نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دوازدهم. شماره چهل و هشت. تابستان ۱۴۰۱

مدیریت آلودگی ورودی به رودخانه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، مطالعه موردی: رودخانه قشلاق

مهدی خراشادی زاده [۱]، غلامرضا عزیزیان [۲]، سید آرمان هاشمی منفرد [۳]*، ابوالفضل اکبرپور [۴] و امیر شبانی [۵]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۱۱/۲۳

مقاله پژوهشی

چکیده

آلوده‌شدن آب‌های سطحی به ویژه رودخانه ها، مشکلات جدی را در رابطه با سلامت انسان و محیط زیست به وجود آورده است. یافتن راه‌حل‌هایی کارآمد جهت کنترل آلودگی رودخانه‌ها به منظور کاهش آسیب بر مصرف کننده و محافظت از محیط زیست، بسیار ضروری می‌باشد. در این تحقیق، برنامه مدیریت کیفی رودخانه، راهکاری را به منظور کاهش آسیب آلودگی به مصرف کننده با استفاده از الگوریتم PSO می‌دهد. منطقه مورد مطالعه، رودخانه قشلاق در کردستان ایران می‌باشد. برنامه تخصیص ورود بار آلودگی در ساعت‌های مختلف شبانه روز بوده و ۸ منبع نقطه‌ای، آلودگی را وارد رودخانه قشلاق می‌کنند. همچنین در تمام ساعت‌های شبانه‌روز، برداشت آب از رودخانه قشلاق توسط مصرف کننده پایین دست انجام می‌شود. ۱۹۲ متغیر از متغیرهای تصمیم این تحقیق، متناظر با مقدار جرم آلودگی ورودی از این منابع در ساعت‌های مختلف شبانه روز می‌باشند و ۸ متغیر تصمیم دیگر مربوط به موقعیت مکانی بهینه ورود آلودگی به رودخانه است. نتایج نشان داد که در حالت مدیریت شده غلظت آلودگی از حد مجاز بالاتر نرفت، در حالی که در حالت مدیریت نشده غلظت آلودگی در بسیاری از دقایق در طول رودخانه قشلاق، از حد مجاز بالاتر می‌رود. برنامه مدیریت کیفی رودخانه که موقعیت مکانی بهینه و برنامه زمانی را برای ورود آلودگی به رودخانه تعیین می‌کند، به میزان قابل توجهی آسیب به مصرف کننده را کاهش داد، به گونه‌ای که تابع هدف مسئله به میزان ۹۷/۷٪ کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: کنترل آلودگی، موقعیت مکانی بهینه منبع آلودگی، برنامه زمانی، برداشت آب، آسیب مصرف کننده.

[۱] دکتری مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. **Mahdi89khorashadi@pgs.usb.ac.ir**

[۲] دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. **g.azizyan@eng.usb.ac.ir**

[۳] دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. **hashemi@eng.usb.ac.ir** (* نویسنده مسئول)

[۴] استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. **akbarpour@birjand.ac.ir**

[۵] دکتری مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. **a.shabani@mail.kntu.ac.ir**

مقدمه

در طول تاریخ، نیاز به تامین منابع آب مطمئن، باکیفیت و مقرون به صرفه برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعت رو به افزایش بوده است. بسیاری از رودخانه‌ها به عنوان مهم‌ترین منبع آب سطحی در سراسر دنیا در معرض آلودگی شدید قرار دارند. آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین، تهدیدی جدی برای محیط زیست و سلامت انسان می‌باشد. یافتن روشی مؤثر برای پالایش این فلزات از آب اهمیت فراوانی دارد (کهریزی و همکاران، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های ایمن و اقتصادی برای از بین بردن فلزات سنگین از آب‌های سطحی، مورد توجه فعالیت‌های پژوهشی بسیاری از محققان قرار گرفته و فعالیت‌های میدانی و آزمایشگاهی زیادی در این زمینه انجام شده است (Farasati et al., 2015; Farzi et al., 2018). انتشار آلاینده‌های مختلف در رودخانه‌ها از بزرگترین مسائل و چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب و حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد (Batu., 2005). با درنظرگرفتن کمبود منابع آب سطحی در ایران، توجه به کیفیت آب و اتخاذ تمهیداتی در راستای جلوگیری و کاهش آلودگی منابع آب سطحی در کشور ضروری می‌باشد. توسعه پایدار بدون درنظرگرفتن کیفیت آب‌های سطحی غیرممکن است (ستاری و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین مدیریت انتقال و پخش آلودگی در رودخانه و کنترل منابع آلوده‌کننده آن‌ها از مهمترین مشکلات موجود می‌باشد.

یافتن نحوه توزیع آلودگی در مکان و زمان، یک موضوع ضروری برای پیش‌بینی دقیق آسیب‌های ناشی از آلودگی روی اکولوژی رودخانه‌ها و نواحلی ساحلی و همچنین برای ایجاد راه‌حل‌هایی کارآمد جهت کنترل آلودگی و محافظت از محیط زیست است. مدل‌های ریاضی مختلف ابزاری قدرتمند جهت مطالعه معادلات انتقال آلودگی در آب‌ها هستند. بیان ریاضی انتقال آلودگی در رودخانه به وسیله معادلات دیفرانسیل با مشتق‌های جزئی انتقال-پخش انجام می‌شود. پاسخ این معادلات را می‌توان به‌وسیله روش‌های تحلیلی و عددی به‌دست آورد (خراشادی زاده و همکاران، ۱۳۹۷). در بیشتر مدل‌های رودخانه‌ای از نمایش یک‌بعدی استفاده می‌شود. به‌طوری‌که فرمول‌بندی ذهنی هندسه سیستم به شکل یک شبکه خطی از قطعات و تقسیمات حجمی است. پارامترهای کیفی آب نیز به شکل طولی در جهت محور xها در جت جریان تغییر می‌کنند (در جهت محور xها) و آب از یک قطعه خارج می‌شود و به قطعه بعدی می‌رود. همچنین روش یک بعدی، روشی ساده برای شبیه‌سازی رودخانه‌ها و دریاچه‌های کوچک و عمیق است که در آن‌ها تغییرات عددی دما و سایر پارامترهای کیفی را به صورت شبکه‌ای که بر برش‌های افقی یا قطعات حجمی عمودند، نمایش می‌دهند (Chen and Wells., 1975).

حل تحلیلی یک معادله دیفرانسیل، پاسخی از آن معادله است که می‌توان آن را با دقت بالایی در هر مکان و زمان دلخواه بدون تغییر در ساختار پاسخ مسئله تعیین کرد. تاکنون تلاش‌های زیادی توسط پژوهشگران در راستای یافتن حل تحلیلی معادله‌های انتقال آلودگی در آب‌های سطحی صورت گرفته است و راه‌حل‌های تحلیلی زیادی توسط آن‌ها ارائه شده است که تفاوت عمده آن‌ها در شرایط مرزی و الگوی زمانی تخلیه آلودگی می‌باشد (Chen et al., 2012; Craig and Read. 2010). Yadav et al. (2010) ، معادله انتقال و پخش آلودگی را به روش تحلیلی حل کردند و تعیین کردند که یک آلودگی مشخص، بعد از گذشت چه زمانی و در چه موقعیت مکانی از بین می‌رود. Singh et al. (2012) در مطالعه خود، شرایط انتقال و پخش آلودگی را در مسئله‌ای کوچک بررسی نمودند و برای حل معادلات حاکم بر این پدیده، از روش تفاضل محدود در حجم کنترل استفاده کردند. همچنین نتایج خود را برای صحت سنجی با حل تحلیلی مقایسه کردند. روش تحلیلی در کنار نتایج واقعی، در بسیاری موارد برای سنجش روش‌های عددی استفاده شده و به خوبی می‌تواند آلودگی را با دقت بالا در زمان و مکان انتقال و پخش دهد (خراشادی زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

در سامانه‌های آبی، مدل‌های شبیه‌ساز- بهینه‌ساز با درنظرگرفتن شرایط کمی و کیفی مسئله، قادرند مقادیر بهینه متغیرهای مختلف مسائل آبی را ارائه کنند. مدل-

های بهینه‌سازی کمی و کیفی منابع آب می‌توانند در کنار مدل‌های شبیه‌سازی، علاوه بر بیشینه‌سازی عملکرد سیستم، یک فضای احتمالاتی تصمیم را به منظور اتخاذ تصمیمات صحیح و کاهش ریسک در اختیار مدیران و کاربران قرار دهند (دلاور و همکاران، ۱۳۹۳). کیانی هرچگانی و همکاران.(۱۳۹۵) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی متغیرهای کیفی آب در حوزه آبخیز کارون با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تشکیلات زمین‌شناسی مخرب، مهم‌ترین عامل کنترل کیفیت منابع آب سطحی می‌باشد. بنابراین برای بهره‌وری مناسب از منابع آب سطحی، تعیین حریم زیست محیطی رودخانه باید به طور ویژه‌ای مورد توجه قرار گیرد. همچنین نحوه ورود آلودگی به رودخانه برای مدیریت آلودگی بسیار مهم می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت کیفی منابع آب، تخصیص بهینه بار آلاینده‌ها در رودخانه‌ها می‌باشد. Vemula et al. (2004) ، روشی برای محاسبه ریسک در مدیریت آلودگی در رودخانه ارائه کردند. آن‌ها از یک روش شبیه ساز-بهینه ساز برای حل مسئله تخصیص بار آلاینده برای به یافتن درصد تصفیه بهینه برای تخلیه کنندگان پیشنهاد نمودند. در این مدل، کیفیت پایین آب در یک نقطه کنترلی در محیط رودخانه‌ای به صورت یک متغیر فازی، با توابع عضویت مناسب تعیین شده و سپس ریسک فازی کیفیت آب محاسبه شده است. Kumar and Mohan. (2009) ، از مدل فازی چند هدفه برنامه‌ریزی خطی برای تخصیص بار آلاینده در رودخانه تامبراپارنی هند استفاده کردند. در این مسأله، کمینه نمودن میزان تصفیه و بیشینه نمودن عدالت با درنظر گرفتن قیدهای مربوط به رعایت بیشترین مقدار مجاز برای کمبود اکسیژن محلول در نقاط کنترلی (محاسبه با استفاده از معادله استریتر - فلپس) و همچنین میزان کمینه و بیشینه تصفیه، به عنوان اهداف و قیدهای مسأله مطرح گردیدند. Diyawadana et al. (2017) ، با یکپارچه سازی یک مدل کیفی در رودخانه، روشی را برای تخمین اثر منبع آلاینده بر کیفیت محیط آب رودخانه کلانی در سریلانکا، توسعه دادند. آن‌ها با استفاده از مدل یکپارچه شده از مدل MIKE-SHE و مدل هیدرودینامیک MIKE 21/3 ، سهم نسبی از منابع آلاینده را بر کیفیت رودخانه و ضریب انتقال آلودگی در پایین دست رودخانه، تخمین زدند. نتایج تحقیق، کارآمدی مدل را نشان داد. همچنین نتایج شبیه سازی‌های مدل، نقش صنایع را در کیفیت آب به ویژه در فصل‌های خشک نشان داد.

مدل‌های شبیه‌سازی ابزارهای بسیار موثری در تخمین عملکرد هیدرولوژیکی- اقتصادی طرح‌های مدیریت آب-های سطحی هستند. اما این مدل‌ها در زمینه انتخاب و تعریف بهترین پیکربندی و ترکیب ظرفیت‌ها، اهداف و سیاست‌های بهره‌برداری، عملکرد مناسبی ندارند. از مدل-های بهینه‌ساز جهت بهبود عملکرد این سامانه‌ها استفاده می‌شود. با وجود اینکه مدل‌های بهینه‌ساز حتی اگر برای انتخاب بهترین جواب عملکرد خوبی نداشته باشند، جهت حذف بدترین آن‌ها عملکرد مناسبی دارند (حجتی و همکاران، ۱۳۹۲). Rafiee et al. (2016) ، یک مدل شبیه سازی - بهینه سازی به وسیله اتصال مدل WEAP و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) به منظور طراحی و بهره برداری بهینه برای پروژه انتقال آب کارون به زهره در ایران را ارائه نمودند. نتایج تحقیق، کارایی این مدل را نشان داد.

مدل‌های شبیه‌سازی امکان مقایسه بین گزینه‌های مختلف را فراهم می‌نمایند اما بهترین گزینه را معرفی نمی‌کنند. با وجود قابلیت‌های متعدد مدل‌های شبیه‌ساز منابع آب، به سبب تک دوره بودن، قابلیت بهینه‌سازی مولفه‌های طراحی و بهره‌برداری بلندمدت وجود ندارد. از آنجا که بسیاری از مسائل مربوط به منابع آبی دارای ماهیت غیرخطی می‌باشند، لذا اتصال یک مدل بهینه‌ساز مناسب مانند الگوریتم‌های تکاملی به مدل‌های شبیه سازی می‌تواند در این راستا کارآمد باشد. برای انجام این تحقیق با اهداف و نوآوری‌های موردنظر از مدل‌های شبیه-ساز- بهینه‌ساز استفاده می‌شود. با این حال در هیچ یک از تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت آلودگی در آب سطحی، تاثیر همزمان برنامه زمانی و موقعیت مکانی ورود آلودگی به رودخانه در مدیریت کیفی رودخانه در نظر

گرفته نشده است. در این تحقیق، برنامه مدیریت کیفی آلودگی در رودخانه ارائه می‌شود، به طوری که آلودگی ورودی از منابع آلاینده نقطه‌ای در بازه زمانی موردنظر (T) به گونه‌ای وارد رودخانه شوند که مصرف کننده در پایین دست کمترین آسیب را ببیند. همچنین برداشت آب توسط مصرف کننده پایین دست رودخانه به طور کامل انجام گیرد و غلظت آلودگی در طول رودخانه از حد مجاز بالاتر نرود. بدین منظور از اطلاعات هیدرولیکی و کیفی رودخانه قشلاق در کردستان ایران استفاده شده است و برنامه زمانی و مکانی برای ورود آلودگی از ۸ منبع آلودگی نقطه‌ای رودخانه قشلاق به دست می‌آید.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی انتقال-پخش آلودگی

معادله یک بعدی انتقال آلودگی در رودخانه، از معادله انتقال جرم گرفته شده است. معادله انتقال جرم یکی از مهمترین معادلات دیفرانسیل با مشتق‌های جزئی است که در علوم مهندسی آب، خاک، نفت، محیط زیست و غیره، کاربرد زیادی دارد. معادله انتقال آلودگی در آب‌های سطحی، یک معادله دیفرانسیل جزئی خطی -سهموی است که نسبت به زمان، مرتبه اول و نسبت به مکان، از مرتبه دوم می‌باشد (Genuchten and Alves,. 1982).

$$\frac{\partial c}{\partial x}+u\frac{\partial c}{\partial t}=D_x\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\pm Sources/Sinks \qquad (۱)$$

که در آن، c مقدار غلظت آلاینده در زمان t و مکان x, می‌باشد که واحد آن بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است. x فاصله از منبع آلودگی برحسب متر (m) و t زمان عبور آلودگی در رودخانه برحسب ثانیه(s) می‌باشد. همچنین u متوسط سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد. D_x هم ضریب پخش طولی نامیده می‌شود. همچنین در این معادله، اثر چشمه و چاهک نیز لحاظ شده است.

در این تحقیق، آلودگی ورودی به رودخانه به وسیله یک راه حل تحلیلی شبیه سازی می‌شود و به این ترتیب، مقادیر آلودگی در رودخانه در موقعیت‌های زمانی و مکانی مختلف، مشخص می‌باشد. راه حل تحلیلی معادله انتقال - پخش به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (Zheng., 1996).

$$c(x,t)=\frac{M}{A\sqrt{4\pi D_x}}\exp\left(-\frac{(x-(x_0+v_x t))^2}{4D_x t}\right) \qquad (۲)$$

که در آن، c(x,t)، عبارتست از غلظت آلودگی در طول رودخانه در مکان x و زمان t ، همچنین A سطح مقطع کانال، v_x سرعت متوسط جریان و M در این رابطه جرم آلودگی برحسب کیلوگرم است. تحقیقات زیادی برای محاسبه ضریب پخش (D) انجام شده است. در این تحقیق از روش فیشر استفاده می‌شود که در روابط (۳) و (۴) ارائه شده است ((Fischer., 1975).

$$D=0.011\frac{u^2w^2}{hv} \qquad (۳)$$

که در آن w عرض مقطع رودخانه (m)، h عمق آب (m) و v سرعت برشی (m/s) می‌باشد که با استفاده از رابطه ۴. محاسبه می‌شوند.

$$v=\sqrt{grs} \qquad (۴)$$

که در آن g شتاب گرانش زمین ($9.81\ m/s^2$)، s شیب هیدرولیکی رودخانه (m/m) و r شعاع هیدرولیکی رودخانه می‌باشد که برابر A/P می‌باشد [A مساحت مقطع عرضی رودخانه می‌باشد (m^2) و P پیرامون مرطوب جریان آب می‌باشد(m)]. برای مدیریت بهینه و ارائه برنامه‌ای برای کنترل آلودگی در این تحقیق، نیاز به حل مسئله بهینه سازی می‌باشد.

بهینه سازی و الگوریتم PSO

بهینه سازی، به دنبال یافتن پاسخ های ممکن در فضای جواب است و از روندی تکراری برای یافتن پاسخ استفاده می‌شود. در مسائل واقعی، فضای پاسخ محدود است. از سوی دیگر در مسائل واقعی متغیرهای مسئله محدودیت های مختلفی دارند که به آن ها قیود مسئله می‌گویند. رابطه این قیود با متغیرهای مسئله می‌تواند خطی و یا غیر خطی باشد. همچنین این قیود می‌توانند به

صورت قیود مساوی و یا قیود نامساوی طبقه بندی شوند (Sahab et al., 2013).

براساس مطالعات کندی و ابرهارت، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO[1]) در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد داده شد. آن‌ها در ابتدا به دنبال نوعی از هوش محاسباتی براساس روابط اجتماعی بودند. سپس مطالعات را بر روی رفتار گروهی انسان‌ها وحیوانات انجام دادند و درنهایت این الگوریتم از رفتار ماهی‌ها، پرندگان و انسان‌ها الهام گرفت. آن‌ها با تجزیه و تحلیل الگوهای پرواز پرندگان در جستجوی غذا، متوجه دو عامل موثر در الگوهای پرواز شدند که هر پرنده موقعیت خود را با توجه به تجربه شخصی و تجربیات کل جامعه تغییر می‌دهد. پرندگان بهترین موقعیت خود را به خاطر می‌سپارند و از طریق انتقال اطلاعات بین اعضای گروه پرندگان و همچنین حافظه خود، به یک سو حرکت می‌کنند و سرعت حرکت در طول جستجو تغییر می‌کند. با ادامه یافتن این الگوی حرکتی، بهترین منبع غذایی یافت شده و همه به آن دست می‌یابند (Eberhart and Kennedy., 1995).

مراحل الگوریتم PSO در این تحقیق به این ترتیب می‌باشد که در مرحله اول جمعیت اولیه ایجاد شده و مقداردهی اولیه بردارهای سرعت و مکان هر ذره (در مقداردهی اولیه بردار سرعت ذرات برابر با بردار صفر و بردار مکان به صورت تصادفی ایجاد می‌شوند) انجام می‌شود. در مرحله بعد ارزش هر ذره ارزیابی می‌شود. سپس بهترین موقعیت فردی و اجتماعی هر ذره به روز می‌شود. بعد از آن سرعت ذره و موقعیت هر ذره در الگوریتم به روز می‌شود.

همانگونه که بیان شد ۸ منبع نقطه‌ای تولید آلودگی در موقعیت‌هایی در بالادست ($x_1, x_2, x_3, \ldots x_8$) و یک مصرف کننده آب در پایین دست رودخانه قشلاق (نقطه A)، موجود است. در یک بازه زمانی مشخص (در طول یک شبانه روز)، این منابع آلوده کننده، مقدار مشخصی از آلودگی ($m_1, m_2, m_3, \ldots m_8$) را وارد جریان رودخانه می‌کنند. مسئله اصلی این تحقیق این است که نحوه توزیع زمانی و مکانی آلودگی ورودی از این منابع به رودخانه چگونه باشد تا ضمن برقراری قیود مسئله، میزان آسیب و خطر برای مصرف‌کننده A (باتوجه به نوع مصرفش)، حداقل گردد. میزان آسیب مصرف کننده در هر لحظه در رودخانه، به مقدار آب آلوده برداشت شده توسط مصرف کننده پایین دست رودخانه در هر لحظه و میزان آلودگی آن آب برداشت شده در آن لحظه بستگی دارد. بنابراین تابع هدف مسئله (F) به صورت مجموع آسیب‌های محاسبه شده در موقعیت مصرف کننده می‌باشد و توسط آلودگی وارد شده از منابع مختلف نقطه‌ای و برداشت مصرف کننده در بازه زمانی T به صورت رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$F = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} C_{i,t} W_{A,t} \qquad (۵)$$

که در آن $C_{i,t}$ میزان غلظت آلودگی ناشی از منبع آلودگی در نقطه مصرف کننده پایین دست در لحظه tام می‌باشد. همچنین $W_{A,t}$ میزان مصرف آب در نقطه مصرف کننده پایین دست (A) در لحظه tام و n تعداد منابع نقطه‌ای آلاینده می‌باشد.

برای حل مناسب مسئله بهینه‌سازی باید این موارد را به طور دقیق در نظرگرفت: قیدها، تابع جریمه.

قیدها

در مسائل بهینه‌سازی مقید، علاوه بر این که تمایل به بهینه کردن مقدار یک یا چند تابع هدف را داریم، باید پاسخ‌های پیشنهادی مسئله، در یک سری قید و محدودیت، صدق کنند. یعنی در این نوع از مسائل، تنها بهینه کردن هدف‌ها قابل قبول نیست و باید علاوه بر این، قیدها و محدودیت‌های مسئله نیز به بهترین شکل رعایت شوند. در این تحقیق دو نوع قید مساوی و نامساوی مورد استفاده قرار گرفته است.

قید مساوی: باید تمامی مقادیر آلودگی از منابع نقطه‌ای در هر لحظه وارد رودخانه شود. بنابراین جرم آلودگی

[1] Particle Swarm Optimization

ورودی توسط منابع نقطه‌ای در بازه زمانی T، قید مساوی مسئله می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T} m_{i,t} = M_i \qquad (۶)$$

که در آن M_i مقدار کل آلودگی منبع i ام است که در بازه زمانی T وارد رودخانه شود. همچنین $m_{i,t}$ مقدار آلودگی رها شده توسط منبع i ام در زمان t ام است.

قید نامساوی: غلظت مجاز آلودگی در بازه زمانی T در سراسر طول رودخانه، قید نامساوی مسئله می‌باشد، که در طول رودخانه نباید از حد مجاز تجاوز کند.

$$\sum_{i=1}^{n} C_{i,t} \le B_t \qquad (۷)$$

که B_t مقدار حد مجاز غلظت آلودگی در سراسر طول رودخانه می‌باشد. غلظت مجاز BOD[1] در طول رودخانه ۵ mg/l درنظر گرفته می‌شود.

تابع جریمه

برای حل مسائل بهینه‌سازی مقید، روش‌های مختلفی وجود دارد، که معروف‌ترین آن‌ها، استفاده از تابع جریمه[2] می‌باشد. در این روش، اجازه تخطی از قیود مسأله به پاسخ‌های پیشنهادی داده می‌شود، اما هر پاسخ بسته به میزان عبورش باید جریمه را بپردازد. این جریمه، در قالب بدتر کردن کیفیت پاسخ با دستکاری در مقدار تابع هدف، پیاده‌سازی می‌شود. مثلا در مسائل کمینه‌سازی، تابع جریمه باعث افزایش مقدار تابع هدف و بدتر شدن پاسخ می‌شود. روش‌های متعددی برای تعریف تابع جریمه وجود دارند؛ اما یک سری اصول کلی باید در طراحی این مکانیزم جریمه، مد نظر قرار گیرند (Shojaeefard et al., 2012).

در این تحقیق تابع جریمه (P) متناسب با عبور از غلظت مجاز آلودگی در رودخانه و ورود کامل آلودگی به داخل رودخانه به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$P = \alpha.\left(\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} C_{i,t} - B_t\right) + \beta.\left(\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\left|m_{i,t} - M_i\right|\right) \qquad (۸)$$

در این رابطه α، β ضرایب پنالتی مسئله می‌باشند که براساس نیاز مسئله به منظور جریمه نمودن تابع هدف برای تخطی از قیدهای مسئله، مقداردهی خواهند شد. به منظور اعمال جریمه در مسئله، تابع جریمه دینامیکی به دست آمده، در تابع هدف مسئله ضرب می‌شود. متناسب با تاثیر تابع جریمه در حل مسئله بهینه سازی، می‌توان ضرب را به جمع تبدیل و یا مقادیر ضرایب جریمه را تغییر داد. نهایتا تابع هدف مسئله پس از اعمال جریمه به صورت رابطه (۹) به دست می‌آید.

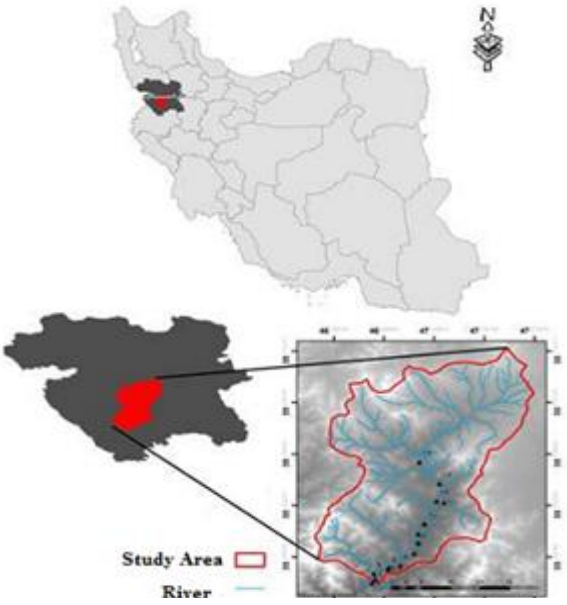
$$\mathrm{F} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} C_{i,t} W_{A,t} \,.\mathrm{P} \qquad (۹)$$

در رابطه (۹) P، همان تابع جریمه می‌باشد که از رابطه (۸) به دست می‌آید.

منطقه مورد مطالعه

رودخانه قشلاق یکی از رودخانه‌های مهم مرزی غرب ایران بوده که در استان کردستان واقع است. قشلاق رودخانه اصلی حوضه آبریز سیروان می‌باشد. در تامین نیاز آبی منطقه نقش ویژه‌ای ایفا می‌کند. از سال ۲۰۰۰، سازمان محیط زیست ایران (Iran DoE) و وزارت نیروی ایران، توجه ویژه‌ای به کنترل آلودگی در حوضه رودخانه قشلاق دارد (Saadatpour et al., 2019). در شکل ۱. موقعیت حوضه رودخانه قشلاق نشان داده شده است.

[1] Biochemical Oxygen Demand
[2] Penalty Function



شکل (۱): موقعیت حوزه آبریز رودخانه قشلاق

به دلیل عبور رودخانه قشلاق از مجاورت شهر سنندج، در طول مسیر خود در معرض منابع مختلف آلاینده قرار دارد. در نتیجه کیفیت آب رودخانه، با کاهش جدی روبرو شده است. رودخانه قشلاق دارای آب دائمی و رژیم جریان برفی- بارانی است. دبی آب طی فصل‌های مختلف سال نوسان دارد. کاهش شدید آب رودخانه به خصوص در ماه-های گرم سال، به دلیل کمبود بارش، تمام شدن ذخیره برف‌ها و برداشت زیاد آب در مسیر رودخانه، موجب می-شود که آلودگی رودخانه افزایش یافته و قدرت خودپالایی رودخانه نیز به شدت کاهش می‌یابد. منابع آلاینده می-توانند از طریق تخلیه مستقیم فاضلاب‌ها، پساب‌ها، مواد زائد جامد و شیرابه‌ها، رودخانه‌ها را آلوده کنند. مهم‌ترین این آلاینده‌ها، منابع آلاینده شهری، فاضلاب تولید شده از منابع خانگی، تجاری و رواناب شهری می‌باشند. در رودخانه قشلاق، آلودگی شهری شامل فاضلاب شهری سنندج و همچنین فاضلاب روستاها و شهرک‌هایی که در مسیر قشلاق و یا سرشاخه‌های آن قرار دارند که موجب آلودگی آن می‌گردند. اطلاعات هندسی، هیدرولوژی، هیدرولیکی و داده‌های کیفی رودخانه قشلاق در فصل تابستان برداشت شده و در مدل‌سازی کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از بررسی و تعیین شیب کف کانال، عرض کف، شیب دیواره‌ها و ضریب زبری مقاطع مختلف، رودخانه به ۹ بازه تبدیل شده و در مدل‌سازی پیاده می-شود که خلاصه آن در جدول (۱) آمده است. در جدول (۲) منابع آلاینده نقطه‌ای موجود در طول رودخانه قشلاق نشان داده شده‌اند. (خوشکام و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول (۱): مشخصات هیدرولیکی بازه‌های رودخانه قشلاق

شماره بازه	نام بازه	فاصله تا پایین دست (km)	طول رودخانه (km)	عرض رودخانه (m)	شیب کف
۰	سرشاخه	۴۹/۴۵	-	۴	۰/۰۰۳
۱	سد قشلاق	۳۹	۱۰/۴۵	۵/۵	۰/۰۰۳
۲	صلوات آباد	۳۵	۴	۷/۵	۰/۰۰۷
۳	بهاران	۲۸/۵۶	۶/۳۵	۱۰	۰/۰۰۵
۴	فاضلاب سنندج	۲۲/۹۵	۵/۷	۱۰	۰/۰۰۵
۵	شیرابه مدفن	۱۷/۵۵	۵/۴	۱۲/۵	۰/۰۰۱
۶	کشتارگاه مرغ پر	۱۲/۰۵	۵/۵	۱۲/۵	۰/۰۰۵
۷	تلاقی سو	۸/۶۵	۳/۴	۱۰	۰/۰۰۶
۸	تلاقی درویشان	۳/۲۵	۵/۴	۱۰	۰/۰۰۳
۹	تلاقی گاورود	۰	۳/۲۵	۱۰	۰/۰۲۱

جدول(۲): منابع آلاینده در رودخانه قشلاق

نام منبع آلاینده	بار آلودگی (gr/s)	فاصله تا پایین دست (km)	غلظت BOD (mg/l)
فاضلاب ننله	۲۰/۸	۴۱	۲۰۰
شهرک صنعتی	۹/۱۳	۳۳	۸۰۰
کشتارگاه دام سنندج	۲/۵۷	۲۸	۹۰۰
بنیاد بتن فجر	۰/۲۰	۲۵	۵۰
خروجی تصفیه خانه فاضلاب	۱۳۶/۶۳	۲۳	۹۷/۹۴
بازیافت، تولید آسفالت و دانه‌بندی شهرداری	۰/۱۴	۲۱	۴۰
نهر شیرابه مدفن	۶۱/۶۴	۱۹	۲۰۵۴/۷۹
کشتارگاه مرغ پر	۱/۶۶	۱۴	۶۹۸/۶۳

فرمول‌بندی مدل و روش بهینه‌سازی

در این تحقیق، ابتدا شبیه‌سازی معادله انتقال-پخش آلودگی در رودخانه به روش حل تحلیلی با رابطه (۲) در نرم افزار MATLAB انجام گرفت، سپس مقادیر آلودگی در نقاط مختلف رودخانه به دست آمد. در ادامه مسئله بهینه‌سازی ارائه شده در این تحقیق، جهت کنترل و مدیریت آلودگی با تابع هدف مورد نظر و قیدهای آن مورد بررسی قرار گرفته و پیاده‌سازی می‌شود. هدف اصلی این تحقیق، ارائه برنامه جامعی است که توزیع زمانی و مکانی آلودگی ورودی به رودخانه را به گونه‌ای مشخص کند که با توجه به شرایط مسئله، کمترین آسیب به مصرف‌کننده وارد شود. در ادامه، مسئله بهینه‌سازی تعریف شده توسط الگوریتم PSO در نرم افزار MATLAB حل شده و برنامه زمانی و مکانی ورود آلودگی به رودخانه ارائه شده و سپس مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

برای تعیین برنامه مدیریت کیفی رودخانه از اطلاعات جدول (۱) استفاده می‌شود که فاصله نقاط منابع نقطه‌ای آلاینده از پایین دست رودخانه قشلاق (x_i) و بار آلودگی وارد شده از هر یک از منابع نقطه‌ای، مشخص می‌باشد. جهت یافتن بهترین موقعیت مکانی برای ورود آلودگی به رودخانه به منظور وارد شدن کمترین آسیب به مصرف کننده، (x_i) به عنوان متغیر مسئله انتخاب شده و بهترین مقادیر برای محل ورود آلودگی از این ۸ منبع به دست می‌آید. برای انتقال و پخش آلودگی از منابع نقطه‌ای آلاینده در موقعیت‌های مختلف زمانی و مکانی رودخانه قشلاق، از روش حل تحلیلی استفاده می‌شود.

با توجه به تابع هدف و قیدهای تعریف شده در این تحقیق و اطلاعات اولیه داده شده، مسئله بهینه‌سازی به وسیله الگوریتم PSO حل شده و برنامه‌ای جهت ورود آلودگی به رودخانه قشلاق از منابع نقطه‌ای آلاینده، ارائه می‌شود. در این مسئله، برداشت آب در پایین دست رودخانه قشلاق توسط مصرف کننده در تمام ساعت‌های شبانه روز انجام می‌گیرد و برداشت در هیچ یک از ساعت-های شبانه روز صفر نمی‌باشد. الگوریتم با ایجاد ۲۰۰ ذره و ۴۰۰ تکرار آغاز می‌گردد، به طوری که انتخاب ذرات، ضمن همگرایی مقدار تابع هدف، قیدهای مسئله را نیز برآورده کند. الگوریتم PSO برای ۱۰ بار تکرار اجرا شد و از میان آن‌ها بهترین جواب برای مسئله انتخاب شد. وزن اینرسی مقدار نهایی ۰/۹ انتخاب شد. معمولا در الگوریتم PSO، مجموع پارامترهای C1 (ضریب جزء شناختی) و C2 (ضریب جزء اجتماعی)، باید کمتر یا مساوی ۴ باشد. همانطور که در جدول (۳) نشان داده شده است، مقدار ۲ برای هر دو پارامتر C1 و C2، بهترین عملکرد را برای تابع هدف تحقیق دارد، که برابر با g ۸۴/۶۸ به دست آمد.

جدول(۳): تاثیر پارامترهای C_1 و C_2 بر مقدار تابع هدف

C_1	C_2	مقدار تابع هدف
۲	۲	۸۴/۶۸
۱/۵	۲	۸۴/۸۴
۱	۲	۸۵/۲۸
۰/۵	۲	۸۵/۴۱
۲	۱/۵	۸۴/۹۳
۲	۱	۸۴/۹
۲	۰/۵	۸۵/۱۲
۲	۲/۵	۸۵/۵۵
۲/۵	۲	۸۵/۱۳

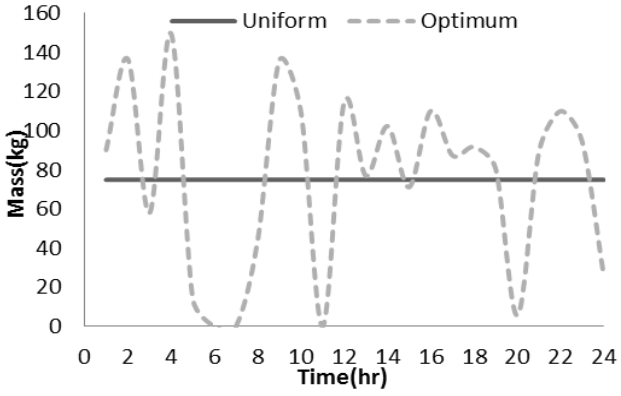
برنامه زمانی ورود آلودگی به رودخانه

تخصیص بار آلودگی از منابع آلاینده نقطه‌ای با هدف کمینه نمودن آسیب وارد شده به مصرف کننده پایین دست با توجه به مقدار مصرف آن در شبانه روز و همچنین ورود تمامی جرم آلودگی از این ۸ منبع در طول شبانه روز، انجام گردید. همچنین محدوده‌ای برای غلظت مجاز BOD در طول رودخانه قشلاق در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه برنامه تخصیص ورود بار آلودگی در طول ساعت‌های شبانه روز می‌باشد بنابراین ۸*۲۴ متغیر تصمیم برای برنامه زمانی وجود دارد که متناظر با مقدار جرم آلودگی ورودی از ۸ منبع نقطه‌ای آلودگی در ساعت-های مختلف شبانه روز می‌باشد. در جدول (۴) برداشت آب توسط مصرف کننده پایین دست رودخانه آمده است.

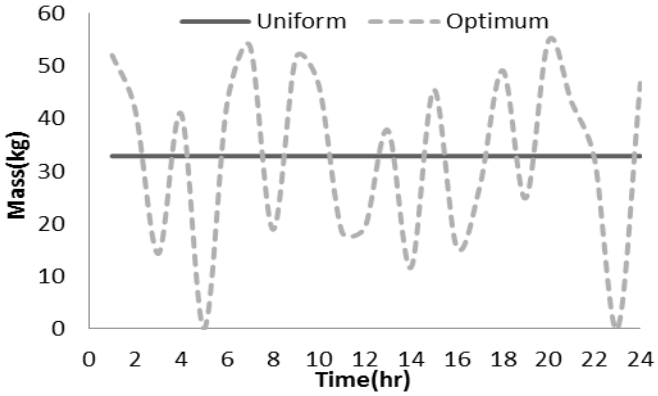
در شکل (۲)، مقادیر جرم آلودگی ورودی از هر منبع نقطه‌ای به رودخانه قشلاق در حالت‌های بهینه پس از اجرای مدل و حالتی که آلودگی به صورت یکنواخت (بهینه نشده) وارد رودخانه شده است، در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز از ۸ منبع نقطه‌ای آلودگی در رودخانه قشلاق به تفکیک منبع آلاینده آورده شده است.

جدول (۴): برداشت آب در ساعت‌های مختلف شبانه روز توسط مصرف کننده پایین دست رودخانه

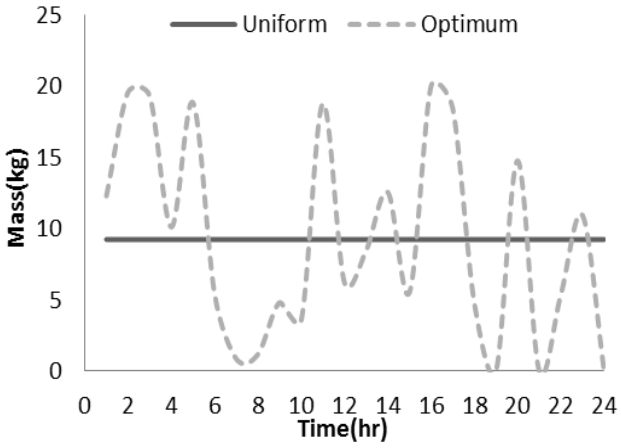
ساعت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
برداشت آب (m^3)	۲۰	۱۳	۱۰	۱۷	۳۰	۳۲	۵۱	۷۴	۸۴	۹۵	۸۲	۹۳	۸۳	۹۶	۱۰۵	۹۸	۸۹	۹۰	۱۰۱	۸۷	۱۵	۱۲	۱۱	۱۰



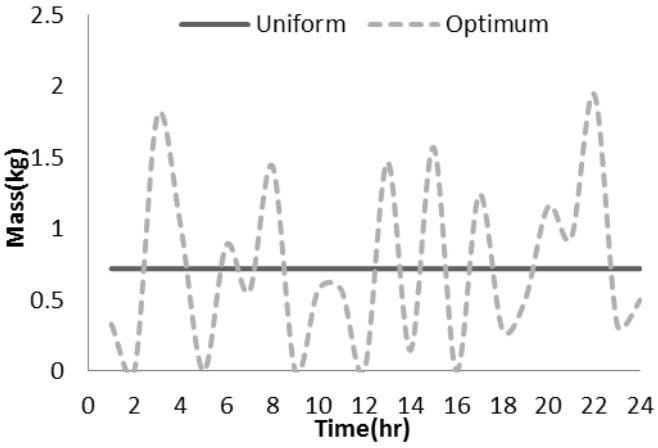
(A)



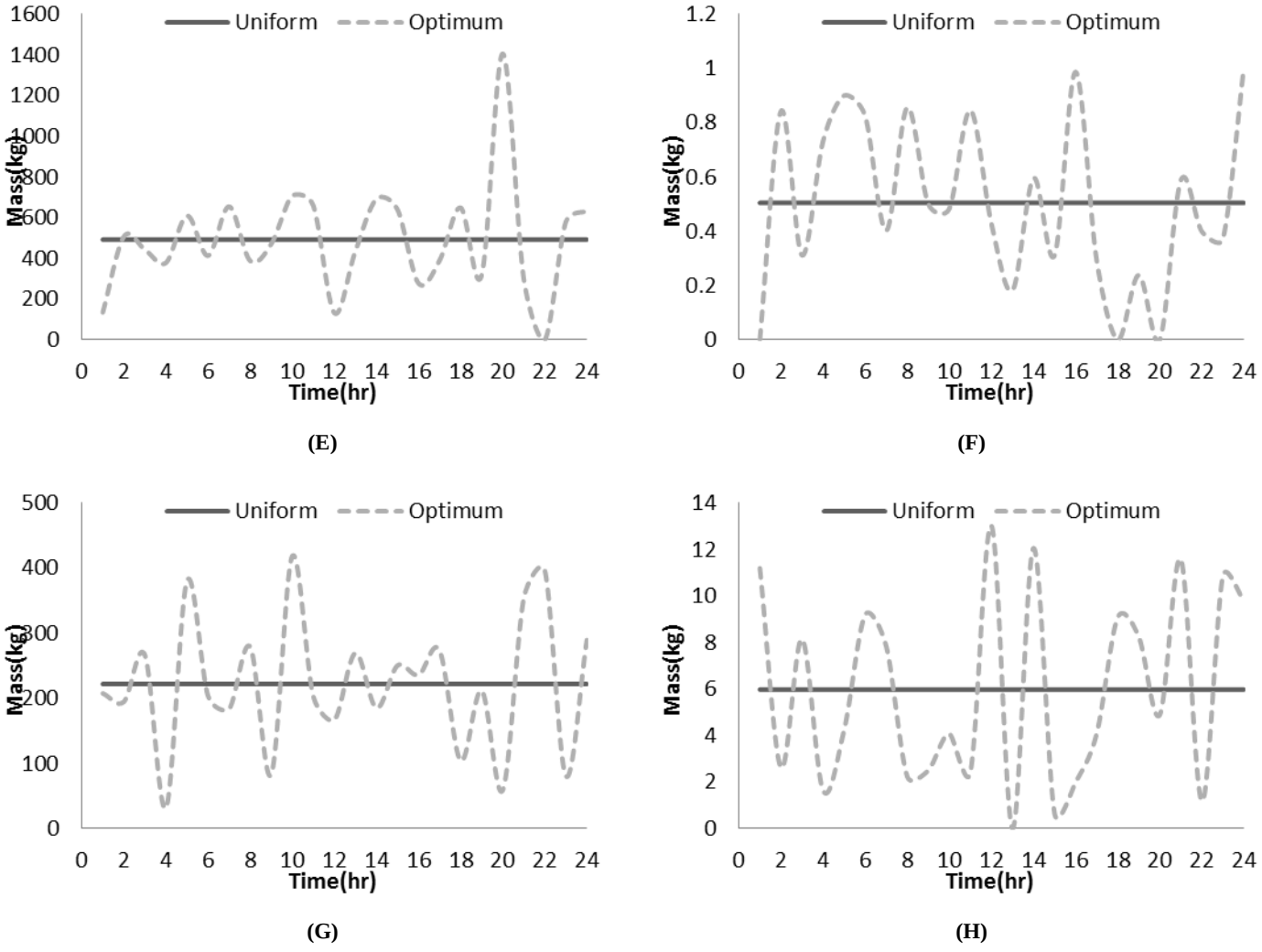
(B)



(C)



(D)



شکل (۲): مقادیر یکنواخت و بهینه به دست آمده برای جرم آلودگی ورودی در ساعت‌های شبانه روز: A): فاضلاب ننله B): شهرک صنعتی C): کشتارگاه دام سنندج D): بنیاد بتن فجر E): خروجی تصفیه خانه فاضلاب F): بازیافت، تولید آسفالت و دانه‌بندی شهرداری G): نهر شیرابه مدفن H): کشتارگاه مرغ پر

باتوجه به شکل (۲)، مقادیر آلودگی ورودی به تفکیک هر منبع آلاینده، نمایش داده شده است. با توجه به این شکل، کمترین و بیشترین مقدار آلودگی ورودی به دست آمده از هر منبع آلاینده و زمان ورود آن در هر ساعت شبانه روز، مشخص می‌باشد.

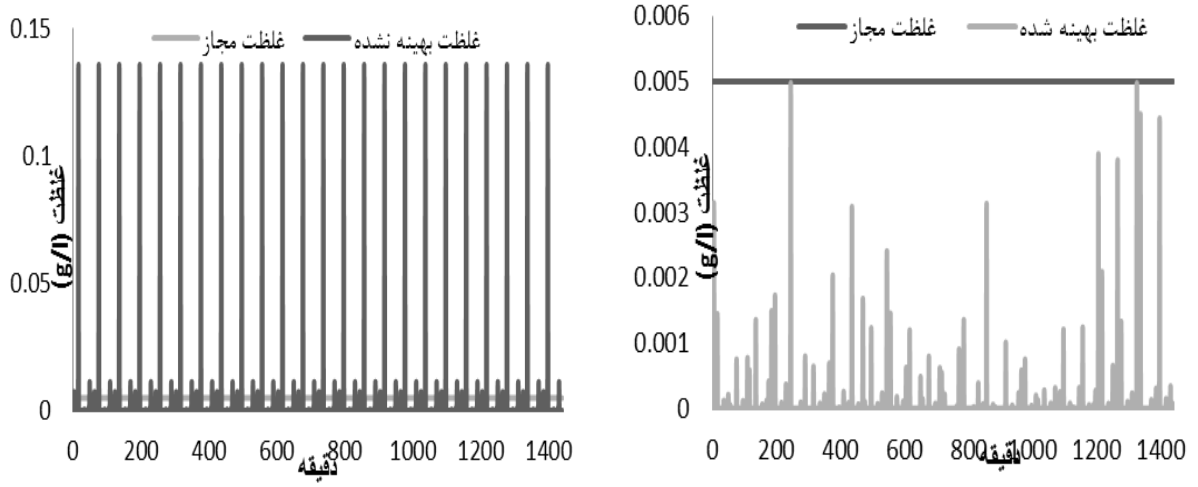
نتایج مدل نشان داد که مقدار تابع هدف مسئله (کمینه کردن آسیب به مصرف کننده) با توجه به برداشت مختلف آب در ساعت‌های شبانه روز، در حالت بهینه نشده (ورود یکنواخت آلودگی) ۳۶۷۴/۴۲g و در حالت بهینه شده g ۸۴/۶۸ به دست آمد. بنابراین مقدار تابع هدف مسئله به مقدار قابل توجه ۹۷/۷٪ کاهش یافته است.

غلظت مجاز آلودگی

غلظت مجاز BOD در طول رودخانه mg/l ۵ درنظر گرفته می‌شود. بنابراین به عنوان قید نامساوی مسئله وارد شده و مسئله بهینه‌سازی حل خواهد شد. در این تحقیق،

غلظت آلودگی در طول رودخانه برای هر دقیقه از ۲۴ ساعت شبانه روز به دست آمده و بنابراین ۱۴۴۰ (۲۴*۶۰) مقدار غلظت وجود دارد که باید از حد مجاز غلظت استاندارد پایین‌تر باشد.

در شکل (۳) مقادیر غلظت BOD در طول رودخانه برای حالت‌هایی که آلودگی به صورت یکنواخت و بهینه نشده وارد رودخانه شده و حالتی که مدل اجرا شده و آلودگی در زمان و مکان‌های بهینه شده وارد رودخانه می‌شود، نشان داده شده است.



(A) **(B)**

شکل (۳): غلظت BOD در حالت‌های (A): بهینه نشده و (B): بهینه شده. همچنین مقایسه آن‌ها با غلظت مجاز در طول رودخانه

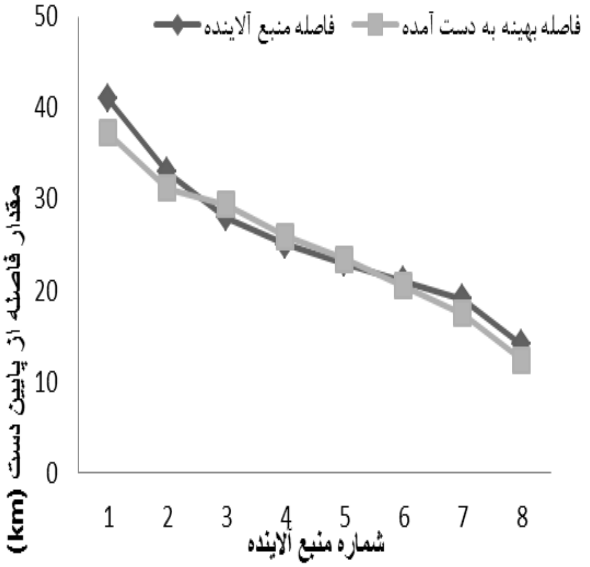
همانگونه که از شکل(A-۳) مشخص است، برای حالتی که مسئله بهینه‌سازی حل نشده و آلودگی به طور یکنواخت و بهینه نشده از منابع مختلف وارد رودخانه قشلاق می‌شود، غلظت آلودگی در بسیاری از دقایق شبانه روز از حد مجاز بالاتر می‌رود، که این موضوع باعث بوجود آمدن خسارت‌های فراوانی به محیط زیست، مصرف کنندگان آب رودخانه، موجودات زنده موجود در آب و غیره می‌شود. اما پس از اجرای مدل و در شرایط ورود آلودگی به صورت بهینه شده در موقعیت زمانی و مکانی متفاوت، (شکل(B-۳))، در هیچ یک از دقایق شبانه روز غلظت BOD در طول رودخانه قشلاق، از حد مجاز بالاتر نرفته و همواره پایین‌تر از این مقدار است. بنابراین قید مسئله به طور کامل رعایت شده است که کارایی مدل و راهکار ارائه شده در آن را نشان می‌دهد.

موقعیت مکانی ورود آلودگی به رودخانه

موقعیت مکانی منابع نقطه‌ای آلاینده در رودخانه قشلاق در جدول (۲) داده شده است، پس از اجرای مدل، با توجه به شرایط مسئله و بازه تعریف شده برای موقعیت ورود آلودگی از منابع نقطه‌ای آلاینده رودخانه قشلاق، موقعیت مکانی بهینه مناسب برای ورود آلودگی از این منابع به رودخانه قشلاق به دست می‌آید که در جدول (۵) آمده است. همچنین در شکل (۴) فاصله بهینه به دست آمده برای ورود آلودگی به رودخانه پس از اجرای مدل و موقعیت خود منابع آلاینده تا مصرف کننده در کنار هم آمده است.

جدول(۵): فاصله بهینه به دست آمده جهت ورود آلودگی از منابع نقطه‌ای آلاینده تا پایین دست

نام منبع آلاینده	فاصله تا پایین دست (km)	فاصله بهینه به دست آمده (km)
فاضلاب ننله	۴۱	۳۷/۲
شهرک صنعتی	۳۳	۳۱/۲
کشتارگاه دام سنندج	۲۸	۲۹/۴
بنیاد بتن فجر	۲۵	۲۵/۹
خروجی تصفیه خانه فاضلاب	۲۳	۲۳/۴
بازیافت، تولید آسفالت و دانه‌بندی شهرداری	۲۱	۲۰/۴۵
نهر شیرابه مدفن	۱۹	۱۷/۴
کشتارگاه مرغ پر	۱۴	۱۲/۳۱



شکل (۴): فاصله منابع تا پایین دست و مقادیر بهینه به دست آمده برای ورود آلاینده

همانطور که از شکل (۴) مشخص است، فاصله موقعیت بهینه به دست آمده تا پایین دست برای ورود آلودگی به رودخانه در منابع ۱،۲،۶،۷ و ۸، کمتر از فاصله موقعیت منبع آلاینده تا پایین دست و در منابع ۳،۴ و ۵، بیشتر از فاصله موقعیت منبع تا پایین دست می‌باشد. همچنین بیشترین فاصله بین مقادیر بهینه به دست آمده برای موقعیت ورود آلودگی و موقعیت خود منابع آلاینده تا پایین دست، مربوط به منابع شماره ۱،۲ و ۸ به ترتیب برابر با ۳/۸ km، ۱/۸ km و ۱/۶۹ km می‌باشد. برای سایر منابع این مقادیر کمتر می‌باشد.

نتیجه گیری

انتشار آلاینده‌های مختلف در رودخانه‌ها از بزرگترین مسائل و چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب و حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد. با توجه به وجود این چالش‌ها و شرایط بحرانی پیش‌رو، ارائه برنامه‌ای که بتواند مدیریت کیفی آب‌های سطحی را به بهترین شکل ممکن انجام دهد، ضروری می‌باشد. مدل‌های شبیه‌ساز- بهینه ساز با لحاظ کردن شرایط کمی و کیفی، مقادیر بهینه مسئله را ارائه می‌کنند. همچنین در هیچ یک از تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت آلودگی در آب سطحی، تاثیر همزمان برنامه زمانی و موقعیت مکانی ورود آلودگی به رودخانه در مدیریت کیفی رودخانه در نظر گرفته نشده است. در این تحقیق، مدیریت کیفی رودخانه با هدف کاهش آسیب وارد شده به مصرف کننده بررسی می‌شود. ایزار مورد استفاده برای این کار، ارائه برنامه زمانی و مکانی جامع برای ورود آلودگی به رودخانه می‌باشد به گونه‌ای که آسیب برای مصرف کننده پایین دست کمینه شود، تمامی آلاینده‌ها از منابع نقطه‌ای وارد رودخانه شوند و غلظت آلاینده از حد مجاز بالاتر نرود. برای این کار از اطلاعات هیدرولیکی و کیفی رودخانه قشلاق در غرب ایران استفاده گردید. برنامه بهینه زمانی برای تخلیه آلودگی و موقعیت مکانی برای ورود آلودگی به رودخانه به الگوی مصرف در پایین دست رودخانه بستگی دارد. در تمامی ساعت‌های شبانه روز برداشت آب در پایین دست رودخانه انجام می‌شود. الگوریتم با ایجاد ۲۰۰ ذره و ۴۰۰ تکرار آغاز شد و ۱۹۲ متغیر تصمیم که متناظر با مقدار جرم آلودگی ورودی از ۸ منبع نقطه‌ای آلودگی در ساعت‌های مختلف شبانه روز می‌باشد، به دست آمد. همچنین ۸ متغیر تصمیم متناظر با موقعیت مکانی

مناسب برای ورود آلودگی از منابع آلاینده به دست می‌آید. نتایج برنامه ارائه شده تحقیق نشان داد که در برنامه بهینه ارائه شده، علاوه بر رعایت غلظت آلودگی مجاز در طول رودخانه، تمامی بار آلودگی منابع آلاینده در طول شبانه روز وارد رودخانه شد و کمترین آسیب به مصرف کننده وارد شد. در حالی که در شرایط مدیریت نشده، غلظت آلودگی در بسیاری دقایق شبانه روز در طول رودخانه قشلاق، از حد مجاز بالاتر رفت. همچنین تابع هدف مسئله که در حالت مدیریت نشده g ۳۶۷۴/۴۲ بود، به میزان ۹۷/۷٪ کاهش یافته و به عدد g ۸۴/۴۸ رسید، که کارایی بالای برنامه مدیریت آلودگی ارائه شده را نشان می‌دهد.

منابع

حجتی، ع. فریدحسینی، ع. علیزاده، ا. و انتظاری، م. ۱۳۹۲. مدل بهره برداری مخزن با رویه جیره بندی و کاربرد آن در تهیه منحنی فرمان سد دوستی. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

خراشادی زاده، م. عزیزیان، غ. هاشمی منفرد، س.، آ. و اکبرپور، ا. ۱۳۹۷. تحلیل حساسیت پارامترهای مدل دوبعدی انتقال آلودگی در آب‌های کم‌عمق به روش RSA. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۵، ص ۱۱۲۹-۱۱۱۹.

خراشادی زاده، م. هاشمی منفرد، س.، آ. اکبرپور، ا. پوررضا بیلندی، م. ۱۳۹۵. تحلیل عدم قطعیت مدل انتقال آلودگی در رودخانه به روش GLUE. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، جلد ۱۰، ص ۲۹۳-۲۸۴.

خوشکام، ه. سعادت پور، م. و حیدرزاده، ن. ۱۳۹۶. تخصیص بهینه بار یک/چند آلاینده در رودخانه قشلاق رویکرد شبیه سازی- بهینه سازی. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال سیزدهم، شماره ۲، ص ۱۱۴- ۹۹.

دلاور، م. مرید، س. و مقدسی، م. ۱۳۹۳. توسعه مدل بهینه‌ساز- شبیه‌ساز مبتنی بر ریسک تخصیص منابع آب با استفاده از مفهوم ارزش در معرض خطر شرطی، مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده رود. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال دهم، شماره ۱، ص ۱۴-۱.

ستاری، م.، ت. عباسقلی نایب زاد، م. و میرعباسی نجف آبادی ر. ۱۳۹۳. پیش‌بینی کیفیت آب‌های سطحی با استفاده از روش درخت تصمیم. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره ۱۵، ص ۸۸-۷۶.

کهریزی، ه. فراستی، م. و بافکار، ع. ۱۳۹۳. آزمایش ناپیوسته حذف مس از محلول آبی توسط نانوساختار نی. مجله مهندسی بهداشت محیط، سال دوم، شماره ۲، ص ۸۸-۷۶.

کیانی هرچگانی، م. کیانی هرچگانی، س. و صادقی، س.، ح.، ر. ۱۳۹۵. تحلیل تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب در حوزه آبخیز کارون با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره ۲۳، ص ۴۸-۳۴.

Batu, V, 2005. Applied flow and solute transport modeling in aquifers, fundamental principles and analytical and numerical methods. CRC Press.

Chen, C. W., and Wells, J. 1975. Boise River Water Quality-Ecological Model for Urban Planning study. Idaho water Resource Board and Idaho Dept, Walla.

Chen, J. S., Liu, C. W., Liang, C. P., Lai, K. H., 2012. Generalized analytical solutions to sequentially coupled multi-species advective-dispersive transport equations in a finite domain subject to an arbitrary time-dependent source boundary condition. Journal of Hydrology, 456: 101-109.

Craig, R. C., and Read, W. W., 2010. The Future of Analytical Solution Methods for Grounwater Flow and Transport Simulation. XVIII International Conference on Water Resources .

Diyawadana, D. M. N., Pathmarajah, S, Gunawardena, E. R. N., Vulnerability of smallholder farmers to climate change: a case study from Hakwatuna-Oya irrigation scheme in Sri Lanka. 2017. Tropical Agricultural Research, 28(3): 223-237.

Eberhart, R. C., and Kennedy, J., 1995. A new optimizer using particle swarm theory, in Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science, 39-43.

Farasati, M, Haghighi, S, Boroun, S., Cd removal from aqueous solution using agricultural wastes. 2015. Desalination and Water Treatment, 1-11.

Farzi, S., Farasati, M, Farhadi Bansouleh, B, Pirsaheb, M., Evaluation of batch and continuous adsorption kinetic models of cadmium from aqueous solutions using sugarcane straw nano-structure absorbent. 2018. Desalination and Water Treatment, 115: 135-144.

Fischer, H. B., 1975. Discussion of simple method for predicting dispersion in streams. By McQuiver, R. S. and Keefer. T. N. J. Environ, Eng, 101: 453–455.

Khorashadizadeh, M, Azizyan, G, Hashemimanfared, SA, Akbarpour, A, Shabani, A., 2020. A timetable and spatial planning for pollutant entrance to the river. International Journal of Environmental Science and Technology 17(10):4171-4188.

Ne-Zheng, S., 1996. Mathematical Modeling of Groundwater pollution, Springer- Verlag, New York.

Pavan Kumar, K., Mohan, S., 2009. Development and Application of Multiobjective Fuzzy Waste Load Allocation Model. Proceedings of the 4th Indian International Conference on Artificial Intelligence, Tumkur, 16-18, Karnataka, India.

Rafiee Anzab, N., Mousavi, S. J., Rousta, B. A., Kim, J. H., 2016. Simulation-optimization for optimal sizing of water transfer systems, Harmony Search Algorithm, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Berlin, Heidelberg, 382: 365-375.

Saadatpour, M., Afshar, A., Khoshkam, H., 2019. Multi-objective multi-pollutant waste load allocation model for rivers using coupled archived simulated annealing algorithm with QUAL2Kw. Journal of Hydroinformatics.

Sahab, M. G., Toropov, V. V, and Gandomi, A. H., 2013. A review on traditional and modern structural optimization: problems and techniques. Metaheuristic Applications in Structures and Infrastructures, 25-47.

Shojaeefard, M. H., Tahani, M., Ehghaghi, M. B., M. Beglari., 2012. Numerical study of the effects of some geometric characteristics of a centrifugal pump impeller that pumps a viscous fluid. Computers & Fluids, 60: 61–70.

Singh, P., Yadav, S. K., and Kumar, N., 2012. One-Dimensional pollutant's advectivediffusive transport from a varying pulse-type point source through a medium of linear heterogeneity. J. Hydrol, Engin, 17(9): 1047-1052.

Subbarao Vemula, V. R., Mujumdar, P. P., and Subimal Ghosh, 2004. Risk Evaluation in Water Quality Management of a River System. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 130(5).

Van Genuchten, M. Th., and Alves, W. J., 1982. Analytical solutions of the one-dimensional convective-dispersive solute transport equation. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin, No. 1661.

Yadav, R. R., Jaiswal, D. K., and Yadav, H. K., (2010). Analytical solution of one dimensional temporally dependent advection-dispersion equation in homogeneous porous media. Inter, J. Engin. Sci. Technol, 2: 141-148.

River Pollution Discharge Management Using Particle Swarm Optimization Algorithm, Case Study: Gheshlagh River

Mahdi Khorashadizadeh[1], Gholamreza Azizyan[2], Seyed Arman Hashemimonfared[3*], Abolfazl Akbarpour[4], Amir Shabani[5]

Abstract

Pollution of surface water especially rivers has created serious problems for both human health and environment. Finding efficient solutions for controlling river pollution is essential in order to reduce damage for the consumer to protect the environment. In this research, river quality management planning is determined in a way that minimized the rate of pollution damage with using particle swarm optimization. The case study is Gheshlagh River in Iran, Kurdistan province. The timetable for entering contamination is at different hours of the day, and eight source points enter contamination to the Gheshlagh River. Also in all hours of the day, water harvesting from the Gheshlagh River is carried out by the downstream consumers. The 192 of decision variables of this research are corresponding to the amount of contamination entering from these sources at different times. Also, 8 decision variables are corresponding to the optimal location of contamination entering to the river. The results indicate that in the optimal condition the value of contamination does not exceed from the allowable limited. However in the unmanaged condition, the contamination value exceeds the allowable limit. The river quality management planning which determines the optimal location and the timetable of pollution discharge, reduced significantly consumer's damages. So that the objective function of this study was reduced by 97.7%.

Keywords: Pollution Control, Optimal Location of Pollution Source, Timetable, Water Harvesting, Damage for the Consumer.

[1] PhD in Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Iran, Email: Mahdi89khorashadi@pgs.usb.ac.ir
[2] Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Iran, Email: g.azizyan@eng.usb.ac.ir
[3] Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan Iran, Email: hashemi@eng.usb.ac.ir, (*Corresponding Author)
[4] Professor, Department of Civil Engineering, University of Birjand, Iran, Email: akbarpour@birjand.ac.ir
[5] PhD in Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Iran, Email: a.shabani@mail.kntu.ac.ir

Research Paper

River Pollution Discharge Management Using Particle Swarm Optimization Algorithm, Case Study: Gheshlagh River

Mahdi Khorashadizadeh[1], Gholamreza Azizyan[2], Seyed Arman Hashemimonfared[31], Abolfazl Akbarpour[4], Amir Shabani[5]

[1] PhD in Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Iran, Email: Mahdi89khorashadi@pgs.usb.ac.ir
[2] Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Iran, Email: g.azizyan@eng.usb.ac.ir
[3] Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan Iran, Email: hashemi@eng.usb.ac.ir
[4] Professor, Department of Civil Engineering, University of Birjand, Iran, Email: akbarpour@birjand.ac.ir
[5] PhD in Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Iran, Email: a.shabani@mail.kntu.ac.ir

10.22125/IWE.2020.208137.1230

Received: **November.9.2020**
Accepted: **February.11.2021**
Available online: **June.01.2022**

Keywords: Pollution Control, Optimal Location of Pollution Source, Timetable, Water Harvesting, Damage for the Consumer.

Abstract

Pollution of surface water especially rivers has created serious problems for both human health and environment. Finding efficient solutions for controlling river pollution is essential in order to reduce damage for the consumer to protect the environment. In this research, river quality management planning is determined in a way that minimized the rate of pollution damage with using particle swarm optimization. The case study is Gheshlagh River in Iran, Kurdistan province. The timetable for entering contamination is at different hours of the day, and eight source points enter contamination to the Gheshlagh River. Also in all hours of the day, water harvesting from the Gheshlagh River is carried out by the downstream consumers. The 192 of decision variables of this research are corresponding to the amount of contamination entering from these sources at different times. Also, 8 decision variables are corresponding to the optimal location of contamination entering to the river. The results indicate that in the optimal condition the value of contamination does not exceed from the allowable limited. However in the unmanaged condition, the contamination value exceeds the allowable limit. The river quality management planning which determines the optimal location and the timetable of pollution discharge, reduced significantly consumer's damages. So that the objective function of this study was reduced by 97.7%.

1. Introduction

Finding how pollution is distributed spatially/temporally is essential to accurately predict its damage to the river/coastal area ecology and find effective solutions for its control and environmental protection. Mathematical models that use derivatives of partial differential equations (solved both analytically and numerically) are powerful pollution transfer-distribution study tools (Khorashadizadeh et al, 2018). In this research, a mathematical model is proposed that considers the simultaneous impact of contamination entering timetable and location on river pollution management

2. Materials and Methods

In this study, pollution entering the river is simulated by an analytical solution. Thus, the contamination levels in the river are determined at different time and locations. The analytical solution of the advection–dispersion equation is given (Zheng, 1996).

$$c(x,t) = \frac{M}{A\sqrt{4\pi D_x}} \exp\left(-\frac{(x-(x_0+v_x t))^2}{4D_x t}\right)$$

The objective function (F) is the summation of calculated consumer damages and is obtained by contamination from different point sources and consumer consumption at the specified time period. The equation shows the objective function of the study.

$$F = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} C_{i,t} W_{A,t}$$

3. Results

According to the results, the location of pollution entry influences on the pollution concentration at the consumer position, and the best location of pollution discharge could be found by optimization. Also if the contaminations were discharged uniformly, the amount of pollution concentration would be exceeded from allowable limits in certain times.

4. Discussion and Conclusion

The optimal values of 200 decision variables (192 decision variables are corresponding to the mass of contamination entering at different hours of the day and 8 decision variables are corresponding to the location of contamination entering to the river) are obtained by PSO algorithm.

5. Six important references

1. Chen, J. S., Liu, C. W., Liang, C. P., Lai, K. H., 2012. Generalized analytical solutions to sequentially coupled multi-species advective-dispersive transport equations in a finite domain subject to an arbitrary time-dependent source boundary condition. Journal of Hydrology, 456: 101-109.

2. Farasati, M, Haghighi, S, Boroun, S., Cd removal from aqueous solution using agricultural wastes. 2015. Desalination and Water Treatment, 1-11.

3. Khorashadizadeh, M, Azizyan, G, Hashemimanfared, SA, Akbarpour, A, Shabani, A., A timetable and spatial planning for pollutant entrance to the river. 2020. International Journal of Environmental Science and Technology 17(10):4171-4188.

4. Rafiee Anzab, N., Mousavi, S. J., Rousta, B. A., Kim, J. H., 2016. Simulation-optimization for optimal sizing of water transfer systems, Harmony Search Algorithm, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Berlin, Heidelberg, 382: 365-375.

5. Saadatpour, M., Afshar, A., Khoshkam, H., 2019. Multi-objective multi-pollutant waste load allocation model for rivers using coupled archived simulated annealing algorithm with QUAL2Kw. Journal of Hydroinformatics.

6. Singh, P., Yadav, S. K., and Kumar, N., 2012. One-Dimensional pollutant's advectivediffusive transport from a varying pulse-type point source through a medium of linear heterogeneity. J. Hydrol, Engin, 17(9): 1047-1052

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest