مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هفتم ، شماره اول، بهار ۱۳۹۳ ، صفحات ۴۳ تا ۵۴

انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

قربان عسگری[۱]، علیرضا رحمانی[۲]، علیرضا دهقانیان[۳]، علیرضا سلطانیان[۴]

دریافت: ۹۲/۰۲/۱۸ پذیرش: ۹۲/۰۵/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: در این مطالعه، که یک مطالعه تجربی است، جهت تعیین بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب کارخانجات فرآورده‌های لبنی، از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی(Analytical Hierarchy Process: AHP) که یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (Multi-Criteria Decision-Making: MCDM) و مبتنی بر دانش کارشناسی است استفاده گردید.

روش بررسی: ابتدا ساختار سلسله مراتبی تشکیل و معیارهای اصلی و شاخص‌ها تعریف گردید. سپس وضعیت فرایندهای تصفیه موجود با انجام بازدید میدانی، نتایج آزمایشات مربوط به پساب ورودی و خروجی بررسی و به شاخص‌های کمی تبدیل گردید. سپس وزن‌دهی معیارهای اصلی و شاخص‌ها بسته به شرایط موجود، آزمایشات انجام شده و نظر اساتید متخصص انجام و در نهایت با استفاده از نرم افزار Expert choice ارزیابی و اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها صورت پذیرفت. همچنین آنالیز تحلیل حساسیت بر روی معیارهای اصلی انجام و تاثیر تغییر وزن پارامترها بر روی گزینه‌ها ارزیابی گردید.

یافته‌ها: در مقایسه معیارهای اصلی، معیار زیست‌محیطی نسبت به سایر معیارها اهمیت بیشتری دارد. پس از آن معیارهای فنی مهندسی، اقتصادی و مدیریتی به ترتیب از اهمیت بیشتری برخوردارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به تاثیر پارامترهای گوناگون در انتخاب گزینه بهینه تصفیه فاضلاب، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ضروری است. پس از آنالیز نهایی، فرایند "UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) + هوادهی" در اولویت اول قرار گرفت و پس از آن فرایندهای" فیلتربی‌هوازی + هوادهی"، "برکه بی‌هوازی + ۲ مرحله هوادهی+ ۲ مرحله ته‌نشینی"، " فیلتر بی هوازی + ۲ مرحله هوادهی+۲ مرحله ته‌نشینی" و" سپتیک+ فیلترچکنده + هوادهی" در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فاضلاب صنایع لبنی، تصمیم‌گیری چند معیاره

۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
۲-استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
۳- (نویسنده مسئول): کارشناس ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شیراز *dehghanian.alireza@yahoo.com*
۴- استادیار گروه آمارواپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

مقدمه

تنوع فراوان کیفیت و کمیت فاضلاب‌های صنعتی نسبت به فاضلاب‌های شهری باعث استفاده از روش‌های متنوع تصفیه فاضلاب در صنایع گردیده است. طبق آمار موجود هم اکنون تعداد ۲۲۳ واحد تولید شیر با تولیدی بالغ بر ton ۲۶۴۶۰۰۰ شیر پاستوریزه در سال در کشور مشغول به فعالیت هستند. فاضلاب این صنایع به دلیل تنوع محصولات تولیدی نظیر شیر، ماست، دوغ، پنیر، خامه و غیره دارای نوسان شدید بار آلی هستند و میزان بار آلی آنها بین ۵۰۰ الی ۱۰۰۰۰ $\frac{gr\ COD}{m^3.day}$ متغیر است. چنین فاضلاب‌هایی بعلت بار آلی بالا، در صورت ورود به محیط پذیرنده و شبکه‌های تصفیه فاضلاب شهری منجر به مشکلات جدی می‌شوند. حذف COD با استفاده از فرایندهای فیزیکی وشیمیایی هزینه بالایی داشته و به همین علت، امروزه روش‌های بیولوژیکی بیشتر مورد توجه قرار دارد(۱). یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب انتخاب بهترین فرآیند تصفیه است. بطور معمول در برخی از کشورهای در حال توسعه ارزیابی گزینه‌های تصفیه بر مبنای معیار اقتصادی صورت می‌گیرد(۲). در سال‌های گذشته مطالعات و مدل‌های بهینه‌سازی زیادی برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب ارائه شده که در بیشتر آنها تنها هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری مورد توجه قرار گرفته است(۳ و۴). در این روش برای انتخاب بهترین گزینه تصفیه فاضلاب معیارهای متفاوتی نظیر فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی در نظر گرفته می‌شوند. این روش تفاوت یک گزینه با سایر گزینه‌ها را به ترتیب اولویت نشان می‌دهد که این بستگی زیادی به هرکدام از شاخص‌ها دارد که از تجربه و تخصص بدست آمده است(۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مساله را بصورت سلسله مراتبی فراهم می‌آورد و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد(۶و۷). امتیاز دیگر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی این است که ساختار و چارچوبی را جهت همکاری و مشارکت گروهی متخصصین در تصمیم‌گیری‌ها یا حل مشکلات مهیا می‌کند(۸). از این روش و سایر تکنیک‌های علمی در زمینه انتخاب روش‌ها و سیستم‌های تصفیه فاضلاب تنها در موارد معدودی استفاده گردیده است(۹). Anagnostopoulos و همکاران در سال ۲۰۰۷ تحقیقی انجام داده و در آن بر استفاده از روش AHP به عنوان روش ارجح در انتخاب روش مناسب تصفیه فاضلاب نسبت به روش‌های متداول انتخاب گزینه تصفیه تاکید کرده‌اند. همچنین در این تحقیق روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب از جمله برکه‌های تثبیت، وت لندهای با جریان افقی و سپس لاگون‌ها، وتلندهای با جریان افقی و پس از آن کلرزنی،SBR (Sequencing batch reactor)، حوضچه‌های اکسایش و RBC (Rotating biological contactor)ها برای منطقه تحت مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند(۱۰). در یکی دیگر از این مطالعات که توسط Guangming و همکاران در سال ۲۰۰۷ صورت گرفته، به منظور انتخاب بهترین فرایند تصفیه از روش AHP استفاده شد. در این مطالعه چهار گزینه A_2/O، حوضچه اکسایش سه مرحله‌ای، حوضچه بی‌هوازی تک مرحله‌ای و SBR جهت تصفیه فاضلاب شهری از نقطه نظر اقتصادی-فنی و مدیریتی ارزیابی و مورد مقایسه قرار گرفته است(۱۱). همچنین در مطالعه دیگری که توسط Dabaghian و همکاران در سال ۲۰۰۸ در خصوص بهترین گزینه تصفیه فاضلاب صنایع آب فلز کاری در شهر تهران انجام گرفت از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب گزینه بهینه از بین روش‌های اسمز معکوس، نانو فیلتراسیون، تبادل یونی و رسوب‌دهی شیمیایی استفاده گردیده که برپایه معیارهای اقتصادی، فنی، محیطی و اجتماعی اولویت‌بندی انجام گرفت(۱۲). طی تحقیق انجام شده توسط Karimi و همکاران در سال ۲۰۱۱ نیز در بین ۵ روش بی‌هوازی تصفیه فاضلاب صنایع ایران شامل UASB، ABR (Anaerobic Baffled Reactor)، UAFB (Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactor)، روش تماس بی‌هوازی و لاگون بی‌هوازی و در نظر گرفتن جنبه‌های فنی، اقتصادی، محیطی و معیارهای اداری و مدیریتی آنها اولویت‌بندی انجام گردید(۹).

در این تحقیق سیستم‌های تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی واقع در استان همدان با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بررسی، تحلیل و بهترین گزینه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

انتخاب و اولویت‌بندی گردید.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید و سیستم‌های تصفیه فاضلاب پنج کارخانه تولید فرآورده‌های لبنی واقع در استان همدان بررسی، تحلیل و بهترین گزینه انتخاب و اولویت‌بندی شد.به جهت ملاحظات اخلاقی کارخانجات مورد تحقیق با عناوین A، B، C، D وE نام برده می شوند. تفاوت در نوع سیستم بی‌هوازی و همچنین تفاوت در ترکیب هوادهی + ته‌نشینی در برخی از این تصفیه خانه‌ها پنج سیستم تصفیه منحصر بفرد را بوجود آورده است که علاوه بر تفاوت در راندمان تصفیه و معیارهای زیست‌محیطی در معیارهای اقتصادی، مدیریتی و فنی و مهندسی نیز از یکدیگر متمایزند. در این کارخانجات به ترتیب از سیستم‌های "UASB + هوادهی"، "فیلتر بی‌هوازی + هوادهی"، "فیلتر بی‌هوازی + ۲ مرحله هوادهی+۲ مرحله ته‌نشینی"، "سپتیک+ فیلتر چکنده + هوادهی" و "برکه بی‌هوازی + ۲ مرحله هوادهی +۲ مرحله ته‌نشینی" جهت تصفیه فاضلاب تولیدی استفاده می‌شود.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی: یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که امکان فرموله کردن مساله را بصورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند(۱۳و۱۴). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسط Thomas Saaty در زمان تصدی بعنوان مشاور دولت ایالت متحده ارائه گردید و امروزه در پیش‌بینی‌های مهندسی، اجتماعی، اقتصادی، مدیریت سیستم و کنترل و تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی بکار می‌رود(۱۵-۱۷). این فرآیند با امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها، مقایسه زوجی (که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید) و تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم یکی از بهترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش مبنای تئوریک قوی داشته و بر اساس اصول بدیهی (aximos) بنا نهاده شده است (۱۸و۱۹) و قادر است اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی- فرهنگی را نیز به اندازه اهمیت اهداف اقتصادی در انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب در نظر بگیرد(۲۰و۲۱).

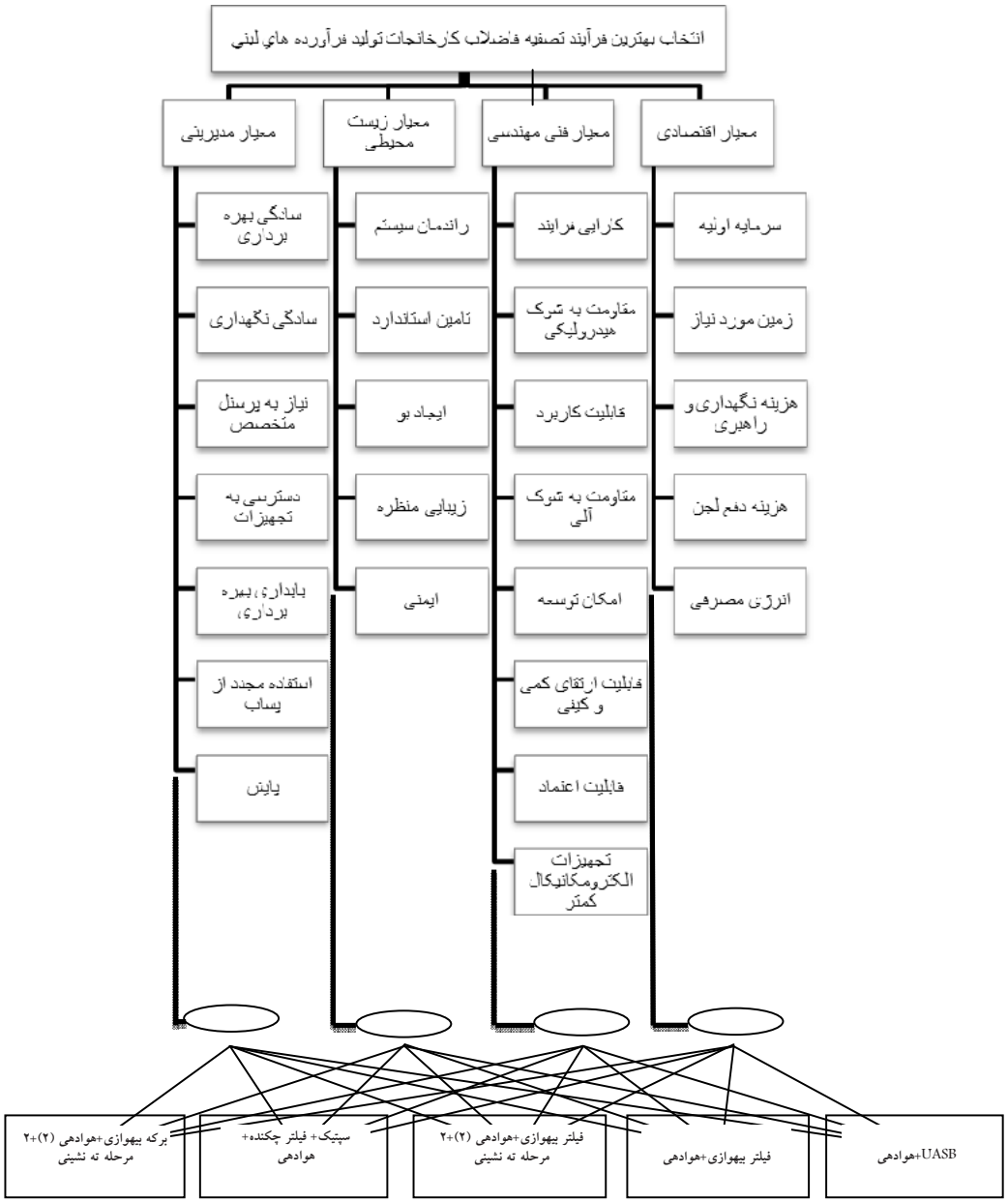
ایجاد ساختار سلسله مراتبی: اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله (ساختار سلسله مراتبی) است که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. این نمودار دارای سه سطح است. سطح یک هدف را نشان می‌دهد. در سطح دوم معیارهای مسئله بیان می‌گردد و در سطح سوم یا آخر گزینه‌های مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

در این تحقیق ابتدا ساختار سلسله مراتبی تشکیل گردید. در این ساختار سطح اول هدف اصلی (انتخاب بهترین گزینه تصفیه فاضلاب کارخانجات فرآورده‌های لبنی استان همدان)، سطح دوم معیارهای اصلی(زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی مهندسی و مدیریتی) و زیر معیارهای مرتبط و سطح سوم گزینه‌های موجود تصفیه فاضلاب را نشان می‌دهد (شکل شماره ۱).

وزن‌دهی عناصر: بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، اولویت عناصر هر سطح تعیین می‌گردد. برای تعیین اولویت‌ها بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌شود که این وزن‌ها، وزن نسبی نام دارد. مقایسات زوجی بر اساس اینکه عنصر A چقدر از عنصرB مهم‌تر است صورت گرفته و برای هر کدام ماتریس ویژه مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان که از متخصصان و خبرگان انتخاب می‌شوند با قضاوت‌های مبتنی بر آزمایش و تخصص و نیز با استفاده از منابع علمی معتبر اهمیت عناصر(معیارها و زیر معیارها) را نسبت به یکدیگر بیان می‌نمایند که حالات مختلف آن در جدول شماره ۱ آمده است. سپس مقادیر ذکر شده به صورت قراردادی به مقادیر کمی تبدیل می‌شوند.

در این تحقیق ابتدا معیارهای زیست‌محیطی، مدیریتی، اقتصادی و فنی و مهندسی وپس از آن زیر معیارهای مربوطه به طور جداگانه مقایسه شد. وزن هرکدام از معیارها و زیر معیارها توسط ۹ تن از متخصصین طراحی و راهبری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشخص گردید(۵ تن از متخصصین دارای مدرک دکترا در رشته بهداشت محیط، یک نفر دارای مدرک دکترا در رشته محیط زیست، دو نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد آب و فاضلاب و یک نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]



شکل ۱: نمایش گرافیکی ساختار سلسله مراتبی تصفیه فاضلاب کارخانجات فرآوردههای لبنی

جدول شماره ۱: مقیاس ترجیحات بین دو عنصر در مقایسات زوجی

ترجیحات	(قضاوت)	مقدار عددی
کاملا مطلوب‌تر	(extremely preferred)	۹
مطلوبیت خیلی زیاد	(very strongly preferred)	۷
مطلوبیت زیاد	(strongly preferred)	۵
کمی مطلوب‌تر	(moderately preferred)	۳
مطلوبیت یکسان	(equally preferred)	۱
ترجیحات بین فواصل		۲و۴و۶و۸

بهداشت محیط که همگی دارای تجربه و تخصص در طراحی و راهبری تاسیسات آبی و فاضلاب بودند). وزن معیارها و شاخص‌ها در جدول شماره ۲ آمده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

ناسازگاری سیستم: قدم بعدی در تحلیل، کنترل سازگاری تصمیم است که می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به قابل قبول و یا مردود بودن آن قضاوت کرد. در شرایطی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن ساده نبوده و برای بدست آوردن آن روش‌هایی از قبیل روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی وجود دارد.

جدول شماره ۲: وزن معیارها و زیرمعیارهای موثر نسبت به سایر شاخص‌ها و نسبت گزینه‌های تصفیه فاضلاب

شاخص	وزن شاخص	UASB + هوادهی	فیلتر بیهوازی + هوادهی	فیلتر بیهوازی + هوادهی(۲)+ ته نشینی(۲)	سپتیک+ فیلتر چکنده + هوادهی	برکه بیهوازی + هوادهی(۲)+ ته نشینی(۲)
معیارهای زیست‌محیطی	۰/۴۲۳	۰/۲۲۸	۰/۱۹۱	۰/۱۷۱	۰/۱۷۸	۰/۲۲۸
راندمان سیستم	۰/۳۵۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۱۵	۰/۵۷۲	۰/۸۶۰
تامین استاندارد	۰/۳۳۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۹۳	۱/۰۰
ایجاد بو	۰/۰۸۵	۰/۸۳۳	۰/۸۳۳	۱/۰۰	۰/۶۶۷	۰/۳۳۳
زیبایی منظره	۰/۰۵۳	۱/۰۰	۰/۷۱۶	۰/۵۷۳	۰/۵۷۳	۰/۴۳۲
ایمنی	۰/۱۷۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۶۶	۰/۸۳۳	۰/۵۰۱
معیارهای مدیریتی	۰/۱۴۸	۰/۲۳۷	۰/۲۰۵	۰/۱۵۳	۰/۲۲۸	۰/۲۳۷
نیاز به پرسنل متخصص برای بهره‌برداری	۰/۱۱۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۱۵	۰/۵۷۲	۰/۸۶۰
سادگی بهره‌برداری	۰/۲۲۸	۱/۰۰	۰/۷۱۶	۰/۸۶۰	۰/۵۷۳	۰/۸۶۰
سادگی نگهداری	۰/۱۳۸	۰/۷۵۳	۰/۸۷۶	۱/۰۰	۰/۶۲۶	۰/۸۷۶
قابلیت دسترسی محلی به تجهیزات	۰/۰۸۹	۰/۳۷۴	۰/۶۲۳	۰/۷۹۴	۰/۸۶۹	۱/۰۰
استفاده مجدد از پساب	۰/۲۱۲	۰/۵۵۶	۰/۶۶۸	۰/۶۶۸	۰/۷۷۷	۱/۰۰
پایداری بهره‌برداری تصفیه‌خانه	۰/۱۲۳	۰/۴۳۰	۰/۷۱۴	۰/۷۱۴	۰/۵۷۱	۱/۰۰
امکان استفاده از ابزار دقیق پایش	۰/۰۹۴	۰/۷۱۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
معیارهای اقتصادی	۰/۲۰۳	۰/۱۷۱	۰/۱۴۸	۰/۲۴۴	۰/۱۹۰	۰/۱۷۱
سرمایه اولیه	۰/۳۵۱	۰/۹۳۶	۰/۳۱۴	۰/۷۱۵	۰/۸۷۵	۱/۰۰
هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری	۰/۱۵۹	۰/۷۲۲	۱/۰۰	۰/۳۹۰	۰/۶۶۷	۰/۵۰۱
هزینه‌های دفع لجن	۰/۱۷۲	۱/۰۰	۰/۸۶۰	۰/۷۱۵	۰/۷۱۵	۱/۰۰
زمین مورد نیاز	۰/۱۵۱	۰/۵۸۸	۰/۳۰۰	۰/۳۰۰	۱/۰۰	۰/۲۰۰
انرژی مصرفی	۰/۱۶۷	۱/۰۰	۰/۸۳۰	۰/۳۲۴	۰/۸۰۱	۰/۴۴۴
معیارهای فنی	۰/۲۲۵	۰/۲۰۸	۰/۲۰۴	۰/۱۷۸	۰/۲۳۸	۰/۲۰۸
کارایی فرایند	۰/۲۰۰	۰/۶۶۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۶۷	۱/۰۰
قابلیت اعتماد فرایند(عملکرد مداوم)	۰/۰۸۰	۰/۵۰۱	۰/۸۳۲	۰/۶۶۶	۰/۵۰۱	۱/۰۰
قابلیت کاربرد فرایند	۰/۱۶۹	۰/۵۰۱	۱/۰۰	۰/۶۶۶	۰/۵۰۱	۰/۸۳۲
مقاومت به شوک‌های هیدرولیکی	۰/۱۲۹	۰/۵۷۱	۱/۰۰	۰/۸۵۹	۰/۷۱۵	۰/۸۵۹
سازگاری شوک‌های آلی	۰/۱۴۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۸۱	۱/۰۰
قابلیت ارتقای کمی وکیفی فرایند	۰/۱۱۶	۱/۰۰	۰/۸۵۹	۰/۷۱۵	۰/۵۷۲	۰/۴۳۰
امکان توسعه تصفیه خانه	۰/۱۰۴	۰/۶۶۶	۰/۸۳۳	۰/۸۳۳	۰/۵۰۱	۱/۰۰
تجهیزات الکترومکانیکال کمتر	۰/۰۵۴	۰/۶۶۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۶۷	۱/۰۰

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

بعد از تشکیل تمام ماتریس‌ها و انجام مقایسات زوجی، بردارهای ویژه یا وزن‌های نسبی(درجه اهمیت نسبی عناصر)، وزن‌های نهایی و حداکثر مقدار ویژه(λmax) برای هر ماتریس با استفاده از نرم افزار expert choice محاسبه می‌گردد. شاخص ناسازگاری بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$I.I_{.} = \lambda max - n/n-۱$$

در این رابطه λmax بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس، n طول ماتریس و I.I شاخص ناسازگاری است. برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری(I.I) بر ماتریس تصادفی(I.I.R) هم بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است که به این معیار نرخ ناسازگاری(IR) گفته می‌شود. چنانچه این عدد کوچک‌تر و یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری سیستم قابل قبول است در غیر این‌صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. جدول شماره ۳ شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی را نشان می‌دهد. در این تحقیق ماتریس سازگار نبوده و در محاسبه وزن از روش حداقل مربعات استفاده گردید.

جدول شماره ۳ : شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

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

بررسی میدانی، تکمیل پرسشنامه و آزمایش: پس از تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها بایست وضعیت موجود سیستم‌های تصفیه مورد ارزیابی را نسبت به معیارها و زیرمعیارها بررسی نمود و باید دید که هر یک از سیستم‌ها نسبت به هر کدام از معیارها چه وضعیتی دارند برای این کار از بررسی میدانی، تکمیل پرسشنامه و آزمایش استفاده شد. پرسشنامه در چهاربخش و باتوجه به معیارهای اصلی و شاخص‌های تعریف شده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تهیه گردید و ضمن بازدید میدانی، با کمک مدیران صنایع، راهبران و نیز طراحان تصفیه‌خانه‌ها، همچنین خبرگان و متخصصین تصفیه فاضلاب تکمیل گردید. جهت پاسخگویی به سوالات مرتبط به معیارهای زیست محیطی از اطلاعات موجود دو سال گذشته BOD، COD و TSS در ورودی و خروجی تصفیه‌خانه استفاده شد. به منظور اطمینان بیشتر از صحت اطلاعات موجود، از نمونه خام و پساب کارخانجات مورد نظر در سه مرحله نمونه‌برداری انجام و پس از انجام آزمایش، نتایج حاصل با نتایج موجود مقایسه گردید. متوسط عملکرد سیستم‌های تصفیه کارخانجات مورد بررسی در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

طراحی نهایی: در نهایت با استفاده از نرم افزار expert choice که به منظور تحلیل مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از روش AHP تدوین شده است، طراحی انجام گرفت. با استفاده از این نرم افزار تجزیه و تحلیل هر کدام از گزینه‌ها نسبت به هدف مشخص گردید .همچنین ماتریس

جدول شماره ۴: متوسط عملکرد سیستم‌های تصفیه کارخانجات فرآورده‌های لبنی

کارخانه	سیستم تصفیه فاضلاب	نوع فاضلاب	متوسط BOD_5	متوسط COD	متوسط TSS
A	برکه بی‌هوازی + هوادهی(۲)+ ته‌نشینی(۲)	ورودی	۱۰۸۲.۷۱	۲۴۷۸.۶۰	–
		خروجی	۲۶.۳۸	۵۴.۸۵	–
B	فیلتر بی‌هوازی + هوادهی	ورودی	۹۷۳.۵۶	۱۹۲۹.۸۴	–
		خروجی	۲۱.۷۲	۴۳.۴۷	–
C	فیلتر بی‌هوازی + هوادهی(۲)+ ته‌نشینی(۲)	ورودی	۱۶۷۵.۴۶	۵۷۴۴.۶۲	۸۰۰
		خروجی	۳۶	۱۱۸.۱۸	۵۰
D	سپتیک+ فیلتر چکنده + هوادهی	ورودی	۱۵۱۳.۵۶	۲۹۵۰.۷۴	۵۰۰۰
		خروجی	۲۳۲.۹۶	۲۳۲.۹۶	۸۰۰
E	UASB + هوادهی	ورودی	۱۵۷۵.۲	۳۱۱۹.۲۸	–
		خروجی	۲۹.۵۸	۶۱.۶۳	–

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

مقایسات زوجی جهت هرکدام از معیارها و زیر معیارها تشکیل و نرخ ناسازگاری به منظور حصول اطمینان از قابل قبول بودن مقایسات کنترل گردید و در مواردی که نرخ سازگاری از ۰/۱ بیشتر بود در وزن‌دهی و قضاوت تجدید نظر گردید. وزن نسبی هر کدام از معیارها و زیر معیارها نیز نسبت به گزینه‌های تصفیه فاضلاب محاسبه گردید که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. در نهایت گزینه‌های تصفیه فاضلاب نسبت به معیارهای اصلی و همچنین نسبت به هدف نهایی اولویت‌بندی گردیدند.

یافته ها: با توجه به نتایج حاصل از جمع‌بندی آنالیز انجام گرفته توسط ۹ متخصص که در این طرح همکاری داشته‌اند، نتیجه نهایی تحلیل انجام گرفته به شرح زیر است: در بحث معیارهای اقتصادی، زیرمعیار سرمایه اولیه بیشترین اهمیت را دارد. در بخش معیارهای زیست‌محیطی، زیرمعیار راندمان سیستم نسبت به سایر زیرمعیارها از اهمیت بیشتری برخوردار است. از میان زیرمعیارهای فنی مهندسی، کارایی سیستم ارجح است.

در معیارهای مدیریتی زیر معیار سادگی رهبری بیش از سایر معیارها از اهمیت برخوردار است. در مقایسه بین معیارهای اصلی عنوان شده معیار زیست‌محیطی نسبت به سایر معیارها اهمیت بیشتری دارد. پس از آن معیارهای فنی مهندسی، اقتصادی و مدیریتی به ترتیب از اهمیت کمتری برخوردارند. همچنین اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه فاضلاب نسبت به معیارهای اصلی و همچنین نسبت به هدف نهایی انجام شد که درشکل‌های شماره ۲ تا ۶ نشان داده شده‌اند.

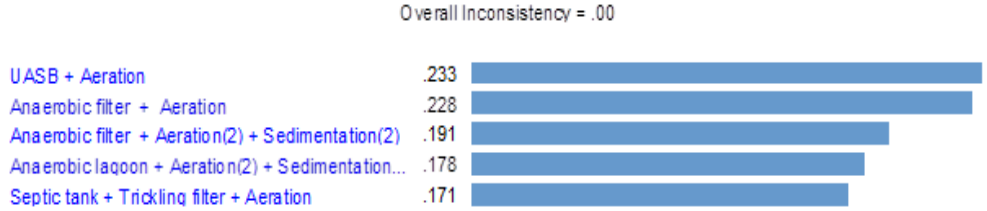
آنالیز تحلیل حساسیت: یکی از عواملی که بیشترین تاثیر را در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره دارد، امتیاز دهی است. با توجه به عدم قطعیت در مراحل امتیازدهی آنالیز تحلیل حساسیت بر روی گزینه‌ها ضروری است. در تحلیل حساسیت با تغییر وزن یکی از معیارها، نرم افزار بطور خودکار وزن سایر معیارها را متناسب با آن تغییر می‌دهد و می‌توان اثر تغییرات را در رتبه‌بندی نهایی گزینه مشاهده نمود.

در این پژوهش همانطورکه در شکل شماره ۶ نشان داده شده است سیستم" UASB + هوادهی" در رتبه اول و گزینه "فیلتر بی‌هوازی + هوادهی" در مکان دوم رده‌بندی قرار دارد. پس از آن به ترتیب "لاگون بی‌هوازی + دو مرحله هوادهی + دو مرحله ته‌نشینی"، "فیلتر بی‌هوازی + دو مرحله هوادهی + دو مرحله ته‌نشینی" و سیستم "سپتیک تانک + فیلتر چکنده + هوادهی" قرار گرفته‌اند. با توجه به نزدیک بودن امتیاز نهایی سیستم "UASB + هوادهی" و نیز سیستم "فیلتر بی‌هوازی + هوادهی" در صورتی‌که وزن معیار زیست‌محیطی را از ۴۲/۳ به ۴۱/۵ کاهش دهیم تغییری در رتبه‌بندی بوجود نمی‌آید، ولی اگر وزن آن را به ۴۱/۴ برسانیم، سیستم‌های فوق‌الذکر در امتیاز ۲۱/۳ برابر می‌شوند و بطور مشترک در اولویت اول قرار می‌گیرند. همچنین در صورتی‌که وزن معیار اقتصادی را از ۲۰/۳ به ۱۹/۸ برسانیم "سیستم‌های UASB + هوادهی" و "فیلتر بی‌هوازی + هوادهی" در کنار هم در رتبه اول قرار می‌گیرند (شکل شماره ۷).

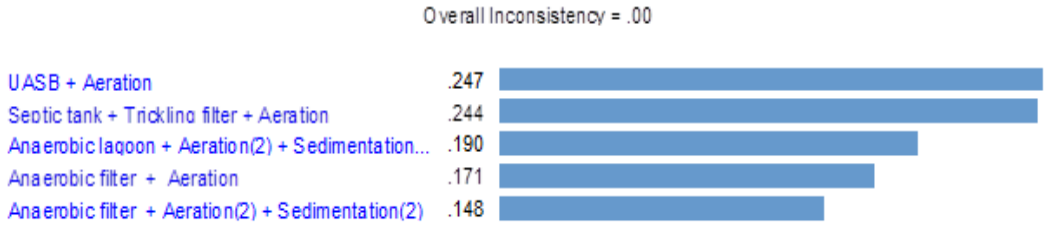
بحث

در این تحقیق سیستم‌های تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی واقع در استان همدان با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بررسی، تحلیل و بهترین گزینه انتخاب و اولویت‌بندی گردید. این فرآیند طوری طراحی شده که با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه می‌شود و با آن پیش می‌رود. این فرآیند مجموعه‌ای از قضاوت‌ها (تصمیم‌گیری‌ها) و ارزش گذاری‌ها به یک شیوه منطقی است. به طوری‌که می‌توان گفت تکنیک از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و تجربه جهت شکل دادن و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مساله بوده و از طرف دیگر به منطق، درک و تجربه جهت تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مربوط می‌شود. امتیاز دیگر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی این است که ساختار چارچوبی را جهت همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری‌ها یا حل مشکلات مهیا می‌کند.

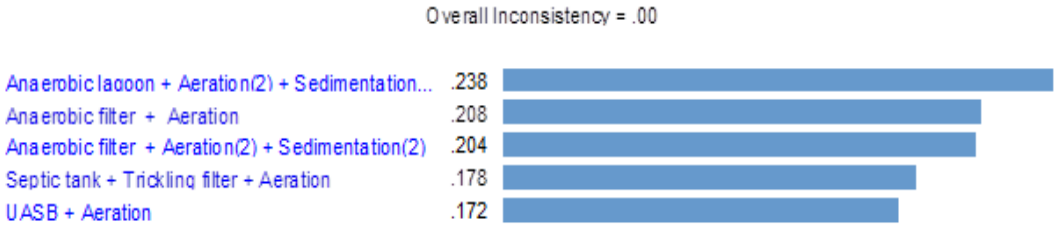
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]



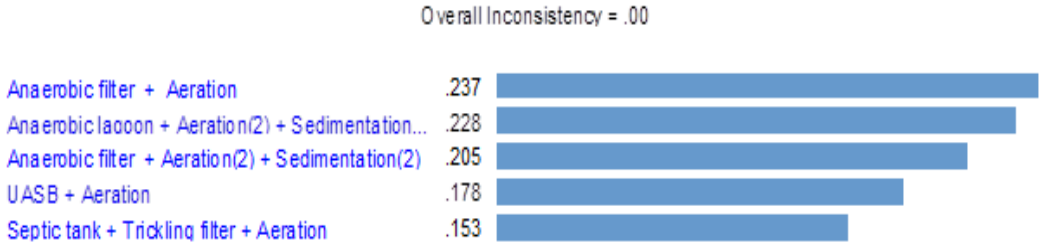
شکل شماره ۲: اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیارهای زیست‌محیطی



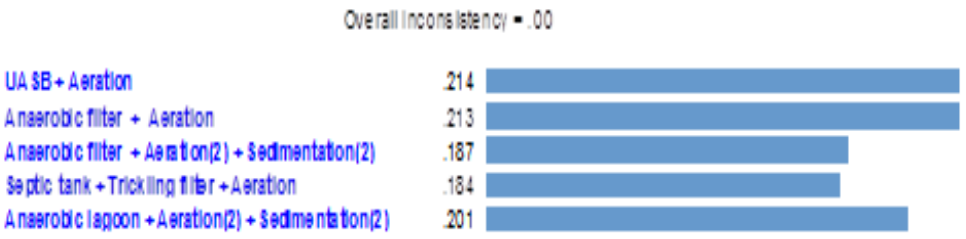
شکل شماره ۳: اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیارهای معیار اقتصادی



شکل شماره ۴: اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیارهای معیار فنی و مهندسی

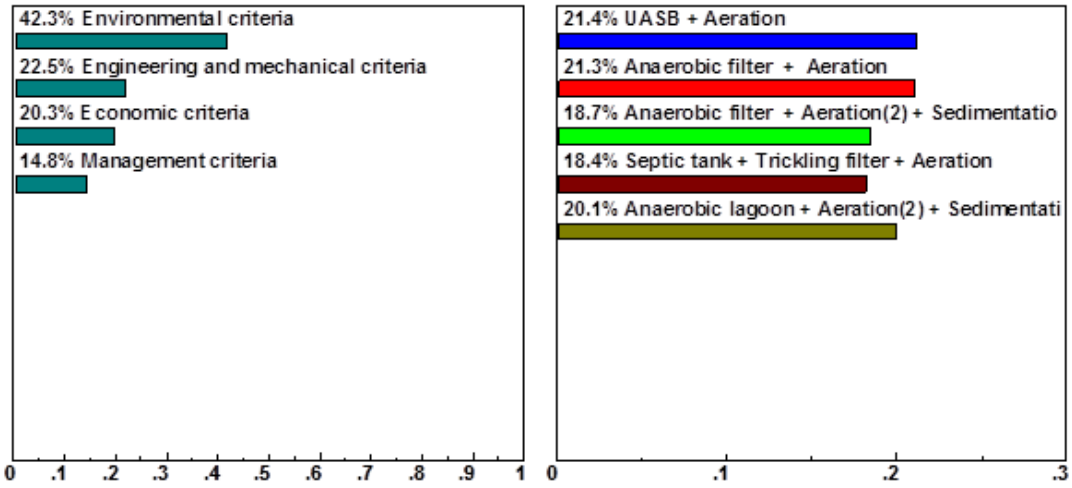


شکل شماره ۵: اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیارهای معیار مدیریتی



شکل شماره ۶ : اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]



شکل شماره ۷ : تحلیل حساسیت دینامیکی معیارها نسبت به گزینه‌های تصفیه فاضلاب

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

نتیجه‌گیری

با توجه به تاثیر پارامترهای گوناگون در انتخاب گزینه بهینه تصفیه فاضلاب، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت همانطورکه در شکل شماره ۶ نشان داده شده است، از میان فرایندهای تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی مورد پژوهش سیستم "UASB+هوادهی" با اختلاف کمی نسبت به گزینه "فیلتر بی‌هوازی + هوادهی" در اولویت اول رده‌بندی قرار گرفته است. پس از آنها، به ترتیب اولویت با "لاگون بی‌هوازی + دو مرحله هوادهی + دو مرحله ته‌نشینی"، "فیلتر بی‌هوازی + دو مرحله هوادهی + دو مرحله ته‌نشینی" است و سیستم "سپتیک تانک + فیلتر چکنده + هوادهی" ارجحیت کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان اجرا شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

منابع

1. Neczaj E, Okoniewska E, Kacprzak M. Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor. Desalination. 2005;185(1):357-62.
2. Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology. 1977;15(3):234-81.
3. Rossman LA. Synthesis of waste treatment systems by implicit enumeration. Journal (Water Pollution Control Federation). 1980:148-60.
4. USEPA. Development document for the proposed effluent limitation guidelines and standards. Washington DC: United State Environmental Protection Agency; 2002. Report No.: EPA 2002 -B-01-007.
5. Ben-Arieh D. Sensitivity of multi-criteria decision making to linguistic quantifiers and aggregation means. Computers & Industrial Engineering. 2005;48(2):289-309.
6. Boroushaki S, Malczewski J. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. Computers & Geosciences. 2008;34(4):399-410.
7. Linkov I, Satterstrom FK, Steevens J, Ferguson E, Pleus RC. Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research. 2007;9(4):543-54.
8. Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology. 1977;15(3):234-81.
9. Karimi AR, Mehrdadi N,Hashemian SJ, Nabi-Bidhendi GR, Tavakkoli-Moghaddam R. Using of the fuzy topsis and fuzy AHP methods for wastewater treatment process selection. International Journal of Academic Reserch. 2011;3(1):135-49.
10. Anagnostopoulos K, Gratziou M, Vavatsikos A. Using the fuzzy analytic hierarchy process for selecting wastewater facilities at prefecture level. European Water. 2007;19:15-24.
11. Zeng G, Jiang R, Huang G, Xu M, Li J. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. Journal of Environmental Management. 2007;82(2):250-59.
12. Dabaghian M, Hashemi SH, Ebadi T, Maknoon R. The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process. International Journal of Environmental Science & Technology. 2008;5(4):479-84.
13. Saaty TL. Decision Making for Leaders. 3rd ed. Pittsburgh: RWS Publications; 1995.
14. Saaty TL, Tran LT. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process. Mathematical and Computer Modelling. 2007;46(7):962-75.
15. Yin Y, Huang G, Hipel K. Fuzzy relation analysis for multicriteria water resources management. Journal of Water Resources Planning and Management. 1999;125(1):41-47.
16. Zeng GM, Wan YL. Grey planning of river water quality system. International Journal of Hydroelectric Energy.3)18;2000):65–68.
17. Yeomans J, Huang G. An evolutionary grey, hop, skip, and jump approach: generating alternative policies for the expansion of waste management facilities. Journal of Environmental Informatics. 2003;1(1):37-51.
18. Partovi FY. Determining what to benchmark: an analytic hierarchy process approach. International Journal of Operations & Production Management. 1994;14(6):25-39.
19. Mahmoodzadeh S, Shahrabi J, Pariazar M, Zaeri M. Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2007;30:333-38.
20. Ellis K, Tang S. Wastewater treatment optimization model for developing world. I: Model development. Journal of Environmental Engineering. 1991;117(4):501-18.
21. Tang S, Ellis K. Wastewater treatment optimization model for developing world. II: Model testing. Journal of Environmental Engineering. 1994;120(3):610-24.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

Using Analytical Hierarchy Process for Selecting the Optimum Wastewater Treatment Process For Dairy Products Factories

[1]Asgari Gh., [2]Rahmani A. R., [3]*Dehghanian A. R., [4]Soltanian A. R.

[1] Departmnt of Environmental Health Engineering, School of Public Health, University of Medical Science, Hamedan, Iran.
[2] Departmnt of Environmental Health Engineering, School of Public Health, University of Medical Science, Hamedan, Iran.
[3] Environmental Health Engineering, University of Medical Science, Shiraz, Iran.
[4] Departmnt of Epidemiology &Statistic, School of Public Health, University of Medical Science, Hamedan, Iran.

Received; 8 May 2013 Accepted; 3 August 2013

ABSTRACT

Background and Objectives: In this experimental study, we used Analytical Hierarchy Process method to determine the best wastewater treatment process for dairy products factories. That is a multi-criteria decision making techniques and is based on expert knowledge.

Materials and Methods: First, we formed the hierarchical structure and defined the main criteria and indicators. Then, we investigated the current situation of the treatment process through field observations and conducting influent-effluent analysis. Later, we converted the results obtained into quantitative indices. Then we weighted the main criteria, and their related sub criteria, depending on existing conditions; we performed the experiments required and considered the experts ideas. Finally, Evaluation and prioritization of the options was conducted using Expert choice software. Then the sensitivity analysis was performed for main criteria and we evaluated the influence of the parameters weight change on the options.

Results: In comparison with the main criteria, environmental criteria were more important followed by engineering criteria, economic and management criteria.

Conclusions: Due to the influence of various parameters in choosing optimal wastewater treatment, Multi-criteria decision-making methods are necessary. Finally, "UASB + Aeration" was found to be the first priority followed by "Anaerobic filter + Aeration", "Anaerobic lagoon + Aeration (2) + Sedimentation (2)"," Anaerobic filter + Aeration (2) + Sedimentation (2)". "Septic tank + Trickling filter + Aeration" system was found to be less preferable than other options.

Keywords: Analytical hierarchy process, Multi-criteria decision making, dairy industry wastewater

*Corresponding Author:*dehghanian.alireza@yahoo.com*
Tel:+98 917 7131657 ***Fax***:------

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]