Sheeba Thomas, Ph.D., P.E., PMP, CFM; and Yu-Chun Su, Ph.D., P.E., CFM, CPESC, CPSWQ

ابزارهای مدلسازی کیفیت آب SARA به جوامع در مدیریت کنترل کیفیت آب بوسیله استراتژی های بهینه سازی برای بهترین روش های مدیریتی (*BMPs*) و توسعه کم اثر (*LID*) کمک می کند.

علاوه بر کنترل های سیل، انتخاب و پیاده سازی بهترین روش های مدیریتی و توسعه کم اثر، استراتژی هایی برای اداره آلودگی رواناب های شهری تبدیل به مولفه مهمی در برنامه ریزی اصلی حوضه در سطح کلان و مدیریت سیلاب دارد. این استراتژی ها نه تنها می تواند در اداره اختلالات کیفیت آب موجود و حمایت از قبول تنظیم کننده کمک کند، بلکه در برنامه ریزی های حوضه آینده نیز راهنمائی می کند – مخصوصا زمانی که رشد جمعیت ذاتی و شهری سازی طرح ریزی می شود.

با اینحال، بدلیل فقدان ابزارهای مناسب برای اجرای ارزیابی کمی، تلاش ها محدود به برنامه ریزی کیفی بوده است. در نتیجه، موثربودن *BMP/LID* تنها می تواند بر نظارت طولانی مدت و مداوم برای صحت سنجی تکیه کند، و در بسیاری موارد، کمبود تلاش در برنامه ریزی قبل از پیاده سازی استراتژی های *BMP* یا *LID* وجود دارد.

برای کمک به اداره این مطلب و حمایت از توافق ضوابط کیفیت رو به رشد آب، تحت ضمانت و رهبری مرجع رودخانه سن آنتونیو (*SARA*)، یک تیم جهت پروژه با رهبری *Lockwood, Andrews & Newnam, Inc. (LAN)* و مشاوران AQUA TERRA (قسمتی از *RESPEC*)، مجموعه برنامه ابزارهای مدلسازی کیفیت آب ساخته شد. ابزارهای توسعه یافته برنامه ریزی اصلی کیفیت آب را به طور کمی و اولویت بندی *BMP/LID* را ممکن ساخت، و به سه حوضه عمده در حوضه آبخیز رودخانه سن آنتونیو (*SARB*) اعمال شد: حوضه های *Salado Creek*، *Leon Creek* ، و حوضه های بالای رودخانه سن آنتونیو.

برنامه ریزی اصلی حوضه جامع *SARA* شامل هم کنترل سیل و هم مدیریت کیفیت آب

ابزارهای مبدعانه *SARA*

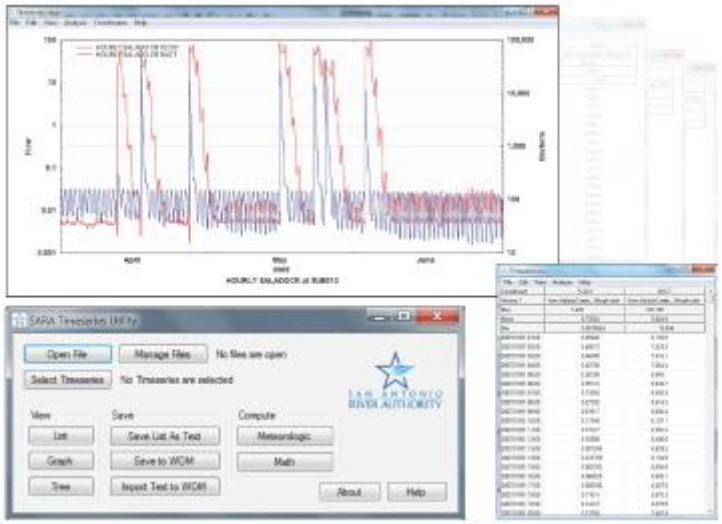
ابزارهای مدلسازی توسعه یافته *SARA* در زمره پیشرفته ترین کارهای مدلسازی کیفیت آب در سراسر کشور است. مدل های کیفیت آب در جریان و حوضه دینامیکی ابتدا برای حوضه های منتخب *SARB* با استفاده از برنامه مدلسازی هیدرولوژی *FORTRAN (HSPF)* توسعه یافت، که تحت ضمانت آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (*EPA*) نگه داری می شود. برنامه *HSPF*، یکی از مستندترین، کاربردی ترین، و معتبرترین برنامه ها در چندین دهه بوده، قادر به شبیه سازی فرایندهای حوضه و فرایندهای هیدرولوژیکی داخل جریان و کیفیت آب به صورت دینامیکی و مداوم هم از طریق دوره های خشک و هم مرطوب است.

در دسامبر ۲۰۱۳، تیم پروژه *LAN* و *SARA* یک سند "استانداردهای مدلسازی کیفیت آب" گسترش داد که در مورد تمام جنبه های فرایند مدلسازی کیفیت آب از نحوه برپائی مدل تا گسترش داده های ورودی، تا پارامترسازی، و نهایتا تا اعتبارسنجی، صحت سنجی، کاربرد و ارزیابی عملکرد نهائی صحبت می کند. این سند، برای اولین بار در نوع خودش، با استفاده از اطلاعات موجود ملی گسترش یافت. سپس، تیم پروژه یک سری ابزارهای نوین گسترش داده و مورد آزمایش قرار داد تا با *HSPF* کار کند، بصورت زیر:

- ابزار کاربردی سری زمانی به منظور امکان مشاهده، پردازش، و خروجی گرفتن از فایل های ورودی و خروجی *HSPF* که شامل رواناب های بزرگ و سری زمانی تشکیل دهنده می شود، توسعه یافت. این ابزار شامل باز مهندسی خواندن سری زمانی خروجی *HSPF* برای مدیریت بهتر فایل های بزرگ از هزاران سری زمانی تک می باشد. این ابزار گسترش یافت، آزمایش شد، و در ۲۴ اکتبر ۲۰۱۳ توسط جامعه کاربر *EPA BASINS* در اختیار عموم قرار گرفت. از زمان عرضه آن، تیم پروژه بازخوردهای مثبتی دریافت کرده است.
- ابزار کاهش نیروی *SARA* به منظور تعیین خودکار کاهش های نیروی لازم برای تمام نواحی جریان در یک حوضه بر یک اساس جزء به جزء و حوضه فرعی به حوضه فرعی گسترش یافت. این ابزار نتایج *HSPF* را پردازش می کند، غلظت میانگین وزنی جریان را محاسبه می کند، و مقادیر آن را با سطوح جداسازی مشخص شده توسط کاربر

مقایسه می کند. هر گونه تخطی از سطوح جداسازی مشخص شده توسط کاربر برای تعیین کاهش نیروی لازمی بکار می رود که سپس در ماژول *BMP* از *HSPF* برای شروع تکراری دیگر وارد می شود. این ابزار تکرارها را ادامه می دهد تا تمام غلظت محاسبه شده سطوح جداسازی در محدوده مقدار مجاز تعیین شده توسط کاربر را ارضا کند. با فرض اینکه بار بالادست بر غلظت پائین دست تاثیر می گذارد، این ابزار کاهش بار لازم را برای همه غلظت از بالادست به پائین دست تعیین می کند. این ابزار در مقایسه با محاسبات کاهش بار دستی و شبیه سازی های *HSPF* به طرز قابل ملاحظه ای زمان کار را کاهش می دهد و اشتباهات انسانی را حذف می کند. این ابزار گسترش یافته، آزمایش شده، و توسط *EPA's BASINS* در ۹ می ۲۰۱۴ در دسترس عموم قرار گرفت.

- ابزار *BMP* بهبودیافته *SARA* برای تعیین ترکیبات *BMP/LID* بهینه (انواع و تعداد واحدهای *BMP* و *LID*) برای دستیابی به کاهش بار جزء اصلی لازم گسترش یافت. این ابزار ارائه سطح زمین قوی از *HSPF* را با با موتور پردازش و بهینه سازی *BMP* از برنامه *EPA'S SUSTAIN* (سیستم رفتار سیلاب شهری و تحلیل مجتمع) ترکیب می کند(*SUSTAINPOT*). این ابزار جریان رواناب و سری زمانی بار آلوده کننده را از مدل های *HSPF* می گیرد، مسیریابی فیزیکی سری زمانی را توسط واحدهای *BMP/LID* شامل رفتار سیلاب و فرایندهای مسیرهای فرعی را انجام می دهد و *BMP/LID* را براساس کمینه کردن هزینه های سالانه طول عمر بهینه می کند. یک ابزار پایگاه داده *BMP* اساسی برای حمایت از اجرای ابزار *BMP* توسعه یافت. این ابزار با استفاده از داده های موجود محلی، ناحیه ای، و ملی که دارای ابعاد، هزینه ها و عملکردهای *BMP* می شدند پر شد (راندمان حذف جزء اصلی).



ابزار کاربردی سری زمانی *SARA* به منظور امکان مشاهده، ویرایش، پردازش، و خروجی گرفتن از فایل های داده خیلی بزرگ نظیر سری زمانی سیلاب و آلوده کننده از *HSPF* و دیگر برنامه ها

مزایای پروژه

برای سالها، پیاده سازی های *BMP/LID* زیادی فقط به "وسعت کاربردی" هستند. با هزینه های ساخت *BMP/LID*، عملیات و نگهداری، و نظارتی که ضروری شده است، پیاده سازی کیفیت آب *BMP/LID* در یک حوضه بدون برنامه ریزی کمّی قبلی می تواند منجر به اتلاف زیاد بودجه عمومی همراه با معیارهای کیفیت آب غیرموثر یا غیر ضروری شود.

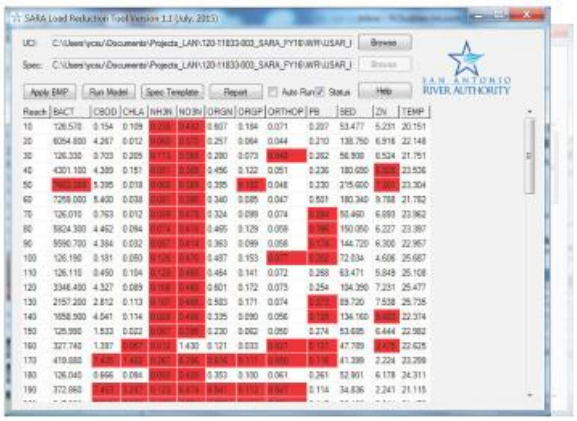
این ابزار همچنین اطلاعات هزینه ای را برای بودجه بندی پیاده سازی و نگهداری *BMP/LID* ، و نیز کمک به گسترش سازه آزاد برای کاربرد زهکش و مدیریت سیلاب فراهم می کند. بعنوان یک نتیجه، آژانس های کیفیت آب اکنون می توانند به اهدافشان جامه عمل پوشانده و به میزان قابل ملاحظه ای در زیرساخت سیلاب و هزینه های مدیریت صرفه جوئی کند.

مهمتر از آن، *SARA* و تلاش های تیم پروژه اثرعمده ای بر مدیریت کیفیت آب خواهد داشت، که یک نگرانی روزافزون در آمریکا و سراسر دنیاست. حد زیادی از اجزاء اصلی در این مدلها شبیه سازی شدند، شامل دما، نیاز اکسیژن زیست شیمیائی کربن دار، اکسیژن محلول، ذرات معلق جامد کل، مواد مغذی (اجزاء نیتروژنی و فسفری)، باکتری (*E. Coli*)، و فلزات نماینده (قلع و روی).

بین این مدل ها و ابزارهای *SARA*، مسئولین آب می توانند معیارهای *BMP/LID* بهینه را با استفاده از داده های عملکردی *BMP* موجود برای کاهش موثر هر جزء اصلی انتخابی پیاده سازی کنند. پایگاه داده *BMP* و ابزارهای *SARA* به میزان کافی نیز انعطاف پذیر هستند تا این امکان را برای کاربران فراهم آورند که داده های *BMP/LID* را به گونه ای که با شرایط محلی خودشان منطبق باشد باز بینی کنند، یا زمانی که *BMP* های جدید در دسترس قرار می گیرد اطلاعات جدیدی اضافه کنند.

بعلاوه، نتایج این ابزارهای مدلسازی می تواند به *EPA* و آژانس های ایالتی در تعیین استراتژی های *BMP/LID* لازم برای خارج کردن احجام آبی خراب از لیست در سراسر کشور کمک کند یا تعیین کند که آیا خروج از لیست با استفاده از فقط استراتژی های *BMP/LID* ممکن است یا خیر. با توجه به اینکه غلظت باکتری معمولا در رواناب های سیلابی بالاست، جوامع سراسر کشور برای ارضای این استانداردها دچار کشمکش شده اند. با این ابزارها، *SARA* و تیم پروژه یک اساس علمی برای تعیین یک ضابطه مناسب برای باکتری ویژه هر محل فراهم کرده اند، که می تواند برای این حرفه به منزله تغییر بازی باشد.

در طولانی مدت، اعمال این ابزارها مسئولین آب را در مدیریت رواناب های سیلابی تا حد ممکن نزدیک به منبع قادر می سازد، به موجب آن حوضه های پایدارتری بوجود می آید، سلامت عمومی و کیفیت زندگی بهبود یافته، زیست گاه های طبیعی بهتر می شود، و از سرگرمی های عمومی حمایت می کند، و نیز اقتصاد محلی تقویت می شود.



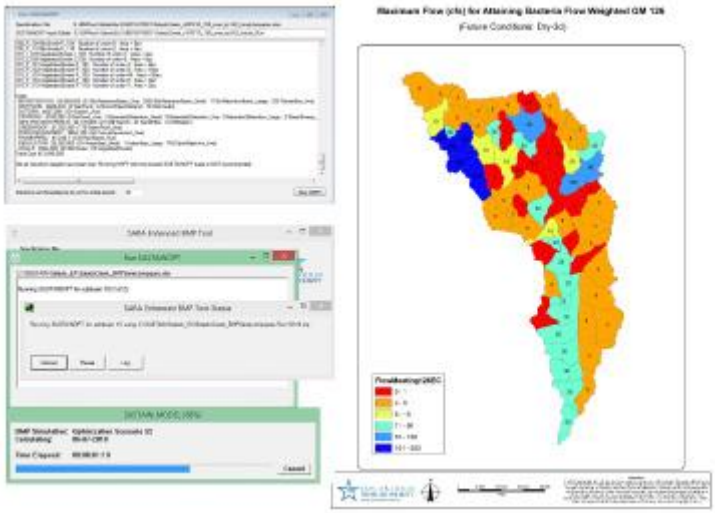
ابزار کاهش بار *SARA* به طور خودکار مقادیر کاهش بار لازم برای ارضای سطوح جداسازی مشخص شده توسط کاربر را بر یک اساس جزء اصلی به جزء اصلی و حوضه فرعی به حوضه فرعی تعیین می کند.

چالش های پیچیده

بدون هیچگونه سابقه کار قبلی، تیم پروژه جریان های کاری را گسترش داد و این ابزارهای مدلسازی کیفیت آب را با سعی و خطا ساخت. این کار مستلزم هدایت از میان چندین موضوع پیچیده بود.

جمع آوری، مرور، و ارزیابی مقدار عظیمی از داده های در دسترس لازم برای گسترش و صحت سنجی مدل های کیفی آب دینامیکی اولین چالش عمده را عرضه کرد. داده ها از نهادهای محلی، ایالتی، و فدرال، شامل *SARA*، شهر سن آنتونیو، سیستم آب سن آنتونیو، Edwards Aquifer Authority، Bexar County، شهر سن آنتونیو، *TCEQ*، هیئت گسترش آب تکزاس، برآورد زمین شناسی آمریکا، دسته مهندسی ارتش آمریکا، خدمات حفاظت از منابع طبیعی، خدمات هواشناسی کشوری، و نیز موسسات آموزشی و شرکت های مشاور خصوصی جمع آوری شد. با وجود سهم قابل توجه حوضه های واقع شده در بالای Edwards Aquifer، جریانات تغذیه کننده و جریانات چشمه ای نیز در مدلها وارد شدند، که پیچیدگی گسترش مدل و کار اعتبار سنجی را افزایش داد.

همچنین تیم پروژه با استفاده از داده های منابع ملی، منطقه ای، و محلی شامل پایگاه داده *BMP* انجمن مهندسین عمران آمریکا، یک ابزار پایگاه داده *BMP* گسترده توسعه داد. پایگاه داده شامل داده های جامع نظیر نواحی زهکشی سرویس دهنده بوسیله هر *BMP*، انواع *BMP*، ابعاد *BMP*، عملکرد *BMP* و ضرائب زوال مرتبه اول جزء اصلی متناظر آن، پیکربندی های خروجی، و هزینه های سرمایه ای و راه اندازی/نگهداری شامل تبدیلات اقتصاد مهندسی طول عمر می باشد.

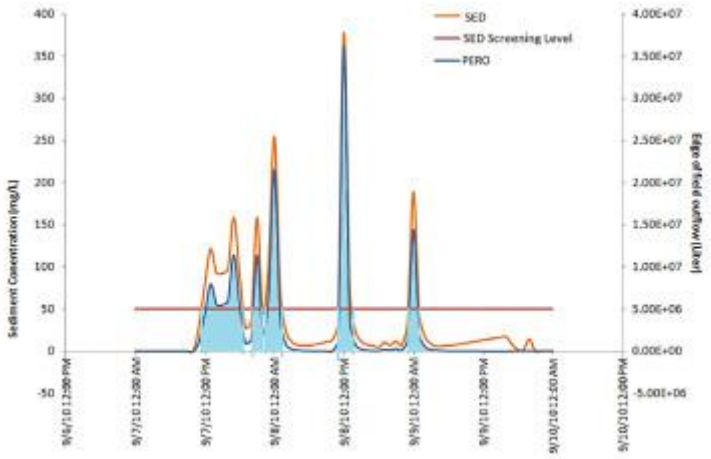


ابزار *BMP* بهبودیافته *SARA* ترکیبات بهینه واحدها و انواع *BMP/LID* برای دستیابی کاهش بار جزء اصلی هدف را تعیین می کند. این شامل تحلیل استاتیکی که می تواند محدوده های جریانی که استانداردهای جزء اصلی را تحت روزهای آب و هوائی مشخص شده توسط کاربر ارضا می کند، تعیین کند.

این پایگاه داده فرایند ورودی داده ها را برای ابزار *BMP* تسهیل کرد چون بیشتر داده های لازم بوسیله *SUSTAINPOT*، موتور هسته *BMP* بهبودیافته *SARA*، می تواند بطور خودکار بازیابی شود. کاربر تنها زمانی که این ابزار را اجرا می کند نیاز دارد *BMP*هایی که استفاده می کند را مشخص کند. تیم پروژه بگونه ای پایگاه داده را طراحی کردند که حامل انعطاف پذیری برای کاربران در افزودن انواع *BMP* یا اصلاح داده ها برای تطابق با موقعیت محلی خود باشد.

گسترش ابزار *BMP* برای ساده سازی فرایند بهینه سازی *BMP* و اجرای پسا اعتبارسنجی *HSPF* چالشی دیگر بود. در ابتدا تیم پروژه از یک رویکرد جستجوی پراکنده برای بهینه سازی *BMP*ها استفاده کرد. با این حال، تیم پروژه دریافت آن رویکرد بخوبی عمل نمی کند، پس یک روش الگوریتم ژنتیک اتخاذ شد. بعلاوه، زمان لازم برای تکمیل یک راه اندازی ابزار *BMP* برای یک حوضه فرعی با استفاده از این روش و دوره شبیه سازی ممتد چهارساله کامل در ابتدا حدود پنج روز در هر تکرار بهینه سازی زمان می برد.

برای بهبود زمان راه اندازی ابزار، یک مفهوم با عنوان حجم فزونی بحرانی (*CEV*) اتخاذ گردید که زمان میانگین راه اندازی ابزار را تا ۸۵ درصد کاهش داد. سپس تیم یک روش دیگر برای انتخاب *BMP* های با بالاترین عملکرد انتخاب کرد و آنها را در سری جریان بالادست-پائین دست سازماندهی کرد، که زمان راه اندازی میانگین را تا ۹۵ درصد و ۶.۵ ساعت در هر راه اندازی کاهش داد.



تیم پروژه رویکرد حجم فزونی بحرانی (*CEV*) را اتخاذ کرد که به میزان قابل توجه زمان راه اندازی ابزار *BMP* را کاهش داد.

نتیجه گیری

همانند *"Leaders in Watershed Solutions,"*، *SARA* به میزان قابل توجهی در گسترش ابزارهای مدلسازی کیفیت آب مبدعانه برای پشتیبانی از افزایش پایدار کیفیت آب در حوضه رودخانه سن آنتونیو سرمایه گذاری کرده است. این تلاش ها منتج به یک سری ابزارهای خیلی قدرتمند و پیشرفته شد که *SARA* و ذینفعانش را قادر می سازد که برنامه ریزی عمده حوضه جامع را انجام دهد و اثرات *BMP* ها و *LID* را ارزیابی کنند.

تلاش های تیم پروژه به طور فزاینده توجه ملی را به خود جلب می کند. مدل های توسعه یافته با اطلاعات کیفیت آب موجود صحت سنجی شده و اعتبار سنجی شد و بطور دقیق بوسیله متخصصین ملی بررسی شد تا از تطابق آن با استانداردهای مدلسازی کیفیت آب سخت گیرانه اطمینان حاصل شود. نتایج و تلاش های مدلسازی در کنفرانس های حرفه ای منتشر شده و بوسیله مخاطبان متخصص و سیاستگذار بخوبی پذیرفته شد. چندین آژانس آب و مسئول نظم دهنده علاقه مندی خود را برای استفاده از این ابزارها ابراز کردند. *SARA* و *LAN* در حال برقراری ارتباط با *EPA* هستند تا این ابزارها در سایت خودش برای استفاده گسترده وارد کند.

Sheeba Thomas, Ph.D., P.E., PMP, CFM, *is an engineer at San Antonio River Authority's* (www.sara-tx.org) *Watershed Engineering Department. She can be reached at* sthomas@sara-tx.org.

Yu-Chun Su, Ph.D., P.E., CFM, CPESC, CPSWQ, *is Lockwood, Andrews & Newnam's* (www.lan-inc.com)*Environmental and Water Resources Engineering Technical Director. He can be reached at* ycsu@lan-inc.com.