

تحلیل حساسیت فرایندهای تصفیه فاضلاب شهری با استفاده از AHP

مهناز حسین زاده کلخوران^{۱*}

mahnaz931@yahoo.com

شهناز حسین زاده^۲

ابراهیم فتایی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۱

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 مورد نظر 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- (مسئول 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.

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

رشد جمعیت، 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).

در این مطالعه، فرایندها بر اساس 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 را انتخاب نماید. مدل‌های تصمیم گیری چندمعیاره دارای چنین قابلیت 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) ارائه 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 ارائه 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 و TOPSIS 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 AHP بررسی 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 فرایند RO 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 روش TOPSIS 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

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 برداری 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 از معیارها نسبت به معیار مربوطه سنجیده شد. پرسشنامه دوم شامل ۲۲ ماتریس مقایسه زوجی بود. در این 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 جدول ۱ امتیاز دهی می شوند (۱۳).

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 های AHP و GRA بصورت توأمان استفاده کردند. در این مطالعه، چهار فرایند تصفیه فاضلاب شهری شامل A^2/O ، نهر اکسیداسیون سه مرحله ای، نهر اکسیداسیون بی هوازی منفرد و SBR از نقطه نظر اقتصادی، فنی، مدیریتی مقایسه شد و نهر اکسیداسیون بی هوازی 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.

جدول ۱- مقیاس اهمیتهای نسبی

Table1-The scale of relative importances

توضیحات	تعریف	وزنهای ترجیحی / سطح اهمیت
دو فعالیت مشارکت یکسانی نسبت به هدف دارند	ترجیح برابر	۱
تجربیات و قضاوت بطور ملایم یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح میدهد	ترجیح متوسط	۳
تجربیات و قضاوت بطور قوی یا ویژه، یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح می دهد	ترجیح قوی	۵
یک فعالیت به طور خیلی قوی نسبت به دیگر فعالیتها ترجیح داده می شود	ترجیح خیلی قوی	۷
ترجیح یک فعالیت نسبت به دیگر فعالیتها در حداکثر درجه ممکن است	ترجیح بینهایت	۹
برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالاست	مقادیر بینابینی	۴ و ۲ و ۸
معکوس هر یک برای بیان مقایسات معکوس استفاده می شود		معکوس

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:

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

که در این رابطه λ_{\max} حداکثر مقدار ویژه ماتریس و n طول ماتریس و I.I شاخص ناسازگاری است. با تقسیم مقدار I.I بر 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).

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 بعد از 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 هر یک 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 مورد نیاز، 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

جدول ۲- 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

و اقتصادی و محیط زیستی نیز در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

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



شکل ۱- 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

محیطی منطقه و تامین استانداردهای محیط زیستی و ایجاد بو به ترتیب با اوزان $0/363$ ، $0/295$ و $0/212$ 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 $0/348$ ، $0/253$ و $0/210$ بیش ترین اهمیت را داشتند (جدول ۴). وزن نسبی گزینه ها نسبت به معیارها در جدول ۵ ارائه شده است.

در جدول ۴ اوزان نرمال مربوط به معیارها و زیرمعیارهای مختلف بدست آمده ارائه 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 $0/171$ ، $0/123$ ، $0/102$ بیش ترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. در بین زیر معیارهای محیط زیستی، معیارهای شرایط اقلیمی و

جدول ۳- وزن نرمال معیارها و زیرمعیارها

Table 3-The criteria and sub- criteria normalized weights

وزن نرمال	زیر معیارها	وزن نرمال	معیارها
۰/۱۷۱	کارایی فرایند (I _۱)	۰/۴۰۷	فنی (C _۱)
۰/۱۰۲	مقاومت به شوک های هیدرولیکی (I _۲)		
۰/۱۲۳	سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک های آلی (I _۳)		
۰/۰۷۰	نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده (I _۴)		
۰/۰۷۸	سادگی راهبری (I _۵)		
۰/۰۸۳	سابقه و تجربه کاربرد فرایند (I _۶)		
۰/۱۰۰	قابلیت کاربرد فرایند (I _۷)		
۰/۰۸۹	قابلیت ارتقا کمی و کیفی فرایند (I _۸)		
۰/۰۹۱	قابلیت اعتماد فرایند (عملکرد مداوم) (I _۹)		
۰/۰۹۶	عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I _{۱۰})		
۰/۳۴۸	هزینه های سرمایه گذاری (I _{۱۱})	۰/۱۹۷	اقتصادی (C _۲)
۰/۲۵۳	هزینه های بهره برداری و نگهداری (I _{۱۲})		
۰/۲۱۰	انرژی مصرفی (I _{۱۳})		
۰/۰۹۵	زمین مورد نیاز (I _{۱۴})		
۰/۰۹۴	هزینه دفع لجن (I _{۱۵})		
۰/۳۶۳	شرایط اقلیمی و محیطی منطقه (I _{۱۶})	۰/۳۹۶	محیط زیستی (C _۳)
۰/۲۱۲	ایجاد بو (I _{۱۷})		
۰/۲۹۵	تامین ضوابط و استانداردهای محیط زیستی مربوط به تخلیه پساب (I _{۱۸})		
۰/۱۳۰	زیبایی منظر (I _{۱۹})		

جدول ۴- وزن نسبی گزینه ها نسبت به معیارها

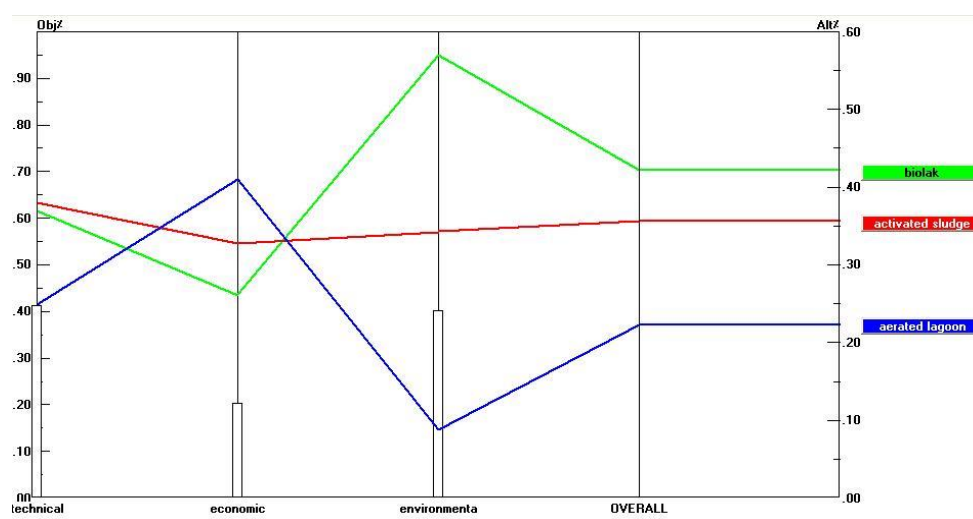
Table 4. The relative weight of alternatives based on criteria and sub- criteria

بیولاک	لجن فعال	لاگون هوادهی	معیارها
۰/۳۷۰	۰/۳۸۰	۰/۲۵۰	معیار فنی (C _۱)
۰/۵۸۰	۰/۳۱۹	۰/۱۰۱	کارایی فرایند (I _۱)
۰/۳۷۶	۰/۳۷۶	۰/۲۴۸	مقاومت به شوک های هیدرولیکی (I _۲)
۰/۴۷۰	۰/۳۴۸	۰/۱۸۲	سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک های آلی (I _۳)
۰/۲۴۸	۰/۳۴۰	۰/۴۱۲	نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده (I _۴)
۰/۱۱۸	۰/۲۴۳	۰/۶۴۰	سادگی راهبری (I _۵)
۰/۱۸۹	۰/۵۳۴	۰/۲۷۸	سابقه و تجربه کاربرد فرایند (I _۶)
۰/۳۸۰	۰/۵۰۸	۰/۱۱۳	قابلیت کاربرد فرایند (I _۷)
۰/۳۸۲	۰/۴۸۶	۰/۱۳۲	قابلیت ارتقا کمی و کیفی فرایند (I _۸)
۰/۵۱۷	۰/۳۷۶	۰/۱۰۷	قابلیت اعتماد فرایند (عملکرد مداوم) (I _۹)
۰/۱۲۵	۰/۲۸۹	۰/۵۸۶	عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I _{۱۰})
۰/۲۶۱	۰/۳۲۸	۰/۴۱۱	معیار اقتصادی (C _۲)
۰/۲۰۹	۰/۳۰۴	۰/۴۸۷	هزینه های سرمایه گذاری (I _{۱۱})

۰/۲۴۴	۰/۲۰۹	۰/۵۴۶	هزینه های بهره برداری و نگهداری (I_{12})
۰/۲۶۸	۰/۵۲۹	۰/۲۰۳	انرژی مصرفی (I_{13})
۰/۵۲۷	۰/۳۲۹	۰/۱۴۴	زمین مورد نیاز (I_{14})
۰/۲۳۳	۰/۲۸۹	۰/۴۷۸	هزینه دفع لجن (I_{15})
۰/۵۶۹	۰/۳۴۲	۰/۰۸۸	معیار محیط زیستی (C_2)
۰/۵۵۸	۰/۳۶۲	۰/۰۸۰	شرایط اقلیمی و محیطی منطقه (I_{16})
۰/۵۳۴	۰/۳۵۶	۰/۱۱۰	ایجاد بو (I_{17})
۰/۵۹۶	۰/۳۱۹	۰/۰۸۴	تامین استانداردهای محیط زیستی مربوط به تخلیه پساب (I_{18})
۰/۶۰۷	۰/۳۰۹	۰/۰۸۴	زیبایی منظر (I_{19})

مشاهده می شود فرایند بیولاک بیش ترین حساسیت را نسبت به معیار محیط زیستی دارد.

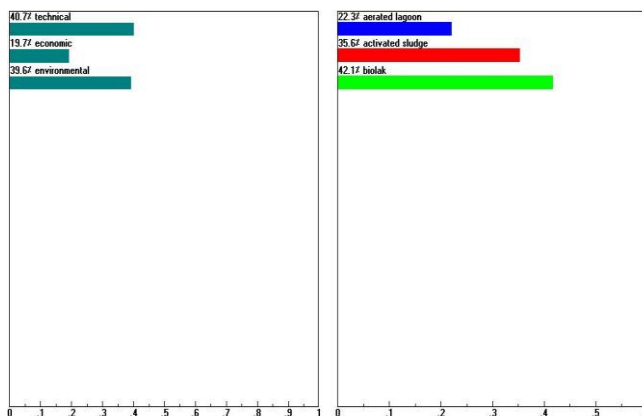
در شکل ۵ رتبه بندی گزینه های مختلف تصفیه در ارتباط با معیارها نشان داده شده است. همان طور که در این نمودار



شکل ۵ - تحلیل حساسیت بر اساس کارایی نسبت به هدف کلی
Figure 5-The performance sensitivity analysis based on goal

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.

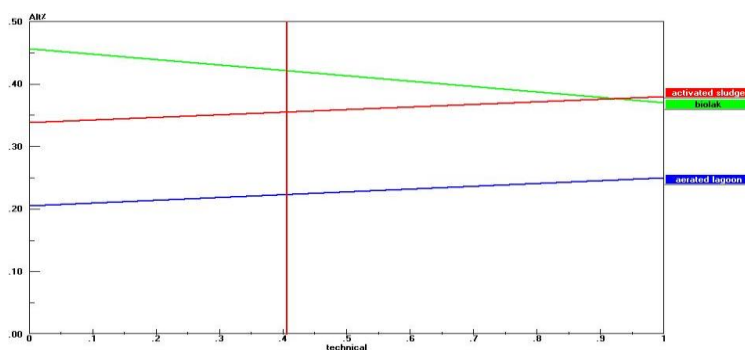
همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود در تحلیل حساسیت بر اساس پویایی نسبت به هدف کلی، بیش ترین حساسیت به ترتیب مربوط به معیار فنی، سپس محیط زیستی و اقتصادی بوده است. یعنی در اولویت بندی فرایندها و انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب شهری، معیار فنی بیش ترین تاثیر را داشته است. در این نمودار علاوه بر اولویت بندی معیارها، اولویت



شکل ۶- تحلیل حساسیت بر اساس پویایی نسبت به هدف کلی
Figure6-The dynamic sensitivity analysis based on goal

مشاهده می شود بیولاک از نظر عملکرد فنی مشابه با لجن فعال می باشد.

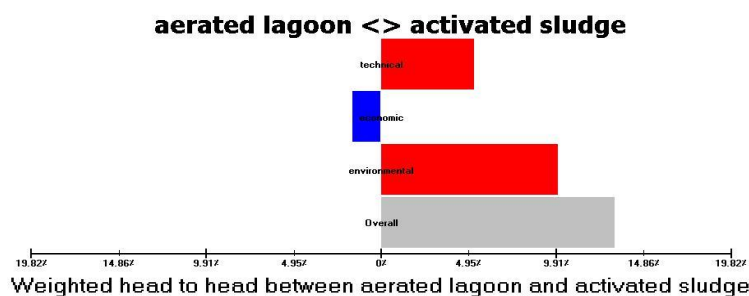
شکل ۷ تاثیر معیار فنی را در اولویت بندی گزینه ها نشان می دهد و مشخص می نماید که فرایند لجن فعال از نظر بعد فنی بالاتر از بقیه می باشد. البته همان طور که در این نمودار



شکل ۷- تحلیل حساسیت بر اساس شیب نسبت به هدف کلی
Figure7-The gradient sensitivity analysis based on goal

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.

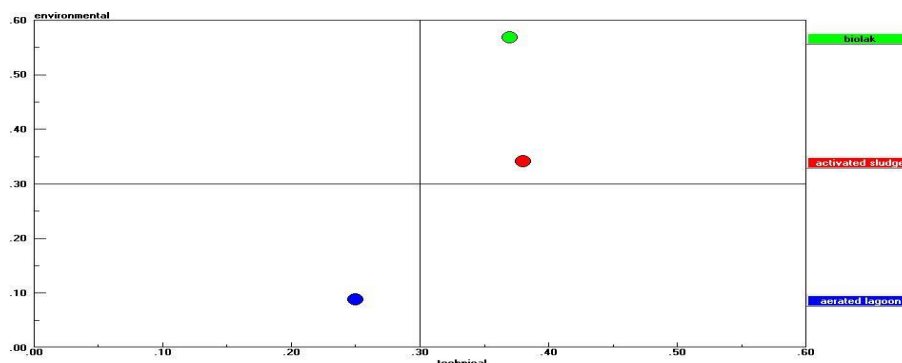
همان طور که در نمودار تحلیل حساسیت سر به سری به دو فرایند لاگون هوادهی و لجن فعال مشاهده می شود، در لاگون هوادهی معیار اقتصادی بیش ترین وزن را به خود اختصاص داده است و به عنوان موثر ترین معیار در انتخاب فرایند لاگون



شکل ۸- تحلیل حساسیت بر اساس سر به سری نسبت به هدف کلی
Figure8-The head to head sensitivity analysis based on goal

فرایند بیولاک از نظر فنی و محیط زیستی به عنوان گزینه مطلوب شناخته شده است.

در شکل ۹ تحلیل حساسیت بر روی دو معیار فنی و محیط زیستی صورت گرفته است. این نمودار نشان می دهد که



شکل ۹- تحلیل حساسیت دوبعدی نسبت به هدف کلی
Figure 9-The two dimensional sensitivity analysis based on goal

بحث و نتیجه گیری

فرایند دیگر در اولویت قرار داشت. البته لجن فعال و بیولاک از نظر فنی امتیاز تقریباً یکسانی بدست آوردند. اما چون فرایند بیولاک از نظر معیار محیط زیستی نسبت به لجن فعال ارجحیت دارد بنابراین بیولاک با بیشترین امتیاز در رتبه اول قرار گرفت و لجن فعال در اولویت دوم قرار گرفت.

همان طور که در نمودار ۵ مشاهده شد فرایند بیولاک بیشترین 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 تأثیری 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 با کاهش اثر معیار محیط زیستی، اولویت بندی گزینه ها تغییر یافته و گزینه ای در اولویت اول قرار می گیرد که معیار محیط زیستی در انتخاب آن تأثیر کمتری داشته است. فرایند لجن فعال بیشترین حساسیت را نسبت به معیار فنی دارد. کاهش وزن معیار فنی تأثیری در اولویت بندی گزینه ها نشان نمی دهد. اما با افزایش

در این مطالعه، معیار فنی بیشترین امتیاز را بدست آورد بنابراین معیار فنی در تصمیم گیری و انتخاب فرایند مناسب تصفیه فاضلاب نسبت به معیار محیط زیستی تأثیر بیشتری داشته است و محیط زیستی نیز، تأثیر بیشتری نسبت به معیار اقتصادی داشته است. پس مشخص می گردد که بر خلاف نتایج تحقیق انجام شده توسط شیرزاد و احمدی معیار اقتصادی تأثیر نسبتاً کمی در این مطالعه به خود اختصاص داده است و از دیدگاه کارشناسان مجرب اصول فنی تصفیه فاضلاب از مهمترین عوامل تأثیر 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 طور که در نمودار ۱ 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 بیشترین تأثیر را در انتخاب فرایند تصفیه داشتند و بیولاک از نظر فنی و محیط زیستی نسبت به دو

حاضر در 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 های AHP و GRA بصورت توأمان استفاده گردید. در این مطالعه بر خلاف مطالعه حاضر، معیار اقتصادی بیشترین وزن را به دست 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 در مطالعه 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 فرایند بیولوک 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، راشد و همکاران، "تعیین پارامترهای طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری در مناطق سردسیر کشور"، مجله دانشگاه علوم پزشکی شهر کرد، ۱۳۸۸، شماره ۴.

وزن معیار فنی از ۴۰/۷ درصد به ۹۵ درصد، اولویت لجن فعال و بیولوک 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 بیولوک 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 در اولویت اول قرار داشته و فقط اولویت لجن فعال و بیولوک 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 به ۶۰ درصد بیولوک در اولویت دوم و لجن فعال در اولویت 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 اولویت های 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

- J.Environmental 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، عبدالرضا، 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.
- ۳- سعیدی، محسن، "مکان یابی محل مناسب دفن مواد زلید 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., Ebrahimi, 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، عبدالرضا و همکاران، "انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۸۹، شماره ۴.
- 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.