System Optimization of Wastewater Treatment Plant Design in Developing Countries

Taleb - Bidokhty, N., Assoc. Prof., Civil Eng.Dept., Shiraz University

Hoshyari, B., M.Sc. Student, Civil Eng.Dept., Shiraz University

Abstract

This paper concerns techniques of systems analysis and operation research used to select the optimal (or most appropriate) wastewater treatment in the developing world. Existing treatment optimization models apply techniques of linear, dynamic and nonlinear mathematical programming but do not deal with the influences of sociocultural and environmental conditions. In this paper, subjective or intangible factors are inclueded with technical and economic considerations. Twenty parameters were identified including technical, economical, environmental and sociocultural factors. A model including these 20 parameters was developed to rank a definite number (n) of wastewater treatment alternatives (decision variables). The model applies a recently developed systems analysis technique called the analytic hierarchy process to integrate a 20×20 parameter matrix with 20 n×n decision variable matrices to obtain the final ranking of the treatment alternatives.

مدل بهینه‌یابی روش تصفیه فاضلاب در کشورهای در حال توسعه

ناصر طالب بیدختی * بهنام هوشیاری **

چکیده

این مقاله در ارتباط با تکنیک آنالیز سیستم‌ها و پژوهش‌های علمی مورد استفاده برای انتخاب روش‌های بهینه (و یا مناسب‌ترین روش) تصفیه فاضلاب در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. در مدل‌های موجود بهینه‌یابی تصفیه فاضلاب شهری از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی دینامیکی و برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی استفاده می‌شود. اما این مدل‌ها قابلیت ارتباط باکاهش شرایط زیست محیطی و فرهنگی - اجتماعی را ندارند. در این مقاله فاکتورهای غیر عینی و یا محسوس همراه با ملاحظات اقتصادی و فنی مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مدل بیست پارامتر تعریف می‌شود که شامل عوامل اجتماعی، فرهنگی زیست محیطی، اقتصادی و فنی می‌باشند. مدلی که شامل این بیست پارامتر می‌باشد برای درجه‌بندی تعداد مشخصی از گزینه‌های تصفیه فاضلاب (متغیرهای طراحی)، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل از سیستم‌های پیشنهادی چون فرایند تحلیلی سلسله مراتبی استفاده شده است.

مقدمه

تنوع روش‌های تصفیه فاضلاب در تصفیه فاضلاب‌های شهری، معمولاً امکان بهینه‌یابی سیستم‌های مناسب را جهت داشتن یک بازدهی مؤثر مشکل می‌سازد. در این راستا طراحان سیستم‌های تصفیه فاضلاب با توجه به شرایط جغرافیایی و استفاده از سیستم‌های پایلوت که معمولاً پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد نسبت به انتخاب نوع سیستم مورد نظر اقدام می‌کنند. یکی از مهمترین مسایلی که در انتخاب بهینه فرایندهای تصفیه می‌تواند مسئله ساز شود نزدیک بودن نوع فرایند پاره‌ای از سیستم‌های تصفیه می‌باشد. به عنوان مثال انتخاب روش بهینه تصفیه فاضلاب شهری برای یک شهر دویست‌هزار نفری مستلزم شناخت کلیه روش‌های تصفیه و قیاس بازده آنها در مقیاس پیلوت و همچنین مقایسه طرح‌ها از نظر هزینه‌های اقتصادی می‌باشد. روش‌های تصفیه فاضلاب شهری که عمدتاً از سوی شرکت‌های مهندسین مشاور ارائه می‌گردد بر اساس روش‌های معمولی شناخته شده‌ای که از تعداد انگشتان یک دست فراتر نمی‌روند و همچنین تقلیدها و توصیه‌های کلیشه‌ای پاره‌ای از منابع علمی خارجی می‌باشد و متأسفانه تاکنون یک

* - دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

** - دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

بررسی علمی در شناخت کلیه روش‌های موجود و بهینه‌یابی سیستم‌های موجود چه از لحاظ علمی و چه تجربی در داخل کشور صورت نگرفته است.

در این مقاله که به مثابه یک پژوهش علمی و تئوریک به شمار می‌رود سعی بر آن شده است که سیستم‌های تصفیه موجود فاضلاب‌های شهری با استفاده از مدل‌های نشأت گرفته از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی دینامیک و برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی بهینه‌یابی شود. لازم به ذکر است که امر بهینه‌یابی در تقسیم‌بندی‌های موضوعی اولیه و زیر موضوعی با توجه به پارامترهای مختلف فنی، اقتصادی زیست‌محیطی و اجتماعی - فرهنگی صورت می‌گیرد.

مدل مورد نظر برای انتخاب اولیه از میان گزینه‌های تصفیه طراحی شده است و علاوه بر مسئله هزینه‌های اقتصادی، توانایی‌ها و اصول انضباطی سازندگان و راهبردهای تصفیه‌خانه و همچنین عوامل و ملاحظات آب و هوایی، دسترسی به زمین و تبادلات ارزی خارجی را در بر می‌گیرد. در مدل پیشنهادی کمیت و کیفیت جریان ورودی، استانداردهای مطلوب جریان خروجی و اندازه و محل تصفیه‌خانه در نظر گرفته می‌شود.

پارامترها

در این مدل، ۲۰ پارامتر شناسایی شده‌اند و بر مبنای همین پارامترها انتخاب گزینه بهینه تصفیه صورت می‌پذیرد. این پارامترها و موارد مربوط به آنها که تشریح کننده بیشتر پارامترهای مزبور می‌باشند، به شرح زیر خلاصه می‌شوند:

۱- دبی

الف - دبی حداکثر طرح

ب - تغییرات روزانه دبی

ج - تغییرات دراز مدت دبی (در حال حاضر و آینده)

۲- جریان ورودی / جریان خروجی

الف - میزان آلودگی جریان فاضلاب ورودی

ب - تغییرات روزانه بار آلودگی فاضلاب ورودی

ج - تغییرات درازمدت در میزان آلودگی فاضلاب ورودی

د - استاندارد مورد نیاز برای پساب خروجی

۳- اندازه و مساحت محل

الف - اندازه زمین قابل دسترس

ب - امکان توسعه آینده

۴- ماهیت محل

الف - توپوگرافی

ب - امکان سیل‌گیر شدن

ج - نزدیکی به تأسیسات دفع لجن

د - سطح آب زیرزمینی

و - نزدیکی به شهرداری محل

۵- هزینه زمین

الف - هزینه زمین برای ساخت تصفیه‌خانه

۶- اعتبارات محلی برای ساخت

الف - هزینه ساخت با توجه به پول رایج محل

ب - قابلیت دسترسی به سرمایه‌ها و اعتبارات

۷- پول و اعتبارات خارجی برای ساخت

الف - هزینه ساخت بر حسب پول رایج خارجی

ب - قابلیت دسترسی به سرمایه‌ها و اعتبارات

۸- مهارت‌های محلی و داخلی برای ساخت

الف - قابلیت دسترسی به مهارت‌های محلی

ب - سطح مهارت‌های محلی

۹- حمایت‌های جامعه

الف - عادات مذهبی یا سنتی که بر رفتارهای بهداشتی و گزینه‌های فن‌آوری تأثیر می‌گذارد

ب - تمایل و طرفداری جامعه / سیاستمداران برای بهبود وضعیت تأسیسات موجود تصفیه فاضلاب

ج - سطح آموزشی عموم مردم و رفتارهای آنها به سوی سلامت جامعه

۱۰- منبع نیرو

الف - قابلیت دسترسی به منبع نیرو

ب - قابلیت اعتماد به منبع نیرو

۱۱- قابلیت دسترسی به مواد محلی

الف - قابلیت دسترسی به مواد و مصالح محلی جهت ساخت و راهبری تصفیه‌خانه

ب - آسانی به دست آوری مصالح و تجهیزات

۱۲- هزینه راهبری و نگهداری

ادامه قابلیت دسترسی به اعتبارات مربوط به راهبری و نگهداری

۱۳- مهارت‌های شغلی موجود برای راهبری و نگهداری

الف - قابلیت دسترسی به مهارت‌های شغلی برای انجام کارها

ب - سطح مهارت‌های شغلی برای انجام کارها

۱۴- مهارت‌های فنی موجود برای راهبری و نگهداری

الف - قابلیت دسترسی به مهارت‌های فنی محلی برای انجام کارها

ب - سطح مهارت‌های فنی برای انجام کارها

۱۵- تشکیلات اداری

الف - توانایی واحدهای اداری محل برای حمایت از انجام کارها و راهبری سیستم

۱۶- آموزشی

الف - احتمال افزایش یا حداقل حفظ سطح مهارت‌های شغلی موجود

ب - سطح آموزش موجود برای مشاغل مختلف

ج - احتمال افزایش یا حداقل حفظ سطح مهارت‌های فنی موجود

۱۷- نوشته‌ها و مقالات شغلی

الف - الزامی برای کار تمام مشاغل

ب - الزامی برای کارکارکنان فنی و کارکنان پشتیبانی

۱۸- آب و هوا

الف - متوسط ماهانه درجه حرارت‌های حداکثر و متوسط ماهانه درجه حرارت‌های حداقل در یک سال

ب - شدت و مقدار بارندگی در سال

ج - طول فصل خشک

د - شدت و مدت دوره آفتابی در سال

۱۹- بیماری‌های سرایت کننده از آب در محل

الف - هپاتیت‌های عفونی

ب - بیماری‌های اسهالی

ج - وبا و حصبه

د - اسهال آمیبی

و - کرم‌های انگلی انسان نظیر کرم‌های حلقوی، کرم‌های قلابی، انگل‌های سرایت کننده از ماهی‌ها (برای مثال، کلونور - چیاسیس[1]، شیستوزومیازیس[2]

۲۰- بیماری‌های اندمیکی که به طور غیر مستقیم به آب مربوط می‌شوند

الف - تب زرد

ب - مالاریا

ج - فیلاریازیس[3]

پارامترهای ۱ تا ۴ پارامترهای فنی می‌باشند. دبی طرح (پارامتر ۱) به طور قابل ملاحظه‌ای بر انتخاب روش‌های تصفیه تأثیر می‌گذارد. بازده تصفیه (پارامتر ۲) نیز یک نکته قابل ملاحظه مهم می‌باشد. برای مثال، تصفیه اولیه، قادر به برآورد

1- Clonor - Chiasis
2- Schistosomiasis
3- Filarjasis

شرایط کیفی مناسب نمی‌باشد. اندازه محل (پارامتر ۳) یکی دیگر از ملاحظات مهم می‌باشد چراکه برخی از راهکارهای تصفیه از قبیل برکه‌های تثبیت را نمی‌توان در محل‌های کوچک راه‌اندازی و مورد استفاده قرار داد.

خصوصیات جایگاه (پارامتر ۴) نیز مهم می‌باشد. محلی با سطح آب زیرزمینی بالا برای ساخت برکه یا راهکارهای نفوذ فاضلاب (تصفیه در زمین) در زمین مناسب نمی‌باشد. اگر جایگاه و محل مورد نظر نزدیک مناطق مسکونی باشد، نه برکه‌ها و نه تصفیه در زمین نمی‌توانند راهکارهای مناسبی باشند.

پارامترهای ۵ تا ۷ فاکتورهای اقتصادی می‌باشند که با هزینه‌های سرمایه گذاری در ارتباط می‌باشند. اعتبارات داخلی برای ساخت (پارامتر ۶) بیانگر هزینه عملیات مهندسی راه و ساختمان بر حسب پول‌های رایج در سطوح محلی می‌باشند. سرمایه‌ها و ارز خارجی (پارامتر ۷) برای خرید تجهیزات وارد شده به کشور به طور جداگانه در نظرگرفته شده است چراکه این پارامترها ممکن است در صورت اعمال کنترل شدید بر مبادلات خارجی یک عامل مهم و حساس باشد.

سطح مهارت‌های محلی قابل دسترس برای ساخت (پارامتر ۸) باید به صورت موضوعی و هدف‌دار در مقایسه با پیچیدگی فنون ساخت مورد نیاز برای بنا نهادن یک تصفیه‌خانه فاضلاب خاص، سنجش و ارزیابی گردد. پرسش‌هایی که وجود دارند عبارتنداز: ۱) آیا سیاستمداران تمایل به ادامه سرمایه گذاری بر بخش‌های به مراتب نامریی‌تر سازه‌های روبنایی کشور و بهبود وضعیت آنها را در هنگام لزوم دارند و ۲) آیا جامعه محلی تمایل به پذیرش و ادامه پرداخت هزینه‌های تأسیسات فراهم شده را دارند؟ همچنین وجود عادات و رسوم بازدارنده مذهبی و سنتی مرتبط با مواد زاید انسانی باید در گزینش فنون خاص در مقایسه با دیگر فنون مورد توجه قرار گیرد.

پارامترهای ۱۰ تا ۱۴ در ارتباط با راهبری و نگهداری می‌باشند. قابلیت دسترسی و قابلیت اعتماد منبع نیرو (پارامتر ۱۰) در گزینش یا عدم پذیرش راهکارهای پیشرفته‌تر دارای درجه اهمیت بیشتری می‌باشند.

روش‌های پیچیده‌تر تصفیه نیاز به هزینه‌های بالاتر راهبری و نگهداری دارند (پارامتر ۱۲). در کشورهای در حال توسعه وجود منابع مالی و اعتبارات کافی برای ساخت تصفیه‌خانه امری غیر معمول نیست ولی مسئله مهم نبود اعتبارات لازم جهت هزینه‌های راهبری و نگهداری می‌باشند. بنابراین، این پارامتر باید در انتخاب فن‌آوری مناسب به عنوان یکی از مهمترین ملاحظات در نظرگرفته شود.

مهارت‌های فنی و شغلی موجود برای راهبری و نگهداری (پارامترهای ۱۳ و ۱۴) از فاکتورهای وابسته به شخص می‌باشند. سطح فن‌آوری انتخابی برای تصفیه باید هماهنگ با سطح مهارت‌های شغلی و کاربرهای موجود جهت اداره تأسیسات باشد.

مؤثر بودن تشکیلات اداری که راهبری یک تصفیه‌خانه شناخته شده را اداره می‌کند نیز به ویژه در مورد کشورهای در حال توسعه باید در نظرگرفته شود. واحدهای اداری محلی باید جهت پردازش دستورات به صورت روزمره به گونه‌ای که در تهیه تجهیزات، قطعات یدکی و مواد شیمیایی یا پرداخت حقوق کارکنان تأخیر به وجود نیاید، توانایی لازم را داشته باشند.

پارامترهای ۱۶ و ۱۷ از جمله فاکتورهای اجتماعی - فرهنگی می‌باشند و تا حد زیادی تصمیم‌گیری در مورد آنها بستگی به خود اشخاص دارد. راهبری خوب تصفیه‌خانه باید با استفاده از کارکنان خوب آموزش دیده صورت پذیرد. آموزش (پارامتر ۱۶) تنها دارای یک اثر غیر مستقیم بر راهبری موفق تصفیه‌خانه می‌باشد، ولی در درازمدت دارای اهمیت بیشتری می‌گردد. پارامتر ۱۷ به طراح اجازه می‌دهد که مسائل شغلی یا رفتارهای کاری افرادی را که فرایندهای تصفیه را راهبری می‌کنند، در نظر بگیرد. در مجموع، هر چه فن‌آوری بالاتری مورد استفاده قرار گیرد، تعهدات و مسئولیت‌های بیشتری برای کارکنان به وجود می‌آید.

دو پارامتر آخر امکان توجه به فاکتورهای زیست محیطی را فراهم می‌کند. بدیهی است که توجه به آب و هوا (پارامتر ۱۸) در هنگام انتخاب فرایندهای تصفیه امری مهم و قابل توجه است چراکه امکان آزار و اذیت زیاد حشرات یک صافی تراوشی[1] به طور حتم در کشورهای گرمسیری غیر قابل

1- Percolating Filter

تحمل است و همچنین در آب و هوای سرد برکه‌های تثبیت دارای معایب بسیاری می‌گردند. شیوع بیماری‌های خاص سرایت‌کننده از آب (پارامتر ۱۹) بر روی مسئله انتخاب روش به ویژه اگر قرار است که پساب تصفیه شده به یک منبع آبی مورد استفاده به عنوان منبع آب آشامیدنی تخلیه شود، تأثیر به سزایی دارد. تصفیه به روش برکه تثبیت در چنین موقعیت‌هایی ممکن است مهمتر به نظر برسد، در حالی که اگر بیماری‌های غیر مستقیم سرایت‌کننده از آب حالت اندمیک[1] داشته باشند، استفاده از برکه‌ها کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

متغیرهای طراحی

فرموله کردن متغیرهای طراحی

متغیرهای طراحی مجموعه‌ای از راهکارهای تصفیه می‌باشند. چهل و شش متغیر طراحی فرموله شده‌اند. این متغیرها در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند.

باید توجه داشت که عبارت " تصفیه پیشرفته " در اینجا به مفهوم ادامه بهبود کیفی پساب فاضلاب به کار می‌رود که این جنبه کیفی مواردی مانند BOD، مواد جامد و اکسیژن محلول و همچنین زدایش مواد جامد معلق باقی‌مانده و نه زدایش مواد غذایی تصفیه‌خانه یعنی نیترات و فسفر را شامل می‌شود.

اهداف

اهداف ملی از ارائه مدل بهینه‌یابی روش‌های تصفیه فاضلاب‌های شهری به صورت زیر بیان می‌گردد:

۱- انتخاب مناسب‌ترین روش تصفیه فاضلاب با توجه به شرایط جغرافیایی و آب و هوایی منطقه و پارامترهای مؤثر از جنبه‌های کمی و کیفی فاضلاب و غیره.

۲- کاهش هزینه‌های اقتصادی و جلوگیری از اتلاف سرمایه‌های مالی و انسانی و دوباره کاری‌ها در انجام امور طراحی و ساخت سیستم‌ها.

۳- افزایش میزان بازده سیستم‌ها و در نتیجه افزایش میزان نابودی مواد آلاینده و موجودات زنده میکروبی بیماریزا.

۴- کمک به حفظ جنبه‌های زیست محیطی از طریق کنترل و زدایش مواد آلاینده و موجودات زنده میکروبی بیماریزا.

۵- کمک به طراحان و متخصصین صنعت آب و فاضلاب کشور در انتخاب سیستم‌های بهینه با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

۶- صرفه جویی در زمان و مختصر نمودن انجام آزمایش‌های پیلوت[2] در جهت بهینه‌یابی آرایش فرایندی سیستم مورد مطالعه.

۷- افزایش ضریب اطمینان از انتخاب روش تصفیه در آرایش‌های فرایندی مربوطه.

مروری بر تحقیقات گذشته

رهیافت‌های بسیاری از گزینش راهکارها و گزینه‌های تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته است. لین و همکاران [۱۱] از این روش عملیاتی برای آنالیز سیستم به صورت تحقیقاتی در انتخاب بهینه یک سری فرایند برای یک تصفیه‌خانه فاضلاب استفاده کردند. یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای بهینه یابی گزینه‌های تصفیه با حداقل هزینه‌های اقتصادی به کار گرفته شد.

از آنجاکه روابط حاکم بر تصفیه فاضلاب چه به صورت تئوریک منطقی و چه به صورت تجربی از شرایط غیر خطی پیروی می‌کردند، برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌یابی فرایندهای تصفیه کارایی لازم را از دست داد. از سوی دیگر برنامه‌ریزی دینامیک با توجه به کوشش‌های علمی افرادی نظیر چیا و کریشان [۵]، ایونسون و همکاران [۸] و چیا و دی فیلیپی [۴] متداول گردید و از توجه خاصی برخوردار شد.

سپس، میدلتون و لاورنس [۱۲]، بویدن و همکاران [۳]، لوریا و همکاران [۱۰] کرایگ و همکاران [۶]، راسمن [۱۴]، ناربایتز و آدامز [۱۳] و دیک [۷] همگی از مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده کردند. با استفاده از مدل راسمن و پژوهش‌گران بعدی مدل‌های بسط داده شده توانایی گزینش بهینه گزینه‌های تصفیه را داشتند. این کار با ورود متغیرهای تصمیم‌گیری صفر - یک انجام پذیرفت. به طوری که مسئله مورد مطالعه به شکل یک مدل برنامه‌ریزی صحیح مخلوط غیرخطی در آمد.

1- Endemic
2- Pilot Tests

ادامهٔ نمودار ۱

بهترین گزینه

ش - سیستم ترکیبی واحدهای لجن فعال و اکسیژن با خلوص زیاد

س - تصفیه خانه های کوچک

ز - کاربرد زمین

ر - ته نشینی اولیه

۴۵ - سیستم ترکیبی تصفیه با اکسیژن با خلوص زیاد

۴۳ - سیستم ترکیبی لجن فعال

۴۰ - کانال اکسایش بدون زلال سازنهایی

۳۷ - زلال سازاولیه + تماس دهنده زیستی چرخان

۳۳ - زلال سازی اولیه + کاربرد زمین

۳۰ - زلال سازی اولیه

۴۶ - سیستم ترکیبی و تصفیه با اکسیژن با خلوص زیاد + تصفیه پیشرفته

۴۴ - سیستم ترکیبی لجن فعال + تصفیه پیشرفته

۴۱ - کانال اکسایش + زلال سازنهایی

۳۸ - مخزن تعفن + تماس دهنده زیستی چرخان + زلال سازنهایی

۳۴ - مخزن تعفن + کاربرد زمین

۳۱ - برکه بیهوازی

۴۲ - کانال اکسایش + زلال سازنهایی + تصفیه پیشرفته

۳۹ - زلال سازاولیه + تماس دهنده زیستی چرخان + زلال سازنهایی

۳۶ - کاربرد زمین

۳۲ - مخزن تعفن

نمودار ۱ - سلسله مراتب متغیرهای تصمیم‌گیری

بهترین گزینه

د - فرآیندهای لجن فعال (شامل زلال سازثانویه)

ج - پالایش زیستی (مخازن هوموس / زلال سازثانویه رانیز شامل می شود)

ب - لاگونهای هوادهی

الف - برکه های تثبیت

۲۶ - محفظه های استوانه‌ای عمیق

۲۳ - زلال سازاولیه + فرآیندلجن فعال متعارف

۱۷ - زلال سازاولیه + پالایش تراوشی با جریان برگشتی

۱۴ - زلال سازاولیه + پالایش تراوشی ساده

۸ - لاگونهای هوادهی با اختلاط کامل + لاگونهای هوادهی با بااختلاط ناقص

۵ - لاگونهای هوادهی بااختلاط کامل + ته نشینی ثانویه

۱ - برکه های اختیاری

۲۸ - زلال سازی اولیه + فرایندهای لجن فعال با اکسیژن خالص

۲۴ - مخزن تعفن + فرآیندلجن فعال متعارف

۱۸ - مخزن تعفن + پالایش تراوشی با جریان برگشتی

۱۵ - مخزن تعفن + پالایش تراوشی ساده

۹ - مخزن تعفن + لاگون هوادهی بااختلاط کامل + لاگون هوادهی با اختلاط ناقص

۶ - سپتیک تانک + لاگونهای هوادهی بااختلاط کامل + ته نشینی ثانویه

۲ - برکه های بیهوازی + برکه اختیاری

۲۹ - زلال سازی اولیه + فرآیندلجن فعال با اکسیژن خالص + تصفیه پیشرفته

۲۵ - زلال سازاولیه + فرآیندلجن فعال متعارف + تصفیه پیشرفته

۱۹ - زلال سازاولیه + پالایش تراوشی با جریان برگشتی + تصفیه پیشرفته

۱۶ - زلال سازاولیه + پالایش تراوشی ساده + تصفیه پیشرفته

۱۰ - برکه بیهوازی + لاگون هوادهی بااختلاط کامل + لاگون هوادهی بااختلاط ناقص

۷ - برکه بیهوازی + لاگون هوادهی بااختلاط کامل + ته نشینی ثانویه

۳ - برکه اختیاری + برکه تکمیلی

۲۰ - زلال سازاولیه + پالایش متناوب در دو نوبت

۱۱ - لاگون هوادهی با اختلاط ناقص

۴ - برکه بیهوازی + برکه اختیاری + برکه تکمیلی

۲۱ - زلال سازاولیه + پالایش متناوب در دو نوبت + تصفیه پیشرفته

۱۲ - مخزن تعفن + لاگون هوادهی بااختلاط ناقص

۲۲ - زلال سازاولیه + پالایش تند + پالایش کند

۱۳ - برکه بی هوازی + لاگون هوادهی بااختلاط ناقص

با نگاهی اجمالی به کلیه مدل‌های موجود می توان گفت که هیچ‌کدام از آنها هدفی جز به حداقل رساندن هزینه‌های اقتصادی نداشته‌اند. اما در این مقاله سعی بر آن شده است که گستره مدل‌های بهینه‌یابی با ورود تعداد بیشتری از مفاهیم موضوعی برای ساخت و تولید مدلی که بتواند عوامل فرهنگی اجتماعی و زیست محیطی را در بگیرد، مطرح گردد. بدیهی است که این نوع مدل به طور بسیار مطلوبی می تواند در راهبری موفق سیستم فرایندی به ویژه در کشورمان که دارای صنعت - نوپایی در امور آب و فاضلاب است، نقش ایفا نماید.

تئوری و معادلات حاکم و روش انجام تحقیق

راهکار ریاضی مورد استفاده در این مدل فرایند رده‌بندی تحلیلی[1] می‌باشد. این سیستم یک راهکار آنالیزی است که در سال ۱۹۷۷ به وسیله ساتی [۱۵] ارائه گردید. توضیحات جزیی این راهکار را می توان در کار ساتی [۱۶] یافت.

اگر A یک ماتریس مربع n×n باشد، مقادیری برای مقدار عددی λ و بردار ستونی n×۱ مربوطه آن یعنی X (X صفر نیست) وجود دارد که عبارت زیر را به وجود می آورد :

$$AX = \lambda X \qquad (۱)$$

عبارت بالا را می توان به صورت زیر نوشت :

$$(A-\lambda I)X = 0 \qquad (۲)$$

این عبارت معادل مجموعه‌ای از معادلات همگن بارنت [۱] می‌باشد.

بردار ستونی غیر صفر X که مربوط به راه حل‌های مهم مجموعه‌ای از معادلات همگن می‌باشد تنها و تنها وقتی می تواند وجود داشته باشد که $(A-\lambda I)$ منفرد است و بنابراین دترمان $(A-\lambda I)$ برابر صفر می‌باشد و

$$(A-\lambda I) = ۰ \qquad (۳)$$

این عبارت یک چند جمله n درجه‌ای بر حسب λ درست می‌کند (برای این که A دارای یک رده n می‌باشد) که چند جمله‌ای مشخصه ماتریس A نامیده می‌شود و پس از تنظیم شدن با مقدار صفر آن را می توان به شکل زیر نوشت :

$$\lambda^n + k_1\lambda^{n-1} + K_2\lambda^{n-2} + \ldots + K_n = ۰ \qquad (۴)$$

ریشه‌های n ($\lambda_n, \ldots \lambda_2, \lambda_1$) این معادله مشخصه، ماتریس غیر صفر A می‌باشد. زمانی که λ برابر λ_i باشد، پس یک راه‌حل X ($X=۰$) برای $AX = \lambda X$ وجود خواهد داشت. هر بردار ستونی X با چنین مشخصاتی برای $\lambda=\lambda_i$ یک بردار غیر صفر مربوط به λ_i می‌باشد.

هدف این مدل اولویت‌بندی مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم‌گیری (یعنی گزینه‌های تصفیه) می‌باشد. به طوری که گزینه بهینه را بتوان از رده‌بندی فهرست اولویت‌های منتجه انتخاب نمود. برای انجام عمل سنجش نسبی (یا درجه اهمیت) n گزینه، عمل مقایسه به صورت دو به دو صورت می‌گیرد. این بدان معنی است که هر گزینه خاص همزمان با دیگر گزینه‌های موجود مورد قیاس قرار نمی‌گیرد و در یک زمان معین تنها می‌تواند آن را با یک گزینه دیگر مقایسه نمود. اگر مقایسات دو به دو سنجش نسبی گزینه‌ها شناخته شود، اولویت گزینه‌ها را می‌توان با ارزیابی بردار اولویت‌بندی (به صورت خلاصه تعریف شده است) ماتریسی که در آن سنجش مقادیر به صورت مقایسات دو به دو صورت می‌گیرد، انجام داد. مجموعه‌ای از n گزینه را که به صورت دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و مقدار وزنی تک تک آنها (با فرض مشخص نمودن) عبارت از $X_1, X_2, \ldots, X_n$ می‌باشند، را فرض می‌کنیم. سپس مقایسات دو به دو را می توان با یک ماتریس مربعی n×n به نام A به شرح زیر انجام دهیم :

(۵)

	Alt.۱	Alt.۲	...	Alt.n
Alt۱	۱	X_1/X_2	...	X_1/X_n
A = Alt۲	X_2/X_1	۱	...	X_2/X_n
	.	.	.	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.
Altn	X_n/X_1	X_n/X_2	...	۱

A یک ماتریس دو طرفه مثبت می‌باشد و شرایطی را که تمام اجزاء مثبت و $aij = ۱/aij$ می‌باشد فراهم می‌کند و در آن aij

1- Analytic Hierachy Process

و aji اجزا A می‌باشند. اگر بردار ستونی X به گونه‌ای تعریف شود که اجزاء X عبارت از $X_n, \ldots, X_2, X_1$ (یعنی سنجش وزنی تک تک گزینه‌های n, ... ,۲ و ۱) باشند، می توان گفت :

(۶)

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ . \\ . \\ X_n \end{bmatrix}$$

سپس :

(۷-الف)

$$AX = \begin{bmatrix} ۱ & X_1/X_2 & \ldots & X_1/X_n \\ X_2/X_n & ۱ & \ldots & X_2/X_n \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ X_n/X_1 & X_n/X_2 & \ldots & ۱ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ . \\ . \\ X_n \end{bmatrix}$$

(۷-ب)

$$AX = \begin{bmatrix} X_1+X_1+\ldots X_1 \\ X_2+X_2+\ldots X_2 \\ : \\ X_n+X_n+\ldots X_n \end{bmatrix}$$

(۷-ج)

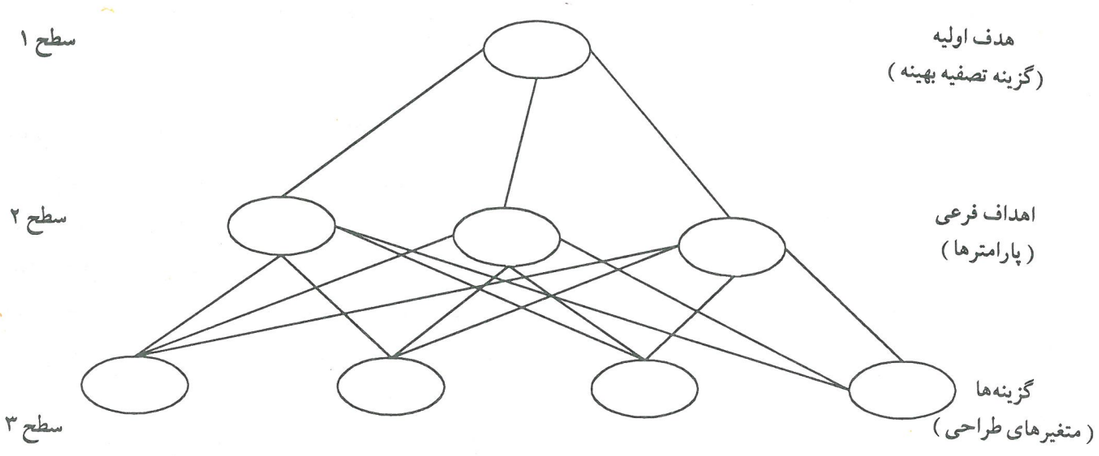
$$AX = n \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ 0 \\ . \\ X_n \end{bmatrix}$$

(۷-د)

$$AX = nX$$

بنابراین $AX=nX$، $n=$ یک مقدار غیر صفر[1] ماتریس A، بنا به تعریف، و بردار ستونی $X=$ یک بردار غیر صفر[2] مربوط به مقدار غیر صفر n. درجه ماتریس A برابر ۱ بوده و می توان نتیجه گرفت که A دارای تنها یک مقدار غیر صفر می‌باشد و این مقدار غیر صفر برابر n می‌باشد. این نکته با توجه به این حقیقت که دنباله ماتریس A برابر n می‌باشد یعنی $T_r(A) = n$ تأیید می‌گردد. از آنجاکه A یک ماتریس مثبت است، به وسیله تئوری پرون - فروبنیوس[3]، برمان و پلمونس [۲] نیز این موضوع مشخص شده است که n مقدار غیر صفر حداکثر A می‌باشد و یک بردار غیر صفر X (همان X) که دارای مؤلفه‌های مثبت بوده و بردار غیر صفر راه حل $AX = \lambda$ برای $\lambda=n$ می‌باشد.

1- Eigenvalue
2- Eigenvector
3- Preon - Frobenius



شکل ۱ - سلسله مراتب اهداف و گزینه‌ها

این تئوری بر مبنای این فرض است که تمام عبارات ماتریس دو طرفه A پایدار می‌باشد و این بدان معنی است که :

$(X_i / X_j \; X_j / X_k = X_i / X_k)$ (یعنی $(a_{ij})(a_{jk}) = a_{ik}$)

چنین پایداری کاملی تنها در صورتی امکان‌پذیر است که ماتریس A را بتوان بر مبنای مقادیر سنجشی تک تک گزینه‌ها یعنی ($X_1, X_2, ..., X_n$) انجام داد. با این وجود، در کاربرد راهکار ریاضی از آنجایی که ماتریس A را تنها می‌توان در ابتدا بدون شناخت از $X_1, X_2, ..., X_n$ ساخت، این موضوع حالت مورد نظر نخواهد بود ولی از A می‌توان برای یافتن عبارت بعدی استفاده نمود. این موضوع باعث ایجاد ناپایداری در ماتریس دو طرفه می‌شود. برای آسان‌ترکردن مسئله یک آنالوگ از سه تیم فوتبال می‌گیریم. اگر تیم ۱ تیم ۲ را با نتیجه ۳ بر ۱ شکست دهد، تیم ۲ و تیم ۳ را با نتیجه ۲ بر ۱ شکست دهد، ضرورتاً این تنها حالت نخواهد بود که تیم ۱ تیم ۳ را با نتیجه ۶ بر ۱ شکست دهد و اگر به این صورت نباشد، حالت ناپایدار رخ می‌دهد.

زمانی که ناپایداری رخ می‌دهد، مسئله $AX = nX$ یکی از موارد $AX = \lambda_{max}X$ می‌گردد. برای ماتریس مثبت دو طرفه A، λ_{max} دقیقاً برابر مقدار n نخواهد بود و دیگر مقادیر غیر صفر برابر صفر نخواهند شد. اما با توجه به تئوری پرون - فروبنیوس، می‌توان گفت که ماتریس A دارای یک مقدار غیر صفر مثبت واقعی یا ضرب در مقداری برابر λ_{max} می‌باشد که بردار غیر صفر مربوطه آن دارای مؤلفه‌های مثبت بوده و بردار اولویت گذار نامیده می‌شود.

نحوه رسیدن به اهداف

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است یک سلسله مراتب[1] سه رتبه‌ای را در نظر می‌گیریم. سطح ۱ شامل هدف اصلی که همان روش تصفیه بهینه و در نتیجه رسیدن به دیگر اهداف جانبی است، می‌شود. سطح دوم شامل m هدف پایین‌تر (یعنی پارامترهای موجود در مدل)، و اولویت‌های مشتق شده از ماتریس دو جانبه مقایسات جفتی با توجه به هدف اصلی سطح ۱ می‌باشد. سطح سوم شامل n گزینه (یعنی متغیرهای طراحی) می‌باشد که باید اولویت‌بندی گردند. در حال حاضر باید مشخص گردد که چگونه متغیرهای طراحی در سطح ۳ را می‌توان برای رسیدن به هدف اصلی در سطح ۱ با توجه به m پارامتر موجود در سطح ۲ (در این مورد m=۲۰) اولویت‌بندی و مرتب نمود. بردار اولویت‌گذاری برای متغیرهای طراحی را می‌توان با توجه به یک پارامتر خاص به عنوان هدف از یک ماتریس مقایسه جفتی آورد. سپس می‌توان تمام گزینه‌ها را با توجه به بردار اولویت‌گذار از سطح ۲ برای به دست آوردن یک بردار منتجه اولویت‌گذار (یعنی رده‌بندی کلی) برای متغیرهای تصمیم‌گیری سنجش نمود. این روش‌ها به شرح زیر توصیف می‌گردند :

- مرحله ۱ : یک ماتریس پارامتری (به نام ماتریس B) با ابعاد m×m با مقایسات جفتی پارامترها با توجه به هدف اصلی سطح ۱ به عنوان اجزا B می‌سازیم. سپس بردار اولویت‌گذار ماتریس B را پیدا می‌کنیم و آن را با عبارت X_b علامت‌گذاری و مشخص می‌نماییم.

- مرحله ۲ : اگر n متغیر طراحی قرار باشد که (یعنی گزینه‌های تصفیه) درجه‌بندی گردند، باید مجموعه کل m ماتریس دو طرفه A ($I = 1,2,...,m$) با اندازه n×n تشکیل داده شوند و هرکدام شامل اجزا با مقایسه جفتی n متغیر تصمیم‌گیری و با توجه به یک پارامتر به عنوان هدف باشد، که این به مفهوم زیر است :

(۸ - الف)

	۱	۲	...	n
$A_1 =$	۱			
	۲			
	.	استفاده از پارامتر ۱ به عنوان هدف		
	.			
	.			
	n			

(۸ - ب)

	۱	۲	...	n
$A_2 =$	۱			
	۲			
	.	استفاده از پارامتر ۲ به عنوان هدف		
	.			
	.			
	n			

1- Hierarchy

	۱	۲	...	n
$A_3 =$	۱			
	۲			
	.	استفاده از پارامتر m به عنوان هدف		
	.			
	.			
	n			

مرحله ۳ : اگر X_i ($i = 1,2,...,m$) بردار اولویت‌گذار مربوط به A_i باشد، پس ماتریس C با ترکیبی از n×m یعنی با فرض X_i به عنوان ستون در ماتریس C به شکل سری به صورت زیر می‌باشد :

$C = [X_1 , X_2, ... , X_m]$

بردار اولویت‌گذار منتجه یعنی X_c، نتیجه ضرب ماتریس‌های C و X_b می‌باشد، که به صورت زیر است :

$X_c = C \times X_b$

با استفاده از نتیجه X_c، درجه‌بندی اولویت‌گذاری متغیرهای تصمیم‌گیری را می‌توان به دست آورد. گزینه بهینه تصفیه را می‌توان با توجه به اولین مورد فهرست رده‌بندی انتخاب نمود. با انتخاب این گزینه‌ها می‌توان به اهداف از پیش تعیین شده رسید.

بحث و نتایج

در این مقاله رهیافتی نو برای گزینش مناسب‌ترین فن‌آوری از میان گزینه‌های تصفیه فاضلاب معرفی شده است. این رهیافت، رهیافتی در سطح وسیع می‌باشد که در مقابل آنالیزهای محدود و در سطح کوچک راهکارهای بهینه‌یابی موجود قرار می‌گیرد. مزایای این رهیافت نو به شرح زیر می‌باشد :

۱- این مدل توانایی پردازش تعداد زیادی از پارامترها را دارد، و راهکار ریاضی به‌کار رفته یک روش سیستماتیک را که استفاده از تصمیم‌گیری‌های حاصل از سنجش وزنی گزینه‌ها را بر اساس تجربه امکان‌پذیر می‌سازد، در بر می‌گیرد.

۲- با استفاده از این مدل می‌توان پارامترهای غیر عینی را در نظر گرفت (برای مثال مهارت‌های محلی برای ساخت، حمایت جامعه، مهارت‌های حرفه‌ای، قابل دسترس برای راهبری و نگهداری، تشریفات اداری، آموزشی و اصول اخلاقی شغلی) که در انتخاب گزینه‌های بهینه تصفیه در ایران دارای اهمیت می‌باشند.

۳- این مدل با استفاده از بردار منتجه اولویت‌گذار، توانایی ایجاد تفاوت بین یک گزینه و گزینه دیگر را دارد.

این موضوع به خوبی مشخص شده است که در این مدل دو عیب بزرگ وجود دارد. نخست این که گزینه‌های تصفیه لجن در نظر گرفته نشده است و دیگر این که ساخت ماتریس‌های متغیر تصمیم‌گیری با مشکل مواجه می‌باشد که در آینده با مطالعات بیشتر سعی در مرتفع نمودن نواقص موجود داریم.

این مقاله با اقتباس از دو مقاله که در مراجع ۱۷ و ۱۹ مشخص شده‌اند ارائه گردیده است.

منابع و مراجع

1- Barnett, S. (1979). " *Matrix Methods for Engineers and Scientists* ", McGraw-Hill, New York, N.Y.

2- Berman, A. and Plemmons, R. J. (1979). " *Non - Negative Matrices in the Mathematical Science* ", Academic Press, New York, N.Y.

3- Bowden, K., Gale, R.S. and Wreight, D.E. (1979). " *Evaluation of the CIRIA Protype Model for the Design of Sewage Treatment Works* ", J. Water Pollution Control Federation, 75, 192-205.

4- Chia, S.S. and De Filippi, J.A. (1970). " *System Optimization of Water Treatment Plant Process Design* ", J. Environmental Engineering Div., ASCE, 96, 409-421.

5- Chia, S.S. and Krishan, P. (1969). " *Dynamic Optimization for Industrial Waste Treatment Design* ", J. Water Pollution Control Federation, 41, 1787-1802.

6- Craig, E.W., Meredith, D.D. and Middleton, A.C. (1978). " *Algorithm for Optimal Activated Sludge* ", J. Environmental Engineering Div., ASCE, 104 (6) : 1101-1117.

7- Dick, R.I. (1984). " *Integration of Sludge Managemant Processes* ", Proc. Int. Symp. on Wastewater Engineering, Guang Dong, Guang Chou, People's Republic of China, March.

8- Evenson, D.E., Orlob, G.T. and Monser, J.R. (1969). " *Preliminary Selection of Waste Treatment Systems* ", J. Water Pollution Control Federation, 41, 1845-1858.

9- Feachem, R.G., Bradely, D.J., Garelick, I.T. and Mara, D.D. (1983). " *Sanitation and Disease - Health Aspects of Excreta and Wastewater Management* ", World Bank Studies in Water Supply and Sanitation 3, John Wiley and Sons, NewYork, N.Y.

10- Lauria, D.T., Uunk, J.B. and Scheafer, J.K. (1977). " *Activated Sludge Process Design* ", J. Environmental Engineering Div, ASCE, 103 (4) : 625-645.

11- Lynn, W.R., Logan, J.A. and Charnes, A. (1962). " *Systems Analysis for Planning Wastewater Treatment Plants* ", J. Water Pollution Control Federation 34, 565-581.

12- Middleton, A.C., and Lawrence, A.W. (1976). " *Least Cost Design of Activated Sludge Systems* ", J. Water Pollution Control Federation, 48, 889-905.

13- Narbaitz, R.M. and Adams, B.J. (1980). " *Cost Optimization Design Including Sludge Disposed* ", Water Pollution Res. J., Canada, 15, 121-141.

14- Rossman, L.A. (1980). " *Synthesis of Waste Treatment Systems by Implicit Enumeration* ", J. Water Pollution Control Federation, 52, 148-160.

15- Saety, T.L. (1977). " *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures* ", J. Math. Psycology, 15, 234-281.

16- Saety, T.L. (1980). " *The Analytic Hierarchy Process* ", McGraw - Hill, New York, N.Y.

17- Tang, S.L. and Ellis, K.V. (1994). " *Wastewater Treatment Optimization Model for Developing World. II : Model Testing*", J. Environmental Engineering, ASCE, 120 (3) : 610-624.

18- Vergas, L.G. (1982). " *Reciprocal Matrices with Random Coefficients* ", J. Math. Modeling, 3, 69-81.

19- Yang, S.L. and Ellis, K.V. (1991). " *Wastewater Treatment Optimization Model for Developing World. I : Model Development* ", J. Environmental Engineering, ASCE., 117 (4) : 501-518.