فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

۱۸۰-۱۶۷

# انتخاب بهترین روش ساماندهی پساب کارخانه فراوری ماهی با توجه به مدل (AHP) کارخانه فرآوری ماهی میرود

**مرضیه آقاسی*و ناصر مهردادی**

[۱] گروه شیلات و محیط زیست، موسسه آموزش عالی تجن، قائمشهر، مازندران، ایران

[۲] گروه عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

**آقاسی، م. و ن. مهردادی. ۱۳۹۷.** انتخاب بهترین روش ساماندهی پساب کارخانه فراوری ماهی با توجه به مدل) AHP کارخانه فرآوری ماهی میرود). فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۳): ۱۷۸-۱۶۵.

**سابقه و هدف:** صنعت فراوری ماهی تولید کننده مقدار زیادی از مواد زائد جامد و پساب است. پساب فراوری ماهی به‌طور عمده شامل پساب حاصل از پردازش اولیه ماهی خام، شستشوی کارخانه و زائدات خام باقی مانده(خون، امعا و احشا و...) است. چربی بالای موجود در پساب شهرک صنعتی میرود باعث ایجاد مشکل تصفیه، دفع و بحران‌های محیط زیستی گردیده است. هدف از این مطالعه انتخاب بهترین روش ساماندهی و استفاده از پساب کارخانه فراوری ماهی با توجه به پرکاربردترین تکنولوژی‌های جهانی مدیریت پساب می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق با استفاده از روش سلسله مراتبی AHP (Analytic Hierarchy Process) و شناسایی روش‌های ممکن تصفیه فاضلاب، از بین گزینه‌های صافی چکنده، لاگون هوادهی، هضم بی هوازی و لجن فعال با استفاده از معیارهای فنی، اقتصادی، محیط زیستی و مدیریتی به تشخیص بهترین روش ساماندهی این پساب پرداخته شد.

**نتایج و بحث:** با توجه به نتایج حاصل از AHP روش لجن فعال با امتیاز ۰/۴۱۷ در اولویت اول و لاگون هوادهی، هضم بی هوازی و صافی چکنده به ترتیب با امتیازهای ۰/۲۸۴، ۰/۲۴۶ و ۰/۰۵۲ در اولویت‌های بعدی با توجه به نظر متخصصین قرار گرفتند.

**نتیجه‌گیری:** بررسی‌های نهایی نشان داد که بهترین روش استفاده از پساب کارخانه فراوری با توجه به معیارها و زیر معیارهای فنی، مدیریتی، محیط زیستی و اقتصادی، روش لجن فعال بود.

**واژه‌های کلیدی:** AHP، آلودگی زیست محیطی، پساب فراوری ماهی، مدیریت پساب.

## مقدمه

* Corresponding Author. *E-mail Address*: Marziyeh.aghasi@gmail.com

با توسعه صنعت آبزی پروری، توجه به بهره برداری، روش های مقرون به صرفه، کارا و سازگار با محیط‌زیست و همچنین زیست پالایی، جهت پیشگیری از آلودگی و بهبود کیفیت پساب قبل از تخلیه آن به مناطق حساس لازم خواهد بود (Quitain *et al*., 2001) گسترش جهانی پرورش انواع ماهی‌های دریایی و همچنین رشد سراسری تولید آبزیان در ۳۰ سال گذشته باعث افزایش نگرانی و آگاهی از اثرات محیط زیستی آن گشته است (Lupatsch, 2003). فاضلاب تولید شده از فعالیت های کشاورزی و صنایع غذایی دارای ویژگی‌های متمایزی است که می‌توان آن را جدا از فاضلاب شهری برای کارخانه‌های دولتی و یا خصوصی در کل جهان مدیریت کرد. این پساب حاوی غلظت بالایی از اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) و مواد جامد معلق (SS) می‌باشد. ترکیبات موجود در مواد غذایی و پساب کشاورزی تحت تاثیر تفاوت BOD و pH موجود در پساب، فصل پردازش کارخانه های مواد غذایی و زمان برداشت محصولات بوده و پیش بینی این ترکیبات نیز کار پیچیده ای می‌باشد. صنایع غذایی و کشاورزی خود را نیازمند روش‌های نوین برای مقابله با مشکل رو به رشد و پر هزینه فاضلاب و دفع آن می‌بینند (Metcalf and Eddy, 2003). فاضلاب حاصل از صنایع فرآوری محصولات غذائی دریایی، حاوی غلظت‌های بالایی از آلاینده‌ها شامل مواد معلق، مواد آلی و مواد مغذی می‌باشد. با تخلیه این فاضلاب به دریا، ممکن است کیفیت آب و اکوسیستم‌های آبی رو به زوال رود (Viraraghavan *et al*., 2010). صنعت فراوری ماهی یکی از مهم‌ترین صنایع از نظر غلظت آلاینده‌های آلی و ترکیبات سمی در بین صنایع غذایی می‌باشد (Wang *et al*., 2007). آلودگی‌های موجود در فاضلاب این صنایع عمدتاً به شکل محلول، کلوئیدی و معلق هستند که درجه این آلودگی‌ها به نوع فرآیند تولید، مانند شستن، تمیز کردن و قطعه قطعه کردن ماهی‌ها بستگی دارد. درجه آلودگی‌ها با چندین پارامتر قابل بررسی است که مهم‌ترین آن‌ها شامل فسفر کل (TP)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) ، مواد جامد محلول کل (TSS)، نیتروژن کجدال کل (TKN) و BOD می‌باشد (Mines Jr and Robertson, 2003). بار آلودگی فاضلاب کارخانه‌های کنسرو به شدت به نوع ماهی فراوری شده بستگی دارد. علاوه بر این، حجم و ویژگی‌های تغییر پساب نهایی به طور قابل توجهی در طول روز، به جریان راه اندازی، پساب پخت و پز، فاضلاب تولید شده در طول استریلیزاسیون، مواد پاک کننده موجود در پساب و غیره وابسته است. اولین قدم برای اجرای یک راه حل جامع در یک صنعت این است که بررسی احتمالات برای جلوگیری و یا کاهش ضایعات در منبع را، از طریق اقدامات پیشگیرانه مانند حذف مواد خام و تغییرات تکنولوژیک، رویه‌های تولیدی مناسب و غیره ایجاد نماییم. بسیاری از این اقدامات به سادگی قابل انجام و دارای هزینه‌های پایین هستند. استفاده از این اقدامات حجم و محتوای زباله را کاهش داده و در نتیجه اجازه می‌دهد اشکال استفاده از ضایعات ساده‌تر و مقرون به صرفه‌تر باشد (Wang *et al*., 2007) در سال‌های گذشته مطالعات و مدل‌های بهینه سازی زیادی برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب ارائه شده است که توجه اکثر آن‌ها فقط به هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره برداری بوده است، در حالی‌که همواره بهترین گزینه تصفیه، ارزان‌ترین گزینه نیست (Mara *et al*., 2017; Parvathy *et al*., 2003 ) آناگنوستوپولوس و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارزیابی روند تصفیه فاضلاب را با استفاده از معیارهای اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی به وسیله AHP فازی انجام دادند (Gratziou *et al*., 2007). پوفالی و همکاران در سال ۲۰۱۱ تلفیقی از روش‌هایAHP وGRA را به منظور دستیابی به گزینه بهینه تصفیه فاضلاب صنعت دباغی مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه اطلاعات مربوط به هفت صنعت دباغی و فرآیندهای تصفیه آن‌ها بر اساس عملکرد فنی، سود اقتصادی و معیارهای مدیریتی ارزیابی و مقایسه گردیده و بهترین فرآیند تصفیه انتخاب شده است (Chelani *et al*., 2011). انتخاب بهترین فرایند برای

تصفیه فاضلاب اهمیت بسیاری دارد، اما در این راستا مطالعات کمی با استفاده از تکنولوژی علمی صورت گرفته است. کریمی و همکاران با استفاده از روش‌هایAHP و TOPSIS فازی فرآیندهای تصفیه بی‌هوازی موجود در شهرک‌های صنعتی ایران را مورد بررسی قرار دادند (Mehrdadi *et al*., 2010). فرایند بی هوازی برای تصفیه فاضلاب و هضم لجن قابل استفاده است. این فرایند یک روش تصفیه بیولوژیکی کارآمد بوده که قادر به تصفیه انواع پسماندهای آلی است. به دلیل اینکه در فرایندهای بی هوازی محدودیت‌های انتقال اکسیژن که در فرایندهای هوازی وجود دارد، دیده نمی‌شود، این فرایند برای تصفیه فاضلاب‌های با بار آلی بسیار بالا مناسب است. جهت پیشگیری از آلودگی‌های ناشی از فرآوری محصولات غذائی دریایی، تصفیه این گونه فاضلاب‌ها امری ضروری است که روش تصفیه بستگی به شرایط زیست محیطی هر منطقه دارد (Sanders *et al*., 2004). مهم‌ترین روش‌های پیشنهادی شامل لجن فعال، لاگون هوادهی، برکه تثبیت، صافی چکنده، دیسک‌های بیولوژیکی چرخان و همچنین روش‌های بی‌هوازی می‌باشد. متداول‌ترین روش تصفیه این گونه فاضلاب‌ها روش لجن فعال است، اما وجود نمک با غلظت‌های بالا باعث کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و درنتیجه کاهش راندمان تصفیه می‌شود (Hung *et al*., 2004). با توجه به تخریب مواد آلی، فاضلاب صنایع غذایی به طور عمده توسط فرایند بیولوژیکی مورد تصفیه قرار می‌گیرد، زیرا این پساب به طور معمول غنی از مواد آلی و مواد غذایی می‌باشد. هدف اصلی از این تصفیه عمدتاً کاهش مقدار ماده آلی با استفاده از میکروارگانیسم یا با اکسیداسیون و یا الحاق به سلول‌های جدید است. اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) به طور قابل توجهی با کاهش فعالیت‌های میکروبی کاهش میابد. تصفیه بیولوژیکی به طور کلی شامل استفاده از هضم بی‌هوازی و یا فرآیندهای هوازی می‌باشد. حذف COD پساب حاصل از پردازش ماهی شامل فرآیندهای هضم بی‌هوازی (Kim *et al*., 2003; Garrido *et al*., 2003) و ترکیبی شامل بیوراکتور با غشاء اولترافیلتراسیون است (Belkacem *et al*., 2007). استفاده از روش آناموکس (اکسیداسیون بی هوازی اتوتروف آمونیاک) پس از هضم بی‌هوازی و تصفیه در یک راکتور شارون توسط مورا و همکاران مورد بررسی قرار گرفت (Campos *et al*., 2006) در رابطه با تصفیه هوازی، سیستم لجن فعال هواده بیشتر اوقات استفاده شده است (Viraraghavan *et al*., 2010) به علت وجود غلظت‌های بالایی از مواد معلق در این فاضلاب‌ها، تصفیه مقدماتی امری ضروری است. این تصفیه توانایی حذف ۸۵ درصد مواد معلق و ۶۵ درصد BOD را داراست. همچنین این نوع فاضلاب‌ها دارای مقادیر زیادی COD، روغن و چربی هستند که به جدا سازی ثقلی نیازمندند. هر چند انعقاد و لخته سازی برای حذف نمک از فاضلاب‌های شور مثل فاضلاب حاصل از فرآوری محصولات غذایی دریایی مناسب نیست، اما می‌توان با استفاده از این فرآیند به عنوان پیش تصفیه، میزان زیادی بار آلی فاضلاب را حذف نمود (Atwell *et al*., 1997).

هدف از این مطالعه انتخاب بهترین روش ساماندهی و استفاده از پساب کارخانه فراوری ماهی با توجه به پرکاربردترین تکنولوژی‌های جهانی مدیریت پساب میباشد که به این منظور از مدل سلسله مراتبی AHP استفاده می‌گردد.

## مواد و روش ها

### روش تصمیم گیری چند معیاره

تصمیم‌گیری چند معیاره با فراهم نمودن یک روش تحلیل سیستماتیک، مسائل فنی موجود را با اطلاعات اقتصادی ترکیب نموده و گزینه‌ها را رتبه بندی می‌نماید (Keisler *et al*., 2011). تصمیم‌گیری چند معیاره، برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم‌گیری به کار میرود (Mianabadi and Afshar, 2008) فرآیند تصمیم گیری چند معیاره،

اهداف، معیارها، گزینه‌ها، تبدیل مقیاس معیارها به واحدهای متناسب، تعیین وزن معیارها برای تعیین اهمیت نسبی آن‌ها، انتخاب و کاربرد الگوریتم ریاضی برای رتبه بندی گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر را تعریف می‌کند (Mehrdadi *et al*., 2010). فرآیند تصمیم گیری چند معیاره شامل چهار مرحله اساسی است: ۱- شناسایی و ارزیابی، ۲- وزن دهی، ۳-انتخاب گزینه برتر با استفاده از یک روش MADM و ۴- آنالیز حساسیت و انتخاب گزینه نهایی، می‌باشد. در مرحله شناسایی و ارزیابی، شناسایی تصمیم گیران، انتخاب معیارها و مشخص کردن گزینه‌ها انجام شده و ارزیابی گزینه‌ها در مقابل معیارها و زیر معیارها توسط شرکت کنندگان صورت می‌گیرد. (Fogel *et al*., 1988) هدف از این روش، شناسایی گزینه برتر و همچنین تعیین رتبه گزینه‌ها با لحاظ نمودن هم زمان کلیه معیارهای تصمیم گیری می‌باشد (Jiang *et al*., 2007)

## مطالعه موردی

شهرک صنعتی می‌رود فاز ۱ واقع در استان مازندران، شهرستان بابلسر، جاده بهنمیر، روستای می‌رود شهرک صنعتی میرود است. این شهرک دارای تعداد ۷ واحد کنسروسازی، ۵ واحد پودر ماهی ۲ واحد قوطی سازی ۲ واحد فیله و بسته‌بندی و ۱ واحد خوراک آبزیان - ۱ واحد روغن ماهی و ۲ واحد متفرقه می‌باشد.

## روش نمونه گیری

این مطالعه از نوع تحلیلی توصیفی می‌باشد که به انتخاب بهترین روش تصفیه پساب کارخانه ماهی پرداخته است. جهت بررسی کیفیت پساب ۵ لیتر از پساب نهایی کارخانه ماهی واحد کنسروسازی که از ماهی هوور استفاده می‌کردند و ۵ لیتر از پساب نهایی واحد کنسروسازی که به پخت زرده مشغول بودند با رعایت اصول نمونه‌گیری و سعی در ثابت بودن شرایط جهت حرکت کمتر نمونه در ساعت ۱۰:۳۰ صبح از شهرک صنعتی می‌رود واقع در بابلسر با استفاده از ظروف شیشه‌ای نمونه‌گیری شد و پس از یک ساعت به آزمایشگاه منتقل گردید و اندازه‌گیری‌های اولیه پساب برای BOD، COD و TDS بر اساس روش های استاندارد آب و فاضلاب تعیین گردید. pH به وسیله pH متر قلمی (مدل ۹۹۷۲۰) مجهز به تنظیم دما اندازه‌گیری شد (Sanders *et al*., 2004). روش نمونه گیری به صورت سرشماری انجام گرفت که در کل شامل ۵۰ پرسشنامه بود بر اساس تحقیقات میدانی که توسط پرسشنامه انجام شد، در مجموع ۳۱ پرسشنامه توسط ۴ گروه از متخصصین شیلات، محیط زیست، مدیریت پسماند و بهداشت محیط با مدارک کارشناسی ارشد و دکترا مورد ارزیابی قرار گرفت و تعداد ۱۹ پرسشنامه به دلایل برخی نواقص و اشتباه حذف گردید. ابزار جمع آوری داده‌ها پرسشنامه بود که توسط محقق و با توجه به مقالات جمع آوری گردید.

## پرسشنامه

پرسش نامه شامل ۵ ماتریس مقایسه زوجی بود. در ماتریس اول که یک ماتریس ۴×۴ بود میزان اهمیت ۴ معیار (زیست محیطی، فنی، مدیریتی و اقتصادی) نسبت به هدف (انتخاب بهترین روش ساماندهی پساب) ارزیابی شد. در این ماتریس‌ها میزان اهمیت گزینه‌ها نسبت به معیارها و زیر معیارها بررسی شد. نحوه امتیاز دهی به پارامتر ها نیز به صورت ماتریس‌های مقایسه زوجی و به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه و سپس با توجه به جدول ۱ امتیاز دهی شدند.

**جدول ۱- مقایسه مقیاس‌های AHP**

**Table 1. Comparisons between AHP scales**

| طبقه بندی Classification | ترجیح برابر Equal importance | ترجیح متوسط Moderate importance | ترجیح قوی Strong importance | ترجیح خیلی قوی Very strong importance | ترجیح بی نهایت Absolute (extreme) Importance | مقادیر بینابینی Intermediate values |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شدت وزن Intensity of weight | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 8, 6, 4, 2 |

**جدول ۲- مقایسه میانگین پساب کارخانه فراوری ماهی با کیفیت فاضلاب صنایع غذایی بر اساس استانداردهای محیط زیست**
**Table 2. Comparison between the mean wastes of the fish processing plant and the quality of industrial wastewater based on environmental standards**

| Tss (Mg/l) | pH - | BOD (Mg/l) | COD (Mg/l) | |
|---|---|---|---|---|
| 7137 | 6.73 | 30460.67 | 60906 | میانگین در کارخانه شماره ۱ Average at factory number 1 |
| 575 | 6.73 | 8649 | 17858.33 | میانگین در کارخانه شماره ۲ Average at factory number 2 |
| 473 | 8.7 | 1412 | 1494 | میانگین کیفیت فاضلاب صنایع غذایی (استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست) Mean quality of Food industry waste water (Environmental Protection Agency Standards Life) |

وزن گزینه‌ها پس از تکمیل توسط خبرگان مشخص شد و سپس سلسله مراتب مقایسه‌ها ایجاد و نتایج مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲ و جدول ۳).

## آنالیزهای آماری

در این تحقیق، ابتدا با توجه به مشکلات محیط زیستی ایجاد شده توسط پساب تولیدی کارخانه فراوری به اندازه گیری کیفیت آن پرداخته و سپس این نتایج با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست مقایسه شد (جدول ۱).

با توجه به این نتایج، میزان بالای BOD، COD، بار آلودگی بالای موجود و عدم تصفیه مناسب در شهرک صنعتی میرود، امکان ورود این پساب به چرخه آب های زیرزمینی و آلودگی آن‌ها وجود دارد. در نهایت برای حل این مشکل نیازمند به انتخاب روش مناسبی جهت تصفیه می‌باشیم بنابراین به بررسی و انتخاب بهترین روش ساماندهی پساب کارخانه کنسرو ماهی با استفاده از روش AHP پرداخته شد. پس از اندازه گیری وزن معیارهای اصلی که شامل معیار زیست محیطی، فنی، مدیریتی و اقتصادی بودند، ماتریس مربوطه تشکیل و میانگین گیری شد. سپس وزن نسبی مربوط به شاخص‌های هر معیار تعیین و ماتریس‌های مربوطه تشکیل شد. وزن نسبی معیارهای اصلی با توجه به هدف اصلی و با استفاده از نرم افزار Expert choice 11 انجام شد.

پس از گرداوری اطلاعات و ایجاد ماتریس زوجی، هدف اصلی در بالاترین بخش و بعد از آن معیارها و زیر معیارها و در پایین‌ترین بخش گزینه‌ها قرار گرفتند. انجام مقایسات زوجی معیارها و محاسبه نرخ ناسازگاری با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 که به منظور تحلیل مسائل تصمیم گیری چند معیاره استفاده می‌شود، انجام شد. ماتریس حاصل از مقایسه‌های زوجی با استفاده از فرمول زیر نرمال شد:

$$nij = [\frac{aij}{j} = t0 \dots 1n \sum nij] \; (j = 1,2, \dots, n) \qquad (۱)$$

پس از محاسبه ماتریس نرمال، وزن نهایی گزینه‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد :

$$W = [j = 1 \text{ to } n \sum \frac{nij}{nx} \qquad (۲)$$

## نتایج و بحث

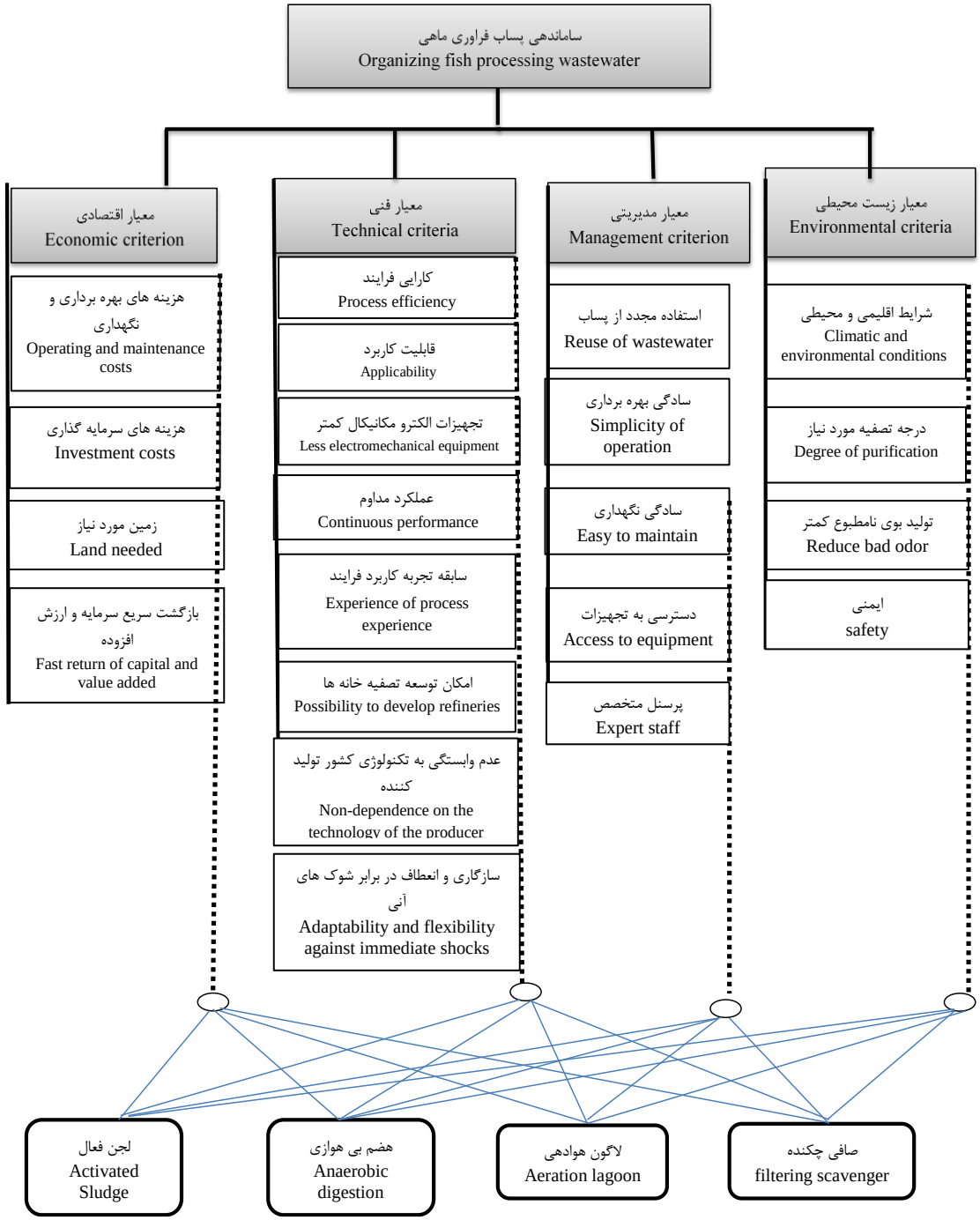
با توجه به نتایج مربوطه (تصویر ۲)، شرایط اقلیمی و محیطی منطقه با بیش‌ترین وزن مهم‌ترین عامل زیست محیطی است که باید در انتخاب فرایند تصفیه پساب با توجه به شرایط جغرافیایی شهرک صنعتی مورد توجه قرار گیرد. پس از شرایط اقلیمی و محیطی منطقه درجه تصفیه مورد نیاز و تولید نامطبوع کمتر قرار گرفتند و زیر معیار ایمنی برای از بین گزینه‌های انتخاب شده با توجه به نظر متخصصین (تصویر ۲) زیر معیار سادگی بهره برداری در معیار مدیریتی با امتیاز ۰/۳۸۸ مهمترین زیر معیار شناخته شده برای اخذ تصمیمات بعدی در رابطه با معیار مدیریتی قرار گرفت. پس از آن زیر معیار دسترسی به تجهیزات با اختلاف اندکی ۰/۳۱۵ مبنای نظر متخصصین را در برگرفت. استفاده مجدد از پساب، نیاز به پرسنل متخصص در اهمیت‌های بعدی و در آخر سادگی نگهداری دارای کمترین اهمیت بود. در تحقیقی که توسط کریمی و همکاران صورت گرفت نیز زیر معیارهای سادگی بهره برداری، سادگی نگهداری مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج بدست آمده (جدول ۲) کارایی فرایند با امتیاز ۰/۲۵۶ در رتبه ی اول زیر معیار فنی قرار گرفت. پس از آن قابلیت کاربرد با امتیاز ۰/۲۲۵ در درجه ی دوم اهمیت قرار گرفت. در زیر معیار فنی سابقه و تجربه کاربرد فرایند با امتیاز ۰/۰۲۱ در آخرین درجه از اهمیت در بین زیر معیارهای فنی با توجه به نظر متخصصین قرار گرفت. در بررسی کریمی و همکاران نیز کارایی فرایند در تصفیه بی هوازی بیش‌ترین امتیاز را کسب نمود (Mehrdadi *et al*., 2010)

از بین گزینه‌های انتخاب شده با توجه به نظر متخصصین زیر معیار هزینه‌های بهره برداری و نگهداری با امتیاز۰/۶۴۷ مهمترین زیر معیار شناخته شده برای اخذ تصمیمات بعدی در رابطه با معیار اقتصادی قرار گرفت (جدول ۲). پس از آن زیر معیار هزینه‌های سرمایه گذاری با اختلاف زیادی و با امتیاز ۰/۲۰۷ نظر متخصصین را در برگرفت. بازگشت سریع سرمایه و ارزش افزوده و زمین مورد نیاز، در اهمیت‌های بعدی قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده از نظر متخصصین و وزن داده‌ها لجن فعال در قسمت زیست محیطی بیش‌ترین وزن و به عبارتی بهترین انتخاب با توجه به این معیار می‌باشد. بعد از آن هضم بی هوازی، لاگون هوادهی و صافی چکنده به ترتیب قرار گرفتند. این نتیجه با نتایج کالبار و همکاران مطابقت داشت (Kalbar, Karmakar *et al.*, 2012). در تحقیقات مشابه نیز هزینه های سرمایه و عملیاتی (Ashtiani, Jamshidi *et al*., 2015 ) خطرات محیط زیستی مصرف انرژی و تولید، و پتانسیل احیاء و درآمدهای آن به عنوان پارامترهای تاثیرگذار برای انتخاب فرآیند اعلام شد (Jamshidi, Ardestani *et al*., 2016 a; Jamshidi, Ardestani *et al*., 2016 b; Jamshidi, Niksokhan *et al*. 2016c)

نتایج وزن دهی نشان می‌دهد که در معیار مدیریتی لاگون هوادهی از درجه اهمیت بالایی ۰/۴۱۷ قرار گرفت و بعد از آن لجن فعال و هضم بی هوازی به ترتیب در اولویت قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که بهترین گزینه از لحاظ مدیریتی برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه لاگون هوادهی می‌باشد. صافی چکنده با امتیاز ۰/۰۷ در پایین‌ترین درجه اهمیت قرار گرفت. در تحقیقی دیگر منزوی به بررسی صافی چکنده و معایب و مزایای آن پرداخت ( Monzavi, 2014). با توجه به امتیاز صافی چکنده توسط متخصصین به عنوان کم اهمیت‌ترین روش نسبت به بقیه و کم وزن‌تر بودن این روش نسبت به سیستم لجن فعال، نتایج با نتایج ترکاشوند و شهیدی مبنی بر بهتر بودن امکان بهینه سازی عملکرد صافی چکنده نسبت به لجن فعال، مطابقت نداشت (Shahidi and Torkashvand , 2008)

به دلیل قطعی نبودن نتایج در مراحل مختلف تصمیم گیری و با توجه به اینکه وزن نهایی گزینه‌ها دارای بیش‌ترین تاثیر در انتخاب است، نیازمند این هستیم که قبل از انتخاب گزینه نهایی تحلیل حساسیت انجام دهیم. در انجام تحلیل

حساسیت امکان تغییر اولویت بندی ها وجود دارد (Mehrdadi *et al*., 2010) در تحلیل حساسیت انجام شده که با توجه جدول ۳ با تغییر درصد وزنی بین اولویت بندی های اصلی پایداری گزینه‌ها بررسی شد و لجن فعال در تحلیل حساسیت نیز در اولویت اول قرار گرفت.




**شکل ۱ – ساختار سلسله مراتبی انتخاب بهترین فرایند تصفیه پساب کارخانه ماهی**

**Fig. 1- Hierarchical structure selection of the best fish wastewater treatment**

**جدول ۳- وزن معیارها و شاخص ها برای انتخاب بهترین فرایند تصفیه پساب کارخانه کنسرو ماهی**

**Table 3. The weight of criteria and indices for selecting the best process of wastewater treatment in a canned fish factory**

| معیارها | وزن معیارها | شاخص ها | وزن شاخص |
|---|---|---|---|
| زیست محیطی Environmental | ۰ / ۵۴۰ | شرایط اقلیمی و محیطی منطقه Climatic and environmental conditions | ۰ / ۴۶۰ |
| | | درجه تصفیه مورد نیاز Degree of purification | ۰ / ۳۲۵ |
| | | تولید بوی نامطبوع کمتر Reduce bad odor | ۱۴۹ ۰/ |
| | | ایمنی safety | ۰ / ۰۶۷ |
| مدیریتی administration | ۰ / ۲۷۴ | سادگی بهره برداری Simplicity of operation | ۰ / ۳۸۸ |
| | | دسترسی به تجهیزات Access to equipment | ۰ / ۳۱۵ |
| | | استفاده مجدد از پساب Re-use of wastewater | ۰ / ۱۷۶ |
| | | نیاز به پرسنل متخصص Expert staff | ۰ / ۰۷۷ |
| | | سادگی نگهداری Easy to maintain | ۰ / ۰۴۴ |
| فنی Technical | ۰ / ۱۷۸ | کارایی فرآیند Process efficienc | ۰ / ۲۵۶ |
| | | قابلیت کاربرد Applicability | ۰ / ۲۲۵ |
| | | عملکرد مداوم Continuous performance | ۰ / ۱۹۷ |
| | | سازگاری و انعطاف در برار شوک های آنی Adaptability and flexibility against immediate shocks | ۰ / ۱۲۳ |
| | | عدم وابستگی به تکنولوژی کشور تولید کننده Non-dependence on the technology of the producer country | ۰ / ۰۷۴ |
| | | تجهیزات الکترو مکانیکال کمتر Less electromechanical equipment | ۰ / ۰۶۴ |
| | | امکان توسعه تصفیه خانه ها Possibility to develop refineries | ۰ / ۰۳۹ |
| | | سابقه و تجربه کابرد فرآیند Experience of process experience | ۰ / ۰۲۱ |
| اقتصادی Economical | ۰ / ۰۸۶ | هزینه های بهره برداری ونگهداری Operating and maintenance costs | ۰ / ۶۴۷ |
| | | هزینه های سرمایه گذاری Investment costs | ۰ / ۲۰۷ |
| | | بازگشت سریع سرمایه و ارزش افزوده Investment costs | ۰ / ۱۰۷ |
| | | زمین مورد نیاز Land needed | ۰۳۹ / ۰ |

**جدول ۴- وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها**

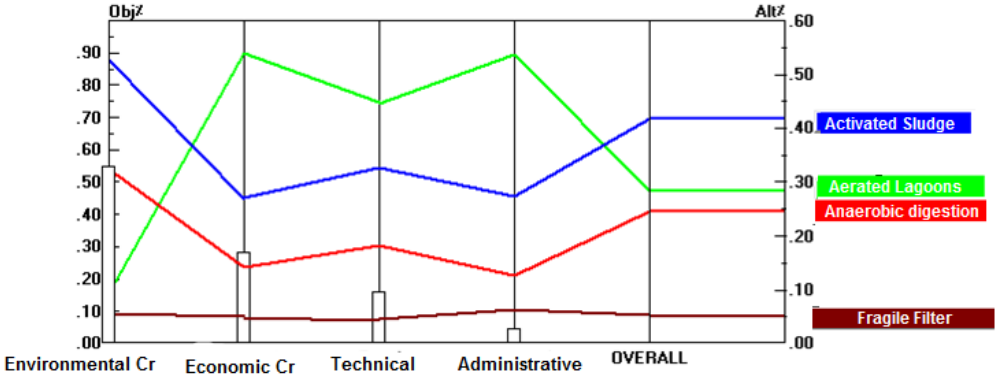
**Table 4. The relative weight of options compared to the criteria**

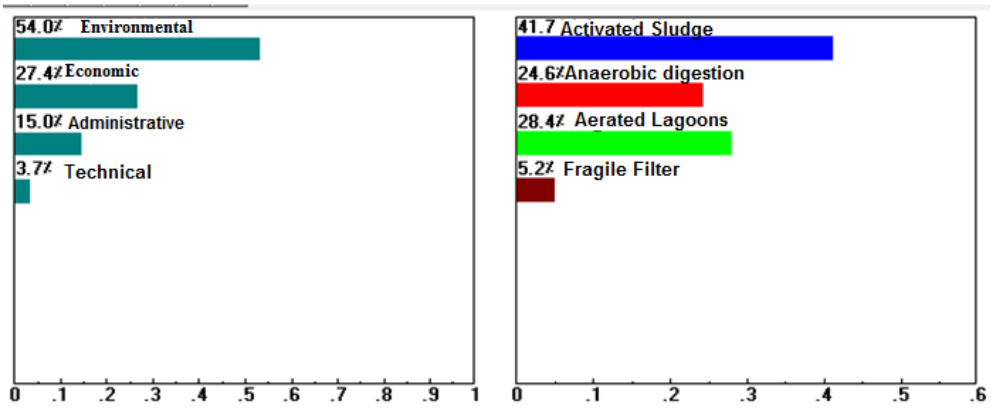
| معیارها criteria | لاگون هوادهی Aeration lagoon | لجن فعال Active sludge | هضم بی هوازی Anaerobic digestion | صافی چکنده Trickling filter |
|---|---|---|---|---|
| معیار های زیست محیطی ($C_1$) Environmental | ۰/۰۹۳ | ۰/۵۲۷ | ۰/۳۲۵ | ۰/۰۵۵ |
| شرایط اقلیمی و محیطی منطقه ($I_1$) Climatic and environmental conditions | ۰/۱۰۶ | ۰/۴۸۷ | ۰/۳۳۷ | ۰/۰۷۰ |
| درجه تصفیه مورد نیاز($I_2$) | | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Degree of purification | ۰/۰۸۶ | ۰/۵۶۵ | ۰/۳۰۸ | ۰/۰۴۱ |
| تولید بوی نامطبوع کمتر ($I_3$) Reduce bad odor | ۰/۰۷۸ | ۰/۵۶۷ | ۰/۳۱۸ | ۰/۰۳۸ |
| ایمنی($I_4$) safety | ۰/۰۷۹ | ۰/۵۳۶ | ۰/۳۳۰ | ۰/۰۵۶ |
| مدیریتی($C_2$) administration | ۰/۵۳۸ | ۰/۲۷۲ | ۰/۱۲۸ | ۰/۰۶۳ |
| سادگی بهره برداری ($I_5$) Simplicity of operation | ۰/۵۳۷ | ۰/۲۸۴ | ۰/۱۱۵ | ۰/۰۶۴ |
| دسترسی به تجهیزات ($I_6$) Access to equipment | ۰/۵۱۶ | ۰/۲۵۵ | ۰/۱۶۱ | ۰/۰۶۸ |
| استفاده مجدد از پساب ($I_7$) Re-use of wastewater | ۰/۵۷۴ | ۰/۲۷۰ | ۰/۱۰۲ | ۰/۰۵۵ |
| نیاز به پرسنل متخصص($I_8$) Expert staff | ۰/۵۲۱ | ۰/۳۱۷ | ۰/۱۰۸ | ۰/۰۵۴ |
| سادگی نگهداری ($I_9$) Easy to maintain | ۰/۵۸۶ | ۰/۲۱۵ | ۰/۱۲۹ | ۰/۰۷۰ |
| فنی($C_3$) Technical | ۰/۴۴۸ | ۰/۳۲۴ | ۰/۱۸۳ | ۰/۰۴۵ |
| کارایی فرآیند($I_{10}$) Process efficienc | ۰/۵۱۳ | ۰/۲۷۴ | ۰/۱۶۸ | ۰/۰۴۴ |
| قابلیت کاربرد($I_{11}$) Applicability | ۰/۵۰۵ | ۰/۲۸۶ | ۰/۱۶۱ | ۰/۰۴۸ |
| عملکرد مداوم($I_{12}$) Continuous performance | ۰/۱۶۸ | ۰/۵۱۳ | ۰/۲۷۴ | ۰/۰۴۴ |
| سازگاری و انعطاف در برار شوک های آنی($I_{13}$) Adaptability and flexibility against immediate shocks | ۰/۵۵۳ | ۰/۲۶۸ | ۰/۱۳۸ | ۰/۰۴۱ |
| عدم وابستگی به تکنولوژی کشور تولید کننده($I_{14}$) Non-dependence on the technology of the producer country | ۰/۴۷۴ | ۰/۳۰۰ | ۰/۱۷۸ | ۰/۰۴۸ |
| تجهیزات الکترو مکانیکال کمتر($I_{15}$) Less electromechanical equipment | ۰/۵۴۲ | ۰/۲۷۹ | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۴۴ |
| امکان توسعه تصفیه خانه ها($I_{16}$) Possibility to develop refineries | ۰/۵۲۴ | ۰/۲۴۵ | ۰/۱۸۵ | ۰/۰۴۵ |
| سابقه و تجربه کابرد فرآیند($I_{17}$) Experience of process experience | ۰/۵۳۶ | ۰/۲۷۲ | ۰/۱۴۹ | ۰/۰۴۲ |
| اقتصادی($C_4$) Economical | ۰/۵۴۱ | ۰/۲۷۲ | ۰/۱۴۳ | ۰/۰۴۴ |
| هزینه های بهره برداری ونگهداری($I_{18}$) Operating and maintenance costs | ۰/۵۰۱ | ۰/۳۱۸ | ۰/۱۴۰ | ۰/۰۴۱ |
| هزینه های سرمایه گذاری($I_{19}$) Investment costs | ۰/۵۱۷ | ۰/۲۷۶ | ۰/۱۶۱ | ۰/۰۴۶ |
| بازگشت سریع سرمایه و ارزش افزوده ($I_{20}$) Investment costs | ۰/۴۸۲ | ۰/۳۱۶ | ۰/۱۳۹ | ۰/۰۶۳ |
| زمین مورد نیاز($I_{21}$) Land needed | ۰/۰۵۷ | ۰/۵۳۲ | ۰/۲۷۴ | ۰/۱۰۷ |

**شکل۲- اولویت بندی گزینه‌های ساماندهی پساب فراوری ماهی نسبت به هدف کلی**

**Fig. 2- Prioritizing the options for managing the fish processing waste relative to the general objective**




**شکل ۳- نمودار حساسیت نسبت به هدف کلی**

**Fig. 3- Sensitivity diagram relative to the general objective**

وزن نهایی گزینه‌ها نشان داد که روش لجن فعال با امتیاز ۰/۴۱۷ به عنوان بهترین روش برای تصفیه فاضلاب کارخانه کنسرو از نظر متخصصین شناخته شد. در تحقیقی دیگر Kalbar *et al.* (2012) جهت انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب شهری در هند از روش TOPSIS با بررسی چهار فرآیند تصفیه شامل لجن فعال RBC، UASB و وتلند بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی انجام شد، در نهایت لجن فعال به عنوان بهترین فرآیند انتخاب گردید. که این نتایج با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. پس از لجن فعال به ترتیب روش لاگون هوادهی، هضم بی هوازی و صافی چکنده با امتیاز ۰/۲۸۴، ۰/۲۴۶ و ۰/۰۵۲ به عنوان فرایند بعدی برای تصفیه فاضلاب انتخاب شدند.

## نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت انتخاب فرایند تصفیه پساب‌های صنعتی و همچنین پساب‌های صنایع غذایی جهت کاهش بحران‌های زیست محیطی، کاهش بوی ایجاد شده توسط آن، کمبود و یا عدم وجود سیستم تصفیه مناسب فاضلاب‌های صنایع غذایی در شهرک صنعتی میرود، انتخاب بهترین روش جهت ساماندهی آن امری ضروری است. با استفاده از روش سلسله مراتبی AHP و بررسی

معیارهای زیست محیطی، اقتصادی، فنی و مدیریتی و زیر معیارهای مؤثر در انتخاب روش تصفیه، این شهرک در اولویت اول خود نیازمند استفاده از روش لجن فعال و در اولویت‌های بعدی می‌تواند برای تصفیه فاضلاب خود از روش‌های لاگون هوادهی، هضم بی هوازی و صافی چکنده، استفاده نماید که این امر می‌تواند باعث کاهش آلودگی تصفیه خانه مرکزی شهرک، مدیریت صحیح و بهینه و همچنین باعث کاهش و یا حتی حذف بوی حاصل از چربی و ترکیبات موجود در پساب کارخانه فراوری ماهی در محیط شهرک گردد .

## منابع


Anagnostopoulos, K., M. Gratziou and A. Vavatsikos., 2007. Using the fuzzy analytic hierarchy process for selecting wastewater facilities at prefecture level. European Water. 19(20), 15-24.

Ashtiani, E. F., S. Jamshidi, H. Niksokhan and A. F. Ashtiani., 2015. Value index, a novel decision making approach for waste load allocation. Int J Environ Chem Ecol Geol Geophys Eng. 9, 624-628.

Bensadok, K., M. Belkacem and G. Nezzal., 2007. Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. Desalination. 206(1-3),440-448.

Cao, L., W. Wang, Y. Yang, C. Yang, Z. Yuan, S. Xiong and J. Diana.,2007. Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. Environmental Science and Pollution Research-International. 14, 452-462.

Chowdhury, P., T. Viraraghavan and A. Srinivasan., 2010. Biological treatment processes for fish processing wastewater–A review. Bioresource Technology. 101(2), 439-449.

Dapena-Mora, A., J. Campos, A. Mosquera-Corral and R. Méndez ., 2006. Anammox process for nitrogen removal from anaerobically digested fish canning effluents. Water Science and Technology. 53, 265-274.

Ertz, D., J. Atwell and E. Forsht, 1977. Dissolved air flotation treatment of seafood processing wastes--an assessment." Environmental Protection Technology Series EPA (USA).

Fuentes, L., B. Sanders, A. Lorenzo and S. Alber., 2004. AWARENET: Agro-Food Wastes Minimisation and Reduction Network. Total Food. 3, 233-244.

Huang, I. B., J. Keisler and I. Linkov.,2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. Science of the total environment. 409(19), 3578-3594.

Jamshidi, S., M. Ardestani and M. H. Niksokhan., 2016 a. A seasonal waste load allocation policy in an integrated discharge permit and reclaimed water market." Water Policy. 18, 235-250.

Jamshidi, S., M. Ardestani and M. H. Niksokhan., 2016 b. Upgrading wastewater treatment plants based on reuse demand, technical and environmental policies (a case study). Environmental Energy and Economic Research. 1, 101-112.

Jamshidi, S., H. Niksokhan and M. Ardestani., 2016 c. Wastewater Reuse, an Opportunity to Expand Nitrogen Discharge Permit Markets. Journal of Environmental Studies.

Kalbar, P. P., S. Karmakar and S. R. Asolekar., 2012. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-

attribute decision-making approach. Journal of Environmental Management. 113, 158-169.

Karimi, A., N. Mehrdadi, J. Hashemian, G. Nabi Bidhendi and R. Tavakkoli-Moghaddam ., 2010. Investigation of wastewater treatment plants of Iranُs industrial estates and proposed a suitable model for optimum wastewater treatment process selection, Thesis for degree of Ph. D in Environmental Engineering. Tehran University, Faculty of Environment. 2010, 56-61.

Lim, J., T. Kim and S. Hwang ., 2003. Treatment of fish-processing wastewater by co-culture of Candida rugopelliculosa and Brachionus plicatilis. Water research. 37, 2228-2232.

Lupatsch, I., 2003. Predicting nutrient flow in integrated aquaculture systems using a nutritional approach: comparison between gilthead seabream (Sparus aurata) and white grouper (Epinephelus aeneus). Beyond Monoculture. EAS, Trondheim, Norway.

Metcalf, E. and E. Eddy ., 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. McGrawHill. Inc., New York.

Mianabadi, H. and A. Afshar .,2008. Multi attribute decision making to rank urban water supply schemes. Water & Wastewater Journal. 19, 34-45.

Mines Jr, R. O. and R. R. Robertson., 2003. Treatability study of a seafood-processing wastewater. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 38(9), 1927-1937.

Monzavi, M., 2014. Sewage treatment. Tehran, University of Tehran.

Oyanedel, V., J. Garrido, J. Lema and R. Méndez .,2003. A membrane assisted hybrid bioreactor for the post treatment of an anaerobic effluent from a fish canning factory. Water Science and Technology. 48(6), 301-309.

Parvathy, U., K. Rao, A. Jeyakumari and A. Zynudheen (2017). "Biological Treatment Systems for Fish Processing Wastewater-A Review." Nature Environment and Pollution Technology. 16, 447.

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

Quitain, A. T., N. Sato, H. Daimon and K. Fujie.,2001. Production of valuable materials by hydrothermal treatment of shrimp shells. Industrial & engineering chemistry research. 40, 5885-5888.

Shahidi, A. and A. Torkashvand.,2008 . Investigating wastewater treatment methods. Water industry research.

Tecle, A., M. Fogel and L. Duckstein.,1988. Multicriterion selection of wastewater management alternatives. Journal of Water Resources Planning and Management. 114, 383-398.

Tsagarakis, K., D. Mara and A. Angelakis.,2003. Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems." Water, Air, & Soil Pollution. 142, 187-210.

Wang, L. K., Y.-T. Hung, H. H. Lo and C. Yapijakis.,2004. Handbook of industrial and hazardous wastes treatment, CRC Press.

Zeng, G., R. Jiang, G. Huang, M. Xu and J. Li.,2007. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. Journal of environmental management. 82, 250-259.

Environmental Sciences Vol.16 / No.3 / Autumn 2018

**167-180**

# Selection of the best wastewater treatment method in fish processing plants according to the AHP model (case study: Mirod fish processing planet)

**Maeziyeh Aghasi[1*] and Naser Mehrdadi[2]**

[1] Department of Seafood Science and Technology, Faculty of Environment and Fishery,Tajan High Education Institute, Qaemshahr, Mazandaran, Iran

[2] Department of Environmental Engineering Water and Wastewater, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2018.04.18 Accepted: 2018.09.29

**Aghasi, M. and Mehrdadi, N., 2018.** Selection of the best wastewater treatment method in fish processing plants according to the AHP model (case study: Mirod fish processing planet). Environmental Sciences. 16 (3), 165-178.

**Introduction:** Fish processing industry produces a lot of solid waste and wastewater. This wastewater consists of preliminary processing of raw fish, washing planet and offal products of raw waste)blood, viscer....). High fat of the industrial wastewater causes the problem of treatment, disposal and environmental crises. The purpose of this study is to select the best method for organizing and using wastewater treatment of fish processing planet based on the most widely used wastewater management technologies worldwide.

**Material and methods:** This research was done by AHP method. Based on the general conditions in fish wastewater treatment plants in industrial estates and on expert judgments and using technical, economic, environmental, and administrative criteria, the processes are weighted. Treatment of wastewater included trickling filter, aeration lagoon, anaerobic digestion and active sludge. the results obtained are assessed using the Expert Choice Software.

**Results and discussion:** Finally the active sludge method with a score of 0/417 in the first priority and aeration lagoon, anaerobic digestion and trickling filter with a score of 0/284, 0/264 and 0/052 in the following priorities according to the opinion experts.

**Conclusion:** According to the technical, managerial, environmental and economical criteria and sub-criteria, the final studies showed that the best way to use the wastewater treatment of the fish factory was the active sludge.

**Keywords:** AHP ,Environmental pollution , Fish processing wastewater, Wastewater management.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: Marziyeh.aghasi@gmail.com