مدل فازی شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در تخصیص بار آلاینده

مطهره سعادت‌پور [۱] عباس افشار [۲]
امید بزرگ حداد [۳]

(دریافت ۸٤/۳/۲۹ پذیرش ۸٤/۹/۲۲)

چکیده

در این مقاله از یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی به منظور بهینه‌سازی تخصیص بار آلایندهٔ منابع نقطه‌ای استفاده شده است. در طی فرآیند تصمیم‌گیری تخصیص بار آلاینده، پارامترهای تصادفی موجود در سیستم و اهداف مبهم منجر به عدم قطعیتهایی در مدل می‌گردند. در این مقاله از مجموعه‌های فازی با تابع عضویت مناسب به منظور مواجهه با عدم قطعیتهای ناشی از مبهم بودن اهداف استفاده شده است. مدل فازی تخصیص بار آلاینده از "QUAL2E" به عنوان یک مدل شبیه‌ساز و از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک بهینه‌ساز استفاده می‌نماید که در نتیجه، ترکیبی ارضاء کننده از مقادیر حذف آلاینده‌ها از منابع آلاینده نقطه‌ای در اختیار ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان قرار می‌گیرد. به منظور کنترل جوابها و عدم تخطی شرایط کیفی از استانداردها، از روش ضریب جریمه استفاده شده است. به طورکلی، روش تخصیص بار آلاینده درصدد ارائه راه حلی تعاملی و سازشی بین ادارات حفاظت محیط‌زیست و تخلیه‌کنندگان می‌باشد. نتایج حاصل، حاکی از آن است که اهداف ادارات حفاظت محیط‌زیست مبنی بر دستیابی به غلظتهای مطلوب و نیز اهداف تخلیه‌کنندگان مبنی بر استفاده کامل از ظرفیت خودپالایی رودخانه به طور کامل تأمین نشده، بلکه تعاملی بین گروهها در دستیابی به مقاصدشان فراهم گردیده است. این مدل فازی بهینه‌سازی تخصیص بار آلاینده برای یک مسئله فرضی حل شده و نتایج حاصل، همگرایی مناسبی به جواب بهینه کلی داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *بهینه‌سازی، تخصیص بار آلاینده، فازی، الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی.*

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه علم و صنعت ایران
m_saadatpour2002@yahoo.com
۲- استاد دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران
۳- دانشجوی دکترای مدیریت، منابع آب، دانشگاه علم و صنعت ایران

Fuzzy Simulation-Optimization Model for Waste Load Allocation

Motahhare Saadatpour[1], Abbas Afshar[2]
Omid Bozorg Haddad[3]

Abstract

This paper present simulation-optimization models for waste load allocation from multiple point sources which include uncertainty due to vagueness of the parameters and goals. This model employs fuzzy sets with appropriate membership functions to deal with uncertainties due to vagueness. The fuzzy waste load allocation model (FWLAM) incorporate QUAL2E as a water quality simulation model and Genetic Algorithm (GA) as an optimization tool to find the optimal combination of the fraction removal level to the dischargers and pollution control agency (PCA). Penalty functions are employed to control the violations in the system. The results demonstrate that the goal of PCA to achieve the best water quality and the goal of the dischargers to use the full assimilative capacity of the river have not been satisfied completely and a compromise solution between these goals is provided. This fuzzy optimization model with genetic algorithm has been used for a hypothetical problem. Results demonstrate a very suitable convergence of proposed optimization algorithm to the global optima.

Keywords: *Optimization, Waste Load Allocation, Fuzzy, Genetic Algorithm, Simulation.*

1-Grad. Student of Environmental Engineering, Iran University of Science and Technology- m_saadatpour2002@yahoo.com
2- Professor, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology
3- Ph.D, Student of Water Resources Management, Iran University of Science and Technology

۱- مقدمه

رشد فزاینده و توسعه صنعتی و کشاورزی در دهه‌های اخیر با افزایش چشمگیر زائدات، آلاینده‌ها و پسماندهای صنعتی و کشاورزی همراه بوده است. آبهای سطحی به عنوان یکی از منابع اصلی پذیرنده همانند سایر منابع پذیرنده از ظرفیت پالایش محدودی برخوردارند. لذا برای حفظ و صیانت از محیط‌زیست و تأمین شرایط لازم برای استمرار حیات سالم و ایمن برای نسل حاضر و نسلهای بعدی، تلاش در جهت دستیابی به روشهای منطقی و اقتصادی در مدیریت کیفی منابع آب یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. تحقق این امر نیازمند دسترسی و استفاده از ابزار مدیریتی کارآمد مبتنی بر دانش زیست محیطی و مدیریت منابع آب است[۱].

یکی از جنبه‌های مهم مدیریت کیفی منابع آب، تخصیص بهینه بار آلاینده‌ها[1] در سیستم رودخانه‌هاست. تخصیص بهینه بار آلاینده می‌تواند از یک سو استانداردهای کیفی در سیستم را ارضا کرده و از سوی دیگر هزینه‌های تحمیل شده به مدیران صنعتی و کشاورزی را برای حذف آلاینده‌های ورودی به پیکره‌های آبی به حداقل برساند[۲]. تاکنون روشهای مختلفی همچون روش وزن‌دهی[2] و روش محدودسازی[3] در تخصیص بهینه بار آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۳و۴]. اگرچه در بسیاری از موارد، این روشها به جوابهای قابل قبولی در سطح مدیران تصمیم گیرنده منجر شده‌اند، اما به دلیل وجود مشکلات اساسی در فرمول‌بندی مسئله و عدم انطباق با شرایط واقعی مورد استقبال گروههای مختلف ادارات حفاظت محیط‌زیست و تخلیه کنندگان واقع نشده‌اند.

به طور کلی مدل‌های شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در جنبه‌های مختلفی از مسائل مدیریت منابع آب همانند مدیریت آبهای زیرزمینی، مدیریت کمّی و کیفی آبهای سطحی، سیستم‌های توزیع آب در شبکه، بهره‌برداری از مخازن و تخصیص بهینه بارآلاینده‌ها نتایج مطلوبی ارائه کرده‌اند[۵،۶و۷]. بنابراین به کارگیری ترکیب روشهای شبیه‌سازی- بهینه‌سازی به منظور ارائه طرحهایی با کارآیی بهتر و قابلیتهای گسترده‌تر لازم و ضروری به نظر می‌رسد که همین امر از عوامل اصلی محرک در این کار تحقیقاتی بوده است. توسعه مدل‌های شبیه‌سازی با قابلیتهای بالا به همراه توسعه فزاینده بهینه‌سازهایی با قابلیتهای گسترده در حل مسائل غیرخطی و حتی غیر محدب بسیار امیدوار کننده بوده و امروزه در اغلب موارد محققان و حتی تصمیم‌گیران، اجباری به استفاده از مدل‌ها و شبیه‌سازهای خطی برای تقریب زدن سیستم‌های کم و بیش پیچیده ندارند.

نباید از این نکته مهم نیز غافل ماند که مسائل مدیریت کیفی با انواع متفاوتی از عدم قطعیتها در گامهای تصمیم‌گیری فرآیند تخصیص بهینه بار آلاینده مواجه هستند. این عدم قطعیتها ناشی از تصادفی و مبهم بودن پارامترهای تصمیم‌گیری است. به این معنا که تصادفی بودن پارامترها ناشی از تغییرات دبی رودخانه، دبی آلاینده ورودی به سیستم و ضرایب و ثوابت واکنش‌ها و غیره می‌باشد و مبهم بودن پارامترها نیز ناشی از عدم شفافیت اهداف تعریف شده توسط ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان می‌باشد. برای مثال تعریف غلظت مطلوب، غلظت مجاز، حد پایین تصفیه و... به عنوان اهداف ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان چندان شفاف و قابل‌تفکیک نیست و لذا به نظر می‌رسد که برخورد منطقی با عدم قطعیتهای ناشی از مبهم بودن اهداف را می‌توان در قالب مجموعه‌های فازی، مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- فرمول بندی مدل

در این بخش، اهداف مختلف مرتبط با مسائل مدیریت کیفی مورد بررسی قرار می‌گیرند. ادارات حفاظت محیط زیست مجموعه غلظت ایده آل (C_{il}^{D}) و غلظت مینیمم (C_{il}^{L}) را برای پارامتر کیفی iام در نقطه کنترل lام ($C_{il}^{D} > C_{il}^{L}$) تعریف می‌کنند(مثل غلظت اکسیژن محلول و...). به طور مشابه C_{jl}^{D} و C_{jl}^{H} به ترتیب، غلظت دلخواه و غلظت مجاز پارامتر کیفی jام در نقطه کنترل lام($C_{jl}^{D} < C_{jl}^{H}$)(مثل غلظت مواد سمی و...) می‌باشند. فرض می‌شود هر آلاینده، یک یا چند پارامتر کیفی را در سیستم تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار x_{wmn} درصد حذف آلاینده nام از تخلیه کننده mام برای کنترل پارامتر کیفی iام و jام (w اندیسی برای پارامترهای کیفی i و j) می‌باشد. مقدار ماکزیمم درصد حذف آلاینده فوق x_{wmn}^{M} می‌باشد. اولین هدف، E_{il}، بدین گونه تعریف می‌شود که C_{il} تا حدممکن به غلظت ایده‌آل C_{il}^{D} نزدیک شود. درجه عضویت C_{il}^{D} و C_{il}^{L} به مجموعه هدف E_{il} به ترتیب برابر یک و صفر می‌باشد. مقادیر مابین غلظت C_{il}^{D} و C_{il}^{L} تابع عضویتی به شرح زیر خواهند داشت

$$\mu_{E_{il}}(C_{il}) = \left[\frac{C_{il} - C_{il}^{L}}{C_{il}^{D} - C_{il}^{L}}\right]^{\alpha_{il}} \qquad C_{il}^{L} \le C_{il} \le C_{il}^{D} \qquad (۱)$$

هدف E_{jl} نیز مشابه هدف E_{il} با توجه به پارامتر کیفی jام می‌باشد. درجه عضویت C_{jl}^{D} و C_{jl}^{H}، به مجموعه هدف E_{jl} به ترتیب

[1] Optimum Waste Loads Allocation
[2] Weighting Method
[3] Constraint Method

برابر یک و صفر می‌باشد. مقادیر غلظت بین C_{jl}^{D} و C_{jl}^{H} تابع عضویتی به شرح زیر خواهند داشت

$$\mu_{Ejl}(C_{jl}) = \left[\frac{C_{jl}^{H} - C_{jl}}{C_{jl}^{H} - C_{jl}^{D}}\right]^{\alpha jl} \qquad C_{jl}^{D} \le C_{jl} \le C_{jl}^{H} \qquad (۲)$$

هدف F_{wmn} بدین صورت تعریف می‌شود که درصد تصفیه x_{wmn} را تا حد ممکن به درصد تصفیه مینیمم x_{wmn}^{L} نزدیک کنیم. درجه عضویت x_{wmn}^{L} و x_{wmn}^{M} (مقدار درصد تصفیه ماکزیمم) به مجموعه هدف F_{wmn} نیز به ترتیب یک و صفر می‌باشد. مقادیر درصد تصفیه بینابین x_{wmn}^{L} و x_{wmn}^{M}، درجه عضویت به شرح زیر خواهند داشت

$$\mu_{Fwmn}(x_{wmn}) = \left[\frac{x_{wmn}^{M} - x_{wmn}}{x_{wmn}^{M} - x_{wmn}^{L}}\right]^{\beta wmn} \qquad x_{wmn}^{L} \le x_{wmn} \le x_{wmn}^{M} \qquad (۳)$$

مقادیر توانهای α و β که در شکل توابع عضویت ظاهر می‌شوند، مقادیر مثبت غیر صفر می‌باشند. اختصاص مقادیر مختلف به این پارامترها، بسته به شکل توابع عضویتی است که توسط تصمیم‌گیرندگان انتخاب می‌شود. همان طور که قبلا نیز اشاره شد با تعریف اهداف گروههای ذینفع در قالب مجموعه‌های فازی، مجموعه تصمیم فازی Z که حاصل اشتراک این اهداف می‌باشد، به صورت زیر تعریف می‌گردد

$$Z = (\bigcap_{w,l} E_{wl}) \cap (\bigcap_{w,m,n} F_{wmn}) \qquad (۴)$$

درجه عضویت اعضای مجموعه Z به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\mu_Z(X) = \mathrm{Min}_{w,m,n}[\mu_{E_{wl}}(C_{wl}), \mu_{F_{wmn}}(x_{wmn})] \qquad (۵)$$

که در رابطه بالا، X فضایی است که توسط C_{wl} و x_{wmn} تعریف می‌شود و مقدار بهینه آن X^* به صورت زیر می‌باشد

$$\mu_Z(X^*) = \lambda^* = \mathrm{Max}[\mu_Z(X)] \qquad (۶)$$

مسائل بهینه‌سازی چند معیاره، پایه و اساسی را در فرمول‌بندی مدل تخصیص فازی بار آلاینده (FWLAM)[1] فراهم می‌کنند. FWLAM که مقدار تابع هدف (λ) را در سیستم ماکزیمم می‌کند به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\mathrm{Max}\ \lambda \qquad (۷)$$

$$\mu_{Eil}(C_{il}) \ge \lambda \qquad \forall i,l \qquad (۸)$$

$$\mu_{Ejl}(C_{jl}) \ge \lambda \qquad \forall j,l \qquad (۹)$$

$$\mu_{Fwmn}(x_{wmn}) \ge \lambda \qquad \forall w,m,n \qquad (۱۰)$$

$$C_{il}^{L} \le C_{il} \le C_{il}^{D} \qquad \forall i,l \qquad (۱۱)$$

$$C_{jl}^{D} \le C_{jl} \le C_{jl}^{H} \qquad \forall j,l \qquad (۱۲)$$

$$x_{wmn}^{L} \le x_{wmn} \le x_{wmn}^{M} \qquad \forall w,m,n \qquad (۱۳)$$

$$x_{wmn}^{MIN} \le x_{wmn} \le x_{wmn}^{MAX} \qquad \forall w,m,n \qquad (۱۴)$$

$$0 \le \lambda \le 1 \qquad (۱۵)$$

قیدهای ۱۳ و ۱۴ بیانگر مقادیر مینیمم درصدهای تصفیه هستند که توسط ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان به عنوان مرزهای پایین درصدهای تصفیه برای تخلیه کنندگان معین می‌شود. قیدهای ۸ تا ۱۰ حداقل مقدار ممکن را که مورد تأیید ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان است، تعریف می‌کنند. در واقع تابع هدف به منظور ماکزیمم کردن ۸، درصدد انتخاب ماکزیمم مقدار مینیمم مرتبه تأیید در سیستم می‌باشد. به عبارتی واضح‌تر، مدل بهینه‌سازی تخصیص بار آلاینده با توجه به اهداف متضاد ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان، به گونه‌ای درصدد ماکزیمم کردن مینیمم معیار تأیید از سوی هر دو گروه می‌باشد. قیدهای ۱۱ تا ۱۴ فضای شدنی متغیرهای تصمیم و حالت را تعریف می‌نمایند. برای قرارگیری در این فضاهای شدنی از روش ضریب جریمه[2] استفاده شده است. به این ترتیب که برای قرارگیری متغیرهای تصمیم در فضای شدنی، الگوریتم ژنتیک[3] [۸] به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده که متغیرهای تصمیم (درصدهای تصفیه) را در فضای شدنی ایجاد می‌کند. از طرفی به منظور قرارگیری متغیرهای حالت (غلظت پارامترهای کیفی) در فضای شدنی با در نظر گرفتن ضریب جریمه در شکل تابع هدف، این قید در سیستم کنترل می‌شود. در نتیجه شکل تابع هدف به صورت زیر در می‌آید

$$\mathrm{Max}\ \lambda(PC)^{-NVC} \qquad (۱۶)$$

که در آن، NVC تعداد دفعات تخطی در سیستم و PC ضریب جریمه می‌باشد.

نکته شایان توجه، انتخاب مناسب ضریب جریمه به منظور مینیمم کردن یا حذف جوابهای نشدنی در برقراری قیدها می‌باشد. در نتیجه شکل کلی فرمول‌بندی مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$\mathrm{Max}\ \lambda.(PC)^{-NVC} \qquad (۱۷)$$

به شرط آنکه

$$\mu_{Eil}(C_{il}) \ge \lambda \qquad \forall i,l \qquad (۱۸)$$

$$\mu_{Ejl}(C_{jl}) \ge \lambda \qquad \forall j,l \qquad (۱۹)$$

$$\mu_{Fwmn}(x_{wmn}) \ge \lambda \qquad \forall w,m,n \qquad (۲۰)$$

$$0 \le \lambda \le 1 \qquad (۲۱)$$

[1] Fuzzy Waste Load Allocation Model (FWLAM)

[2] Penalty

[3] Genetic Algorithm (GA)

۲-۲- مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی

ارتباط بین مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی این اجازه را به هر دو مدول می‌دهد که در قالب فرمی ساده و مجرد با هم کار کنند [۹]. مدل S - O[1] معرفی شده در این مقاله، از ارتباط بین برنامه QUAL2E [۱] و الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله شبیه‌سازی- بهینه‌سازی فازی استفاده می‌کند. الگوریتم ژنتیک برای ارائه جواب بهینه با جمعیتی از کروموزوم‌ها (در فرم اعداد حقیقی) که متغیرهای تصمیم مسئله می‌باشند، آغاز می‌شود. این کروموزوم‌ها از طریق عملگرهای ژنتیکی (انتخاب[2]، تبادل[3] و جهش[4]) با هم ترکیب می‌شوند تا کروموزوم‌های بهتری را در نسل بعدی ایجاد کنند. اصلاح صورت گرفته در کروموزوم‌ها باعث می‌شود برازندگی بالاتری در هر نسل نسبت به نسل قبلی داشته باشیم.

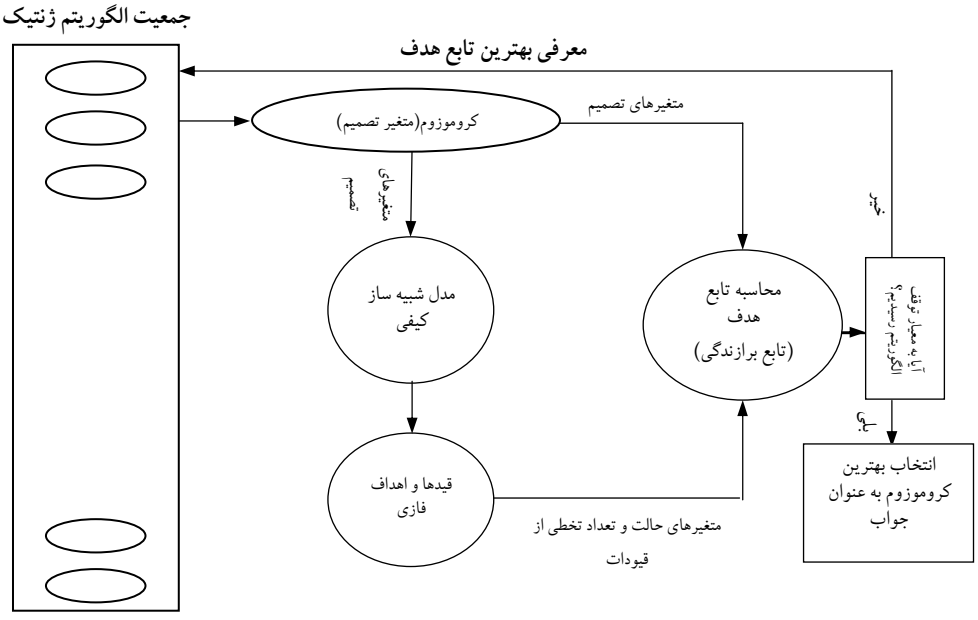
مدل کیفی رودخانه، QUAL2E، بر اساس قانون بقای جرم بنا شده است و قابلیت شبیه‌سازی چندین جزء کیفی را داراست که می‌تواند ارتباط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اجزاء و ارگانیسم‌های موجود در پیکره آبی را در نظر بگیرد. معادله اساسی که توسط این برنامه حل می‌شود، معادله معروف یک‌بعدی همرفت- پخشیدگی[5] [۱۰]است. ارتباط بین مدل شبیه‌ساز- بهینه‌ساز بدین گونه است که در هر بار فراخوانی برنامه QUAL2E، درصدهای تصفیه (کروموزوم‌های فراهم شده توسط الگوریتم ژنتیک) در پرونده[6] ورودی برنامه QUAL2E نوشته شده و با اجرای برنامه QUAL2E، غلظت پارامترهای کیفی (متغیرهای حالت) در پرونده خروجی مشخص می‌شود. این متغیرهای حالت، توسط برنامه محاسبه تابع هدف، از این پرونده خروجی خوانده می‌شود. هدف اصلی از ارتباط بین الگوریتم ژنتیک و QUAL2E محاسبه تابع هدف کروموزوم‌ها در جمعیت هر نسل می‌باشد. محاسبه تابع هدف بعد از اتمام شبیه‌سازی کروموزوم‌های هر نسل انجام می‌شود. این ارتباط در شکل ۱نشان داده شده است.

۲-۳- کاربرد مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در حل مسئله نمونه

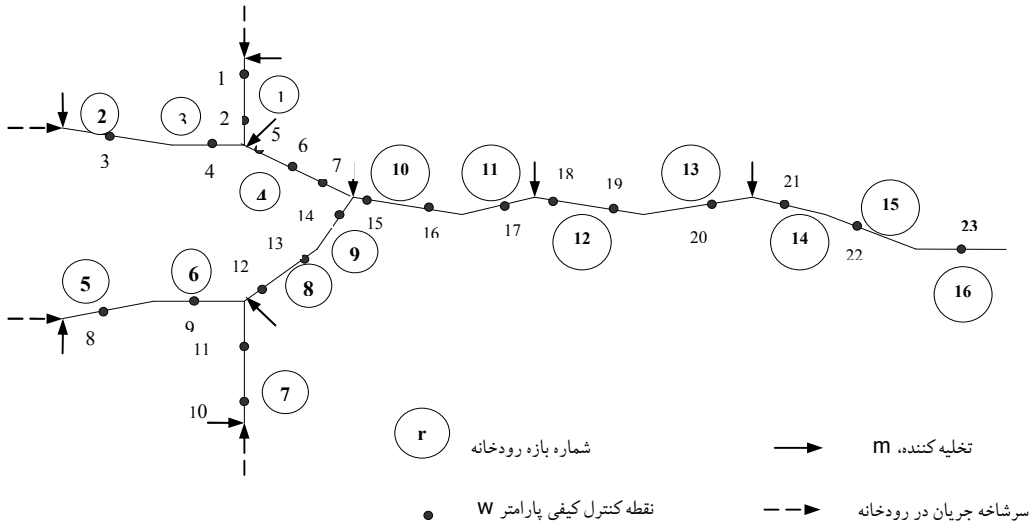
FWLAM برای یک مدل رودخانه فرضی به کار گرفته شد. شبکه رودخانه به طول ۵۰۰ کیلومتر شامل ۱۶ بازه[7] که در ابتدای ۹ بازه آن بارآلاینده وارد می‌شود، فرض شد (شکل ۲). تنها آلاینده موجود در سیستم، بار نقطه‌ای BOD می‌باشد. یک کانال ذوزنقه‌ای شکل با شیب کناره‌های ۱:۱ برای رودخانه فرضی در نظر گرفته شد. پارامتر کیفی مورد مطالعه، کمبود اکسیژن نسبت به حالت اشباع[8] بود که در تعداد مشخصی از نقاط (۲۳ نقطه کنترل) آزمایش شد. این کمبود نسبت به حالت اشباع، به خاطر بار نقطه‌ای آلاینده BOD بود. کمبود نسبت به حالت اشباع در نقطه کنترل ااام با c_i و درصد

[1] Simulation-Optimization (S-O)
[2] Selection
[3] Crossover
[4] Mutation
[5] Advection-Dispersion

[6] File
[7] Reach
[8] DO Deficit



شکل ۱-شکل کلی مدل FWLAM



شکل۲- مدل شماتیک رودخانه فرضی

تصفیه برای m امین تخلیه‌کننده، با x_m نشان داده شد و تابع عضویت خطی (β=۱ ، α=۱) برای این مسئله در نظر گرفته شد. مینیمم درصد تصفیه که توسط اداره حفاظت محیط زیست در نظر گرفته شده است مقدار ۰/۲۵ فرض شد که برای همه تخلیه‌کنندگان آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود.

فرمول‌بندی MAX-MIN مدل به شرح زیر خواهد بود

$$X_m^{MIN} = ۰/۲۵ \qquad \forall m \qquad (۲۲)$$

$$\text{Max } \lambda.(PC)^{-NVC} \qquad (۲۳)$$

به شرط آنکه

$$\left[\frac{C_l^H - C_l}{C_l^H - C_l^D}\right] \geq \lambda \qquad \forall l$$

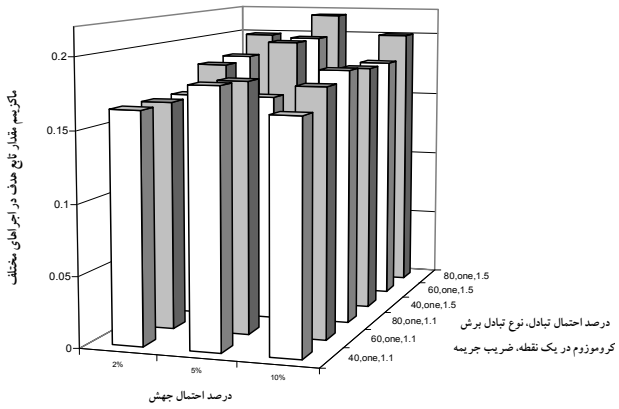
$$\left[\frac{x_m^M - x_m}{x_m^M - x_m^L}\right] \geq \lambda \qquad \forall m$$

$$0 < \lambda \leq 1$$

در این مدل S-O که الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی به کار رفته، برای در نظر گرفتن قیدها از توابع جریمه استفاده شده است. تعداد حالتهای تخلف از قیود، یعنی حالتهایی که کمبود نسبت به حالت اشباع بیش از مقدار مجاز آن است یا کمتر از حد دلخواه ما می‌باشد، به عنوان توان ضریب جریمه در نظر گرفته شده که این امر منجر به کوچک شدن تابع هدف می‌گردد. در این مدل، حساسیت نسبت به پارامترهای مختلفی چون ضریب جریمه، نوع تبادل، احتمال جهش و احتمال تبادل مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز حساسیت با ضرایب جریمه ۱/۱، ۱/۵، احتمال تبادل ۴۰درصد، ۶۰درصد و ۸۰درصد، احتمال جهش ۲درصد، ۵درصد و ۱۰درصد و نوع تبادل برش کورموزوم‌ها در یک[1] یا دو نقطه[2] انجام گردید (۳۶ حالت).

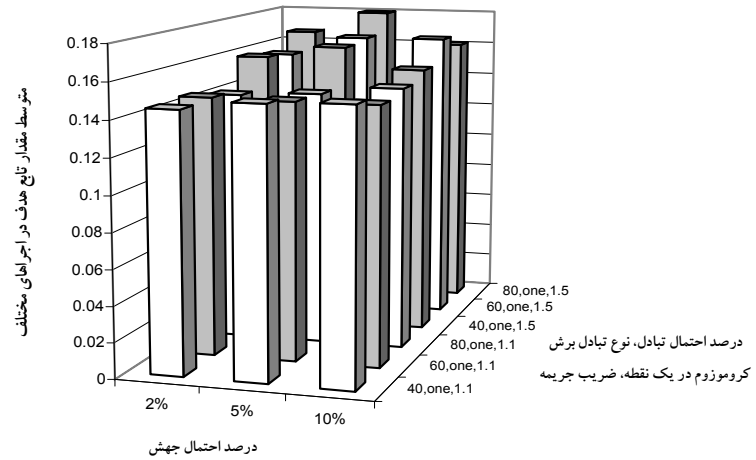
۳- نتایج و بحث

نتایج ترکیبهای مختلف ضریب جریمه، نوع تبادل، احتمال جهش و احتمال تبادل، با ۸۰ کروموزوم در طی ۲۰۰ نسل، در ۱۰ اجرا مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی نمودارهای ماکزیمم، متوسط، مینیمم و نمودارهای همگرایی تابع هدف هر حالت، در طی ۱۰ اجرا و نمودارهای ماکزیمم و متوسط تابع هدف نهایی در هر یک از حالتها (شکلهای ۳ تا ۶)،بهترین حالتی که منجر به دستیـابی

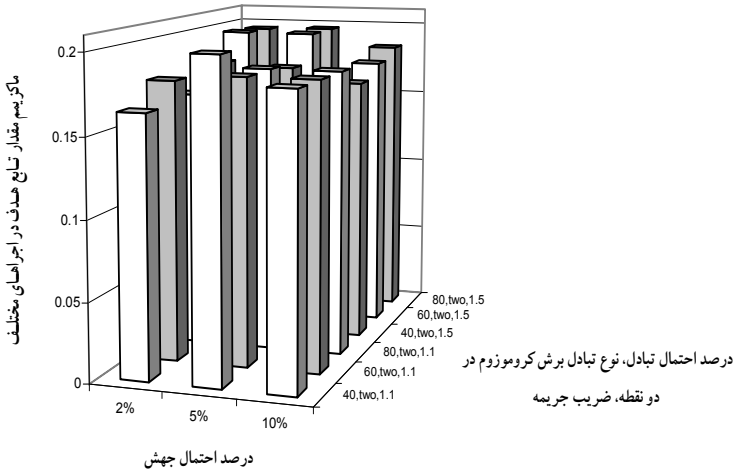


شکل۳- ماکزیمم تابع هدف نهایی در حالتهای مختلف با برش کروموزوم در یک نقطه

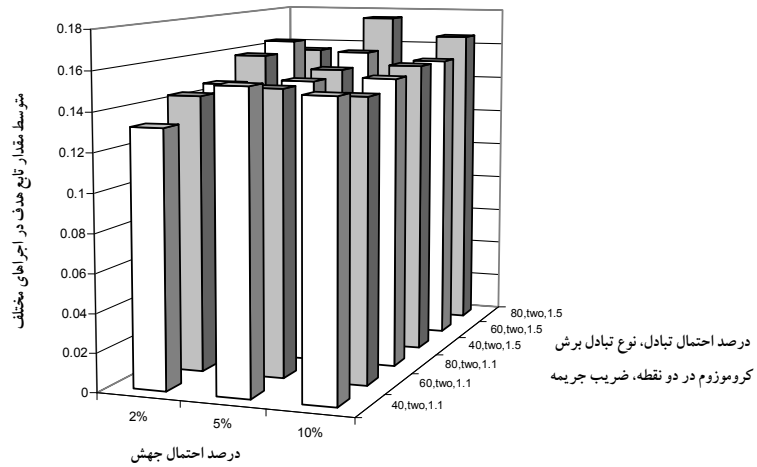
[1] One-Cut Point Crossover
[2] Two-Cut Point Crossover



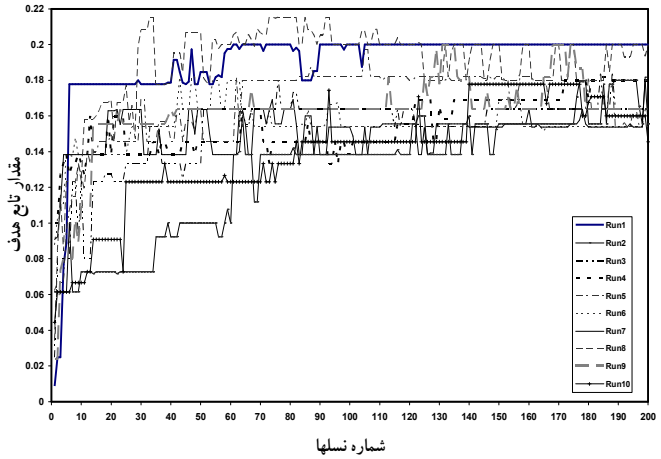
شکل ۴- متوسط تابع هدف نهایی در حالتهای مختلف با برش کروموزوم در یک نقطه



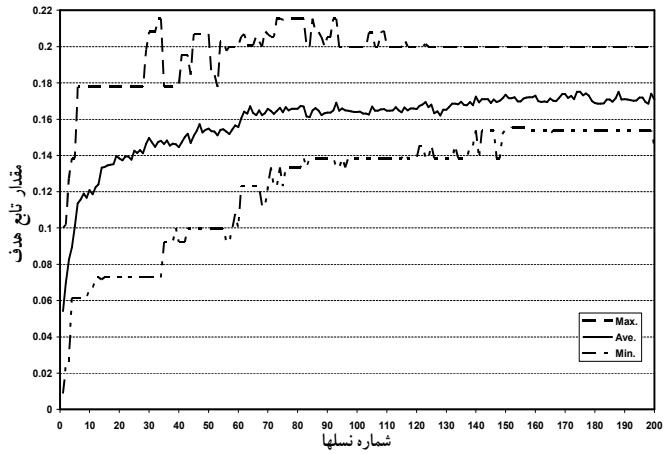
شکل ۵- ماکزیمم تابع هدف نهایی در حالتهای مختلف با برش کروموزوم در دو نقطه



شکل ۶- متوسط تابع هدف نهایی در حالتهای مختلف با برش کروموزوم در دو نقطه



شکل ۷- ماکزیمم تابع هدف در هر نسل (در بهترین حالت انتخاب شده)



شکل ۸- ماکزیمم، متوسط و مینیمم تابع هدف در هر نسل (در بهترین حالت انتخاب شده)

جواب بهتری نسبت به بقیه حالتها می‌شود، انتخاب شد. در این حالت، در طی ۱۰ اجرا مقدار ماکزیمم تابع هدف و مقدار ماکزیمم متوسط تابع هدف حاصل گردید. همچنین لازم به ذکر است در این حالت احتمال جهش و تبادل به ترتیب ۵ درصد و ۸۰ درصد ، نوع تبادل به صورت برش کروموزوم‌ها در یک نقطه و ضریب جریمه ۱/۵بوده است. نمودارهای ماکزیمم تابع هدف در هر نسل و ماکزیمم، متوسط و مینیمم تابع هدف در طی ۱۰ اجرا در هر نسل در شکلهای ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند.

در این پژوهش با توجه به نقش عملگرهای ژنتیکی جهش، تبادل، و نیز نوع تبادل و ضریب جریمه، با آنالیز حساسیت بر روی احتمال جهش، تبادل، نوع تبادل و ضریب جریمه، جوابهای مسئله کنترل شد[۱۱]. با اجرای مدل S-O در بهترین حالت، یعنی با ۸۰ کروموزوم در طی ۱۰۰۰ نسل، به جواب بهینه با تابع هدف *۸ = ۰/۲۲ رسیدیم. اگرچه اجرای طولانی با این تعداد محاسبه تابع هدف[1] (۸۰۰۰۰بار) انجام گردید ولکن دستیابی به جواب بهینه (*۸ = ۰/۲۲) با تعداد محاسبه تابع هدف کمتر از ۴۰۰۰۰ نیز انجام پذیرفت.

در شکلهای ۹ و ۱۰ متغیرهای تصمیم(درصدهای حذف آلاینده) و متغیرهای حالت (پارامتر کیفی کمبود اکسیژن نسبت به حالت اشباع) در این مسئله فرضی نشان داده شده است. همان گونه که در شکلها ملاحظه می‌گردد این متغیرها در فضای شدنی (قیدهای ۱۱ تا ۱۴) قرار گرفته‌اند.

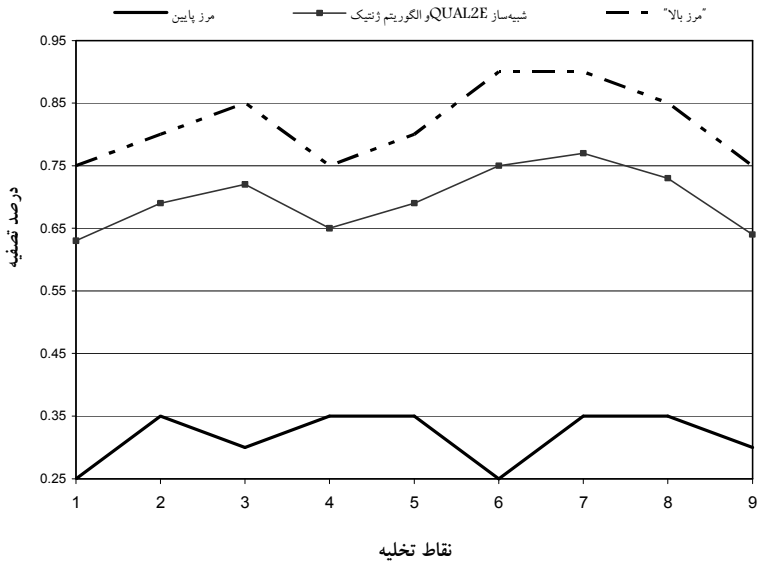
همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، با توجه به مقادیر متغیرهای تصمیم و حالت نسبت به مرزهای بالا و پایین، اهداف هیچ یک از

[1] Fitness Function Evaluation

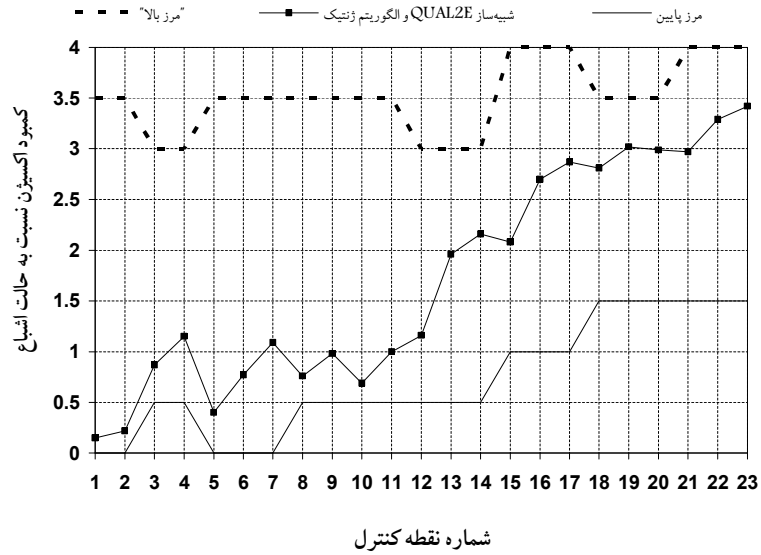
گروهها به طور کامل تأمین نشده است. به عبارتی نه هدف ادارات حفاظت محیط زیست مبنی بر تأمین شرایط مطلوب کیفی در کلیه نقاط کنترل و نه اهداف تخلیه‌کنندگان مبنی بر استفاده کامل از ظرفیت خودپالایی رودخانه و پرداخت هزینه کم برای تصفیه به طور مطلق تأمین شده است بلکه نوعی توازن یا تعامل در اهداف هر یک از گروهها ایجاد گردیده است. به عبارتی واضح‌تر در این مسئله، بهینه‌سازی- شبیه‌سازی ضمن کم نمودن میزان هزینه حذف آلاینده از منابع آلاینده نقطه‌ای، در عین حال شرایط کیفی نیز در حد استاندارد تأمین شده است.

۴- نتیجه‌گیری

اهداف متفاوت و اغلب متضاد بخشهای مختلف موثر بر کیفیت و دستگاههای کنترل و حفاظت محیط‌زیست، مشکلاتی را در ارائه یک برنامه مدیریت کیفی قابل قبول برای طرفین درگیر ایجاد نموده است. در یک نگاه کلی، تخلیه‌کنندگان ترجیح می‌دهند که میزان تصفیه آلاینده‌های خود را تا حد امکان کاهش دهند، حال آنکه حامیان دستگاههای کنترل و حفاظت محیط زیست بر حفظ شرایط مطلوب و گاه بر حفظ شرایط ایده آل اصرار دارند. برنامه تخصیص



شکل ۹- میزان درصدهای حذف آلاینده در نقاط تخلیه



شکل ۱۰- میزان کمبود اکسیژن نسبت به حالت اشباع در نقاط کنترل

بار آلاینده و مدیریت کیفی منابع آب باید نگاهی عمیق به تضاد بین طرفین موثر بر کیفیت داشته و با ایجاد راهکارهای مناسب، سعی بر کاهش و حل مناقشات و تضادها نماید. مدل تخصیص بهینه بار آلاینده معرفی شده در این مقاله، به ارائه راه‌حلی سازشی بین ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان آلاینده‌ها پرداخته است.

در این پژوهش با تعریف اهداف گروههای ذینفع در قالب مجموعه‌های فازی، عدم قطعیت ناشی از ابهام در تعاریف، مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از مفهوم مجموعه‌های فازی، این امکان برای گروههای ذی‌نفع بوجود می‌آید که اهداف و معیارهای خود را به طور مستقل از هم بیان کرده و همچنین زمینه همکاری بین این گروهها نیز فراهم می‌گردد. با استفاده از این روش، مشکلات مربوط به بررسی همزمان اهداف گروههای ذی‌نفع (غیرهم جنس بودن این اهداف) یا کمّی نمودن اهداف ادارات حفاظت محیط زیست (مطلوبیت شرایط کیفی نسبت به مقادیر استاندارد یا تخطی از مقادیر استاندارد) به منظور همجنس نمودن این اهداف، مشکلات مربوط به روش وزن دهی، مشکلات مربوط به عدم قطعیتهای موجود در داده‌ها و اطلاعات تابع هزینه و ... وجود نخواهد داشت.

از طرف دیگر، قابلیتهای مطلوب شبیه‌ساز QUAL2E و کارآیی الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی، بستری مناسب را به منظور مدل‌کردن مسئله تخصیص بار آلاینده فراهم آورده است. تلفیق مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی حاصل از شبیه‌ساز QUAL2E و الگوریتم ژنتیک، ابزار بسیار مناسبی برای حل مسئله تخصیص بار آلاینده بوجود آورده و استفاده از مجموعه‌های فازی ابزاری برای حل مشکلات ناشی از عدم قطعیت در تعریف اهداف گروههای موثر بر کیفیت، است. استفاده از شبیه‌ساز QUAL2E در کنار الگوریتم ژنتیک، امکان شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های پیچیده‌تر و بزرگ‌تر را نسبت به معادله استریتر-فلپس[1] فراهم نموده و همچنین حل مسائل غیرخطی و غیر محدب را نیز امکان‌پذیر کرده است. به دلیل اینکه الگوریتم ژنتیک، یک ابزار بهینه‌سازی غیر مقید و مبتنی بر جستجو می‌باشد، برای کنترل قیود در سیستم، از روش ضریب جریمه استفاده شده است و به منظور کنترل جواب بهینه نهایی، آنالیز حساسیت بر روی عملگرهای موجود در الگوریتم، انجام می‌گیرد. با بررسی ترکیب حالتهای مختلف این عملگرها، حالتی که نتایج بهتری را نسبت به بقیه حالتها داشت به عنوان حالت انتخاب شده، برگزیده شد و نتایج حاصل از آن در یک اجرای طولانی، مورد بررسی قرار گرفت.

اجراهای مختلف و متعدد مدل پیشنهادی، گزینه‌های مدیریتی متفاوتی را فرا روی تصمیم‌گیران قرار می‌دهد که ضمن تفاوت نامحسوس در مقدار تابع هدف، راه‌حلهایی تعاملی بین ادارات حفاظت محیط زیست و تخلیه کنندگان را تصویر می کند.

[1] Streeter-Phelps Equation

۵- مراجع

1- Brown, C. L., and Barnwell, T. O.(1987). *User's manual and documentation, the enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS.*, Environmental Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

2- Burn, D. H., and Lence, B. J.(1992). "Comparison of Optimization Formulations for Waste Load Allocations." *J. Environ. Eng.*, 118(4), 597-612.

3- Fujiwara, O., Puangmaha, W., and Hanaki, K. (1988). "River Basin Water Quality Management in Stochastic Environment." *J. Environ. Eng.,* 114 (4), 864-877.

4- Takyi, K., and Lence, J. (1996). "Chebyshev Model for Water Quality Management." *J. Water. Resour. Plan. and Manage.*, 122 (1), 40-48.

5- Mujumdar, P.P., and Vemula, R.S. (2004). "Fuzzy Waste Load Allocation Model; Simulation-Optimization Approach." *J. of Computing in Civil Engineering*,18 (2), 120-131.

6- McKinney, D. C., and Lin, K. D. (1994). ''Genetic Algorithm Solution of Groundwater Management Models.'' *J. Water Resour. Res.,* 33 (6), 1897–1906.

7- Sasikumar, K., and Mujumdar, P. P. (1988). "Fuzzy Optimization Model for Water Quality Management of a River System." *J. Water Resour. Plan. and Manage.*, 124 (2), 79-87.

8- Goldberg, D. E., and Deb. K. (1991). *A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms*, Foundation of Genetic Algorithms, Morgan Kaufman, San Mateo, Calif., 69-93.

9- Takyi, K., and Lence, J. (1995). "Markov Chain Model For Seasonal Water Quality Management." *J. Water Resour. Plan. and Manage*., 121 (2), 144-156.

10- Chapra, S. D. (1997). *Surface water quality modeling*, 1st Ed. Mc Graw- Hill, INC.

۱۱- سعادت‌پور، م. (۱۳۸۴). "مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی در تشخیص فازی بار آلاینده." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۷۲-۶۶.