

انتخاب بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت با تکیه بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار اکسپرت چویس

فرامرز ترکیان^۱ سیده قادری^۲ محمد مهدی اصفهانی^۱
علی شریفی^۱ فرهاد مشحون^۳
(دریافت ۹۱/۶/۲۸ پذیرش ۹۱/۱۲/۴)

چکیده

پژوهشگاه صنعت نفت به عنوان یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مراکز تحقیقاتی در کشور در منطقه ۲۲ تهران قرار گرفته است. با توجه به اولویت‌های محیط زیستی در این منطقه، پیش‌بینی کلیه تمهیدات برای کنترل و رفع آلودگی ضروری است. در این مقاله، از روش تحلیل سلسله مراتبی، برای انتخاب مناسب‌ترین روش تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت استفاده شد. به این منظور چهار گزینه SBR، MBR ثابت، MBR چرخان و لجن فعال با هوادهی گسترده مورد ارزیابی قرار گرفت. این گزینه‌ها توسط چهار معیار اصلی محیط زیست، اقتصادی، فنی و کاربردی و مدیریتی و زیرمعیارهای تعریف شده، وزن دهی شد و سپس گزینه‌های تصفیه فاضلاب، به صورت مقایسه‌های زوجی نسبت به هر معیار ارزیابی، و نهایتاً نتایج با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این ارزیابی بیانگر این مطلب بود که روش MBR چرخان مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت است و پس از آن، MBR ثابت، SBR و لجن فعال با هوادهی گسترده به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. درجه ناسازگاری برابر ۰/۰۷ و بیانگر سازگاری مقایسه‌های زوجی بود.

واژه‌های کلیدی: تصفیه فاضلاب، تحلیل سلسله مراتبی، پژوهشگاه صنعت نفت، درجه ناسازگاری، تصمیم‌گیری چند شاخصه

Selection of the Best Wastewater Treatment Alternative for RIPI Based on Analytical Hierarchy Process (AHP) and Expert Choice Software

F. Tarkian¹ S. Ghaderi² M.M. Esfahani¹
A. Sharifi¹ F. Mashhoon³

(Received Sep. 18, 2012 Accepted Feb. 22, 2013)

Abstract

RIPI as one of the largest and most important research centers in Iran is located in zone 22 of Tehran municipality. According to the environmental priorities in the region taking all necessary measures to control pollution sources is necessary. In this paper, Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used for the selection of the best wastewater treatment method for RIPI. For this purpose four alternatives including SBR, Extended aeration activated sludge, Rotating MBR, Fix MBR were evaluated. These alternatives were weighted by four main criteria: Environment, Economic, Technical, Management and the defined sub-criteria, then paired compared with respect to any form of wastewater treatment alternatives and ultimately the results was evaluated by Expert Choice software. The evaluation results indicate that Rotating MBR was the most suitable alternative of wastewater treatment method for RIPI. After the Rotating MBR, the Fix MBR, SBR and Extended activated sludge were considered suitable respectively. Degree of inconsistency is equal to 0.07, indicating that the number of paired comparisons is consistent.

Keywords: Wastewater Treatment, Analytical Hierarchy Process, RIPI, Inconsistency Ratio, Multiple Attribute Decision Making.

1. Senior Expert, Treatment and Water Recycling Unit, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran
2. Ph.D. Student of Environmental Management, Faculty of Environmental and Energy, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 48255208 s_ghaderi6379@yahoo.com
3. Director of Treatment and Water Recycling Unit., Research Institute of Petroleum Industry, Tehran

۱- کارشناس ارشد واحد تصفیه و بازیافت آب، پژوهشگاه محیط زیست و بیوتکنولوژی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران
۲- دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران (نویسنده مسئول) (۰۲۱) ۴۸۲۵۵۲۰۸ S_ghaderi6379@yahoo.com
۳- رئیس واحد تصفیه و بازیافت آب، پژوهشگاه محیط زیست و بیوتکنولوژی، پژوهشگاه صنعت نفت تهران

۱- مقدمه

به منظور جلوگیری از اثرات نامطلوب ورود پساب‌ها به محیط زیست، الزامات قانونی جدیدی برای تصفیه پساب و تعیین حد قابل قبول آب خروجی برای ورود به محیط پس از تصفیه وضع شده‌اند [۱]. این موضوع سبب افزایش سرعت ساخت و ساز تصفیه‌خانه‌ها در اکثر کشورها شده است. هدف اصلی این مطالعه نیز انتخاب بهترین روش برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت به عنوان یک مراکز تحقیقاتی نفت و گاز و پتروشیمی با در نظر گرفتن معیارهای محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی و کاربردی است.

در طی سالهای گذشته برای انتخاب بین گزینه‌های تصفیه فاضلاب مدل‌هایی مانند مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل‌های برنامه‌ریزی پویا و مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی ارائه شده‌اند [۲-۶]. با این حال تعداد کمی از این مدل‌ها با توجه به هدف، به غیر از شاخصهای اقتصادی، شاخص‌های دیگر را هم در نظر گرفته‌اند. در حقیقت هزینه‌های کمتر به تنهایی معیار مناسبی برای انتخاب بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب نیست. یک گزینه تصفیه ایده‌آل، باید همزمان به حداقل رساندن آلودگی محیط‌زیست، کاهش هزینه‌های تصفیه و حداکثر مزایای فرهنگی-اجتماعی را نیز مد نظر داشته باشد. به علاوه برای انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب در فرایند تصمیم‌گیری باید عواملی مانند میزان سرمایه‌گذاری، مساحت زمین، میزان مصرف برق، اثرات محیط‌زیستی و مهارت‌های فنی در نظر گرفته شود [۷].

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری با شاخصهای چند شاخصه «MADM» مورد توجه قرار گرفته است. از این میان از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ بیش از سایر روشها استفاده شده است [۸]. این روش قادر است معیارهای محیط‌زیستی، اجتماعی-فرهنگی و غیره را با همان اهمیت معیار اقتصادی در نظر بگیرد. علاوه بر آن این روش قادر است گزینه‌های مختلف را ارزیابی کند و تفاوت گزینه‌ها را به وسیله نمودار، اولویت‌بندی نماید.

در این راستا گانگمگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ به منظور انتخاب بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب از روش تحلیل سلسله مراتبی و تجزیه و تحلیل روابط خاکستری استفاده کرده‌اند [۷]. در مطالعه دیگری که توسط آناگنوستوپولاس و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است، بهترین روش تصفیه فاضلاب، روش AHP فازی معرفی شده است [۹]. دباغیان و همکاران نیز سال ۱۳۸۸

به روش AHP ارزیابی فنی و اقتصادی و محیط‌زیستی روشهای تصفیه فاضلاب در صنایع آبکاری را انجام داده‌اند [۱۰]. در سال ۱۳۸۹ کریمی و همکاران نیز فرایند بهینه تصفیه فاضلاب را با استفاده از روش AHP انجام داده‌اند [۱۱]. هدف از این مطالعه انتخاب روشی مناسب برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت با استفاده از روش AHP بود.

۱-۲- مطالعه موردی

پژوهشگاه صنعت نفت مشتمل بر آزمایشگاههای تحقیقاتی، خدماتی و سامانه‌های نیمه صنعتی است که در طراحی، شبکه‌های فاضلاب صنعتی و بهداشتی از همدیگر جدا شده‌اند. این پژوهشگاه مشتمل بر سه معاونت صنایع بالادستی (اکتشاف و تولید نفت خام)، صنایع پایین دستی (پالایش، پتروشیمی و پلیمر) و انرژی و محیط زیست است. با توجه به نوع فعالیت پژوهشگاه صنعت نفت آلاینده عمده فاضلاب صنعتی، ترکیبات نفتی است. به منظور حذف ترکیبات نفتی از فاضلابهای صنعتی پیش تصفیه‌های CPI و شناورسازی به کمک هوای محلول در نظر گرفته شده است. پس از پیش تصفیه، فاضلابهای صنعتی و بهداشتی در مخزن یکنواخت کننده با هم مخلوط می‌شوند. سامانه‌های مختلف برای تصفیه بیولوژیکی در این مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. در حال حاضر پژوهشگاه صنعت نفت از ۷۵۵ نیروی انسانی متخصص، مجرب و ماهر به صورت رسمی و ۱۲۰۰ نفر پرسنل قراردادی و پیمانکاری برخوردار است که با در نظر گرفتن قابلیت‌های دستگاهی و امکانات فناوری ویژه، خدمات علمی، مشاوره‌ای و آزمایشگاهی را به صنایع نفت و گاز و پتروشیمی ارائه می‌نمایند. جدولهای ۱ و ۲ مشخصات فاضلاب صنعتی و بهداشتی پژوهشگاه صنعت نفت را نشان می‌دهند.

۲- مواد و روشها

۲-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که اولین بار توسط ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید [۱۲]. اساس این روش تصمیم‌گیری، مقایسات زوجی است. تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم، آغاز می‌کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در

²Corrugated Plate Interceptor

¹ Analytical Hierarchy Process (AHP)

جدول ۱- مشخصات فاضلاب صنعتی پژوهشگاه صنعت نفت

پارامتر	طبیعی	حداکثر
BOD ₅ (mg/L)	۲۰۰	۲۴۹
COD (mg/L)	۵۰۰	۵۵۸
TSS (mg/L)	۱۰۰	۲۰۰
Total Oil (mg/L)	۵۰	۱۰۰۰
فنل (mg/L)	Trace	۱۰
سولفید (mg/L)	Trace	۱۰
حرارت (°C)	۲۰	۳۰
TDS (mg/lit)	۱۵۰۰	۳۸۰۰
pH	۷	۱۱
دبی (m ³ /hr)	۴/۶	۵

جدول ۲- مشخصات فاضلاب بهداشتی پژوهشگاه صنعت نفت

پارامتر	طبیعی	حداکثر
BOD ₅ (mg/L)	۳۰۰	۳۶۴
COD (mg/L)	۴۳۰	۵۲۰
TSS (mg/L)	۷۰۰	۱۰۹۱
Total Oil (mg/L)	۵۰	۵۰
حرارت (°C)	۲۰	۲۵
TDS (mg/L)	۴۵۰	۵۱۰
pH	۷	۹
دبی (m ³ /hr)	۱۷/۴	۵۰

تصمیم تعیین می‌کند. در نهایت منطق فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسه‌های زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید [۱۳]. مقایسه‌های زوجی و وزن‌های نسبی با مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ بیان می‌شود [۱۴].

به‌کارگیری این روش مستلزم چهار قدم عمده است: ۱- مدل‌سازی: در این قدم، مسئله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، آورده می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخصهای تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» است؛ ۲- قضاوت ترجیحی (مقایسه‌های زوجی): این کار با انجام مقایسه‌های دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای انجام این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های λ ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های λ ام استفاده می‌شود که در جدول ۳ نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است؛ ۳- محاسبات وزن‌های نسبی: تعیین وزن «عناصر تصمیم» نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی. قدم بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است؛ ۴- ادغام وزن‌های نسبی: به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله باید وزن نسبی هر عنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب کرد تا وزن نهایی آن به دست آید. با انجام این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی به دست می‌آید [۱۵].

نرخ ناسازگاری^۱، وسیله‌ای است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسه‌ها اعتماد کرد. نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر سازگاری در مقایسه‌ها را بیان می‌کند [۱۵]. شاخص تصادفی از جدول ۴ استخراج می‌شود.

¹ Inconsistency Ratio (I.R)

جدول ۳- ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه λ نسبت به λ	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص λ نسبت به λ اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	گزینه یا شاخص λ نسبت به λ کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص λ نسبت به λ مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص λ دارای ارجحیت خیلی بیشتری از λ است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص λ از λ مطلقاً مهم‌تر و قابل مقایسه با λ نیست.
۲ و ۴ و ۶ و ۸	بینابینی	ارزشهای میانی بین ارزشهای ترجیحی را نشان می‌دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای λ است.

جدول ۴- شاخص تصادفی [۱۵]

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IR	.	.	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

۲-۲- نرم افزار اکسپرت چویس^۱

نرم افزار اکسپرت چویس یک ابزار قوی برای تصمیم گیری چند معیاره بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که اولین بار توسط توماس الساعتی یکی از پایه گذاران اکسپرت چویس در دانشگاه پنسیلوانیا مطرح شد. این نرم افزار دارای توانایی های زیادی است و علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله مراتبی تصمیم گیری، طراحی سوالات، تعیین ترجیحات و اولویت ها و محاسبه وزن نهایی، قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم گیری نسبت به تغییرات در پارامترهای مسئله را نیز دارا است. از همه مهم تر آنکه در بسیاری از موارد از نمودارها و گراف های مناسب برای ارائه نتایج و عملکردها سود جسته است [۱۳].

۲-۳- روش کار

در این تحقیق به منظور تعیین بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. ابتدا روشهای مختلف تصفیه فاضلاب توسط تیم کارشناسان و متخصصان بررسی و انتخاب شد و بر این اساس معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب مناسب ترین روش تصفیه فاضلاب شناسایی و سپس معیارهای اصلی به اجزای کوچک تر تقسیم شد. زیرمعیارها با نظر تیم کارشناسی به روش طوفان مغزی^۲، وزن دهی و میانگین گیری شد. در ادامه اهمیت نسبی معیارهای مختلف نسبت به روشهای تصفیه مورد نظر، تعیین شد. در نهایت با استفاده از نرم

¹ Expert Choice

² Brainstorming

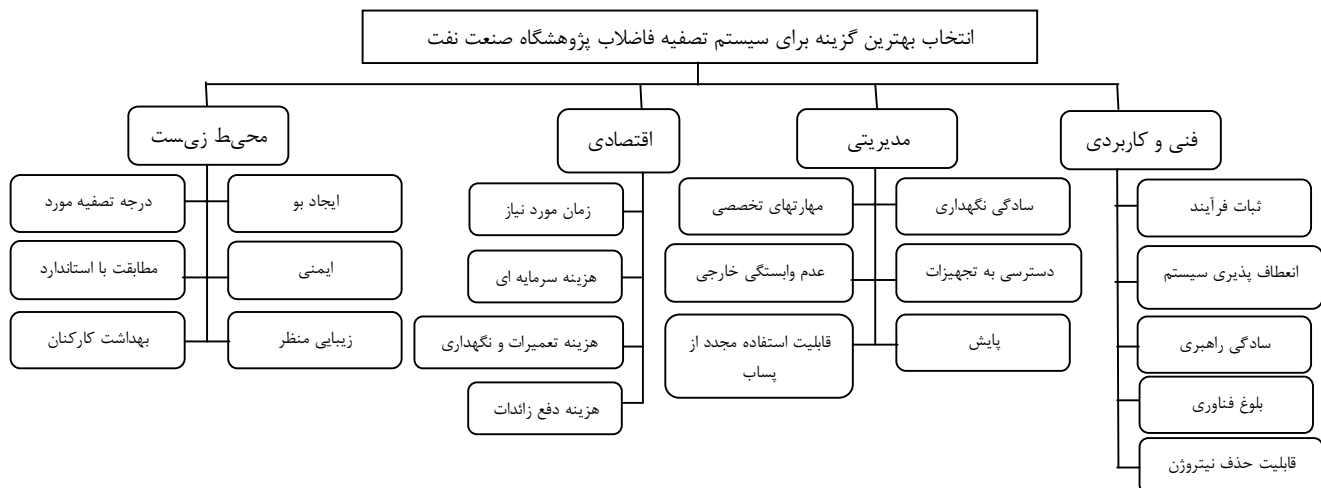
افزار اکسپرت چویس مقایسات زوجی انجام گرفت و نرخ سازگاری محاسبه شد.

انتخاب بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت به دلیل قرار گرفتن در منطقه ۲۲ تهران از پیچیدگی های خاصی برخوردار است و به همین دلیل نمی توان تنها یک معیار را مد نظر قرار داد. لذا با توجه به مسائل ذکر شده، معیارها و زیر معیارهای متفاوتی در نظر گرفته شد. در ابتدای کار درخت سلسله مراتبی ترسیم شد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

با توجه به تحقیقات انجام شده و نظر کارشناسان پژوهشگاه معیارهای زیست محیطی، اقتصادی، مدیریتی و فنی و کاربردی به عنوان معیارهای اصلی تعریف شدند. همچنین به علت گسترده بودن ابعاد هر یک از معیارها برای هر یک از آنها، زیر معیارهای زیر همراه با وزن دهی تعریف شد که در جدول ۵ ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

بر اساس جلسات متعدد با کارشناسان با تجربه پژوهشگاه صنعت نفت با استفاده از روش طوفان مغزها، معیارها و زیر معیارها وزن دهی شدند. طبق نظرات اعمال شده، معیارهای محیط زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی و کاربردی به ترتیب با وزن های ۰/۰۹۰، ۰/۰۶۰، ۰/۱۳۷، ۰/۰۰۷۱۲ در رتبه اول تا چهارم اولویت بندی شدند (شکل ۲). همانطور که ملاحظه می شود معیار محیط زیستی به دلیل حساسیت بالای منطقه ۲۲ تهران در بالاترین رده قرار گرفته است و بعد از آن معیارهای اقتصادی، مدیریتی و فنی و کاربردی به ترتیب در رده های بعدی قرار گرفتند.



شکل ۱- درخت سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت

جدول ۵- معیارها و زیر معیارهای انتخاب شده جهت انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب

معیار	زیر معیار
محیط زیست (۰/۷۱۲)	درجه تصفیه مورد نیاز (۰/۱۴۶)
	توانایی مطابقت با استاندارد (۰/۲۹۵)
	ایجاد بو (۰/۰۶۹)
	ایمنی (۰/۳۱۴)
	زیبایی منظر (۰/۰۳۴)
	بهداشت کارکنان (۰/۱۴۲)
	زمین مورد نیاز (۰/۶۵۴)
	هزینه سرمایه ای (۰/۲۲۷)
	هزینه تعمیر و نگهداری (۰/۰۶۲)
	هزینه دفع زائدات جامد (۰/۰۵۷)
اقتصادی (۰/۱۳۷)	زیر معیار نیاز به مهارتهای تخصصی (۰/۱۱۶)
	زیر معیار سادگی نگهداری (۰/۰۹۴)
	زیر معیار دسترسی به تجهیزات (۰/۰۹۱)
	زیر معیار پایش آنلاین (۰/۱۵۸)
	زیر معیار قابلیت استفاده مجدد از پساب (۰/۲۸۹)
مدیریتی (۰/۰۶۰)	زیر معیار عدم وابستگی خارجی (۰/۲۵۲)
	زیر معیار ثبات فرآیند (۰/۱۶۴)
	زیر معیار انعطاف پذیری سیستم (۰/۱۳۸)
	زیر معیار سادگی راهبری (۰/۰۷۷)
	زیر معیار قابلیت حذف نیتروژن (۰/۳۲۴)
فنی و کاربردی (۰/۰۹۰)	زیر معیار بلوغ فناوری (۰/۲۹۸)



درجه ناسازگاری: ۰/۰۸

شکل ۲- اولویت بندی معیارها نسبت به هدف



شکل ۳- تحلیل حساسیت معیارها و گزینه ها نسبت به هدف

به ترتیب در اولویت های بعدی قرار گرفتند. از بین زیر معیارهای اقتصادی، زمین مورد نیاز با وزن ۰/۶۵۴ در اولویت اول و هزینه های سرمایه ای (۰/۲۲۷)، هزینه تعمیر و نگهداری (۰/۰۶۲) و هزینه دفع زائدات جامد (۰/۰۵۷) به ترتیب در اولویت های بعدی قرار گرفتند. زیر معیارهای مدیریتی به ترتیب، قابلیت استفاده مجدد از پساب (۰/۲۸۹)، عدم وابستگی های خارجی (۰/۲۵۲)،

تحلیل حساسیت معیارها و گزینه ها نسبت به هدف در شکل ۳ مشخص شده است.

طبق بررسی های انجام شده از بین زیر معیارهای محیط زیستی، ایمنی با وزن ۰/۳۱۴ در اولویت اول و توانایی مطابقت با استاندارد (۰/۲۹۵)، درجه تصفیه مورد نیاز (۰/۱۴۶)، بهداشت کارکنان (۰/۱۴۲)، ایجاد بو (۰/۰۶۹) و زیبایی منظر (۰/۰۳۴)

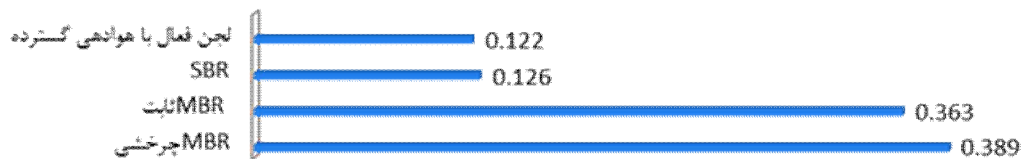
پایش آنلاین (۰/۱۵۸)، نیاز به مهارت‌های تخصصی (۰/۱۶۴)، سادگی نگهداری (۰/۰۹۴) و دسترسی به تجهیزات (۰/۰۹۱) اولویت‌بندی شدند. از بین زیر معیارهای فنی و کاربردی، قابلیت حذف نیتروژن با وزن ۰/۳۲۳ در اولویت اول و بلوغ فناوری (۰/۲۹۸)، ثبات فرایند (۰/۱۶۴)، انعطاف‌پذیری سیستم (۰/۱۳۷) و سادگی راهبری (۰/۰۷۷) به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها و زیر معیارها توسط کارشناسان تعیین شد که در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس ارزیابی‌های انجام شده، روش MBR چرخان در

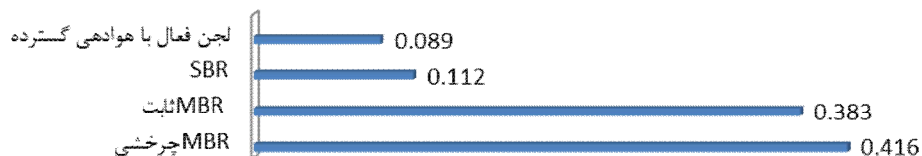
اولویت اول و MBR ثابت، SBR و لجن فعال با هوادهی گسترده به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. درجه ناسازگاری برابر ۰/۰۷ بود که بیانگر سازگاری مقایسات است (شکل ۴). با توجه به شکل ۵ روش MBR چرخان با در نظر گرفتن معیار محیط زیستی به تنهایی به عنوان گزینه برگزیده انتخاب شده است. درجه ناسازگاری برابر ۰/۰۷ بود. در صورت لحاظ نمودن معیار اقتصادی باز هم گزینه MBR چرخان به عنوان گزینه برتر در اولویت اول قرار می‌گیرد و درجه ناسازگاری برای معیار اقتصادی برابر ۰/۰۴ بود. (شکل ۶).

جدول ۶- وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها و زیر معیارها

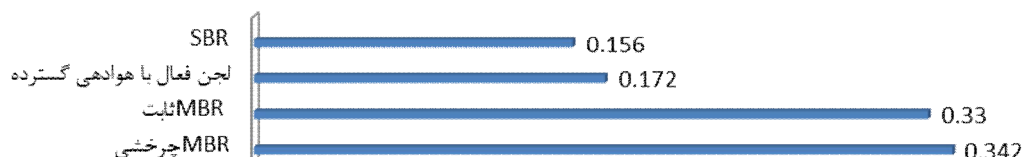
معیارها و زیر معیار	SBR	لجن فعال با هوادهی گسترده	MBR ثابت	MBR چرخان
معیار زیست محیطی	۰/۱۱۲	۰/۰۸۹	۰/۳۸۳	۰/۴۱۶
زیر معیار درجه تصفیه مورد نیاز	۰/۰۹۸	۰/۰۶۹	۰/۳۴۵	۰/۴۸۸
زیر معیار توانایی مطابقت با استاندارد	۰/۱۰۸	۰/۰۶۲	۰/۳۲۳	۰/۵۰۸
زیر معیار بو	۰/۰۷۶	۰/۰۹۳	۰/۴۱۶	۰/۴۱۶
زیر معیار ایمنی	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۴۴۴	۰/۳۱۲
زیر معیار زیبایی منظر	۰/۱۰۵	۰/۰۹۳	۰/۳۰۸	۰/۴۹۴
زیر معیار بهداشت کارکنان	۰/۱۲۸	۰/۰۸۱	۰/۳۹۵	۰/۳۹۵
معیار اقتصادی	۰/۱۵۶	۰/۱۷۲	۰/۳۳۰	۰/۳۴۲
زیر معیار زمین مورد نیاز	۰/۰۷۵	۰/۰۵۳	۰/۴۲۶	۰/۴۴۶
زیر معیار هزینه سرمایه ای	۰/۳۷۵	۰/۴۵۹	۰/۰۹۲	۰/۰۷۵
زیر معیار هزینه تعمیر و نگهداری	۰/۳۱۲	۰/۴۴۲	۰/۱۱۱	۰/۱۳۵
زیر معیار هزینه دفع زائدات جامد	۰/۰۷۷	۰/۱۳۵	۰/۳۹۴	۰/۳۹۴
معیار مدیریتی	۰/۱۲۶	۰/۱۲۲	۰/۳۶۳	۰/۳۸۹
زیر معیار نیاز به مهارت‌های تخصصی	۰/۳۷۱	۰/۳۰۷	۰/۱۹۱	۰/۱۳۲
زیر معیار سادگی نگهداری	۰/۳۰۵	۰/۴۶۲	۰/۱۳۳	۰/۱۰۰
زیر معیار دسترسی به تجهیزات	۰/۱۲۲	۰/۱۲۴	۰/۴۱۴	۰/۳۳۸
زیر معیار پایش آنلاین	۰/۱۱۲	۰/۰۷۱	۰/۳۳۸	۰/۴۷۹
زیر معیار قابلیت استفاده مجدد از پساب	۰/۰۶۶	۰/۰۶۳	۰/۴۲۷	۰/۴۴۴
زیر معیار عدم وابستگی خارجی	۰/۲۹۵	۰/۴۸۱	۰/۰۹۲	۰/۱۳۱
معیار فنی و کاربردی	۰/۱۴۴	۰/۲۲۳	۰/۳۱۰	۰/۳۲۳
زیر معیار ثبات فرآیند	۰/۰۶۸	۰/۱۵۲	۰/۳۹۰	۰/۳۹۰
زیر معیار انعطاف پذیری سیستم	۰/۱۵۸	۰/۰۷۸	۰/۳۴۴	۰/۴۲۰
زیر معیار سادگی راهبری	۰/۰۹۸	۰/۲۰۸	۰/۳۱۳	۰/۳۸۲
زیر معیار قابلیت حذف نیتروژن	۰/۱۲۱	۰/۱۰۴	۰/۳۸۸	۰/۳۸۸
زیر معیار بلوغ فناوری	۰/۲۴۹	۰/۵۵۸	۰/۱۰۶	۰/۰۸۷



شکل ۴- اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به هدف



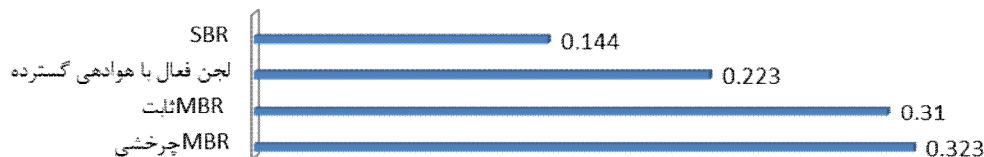
شکل ۵- اولویت بندی گزینه‌ها نسبت به معیار زیست محیطی



شکل ۶- اولویت بندی گزینه‌ها نسبت به معیار اقتصادی



شکل ۷- اولویت بندی گزینه‌ها نسبت به معیار مدیریتی



شکل ۸- اولویت بندی گزینه‌ها نسبت به معیار فنی و کاربردی

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی گزینه‌ها و وزن دهی معیارها و زیر معیارها بر اساس نظرات کارشناسان پژوهشگاه صنعت نفت انجام شد که این نظرات بر اساس روش طوفان مغزها اتخاذ شد. در این بررسی معیارهای اصلی عبارت بودند از زمان، هزینه، محیط زیست، بهداشت، فناوری و عدم وابستگی به همراه زیر معیارهای مربوطه. ارزیابی نهایی در نرم افزار اکسپرت چویس صورت گرفت. بر این اساس، روش MBR چرخان در اولویت اول و MBR ثابت، SBR و لجن فعال با هوادهی گسترده به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

در صورت لحاظ نمودن معیار مدیریتی به تنهایی، باز هم گزینه MBR چرخان به عنوان گزینه برتر در اولویت اول قرار دارد و درجه ناسازگاری برای معیار مدیریتی برابر ۰/۰۴ بود (شکل ۷).

در خصوص معیار فنی و کاربردی نیز گزینه MBR چرخان به عنوان گزینه برتر در اولویت اول قرار گرفته و درجه ناسازگاری برای معیار اقتصادی برابر ۰/۰۵ بود (شکل ۸).

دو گزینه MBR چرخان و MBR ثابت چون با اختلاف کم در اولویت اول و دوم قرار گرفته‌اند، اختلافات بین دو گزینه MBR چرخان با وزن کلی ۰/۳۸۹ و MBR ثابت با وزن ۰/۳۶۳ با لحاظ نمودن تمام معیارها نسبت به هدف ارائه شده است.

1. Tchobanoglous, G., and Burton, F.L. (2003). *Wastewater engineering-treatment, disposal, reuse*, 4th Ed., Metcalf and Eddy, McGraw-Hill, Inc., New York.
2. Lynn, W.R., Logan, J.A., and Charnes, A. (1962). "System analysis for planning wastewater treatment plants." *J. of Water Pollution Control Federation*, 34, 565-581.
3. Chia, S.S., and Defilippi, J.A. (1970). "System optimization of waste treatment plant process design." *J. of Environmental Engineering Division*, 96, 409-421.
4. Evenson, D.E., Orlob, G.T., and Monser, J.R. (1969). "Preliminary selection of waste treatment systems." *J. of Water Pollution Control Federation*, 41, 1845-1858.
5. Rossman, L.A. (1980). "Synthesis of waste treatment systems by implicit Enumeration." *J. of Water Pollution Control Federation*, 52, 148-160.
6. Dick, R.I. (1984). "Integration of sludge management processes." *Proceedings of the International Symposium on Wastewater Engineering and Management Society of Environmental Science of Guangdong*, Guangzhou, People's Republic of China.
7. Guangming, Z., Ru, J., Guohe, H., Min, X., and Jianbing, L. (2007). "Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis." *J. of Environmental Management*, 82, 250-259.
8. Asgharpour, M.J. (1998). *Multi attribute decision making*, Tehran University Pub., Tehran. (In Persian)
9. Anagnostopoulos, K.P., Gratziou, M., and Vavatsikos, A.P. (2007). "Using the fuzzy analytic hierarchy Process for selecting wastewater facilities at prefecture level." *J. of European Water*, 19/20, 15-24.
10. Dabbaghian, M.R., Hashemi, S.H., and Ebadi, T. (2009). "Technical, economical and environmental evaluation of plating industrial wastewater treatment method using AHP." *J. of Environmental Sciences and Tech.*, 11 (3), 107-115. (In Persian)
11. Karimi, A.R., Mehrdadi, N., Hashemian, S.J., Nabi Bidhendi, Gh. R., and Tavakkoli Moghaddam, R. (2010). "Using AHP for selection the best wastewater treatment process." *J. of Water and Wastewater*, 76, 2-12. (In Persian)
12. Saaty, T.L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory*, 2nd Ed., PA: RWS Pub., Pittsburgh.
13. Ghodsipour, H. (2002). *Topics in multi attribute decision making*, 3rd Ed., Amir Kabir University Pub., Tehran. (In Persian)
14. Saaty, T.L. (1980). *The analytical hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
15. Mehregan, M.R. (2004). *Advanced operations research*, Ketabe Daneshgahi, Pub., Tehran. (In Persian)