

# انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP

عبدالرضا کریمی<sup>۱</sup> ناصر مهرداد<sup>۲</sup> سید جمال‌الدین هاشمیان<sup>۳</sup>  
غلامرضا نبی بیدهندی<sup>۴</sup> رضا توکلی مقدم<sup>۵</sup>

(دریافت ۸۸/۲/۳۱ پذیرش ۸۸/۱۲/۸)

## چکیده

در این مقاله، روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که مبتنی بر دانش کارشناسی است، برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه بی‌هوازی فاضلاب در شهرکهای صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. این روش برای تصمیم‌گیری‌های چند معیاره پیچیده، به منظور دستیابی به نتایج علمی و قابل قبول استفاده می‌شود. فرایندهای تصفیه بی‌هوازی، شامل بستر لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB)، راکتور بی‌هوازی بستر ثابت با جریان رو به بالا (UAFB)، راکتور بافلدار بی‌هوازی (ABR)، فرایند تماس بی‌هوازی و لاگون بی‌هوازی است. این گزینه‌ها، بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی و زیر معیارهای مربوطه وزن‌دهی شد و نتایج با استفاده از نرم افزار Expert Choice مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس فرایندهای UASB، ABR، UAFB، لاگون بی‌هوازی و فرایند تماس بی‌هوازی به ترتیب در اولویت‌های اول تا پنجم قرار گرفتند. در نهایت، تحلیل حساسیت که اثر تغییرات پارامترهای ورودی روی نتایج را نشان می‌دهد، برای معیارهای اصلی فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی انجام گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فرایندهای بی‌هوازی تصفیه فاضلاب

## Using AHP for Selecting the Best Wastewater Treatment Process

AbdolReza Karimi<sup>1</sup> Naser Mehrdadi<sup>2</sup> Seyed Jamaladin Hashemian<sup>3</sup>  
Gholam Reza Nabi Bidhendi<sup>4</sup> Reza Tavakkoli-Moghaddam<sup>5</sup>

(Received May 21, 2009 Accepted Feb. 27, 2010)

### Abstract

In this paper, Analytical Hierarchy Process (AHP) method that is based on expert knowledge is used for the selection of the optimal anaerobic wastewater treatment process in industrial estates. This method can be applied for complicated multi-criteria decision making to obtain reasonable results. The different anaerobic processes employed in Iranian industrial estates consist of UASB, UAFB, ABR, Contact process, and Anaerobic Lagoons. Based on the general conditions in wastewater treatment plants in industrial estates and on expert judgments and using technical, economic, environmental, and administrative criteria, the processes are weighted and the results obtained are assessed using the Expert Choice Software. Finally, the five processes investigated are ranked as 1 to 5 in a descending order of UAFB, ABR, UASB, Anaerobic Lagoon, and Contact Process. Sensitivity analysis showing the effects of input parameters on changes in the results was applied for technical, economic, environmental, and administrative criteria.

**Keywords:** MCDM, Analytical Hierarchy Process, Anaerobic Wastewater Treatment Process.

1. Ph.D. Student of Environmental Eng., Dept. of Environmental Eng., University of Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 88921187 karimia@ut.ac.ir
2. Assoc. Prof. of Environmental Eng., Dept. of Environmental Eng., University of Tehran
3. Assoc. Prof. of Environmental Eng., Institute of Water and Energy, Sharif University of Tech., Tehran
4. Prof., Dept. of Environmental Eng., University of Tehran
5. Prof., Dept. of Industrial Eng., University of Tehran

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) ۸۸۹۲۱۱۸۷ (۰۲۱) karimia@ut.ac.ir
- ۲- دانشیار گروه عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
- ۳- دانشیار مهندسی محیط زیست، انستیتو آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
- ۴- استاد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
- ۵- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تهران

اهداف مختلف را ارزیابی نموده و تفاوت بین دو گزینه را به وسیله بردار اولویت مشخص نماید [۱۱]. به هر حال این ارزیابی به وزن هر پارامتر که به وسیله تجربه به دست می آید بستگی دارد [۱۲].

هر چند انتخاب بهترین فرایند برای تصفیه فاضلاب دارای اهمیت است، اما در این راستا مطالعات کمی با استفاده از تکنولوژی‌های علمی صورت گرفته است. در یکی از این مطالعات که به وسیله گانگینگ و همکاران<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۷ ارائه شده، به منظور انتخاب بهترین فرایند تصفیه، از روشهای AHP و GRA<sup>۶</sup> به صورت توأمان استفاده شده است. در این مطالعه، چهار گزینه تصفیه یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، از نقطه نظر اقتصادی، فنی و معیارهای مدیریتی شامل: هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، زمین مورد نیاز، حذف نیتروژن و فسفر، اثرات دفع لجن، پایداری بهره‌برداری تصفیه‌خانه، تکنولوژی مطلوب و مهارت‌های پرسنلی، ارزیابی و مقایسه گردیده و بهترین گزینه تصفیه انتخاب شده است [۱]. در مطالعه دباغیان و همکاران، انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب در صنعت آبیاری با استفاده از روش AHP بررسی شده است. در این مطالعه چهار فرایند تصفیه بر اساس معیارهای مختلف، ارزیابی شده و بهترین فرایند تصفیه انتخاب شده است [۱۳]. در مطالعه دیگری انتخاب بهترین گزینه برای تأمین آب شهر زاهدان با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه صورت گرفته است [۱۴].

در این مقاله دانش کارشناسی با وزن معیارها و شاخصها توأمان گردید و اولویت‌بندی فرایندهای تصفیه بی‌هوازی در شهرکهای صنعتی ایران، با استفاده از روش AHP صورت گرفت.

## ۲- فرایندهای تصفیه بی‌هوازی

در سالهای اخیر، تصفیه بی‌هوازی فاضلابهای صنعتی به دلیل توسعه سریع راکتورهای با نرخ بالا از قبیل فیلترهای بی‌هوازی، راکتور UASB، راکتورهای با بستر ثابت با جریان رو به بالا و رو به پایین و راکتورهای با بستر سیال و توسعه یافته، یک تکنولوژی حیاتی شده است. این توسعه به دلیل مزایایی از قبیل مصرف انرژی پایین، تولید لجن کمتر و محصور نمودن بوها و آئروسول‌ها، در برابر روشهای متعارف هوازی لجن فعال قرار گرفته است [۱۵]. با توجه به نقش حیاتی فرایندهای تصفیه بی‌هوازی در تصفیه فاضلابهای صنعتی، استفاد از آنها اجتناب ناپذیر است. فرایندهای بی‌هوازی مختلفی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند، لذا برای انتخاب بهترین فرایند در هر تصفیه‌خانه لازم است جنبه‌های مختلف مورد توجه

در قوانین و مقررات زیست‌محیطی توجه ویژه‌ای بر آگاهی‌های عمومی در خصوص آلودگی آب وجود دارد. این موضوع لزوم ساختن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب جدید را نشان می‌دهد [۲۱]. یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و اجرای هر تصفیه‌خانه فاضلاب، انتخاب بهترین فرایند تصفیه است. به‌طور معمول در برخی از کشورهای در حال توسعه، ارزیابی گزینه‌های تصفیه تنها بر اساس معیار اقتصادی صورت می‌گیرد [۱]. در سالهای گذشته، مطالعات و مدل‌های بهینه‌سازی زیادی برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب ارائه شده که بیشتر آنها تنها هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری را مورد توجه قرار داده‌اند [۳ و ۴]. اما، گزینه با حداقل هزینه، ممکن است بهترین گزینه نباشد [۵]. انتخاب بهترین فرایند تصفیه، معمولاً پیچیده بوده و دارای عدم قطعیت‌های زیادی است. این شرایط برای تصفیه فاضلاب شهرکهای صنعتی که از تنوع کمی و کیفی بالایی برخوردار بوده و عدم قطعیت‌های بیشتری را در پی دارند، از اهمیت بالاتری برخوردار است. اگر چه تنوع تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، به‌خصوص از نظر ظرفیت و شرایط خاص محلی اجازه نمی‌دهد که در انتخاب فرایند تصفیه یک حکم کلی مطرح شود که در تمام موارد صادق و کاربردی باشد، ولی از نظر اولویت در انتخاب فرایند تصفیه، ممکن است نکاتی ملاک عمل قرار گیرد که در بیشتر تصفیه‌خانه‌ها قابل استفاده باشد.

در این مطالعه، فاکتورها در قالب معیارهای فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی در نظر گرفته شد. ارتباط بین این معیارها پیچیده بوده و معمولاً یک معیار بر دیگر معیارها تأثیر می‌گذارد. بنابراین ساختن مدل و یافتن بهترین راه‌حل با استفاده از معیارهای مستقل، آسان نیست [۶ و ۷]. لذا استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)<sup>۱</sup> در این خصوص مفید خواهد بود. تاکنون چند روش تصمیم‌گیری چند معیاره مانند مدل مجموع وزنی<sup>۲</sup>، روش TOPSIS<sup>۳</sup> و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۴</sup> ارائه شده است.

روش AHP، روش مفیدی برای کار با فرایندهای چند معیاره و چند منظوره است. این روش قادر است که اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی - فرهنگی را نیز با همان اهمیت اهداف اقتصادی، در انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب در نظر بگیرد [۸ و ۹]. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک روش سازگار با معیارها و اهداف چندگانه در تصمیم‌گیری است [۱۰]. این روش قادر است

<sup>1</sup> Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

<sup>2</sup> Weighted-Sum Model

<sup>3</sup> Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>4</sup> Analytical Hierarchy Process

<sup>5</sup> Guangming et al.

<sup>6</sup> Grey Relational Analysis

جدول ۱- متوسط نتایج عملکردی فرایندهای بی‌هوازی در شهرکهای صنعتی

TSS	BOD <sub>5</sub>	COD	pH	فرایند تصفیه بی‌هوازی
۳۸۶	۷۰۱	۱۹۰۱	۷/۵	فرایند UASB - ورودی (mg/L)
۲۰۹	۵۰۷	۱۱۴۱	۷/۲	شهرک شهید رجایی خروجی (mg/L)
%۴۶	%۲۸	%۴۰	۰/۳ واحد کاهش	تبریز بازدهی
۲۸۵	۸۲۹	۱۱۲۳	۷/۵۳	فرایند UAFB - شهرک ورودی (mg/L)
۱۵۳	۳۱۵	۴۹۷	۷/۲	مینودشت گلستان خروجی (mg/L)
%۴۶	%۳۸	%۵۶	۰/۳۳ واحد کاهش	بازدهی
۹۹۳	۲۲۰۰	۴۸۰۳	۷/۴۸	فرایند ABR - شهرک ورودی (mg/L)
۸۳۷	۷۰۴	۲۶۵۸	۶/۷	نیشابور خروجی (mg/L)
%۱۶	%۳۲	%۴۵	۰/۷۸ واحد کاهش	بازدهی
-	۲۰۴۵	۴۲۵۸	۶/۷۷	فرایند تماس بی‌هوازی ورودی (mg/L)
-	۱۲۶۲	۲۲۸۵	۶/۳۵	شهرک آب‌باریک خروجی (mg/L)
-	%۳۸	%۴۶	۰/۴۲ واحد کاهش	شیراز بازدهی

مختلفی برای انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب مورد توجه قرار گرفته‌اند که از آن جمله به هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، میزان انرژی مصرفی، پرسنل تخصصی مورد نیاز، زمین مورد نیاز، کمیت و کیفیت فاضلاب ورودی، نوسانات کمی و کیفی فاضلاب ورودی، قابلیت شوک‌پذیری، درجه تصفیه مورد نیاز، شرایط اقلیمی، شرایط محلی، قابلیت اجرای فرایند، اطمینان از عملکرد دائمی تصفیه‌خانه، کارایی، میزان لجن تولیدی، قابلیت استفاده مجدد از پساب تصفیه شده، الزامات قانونی و ایمنی می‌توان اشاره کرد [۱۷ و ۱۸].

در این مطالعه، معیارهای اصلی مقایسه گزینه‌های بی‌هوازی تصفیه فاضلاب معرفی شده و ارزیابی معیارها، بر اساس تجربیات حاصل شده از طراحی، اجرا و بهره‌برداری فرایندها در شهرکهای صنعتی و استفاده از نظرات خبرگان صورت گرفت. با توجه به تنوع پارامترهای تأثیرگذار در فرایند تصفیه، انتخاب فرایند بهینه پیچیده و مشکل است.

وزندگی یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره بوده که می‌تواند عدم قطعیت قابل توجهی در فرایند تصمیم‌گیری ایجاد نماید [۱۹]. روشهای مختلفی برای برآورد وزن نسبی شاخصها وجود دارد. در این تحقیق، روش ذهنی ماتریس مقایسات زوجی که توانایی در نظر گرفتن ارجحیتهای ذهنی تصمیم‌گیر را در محاسبه وزن شاخصها دارد، مورد استفاده قرار گرفت.

برای انتخاب گزینه برتر، روشهای مختلفی وجود دارد که در این مطالعه فرایند تحلیل سلسه مراتبی مورد استفاده قرار گرفت و به دلیل وجود عدم قطعیت‌های مختلف در مراحل تصمیم‌گیری، تحلیل حساسیت نیز انجام شد.

قرار گیرد. در این مقاله ۵ فرایند تصفیه بی‌هوازی فاضلاب که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرکهای صنعتی ایران به بهره‌برداری رسیده، مورد بررسی اجمالی قرار گرفت. این فرایندها عبارت‌اند از: روش بستر لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB)<sup>۱</sup>، راکتور بی‌هوازی بستر ثابت با جریان رو به بالا (UAFB)<sup>۲</sup>، راکتور بافلدار بی‌هوازی (ABR)<sup>۳</sup>، فرایند تماس بی‌هوازی<sup>۴</sup> و لاگون بی‌هوازی<sup>۵</sup>. هر کدام از این فرایندها در تعدادی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرکهای صنعتی اجرا شده و به بهره‌برداری رسیده است. نتایج عملکردی هر یک از این فرایندها در یکی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرکها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

### ۳- تصمیم‌گیری چند معیاره

تصمیم‌گیری چند معیاره، برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم‌به‌کار می‌رود. فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره شامل چهار مسئله اساسی: شناسایی و ارزیابی، وزن‌دهی، انتخاب گزینه برتر با استفاده از یک روش MADM و تحلیل حساسیت و انتخاب گزینه نهایی است [۱۴].

در مرحله شناسایی و ارزیابی، شناسایی تصمیم‌گیران، انتخاب معیارها و مشخص کردن گزینه‌ها انجام شده و ارزیابی گزینه‌ها در مقابل شاخصها و معیارها صورت می‌گیرد. انتخاب معیارها و شاخصهای مناسب، مهم‌ترین اثر را بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها دارد [۱۶]. لذا انتخاب شاخصهای مناسب برای تصمیم‌گیری، یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره است. در مراجع معیارهای

<sup>1</sup> Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

<sup>2</sup> Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactor (UAFB)

<sup>3</sup> Upflow Anaerobic Baffled Reactor

<sup>4</sup> Contact Process

<sup>5</sup> Anaerobic Lagoon

#### ۴- روش تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم نموده و امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. همچنین این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل نموده و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد [۱۶].

روش AHP اولین بار توسط ساعتی ارائه شد [۲۰]. این روش بر اساس یک ساختار سلسله مراتبی بنا نهاده شده و به تحلیل‌گر کمک می‌کند که جنبه‌های بحرانی مسئله را در داخل یک ساختار سلسله مراتبی مشابه درخت خانواده، مدیریت نماید. این روش با کاهش تصمیمات پیچیده به تعدادی مقایسه و رتبه‌بندی‌های ساده و سپس استخراج نتایج، نه تنها به تحلیل‌گر در رسیدن به بهترین تصمیم کمک می‌کند، بلکه منطق روشنی را برای انتخاب فراهم می‌نماید. هدف استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، شناسایی گزینه‌های مرجح و همچنین تعیین رتبه گزینه‌ها با در نظر گرفتن همزمان کلیه معیارهای تصمیم‌گیری است [۲۰].

فرایند تحلیل سلسله مراتبی که یک تکنیک تصمیم‌گیری برای حل مسائل چند معیار پیچیده در حوزه‌های کاری مختلف است، روشی قابل انعطاف و کمی برای انتخاب گزینه‌ها بر اساس عملکرد نسبی آنها نسبت به یک یا تعداد بیشتری معیار است [۲۱ و ۲۲]. این روش، رویکردی مؤثر و عملیاتی بوده که می‌تواند تصمیمات غیر ساختاری و پیچیده را در نظر بگیرد [۲۳]. انتخاب این روش بر اساس ویژگی‌های موضوع مورد بررسی و همچنین مزایا و معایب دیگر روشهای تصمیم‌گیری بوده است. استفاده از AHP به جای دیگر روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره به دلایل زیر است:

۱- در این روش، معیارهای کمی و کیفی در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و تنها مدل تصمیم‌گیری چند معیاره است که می‌تواند سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان را اندازه‌گیری نماید.

۲- مقایسه زوجی در روش AHP به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد وزن معیارها و یا رتبه گزینه‌ها را از ماتریس‌های مقایسه زوجی استخراج کنند و تعداد زیادی از معیارها می‌توانند در نظر گرفته شوند.

۳- AHP به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند که جنبه‌های بحرانی مسئله را به داخل یک ساختار سلسله مراتبی وارد نموده و مطابق با مسئله، ساختار سلسله مراتبی انعطاف‌پذیری بسازند [۲۴].

۴- روش AHP، مسائل تصمیم‌گیری پیچیده را با قرار دادن گزینه‌ها در ساختار سلسله مراتبی حل می‌کند. ساختار سلسله مراتبی که از طریق مقایسات زوجی قضاوت‌های مستقل ایجاد می‌گردد، نسبت به تلاشهایی که تمامی تصمیمات و معیارها را به طور همزمان اولویت‌بندی می‌کند، دارای ترجیح است [۲۵].

روش AHP به طور معمول شش گام زیر را شامل می‌گردد [۲۶ و ۲۷]:

۱- تعریف غیر ساختاری مسئله و بیان شفاف اهداف و نتایج مورد انتظار

۲- ترکیب مسئله پیچیده به عناصر تصمیم‌گیری (بیان جزئیات معیارها و گزینه‌ها)

۳- به کارگیری مقایسات زوجی بین عناصر تصمیم‌گیری به منظور ایجاد ماتریس‌های مقایسه

۴- استفاده از روش بردار ویژه برای برآورد وزن‌های نسبی عناصر تصمیم‌گیری

۵- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها برای اطمینان از سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان

۶- تجمیع عناصر تصمیم وزن‌دهی شده، برای به دست آوردن رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، اولویت عناصر در هر سطح تعیین می‌گردد (عنصر به هر عضو سلسله مراتبی اطلاق می‌گردد). ترجیحات با استفاده از مقیاس ۹ نقطه‌ای کمی می‌گردند. مفاهیم مقیاس اندازه‌گیری در جدول ۲ ارائه شده است [۲۰]. مقایسات زوجی بر اساس اینکه عنصر A چقدر نسبت به عنصر B مهم‌تر است، صورت می‌گیرد.

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌گردد که این وزن‌ها، وزن نسبی نام دارد. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد (وزن مطلق). وزن نهایی از مجموع حاصلضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید [۲۸]. در شرایطی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن ساده نبوده و برای به دست آوردن آن روشهایی از قبیل روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روشهای تقریبی وجود دارد [۲۸]. در این مطالعه روش بردار ویژه مورد استفاده قرار گرفت.

مقایسات زوجی، مطالعه یک ماتریس از رتبه‌های نسبی در هر سطح سلسله مراتبی را تشکیل می‌دهد. تعداد ماتریس‌ها به تعداد عناصر در هر سطح بستگی دارد. رتبه ماتریس در هر سطح به تعداد عناصر در سطح پایین‌تر مرتبط می‌گردد. بعد از تشکیل تمام ماتریس‌ها و انجام مقایسات زوجی، بردارهای ویژه یا وزن‌های

## جدول ۲- مقیاس ترجیحات بین دو عنصر برای مقایسه‌های زوجی

توضیحات	تعریف	وزن‌های ترجیحی / سطح اهمیت
دو فعالیت مشارکت یکسانی نسبت به هدف دارند	ترجیح برابر	۱
تجربیات و قضاوت به‌طور ملایم یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح می‌دهد.	ترجیح متوسط	۳
تجربیات و قضاوت به‌طور قوی یا ویژه، یک فعالیت را به دیگر فعالیتها ترجیح می‌دهد.	ترجیح قوی	۵
یک فعالیت به‌طور خیلی قوی نسبت به دیگر فعالیتها ترجیح داده می‌شود.	ترجیح خیلی قوی	۷
ترجیح یک فعالیت نسبت به دیگر فعالیتها در حد حداکثر درجه ممکن است.	ترجیح بی‌نهایت	۹
برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالاست.	مقادیر بینایی	۲, ۴, ۶, ۸
معکوس هر یک برای بیان مقایسات معکوس استفاده می‌شود.	معکوس	معکوس

## جدول ۳- شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی

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

سیستم‌ها، از پرسشنامه و بررسی نتایج تحلیلها استفاده گردید. بعد از انتخاب فرایندهای مختلف تصفیه بی‌هوازی و همچنین انتخاب معیارهای مختلف مؤثر در تصمیم‌گیری، با کمک گرفتن از مراجع و همچنین نظر خبرگان تصفیه فاضلاب، وزن‌دهی معیارها و زیر معیارها با امتیازدهی سه متخصص تصفیه فاضلاب و میانگین‌گیری از آنها انجام شد. به‌همین ترتیب اهمیت نسبی معیارهای مختلف نسبت به فرایندهای تصفیه مورد بررسی، تعیین گردید. در نهایت انجام مقایسات زوجی معیارها و محاسبه نرخ ناسازگاری، با استفاده از نرم‌افزار Export Choice که به‌منظور تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از روش AHP طراحی شده، صورت گرفت.

## ۶- نتایج و بحث

در این تحقیق، جهت انتخاب بهترین فرایند تصفیه که یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است، روش تحلیل سلسله مراتبی، به عنوان یک ابزار ارزیابی استفاده شد. ساختار سلسله مراتبی انتخاب بهترین فرایند تصفیه بی‌هوازی در شهرکهای صنعتی، در شکل ۱ ارائه شده است. انتخاب بهترین فرایند، به‌عنوان هدف اصلی در سطح ۱ سلسله مراتبی، پنج گزینه تصفیه در سطح ۴ و معیارها و زیرمعیارهای انتخاب در سطوح ۲ و ۳ قرار گرفته‌اند.

در ابتدا وزن معیارهای اصلی تصمیم‌گیری شامل معیارهای فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی با امتیازدهی سه متخصص تصفیه فاضلاب و میانگین‌گیری از آنها تعیین و ماتریس مربوطه تشکیل شد. در مرحله بعد وزن نسبی شاخصهای مربوط به هر معیار تعیین و ماتریس‌های مربوطه تشکیل گردید. با استفاده از نرم‌افزار EC وزن نسبی معیارهای اصلی نسبت به هدف اصلی که انتخاب بهترین فرایند تصفیه بود و همچنین وزن نسبی شاخصهای مربوط به

نسبی (درجه اهمیت نسبی عناصر)، وزن‌های نهایی و حداکثر مقدار ویژه ( $\lambda_{max}$ ) برای هر ماتریس با استفاده از نرم افزار EC محاسبه می‌گردد [۲۹]. یکی از مزایای مهم فرایند تحلیل سلسله مراتبی، اندازه‌گیری و کنترل سازگاری هر ماتریس و تصمیم است. محدوده قابل قبول ناسازگاری در هر سیستم به تصمیم‌گیرنده بستگی دارد، اما در حالت کلی ساعتی پیشنهاد می‌کند که اگر ناسازگاری تصمیم بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر نماید [۱۶]. شاخص ناسازگاری<sup>۱</sup> (I.I.) به‌صورت زیر تعریف می‌گردد

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

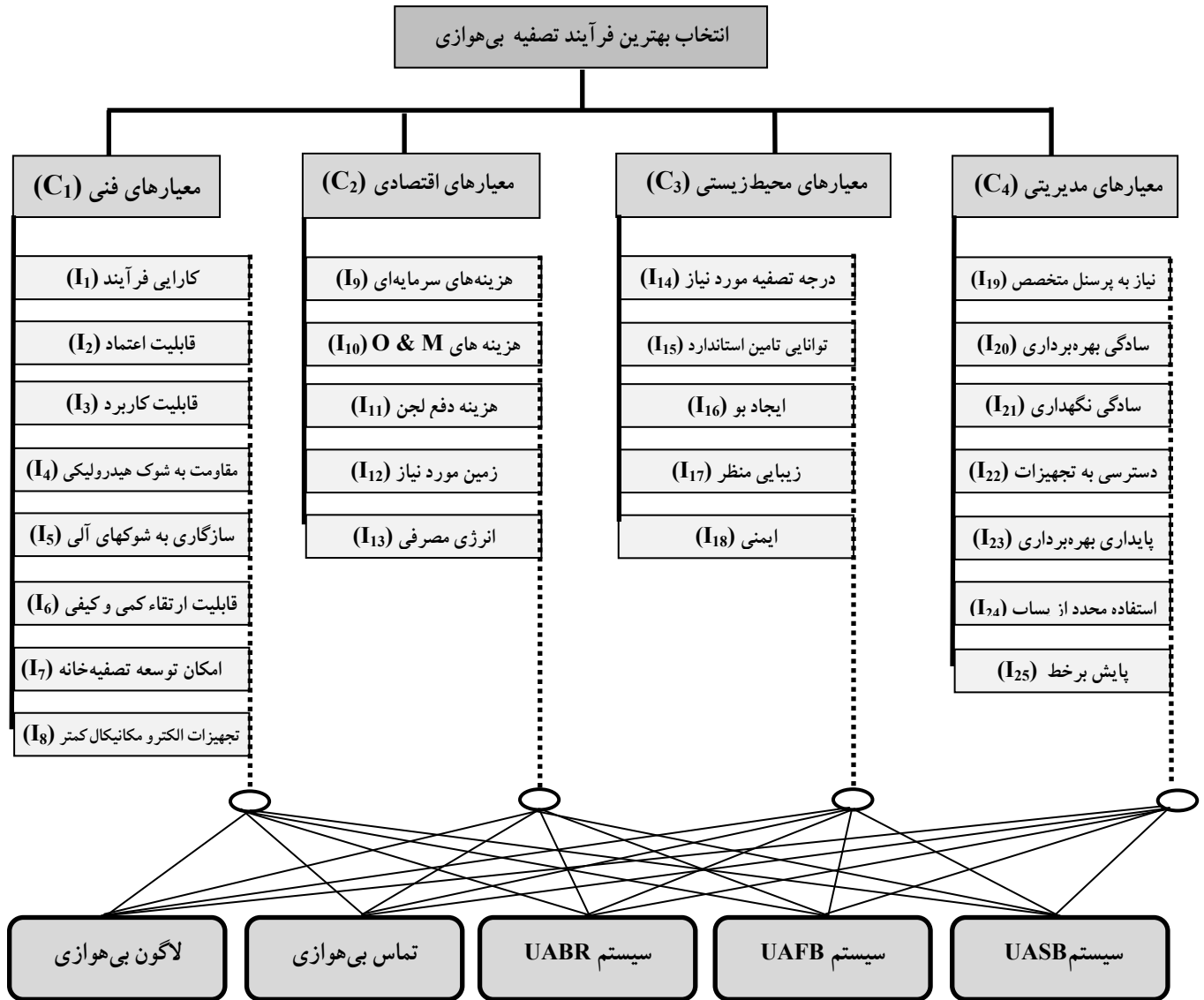
که در این رابطه

$\lambda_{max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس،  $n$  طول ماتریس و I.I شاخص ناسازگاری است. برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R.) هم بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است که به این معیار، نرخ ناسازگاری (I.R.) گفته می‌شود. چنانچه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است، در غیر این صورت باید در قضاوتها تجدید نظر نمود [۲۸]. لازم به ذکر است که I.I.R. شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی است که از محاسبه مقادیر شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملاً تصادفی اختیار شده، محاسبه می‌گردد. مقادیر این شاخص برای ماتریس‌های  $n$  بعدی مطابق جدول ۳ است.

## ۵- روش تحقیق

به‌منظور شناسایی فرایندهای تصفیه بی‌هوازی و بررسی عملکرد آنها در شهرکهای صنعتی، ضمن بازدید میدانی و بررسی کارایی

<sup>1</sup> Inconsistency Index



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی انتخاب فرآیند تصفیه بی‌هوازی در شهرکهای صنعتی

### ۷- تحلیل حساسیت

وزن معیارها دارای بیشترین اثر در رتبه‌بندی گزینه‌هاست. تصمیم‌گیرنده باید درجه قابلیت اعتماد نتایج را برای تصمیم‌گیری نهایی بداند. به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه، لازم است که قبل از انتخاب گزینه نهایی، تحلیل حساسیت بر روی مسئله صورت گیرد. بنابراین، انجام تحلیل حساسیت بعد از حصول رتبه‌بندی گزینه‌ها پیشنهاد می‌گردد. این امر، محاسبات مجدد رتبه‌بندی گزینه‌ها با اصلاح وزن هر معیار را شامل می‌گردد. با استفاده از نرم افزار EC-2000 یک تحلیل حساسیت کامل قابل انجام است. برای انجام این عمل، در حالی که وزن‌های دیگر معیارها ثابت باقی مانده، وزن یک معیار به صورت

هر معیار نسبت به معیار مربوطه محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

به منظور ارزیابی گزینه‌ها یا به عبارتی ارزیابی فرایندهای تصفیه بی‌هوازی، ماتریس مقایسات زوجی مربوط به هر معیار و زیرمعیار تشکیل شد و ضمن کنترل نرخ ناسازگاری و اطمینان از قابل قبول بودن هر مقایسه زوجی، وزن نسبی هر معیار برای گزینه‌های مختلف تصفیه محاسبه گردید (جدول ۵).

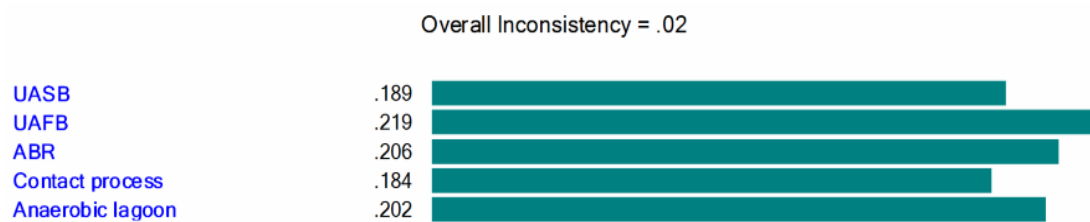
اولویت‌بندی فرایندهای مختلف تصفیه بی‌هوازی نسبت به معیارهای اصلی فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی به ترتیب در شکل‌های ۲ تا ۵ و اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها نسبت به هدف اصلی در شکل ۶ ارائه شده است.

جدول ۴- وزن معیارها و شاخصها برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه بی‌هوازی در شهرکهای صنعتی

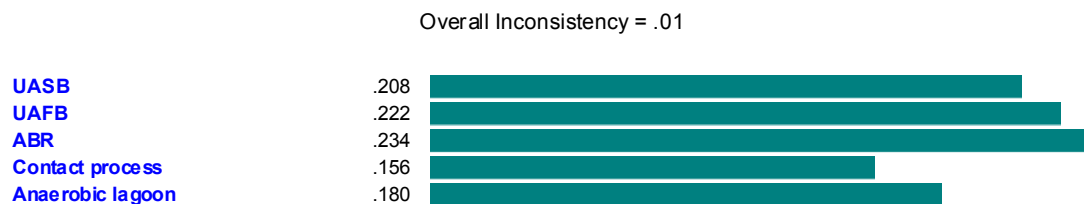
وزن شاخصها	شاخصها	وزن معیارها	معیارها
۰/۱۷۱ ۰/۱۴۵ ۰/۱۳۲ ۰/۱۵۵ ۰/۱۳۳ ۰/۱۰۴ ۰/۰۷۶ ۰/۰۸۵	کارایی فرایند (بازدهی) (I <sub>1</sub> ) قابلیت اعتماد فرایند (عملکرد مداوم) (I <sub>2</sub> ) قابلیت کاربرد فرایند (I <sub>3</sub> ) مقاومت به شوکهای هیدرولیکی (I <sub>4</sub> ) سازگاری شوکهای بار آلی (I <sub>5</sub> ) قابلیت ارتقاء کمی و کیفی فرایند (I <sub>6</sub> ) امکان توسعه تصفیه خانه (I <sub>7</sub> ) تجهیزات الکترومکانیکال کمتر (I <sub>8</sub> )	۰/۲۹۹	معیارهای فنی (C <sub>1</sub> )
۰/۲۸۱ ۰/۲۸۱ ۰/۰۶۹ ۰/۲۶۷ ۰/۱۰۳	هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه (I <sub>9</sub> ) هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (I <sub>10</sub> ) هزینه دفع لجن (I <sub>11</sub> ) زمین مورد نیاز (I <sub>12</sub> ) انرژی مصرفی (I <sub>13</sub> )	۰/۲۲۶	معیارهای اقتصادی (C <sub>2</sub> )
۰/۳۳۳ ۰/۱۶۷ ۰/۱۶۷ ۰/۳۳۳	درجه تصفیه مورد نیاز (I <sub>14</sub> ) ایجاد بو (I <sub>15</sub> ) زیبایی منظر (I <sub>16</sub> ) ایمنی (I <sub>17</sub> )	۰/۲۷۵	معیارهای زیست محیطی (C <sub>3</sub> )
۰/۲۸۱ ۰/۱۶۹ ۰/۱۹۸ ۰/۰۸۸ ۰/۱۷۶ ۰/۰۸۸	نیاز به پرسنل متخصص برای بهره‌برداری (I <sub>18</sub> ) سادگی بهره‌برداری (I <sub>19</sub> ) سادگی نگهداری (I <sub>20</sub> ) قابلیت دسترسی محلی به تجهیزات (I <sub>21</sub> ) پایداری بهره‌برداری تصفیه‌خانه (I <sub>22</sub> ) امکان استفاده از ابزار دقیق و پایش Online (I <sub>23</sub> )	۰/۲۰۰	معیارهای مدیریتی (C <sub>4</sub> )

جدول ۵- وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها

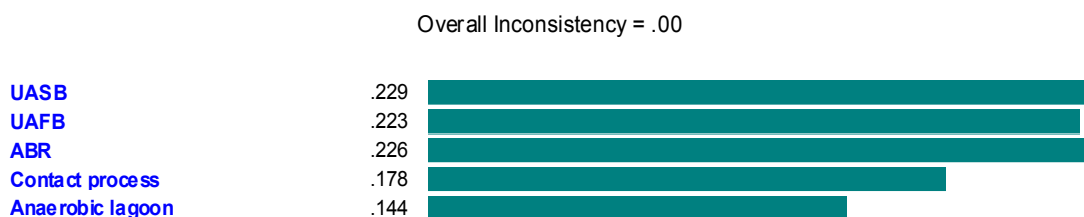
Anaerobic Lagoon	Contact Process	ABR	UAFB	UASB	معیارها
۰/۲۰۲	۰/۱۸۴	۰/۲۰۶	۰/۲۱۹	۰/۱۸۹	معیارهای فنی (C <sub>1</sub> )
۰/۱۹۶	۰/۱۷۱	۰/۱۴۹	۰/۲۵۹	۰/۲۲۵	کارایی فرایند (بازدهی) (I <sub>1</sub> )
۰/۲۰۷	۰/۱۹۳	۰/۲۰۷	۰/۲۰۷	۰/۱۸۶	قابلیت اعتماد فرایند (عملکرد مداوم) (I <sub>2</sub> )
۰/۰۹۷	۰/۱۲۹	۰/۳۲۶	۰/۲۴۰	۰/۲۰۸	قابلیت کاربرد فرایند (I <sub>3</sub> )
۰/۲۳۳	۰/۲۰۶	۰/۱۸۳	۰/۲۲۲	۰/۱۵۶	مقاومت به شوکهای هیدرولیکی (I <sub>4</sub> )
۰/۲۲۵	۰/۱۹۹	۰/۱۹۲	۰/۲۰۶	۰/۱۷۸	سازگاری شوکهای بار آلی (I <sub>5</sub> )
۰/۲۰۰	۰/۱۹۳	۰/۲۰۰	۰/۲۱۵	۰/۱۹۳	قابلیت ارتقاء کمی و کیفی فرایند (I <sub>6</sub> )
۰/۱۷۷	۰/۱۹۶	۰/۲۳۶	۰/۱۹۹	۰/۱۹۲	امکان توسعه تصفیه خانه (I <sub>7</sub> )
۰/۲۶۰	۰/۱۶۷	۰/۲۲۵	۰/۱۷۵	۰/۱۷۲	تجهیزات الکترومکانیکال کمتر (I <sub>8</sub> )
۰/۱۸۰	۰/۱۵۶	۰/۲۳۴	۰/۲۲۲	۰/۲۰۸	معیارهای اقتصادی (C <sub>2</sub> )
۰/۱۷۲	۰/۱۵۹	۰/۲۵۰	۰/۲۱۴	۰/۲۰۴	هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه (I <sub>9</sub> )
۰/۲۴۱	۰/۱۶۹	۰/۲۳۱	۰/۱۹۷	۰/۱۶۲	هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (I <sub>10</sub> )
۰/۲۶۵	۰/۱۴۹	۰/۱۸۳	۰/۲۲۹	۰/۱۷۴	هزینه دفع لجن (I <sub>11</sub> )
۰/۰۸۳	۰/۱۴۲	۰/۲۴۴	۰/۲۶۰	۰/۲۷۱	زمین مورد نیاز (I <sub>12</sub> )
۰/۲۰۶	۰/۱۵۰	۰/۲۱۵	۰/۲۱۵	۰/۲۱۵	انرژی مصرفی (I <sub>13</sub> )
۰/۱۴۴	۰/۱۷۸	۰/۲۲۶	۰/۲۲۳	۰/۲۲۹	معیارهای زیست محیطی (C <sub>3</sub> )
۰/۲۰۴	۰/۱۹۶	۰/۱۸۹	۰/۲۰۰	۰/۲۱۱	درجه تصفیه مورد نیاز (I <sub>14</sub> )
۰/۰۸۱	۰/۱۸۷	۰/۲۳۸	۰/۲۲۳	۰/۲۷۲	ایجاد بو (I <sub>15</sub> )
۰/۱۲۵	۰/۱۵۱	۰/۲۳۲	۰/۲۵۲	۰/۲۳۹	زیبایی منظر (I <sub>16</sub> )
۰/۱۱۱	۰/۱۶۵	۰/۲۶۲	۰/۲۳۸	۰/۲۲۳	ایمنی (I <sub>17</sub> )
۰/۲۶۵	۰/۱۵۶	۰/۲۰۸	۰/۲۰۹	۰/۱۶۲	معیارهای مدیریتی (C <sub>4</sub> )
۰/۲۷۷	۰/۱۳۷	۰/۲۰۸	۰/۲۲۴	۰/۱۵۳	نیاز به پرسنل متخصص برای بهره‌برداری (I <sub>18</sub> )
۰/۲۸۳	۰/۱۵۴	۰/۱۸۶	۰/۲۱۶	۰/۱۶۱	سادگی بهره‌برداری (I <sub>19</sub> )
۰/۲۵۵	۰/۱۵۷	۰/۲۱۹	۰/۱۹۶	۰/۱۷۱	سادگی نگهداری (I <sub>20</sub> )
۰/۲۹۵	۰/۱۶۹	۰/۲۲۲	۰/۱۵۰	۰/۱۶۵	قابلیت دسترسی محلی به تجهیزات (I <sub>21</sub> )
۰/۲۴۰	۰/۱۷۷	۰/۲۰۶	۰/۲۱۷	۰/۱۶۱	پایداری بهره‌برداری تصفیه‌خانه (I <sub>22</sub> )
۰/۲۴۷	۰/۱۶۰	۰/۲۱۲	۰/۲۱۵	۰/۱۶۶	امکان استفاده از ابزار دقیق و پایش همزمان (I <sub>23</sub> )



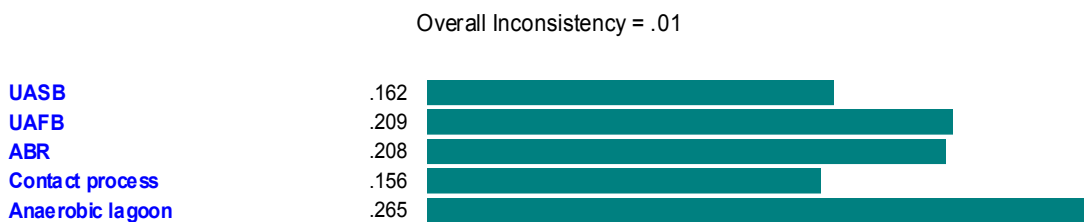
شکل ۲- اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه بی‌هوازی نسبت به معیارهای فنی



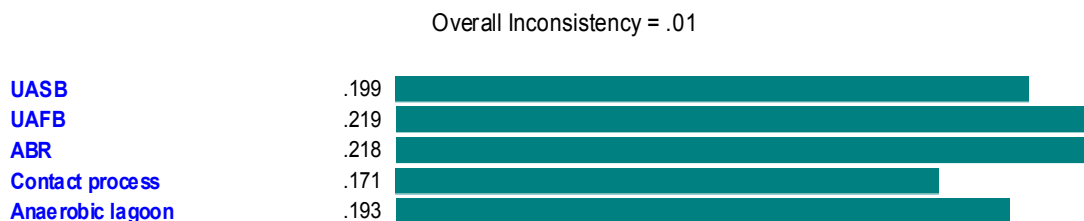
شکل ۳- اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه بی‌هوازی نسبت به معیارهای اقتصادی



شکل ۴- اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه بی‌هوازی نسبت به معیارهای زیست‌محیطی

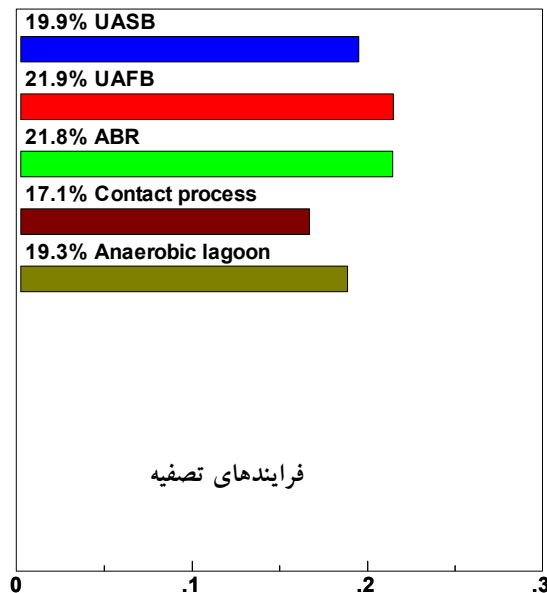
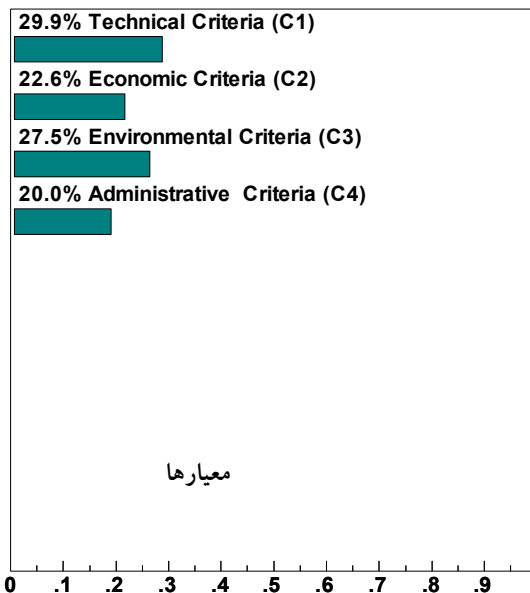
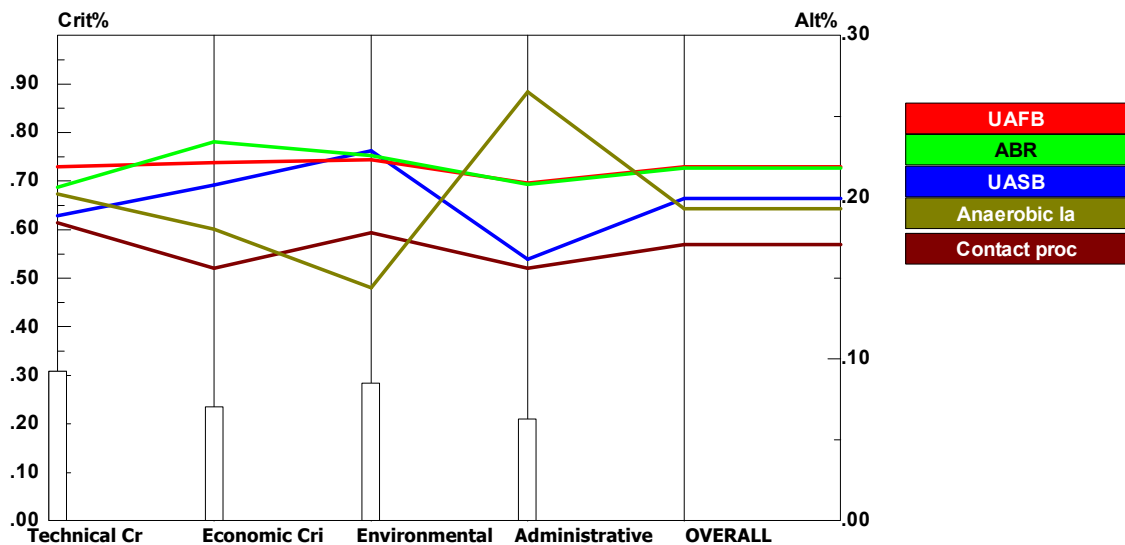


شکل ۵- اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه بی‌هوازی نسبت به معیارهای مدیریتی



شکل ۶- اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه بی‌هوازی نسبت به هدف کلی





شکل ۷- نمودار تحلیل حساسیت نسبت به هدف کلی

با تغییر درصد وزنی معیار فنی از ۲۹/۹ تا ۵۱ درصد، اولویت‌بندی ثابت باقی ماند و بعد اولویت فرایندها جابجا گردید. با توجه به نزدیکی اهمیت نسبی اولویتهای فرایندهای UAFB و ABR، با افزایش درصد وزنی معیار اقتصادی از ۲۲/۶ به ۲۵/۷، اولویتهای این دو فرایند جابجا شده ولی با افزایش بیشتر وزن این معیار، اولویت فرایندها ثابت ماند.

وزن اولیه معیار زیست محیطی ۲۷/۵ درصد بود و اولویت فرایندها تا افزایش وزن این معیار تا ۴۱ درصد ثابت باقی ماند. اولویت فرایندهای تصفیه با تغییر وزن معیار مدیریتی از ۲۰ درصد به ۲۷/۵ درصد ثابت ماند.

تدریجی، افزایش یا کاهش می‌یابد. بعد از انجام تحلیل حساسیت، رتبه‌بندی گزینه‌ها ممکن است تغییر کند. تحلیل تمام تغییرات ممکن، توسط نرم افزار EC-2000 که دارای مدول تحلیل حساسیت قدرتمند و کاربرد دوستی است، قابل انجام است [۳۰].

مطابق شکل ۶، سیستم فرایند UAFB بالاترین رتبه را نسبت به هدف کلی به دست آورده است. در رتبه‌های بعدی به ترتیب: فرایند ABR، سیستم UASB، لاگون بی‌هوای و فرایند تماس بی‌هوای قرار گرفته‌اند. در تحلیل حساسیت صورت گرفته که نمودار آن در شکل ۷ ارائه شده، با تغییر درصد وزنی بین معیارهای اصلی، پایداری اولویت‌بندی گزینه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

## ۸- نتیجه‌گیری

بر اساس واقعیت‌های هر شهرک صورت گیرد. در این بررسی، معیارهای اصلی فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی به‌همراه زیرمعیارهای مربوطه مورد توجه قرار گرفت و ارزیابی بر اساس روش AHP صورت گرفت. بر این اساس، فرایند تصفیه بی‌هوازی UAFB در اولویت اول و سیستم UASB، ABR، لاگون بی‌هوازی و فرایند تماس بی‌هوازی، به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفت.

## ۹- قدردانی

به این وسیله از سازمان صنایع کوچک و شهرکهای صنعتی ایران، به خاطر حمایت مالی طرح پژوهشی "بررسی جامع تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرکهای صنعتی ایران و ارائه مدل انتخاب فرایند تصفیه مناسب"، تقدیر و تشکر می‌گردد.

انتخاب نوع فرایند تصفیه بی‌هوازی برای تصفیه فاضلاب شهرکهای صنعتی که نیازمند سیستم تلفیقی بی‌هوازی-هوازی هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تنوع معیارهای تأثیرگذار اعم از معیارهای کمی و کیفی، استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، اجتناب‌ناپذیر می‌گردد. در این تحقیق، تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گرفت و ارزیابی گزینه‌های تصفیه بی‌هوازی، بر اساس نتایج بررسی‌های صورت گرفته در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرکهای صنعتی در حال بهره‌برداری و همچنین استفاده از نظرات کارشناسی خبرگان تصفیه فاضلاب انجام شد. بدیهی است در تصمیم‌گیری برای هر تصفیه‌خانه، وزن و اهمیت نسبی معیارها با اطلاعات ارائه شده در این تحقیق متفاوت خواهد بود و لازم است ارزیابی

## ۱۰- مراجع

- 1- 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.
- 2- Handfield, R., Steven, V., Walton, R. S., and Steven, A. M. (2002). "Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the analytical hierarchy process." *Eur. J. Oper. Res.*, 141 (1), 70-87.
- 3- Rossman, L. A. (1980). "Synthesis of waste treatment systems by implicit enumeration." *J. Water Pollut. Control F.*, 52 (1), 147-160.
- 4- USEPA. (2002). *Development document for the proposed effluent limitation guidelines and standards*, EPA, Office of Water, EPA, 821-B-01-007.
- 5- Tsagarakis, K. P., Mara, D. D., and Angelakis, A. N. (2003). "Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems." *Water Air Soil Pollut.*, 142 (1-4), 187- 210.
- 6- Keeny, R. L., and Raiffa, H. (1993). *Decision making with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs*, 1<sup>st</sup> Ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 7- Peniwati, K. (2007). "Criteria for evaluating group decision making methods." *Math. Comput. Model*, 46 (7-8) 935-947.
- 8- Ellis, K.V., and Tang, S.L. (1991). "Wastewater treatment optimization model for developing world. I: Model development." *J. of Environmental Engineering Division*, 117, 501-581.
- 9- Ellis, K.V., and Tang, S.L. (1994). "Wastewater treatment optimization model for development world. II: Model testing." *J. of Environmental Engineering Division*, 120, 610-624.
- 10- Saaty, T. L. (1977). "A scaling method for priorities in hierarchical structures." *J. Math. Psychol.*, 15 (3), 234-281.
- 11- Tsiporkova, E., and Boeva, V. (2006). "Multi-step ranking of alternatives in a multi-criteria and multi-expert decision making environment." *Inform. Science*, 176 (12), 2673-2697.
- 12- Che-Wei, C., Cheng-Ru, W., Chin-Tsai, L., and Huang-Chu, C. (2007). "An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine." *Comput. Ind. Eng.*, 52 (2), 296-307.
- 13- Dabaghian, M. R., Hashemi, S. H., Ebadi, T., and Maknoon, R. (2008). "The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process." *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5 (4), 479-484.

- 14- Mianabadi, H., and Afshar, A. (2008). "Multi-attribute decision- marking to rank urban water supply schemes." *J. of Water and Wastewater*, 66, 34-45. (In Persian)
- 15- Perez, M., Rodriguez-Cano, R., Romero, L.I., and Sales D. (2007). "Performance of anaerobic thermophilic fluidized bed in the treatment of cutting-oil wastewater." *Bioresource Technology*, 98 (18), 3456-3463.
- 16- Hajkowicz, S., Young, M., Wheeler, S., MacDonald, D., and Young, D. (2000). "Supporting decisions: Understanding natural resource management assessment techniques." CSIRO Land and Water, <<http://www.clw.csiro.au/publications/consultancy/2000/sup port decisions. pdf>>, (Apr. 5, 2004).
- 17- Tchobanoglous, G., and Burton, F. (2003). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse*, 4<sup>th</sup> Ed., Tata McGraw-Hill, Metcalf and Eddy, New Delhi.
- 18- Washington State Department of Ecology. (1988). "Water quality program, criteria for sewage works design." <[www.wa.gov/ecology/wq/orange](http://www.wa.gov/ecology/wq/orange)> (March 12, 2009).
- 19- Larichev, O. I., and Moshkovich, H. M. (1995). "ZAPROS-LM-a method and system for ordering multi attribute alternatives." *European J. of Operational Research*, 82, 503-521.
- 20- Saaty, T.L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory*, 2<sup>nd</sup> Ed., PA: RWS Pub., Pittsburgh.
- 21- Boroushaki, S., and Malczewski, J. (2008). "Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS." *Computers and Geosciences*, 34, 399-410.
- 22- Linkov, I., Satterstrom, F.K., Steevens, J., Ferguson, E., and Pleus, R.C. (2007). "Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials." *J. of Nanoparticle Research*, 9, 543-554.
- 23- Partovi, F. Y. (1994). "Determining what to benchmark: An analytic hierarchy process approach." *Int. J. of Operations and Production Management*, 14 (6), 25-39.
- 24- Mahmoodzadeh, S., Shahrazi, J., Pariazar M., and Zaeri, M. S. (2007). "Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique." *International J. of Human and Social Sciences*, 30, 333-338.
- 25- Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*, 1<sup>st</sup> Ed., McGraw-Hill, New York.
- 26- Lee, A.H.I., Chen, W.C., and Chang, C.J. (2008). "A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan." *Expert Systems with Applications*, 34, 96-107.
- 27- Hosseinali, F., and Alesheikh, A.A. (2008). "Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration." *American J. of Applied Sciences*, 5, 1187-1198.
- 28- Ghodsi-pour, S. H. (2007). *Analytical hierarchy process (AHP)*, 5<sup>th</sup> Ed., Amirkabir University of Tech. Pub., Tehran. (In Persian)
- 29- Expert Choice. (2000). *Quick start guide & tutorials: User's manual*, PA: Expert Choice Inc., Pittsburgh.
- 30- Aragonés-Beltrán, P., Mendoza-Roca, J.A., Bes-Pia, A., García-Melón, M., and Parra-Ruiz, E., (2009). "Application of multicriteria decision analysis to jar-test results for chemicals selection in the physical-chemical treatment of textile wastewater." *J. of Hazardous Materials*, 164, 288-295.