سال هفتم، شماره ٤، ١٣٩٩، صفحات ١ تا ١٠
نشریه آب و توسعه پایدار

2021, Vol.7, No.4, Pages 1 to 10
Journal of Water and Sustainable Development

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Article Type: Technical paper

روش تصفیه فاضلاب و نقش آن بر قیمت پساب: مقایسه موردی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شماره ۴ و ۵ مشهد

حمید ظفری کلوخی[1*]، امیر اکبرزاده[2]، سید محمد تفضلی[3]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، مکانیک، دانشگاه تهران، ایران. ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری برق-الکترونیک و دانشجوی دکتری عمران-محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

*(نویسنده مسئول، E.mail: zafarih@abfamashhad.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۶

چکیده

با گسترش صنایع و کشاورزی، موضوع تأمین آب و به دنبال آن چالش فاضلاب اهمیت خود را بیش از پیش نمایان می‌سازد. مطلوب‌ترین گزینه جهت تأمین نیاز آبی، بازچرخانی آب و استفاده از فاضلاب تصفیه شده است. با توجه به هزینه‌های بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مدرن باید جنبه اقتصادی موضوع مدنظر قرار گیرد تا ضمن رغبت مصرف‌کنندگان پساب، هزینه‌های تصفیه نیز تأمین شود. در شهر مشهد تا قبل از سال ۱۳۹۵ تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود همگی به روش برکه تثبیت بود و هزینه‌های تصفیه آنها چشم‌گیر نبود. بنابراین بیشتر درآمد دریافتی فاضلاب صرف توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب میشد. اما در سال ۱۳۹۵ با افتتاح دو تصفیه‌خانه مدرن در شهر مشهد با ظرفیت‌های ۶۰ هزار و ۶۵ هزار متر مکعب در شبانه روز که هر یک می‌توانند کیفیت پساب خروجی را به استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی برسانند، بحث فاضلاب بها و قیمت تمام شده تصفیه هر مترمکعب از فاضلاب اهمیت پیدا کرد. همچنین می‌توان با اعمال جریمه‌هایی مبتنی بر پارامترهای کیفی، مشترکین خاص مانند رستوران‌ها و هتل‌داران را به سمت انجام پیش تصفیه قبل از تخلیه به شبکه سوق داد. در این مقاله سعی شده است براساس نتایج استخراج شده در طول یک سال بهره‌برداری از این دو تصفیه‌خانه مقایسه‌هایی در زمینه هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری، مواد مصرفی، نیروی پرسنلی و در نهایت خروجی هر دو تصفیه‌خانه انجام شود، تا مزایا و معایب هر دو روش از لحاظ سهولت بهره‌برداری و صرفه اقتصادی معرفی شود و در احداث تصفیه‌خانه‌ها با آگاهی بیشتری نوع روش تصفیه انتخاب شود.

واژه‌های کلیدی: قیمت پساب، تصفیه فاضلاب، هزینه بهره‌برداری.

Sewage Treatment Method and its Role on Wastewater Price: Case Comparison of Sewage Treatment Plants No. 4 and 5 in Mashhad

H. Zafari Koloukhi[1*], A. Akbarzadeh[2], S.M. Tafazzoli[3]

1- MSc of Mechanical Engineering, University of Tehran, Iran. 2,3- PhD student of Electrical Engineering & PhD student of Environmental Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: zafarih@abfamashhad.net)

Received: 01-04-2020
Accepted: 16-09-2020

Abstract

With the development of industries and agriculture, the issue of water supply and the consequent challenge of sewage is becoming increasingly important. Water recycling and the use of treated sewage is the most desirable option for water supply. Considering the operating costs of modern sewage treatment plants, the economic aspect of the issue should be considered in order to provide treatment costs in addition to the desire of wastewater consumers. In Mashhad, before 2016, all existing sewage treatment plants were stabilized by the traditional method and their treatment costs were not significant. Therefore, most of the sewage received income was spent on developing the sewage collection network. But in 2016, with the opening of two modern treatment plants in Mashhad, with a capacity of 60,000 and 65,000 cubic meters per day, each of which can bring the quality of effluent to standards of discharge to surface water, the issue of sewage price and the total treatment price of each cubic meter of sewage become important. Also, by imposing penalties based on quality parameters, certain subscribers such as restaurants and hoteliers can be directed to pre-treatment before evacuation to the network. In this article, based on the extracted results during one year of operation of these two treatment plants, comparisons have been made in terms of construction costs, operation, consumables, personnel and finally the output of both treatment plants which should introduce the advantages and disadvantages of both methods in terms of ease of operation and economic efficiency and in the construction of treatment plants, the type of treatment method should be selected with more awareness.

Keywords: Wastewater Price, Sewage Treatment, Operating Cost.

DOI: 10.22067/jwsd.v7i4.85580

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی، صنعت و کشاورزی، مصرف سرانه آب و به تبع آن تولید فاضلاب افزایش چشمگیری داشته است به همین دلیل استفاده از فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان یک منبع آب پایدار بیش از پیش مورد توجه مدیران صنعت آب و فاضلاب کشور قرار گرفته است. براساس صورت‌های عملکردی شرکت آب و فاضلاب مشهد به‌طور میانگین آب و به تبع آن فاضلاب حدود ۵۰ درصد ارزان‌تر به فروش می‌رسد و این باعث می‌شود موضوع تعمیر و نگهداری، تعمیرات پیشگیرانه و مباحث مربوط به بهره‌برداری جهت تصفیه و تولید آب و پساب که در تمام شرکت‌های خدماتی دنیا از محل تعرفه‌ها برقرار و تأمین می‌شود، در ایران دچار خلاء باشد و چالش اساسی برای وزارت نیرو و شرکت‌های آبفا ایجاد کند.

لذا یکی از مهمترین مسائل مؤثر در اقتصاد آب و فاضلاب، تعیین صحیح بهای تمام شده آن است، این متغیر به‌دلیل موقعیت اقلیمی و کمبود منابع آب در کشور ایران، اهمیت ویژه‌ای دارد (خشائی و داودآبادی، ۱۳۸۷). با توجه به اهمیت آب و فاضلاب با حیات عمومی جامعه، بهداشت و محیط‌زیست، تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب با مدیریت جدید به‌عنوان بنگاه‌های اقتصادی با استقلال مالی توسط دولت صورت گرفته است. از آنجایی‌که تولید آب و خدمات فاضلاب و در کل، فعالیت‌های این شرکت‌ها ارزش اجتماعی دارد و دولت‌ها در امور اجتماعی اعمال حاکمیت می‌کنند، بنابراین قیمت‌گذاری کالا و خدمات در صنعت آب و فاضلاب توسط دولت با توجه به سیاست‌های حمایتی از اقشار مختلف جامعه انجام می‌شود. این سیاست موجب می‌شود شرکت‌ها از هدف اصلی و نهایی که حداکثر سود است فاصله بگیرند. زیرا قیمت‌های از پیش تعیین شده موجب می‌شود، شرکت‌ها به فعالیت‌ها و فرآیندهای داخلی توجه نموده و با کاهش و کنترل هزینه به سودآوری امیدوار باشند از این‌رو همواره شرکت‌های آب و فاضلاب شرکت‌های زیان‌دهی محسوب می‌شوند. بنابراین با توجه به محدودیت‌هایی که دولت در زمینه تخصیص منابع مالی جهت انجام پروژه‌های عمرانی دارد سیاست‌های سابق تغییر کرده و طی بخشنامه‌های ابلاغی جدید تمام شرکت‌های آب و فاضلاب می‌توانند بخشی از پساب حاصل (بین ۵۰ تا ۸۰ درصد) را به‌عنوان عایدی در اختیار گیرند و با واگذاری آن به سرمایه‌گذاران به‌صورت خرید متقابل یا BOT هزینه ساخت و بهره‌برداری پروژه حاصل شود. برای این منظور باید قیمت حداقل وجود داشته باشد تا مدل‌های مالی بسته شده جوابگوی هزینه‌های انجام و بهره‌برداری شبکه و غیره را شامل شود.

دری و همکاران (۱۳۹۸) و Hernández-Sancho و همکاران (۲۰۱۰) برای تعیین قیمت بها آب و تعیین زیان‌های ناشی از عدم استفاده از پساب و یا فاضلاب آلوده مطالعاتی انجام دادند همچنین می‌توان الماسی و همکاران (۱۳۹۶) و صبور و کمالان، (۱۳۸۳) مطالعاتی در خصوص بررسی انواع روش‌های تصفیه فاضلاب با نگرش اقتصادی انجام دادند.

در این مقاله سعی شده است در مرحله اول هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در دو تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب و التیمور محاسبه و کلیه پارامترهای موثر بر هزینه‌های بهره‌برداری در دو تصفیه‌خانه فاضلاب مورد اشاره جمع‌آوری و مقایسه شوند و در مرحله دوم با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری قیمت تمام شده تصفیه فاضلاب برای هر دو فناوری محاسبه شود. نکته مورد اهمیت در این نوشتار به روز بودن فناوری‌های استفاده شده در تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی و تبدیل هزینه‌ها به ارز متعارف است، بنابراین دیدی درست از روش‌ها و میزان سرمایه‌گذاری و همچنین تعمیر و نگهداری و ساخت تصفیه‌خانه‌ها به‌دست می‌آید. این برآورد می‌تواند در پیشبرد پروژه‌هایی که به‌صورت سرمایه‌گذاری در شرکت‌های آب و فاضلاب در جریان هستند، روش‌های کاربردی ارائه دهد.

مقدار بار آلودگی فاضلاب بر هزینه‌های بهره‌برداری جهت به‌دست آمدن پساب با کیفیت اثر مستقیم دارد. بنابراین باید عوامل آلودگی به تفکیک میزان اهمیت بررسی شوند و تابع حاصل براساس تعرفه‌های شرکت مهندسی نرمالیزه شود. در نهایت با دستیابی به یک رابطه مشخص می‌توان هزینه‌های ناشی از وجود بار آلودگی بیش از حد مجاز را برآورد نمود و به نسبت میزان افزایش قیمت تمام شده، جریمه محاسبه شود تا مشترکین خاص به سمت پیش تصفیه سوق پیدا کنند. همچنین تجاوز از بار آلودگی مجاز فاضلاب می‌تواند منجر به کاهش کیفیت پساب خروجی و تحمیل جرائم از سوی نهادهای مسئول شود که این پارامتر باید در محاسبه جرائم لحاظ شود. به‌طور خلاصه رویکرد برآورد قیمت و جریمه به‌صورت ذیل خواهد بود:

قیمت تمام شده تصفیه فاضلاب: P

عوامل تعیین کننده در آلودگی پساب:

COD: میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (شاخصی برای میزان آلودگی فاضلاب که شامل مواد تجزیه‌پذیر بیولوژیکی هم می‌شود)

BOD: میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (شاخصی برای میزان آلودگی‌هایی که به‌صورت بیولوژیکی قابل تصفیه هستند)

EC: هدایت الکتریکی (معرف میزان جامدات محلول)

TN: کل مواد نیتراته

pH: معرف میزان اسیدی یا قلیایی بودن فاضلاب

حد مجاز برای آلودگی که با قیمت تعیین‌شده سازگار باشد:

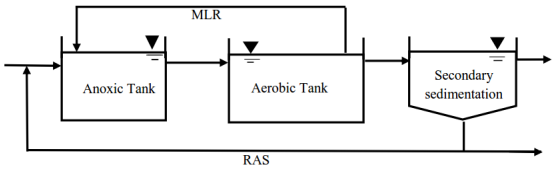
P=X(COD,TN,pH,EC,BOD)

تابع جریمه که باید براساس میزان انحراف هر یک از عوامل تعیین‌کننده از مقدار مجاز محاسبه شود: D

جریمه‌های زیست‌محیطی نیز باید به تابع هزینه اضافه شود: EP

• فرآیند تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور (MLE[1])

این سیستم یکی از متداول‌ترین روش‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با حذف نیتروژن می‌باشد. در روش MLE، راکتور بیولوژیک شامل دو بخش انوکسیک و هوازی می‌باشد که در بخش انوکسیک، دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی و در بخش هوازی همراه با حذف BOD، عمل نیتریفیکاسیون اتفاق می‌افتد. در این سیستم یک خط برگشت مایع مخلوط از تانک هوادهی به واحد انوکسیک وجود دارد و موجب افزایش دنیتریفیکاسیون و در نهایت افزایش راندمان حذف نیتروژن می‌شود. فرآیند MLE برای استفاده از نیترات تولید شده توسط ناحیه هوادهی به‌عنوان یک منبع اکسیژن برای باکتری‌های اختیاری در مخزن انوکسیک طراحی شده است. فرآیند اولیه در مراحل تصفیه، در مخزن انوکسیک صورت می‌گیرد، جایی که فاضلاب ورودی، لجن برگشتی از ته‌نشینی ثانویه و مایع مخلوط غنی از نیترات پمپ شده از انتهای تانک‌های هوادهی، با یکدیگر مخلوط می‌شوند. فاضلاب ورودی به‌عنوان منبع کربن برای باکتری‌ها، لجن برگشتی از زلال‌ساز میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کند و جریان پمپ‌های برگشتی از تانک‌های MLE هوادهی نیترات را به‌عنوان منبع اکسیژن فراهم می‌کند. در شکل (۱) به‌صورت شماتیک روند فرآیند MLE و مسیرهای جریان نمایش داده شده است (موسوی،۱۳۸۸).

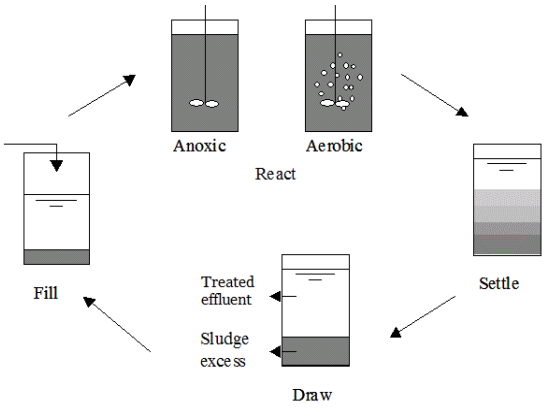


شکل ۱- نمودار شماتیک فرآیند MLE

•فرآیند تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب (ASBR[2])

روش تصفیه در تصفیه‌خانه فاضلاب شماره ۵ مشهد به روش راکتور ناپیوسته متوالی پیشرفته است و می‌توان آن را یک تانک نگهداری توصیف کرد که یک مقدار مشخص از فاضلاب را برای تصفیه دریافت و پس از تصفیه، بخشی از آن تخلیه و مقدار بعدی دریافت، تصفیه و مجددا تخلیه می‌شود و این کار به‌صورت متناوب انجام می‌شود.

در تصفیه‌خانه خین عرب مشهد ۱۲ راکتور مستقل وجود دارد و به‌صورت پیوسته عمل می‌کنند، بنابراین چون در این تصفیه‌خانه راکتور ناپیوسته با جریان پیوسته کار می‌کنند، فاضلاب همیشه به راکتور وارد می‌شود. از طرفی راکتور با یک تیغه به نام بافل۳ به دو محوطه تقسیم شده است، منطقه کوچکتر یا منطقه پیش واکنش فاضلاب ورودی را دریافت کرده و از آن فاضلاب به آرامی وارد منطقه بزرگتر یا منطقه اصلی واکنش می‌شود. ناحیه پیش واکنش به‌صورت یک انتخاب کننده بیولوژیکی عمل کرده که رشد ریزاندامگان‌های توده‌ایی را افزایش و رشد ریز اندامگان‌های رشته‌ای را محدود می‌کند؛ به همین دلیل است در این گونه تانک‌ها احتمال ایجاد شدن بالکینگ یا حجیم شدن لجن بسیار ضعیف است. هر راکتور در این تصفیه‌خانه شامل ۵ مرحله در هر سیکل خود است که عبارتند از :۱- پر شدن ۲- واکنش و یا هوادهی ۳- انوکسیک ۴- ته‌نشینی ۵- تخلیه (موسوی، ۱۳۸۸).



شکل ۲- فازهای معمول در یک راکتور در تصفیه‌خانه ASBR

فرضیات مسأله

خروجی هر دو تصفیه‌خانه با پایداری مناسبی به مشخصات کیفی قابل تخلیه به آب‌های سطحی می‌رسند که این مشخصات در جدول ذیل ارائه شده است:

جدول ۱- مشخصات فاضلاب ورودی و خروجی
(دفتر نظام فنی اجرایی، ۱۳۹۴)

پارامتر	مقدار ورودی	مقدار خروجی
COD	۸۰۰-۷۵۰	۶۰
BOD	۴۰۰	۳۰
TSS	۴۵۰	۴۰
TP	۹	۶
TN	۸۰	۱۴
NH۴	۴۳	۲,۵

نشان و مدل دستگاه و تجهیزات استفاده شده در هر دو تصفیه‌خانه مشابه و از مدل‌های معتبر اروپای غربی استفاده شده است.

بهره‌برداری از هر دو تصفیه‌خانه زیر نظر شرکت آب و فاضلاب مشهد و با دقت انجام گرفت.

دبی فاضلاب برای تصفیه‌خانه خین عرب ۶۰ هزارمترمکعب در شبانه روز و برای تصفیه‌خانه التیمور ۶۵ هزارمترمکعب در شبانه روز است.

جهت یکسان‌سازی قیمت‌ها و قابل استفاده بودن روابط به‌دست آمده کلیه هزینه‌ها براساس نرخ یورو و قیمت اعلام شده توسط بانک مرکزی برای یورو محاسبه شد.

• هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه

هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه شامل هزینه‌های ساختمانی و هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات الکترومکانیکال می‌باشد. در این بخش هزینه‌های احداث شامل موارد ذیل خواهد بود:

الف) هزینه‌های ساختمانی احداث واحدهای فرآیندی براساس فهرست بهای مربوطه

ب) هزینه‌های تجهیزات الکترومکانیکال (براساس استعلام از سازندگان و مناقصات برگزار شده)

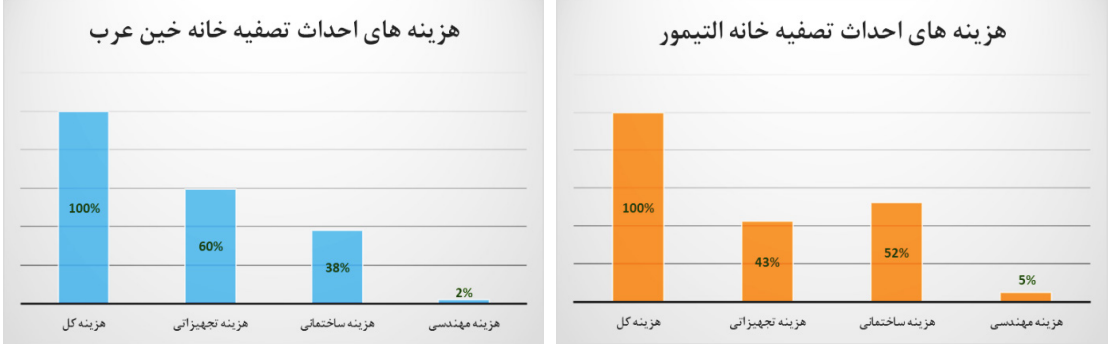
ج)هزینه‌های عملیات سویل تصفیه‌خانه‌ازقبیل‌احداث‌ساختمان‌های جنبی، محوطه‌سازی، لوله کشی‌های عمومی، دیوارکشی دور تصفیه‌خانه و عملیات خاکبرداری و خاکریزی

با توجه به اینکه نرخ ارز در ایران نوسانات شدید دارد و این موضوع محاسبه نرخ پساب را با مشکل روبه‌رو می‌کند در مقاله سعی شده است کلیه هزینه‌ها به نرخ ارز اعلام شده توسط بانک مرکزی در آن سال تهیه شده و در نهایت نرخ پساب براساس یورو محاسبه شود.

جدول ۲- مجموع هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

شرح	هزینه ریالی	معادل هزینه ریالی به یورو	هزینه یورو	مجموع به یورو
هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب (ASBR)	۲۲۱,۲۶۷,۲۷۴,۵۶۵	۱۳,۵۴۷,۲۵۲	۱۴,۵۴۹,۳۸۴	۲۸,۰۹۶,۶۳۶
هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور (MLE)	۲۹۵,۶۵۶,۰۱۵,۴۷۲	۱۸,۱۰۱,۷۵۸	۵,۲۳۷,۲۴۲	۲۳,۳۳۹,۰۰۰

* نرخ ارز ۱۶,۳۳۳ ریال در نظر گرفته شده است (سال ۱۳۸۹)



شکل ۳- درصد هزینه صرف شده نسبت به کل هزینه احداث در هر دو تصفیه‌خانه فاضلاب

در شکل (۳) درصد هزینه مصرف شده در بخش‌های مختلف مرحله مهندسی و ساخت تصفیه‌خانه نسبت به کل هزینه احداث، مقایسه شده است. ازآنجایی‌که در تصفیه‌خانه خین عرب فرآیند تصفیه ASBR است و تمام مراحل هوادهی، انوکسیک و ته‌نشینی در یک تانک انجام می‌شود، لذا در این تصفیه‌خانه هزینه‌های ساختمانی درصد کمتری از هزینه ساخت را به خود اختصاص می‌دهد و به علت لزوم استفاده از تجهیزات بیشتر و پیچیده‌تر و همچنین تجهیزات ابزار دقیق بیشتر، عمده هزینه، صرف تأمین و نصب تجهیزات شده است. در تصفیه‌خانه التیمور هزینه‌های ساخت تانک‌های ته‌نشینی اولیه و ثانویه علاوه‌بر هزینه تانک‌های هوادهی و انوکسیک وجود دارد و هزینه ساختمانی درصد بیشتری از هزینه احداث را طلب می‌کند. در عوض عمدتا جریان لجن و پساب بین واحدها به‌صورت ثقلی و سیفونی است و زمان‌های لازم جهت هوادهی و ته‌نشینی کاملاً متناسب با جریان فاضلاب خواهد بود و در نتیجه تجهیزات کمتری در تصفیه‌خانه مورد نیاز است.

• هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری

هزینه‌های بهره‌برداری در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه پرسنلی، برق مصرفی و مواد شیمیایی می‌باشد. جهت مقایسه اقتصادی بین گزینه‌ها در طرح تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشهد، مقادیر کمی ذیل جهت برآورد هزینه‌های راهبری مدنظر قرار گرفت:

- هزینه پرسنلی ماهانه بر اساس میانگین مقادیر قرارداد پیمانکاران بهره‌بردار
- هزینه تعمیر و نگهداری سالانه ساختمانی معادل ۱ درصد کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در بخش ساختمان.
- هزینه تعمیر و نگهداری سالانه تجهیزات الکترومکانیکال معادل ۲ درصد کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در بخش تجهیزاتی.
- هزینه انرژی مصرفی به‌طور متوسط برای هر کیلو وات ساعت به‌شرح ذیل می‌باشد:

الف- هزینه انرژی مصرفی: از آنجایی‌که برق هر دو تصفیه‌خانه

به‌صورت دیماندی است لذا به‌صورت سه تعرفه‌ایی محاسبه می‌شود که برای ساعت میان باری ۲۵۵ ریال برای ساعت اوج بار ۵۱۰ ریال و برای ساعت کم باری ۱۳۸ ریال است.

- قیمت هرکیلوگرم کلرگازی معادل ۷۰۰۰ ریال، هر کیلوگرم پلیمر کاتیونی برابر ۶۰۰،۰۰۰ ریال و هر کیلوگرم آهک برابر ۴۵۰۰ ریال.

جدول ۳- حداقل نیروی انسانی مورد نیاز جهت راهبری تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور

ردیف	پست	مدرک تحصیلی	تعداد نفرات مورد نیاز
۱	سرپرست	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۲	سرپرست بهره‌برداری	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۳	سرپرست مکانیکال	لیسانس	۱
۴	سرپرست الکتریکال	لیسانس	۱
۵	اپراتور	سیکل	۱۱
۶	اتاق کنترل	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۷	اپراتور کلرزنی	دیپلم	۲
۸	آزمایشگاه	لیسانس و فوق لیسانس	۲
۹	تکنسین	دیپلم فنی	۵
۱۰	خدمات	زیر سیکل	۳
۱۱	راننده	زیر سیکل	۲
	مجموع		۳۰
	هزینه پرسنلی ماهیانه		۲۸۳،۳۳۴،۰۰۰ تومان

جدول ۴- حداقل نیروی انسانی مورد نیاز جهت راهبری تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب

ردیف	پست	مدرک تحصیلی	تعداد نفرات مورد نیاز
۱	سرپرست	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۲	کارشناس PM	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۳	سرپرست مکانیکال	لیسانس	۱
۴	سرپرست الکتریکال	لیسانس	۱
۵	کارشناس فرآیند	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۶	کارشناس HSE	لیسانس	۱
۷	اپراتور	سیکل	۹
۸	اتاق کنترل	لیسانس و فوق لیسانس	۳
۹	دفتر دار	لیسانس	۱
۱۰	تکنسین اتاق کنترلف	دیپلم فنی	۳
۱۱	اپراتور کلرزنی	دیپلم	۳
۱۲	آزمایشگاه	لیسانس و فوق لیسانس	۲
۱۳	تکنسین	دیپلم فنی	۵
۱۴	خدمات	زیر سیکل	۲
۱۱	راننده	زیر سیکل	۲
	مجموع		۳۶
	هزینه پرسنلی ماهانه		۳۲۵،۰۰۰،۰۰۰ تومان

وجود تجهیزات بیشتر و پیچیده‌تر لزوم استفاده از تعداد نیروهای بیشتر و متخصص را به بهره‌بردار دیکته می‌کند در غیر اینصورت کنترل فرآیند و حفظ تجهیزات با مشکل جدی روبرو خواهد شد. استفاده از افراد متخصص در اتاق کنترل تصفیه‌خانه با فرآیند SBR ضروری است. لازم به ذکر است، هزینه پرسنلی خین عرب حدود ۱۵ درصد بیشتر از التیمور است.

• میزان تعمیرات انجام شده طی دوره بهره‌برداری

یکی دیگر از پارامترهای بسیار مهم مورد مقایسه در این دو تصفیه‌خانه فاضلاب، میزان تعمیرات است. در حالت کلی ما با دو نوع تعمیرات رو به رو هستیم، بخشی تعمیرات پیشگیرانه یا PM[۴] و دیگری تعمیرات اضطراری یا EM[۵] است.

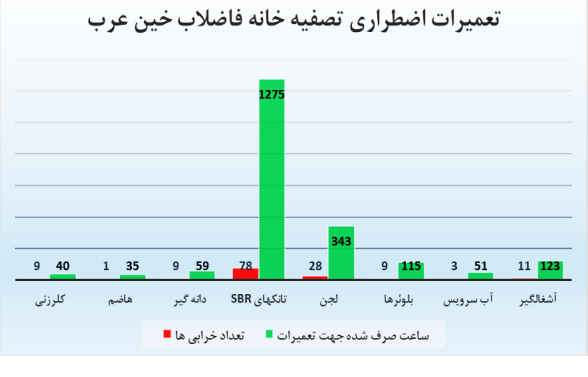
- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه:

نت پیشگیرانه یا PM، فعالیت‌هایی هستند که به‌منظور پیشگیری از خرابی دستگاهها و براساس کارت‌های فعالیت PM تعریف می‌شوند و قابل برنامه‌ریزی هستند.

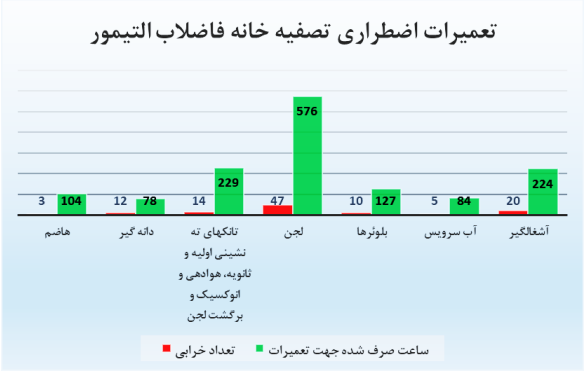
- نگهداری و تعمیرات اضطراری:

فعالیت‌های نت اضطراری یا EM فعالیت‌هایی هستند که بعد از خرابی دستگاه و به‌منظور رفع خرابی تعریف می‌شوند. شناوری مجاز برای این تعمیرات صفر یا کمتر از حد قابل قبول برای برنامه‌ریزی است و به عبارتی باید بلافاصله بعد از اعلام خرابی دستگاه انجام شوند.

در این بخش به مقایسه میزان تعمیرات اضطراری در دو تصفیه‌خانه پرداخته شد و با توجه به این مسأله تعمیرات پیشگیرانه طبق جدول تأیید شده شرکت آبفا در حال انجام است. در شکل‌های ۴ و ۵ تعداد تعمیرات اضطراری انجام شده و زمان صرف شده برای انجام این تعمیرات در طول یکسال برای دو تصفیه‌خانه خین عرب و التیمور نمایش داده شده است.



شکل ۴- تعمیرات اضطراری و زمان صرف شده جهت تعمیرات در تصفیه‌خانه خین عرب



شکل ۵- تعمیرات اضطراری و زمان صرف شده جهت تعمیرات در تصفیه‌خانه التیمور

• مقایسه مصرف انرژی برق در دو تصفیه‌خانه

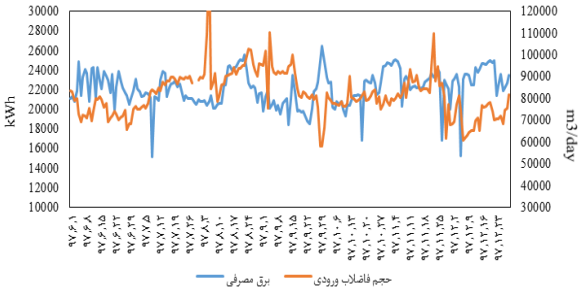
مقدار مصرف انرژی جهت تصفیه فاضلاب پارامتر مهمی است که معمولا پس از هزینه پرسنلی و خرید مواد شیمیایی در رتبه سوم هزینه کرد فرآیند تصفیه قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه تعداد تجهیزات به‌کار رفته در تصفیه‌خانه خین عرب نسبت به تصفیه‌خانه التیمور بیشتر است در نتیجه بیشتر بودن مصرف انرژی خین عرب نسبت به التیمور مورد انتظار است که در جدول ۵ قابل مقایسه است.

جدول ۵- مقایسه هزینه مصرف انرژی تصفیه‌خانه‌های خین عرب و التیمور

ردیف	تصفیه‌خانه	هزینه‌ها (ریال)	هزینه به یورو
۱	خین عرب	۵،۳۴۲،۸۳۱،۱۶۰	۴۴،۵۲۴
۲	التیمور	۴،۵۲۸،۹۹۷،۵۹۲	۳۷،۷۴۲

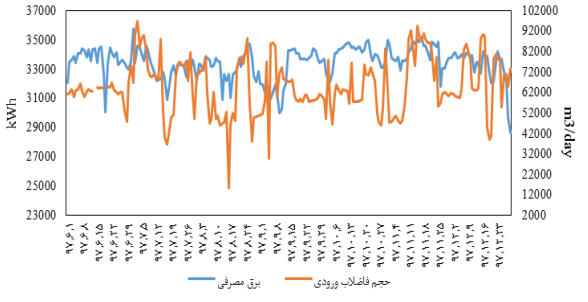
*نرخ یورو ۱۲۰،۰۰۰ ریال

یکی از مهمترین دغدغه‌های مدیریت در بخش‌های مختلف نسبت تبدیل هزینه‌ها از ریال به ارز و بالعکس می‌باشد و این موضوع با توجه به رشد سرسام‌آور قیمت ارز در سال‌های اخیر تبدیل به معضل جدی برای به انجام رساندن موفق پروژه‌های با تجهیزات مدرن (که عمدتاً وارداتی هستند) شده است. بنابراین برای اینکه هزینه‌ها و روش استفاده در همه زمان‌ها قابل استفاده باشد هزینه‌ها با توجه به سال مبنا براساس نرخ تسعیر اعلام شده از سوی بانک مرکزی به ارز با اعتبار مربوط به همان دوره زمانی تبدیل شده و در پایین جداول مربوط به هزینه‌ها درج شده است.



شکل ۶- نمودار مصرف انرژی و دبی ورودی تصفیه خانه التیمور

همانطورکه در شکل (۶) نشان داده شده متوسط فاضلاب ورودی در تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور ۸۰۴۱۰ متر مکعب در شبانه روز است که با این حجم فاضلاب ورودی میزان مصرف انرژی برق به‌طور متوسط ۹۲۱ کیلوات ساعت است.



شکل ۷- نمودار مصرف انرژی و دبی ورودی تصفیه‌خانه خین عرب

همانطوریکه در شکل (۷) نشان داده شده در تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب به ازای متوسط ۶۶۰۰۰ متر مکعب در شبانه روز به میزان ۱۳۸۱ کیلو وات ساعت انرژی مصرف می‌شود، لذا برای با تقسیم میزان انرژی مصرف شده بر فاضلاب ورودی مقایسه بین دو تصفیه‌خانه در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶- مقایسه نسبت مصرف انرژی به مترمکعب فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خین عرب و التیمور

انرژی مصرفی به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی التیمور	۰/۰۱۱۴ (kwh/m^3)
انرژی مصرفی به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی خین عرب	۰/۰۲۰۹ (kwh/m^3)
نسبت انرژی مصرفی در تصفیه‌خانه خین عرب به تصفیه‌خانه التیمور	۸۳ درصد

ملاحظه می‌شود، میزان مصرف انرژی در تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب به روش SBR بیش از ۸۳ درصد بالاتر از روش تصفیه به روش MLE در تصفیه‌خانه التیمور می‌باشد.

• مواد شیمیایی مورد استفاده

در بحث هزینه‌های بهره‌برداری یکی از پارامترهای مهم، موضوع مصرف مواد افزودنی است. هر اندازه مصرف مواد افزودنی افزایش یابد هزینه‌های مرتبط افزایش می‌یابد. علاوه‌بر هزینه بالای مواد مصرفی شیمیایی استفاده از این مواد منجر به اثرات نامطلوب محیط‌زیستی می‌شود، بنابراین جهت‌گیری تصفیه‌خانه‌های نوین حداقل کردن مصرف مواد است. با توجه به جداول (۷) و(۸) ملاحظه می‌شود در تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور میزان مواد مصرفی افزودنی کمتر از تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب است.

جدول ۷- متوسط میزان مصرف مواد افزودنی شیمیایی (کیلوگرم در سال-تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور MLE)

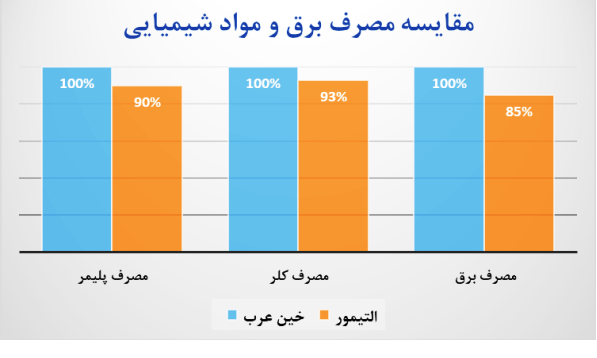
ردیف	ماده افزودنی	مقدار (کیلوگرم در سال)	هزینه	
			ریال	یورو
۱	کلر	۱۵۶،۰۰۰	۳،۰۲۴،۰۰۰،۰۰۰	۹،۱۰۰
۲	پلیمر	۵۴،۰۰۰	۱۳،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۲۷۰،۰۰۰
	مجموع		۱۶،۳۰۸،۰۰۰،۰۰۰	۲۷۹،۱۰۰

*نرخ یورو ۱۲۰،۰۰۰ ریال

جدول ۸- متوسط میزان مصرف مواد افزودنی شیمیایی (کیلوگرم در سال-تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب ASBR)

ردیف	ماده افزودنی	مقدار (کیلوگرم در سال)	هزینه	
			ریال	یورو
۱	کلر	۱۶۸،۰۰۰	۲،۸۰۸،۰۰۰،۰۰۰	۹،۸۰۰
۲	پلیمر	۶۰،۰۰۰	۱۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰
	مجموع		۱۸،۰۲۴،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۹،۸۰۰

*نرخ یورو ۱۲۰،۰۰۰ ریال



شکل ۸- مقایسه مصرف برق و مواد شیمیایی

در شکل (۶) مصرف برق و مواد شیمیایی دو تصفیه‌خانه

به‌صورت نمودار جهت مقایسه ترسیم شده است. برای هر مورد، مقدار مصرف در تصفیه‌خانه خین عرب معیار قرار گرفته و به‌این ترتیب مقدار آن ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده و مقدار مصرف در التیمور به نسبت آن به‌دست آمده است.

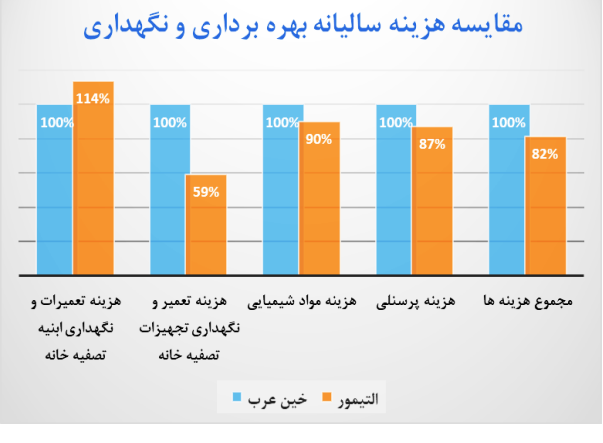
در جداول (۹) و (۱۰) و شکل (۹) کلیه موارد بیان شده مربوط به هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالیانه دو تصفیه‌خانه گردآوری و مقایسه شده است.

جدول ۹- هزینه‌های سالیانه بهره‌برداری و نگهداری (التیمور)

ردیف	شرح	هزینه به یورو
۱	هزینه تعمیرات و نگهداری ابنیه تصفیه‌خانه	۱۳۷،۶۰۸
۲	هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات تصفیه‌خانه	۲۲۴،۱۲۶
۳	هزینه مواد شیمیایی	۲۷۹،۱۰۰
۴	هزینه پرسنلی	۲۸۳،۳۳۴
	مجموع	۹۲۴،۱۶۸

جدول ۱۰- هزینه‌های سالیانه بهره‌برداری و نگهداری (خین عرب)

ردیف	شرح	هزینه به یورو
۱	هزینه تعمیرات و نگهداری ابنیه تصفیه‌خانه	۱۲۱،۰۴۳
۲	هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات تصفیه‌خانه	۳۷۷،۹۲۲
۳	هزینه مواد شیمیایی	۳۰۹،۸۰۰
۴	هزینه پرسنلی	۳۲۵،۰۰۰
	مجموع	۱،۱۳۳،۷۶۵



شکل ۹- مقایسه هزینه سالیانه بهره‌برداری و نگهداری

براساس جداول (۹) و (۱۰) کل هزینه بهره‌برداری و نگهداری شامل ۴ بخش است که در شکل (۹) از سمت چپ به راست برای دو تصفیه‌خانه با هم مقایسه شدند. آخرین ستون مقایسه کل هزینه احداث هر یک از تصفیه‌خانه‌ها است. در هر بخش مقدار هزینه صرف شده در خین عرب معیار مقایسه در نظر گرفته شده و هزینه صرف شده در التیمور نسبت به آن مقایسه شده است.

مشاهده می‌شود هزینه احداث تصفیه‌خانه التیمور با فرآیند MLE حدود ۸۲٪ هزینه احداث تصفیه‌خانه خین عرب با فرآیند SBR است. با توجه به وجود ابنیه بیشتر در التیمور هزینه نگهداری از ابنیه در التیمور بیشتر خواهد بود. اما این اختلاف حدود ۱۴ درصد است، زیرا احتمال آسیب به ابنیه و نیاز به تعمیرات ابنیه بسیار کم است. با توجه به اینکه تعداد تجهیزات در خین عرب بیشتر است، هزینه تعمیرات تجهیزات نسبت به التیمور بیشتر (اختلاف بیش از ۴۰ درصد) است.

• قیمت تمام شده هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده

در محاسبه قیمت تمام شده هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده می‌توان به روش ذیل عمل نمود:

محاسبه هزینه‌های جاری سالانه و جمع آن با هزینه برگشت سالانه سرمایه‌گذاری اولیه و تقسیم کل هزینه‌های سالانه به حجم سالانه فاضلاب تصفیه شده.

در محاسبات حاضر برگشت سالانه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های جاری سالانه با هم جمع شده و بر متوسط حجم فاضلاب تصفیه شده در یک سال تقسیم خواهد شد. برای محاسبه قیمت تمام شده فرضیات زیر مد نظر قرار گرفته است:

۱- عمر مفید تجهیزات الکترومکانیکال ۱۵ سال

۲- عمر مفید ابنیه و تجهیزات ساختمان ۳۰ سال

برای ساده شدن محاسبات فرض می‌شود، هزینه جایگزینی تجهیزات در زمان خرید مجدد برابر هزینه خرید اولیه آنها در شروع بهره‌برداری باشد. (همسان بودن نرخ بهره و نرخ تورم)

- نرخ تنزیل مورد استفاده برابر ۸ درصد فرض خواهد شد.

$$CRF= I^*(1+I)n/((1+I)n-1)$$

با توجه به نشریه ۰۰۳ آبفای کشور، در هر پروژه نرخ بازدهی پروژه مطرح می‌شود که همواره باید این مقدار از نرخ تورم جامعه بیشتر بوده و اختلاف معناداری وجود داشته باشد تا سرمایه‌گذار رغبت به انجام سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها را داشته باشد. این میزان به همان نرخ تنزیل موسوم است این نرخ در سال‌های اخیر بین ۵ تا ۸ درصد طبق نشریات شناور است، با توجه به شرایط، سخت‌ترین حالت (۸ درصد) در نظر گرفته شده است.

احتمالاً پارامترهایی که در ادامه ارائه شده، مربوط به رابطه قبلی است، بررسی شود.

ضریب بازگشت سرمایه = CRF
نرخ کارمزد سرمایه‌گذاری = I
عمر مفید تأسیسات (سال) = n
میزان I برای تجهیزات ۰/۰۷۸۸ است و برای ساختمانی ۰/۸۸ بدست می‌آید.
براساس معادله فوق، CRF برای کارهای مکانیکی و برقی معادل ۰/۱۱۶ برای کارهای ساختمانی برابر ۰/۰۸۸، محاسبه شده است. قیمت تمام شده فاضلاب در بر گیرنده تمام هزینه‌های سرمایه‌گذاری، استهلاك و هزینه‌های جاری می‌باشد. لذا یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های سنجش گزینه برتر، همین روش است.

جدول ۱۱- هزینه برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری (التیمور)

ردیف	شرح	هزینه (یورو)
۱	هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	۹۲۴،۱۶۸
۲	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری ساختمانی	۱،۲۱۰،۹۵۱
۳	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری تجهیزاتی	۱،۲۹۹،۹۳۳
	جمع	۳،۴۳۵،۰۵۳
	هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (یورو)	۰،۱۴۵
	هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (ریال)	۱۷،۳۷۰

*نرخ یورو ۱۲۰،۰۰۰ ریال باشد

جدول ۱۲- هزینه برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری (خین عرب)

ردیف	شرح	هزینه (یورو)
۱	هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	۱,۱۳۳,۷۶۵
۲	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری ساختمانی	۱،۰۶۵،۱۷۷
۳	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری تجهیزاتی	۲،۱۹۱،۹۵۰
	جمع	۴,۳۹۰,۸۹۲
	هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (یورو)	۰،۲۰۰
	هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (ریال)	۲۴،۰۵۰

*نرخ یورو ۱۲۰،۰۰۰ ریال باشد

با توجه به براورد هزینه تصفیه هر مترمکعب فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خین عرب و التیمور که در جدول (۹) و جدول (۱۰) درج شده است، هزینه تصفیه با فرآیند SBR حدود ۳۸ درصد بیشتر از تصفیه با فرآیند MLE خواهد بود.

جدول ۱۳- هزینه برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری (التیمور و خین عرب)

ردیف	شرح	هزینه (یورو)
۱	هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	۲,۰۵۷,۹۳۳
۲	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری ساختمانی	۲،۲۷۶،۱۲۸
۳	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری تجهیزاتی	۳،۴۹۱،۸۸۳
	جمع	۷,۸۲۵,۹۴۵
	هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (یورو)	۰،۱۷۱
	هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (ریال)	۲۰،۵۸۰

بهره‌برداری از دو تصفیه‌خانه فاضلاب خین‌عرب و التیمور در شهر مشهد با توجه به بار آلودگی فاضلاب ورودی، هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری دو تصفیه‌خانه، میانگین هزینه مترمکعب پساب حاصل از دو تصفیه‌خانه می‌تواند معیاری جهت سایر براوردهای قیمتی مانند جریمه‌ها و فروش در نظر گرفته شود. با درنظر گرفتن این مقدار هزینه در حال حاضر و محاسبه نرخ تورم در سال‌های آتی، توجیه مالی و محیط‌زیستی احداث تصفیه‌خانه‌های آینده و نوع فرآیند تصفیه را توامان مدنظر قرار داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییر رویکرد شرکت آب و فاضلاب کشور مبنی بر اختصاص تمام یا بخشی از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به شرکت‌های آب و فاضلاب جهت تأمین هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها، نگاه اقتصادی به این پروژه‌ها اهمیت زیادی پیدا کرده است. بنابراین علاوه‌بر هزینه‌های زیاد ساخت که همواره پراهمیت ترین پارامتر در انتخاب نوع فرآیند تصفیه‌خانه بوده با این رویکرد میزان هزینه‌های بهره‌برداری شامل پرسنل، مواد مصرفی، تعمیر و نگهداری، انرژی و استهلاک ابنیه و تجهیزات اهمیت خود را بیشتر به رخ خواهد کشید. با عقد قراردادهای بهره‌برداری بلند مدت باید سود حاصل از درآمد فروش پساب انگیزه لازم را در پیمانکار ایجاد کند. بنابراین احداث دو تصفیه‌خانه خین عرب با فرآیند ASBR و التیمور با فرآیند MLE و گذشت چند سال از بهره‌برداری آنها فرصت مناسبی جهت مقایسه موردی دو تصفیه با دو فرآیند متفاوت و حجم فاضلاب ورودی تقریبا یکسان فراهم آورده است. با در نظر گرفتن تمامی هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری این دو تصفیه‌خانه هزینه‌های مربوط به تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب به‌عنوان یک نمونه موردی از تصفیه‌خانه‌های با فرآیند SBR حدود ۲۸ درصد بیشتر از هزینه‌های تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور با فرآیند

MLE به‌دست آمد. فرآیند SBR به علت نیاز به فضای کمتر و سازه و ابنیه کمتر جهت انجام فرآیند تصفیه (چون تمامی مراحل تصفیه بیولوژیک شامل هوادهی و انوکسیک و ته‌نشینی در یک تانک انجام می‌گیرد) هزینه کمتری برای احداث و نگهداری ابنیه می‌طلبد. اما در سایر پارامترها به نسبت فرآیند MLE مقدار هزینه‌ها بیشتر خواهد بود. در فرآیند SBR تعداد تجهیزات بیشتر و برنامه کنترل فرآیند پیچیده‌تر است و متعاقبا میزان هزینه‌های تعمیر و نگهداری و پرسنل که باید به اندازه کافی ماهر باشند نیز بیشتر خواهد بود. ضمن اینکه در فرآیند MLE امکان تثبیت بی‌هوازی لجن حاصل از فرآیند تصفیه وجود دارد که با استفاده از گاز متان تولید شده طی این فرآیند تولید برق و در نتیجه کاهش بیشتر هزینه بهره‌برداری امکان‌پذیر خواهد بود. لذا با توجه به لزوم سرمایه‌گذاری و مدیریت این گونه پروژه‌ها این ارقام می‌تواند برآوردی از نحوه ساخت و بهره‌برداری پروژه‌ها براساس واقعیت در اختیار مدیران پروژه قرار دهد.

پی‌نوشت

1-Modified Ludzack-Ettinger

2-Advanced Sequence Batch Reactor

3-Baffle

4-Preventive Maintenance

5-Emergency Maintenance

منابع

الماسی، ع.، درگاهی، ع.، نادری، م.، هاشمیان، ا.ح. و دل‌انگیزان، س. ۱۳۹۶. مقایسه هزینه اثربخشی سیستم‌های تصفیه فاضلاب لجن فعال متعارف و برکه‌های تثبیت (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه‌های شهر کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب و گیلان‌غرب). مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، ۲۴(۲): ۱۱۵-۱۲۱.

خشائی، م. و داودآبادی، م. ۱۳۸۷. تعیین بهای تمام شده یک مترمکعب آب و خدمات دفع فاضلاب در شرکت‌های آب و فاضلاب. دومین کنفرانس بین‌المللی بودجه ریزی عملیاتی. گروه مشاوران پنکو، تهران، ایران.

دری، م.، شهرکي، ج.، سردارشهرکي علي، ۱۳۹۸. ارزيابي اقتصادي استفاده از پساب فاضلاب شهري و هزينه كنترل آلودگي در آبياري فضاي سبز شهر زاهدان". مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۵): ۹۹-۱۱۱.

صبور، م.ر. و کمالان، ح. ر. ۱۳۸۳. بررسی و ارزیابی اقتصادی تصفیه انواع فاضلاب تخلیه شونده به رودخانه کارون در محدوده استان خوزستان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰: ۲۱-۲۹.

معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، با همکاری وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. ۱۳۹۴. نشریه شماره ۵۳۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. تهران.

موسوی، س. غ.ر. مترجم. ۱۳۸۸. مهندسی فاضلاب: تصفیه و استفاده مجدد. جلد ۲. خانیران، تهران.

Hernández-Sancho F., Molinos-Senante M. and Sala-Garrido R. 2010. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: an empirical approach for Spain. Science of The Total Environment, 408: 953-957.