] (NURP) در بین سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۳ میلادی و جمع‌آوری داده‌های کیفیت رواناب‌ها و مشخصات هیدرولوژیکی، اقلیمی، فیزیکی و کاربری اراضی ۳۰ حوضه شهری [۵]، تحلیل‌های رگرسیون وسیعی برای ارتباط دادن بار و غلظت آلودگی رواناب با مشخصات حوضه صورت گرفته که جامع‌ترین و آخرین آنها را سازمان زمین شناسی آمریکا[10] [(USGS)۹، ۱۰] انجام داده است.

مدل‌های رگرسیون USGS شامل ۳۴ معادله رگرسیون چندگانه برای بار آلاینده‌ها و حجم رواناب‌ها و ۳۱ معادله برای غلظت میانگین رخداد بارندگی (EMC) می‌باشند. میزان بارش، مساحت منطقه، درصد نفوذپذیری منطقه، کاربری اراضی و میانگین سالانه خصوصیات اقلیمی (مثل میانگین حداقل دمای ماه ژانویه) از متغیرهای مهم این مدل‌ها هستند. معادلات رگرسیون USGS برای برآورد غلظت و بار آلودگی رخدادهای بارندگی مجزا، فصلی یا سالانه ده آلاینده: اکسیژن خواهی شیمیائی (COD)، جامدات معلق (SS)، جامدات محلول (DS)، نیتروژن کل (TN)، نیتروژن کلدال (TKN)، فسفر کل (TP)، فسفر محلول (DP)، سرب (Pb)، مس (Cu) و روی (Zn) ارائه شده‌اند.

برای استفاده از معادلات رگرسیون در یک حوضه، نیازی به داده‌های غلظت میانگین رخداد بارندگی حوضه نیست (مگر در شرایط واسنجی معادلات). این مدل‌ها فقط میانگین متغیرها را پیش‌بینی می‌کنند و قادر به ارائه اطلاعات در مورد توزیع فراوانی متغیرها نیستند. در ضمن پتانسیل خطای این مدل‌ها در پیش‌بینی متغیرها در محدوده خارج از داده‌های اولیه (برونیابی)، زیاد است.

منحنی‌های سنجش

منحنی‌های سنجش نوع خاصی از تحلیل رگرسیون هستند، به طوری که یک منحنی سنجش، رگرسیون بار یا غلظت در مقابل آهنگ جریان یا حجم رواناب می‌باشد و هیچ متغیر مستقل دیگری را در بر نمی‌گیرد. منحنی‌های سنجش کاملاً" تجربی بوده و فرمولبندی راحتی برای پیش‌بینی بار شستشو می‌باشند. اکثر منحنی‌های سنجش به صورت توابع توانی می‌باشند که دلیل آن برازش خوب این توابع به داده‌های تجربی است. به طور مثال [۱۱]،

$$F = a\ Q^b \quad (۶)$$

$$L = c\ \forall^d \quad (۷)$$

که در آنها F آهنگ بار (جرم بر زمان)، Q آهنگ جریان (حجم بر زمان)، L بار ، $\forall$ حجم و a، b، c و d ضرایب رگرسیون هستند.

غلظت لحظه‌ای رواناب (F/Q) و غلظت میانگین رخداد بارندگی (L/$\forall$) را می‌توان با تقسیم روابط (۶) و (۷) به ترتیب بر Q و $\forall$ مطالعه نمود.

معادلات تشکیل و شستشوی آلاینده‌ها

تشکیل و شستشوی آلاینده‌ها، متداول‌ترین فرمولبندی با مبنای فیزیکی در مدلسازی کیفیت رواناب شهری است. اصطلاح " تشکیل " معرف تمام فرایندهای تجمع و حذف جامدات و آلاینده‌های روی سطوح زمین و پشت‌بام‌ها در مدت زمان بین دو بارندگی (هوای خشک) می‌باشد. منابع تشکیل آلاینده‌ها عبارتند از: نزولات جوّی، برگ درختان و پوشش گیاهی، فرسایش زمین، مواد سرریز و واژگون شده، اگزوز، کلاج و ترمز خودروها، ضد یخبندان‌ها و غیره. عوامل حذف در هوای خشک شامل: جاروی معابر، فرسایش توسط باد، جریان‌های خروج آب از منطقه و غیره می‌باشند که مهمترین آنها جاروی سطوح است.

اصطلاح " شستشو " معرف تمام فرایندهای فرسایش و انحلال مواد روی سطوح زمین و پشت‌بام‌ها در حین بارندگی می‌باشد که توسط رواناب‌ها از منطقه خارج می‌شوند.

تا کنون برای فرمولبندی تشکیل و شستشو مطالعات زیادی

www.SID.ir

Archive of SID

صورت گرفته و فرمول‌های متعددی برای آنها ارائه شده که مبنای تمامی آنها تجربی می‌باشد [۱۳،۱۲]. معمولاً مدل‌های تشکیل تابعی از زمان (مدت زمان تا آخرین بارندگی قبلی) و مدل‌های شستشو تابعی از جرم مواد تجمع یافته روی سطوح و عمق تجمعی رواناب هستند.

بحث در مورد روش‌های مختلف

روش‌های غلظت ثابت، بارگذاری واحد و آماری، مدل‌های ساده برای برآورد بار آلودگی رواناب شهری هستند، لیکن برای آن که از دقت کافی برخوردار باشند به داده‌های زیاد و طولانی مدت نیاز دارند. این مدل‌ها قادر به نشان دادن تغییرات بار آلودگی در مدت یک بارندگی و حتی تغییرات در بین بارندگی‌های مختلف (بجز روش آماری) نیستند. در این سه روش همبستگی احتمالی بین غلظت و جریان (یاحجم) رواناب در نظر گرفته نمی‌شود و این مسئله در مواردی می‌تواند تخمین را از واقعیت دور نگهدارد.

در معادلات رگرسیون، کیفیت رواناب شهری به مختصات فیزیکی حوضه بارندگی و خصوصیات هیدرولوژیکی و اقلیمی منطقه بستگی دارد. برای استفاده از این معادلات در هر منطقه، بهتر است ابتدا آنها را برای آن محل واسنجی نمود. چون این معادلات برای شهرهای آمریکا توسعه یافته‌اند، واسنجی آنها برای شهرهای ایران احتمالاً مشکل خواهد بود.

منحنی‌های سنجش، رگرسیون ساده‌ای از مشخصات کیفیت در مقابل کمیت رواناب هستند که علاوه بر نشان دادن بار آلودگی کل یک رخداد بارندگی، می‌توانند تغییرات در حین رخداد را نیز نشان دهند. نظر به این که این منحنی‌ها مشخصات کیفیت را فقط به دبی یا حجم رواناب ارتباط می‌دهند و در برگیرنده مشخصات فیزیکی حوضه بارندگی و دیگر عوامل مؤثر نیستند، باید آنها را حتماً با داده‌های محلی واسنجی نمود.

معادلات تشکیل و شستشوی آلاینده‌ها، مرسوم‌ترین فرمولبندی رواناب شهری با مبنای فیزیکی هستند. با اندک داده‌های موجود از کیفیت رواناب‌های هر منطقه می‌توان این معادلات را برای آن منطقه واسنجی نمود. این معادلات را نه تنها برای پیش‌بینی غلظت و بار آلودگی یک رخداد بارندگی، بلکه برای تحلیل کیفیت رواناب در حین یک رخداد نیز می‌توان استفاده نمود. این معادلات در اکثر مدل‌های جامع رایانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با توجه به نکات مثبت و منفی مرتبط با روش‌های مختلف که در فوق به آنها اشاره شد، به نظر می‌رسد که مدل تشکیل و شستشو گزینه مناسبتری برای برآورد کیفیت رواناب شهری در ایران می‌باشد. دلیل این انتخاب آن است که برای استفاده از بسیاری از مدل‌ها، داده‌های طولانی مدت از کیفیت رواناب‌ها نیاز می‌باشد و در حال حاضر چنین داده‌هایی موجود نیستند. در ضمن، در بسیاری از موارد می‌توان مدل تشکیل و شستشو را با اندک داده‌های محلی واسنجی نمود.

ارائه مدل منتخب

با توجه به بحث بعمل آمده در بخش ۳، مدل تشکیل و شستشو به عنوان مدل منتخب برگزیده شده‌است. در مرجع [۱۲] توابع مختلفی برای فرایند تشکیل پیشنهاد شده‌اند. از بین این توابع، تابع نمائی که متداول‌تر است، برگزیده می‌شود. این تابع به صورت زیراست:

$$P_0 = P_L(1-e^{-bt}) \quad (8)$$

که در آن P_0 جرم تجمع یافته آلاینده روی سطح، P_L بار سطحی حدی (بار اشباع)، t مدت زمان تا آخرین بارش قبلی و b نما است.

با توجه به نتایج مطالعات مرجع [۱۳]، تابع مرتبه یک برای شستشو به صورت زیر انتخاب می‌شود.

$$P_0 - P = P_0 (1-e^{-kR^c}) \quad (9)$$

که در آن P_0 جرم آلاینده اولیه، P جرم آلاینده باقیمانده، $(P_0 - P)$ جرم آلاینده شسته شده، R عمق تجمعی رواناب، k ضریب و c نما است.

چنانچه معادله (۸) را به جای P_0 در طرف راست معادله (۹) قرار دهیم، معادله زیر حاصل می‌شود:

$$P_0 - P = P_L (1-e^{-kR^c}) (1-e^{-bt}) \quad (10)$$

غلظت میانگین رخداد بارندگی هر آلاینده خاص را می‌توان از فرمول زیر پیش‌بینی نمود.

$$EMC = \frac{P_0 - P}{\forall} \quad (11)$$

که در آن $\forall$ حجم کل رواناب است و به جای آن می‌توان R.A قرار داد. بنابراین:

www.SID.ir

Archive of SID

$$EMC = \frac{P_L}{RA}(1-e^{-kR^c})(1-e^{-bt}) \quad (۱۲)$$

با بررسی معادله (۱۲) می‌توان گفت که هرچه k بزرگتر باشد، آهنگ شستشو سریعتر خواهد بود و هر چه b بزرگتر باشد، آهنگ تشکیل سریعتر می‌شود. اگر نمای c بزرگتر از یک (c>1) باشد، غلظت با افزایش عمق رواناب افزایش می‌یابد و در شرایطی که c<1 باشد، غلظت با افزایش عمق رواناب کاهش می‌یابد.

عمق تجمعی رواناب هر رخداد بارندگی (R) را می‌توان با فرمول زیر تعیین نمود:

$$R = \theta.I \quad (۱۳)$$

که در آن θ ضریب رواناب است و مقدار آن عمدتاً بستگی به وضعیت نفوذپذیری سطح حوضه دارد. I عمق تجمعی بارندگی است که مقادیر آن را می‌توان از ایستگاه باران سنجی مستقر در حوضه بدست آورد.

معادله (۱۲) را می‌توان برای هر آلاینده خاص و در هر حوضه خاص واسنجی کرده و سپس آن را برای پیش‌بینی غلظت میانگین استفاده نمود. در واسنجی معادله (۱۲)، باید پارامترهای (P_L، k، b و c) را با برازش معادله به داده‌های موجود حوضه، تعیین نمود.

برای محاسبه بار آلاینده شسته شده در هر رخداد بارندگی، می‌توان حجم تجمعی رواناب را در غلظت میانگین آن ضرب نمود. حجم تجمعی رواناب در هر رخداد بارندگی مساوی θ.I.A و بنابراین بار آلاینده آن به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$L = \theta.I.A\ (EMC) \quad (۱۴)$$

که در آن L جرم آلاینده شسته شده در رخداد بارندگی مورد نظراست.

مطالعه موردی

حوضه سی و سه پل واقع در شهر اصفهان و در قسمت جنوبی زاینده‌رود به مساحت تقریبی ۳۶۰ هکتار برای مطالعه موردی انتخاب گردیده است. در پائیز و زمستان ۱۳۷۶ از روانابهای جاری در کانال خروجی حوضه سی و سه پل نمونه‌برداری بعمل آمد. در طول هر رخداد بارندگی با فواصل زمانی حدود ۱۵ دقیقه نمونه‌برداری شد و پس از تهیه هر نمونه مرکب موزون با جریان، پارامترهای کیفیت آن از قبیل اکسیژن خواهی شیمیائی (COD)، اکسیژن خواهی بیو شیمیائی (BOD)، مواد جامد معلق (TSS)، مواد جامد محلول (TDS)، نیترات (NO_3^-) و فسفر (TP) در آزمایشگاه تعیین مقدار شدند. هر پارامتر اندازه‌گیری شده در هر نمونه مرکب معرف غلظت میانگین رخداد (EMC) است. جزئیات مربوط به نمونه‌برداری‌ها، آزمایش‌ها و داده‌های مربوطه در مرجع [۱۴] آمده‌است.

برای محاسبه عمق تجمعی رواناب (R) از فرمول (۱۳) استفاده شده‌است. داده‌های عمق تجمعی بارندگی (I) حوضه سی و سه پل شهر اصفهان از ایستگاه باران سنجی مستقر در سازمان آب منطقه‌ای اصفهان که در نزدیکی این حوضه قرار دارد، تهیه شده‌اند. ضریب رواناب (θ) حوضه سی و سه پل در مرجع [۱۵] مورد مطالعه قرار گرفته و رویهم رفته ۰/۲۲۱۶ برآورد شده‌است. لذا در محاسبات این تحقیق ۰/۲۲۱۶ =θ در نظر گرفته شده است.

در این مطالعه، دو پارامتر مهم آلودگی آبها یعنی، COD و NO_3^- برای مدلسازی انتخاب شده‌اند. COD به این دلیل انتخاب شده که شاخص خوبی برای نشان دادن آلودگی آب به مواد آلی بوده و میزان اکسیژن‌خواهی را مشخص می‌سازد. نیترات نیز یک پارامتر مهم آلودگی آب است، زیرا علاوه بر آن که از نظر بهداشت آب آشامیدنی حائز اهمیت است، یک ماده مغذی بوجود آورنده یوتریفیکاسیون نیز می‌باشد.

با استفاده از بخش رگرسیون غیرخطی نرم افزار سیستم تحلیل آماری[11] (SAS)، معادله (۱۲) به داده‌های موجود COD و NO_3^- برازش شدند و پارامترهای مجهول (P_L، k، b و c) تعیین مقدار شدند. معادلات واسنجی شده به صورت زیر می‌باشند:

$$EMC_{(COD)} = \frac{۱\times۱۰^{۶}}{R}(۱-e^{-۰/۰۰۰۶\,R^{۰/۹۲}})(۱-e^{-۰/۴۱۶۵\,t}) \quad (۱۵)$$

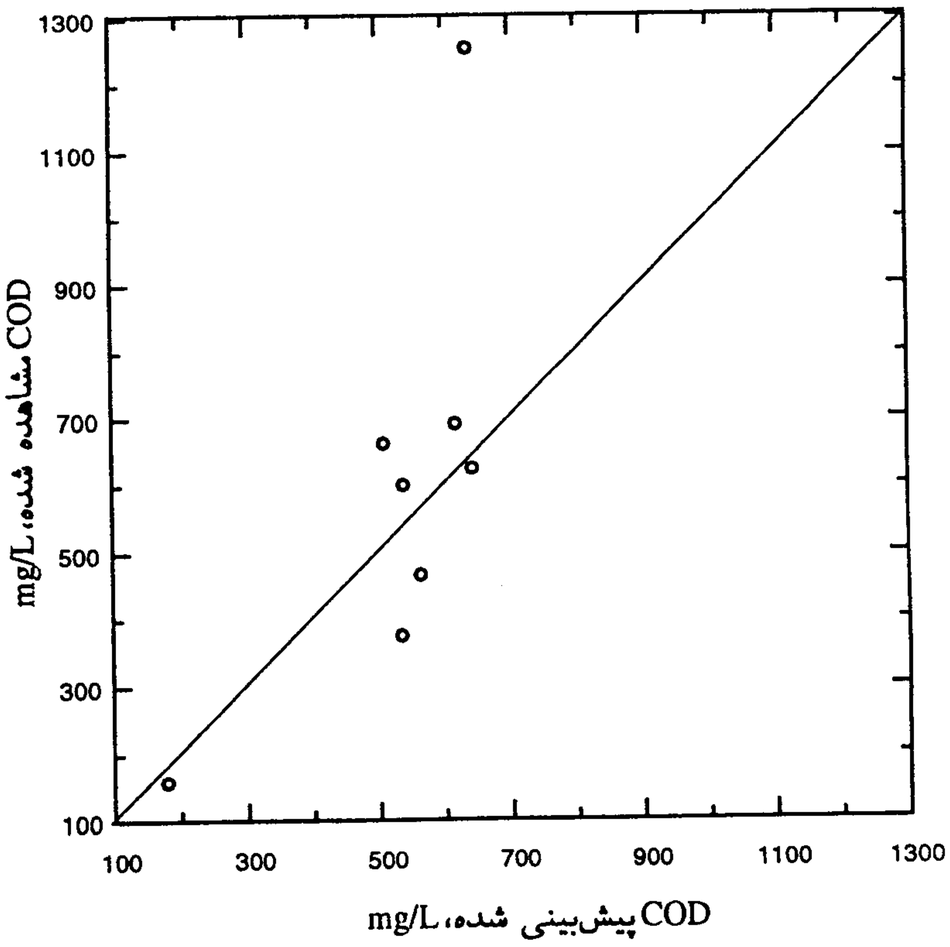
$$EMC_{(NO_3^-)} = \frac{۴۵۰۰}{R}(۱-e^{-۰/۰۰۰۸\,R^{۱/۳۱}})(۱-e^{-۰/۰۹۵۶۴\,t}) \quad (۱۶)$$

که در آنها EMC غلظت میانگین رخداد بارندگی بر حسب میلیگرم در لیتر، R عمق تجمعی رواناب بر حسب میلیمتر و t مدت زمان خشک تا رخداد بارندگی قبلی بر حسب روز است.

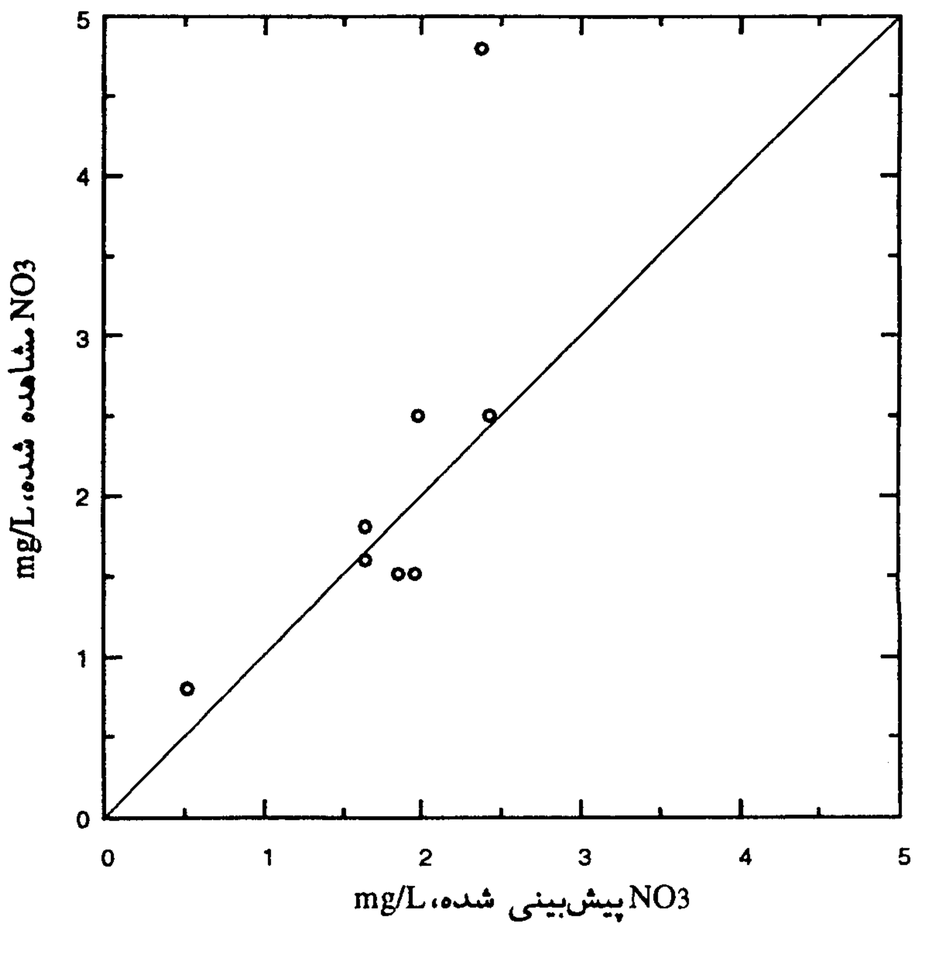
خطای نسبی[12] (RE)، به عنوان قدر مطلق نسبت تفاضل مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار پیش‌بینی شده به مقدار اندازه‌گیری شده، برای هر دو پارامتر COD و NO_3^- حدود ۰/۲۱ است. این حد خطای نسبی در زمینه مدلسازی کیفیت رواناب شهری معقول بوده زیرا مقدار RE معادل یا کمتر از ۴۰٪ قابل قبول است [۱۶].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ : مقادیر غلظت میانگین اکسیژن خواهی شیمیایی ($ECM_{(COD)}$) مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده آنها با فرمول (۱۵) برای حوضه سی و سه پل شهر اصفهان.



شکل ۲ : مقادیر غلظت میانگین نیترات ($ECM_{(NO3^-)}$) مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده آنها با فرمول (۱۶) برای حوضه سی و سه پل شهر اصفهان.

شکل‌های (۱) و(۲) مقادیر غلظت میانگین مشاهده شده را در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده به ترتیب برای COD و NO_3^- نشان می‌دهند. در این گونه شکل‌ها، نزدیکی نقاط به خط با ضریب زاویه یک (خط رگرسیون) دقت مدل را نشان می‌دهد.

پیشنهادات و نتیجه‌گیری

از این تحقیق موارد زیر پیشنهاد و یا نتیجه‌گیری می‌شوند.

۱- به منظور حفاظت از محیط زیست و بخصوص منابع آب پذیرنده، کنترل کیفیت رواناب شهری بسیار ضرورت دارد. نظر به اینکه برای مدیریت کیفیت رواناب شهری، مدلسازی ابزار مناسب و مؤثری است، توصیه می‌شود که مهندسان و برنامه‌ریزان امور شهری، اقدام در این مورد را در اولویت قرار دهند.

۲ - چندین روش برای برآورد کیفیت رواناب شهری وجود دارد، که هیچ کدام از آنها قطعی و مطلق نیستند، زیرا به طور کامل مکانیزم‌های فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی که باعث فرایندهای تشکیل، فرسایش، انتقال و تجزیه آلاینده‌ها می‌شوند، را در بر نمی‌گیرند. در ضمن همه روش‌ها برای پیش‌بینی دقیق‌تر غلظت و بار آلودگی رواناب شهری نیاز به واسنجی با داده‌های محلی دارند.

۳ - رویکرد منطقی در شبیه سازی کیفیت رواناب شهری آن است که در ابتدا ساده‌ترین روش‌ها که با کمترین داده‌ها قابل استفاده باشند، بکار روند و چنانچه این روش‌ها نتوانند نیاز مدیریتی را تأمین کنند و مطالعات کامل‌تری مثل بررسی اثر گزینه‌های کنترل کیفیت مورد نیاز باشد، آنگاه نسبت به انتخاب مدل پیچیده‌تر رایانه‌ای (مثل SWMM، STORM، HSPF، SLAMM) اقدام شود.

۴ - از مقایسه روش‌های مختلف برآورد کیفیت رواناب شهری به نظر می‌رسد که مدل تشکیل و شستشو، گزینه مناسب‌تری برای برآورد کیفیت رواناب شهری در ایران می‌باشد. زیرا این مدل علاوه بر سادگی و فیزیک قابل فهم، برای واسنجی در مقابل تعداد داده‌های محلی انعطاف‌پذیر بوده و کارائی خوبی نیز در مدیریت کیفیت رواناب شهری دارد.

۵ - برای حوضه‌های شهری ایران، فرمول (۱۲) برای تعیین غلظت میانگین و فرمول (۱۳) برای برآورد بار آلودگی رخداد بارندگی ارائه شده‌اند. با مطالعه موردی حوضه سی و سه پل شهر اصفهان علاوه بر آن که نحوه کاربرد معادله (۱۲) نمایش داده شده است، دو رابطه نیز برای پیش‌بینی غلظت میانگین COD و NO_3^- رواناب این حوضه ارائه گردیده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

1 - Nix, S.J. (1994). Urban stormwater modeling and simulation. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

2 - WEF and ASCE (1998). "Urban runoff quality management." *WEF Manual of Practice*, No. 23, and *ASCE Manual and Report on Engineering Practice*, No. 87, Water Environment Federation, Alexandria, VA and American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

3 - US EPA (1976). "Storm water management model: level I-preliminary screening procedures." *EPA 600/2-76/275 (NTIS PB-259916), U.S. Environmental Protection Agency,* Washington, DC.

4 - Zison, S.W. (1980). "Sediment-pollutant relationships in runoff from selected agricultural, suburban, and urban watersheds." EPA-600/3-80-022, Environ. Res. Lab., U.S. Environmental Protection Agency.

5 - US EPA (1983). "Results of the nationwide urban runoff program, volume I-final report." *NTIS PB84-185552, Water Planning Division,* U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

6 - Harremoes, P. (1988). "Stochastic models for estimations of extreme pollution from urban runoff." *Water Res.,* Vol. 22, No. 8, PP. 1017-1026.

7 - US EPA (1979). "A statistical method for assessment of urban stormwater loads-impacts-controls." *EPA-440/3-79-023 (NTIS PB-299185/9),* U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

8 - Woodward-Clyde Consultants (1990). "Pollutant loading and impacts from highway stormwater runoff, volumes 1-4." *Federal Highway Administration,* McLean, VA.

9 - Tasker, G.D., and Driver, N.E. (1988). " Nationwide regression models for predicting urban water quality at unmonitored sites." *Water Resources Bulletin,* Vol. 24, No. 5, PP. 1091-1101.

10 - Driver, N. E. and Tasker, G. D. (1988). "Techniques for estimation of storm-runof loads, volumes, and selected constituent concentrations in urban watersheds in the United States." *USGS Open-File Report 88-191,* U.S. Geological Survey, Denver, CO.

11 - Huber, W. C. (1986). Deterministic modeling of urban runoff quality. in: Urban runoff pollution, H.C. Torno et al. (Eds.), Springer Verlag, Berlin, Ger., PP. 167-242

12 - Ammon, D. C. (1979). Urban stormwater pollutant buildup and washoff relationships. Master of Engineering Thesis, Univ. of Florida, Gainesville, FL.

13 - Sartor, J. D. and Boyd, G. B. (1972). "Water pollution aspects of street surface contamination." *EPA-R2/72-081,* U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

۱۴ - وشتانی، م. "ارزیابی بار آلودگی غیرنقطه‌ای روانابهای شهری." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۷).

۱۵ - رهرو اصفهانی، م. "برآورد دبی اوج رواناب شهری برای حوضه جنوب اصفهان." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۶).

16 - Boroumand - Nasab, S. (1994). Stormwater quality modelling of urban catchments. Ph.D. Thesis, Univ. of Wollongong, Wollongong, Australia.

www.SID.ir

Archive of SID

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Eutrophication

2- U. S. Environmental Protection Agency (US EPA)

3- Storm Water Management Model (SWMM)

4- Hydrological Simulation Program - Fortran (HSPF)

5- Source Loading and Management Model (SLAMM)

6- Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model (STORM)

7- Event Mean Concentration (EMC)

8- Federal Highway Administration (FHWA)

9- Nationwide Urban Runoff Program (NURP)

10- U. S. Geological Survey (USGS)

11- Statistical Analysis System (SAS)

12- Relative Error (RE)

www.SID.ir