علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره۴، بهار۱۳۹۶

تحلیل حساسیت فرایندهای تصفیه فاضلاب شهری با استفاده از AHP

مهنازحسین زاده کلخوران[1]*

mahnaz931@yahoo.com

شهناز حسین زاده[2]

ابراهیم فتایی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهم ترین موضوعات پیش از طراحی و احداث هر تصفیه خانه فاضلاب، انتخاب فرایند بهینه تصفیه است، به طوری که انتخاب نادرست تاثیر زیادی در افزایش هزینه ها و همچنین عدم دست یابی به نتیجه موردنظر دارد.

روش بررسی: در این مطالعه به منظور تعیین حساسیت معیارهای موثر بر اولویت بندی فرایندها و انتخاب فرایند مناسب تصفیه فاضلاب شهری در شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه از آزمون حساسیت بر اساس مدل AHP استفاده شد. فرایندهای تصفیه این شهرها شامل لاگون هوادهی، لجن فعال و بیولاک می باشد. این فرایندها، بر اساس معیارهای فنی ، اقتصادی و محیط زیستی و زیرمعیارهای مربوطه از طریق مقایسه زوجی وزن دهی شد و نتایج با استفاده از نرم افزار Expert Choice بررسی شد.

یافته‌ها: بر این اساس فرایند بیولاک در اولویت اول قرار گرفت و فرایندهای لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در اولویت های دوم و سوم قرار گرفتند. در نهایت، تحلیل حساسیت برای معیارهای اصلی انجام گرفت تا حساسیت اولویت بندی گزینه ها را نسبت به تغییرات وزن معیارها مشخص نماید.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، معیار فنی ، معیار اقتصادی ، معیار محیط زیستی، فرایندهای تصفیه فاضلاب.

۱*- (مسوول مکاتبات): کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست ، دانشکده محیط زیست و انرژی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ، تهران، ایران .

۲- کارشناس ارشد ایمنولوژی پزشکی ، دانشکده پزشکی ، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل ، ایران .

۳- استادیار گروه مهندسی محیط زیست ، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل ، ایران .

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.4, Spring 2017

Performing Sensitivity Analysis of Municipal Wastewater Treatment Process Using AHP

Mahnaz Hosseinzadeh Kalkhoran [1*]
mahnaz931@yahoo.com
Shahnaz Hosseinzadeh [2]
Ebrahim Fataei [3]

Abstract

Background and Objective: One of the main issues before the design and construction of any wastewater treatment plant is the selection of the optimal wastewater treatment process, since the wrong choice can have considerable effect in increasing expense, and also led to unattainable and undesired result.

Method: The current study used the Analytic Hierarchy Process (AHP) model to determine the effective criteria in the selection of the appropriate wastewater treatment process, are developing in cities such as Ardebil, Tabriz, and Uremia in order to prioritize and choose the most appropriate treatment process. In such cities the treatment process involved: Aerated Lagoon, Activated sludge, and Biolak. Based on the technical, economic and environmental criteria and related sub-criteria, the processes are weighted through pair wise comparison and the results obtained are assessed using the Expert Choice software.

Findings: Finally, Biolak was selected as the optimal process and Activated Sludge and Aerated Lagoon were respectively placed in the next priorities. Sensitivity Analysis is performed on the major factors to investigate the sensitivity of the alternatives in order to apply changes in the priorities of the criteria.

Keywords: Sensitivity Analysis, Analytical Hierarchy Process, Technical Criterion, Economical Criterion, Environmental Criterion, Wastewater Treatment Processes.

1- M.Sc Environmental Engineering, Department of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- MSc Medical Immunology, Department of Medical, Ardebil University of Medical Sciences. Iran.
3- Assistant Professor of Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University Ardebil, Iran.

مقدمه

رشدجمعیت، بالا رفتن سطح رفاه عمومی و توسعه صنعتی باعث افت کمی و کیفی منابع آب شده و مدیریت منابع آب را روز به روز پیچیده تر کرده است(۱). در حال حاضر تولید حجم زیاد فاضلاب خانگی و تخلیه کنترل نشده آن به منابع آب پذیرنده و زیرزمینی، مشکلات جدی و قابل طرحی را پیش روی برنامه ریزان کشور نهاده است. به طوری که پیش بینی می شود تا سال ۱۴۰۰، حدود ۸۰۰ تصفیه خانه فاضلاب شهری در کشور بوجود آید که سرمایه گذاری مالی و انسانی عظیمی را در بر خواهد داشت. چنین سرمایه گذاری ایجاب می نماید که به انتخاب فرایند تصفیه با توجه به معیارهای اقتصادی و مهندسی توجه خاصی مبذول گردد(۲).

دراین مطالعه، فرایندها براساس معیارهای فنی، اقتصادی و محیط زیستی مورد ارزیابی قرار می گیرند که برای این منظور بایستی ارتباط بین ملاحظات فنی و اقتصادی و اثرات محیط زیستی فرایندها در نظر گرفته شود و روشی بکار رود که با لحاظ نمودن هم زمان این معیارها، فرایند مناسب راانتخاب نماید. مدلهای تصمیم گیری چندمعیاره دارای چنین قابلیتی بوده و در این زمینه مفید خواهند بود. تاکنون روش های تصمیم گیری چند معیاره متعددی اعم از روش های وزن دهی، روش حدی، روش شباهت به گزینه ایده ال (TOPSIS) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارایه شده است (۳). روش های تصمیم گیری چند معیاره بطور موفقیت آمیزی در زمینه مسایل محیط زیستی مورد استفاده قرار گرفته اند(۴). کاربرد متعدد این روش ها نشان داده که آن ها ابزار مناسبی در فرایند تصمیم گیری می باشند(۵).

در طول سال های گذشته، برای انتخاب گزینه بهینه تصفیه فاضلاب، مدل های بهینه سازی مختلفی ارایه شده است. در یکی از این مطالعات که توسط کریمی در سال ۱۳۸۹ انجام شد. فرایندهای تصفیه بی هوازی موجود در شهرک های صنعتی ایران با استفاده از AHP وTOPSIS فازی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه، پنج فرایند تصفیه بی هوازی شامل: UASB، UAFB، ABR، فرایند تماس بی هوازی و لاگون بی هوازی بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، محیط زیستی و مدیریتی و زیر معیارهای مربوطه بررسی شد و فرایند UAFB به عنوان بهترین فرایند انتخاب شد. سپس تحلیل حساسیت برای معیارها انجام گرفت (۶). در مطالعه ای دیگر که بوسیله دباغیان در سال ۱۳۸۶ انجام شد، انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب در صنایع آبکاری با استفاده از روش AHPبررسی شده است. در این مطالعه چهار فرایند تصفیه شامل: ترسیب شیمیایی، تعویض یونی،RO و نانو فیلتراسیون بر اساس معیار های فنی و کاربردی، اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی با یکدیگر مقایسه شده و فرایندRO به عنوان مناسب ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری انتخاب شده است.سپس تحلیل حساسیت برای معیارهای مذکور انجام گرفت(۷). در مطالعه ای که توسط احمدی در سال ۱۳۸۳ انجام گرفت. به مقایسه فنی و اقتصادی فرایندهای تصفیه فاضلاب صنایع قند در ایران پرداخته شد و تحلیل حساسیت فرایندهای تصفیه نسبت به COD ورودی، درجه حرارت بحرانی هوای محیط، قیمت زمین، قیمت انرژی، COD خروجی و ضریب تولید فاضلاب انجام شد(۸). در مطالعه ای که توسط تاج و همکاران در سال ۱۳۸۰ انجام شد. به بررسی اقتصادی چهار فرایند تصفیه لجن فعال شامل: هوادهی نهرگونه ، فرایند اختلاط کامل، هوادهی گسترده، هوادهی با بار بالا پرداخته شد. در این مطالعه حوض هوادهی با بار بالا به عنوان اقتصادی ترین فرایند تصفیه و هوادهی گسترده به عنوان پرهزینه ترین فرایند تصفیه معرفی شده است(۹). در مطالعه ای که توسط کالبار و همکاران در سال ۲۰۱۲ انجام شد. جهت انتخاب بهترین فرایند تصفیه فاضلاب شهری در هند از روشTOPSIS استفاده شد. در این مطالعه چهار فرایند تصفیه فاضلاب شهری در هند شامل: لجن فعال، UASB، RBC و وت لند بر اساس معیارهای فنی ، اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی ارزیابی شده و رتبه بندی گردید(۱۰). پوفالی و همکاران در سال ۲۰۱۱ تلفیقی از روش های AHP و GRA را به منظور دست یابی به گزینه بهینه تصفیه فاضلاب

صنعت دباغی مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه اطلاعات مربوط به هفت صنعت دباغی و فرایندهای تصفیه آنها بر اساس عملکرد فنی، سود اقتصادی و معیارهای مدیریتی ارزیابی و مقایسه گردیده و بهترین فرایند تصفیه انتخاب شده است(۱۱). گانگمینگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ جهت انتخاب بهترین فرایند تصفیه فاضلاب شهری ، از روش هایAHP و GRA بصورت توامان استفاده کردند. در این مطالعه، چهار فرایند تصفیه فاضلاب شهری شامل A^2/O، نهر اکسیداسیون سه مرحله‌ای، نهر اکسیداسیون بی‌هوازی منفرد و SBR از نقطه نظر اقتصادی، فنی، مدیریتی مقایسه شد و نهر اکسیداسیون بی‌هوازی منفرد به عنوان بهینه ترین گزینه تصفیه انتخاب گردید(۱۲).

در تحقیق حاضر، با فراهم نمودن امکان اثرگذاری معیارهای مختلف متناسب با وزن آنها، از مدل تحلیل سلسله مراتبی(AHP) به منظور اولویت بندی فرایندها و انتخاب بهترین فرایند تصفیه فاضلاب برای شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه استفاده شد و پس از انجام تحلیل حساسیت ، معیارهای موثر در انتخاب فرایند مشخص گردید.

روش بررسی

در این مطالعه، ابتدا فرایندهای تصفیه فاضلاب در شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه شناسایی شد و اطلاعات مربوط به آن ها گردآوری گردید. سپس معیارها و زیر معیارهای موثر در انتخاب فرایند از طریق مطالعه مراجع و مصاحبه با متخصصان مشخص شد. در مرحله بعد این معیارها در قالب دو پرسش نامه توسط گروه خبرگان شامل کارشناسان ، مشاوران و واحدهای بهره بردای تصفیه خانه های فاضلاب تکمیل گردید. در این مطالعه از دو پرسش نامه استفاده شد. پرسشنامه اول شامل ۴ ماتریس مقایسه زوجی بود. در ماتریس اول میزان اهمیت ۳ معیار(فنی ، اقتصادی و زیست محیطی) نسبت به هدف(انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب) ارزیابی شد و در ماتریس دوم و سوم و چهارم میزان اهمیت زیرمعیارهای مربوط به هر یک ازمعیارها نسبت به معیار مربوطه سنجیده شد. پرسشنامه دوم شامل ۲۲ ماتریس مقایسه زوجی بود. دراین ماتریس ها میزان اهمیت گزینه ها (لاگون هوادهی، لجن فعال و بیولاک) نسبت به معیارها و زیر معیارها مورد ارزیابی قرار گرفت. نحوه امتیازدهی به پارامترها در ماتریس های مقایسه زوجی به این صورت است که در این ماتریس ها پارامترها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه می-شوند و طبق جدول۱ امتیاز دهی می شوند(۱۳).

جدول۱- مقیاس اهمیتهای نسبی

Table1-The scale of relative importances

وزنهای ترجیحی/ سطح اهمیت	تعریف	توضیحات
۱	ترجیح برابر	دو فعالیت مشارکت یکسانی نسبت به هدف دارند
۳	ترجیح متوسط	تجربیات و قضاوت بطور ملایم یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح میدهد
۵	ترجیح قوی	تجربیات و قضاوت بطور قوی یا ویژه، یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح می دهد
۷	ترجیح خیلی قوی	یک فعالیت به طور خیلی قوی نسبت به دیگر فعالیتها ترجیح داده می شود
۹	ترجیح بینهایت	ترجیح یک فعالیت نسبت به دیگر فعالیتها در حداکثر درجه ممکن است
۲و۴ و۶و۸	مقادیر بینابینی	برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالاست
معکوس		معکوس هر یک برای بیان مقایسات معکوس استفاده می شود

پس از تکمیل پرسش نامه ها توسط گروه خبرگان، میانگین نظرات کارشناسان به عنوان وزن هر پارامتر شناخته می شود. در مرحله بعد سلسله مراتب مقایسه ها ساخته می شود که در بالاترین بخش هدف تصمیم گیری قرار می گیرد که در اینجا انتخاب بهترین فرایند تصفیه است و بعداز آن معیارها و زیرمعیارها قرار می گیرند و در پایین ترین بخش گزینه ها قرار دارند. معیارهایی که در انتخاب فرایند مناسب تصفیه مد نظر قرار گرفته اند عبارتند از: معیار فنی، معیار اقتصادی و معیار محیط زیستی. همچنین به علت وسیع بودن ابعاد هر یک از معیارهای تعریف شده، به منظور دست یابی به نتایج بهتر برای هریک از معیارها، زیرمعیارهایی تعریف شد. زیر معیارهایی که در ارزیابی فنی فرایندهای مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفتند عبارتند از: کارایی فرایند، مقاومت به شوک های هیدرولیکی، سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک های آلی، عدم نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده، سادگی راهبری، سابقه و تجربه کاربرد فرایند، قابلیت کاربرد فرایند، قابلیت ارتقا کمی و کیفی فرایند، قابلیت اعتماد فرایند و عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده. در ارزیابی اقتصادی فرایندهای مورد مطالعه، زیر معیارهای زیر مورد استفاده قرار گرفت: هزینه های سرمایه گذاری اولیه، هزینه های بهره برداری و نگهداری، انرژی مصرفی ، زمین موردنیاز، هزینه دفع لجن. در ارزیابی محیط زیستی فرایندهای منتخب، زیر معیارهای زیر مورد توجه قرار گرفته است: شرایط اقلیمی و محیطی منطقه، ایجاد بو، تامین ضوابط و استاندارد های زیست محیطی مربوط به تخلیه پساب و زیبایی منظر. سطح گزینه ها شامل فرایندهای تصفیه فاضلاب است که بایستی مقایسه و ارزیابی گردند. در این مطالعه سه فرایند تصفیه فاضلاب شهری که در تصفیه خانه های فاضلاب شهرهای اردبیل ،تبریز و ارومیه در حال بهره برداری هستند به عنوان گزینه های مساله تصمیم گیری انتخاب شده اند که عبارتند از: لاگون هوادهی، لجن فعال و بیولاک.

بعد از تشکیل ماتریس ها و انجام مقایسات زوجی، وزن های نسبی، وزن های نهایی و حداکثر مقدار ویژه با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه گردید.یکی از مزایای مهم فرایند تحلیلی سلسله مراتبی، اندازه گیری و کنترل سازگاری هر ماتریس است. شاخص ناسازگاری I.I بصورت زیر تعریف می شود:

$$I.I=\lambda_{max}-n/n-1$$

که در این رابطه λ_{max} حداکثر مقدار ویژه ماتریس و n طول ماتریس و I.I شاخص ناسازگاری است. با تقسیم مقدارI.I بر I.I.R میزان نرخ ناسازگاری محاسبه می شود در صورتی که شاخص ناسازگاری کم تر از ده درصد باشد محاسبات مورد تایید قرار می گیرد، در غیر اینصورت تحلیل باید مجددا صورت گیرد. (I.I.R عبارت است از شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی، که از محاسبه مقادیر شاخص ناسازگاری برای ماتریس هایی که اعداد آن ها کاملا تصادفی اختیار شده، محاسبه می گردد.) مقادیر این شاخص برای ماتریس های n بعدی مطابق جدول ۲ است .در این مرحله (بعد از حصول رتبه بندی گزینه ها) قبل از انتخاب گزینه نهایی ، باید تحلیل حساسیت بر روی مسئله صورت گیرد تا درجه اطمینان نتایج سنجیده شود (۱۴).

جدول۲- شاخص ناسازگاری ماتریس های تصادفی

Table - The inconsistency index for random matrixes

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

یافته ها

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود بیولاک بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی بدست آورده و به عنوان بهترین فرایند مشخص شد. اولویت بندی فرایندها نسبت به معیار فنی و اقتصادی و محیط زیستی نیز در شکل های ۲و۳و۴ نشان داده شده است.

شکل۱- اولویت بندی گزینه های تصفیه نسبت به هدف کلی

Figure1-Prioritizing of treatment alternatives based on goal

شکل ۲- اولویت بندی گزینه های تصفیه نسبت به معیار فنی

Figure2- Prioritizing of treatment alternatives based on technical criterion

شکل ۳- اولویت بندی گزینه های تصفیه نسبت به معیار اقتصادی

Figure3- Prioritizing of treatment alternatives based on economical criterion

شکل ۴- اولویت بندی گزینه های تصفیه نسبت به معیار محیط زیستی

Figure 4- Prioritizing of treatment alternatives based on environmental criterion

در جدول ۴ اوزان نرمال مربوط به معیارها و زیرمعیارهای مختلف بدست آمده ارایه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق از میان شاخص های مربوط به معیار فنی؛ کارایی فرایند و مقاومت در برابر شوک های آلی و انعطاف پذیری در برابر شوک های هیدرولیکی به ترتیب با اوزان ۰/۱۷۱ ، ۰/۱۲۳ ، ۰/۱۰۲ بیش ترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. در بین زیر معیارهای محیط زیستی، معیارهای شرایط اقلیمی و محیطی منطقه و تامین استانداردهای محیط زیستی و ایجاد بو به ترتیب با اوزان ۰/۳۶۳ ، ۰/۲۹۵ و ۰/۲۱۲ بیش ترین امتیاز را بدست آوردند. در بین زیرمعیارهای اقتصادی، هزینه های سرمایه گذاری و هزینه های بهره برداری و انرژی مصرفی به ترتیب با وزن های ۰/۳۴۸، ۰/۲۵۳ و۰/۲۱۰ بیش ترین اهمیت را داشتند(جدول ۴). وزن نسبی گزینه ها نسبت به معیارها در جدول ۵ ارایه شده است.

جدول۳- وزن نرمال معیارها و زیرمعیارها

Table 3-The criteria and sub- criteria normalized weights

معیارها	وزن نرمال	زیرمعیارها	وزن نرمال
فنی (C_1)	۰/۴۰۷	کارایی فرایند(I_1)	۰/۱۷۱
		مقاومت به شوک های هیدرولیکی(I_2)	۰/۱۰۲
		سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک های آلی(I_3)	۰/۱۲۳
		نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده(I_4)	۰/۰۷۰
		سادگی راهبری(I_5)	۰/۰۷۸
		سابقه و تجربه کابرد فرایند(I_6)	۰/۰۸۳
		قابلیت کابرد فرایند (I_7)	۰/۱۰۰
		قابلیت ارتقا کمی و کیفی فرایند(I_8)	۰/۰۸۹
		قابلیت اعتماد فرایند(عملکرد مداوم) (I_9)	۰/۰۹۱
		عدم وابستگی به تکنولوژی کشورسازنده(I_{10})	۰/۰۹۶
اقتصادی (C_2)	۰/۱۹۷	هزینه های سرمایه گذاری(I_{11})	۰/۳۴۸
		هزینه های بهره برداری و نگهداری (I_{12})	۰/۲۵۳
		انرژی مصرفی (I_{13})	۰/۲۱۰
		زمین مورد نیاز(I_{14})	۰/۰۹۵
		هزینه دفع لجن(I_{15})	۰/۰۹۴
محیط زیستی (C_3)	۰/۳۹۶	شرایط اقلیمی و محیطی منطقه(I_{16})	۰/۳۶۳
		ایجاد بو (I_{17})	۰/۲۱۲
		تامین ضوابط و استانداردهای محیط زیستی مربوط به تخلیه پساب (I_{18})	۰/۲۹۵
		زیبایی منظر(I_{19})	۰/۱۳۰

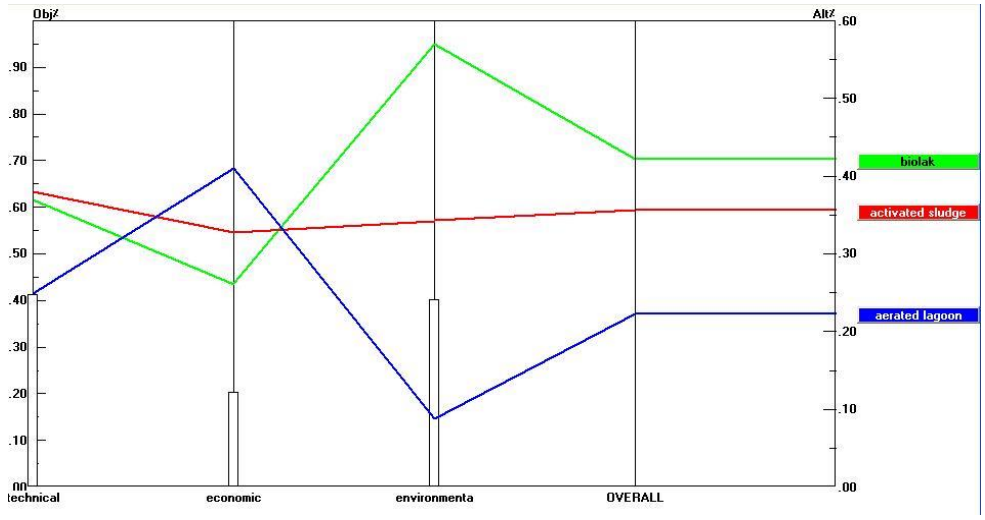
جدول ۴- وزن نسبی گزینه ها نسبت به معیارها

Table 4. The relative weight of alternatives based on criteria and sub- criteria

معیارها	لاگون هوادهی	لجن فعال	بیولاک
معیار فنی(C_1)	۰/۲۵۰	۰/۳۸۰	۰/۳۷۰
کارایی فرایند(I_1)	۰/۱۰۱	۰/۳۱۹	۰/۵۸۰
مقاومت به شوک های هیدرولیکی(I_2)	۰/۲۴۸	۰/۳۷۶	۰/۳۷۶
سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک های آلی(I_3)	۰/۱۸۲	۰/۳۴۸	۰/۴۷۰
نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده(I_4)	۰/۴۱۲	۰/۳۴۰	۰/۲۴۸
سادگی راهبری(I_5)	۰/۶۴۰	۰/۲۴۳	۰/۱۱۸
سابقه و تجربه کابرد فرایند(I_6)	۰/۲۷۸	۰/۵۳۴	۰/۱۸۹
قابلیت کابرد فرایند (I_7)	۰/۱۱۳	۰/۵۰۸	۰/۳۸۰
قابلیت ارتقا کمی و کیفی فرایند(I_8)	۰/۱۳۲	۰/۴۸۶	۰/۳۸۲
قابلیت اعتماد فرایند(عملکرد مداوم) (I_9)	۰/۱۰۷	۰/۳۷۶	۰/۵۱۷
عدم وابستگی به تکنولوژی کشورسازنده(I_{10})	۰/۵۸۶	۰/۲۸۹	۰/۱۲۵
معیار اقتصادی (C_2)	۰/۴۱۱	۰/۳۲۸	۰/۲۶۱
هزینه های سرمایه گذاری(I_{11})	۰/۴۸۷	۰/۳۰۴	۰/۲۰۹

هزینه های بهره برداری و نگهداری ($I_{۱۲}$)	۰/۵۴۶	۰/۲۰۹	۰/۲۴۴
انرژی مصرفی ($I_{۱۳}$)	۰/۲۰۳	۰/۵۲۹	۰/۲۶۸
زمین مورد نیاز($I_{۱۴}$)	۰/۱۴۴	۰/۳۲۹	۰/۵۲۷
هزینه دفع لجن($I_{۱۵}$)	۰/۴۷۸	۰/۲۸۹	۰/۲۳۳
معیار محیط زیستی ($C_{۳}$)	۰/۰۸۸	۰/۳۴۲	۰/۵۶۹
شرایط اقلیمی و محیطی منطقه($I_{۱۶}$)	۰/۰۸۰	۰/۳۶۲	۰/۵۵۸
ایجاد بو ($I_{۱۷}$)	۰/۱۱۰	۰/۳۵۶	۰/۵۳۴
تامین استانداردهای محیط زیستی مربوط به تخلیه پساب ($I_{۱۸}$)	۰/۰۸۴	۰/۳۱۹	۰/۵۹۶
زیبایی منظر($I_{۱۹}$)	۰/۰۸۴	۰/۳۰۹	۰/۶۰۷

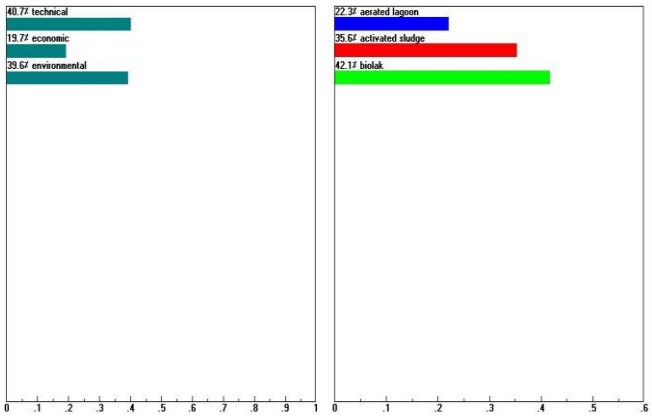
در شکل ۵ رتبه بندی گزینه های مختلف تصفیه در ارتباط با معیارها نشان داده شده است. همان طور که در این نمودار مشاهده می شود فرایند بیولاک بیش ترین حساسیت را نسبت به معیار محیط زیستی دارد.



شکل ۵ - تحلیل حساسیت بر اساس کارایی نسبت به هدف کلی

Figure 5-The performance sensitivity analysis based on goal

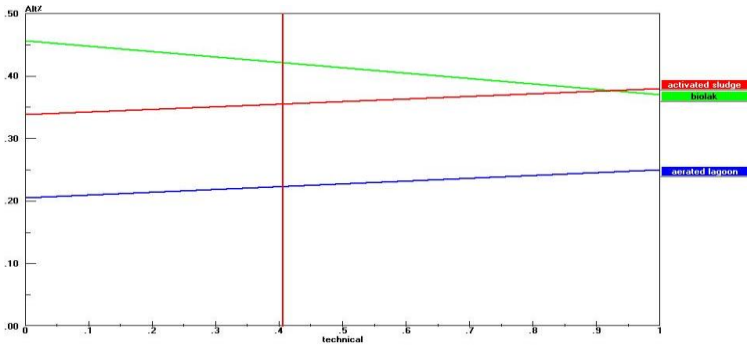
همان طور که در شکل۶ مشاهده می شود در تحلیل حساسیت بر اساس پویایی نسبت به هدف کلی، بیش ترین حساسیت به ترتیب مربوط به معیار فنی، سپس محیط زیستی و اقتصادی بوده است. یعنی در اولویت بندی فرایندها وانتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب شهری، معیار فنی بیش ترین تاثیر را داشته است. در این نمودار علاوه بر اولویت بندی معیارها، اولویت بندی گزینه های تصفیه نسبت به هدف کلی (انتخاب بهترین فرایند تصفیه فاضلاب) نیز نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، بیولاک رتبه اول را بدست آورده و لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در رتبه های بعدی قرار گرفتند.



شکل ۶- تحلیل حساسیت بر اساس پویایی نسبت به هدف کلی

Figure6-The dynamic sensitivity analysis based on goal

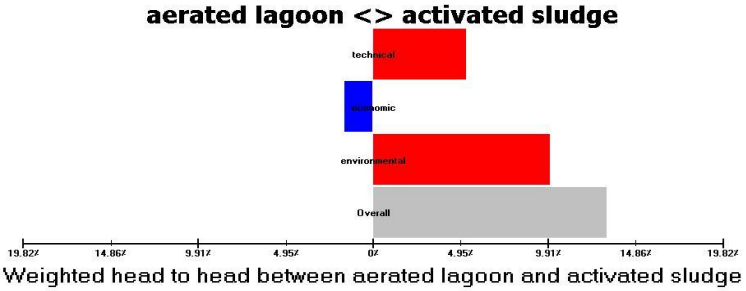
شکل ۷ تاثیر معیار فنی را در اولویت بندی گزینه ها نشان می دهد و مشخص می نماید که فرایند لجن فعال از نظر بعد فنی بالاتر از بقیه می باشد. البته همان طور که در این نمودار مشاهده می شود بیولاک از نظر عملکرد فنی مشابه با لجن فعال می باشد.



شکل ۷- تحلیل حساسیت بر اساس شیب نسبت به هدف کلی

Figure7-The gradient sensitivity analysis based on goal

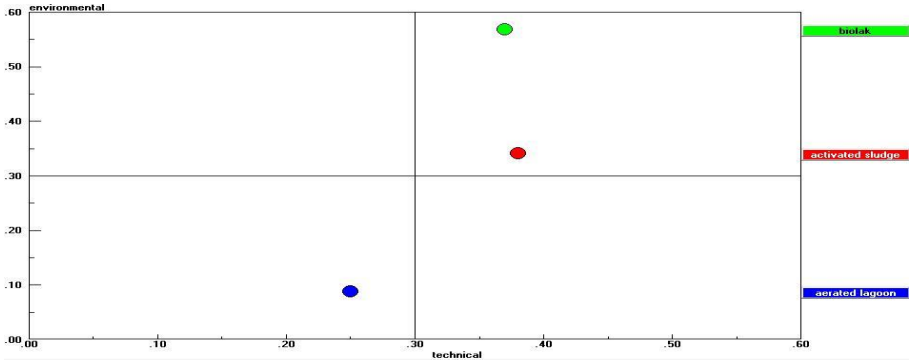
همان طور که در نمودار تحلیل حساسیت سر به سری دو فرایند لاگون هوادهی و لجن فعال مشاهده می شود، در لاگون هوادهی معیار اقتصادی بیش ترین وزن را به خود اختصاص داده است و به عنوان موثر ترین معیار در انتخاب فرایند لاگون هوادهی مشخص شده است. و فرایند لجن فعال از نظر فنی و محیط زیستی بیش ترین وزن را بدست آورده است و معیارهای فنی و محیط زیستی دارای بیش ترین تاثیر در انتخاب لجن فعال می باشند.



شکل۸- تحلیل حساسیت بر اساس سر به سری نسبت به هدف کلی

Figure8-The head to head sensitivity analysis based on goal

در شکل۹ تحلیل حساسیت بر روی دو معیار فنی و محیط زیستی صورت گرفته است . این نمودار نشان می دهد که فرایند بیولاک از نظر فنی و محیط زیستی به عنوان گزینه مطلوب شناخته شده است.



شکل ۹- تحلیل حساسیت دوبعدی نسبت به هدف کلی

Figure9-The two dimensional sensitivity analysis based on goal

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه، معیار فنی بیش ترین امتیاز را بدست آورد بنابراین معیار فنی در تصمیم گیری و انتخاب فرایند مناسب تصفیه فاضلاب نسبت به معیار محیط زیستی تاثیر بیش تری داشته است و محیط زیستی نیز، تاثیر بیش تری نسبت به معیار اقتصادی داشته است. پس مشخص می گردد که بر خلاف نتایج تحقیق انجام شده توسط شیرزاد و احمدی معیار اقتصادی تاثیر نسبتا کمی در این مطالعه به خود اختصاص داده است و از دیدگاه کارشناسان مجرب اصول فنی تصفیه فاضلاب از مهمترین عوامل تاثیر گذار در انتخاب نوع تکنولوژی محسوب می گردد. این امر به این علت می تواند باشد که حتی اگر هزینه های زیربنایی مثل هزینه زمین و هزینه های سرمایه گذاری مورد نیاز برای راه اندازی یک تصفیه خانه فاضلاب هم در دسترس باشد عدم وجود تکنولوژی تصفیه مناسب (معیار فنی) و وجود مشکلات محیط زیستی می تواند منجر به نقص در فرایند تصفیه شود. همان طورکه در نمودار۱ مشاهده می شود در اولویت بندی گزینه های تصفیه نسبت به هدف کلی (انتخاب بهترین فرایند تصفیه فاضلاب) بیولاک رتبه اول را بدست آورده و لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در رتبه های بعدی قرار گرفتند. به این دلیل که معیارهای فنی و محیط زیستی بیش ترین تاثیر را درانتخاب فرایند تصفیه داشتند و بیولاک از نظر فنی و محیط زیستی نسبت به دو فرایند دیگر در اولویت قرار داشت. البته لجن فعال و بیولاک از نظر فنی امتیاز تقریبا یکسانی بدست آوردند. اما چون فرایند بیولاک از نظر معیار محیط زیستی نسبت به لجن فعال ارجحیت دارد بنابراین بیولاک با بیش ترین امتیاز در رتبه اول قرار گرفت و لجن فعال در اولویت دوم قرار گرفت.

همان طور که در نمودار ۵ مشاهده شد فرایند بیولاک بیش ترین حساسیت را نسبت به معیار محیط زیستی دارد. در این نمودار با افزایش درصد وزنی معیار محیط زیستی ، بیولاک همچنان در رتبه اول قرار گرفته و افزایش وزن این معیار تاثیری در رتبه بندی بیولاک نشان نمی دهد. چون بیولاک از نظر محیط زیستی (سازگاری با شرایط اقلیمی و محیطی منطقه ، تامین استانداردهای محیط زیستی، تولید بو و زیبایی منظر) نسبت به لجن فعال و لاگون هوادهی ارجحیت دارد. اما با کاهش وزن معیار زیست محیطی از ۳۹/۶ درصد به ۱۴/۸ درصد ، اولویت لجن فعال و بیولاک جابجا گردید و لجن فعال در رتبه اول و بیولاک در رتبه دوم قرار گرفت. در واقع باکاهش اثرمعیار محیط زیستی، اولویت بندی گزینه ها تغییر یافته و گزینه ای در اولویت اول قرار می گیرد که معیار محیط زیستی در انتخاب آن تاثیر کمتری داشته است. فرایند لجن فعال بیش ترین حساسیت را نسبت به معیار فنی دارد. کاهش وزن معیار فنی تاثیری در اولویت بندی گزینه ها نشان نمی دهد. اما با افزایش

وزن معیار فنی از ۴۰/۷ درصد به۹۵ درصد، اولویت لجن فعال و بیولاک جابجا می شود که این امر به دلیل نزدیکی اهمیت نسبی این دو فرایند از نظر معیار فنی می باشد. فرایند لاگون هوادهی بیش ترین حساسیت را نسبت به معیار اقتصادی و کم ترین حساسیت را نسبت به معیار محیط زیستی دارد. با کاهش وزن معیار اقتصادی اولویت معیارها تغییر نمی نماید و لاگون هوادهی همچنان در اولویت اول قرار داشته و لجن فعال و بیولاک به ترتیب در اولویت های بعدی قرار می گیرند. با افزایش درصد وزنی معیار اقتصادی از ۱۹/۷ درصد به ۶۰ درصد لاگون هوادهی همچنان دراولویت اول قرار داشته و فقط اولویت لجن فعال و بیولاک جابجا گردید. دلیل این امر این است که لاگون هوادهی از نظر اقتصادی نسبت به دو فرایند دیگر ارجحیت داشته و از نظر اقتصادی همواره در اولویت اول قرار دارد. اما با افزایش وزن معیار اقتصادی از ۱۹/۷ به۶۰ درصد بیولاک دراولویت دوم و لجن فعال دراولویت اول قرار می گیرد.

در کل می توان گفت در اولویت بندی فرایندها و انتخاب بهترین فرایند تصفیه، بیش ترین حساسیت به ترتیب مربوط به معیار فنی، سپس محیط زیستی و اقتصادی بوده است. چون با تغییر درصد وزنی معیار فنی، اولویت بندی گزینه ها تغییر می یابد. با افزایش وزن معیار فنی اولویت های اول و دوم جابجا می شوند. در حالی که افزایش درصد وزنی معیار محیط زیستی تغییری در اولویت گزینه ها ایجاد نمی کند و افزایش وزن معیار اقتصادی نیز فقط اولویتهای دوم و سوم را تغییر می دهد و تغییری در اولویت اول ایجاد نمی کند. بنابراین می توان گفت در تحلیل حساسیت نسبت به هدف کلی که انتخاب فرایند مناسب تصفیه می باشد، بیش ترین حساسیت مربوط به معیار فنی می باشد که در اولویت بندی فرایندها و انتخاب فرایند بهینه تاثیر بیشتری دارد. بنابراین مشخص می گردد که بر خلاف نتایج تحقیق انجام شده توسط احمدی، در مطالعه حاضر حساسیت گزینه ها نسبت به معیار اقتصادی کم است.

در مطالعه کریمی نیز مانند مطالعه حاضر معیار فنی بیش ترین درصد وزنی را به خود اختصاص داد و به عنوان موثرترین معیار شناخته شد استفاده شده است. تفاوت مطالعه کریمی با مطالعه حاضردر این است که کریمی به بررسی ۱۵ شهرک صنعتی در ایران پرداخته و فرایندهای تصفیه فاضلاب را در شرایط اقلیمی مختلف کشور بررسی کرده است. در حالی که مطالعه حاضر فقط شامل منطقه سردسیر کشور می باشد(۱۵).

در مطالعه گانگمینگ برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه فاضلاب شهری از روش هایAHP و GRA بصورت توامان استفاده گردید. در این مطالعه بر خلاف مطالعه حاضر ، معیار اقتصادی بیشترین وزن را به‌دست آورد و اهمیت آن دو برابر اهمیت معیار فنی بود. در مطالعه پوفالی نیز مانند مطالعه حاضر معیار فنی نسبت به معیار اقتصادی دارای درصد وزنی بیش تری بوده و مهم تر از معیار اقتصادی می باشد. تفاوت مطالعه حاضر با مطالعه پوفالی در این است که درمطالعه پوفالی معیارهای زیست محیطی نادیده گرفته شد.

در این تحقیق، فرایندهای تصفیه بر اساس نتایج حاصل از بررسی های انجام شده در تصفیه خانه های فاضلاب شهرهای اردبیل ، تبریز و ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بنابراین در تصمیم گیری برای هر تصفیه خانه ، وزن و اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها با اطلاعات موجود در این مطالعه متفاوت بوده و ارزیابی ها باید بر اساس اطلاعات و وضعیت عملکرد هر تصفیه خانه انجام گیرد. در این مطالعه فرایندبیولاک در اولویت اول و فرایندهای لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در اولویت های بعدی قرار گرفتند. تحلیل حساسیت انجام شده نشان داد که بیش ترین حساسیت مربوط به معیار فنی می باشد.

منابع

۱- احمدی،مهدی و همکاران،"مقایسه فنی و اقتصادی روشهای متداول تصفیه فاضلاب صنایع قند در ایران"،مجله آب و فاضلاب،۱۳۸۴، شماره ۵۳.

۲- جزایری، راشدوهمکاران، " تعیین پارامترهای طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری درمناطق سردسیر کشور"، مجه دانشگاه علوم پزشکی شهر کرد ،۱۳۸۸، شماره ۴.

۳- سعیدی،محسن،"مکان یابی محل مناسب دفن موادزلید خطرناک با استفاده از تکنیکهای GIS،اولویت بندی سایتها و استفاده از تحلیلهای سلسله مراتب(AHP) (مطالعه موردی نیروگاه شهید رجایی)" ، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۸۸، شماره ۱.

4- Huang, I.B., Keisler, J., Linko.J. 2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. J. Science of the total environment, Vol.409, pp. 3578-3594.

5- Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M. 2005. Case Study: Application of multicriteria decision making to urban water supply.J. Water Resources Planning and Management, Vol. 131(4), pp.326-335.

۶- کریمی،عبدالرضاوهمکاران،" انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP "،مجله آب و فاضلاب،۱۳۸۹، شماره۴.

7- Dabaghian, M.R., Hashemi, H., Ebadi, T.Maknoon, R.2008. The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process.J. Environmental Science Technology, Vol.5 (4), pp.479-484.

۸- احمدی،مهدی، بررسی فنی و اقتصادی سیستمهای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف،دانشکده مهندسی عمران،۱۳۸۳ .

۹- تاج، سعید و همکاران،" بهینه یابی اقتصادی سیستم لجن فعال، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۸۰ ، شماره ۳۸.

10- Kalbar, P.P., Karmakar, S., Asolekar, S.R. 2012. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. J.Environmantal Management, Vol.113, pp.158-169.

11- Pophali, G.R., Chelani, A.B., Dhodapkar, R.S. 2011.Optimal selection of full scale tannery effluent treatment alternative using integrated AHP and GRA approach. J.Expert Systems with Applications, Vol.38, pp.10889-10895.

12- Guangming, Z., Ru, J., Guohe, H., Min, X., Jianbing, L.2007. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis.J .Environmental Management, Vol. 82, pp. 250 -259.

13- Saaty, T.L. 2000. Fundamentals of decision making and priority theory, 2nd Ed., PA: RWS Pub, Pittsburgh.

۱۴- قدسی پور، حسن،" فرایند تحلیل سلسله مراتبی"،انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۵.

۱۵- کریمی،عبدارضا، بررسی جامع تصفیه خانه های فاضلاب شهرکهای صنعتی ایران و ارائه مدل انتخاب فرایند تصفیه مناسب، پایان نامه دکتری تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران ،دانشکده محیط زیست، ۱۳۸۹.