علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره سه، پاییز ۸۸

ارزیابی فنی اقتصادی و زیست‌محیطی روش های تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری به روش AHP

محمدرضا دباغیان [۱] *
r_dabaghyan@yahoo.com
سید حسین هاشمی [۲]
تقی عبادی [۳]

تاریخ دریافت:۸۶/۱۰/۲۰ **تاریخ پذیرش:۸۶/۱۱/۲۳**

چکیده

در این تحقیق یک روش سیستماتیک برای انتخاب بهترین گزینه در تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری که حاوی فلزات سنگین می‌باشد، معرفی شده است. بدین صورت که در این روش پس از استفاده از نظرات کارشناسان،مشاوران و آبکاران به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی[۴](AHP) بهترین گزینه انتخاب شده است.

این تحقیق در محدوده شهر تهران انجام گرفته است که در آن چهار گزینه برای تصفیه فاضلاب حاوی فلزات سنگین (رسوب-دهی شیمیایی[۵]، تعویض یونی[۶]، RO[۷] و نانوفیلتراسیون[۸]) معرفی شده است که توسط سه پارامتر اصلی: ۱-اقتصادی ۲-فنی و کاربردی ۳-زیست محیطی‌واجتماعی، که هر کدام شامل زیر پارامترهایی از قبیل ابعاد زمین مورد نیاز، هزینه ساخت و نصب، تعمیر و نگه داری، دستیابی به استانداردها، سادگی فن آوری، بومی بودن و ... می‌باشند، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این تحقیق ابتدا هر یک از پارامترها و شاخص های مربوط به هر یک از آن ها، توسط گروه خبرگان و به وسیله پرسشنامه وزن‌دهی می‌شوند. درمرحله بعد پس از محاسبه وزن هر کدام از پارامترها، فن آوری‌های تصفیه فاضلاب به صورت دو به دو نسبت به هر پارامتر مقایسه شده و سپس بهترین گزینه انتخاب می‌شود. نتیجه این مقایسه نشان داد که تصفیه فاضلاب به روش RO مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری است.

واژه های کلیدی: انتخاب تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فلزات سنگین، آبکاری، تصفیه فاضلاب.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر*(مسئول مکاتبات)
۲- استادیار، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی
۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

4- Analytical Hierarchy Process
5- Chemical Precipitation
6- Ion Exchange
7- Reverse Osmosis
8- Nano Filtration

مقدمه

افزایش آگاهی عمومی نسبت به مشکلات آلودگی آب در سال های اخیر باعث تصویب قوانین جدید و سختگیرانه محیط زیست در خصوص تخلیه پساب شده است.(۱) این موضوع باعث افزایش سرعت ساخت و نصب تصفیه‌خانه‌ها به ویژه در کشورهای در حال توسعه شده است.(۲و۳) یکی از مهم ترین مسایل در زمینه طراحی و ساخت تصفیه‌خانه‌ها، انتخاب بهترین و اقتصادی‌ترین گزینه با توجه به شرایط موجود و چشم‌انداز است، به طوری که انتخاب غلط می‌تواند تاثیر شدیدی در افزایش هزینه‌ها و همچنین عدم دستیابی به نتیجه دلخواه داشته باشد(۲و۴).

هدف اصلی در این تحقیق دستیابی و انتخاب روش تصفیه‌ای برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری است به گونه‌ای که کمترین اثرات مخرب زیست‌محیطی را به همراه قابلیت اجرا از لحاظ فنی و اقتصادی را داشته باشد. این تکنولوژی علاوه بر دو فاکتور ذکر شده، باید در ابعاد واقعی مورد استفاده قرار گرفته باشد و همچنین از لحاظ فنی به گونه‌ای باشد که اجرای آن در کشور با توجه به مشکلات موجود امکان‌پذیر باشد.

بنابراین مهم ترین چالش در این تحقیق دستیابی و ارایه روشی است که در آن تکنولوژی مناسب برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری معرفی شده باشد، به گونه‌ای که تعادلی میان مسائل اقتصادی و تکنولوژیکی برای ساخت تصفیه‌خانه و همچنین اثرات زیست‌محیطی برقرار کند (گزینه‌ای که علاوه بر بیشینه کردن اثرات مثبت زیست‌محیطی، کمترین نسبت هزینه‌ها را نیز تحمیل کند). به هر حال، اثرات زیست‌محیطی و مسائل اقتصادی با پارامترها و ابعاد متفاوتی سنجیده می‌شوند که این موضوع قابلیت مقایسه این پارامترها را به همان صورت اولیه غیر ممکن می‌نماید. در نتیجه الگوی مناسب برای تصمیم‌گیری، الگویی است که بتواند پارامترهای مختلف را وزن‌دهی کرده و سپس آن ها را هم‌بعد نماید تا از این طریق قابلیت مقایسه آن ها فراهم شود.

هرچند مطالعات مختلفی بر روی استفاده از مدل های بهینه سازی انتخاب در دنیا صورت گرفته است، اما تعداد محدودی از آن ها پارامترهایی به غیر از هزینه اولیه ساخت را مد نظر قرار داده‌اند(۳، ۵، ۶و۷). از میان تحقیقات صورت گرفته می‌توان به گزارشات EPA در مورد فاضلاب‌های شهری و صنعتی و همچنین گروه مهندسان مشاور Nolte and Associates اشاره کرد(۸ تا ۱۳). در حالی که بهترین گزینه برای احداث یک سیستم تصفیه‌خانه جدید می‌تواند گزینه‌ای باشد که دارای کمترین هزینه، کمترین آلودگی و همچنین بیشترین اثرات مثبت محیط‌زیستی باشد(۲).

روش کار

۱- نمونه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا پارامترهای موثر در انتخاب فن آوری از طریق مصاحبه با تعدادی از متخصصان تعیین می‌شوند. در مرحله بعد این پارامترها در قالب پرسشنامه توسط گروه خبرگان شامل کارشناسان، مشاوران و آبکاران تکمیل می‌شود. افراد پاسخگو در این مرحله از طریق نمونه‌گیری تصادفی و به روش قرعه‌کشی تعیین می‌شوند. برای دستیابی به یک توزیع نرمال با خطای نمونه‌گیری ۵ درصد تعداد نمونه‌ها از فرمول زیر تعیین می‌شود(۱۹).

$$n = \frac{z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \sigma_x^2}{\varepsilon^2}$$

که در آن n تعداد نمونه مورد نیاز، α درصد خطا، σ_x^2 انحراف معیار و z متغیر استاندارد است.

۲- نحوه امتیازدهی به پارامترها

در پرسشنامه طراحی شده اهمیت هر یک از پارامترهای آن توسط گروه خبرگان تعیین می‌شود. بدین صورت که اهمیت آن ها به صورت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد که امتیاز آن ها به ترتیب معادل ۱، ۳، ۵، ۷و۹ می‌باشد. برای مثال اگر پارامتری از نظر فرد پاسخگو اهمیت خیلی کم داشته باشد، این بدان معنی است که وزن آن ۱ است(۱۶). پس از تکمیل پرسشنامه‌ها میانگین

نظرات افراد به عنوان وزن هر پارامتر شناخته می‌شود و در سلسله مراتب ساخته شده در مرحله بعدی از این نتایج استفاده می‌شود.

۳- تحلیل و مقایسه نتایج به روش تحلیل سلسله مراتبی:

پس از نمونه‌گیری و جمع‌آوری اطلاعات از طریق پرسشنامه نوبت به مقایسه و تحلیل فن آوری‌های مختلف از طریق تحلیل سلسله مراتبی می‌رسد، بر اساس مطالعات موجود در ایران حجم پساب صنایع آبکاری بین ۰.۵ تا ۵ متر مکعب در روز در نوسان می‌باشد(۲۰)، که در این قسمت مقایسه ها و تصمیم‌گیری برای فاضلاب واحدهای آبکاری با حجم پساب ۵ متر مکعب در روز، به روش AHP صورت می‌گیرد.

در این روش ابتدا سلسله مراتب مقایسه ها ساخته می‌شود که در بالاترین بخش هدف که در این جا انتخاب گزینه مناسب است و بعد از آن پارامترهای موثر در تصمیم‌گیری و شاخص های مرتبط با هر کدام از آن ها قرار می‌گیرند. در پایین‌ترین بخش نیز گزینه‌های مختلف در زمینه تصفیه فاضلاب قرار می‌گیرند(۱۶).

سپس گزینه‌ها در این مرحله به روش دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و بر اساس جدول زیر امتیازدهی می‌شوند (۱۴تا ۱۶). در این مرحله گزینه‌های مختلف بر اساس مدارک و اطلاعات موجود در رابطه با قابلیت هر یک از آن ها، با یکدیگر مقایسه می‌شوند این مقایسه ها با نظرات تعدادی از متخصصان که در این زمینه فعالیت دارند مقایسه شده و نتیجه حاصل در نرم‌افزار تحلیلی قرار داده می‌شود(۱۶).

جدول ۱ - نحوه مقایسه گزینه‌هاو امتیازدهی به آن ها

نوع قضاوت لفظی	عدد ارجحیت
غیرقابل ترجیح	۱
به سختی قابل ترجیح	۲
تقریباً قابل ترجیح	۳
نسبتاً قابل ترجیح	۴
قابل ترجیح	۵
به خوبی قابل ترجیح	۶
بسیار قابل ترجیح	۷
به کلی قابل ترجیح	۸
به شدت قابل ترجیح	۹

سپس ماتریس حاصل از مقایسه تمام گزینه‌ها را تشکیل داده و به صورت زیر مولفه‌های آن نرمال می‌شود (۱۴ تا ۱۶):

$$n_{ij} = \left[a_{ij} / j = 1to\cdots n\sum nij\right] \ (j = 1,2,\ldots,n)$$

پس از محاسبه ماتریس نرمال، ماتریس وزن هر کدام از گزینه‌ها محاسبه می‌شود:

$$WI = \left[j = 1to\, n \sum \frac{nij}{nx} \right]$$

با استفاده از ماتریس وزن ها، ماتریس داده‌ها را ادغام می‌کنیم، W حاصل بیانگر ضریب اهمیت هر یک از گزینه‌ها خواهد بود.

برای بررسی دقت نتایج و مقایسه های صورت گرفته ارزیابی ثبات یا نرخ سازگاری[1] محاسبه می شود که به صورت زیر محاسبه می شود.

1-Consistency Rate

محاسبه بردار مجموع وزنی[1]

$$WSV= A.W$$

که در آن A ماتریس اولیه و W ماتریس وزنی است.

محاسبه بردار سازگاری[2]

$$CV= WSV/W$$

محاسبه شاخص سازگاری[3]

$$CI = [x\max - n]/n-1 \qquad x_{\max} = \overline{c.v}$$

که n-1 درجه آماری ماتریس است.

در صورتی‌که شاخص سازگاری بیش از ۹۰ ٪ باشد و به عبارت دیگر ناسازگاری محاسبات کمتر از ده درصد باشد محاسبات مورد تایید قرار می‌گیرد، در غیر این صورت تحلیل باید مجددا صورت گیرد.

نتایج

۱- تعیین شاخص های موثر در انتخاب سیستم تصفیه فاضلاب

انتخاب فن آوری برای تصفیه فاضلاب از پیچیدگیهای خاصی برخوردار است و به همین دلیل نمی‌توان تنها عامل اقتصادی را مد نظر قرار داد، همچنین به علت فوق‌العاده سمی بودن فلزات سنگین، لزوم دستیابی به استانداردهای بالاتر احساس می‌شود. لذا با توجه به این مسایل شاخص های زیر به عنوان شاخص های اصلی تعریف شدند.

۱- اقتصادی

۲- فنی و کاربردی

۳- زیست‌محیطی و اجتماعی

همچنین به علت گسترده بودن ابعاد هر یک از سه پارامترهای تعریف شده، برای هر یک شاخص هایی برای دستیابی به نتایج بهتر تعریف شد، که عبارتند از:

۱- اقتصادی:

- اهمیت وسعت زمین مورد نیاز
- اهمیت هزینه ساخت و نصب تجهیزات
- هزینه راهبری سیستم
- هزینه تعمیر و نگه داری
- هزینه دفع نهایی ضایعات

۲- فنی و کاربردی:

- بومی بودن تجهیزات
- سادگی راهبری
- عدم نیاز به فن آوری پیشرفته جهت کنترل
- انعطاف‌پذیری سیستم در مقابل فاضلاب‌های با خصوصیات متفاوت
- دستیابی به استانداردها

۳- زیست‌محیطی و اجتماعی:

- اثرات ناشی از کاهش پساب ناشی از صنایع آبکاری
- اثرات اجتماعی و فرهنگی
- اشتغال‌زایی
- ایمنی شغلی

لازم به ذکر است که اگر چه می‌توان شاخص های بیشتری نیز تعریف کرد، لیکن به نظر می‌رسد شاخص های یاد شده به میزان کافی گویای زوایای مختلف تصمیم‌گیری است.

۲- وزن شاخص های موثر در تصمیم‌گیری

بر اساس تحقیقات میدانی که توسط پرسشنامه انجام گرفت، در مجموع ۵۵ پرسشنامه توسط سه گروه مشاوران، کارشناسان و صنعتگران تکمیل شد که از این میان ۵۳ پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت و ۲ پرسشنامه به علت داشتن برخی نواقص حذف گردید.

در این تحقیق شاخص های اقتصادی، فنی و کاربردیو زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب اوزان ۰/۳۶۱ و ۰/۳۱۳ و ۰/۳۲۶ را به دست آوردند. همان طور که مشاهده می‌شود شاخص اقتصادی بیشترین امتیاز را به دست آورد که این امری طبیعی است و همچنین به علت اهمیت تصفیه فاضلاب حاوی فلزات سنگین و اثرات بسیار مخرب فلزات سنگین شاخص

1-Weighted Sum Vector
2-Consistency Vector
3-Consistency Index

زیست‌محیطی و اجتماعی در جایگاه بعدی قرار گرفت. دلیل نزدیکی نتایج به‌دست آمده، توجه روزافزون به مسایل محیط-زیست و همچنین مشکلات موجود در زمینه واردات فن آوری و تربیت افراد است که باعث افزایش وزن دو پارامتر فنی‌و-تکنولوژیکی و زیست‌محیطی‌واجتماعی در مقابل مسایل و توجهات اقتصادی می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق از میان شاخص های پارامتر اقتصادی، سه شاخص هزینه ساخت و نصب، وسعت زمین مورد نیاز و هزینه راهبری به ترتیب با اوزان ۰/۲۰۹ و ۰/۲۰۲ و ۰/۲۰۱ بیشترین اهمیت را داشتند که این موضوع با توجه به وضعیت کنونی کشور از لحاظ واردات و همچنین ارزش بالای زمین در تهران قابل پیش‌بینی بود.

جدول ۲- اوزان نرمال پارامترها و شاخص های مختلف

پارامترهای اصلی	وزن	شاخص‌ها	وزن
اقتصادی	۰/۳۶۱	اهمیت وسعت زمین مورد نیاز I1	۰/۲۰۲
		اهمیت هزینه ساخت و نصب تجهیزات I2	۰/۲۰۹
		هزینه راهبری سیستم I3	۰/۲۰۱
		هزینه تعمیر و نگه داری I4	۰/۱۹۹
		هزینه دفع نهایی پسماند I5	۰/۱۸۹
فنی و کاربردی	۰/۳۱۳	بومی بودن تجهیزات I6	۰/۲۱۸
		سادگی راهبری I7	۰/۲۱۷
		عدم نیاز به فن آوری پیشرفته جهت کنترل I8	۰/۱۸۶
		انعطاف‌پذیری سیستم I9	۰/۱۵۸
		دستیابی به استانداردها I10	۰/۲۲۰
زیست‌محیطی و اجتماعی	۰/۳۲۶	اثرات ناشی از کاهش پساب I11	۰/۳۰۲
		اثرات اجتماعی و فرهنگی I12	۰/۲۴۰
		اشتغال‌زایی I13	۰/۲۰۹
		ایمنی شغلی I14	۰/۲۴۷

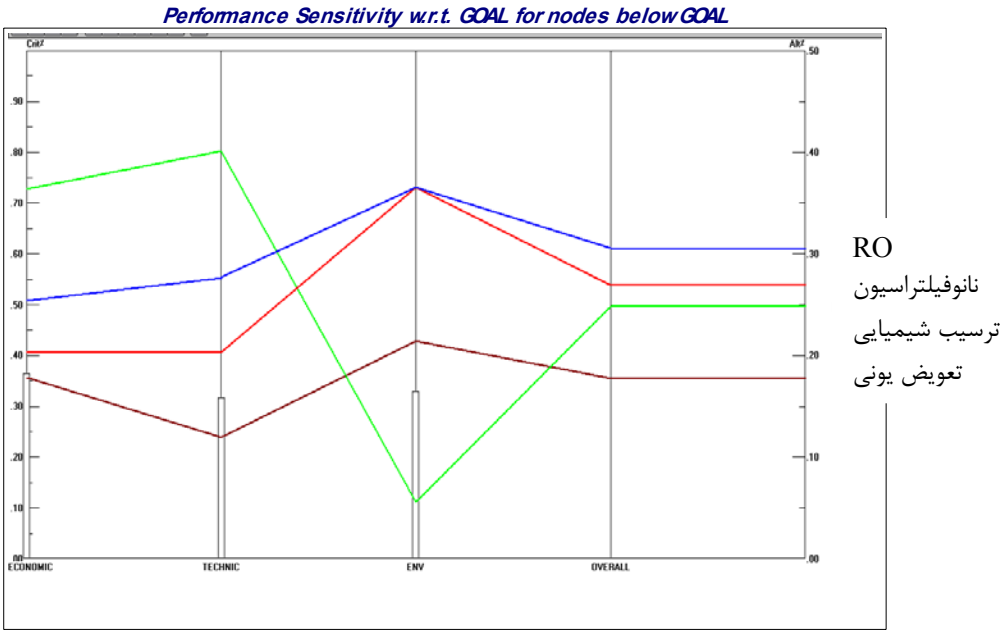
۳- مقایسه سیستم‌های تصفیه فاضلاب به روش AHP

در این مرحله سیستم‌های تصفیه فاضلاب نسبت به هر یک از زیر شاخص های تعریف شده به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شدند. پس از مقایسه و امتیازدهی به گزینه‌های مختلف وزن نرمال هر یک محاسبه می‌شود.

جدول ۳ - وزن نرمال گزینه‌های مختلف در مقابل هر یک از شاخص‌ها

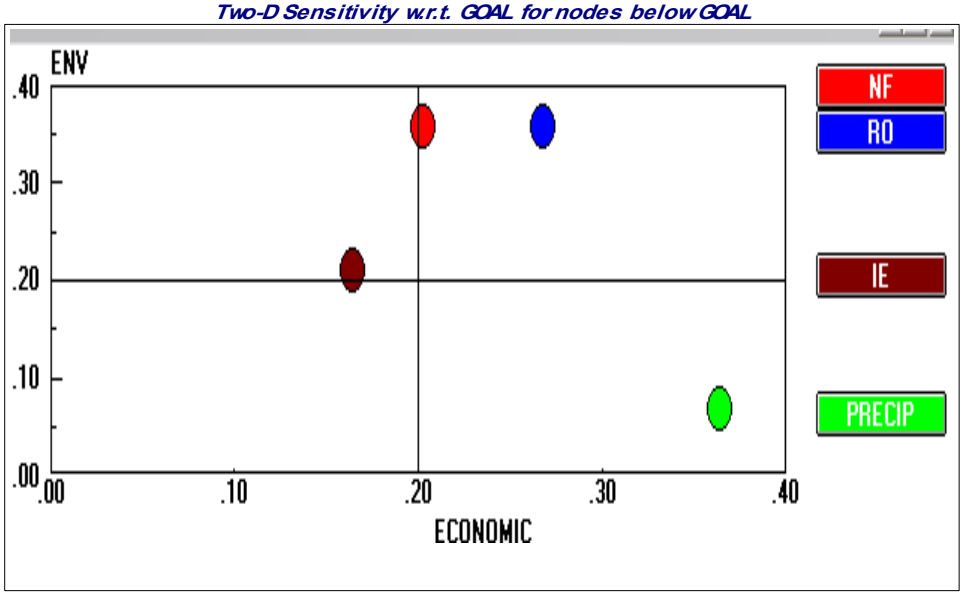
پارامترهای اصلی	شاخص‌ها	نانو فیلتراسیون	RO	تعویض یونی	ترسیب شیمیایی
اقتصادی	I1	۰/۴۰۸	۰/۴۰۸	۰/۱۳۸	۰/۰۴۶
	I2	۰/۰۴۴	۰/۱۶۷	۰/۱۰۲	۰/۶۸۴
	I3	۰/۰۵۵	۰/۱۰۵	۰/۲۰۶	۰/۶۳۴
	I4	۰/۰۵۳	۰/۰۷۸	۰/۱۷۰	۰/۶۹۹
	I5	۰/۳۰۴	۰/۴۳۱	۰/۲۰۲	۰/۰۶۴
فنی و کاربردی	I6	۰/۰۴۵	۰/۰۶۸	۰/۱۵۵	۰/۷۳۳
	I7	۰/۱۴۱	۰/۰۴۴	۰/۰۸۹	۰/۷۲۶
	I8	۰/۰۵۳	۰/۰۹۵	۰/۱۶۶	۰/۶۸۷
	I9	۰/۴۲۶	۰/۴۲۶	۰/۰۴۶	۰/۱۰۲
	I10	۰/۳۲۰	۰/۴۹۲	۰/۱۴۸	۰/۰۴۰
زیست‌محیطی و اجتماعی	I11	۰/۳۹۰	۰/۳۹۰	۰/۱۶۸	۰/۰۵۳
	I12	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۱۵۸	۰/۰۵۶
	I13	۰/۲۳۲	۰/۲۳۲	۰/۳۹۵	۰/۱۴۶
	I14	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹	۰/۱۵۸	۰/۰۴۳

در این بخش پس از مقایسه سیستم‌ها و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار Expert Choice تصفیه فاضلاب به روش RO با ۰/۳۰۵ امتیاز به عنوان بهترین فن آوری و پس از آن نانو فیلتراسیون، ترسیب شیمیایی و در نهایت تعویض یونی در مکان‌های بعدی قرار گرفتند.همچنین شاخص ناسازگاری(CI) در حدود ۰/۰۲ به دست آمد که کمتر از ۰/۱است که در نتیجه محاسبات مورد قبول است.



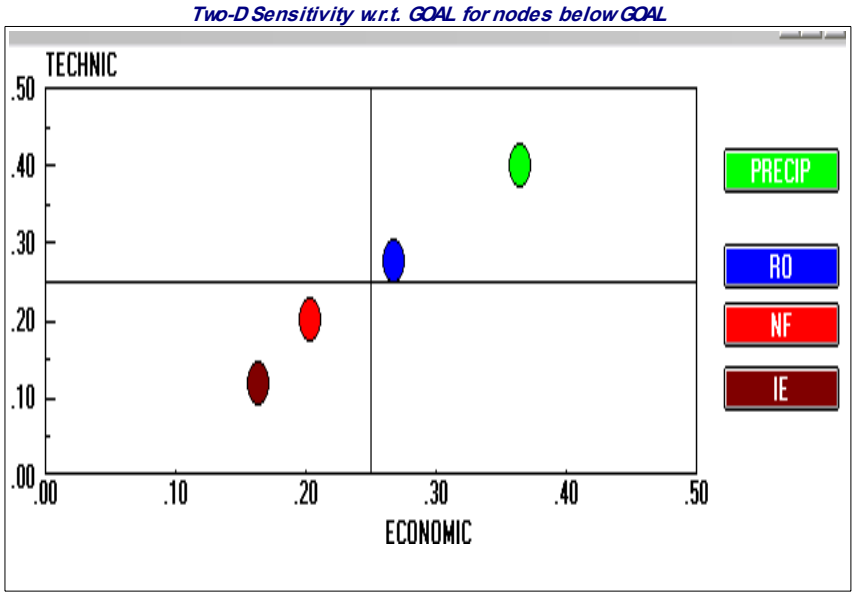
نمودار ۱ – رتبه بندی گزینه‌های مختلف و ارتباط آن ها با پارامترهای اصلی

همچنین در صورت تحلیل حساسیت بر روی دو پارامتر اقتصادی و زیست‌محیطی نیز دو گزینه RO و نانوفیلتراسیون مطلوبیت دارند.



نمودار ۲ – تحلیل حساسیت گزینه‌های مختلف در مقابل دو پارامتر اقتصادی و زیست‌محیطی

بنابر نتایج حاصل ترسیب شیمیایی در صورتی‌که دو پارامتر اقتصادی و فنی و کاربردی به عنوان پارامترهای موثر باشند، به عنوان گزینه مطلوب شناخته می‌شود.



نمودار ۳ – تحلیل حساسیت دو بعدی نسبت به دو پارامتر اقتصادی و فنی و کاربردی

نتیجه گیری نهایی

انتخاب فن آوری مناسب برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری به علت وجود پارامترها و مسایل و مشکلات متنوع مساله ای پیچیده و زمان‌بر می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نظرات متخصصان و صنعتگران، با تعیین پارامترهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری، یک روش مناسب برای انتخاب فن آوری معرفی شده است.

این روش به علت در نظر گرفتن مسایل مختلف و چند بعدی بودن انتخاب در آن، نسبت به روش های متداول و تک بعدی در زمینه انتخاب فن آوری قابلیت بیشتری دارد. به علاوه آنکه با کمی کردن پارامترهای کیفی توسط افراد متخصص، مقایسه فن آوری‌های مختلف تصفیه فاضلاب به صورت بهتری انجام می‌گیرد.

همچنین این روش قابلیت تعمیم به دیگر صنایع، برای انتخاب فن آوری تصفیه فاضلاب را دارا می‌باشد.

منابع

۱. سازمان حفاظت از محیط زیست (۱۳۷۹)،"مجموعه قوانین و مقررات حفاظت از محیط زیست"، جلد اول

2. Guangming Zeng. 2007," Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis", Journal of Environmental Management 82 (2007) 250–259
3. Handfield R. 2001,"Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process", European Journal of Operational Research 141 (2002) 70–87

۴. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی ۱۳۸۲، "لایحه برنامه چهارم بوسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران".

۵. شایگان ج.، افشاری ع ۱۳۸۳، "بررسی وضعیت فاضلاب‌های شهری و صنعتی در ایران"، آب و فاضلاب، ش. ۴۹.

۶. شیرزاد، س ۱۳۷۶، "مقایسه فنی- اقتصادی روش های تصفیه فاضلاب شهری در شرایط اقلیمی ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.

۷. احمـــدی م.،تجریشـــی م، ۱۳۸۳ بررســـی فنـــی و اقتصادی روش های تصفیه فاضلاب صنایع غذایی در ایران." پایان نامه کارشناسی ارشد." دانشگاه صنعتی شریف.

8. USEPA 1975,"Cost Effectiveness Wastewater Treatment", EPA-43019-75-002, 1975
9. USEPA1976.:Area-wide Assessment Procedures Manual: Performance and Cost", Appendix H, Municipal Environmental Research Laboratory. Cincinnati, Ohio, EPA-60019-76-014
10. USEPA 1977,"Construction Cost for Municipal Wastewater Treatment Plants", Office of Water Program Operations, Washington D.C
11. USEPA 2002,"Development Document for the Proposed Effluent Limitation Guidelines and Standards" EPA, Office of Water, EPA-821-B-01-007
12. Arthur P. 1983,"Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries", Technical Paper No.7, Washington D.C., The World Bank
13. Nolte and Associates Engineers, Partners and Surveyors (1999), "Engineering Report: The Cost of Wastewater Reclamation in California", California, USA

۱۴. آریانژاد م، تحقیق در عملیات، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۱

۱۵. اصغرپور م، تصمیم گیری های چنـد معیـاره، تهـران انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷

۱۶. قدســی پــور ح، فرآینــد تحلیــل سلســله مراتبــی (AHP) دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۷۹

17. Saaty, T.L., 1980. The Analytical Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
18. Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in Hierarchical.

۱۹. آذر ع، معرفـی م.،"آمـار و کـاربرد آن در مـدیریت" جلد دوم، ۱۳۸۱

۲۰. فرازمنـد ع، ارومیـه ح، تشـیعی ح، ۱۳۸۴، بررســی آلودگی ناشی از پسـاب‌هـای واحـدها و کارگـاه‌هـای آبکاری استان اصفهان.