

مقایسه هزینه-اثر بخشی سیستم‌های لجن فعال با سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب در استان کرمانشاه

علی الماسی^۱، عبدالله درگاهی^۲، سهراب دل‌انگیزان^۳، امیرحسین هاشمیان^۴، مرضیه نادری^۵

۱- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، موسس و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات توسعه اجتماعی و ارتقاء سلامت،

دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

۲- دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

۳- استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه رازی کرمانشاه

۴- دانشیار گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

۵- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

(نویسنده مسئول) ۳۶۵۱۷۴۲۳ (۰۳۱) ۹۸۷@yaho.com naderi.marzie

(دریافت ۹۳/۷/۶ پذیرش ۹۳/۱۱/۲۵)

چکیده

برای امکان‌سنجی اقتصادی بودن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، روشی مورد نیاز است که این سیستم‌ها را از نظر هزینه-اثر بخشی مورد بررسی قرار دهد. این مطالعه با هدف ارزیابی هزینه‌بری و اثر بخش بودن سیستم‌های تصفیه فاضلاب موجود در استان کرمانشاه صورت گرفت. مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و اطلاعات مربوط به تصفیه‌خانه‌ها از شرکت‌های آب و فاضلاب و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌ها جمع‌آوری شد و با استفاده از برنامه آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام هزینه‌ها و راندمان فرایندهای تصفیه بررسی شد و شاخص هزینه-اثر بخشی برای آن‌ها محاسبه شد و سیستم‌ها از نظر این نسبت با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که میانگین راندمان کل پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه، برای سیستم‌های لجن فعال و طبیعی به ترتیب ۷۶/۳۵ و ۶۱/۶۹ درصد به دست آمد. همچنین تفاوت میانگین راندمان کل در دو سیستم از نظر آماری معنی‌دار بود. میزان هزینه-اثر بخشی در این سیستم‌ها نیز به ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۵۸ به دست آمد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب با وجود راندمان پایین‌تر نسبت به سیستم‌های لجن فعال دارای هزینه-اثر بخشی بهتری هستند که نشان‌دهنده برتری سیستم‌های طبیعی است و مهم‌ترین عامل در این موفقیت را می‌توان به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری پایین‌تر نسبت به سیستم‌های لجن فعال نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: سیستم لجن فعال، سیستم طبیعی، هزینه-اثر بخشی، استان کرمانشاه

۱- مقدمه

این واحدها تا چه حد و چگونه به اهداف مورد نظر دسترسی پیدا کرده‌اند. ارزیابی و تجزیه و تحلیل هزینه‌ها می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی مؤثر، توسط مدیران به کار گرفته شود و آن‌ها را برای تخصیص بهینه منابع مالی و بهره‌برداری حداکثر از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده که یکی از مهم‌ترین وظایف آن‌هاست یاری نماید تا از کارایی مطلوب سیستم‌های تصفیه فاضلاب اطمینان پیدا کنند. این امر در گرو ارزیابی دقیق هزینه-اثر بخشی آن‌ها است [۳].

امکان‌سنجی اقتصادی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیاز به روشی قابل اعتماد و اطمینان دارد تا با بررسی هزینه‌ها، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را از نظر اثر بخشی هزینه‌ها و اقتصادی بودن آن‌ها ارزیابی کند. در سال‌های اخیر مبنای انتخاب یک راه‌حل برای

با افزایش شهرنشینی و تغییر شیوه زندگی و صنعتی شدن، میزان فاضلاب تولید شده در مناطق شهری روبه افزایش است. در کشورهای در حال توسعه مسائلی مثل فقدان منابع مالی کافی، هزینه‌های تصفیه بالا و افزایش میزان فاضلاب تولیدی که بیش از ظرفیت تصفیه‌خانه‌ها هستند، منجر به عدم کارایی مطلوب تصفیه فاضلاب شده که به دنبال آن استفاده طولانی مدت از پساب‌های تصفیه شده دور از استاندارد در بخش کشاورزی، اثرات زیان‌باری بر خاک، منابع آب و سلامت انسان گذاشته است [۱]. علاوه بر توسعه و تعمیم تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، ارتقای کیفیت این قبیل سیستم‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است [۲]. ضروری است مدیران در جهت ارتقاء مدیریت خود نشان دهند

استفاده نمود [۱۹]. نتایج حاصل از مطالعات یوان و همکاران نشان داد که آنالیز هزینه-اثر بخشی بهتر از آنالیز هزینه-منفعت است [۲۰ و ۲۱].

زمانی که اندازه‌گیری دقیق منافع به صورت پولی مشکل باشد، از این روش به‌عنوان یک روش ارزیابی اقتصادی استفاده می‌شود. در این مطالعات از نسبت اثر حذف آلاینده‌ها بر هزینه کل برای محاسبه هزینه-اثر بخشی استفاده شده و با فرض برابر بودن راندمان در گزینه‌های مورد بررسی، مقدار عددی در نظر گرفته شده برای این پارامتر یک است. سانکو و همکاران استفاده از یک سری معادلات را برای پیش‌بینی هزینه‌ها پیشنهاد می‌کنند که بر اساس یک واحد حجم تصفیه شده از فاضلاب بیان می‌شود [۷]. برخی محققان نیز از روش‌هایی استفاده می‌کنند که متکی بر تعداد افراد تحت پوشش و میزان تخلیه روزانه هر نفر است [۲۲]. در برخی مطالعات نیز روش‌های پیچیده‌تر و فرمول‌های تابع هزینه پیشنهاد شده است [۲۳].

با توجه به فرضی بودن برخی فاکتورهای این توابع، پیشنهاد محقق استفاده از هزینه‌های واقعی موجود در سیستم‌های مورد مطالعه است که با استفاده از روش وربن و ووترز^۱ جمع شده و بر اساس یک واحد حجم تصفیه شده از فاضلاب بیان می‌شوند [۲۴ و ۲۵]. با توجه به مطالب گفته شده می‌توان گفت که محقق در این مطالعه سعی کرده با استفاده از کل هزینه‌های واقعی صرف شده در سیستم‌های مورد بررسی و راندمان کاری آنها و همچنین محاسبه بخشی از منافع و زیان‌های حاصل از تصفیه فاضلاب با استفاده از روش هزینه-اثر بخشی، سیستم‌های موجود را مورد مقایسه قرار دهد.

در ایران تصفیه‌خانه‌های زیادی در حال فعالیت هستند که سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی برای هر کدام از آنها انجام شده است؛ ولی همه آنها کارایی لازم را ندارند و نمی‌توانند اهداف مورد نظر طراحی را برآورده کنند.

در این مطالعه، هدف مقایسه هزینه-اثر بخشی تصفیه‌خانه‌های با فرایند لجن فعال (کرمانشاه، پاوه و سرپل ذهاب) با سیستم‌های طبیعی (اسلام‌آباد غرب، گیلانغرب و قصر شیرین) در استان کرمانشاه بود. با انجام ارزیابی‌های هزینه-اثر بخشی این سیستم‌ها می‌توان ضعف‌های این سیستم‌ها را روشن کرد و راهکارهایی برای بهبود آنها ارائه نمود. همچنین می‌توان سیستم‌های اصلاح شده را به مناطقی با شرایط مشابه نیز تعمیم داد.

فرایند تصفیه‌خانه، هزینه کل (مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری) بوده است. با توجه به اینکه راه حلی دارای اولویت است که دارای هزینه قابل قبول تری باشد، یا در مجموع هزینه -اثر بخشی بهتری داشته باشد، امروزه هدف اصلی مهندسان طراح و مشاور، کاهش هزینه‌هاست. مهندسان سعی می‌کنند نرخ بهره‌وری و راندمان کاری و سود ناشی از پروژه‌ها افزایش پیدا کند [۴ و ۵].

یک ارزیابی اقتصادی، مطالعه‌ای است که هزینه‌ها و منافع دو یا چند خدمت یا مداخله جایگزین را مقایسه می‌کند. شناسایی، اندازه‌گیری و ارزش‌گذاری صحیح هزینه‌ها و منافع در اقتصاد، ضروری است. در ارزیابی اقتصادی تمام هزینه‌های مرتبط به یک مداخله در نظر گرفته می‌شود و فقط به بررسی قیمت‌های بازار محدود نمی‌شود. گرچه محاسبه هزینه اقتصادی واقعی مشکل است، اما اطمینان یافتن از اینکه اطلاعات هزینه تا حد ممکن هزینه اقتصادی واقعی را منعکس می‌کند، ضروری است [۶].

برخی مزایای تصفیه قابل محاسبه نیستند زیرا کمی‌سازی نشده‌اند. منافع محیط زیستی و اجتماعی حاصل از تصفیه فاضلاب به خوبی شناخته شده است و در اصطلاحات اقتصادی می‌توان آن‌ها را به‌عنوان سودهای غیر مستقیم دسته‌بندی کرد. با وجود اهمیت آنالیز اقتصادی در زمینه تصفیه فاضلاب، در این پروژه‌ها توجه کمتری به مسائل محیط زیستی و اجتماعی می‌شود و در ارزیابی‌ها تمرکز روی این مسئله نمی‌شود. ارزیابی سود ناشی از حفاظت از محیط زیست و ایجاد رفاه اجتماعی برای امکان‌سنجی اقتصادی پروژه‌ها ضروری است [۷ و ۸]. هزینه‌های واقعی یک سیستم ممکن است بیشتر از هزینه‌های برآورد شده باشد، ولی هدف از برآورد هزینه‌ها مقایسه بین گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه با مدنظر قرار دادن هزینه-اثر بخشی است [۹].

الماسی و همکاران در مطالعات مختلف، مسئله اهمیت سیستم‌های طبیعی تصفیه آب و فاضلاب را برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به وضوح تبیین نموده‌اند [۱۰-۱۶]. از روش‌های موجود در مطالعات محدود آزمایشگاهی که تحلیل داده‌های آنها منحصر به روش‌های بسته بوده، نتایجی به‌دست آمده است که تعمیم آنها به عرصه‌های واقعی بدون اشکال نیست. با این وصف از تحلیل داده‌های فرایندهای آزمایشگاهی یا رومیزی و اندازه‌گیری عمر پروژه می‌توان برای مقایسه فناوری‌های مختلف استفاده نمود [۸، ۹، ۱۷ و ۱۸]. در واقع روش‌های پولی یا منابع مالی به آنالیزهای هزینه-منفعت مربوط می‌شوند؛ در توسعه یک پروژه که هزینه‌بری دارد و منافع تولید می‌شوند، زمانی که دسترسی به مبالغ مالی واقعی مشکل باشد، می‌توان از آنالیز هزینه-اثر بخشی

¹ Verberne and Wouters

۲- روش انجام مطالعه

مستقیم تعدادی هر چند محدود از افراد محلی مشغول به کار می‌شوند که ارزش آن با توجه به تعداد افراد مشغول به کار شده و حقوق پرداختی از سوی اداره کار برای آن‌ها محاسبه شد. برای محاسبه ارزش اثر بر بهداشت و سلامت جامعه و کمی کردن این شاخص در این طرح از اطلاعات مربوط به بیماری‌های منتقله از پساب آلوده از جمله اسهال ساده، اسهال خونی، هپاتیت A و تیفوئید استفاده شد. آمار مربوط به بیماری‌های مذکور در بین جمعیت متأثر (جمعیت شهری و جمعیت روستایی پایین دست تصفیه‌خانه) از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در ده سال از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ از طریق شبکه‌های بهداشت شهرستان‌های مربوطه جمع‌آوری شد و از نظر این که تفاوت میانگین بروز بیماری در دو دوره قبل و بعد از بهره‌برداری تصفیه‌خانه معنی‌دار است یا خیر، مورد آزمون آماری t-test زوجی با اطمینان ۹۵ درصد و اعتماد ۵ درصد قرار گرفت. هزینه‌های، مربوط به بیماری‌ها نیز از روش پایین به بالا که هزینه‌یابی خرد نیز نامیده می‌شود، محاسبه و با توجه به نتایج آزمون آماری هزینه‌های مربوط به کاهش یا افزایش بیماری‌ها محاسبه شد و به‌عنوان شاخص اجتماعی مورد استفاده قرار گرفت.

۴- شاخص محیط زیستی

با توجه به این که پساب تصفیه شده توسط تصفیه‌خانه‌ها طی قراردادی به آب منطقه‌ای فروخته می‌شود، با استفاده از ارزش مندرج برای هر متر مکعب پساب تصفیه شده در این قرارداد، می‌توان ارزش افزایش کمیّت آب را محاسبه نمود. به‌منظور محاسبه ارزش اثر بر کیفیت منابع آب در این طرح از روش محاسبه جرائم محیط زیستی که در سازمان محیط زیست برای برخورد با آلودگی‌ها موجود است، استفاده شد. منافع محیط زیستی حاصل از تصفیه فاضلاب را می‌توان از این روش برای آلودگی کاهش یافته محاسبه کرد و مضرات محیط زیستی ناشی از دفع غیر مجاز پساب به محیط زیست نیز از این روش محاسبه شده و در تعیین هزینه-اثر بخشی تصفیه‌خانه‌ها تأثیر داده می‌شوند.

اطلاعات مربوط به راندمان تصفیه‌خانه‌ها مربوط به تمام دوران بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها تا سال ۹۲ از شرکت‌های آب و فاضلاب و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌ها جمع‌آوری شد و با استفاده از راندمان حذف آلاینده‌ها از جمله BOD_5 ، COD و TSS (پارامترهای مورد نظر شرکت آب و فاضلاب برای بررسی راندمان سیستم‌های تصفیه ثانویه) شاخص کارایی که میانگینی از پارامترهای مذکور است، محاسبه شد [۸ و ۲۶].

اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به راندمان تصفیه‌خانه‌ها در حذف آلاینده‌ها، با استفاده از برنامه آماری SPSS مورد آنالیز قرار

این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی است. از مهم‌ترین روش‌های ارزشیابی در این مطالعه، استفاده از دو شاخص داده‌ها و گرفته‌ها است که باید هر کدام محاسبه و در رابطه قرار گیرند. روش استفاده از این شاخص‌ها را می‌توان روش آورده نهاده نیز نامید. در این روش، میزان هزینه انجام شده و به دنبال آن ارزش به‌دست آمده محاسبه می‌شود. پارامترهای نهاده در این طرح شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری از جمله هزینه‌های ساخت ابنیه، خرید و نصب تجهیزات الکترومکانیکال و همچنین هزینه‌های طراحی پروژه، اجرای پروژه، بهره‌برداری، نگهداری پروژه و نیروی انسانی است که منجر به ایجاد پارامترهای آورده از جمله رفاه اجتماعی، وضعیت محیط زیست، فروش محصولات حاصل از تصفیه، کنترل آلودگی و بیماری‌ها می‌شوند.

اطلاعات هزینه‌ای تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه از شرکت آب و فاضلاب جمع‌آوری شد. این اطلاعات با توجه به شاخص‌های موجود در زمینه ساخت و ساز ابنیه، تجهیزات الکتریکی، تأسیسات مکانیکی و خدمات در سال‌های مختلف، با توجه به سال احداث تصفیه‌خانه‌ها و با استفاده از روش وربن و ووترز که مدلی برای تخمین هزینه نانوفیلتر بر مبنای داده‌های واقعی است، جمع‌آوری شدند [۲۴]. این مدل توسط براگزن و همکاران برای سنجش جنبه اقتصادی یک سیستم تصفیه در حذف آفت‌کش‌ها، نیترات و سختی از آب مورد استفاده قرار گرفت [۲۵]. در این مدل، هزینه کل به‌صورت مجموعه‌ای از پارامترهای هزینه‌ای محاسبه شده است.

به‌منظور داشتن قابلیت مقایسه با یکدیگر، هزینه‌ها یکسان‌سازی شده و به هزینه‌های یک سال مشترک تبدیل می‌شوند. سپس با استفاده از روش هزینه یکنواخت سالانه^۱ که یکی از روش‌های اقتصاد مهندسی برای مقایسه پروژه‌ها با یکدیگر است و در نظر گرفتن دوره طرح ۲۵ سال برای تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، هزینه یکنواخت سالانه برای هر تصفیه‌خانه محاسبه می‌شود. سپس بر اساس روش هزینه-منفعت که یکی از روش‌های اقتصاد مهندسی برای مقایسه اقتصادی انواع پروژه‌ها است، منافع و زیان‌های ایجاد شده توسط پارامترهای آورده، محاسبه و در نهایت با تأثیر دادن کارایی در این نسبت میزان هزینه-اثر بخشی محاسبه می‌شود [۲۰ و ۲۱].

۳- شاخص اجتماعی

در جریان عملیات ایجاد و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها، به‌طور

^۱ Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC)

پساب خروجی از تصفیه‌خانه، b ضریب ریالی آلاینده آب، S_A حساسیت منطقه، S_E حساسیت محیط، n_i تعداد موارد افزایش ابتلا به بیماری i و c_i هزینه درمان فرد مبتلا به بیماری i است.

$$\text{Cost - Effectiveness}_{\text{index}} = \text{Efficiency} \times \frac{\text{Benefits - Losses}}{\text{EUAC}} \quad (3)$$

که در این رابطه

$\text{Cost - Effectiveness}_{\text{index}}$ اندیس هزینه-اثربخشی (بدون واحد)، Efficiency کارایی و EUAC هزینه یکنواخت سالانه است.

مبانی محاسبات مرتبط با هزینه‌ها برگرفته از تجارب ورین و وورترز و براگژن و همکاران است و معادلات تدوین شده در مورد منافع و زیان‌های حاصل از تصفیه با رویکرد اثرات محیط زیستی و اجتماعی با توضیحاتی که ذکر شد، توسط محققان اعمال شده‌اند. مشخصات تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

۳- نتایج و بحث

آزمون آماری T-Test برای مقایسه سیستم‌های لجن فعال با سیستم‌های طبیعی

نتایج حاصل از بررسی راندمان حذف مواد آلی، مواد معلق و راندمان کل در سیستم‌های لجن فعال و سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه نشان می‌دهد که راندمان حذف مواد آلی بیشتر از راندمان حذف مواد معلق بوده است. این مسئله باعث کاهش راندمان کل سیستم‌ها شده است. مقایسه سیستم‌های لجن فعال با سیستم‌های طبیعی با استفاده از آزمون آماری T-Test نشان می‌دهد که میانگین راندمان حذف COD ، BOD_5 ، TSS و راندمان کل در این دو نوع سیستم دارای تفاوت معنی‌دار آماری بوده و سیستم‌های لجن فعال در تمامی پارامترهای مذکور عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند (جدول ۲).

در بررسی میزان هزینه-اثربخشی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه، بر اساس راندمان حذف پارامترهای شیمیایی، فیزیکی و راندمان کل مشخص شد که بیشترین نسبت هزینه-اثربخشی مربوط به هزینه-اثربخشی پارامترهای شیمیایی است و نسبت مربوط به مواد معلق دارای کمترین مقدار هزینه-اثربخشی بوده و نسبت مربوط به راندمان کل را نیز تحت تأثیر قرار داده است.

بین سیستم‌های لجن فعال با سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه در راندمان حذف مواد آلی تفاوت معنی‌داری وجود دارد و سیستم‌های طبیعی قابلیت کمتری در حذف COD نسبت به سیستم‌های لجن فعال دارند. این مورد را می‌توان به تفاوت میزان بار آلی ورودی به

گرفت و با استفاده از آزمون t-test و با اطمینان ۹۵ درصد و اعتماد ۵ درصد، وجود یا عدم وجود تفاوت بین میانگین حذف آلاینده‌ها مشخص شد. در پایان تمام هزینه‌ها، منافع، زیان‌ها و راندمان فرایندهای تصفیه بررسی و شاخص‌های کیفی نیز به نحوی که ذکر شد، کمی‌سازی شد. سپس شاخص هزینه-اثربخشی برای آن‌ها محاسبه و سیستم‌های موجود از نظر این نسبت با هم مقایسه شدند.

۵- محاسبه نسبت هزینه-اثربخشی

هزینه-اثربخشی از طریق روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه می‌شود [۵، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۵]

$$\text{Bemfits} = (Q_{\text{eff}} \times a) + (Q_{\text{p.eff}} \times \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{eff}}}{P_{\text{eff}}} \times b \times S_A \times S_E) + (n \times S) + \sum_{i=1}^{i=n} n_i * c_i \quad (1)$$

که در این رابطه

Benefits منافع حاصل از تصفیه فاضلاب، Q_{eff} دبی سالانه پساب خروجی از تصفیه‌خانه، a قیمت هر متر مکعب پساب فروخته شده توسط شرکت آب و فاضلاب، $Q_{\text{p.eff}}$ دبی سالانه پساب خروجی از تصفیه‌خانه مطابق با شرایط استاندارد، P_{in} میزان آلاینده در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه، P_{eff} میزان آلاینده در پساب خروجی از تصفیه‌خانه، b ضریب ریالی آلاینده آب، S_A حساسیت منطقه: افراد ساکن در منطقه نسبت به تنش معین آسیب‌پذیر باشند، S_E حساسیت محیط: حساسیت محیطی به معنی واکنش آبی اجزای (عناصر) محیطی به تنش معین و بروز تغییرات جزئی و بخشی در شرایط اکولوژیکی است. به عبارت دیگر، حساسیت محیطی درجه‌ای از آسیب‌پذیری یا سهولت تحمل آسیب یا اثرات منفی ناشی از اجرای طرح‌های توسعه در واحدهای محیط زیستی است [۲۷]، n تعداد افرادی که مشغول به کار شده‌اند، S میانگین حقوق شاغلین، n_i تعداد موارد کاهش ابتلا به بیماری i و c_i هزینه درمان فرد مبتلا به بیماری i است.

$$\text{Losses} = (Q_{\text{un.eff}} \times \frac{P_{\text{eff}} - P_{\text{a.t}}}{P_{\text{a.t}}} \times b \times S_A \times S_E) + \sum_{i=1}^{i=n} n_i \times c_i \quad (2)$$

که در این رابطه

Losses ضررهای ناشی از تصفیه نامناسب فاضلاب، $Q_{\text{un.eff}}$ دبی سالانه پساب خروجی از تصفیه‌خانه با شرایط غیر مجاز، P_{eff} میزان آلاینده در پساب خروجی از تصفیه‌خانه، $P_{\text{a.t}}$ حد مجاز آلاینده در

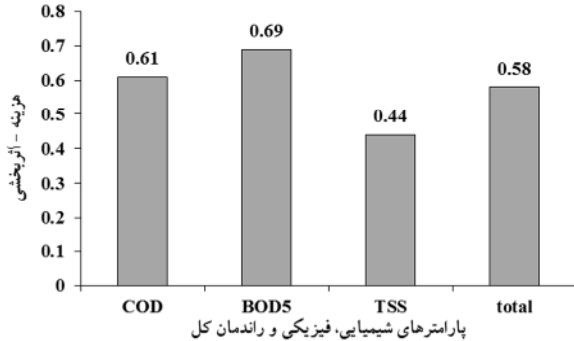
جدول ۱- مشخصات تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استان کرمانشاه*

شهر	کرمانشاه	پاوه	سرپل‌دزهاب	اسلام‌آباد غرب	قصر شیرین	گیلانغرب
جمعیت افق طرح	۱۲۰۰۰۰	۳۲۰۰۰	۵۴۰۰۰	۱۲۰۰۰	۳۰۰۰۰	۳۴۰۰۰
جمعیت فعلی تحت پوشش	۴۰۰۰۰	۱۸۰۰۰	۳۶۰۰۰	۹۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰
سال شروع احداث	۱۳۷۸	۱۳۷۴	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۵	۱۳۸۲
سال شروع بهره‌برداری	۱۳۸۵	۱۳۸۴	۱۳۸۷	۱۳۸۴	۱۳۸۸	۱۳۸۴
دبی ورودی فعلی (مترمکعب در روز)	۶۰۰۰۰	۴۷۰۰	۷۲۰۰	۱۴۰۰۰	۲۲۰۰	۳۴۰۰
نوع فرایند	لجن فعال	لجن فعال هوادهی	لجن فعال هوادهی	برکه‌های تثبیت	نیزار مصنوعی	برکه‌های تثبیت
	متعارف	ممتد	ممتد			
مساحت زمین سایت (هکتار)	۷۸	۲	۲۳	۶۳	۱۴	۲۲

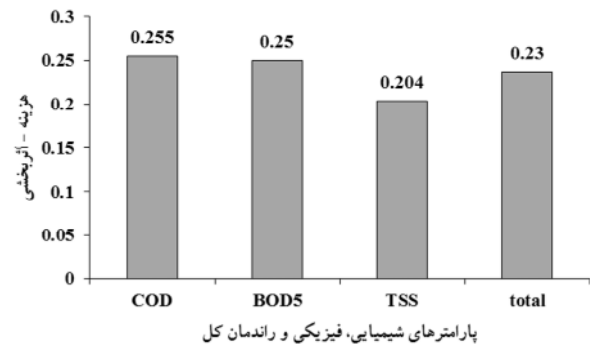
* برگرفته از طرح‌های تفصیلی تصفیه‌خانه‌ها

جدول ۲- نتایج آزمون آماری T-Test برای مقایسه سیستم‌های لجن فعال با سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه در راندمان حذف آلاینده‌ها

پارامتر مورد بررسی	میانگین حذف در سیستم‌های لجن فعال (%)	میانگین حذف در سیستم‌های طبیعی (%)	P-Value	تفسیر نتایج
COD	۸۱/۳۹±۱۸/۴۶	۶۴/۸۴±۱۷/۸۸	<۰/۰۰۱	راندمان حذف COD در سیستم‌های لجن فعال و سیستم‌های طبیعی تفاوت معنی داری دارند.
BOD ₅	۷۹/۲۹±۲۰/۳۵	۷۳/۳۱±۱۴/۹	<۰/۰۰۱	راندمان حذف BOD ₅ در سیستم‌های لجن فعال و سیستم‌های طبیعی تفاوت معنی داری دارند.
TSS	۶۸/۴۲±۲۳/۴۶	۴۶/۵۴±۳۴/۶۷	<۰/۰۰۱	راندمان حذف TSS در سیستم‌های لجن فعال و سیستم‌های طبیعی تفاوت معنی داری دارند.
راندمان کل	۷۶/۳۵±۱۸/۱۹	۶۱/۶۹±۱۹/۰۲	<۰/۰۰۱	راندمان کل تصفیه‌خانه در سیستم‌های لجن فعال و سیستم‌های طبیعی تفاوت معنی داری دارند.



شکل ۲- میزان هزینه-اثربخشی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با سیستم طبیعی به تفکیک راندمان حذف آلاینده‌ها



شکل ۱- میزان هزینه-اثربخشی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با سیستم لجن فعال به تفکیک راندمان حذف آلاینده‌ها

جدول ۳- نتایج حاصل از محاسبات هزینه-اثربخشی به تفکیک سیستم‌های لجن فعال و طبیعی

سیستم تصفیه	EUAC (میلیون ریال)	Cost/m ³ (ریال بر مترمکعب)	Cost-Effectiveness _{index}
سیستم‌های لجن فعال	۱۴۱۷۱۸/۲	۵۴۰۰/۱۲	۰/۲۳
سیستم‌های طبیعی	۲۶۸۱۴/۱۸	۳۷۴۸/۱۳	۰/۵۸

این دو سیستم نسبت داد، زیرا میزان بار آلی ورودی به سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه تقریباً بیش از دو برابر بار آلی ورودی به سیستم‌های لجن فعال است. همچنین در راندمان حذف TSS نیز تفاوت معنی داری بین سیستم‌های مورد مطالعه دیده می‌شود. سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه در حذف مواد معلق دارای کارایی خوبی نیستند و در مقایسه با سیستم‌های لجن فعال از راندمان پایین‌تری برخوردار هستند. پس از بررسی نتایج، مشخص شد که

هزینه‌ای در فرایندهای تصفیه فاضلاب نشان داد که میانگین کارایی برای سیستم‌های با ظرفیت کمتر از ۵۰۰۰۰ مترمکعب فاضلاب تصفیه شده که شامل ۷۹ تصفیه‌خانه است، ۰/۳۳۲۲ و برای سیستم‌های با ظرفیت بیش از ۵۰۰۰۰۰ مترمکعب فاضلاب تصفیه شده که شامل ۱۶ تصفیه‌خانه است ۰/۹۰۵۱ به دست آمد. در این مطالعه میانگین کارایی برای کل ۳۳۸ تصفیه‌خانه ۰/۴۱۸۷ حاصل شد. همچنین محققان تأیید کرده‌اند که بزرگ‌ترین تصفیه‌خانه‌ها کاراتر از تصفیه‌خانه‌های کوچک‌تر بودند [۱۷]. تصفیه‌خانه‌های استان کرمانشاه به جز تصفیه‌خانه کرمانشاه برای جمعیت کمتر از ۵۰۰۰۰ نفر طراحی شده و در حال فعالیت هستند و جمعاً کارایی بهتری نسبت به مطالعه هر ناندس-سانکو و سالا-گاریدو نشان داده‌اند.

در مطالعه‌ای که توسط مانیو و همکاران در سال ۲۰۰۸ در ایتالیا در رابطه با یک آنالیز هزینه-اثر بخشی سیستم‌های تصفیه فاضلاب و تلندهای نیمه‌طبیعی و لجن فعال انجام شد و سه تصفیه‌خانه با فرایند وتلند و سه تصفیه‌خانه با فرایندهای لجن فعال مورد مقایسه قرار گرفتند، مشخص شد که در وتلندهای مورد مطالعه با متوسط جریان ۲۵۹۵ مترمکعب در روز، راندمان حذف COD برابر ۳۹/۵۳ درصد، راندمان حذف BOD₅ برابر ۱۲/۰۴ درصد، راندمان کل برابر ۳۶/۲۲ درصد و راندمان حذف TSS برابر ۵۷/۰۹ درصد است که در مقایسه با سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه، راندمان پایین‌تری در حذف مواد آلی و همچنین راندمان کل و راندمان بهتری در حذف مواد معلق دارند. نتایج به دست آمده توسط این محقق که با مطالعه حاضر همخوانی دارد نشان می‌دهند که برای تصفیه ثانویه فاضلاب، وتلند با فناوری‌های تصفیه سنتی به طور اقتصادی قابل رقابت است. هزینه‌های نگهداری بالا در سیستم‌های بیوتکنولوژیکال مربوط به نیاز ثابت به مانیتورینگ و مصرف انرژی برای نگهداری فرایندهای عملکردی مورد نیاز است. در مقابل وتلند، سیستم تصفیه چند عملکردی شبیه به اکوسیستم‌های طبیعی است که هزینه‌های دفع و مصرف انرژی کمتری دارد [۱۹].

هزینه صرف شده برای ایجاد تصفیه‌خانه به ازای هر مترمکعب فاضلاب در سیستم‌های لجن فعال ۱/۴۴ برابر سیستم‌های طبیعی است. با افزایش جمعیت تحت پوشش تصفیه‌خانه‌ها، سرانه هزینه ایجاد تصفیه‌خانه به ازای هر مترمکعب فاضلاب کاهش می‌یابد و مشاهده می‌شود که سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه دارای هزینه‌های کمتری است. این موضوع را می‌توان به هزینه‌های پایین در خرید تجهیزات الکترومکانیکال و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری در این سیستم‌ها نسبت داد. هزینه‌های خرید تجهیزات

مکانیسم غالب کاهش جامدات معلق در برکه‌های بی‌هوایی، ته‌نشینی است، که به دلیل زمان ماند نسبتاً بالا به راحتی فراهم می‌شود. در پساب برکه‌های تثبیت، جلبک بخش بیشتر مواد معلق را شامل می‌شود (بیش از ۸۰ درصد). میزان بالایی از جامدات معلق خروجی برکه‌های اختیاری مربوط به توده جلبکی است و نمی‌توان آن را مانند جامدات معلق فاضلاب ورودی به حساب آورد. بر همین اساس، طبق ضوابط اتحادیه اروپا، پساب خروجی از برکه‌ها می‌تواند تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جامدات معلق داشته باشد ولی در مورد پساب سایر روش‌های تصفیه، غلظت جامدات معلق در پساب باید به کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر برسد که این مسئله هم نشان دهنده اختلاف جامدات معلق جلبکی و جامدات معلق غیر جلبکی است [۲۸]. در مطالعه الماسی و همکاران نیز به این موضوع اشاره شده است که کیفیت پساب برکه تثبیت از نظر مواد معلق کاملاً با پساب دیگر فرایندهای تصفیه بیولوژیکی متفاوت است [۲۹]. در مطالعه اربابی و زاهدی نیز چنین موضوعی تأیید شده و کارایی کل سیستم در حذف جامدات معلق ۱۰/۲ درصد گزارش شده است که از راندمان حذف TSS سیستم‌های برکه تثبیت مطالعه حاضر نیز کمتر است [۳۰]. به همین دلیل از بین سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه در پساب خروجی از برکه‌های تثبیت نباید مشکلی از نظر حذف TSS قائل شد.

نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر حاکی از عملکرد ضعیف‌تر سیستم‌های لجن فعال مورد بررسی در استان کرمانشاه است، به طوری که با دیگر مطالعات نسبتاً مشابه در نقاط مختلف کشور همخوانی ندارد. در مطالعه‌ای که توسط ززولی و همکاران انجام شد، عملکرد سیستم لجن فعال در استان گلستان در حذف COD، ۹۸/۲ درصد و در حذف TSS برابر ۹۷/۶ درصد به دست آمد [۳۱] که نشان دهنده عملکرد بسیار خوب آن‌ها در مقایسه با سیستم‌های لجن فعال در مطالعه حاضر است. در مطالعه دیگری که توسط محمودیان و همکاران صورت گرفت، عملکرد سیستم لجن فعال در شهر قم برای حذف COD، ۹۲/۹ درصد و برای حذف TSS برابر ۸۲ درصد به دست آمد [۳۲]. مهربادی و احمدی نشان دادند که راندمان حذف COD توسط سیستم لجن فعال ۸۶/۹ درصد و راندمان حذف BOD₅ ۹۰/۵ درصد و حذف TSS، ۹۳/۳ درصد است [۳۳]. به نظر می‌رسد ضعف و عدم کارایی مطلوب که منجر به پایین افتادن نسبت هزینه-اثر بخشی شده، اغلب به علل عدم رعایت پارامترهای بارگذاری و کم توجهی به ضوابط بهره‌برداری و نگهداری است.

نتایج حاصل از تحقیق هر ناندس-سانکو و سالا-گاریدو در سال ۲۰۰۹ در منطقه والنسیا در رابطه با کارایی تکنیکی و آنالیز

الکترومکانیکال مورد نیاز در تصفیه‌خانه‌های با سیستم لجن فعال، چندین برابر تصفیه‌خانه‌های طبیعی است که این مقدار در دو سیستم تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند. سادگی فرایند و هزینه کم در سیستم‌های طبیعی قابلیت رقابت آنها را با سیستم‌های متعارف تصفیه فاضلاب افزایش می‌دهد و در مناطقی که زمین مناسب ارزان در دسترس، و شرایط آب و هوایی مهیا باشد، سیستم طبیعی تصفیه فاضلاب از بهترین گزینه‌های پیشنهادی است.

در بررسی جزئیات مرتبط با هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه صرف شده به ازای هر مترمکعب فاضلاب، مصرف انرژی در سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب بسیار پایین خواهد بود. با توجه به این که در این سیستم‌ها، تجهیزات الکترومکانیکال بسیار کمتری در مقایسه با سایر فرایندهای تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، در مصرف انرژی نیز کاهش بسیار زیادی ملاحظه می‌شود که این کاهش در مصرف انرژی، کاهش در هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه را در پی دارد.

نتایج مطالعه رودریگوز نشان دهنده هزینه‌های کل و بهره‌برداری بسیار بالا در سیستم‌های لجن فعال در مقایسه با سیستم‌های مورد بررسی حاضر است که دلایل عمده این تفاوت را می‌توان به هزینه‌های بیشتر مانیتورینگ در سیستم‌های اسپانیا، دفع زائدات و مصرف انرژی در سیستم‌های لجن فعال نسبت داد [۸].

طی مطالعه‌ای که توسط مولینوس-سنانت و همکاران در سال ۲۰۱۰ در اسپانیا با موضوع امکان‌سنجی اقتصادی تصفیه فاضلاب با آنالیز هزینه-منفعت انجام شد، هزینه بهره‌برداری برای تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه ۰/۳ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده است. همچنین در این مطالعه، تصفیه‌خانه‌ها از نظر حذف مواد مغذی به دو گروه تقسیم شدند. هزینه بهره‌برداری برای تصفیه‌خانه‌های بدون حذف مواد مغذی برابر ۰/۲۴۹۳ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده و برای تصفیه‌خانه‌های با حذف مواد مغذی (نیترژن و فسفر) برابر ۰/۲۶۲۶ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده است [۳۴]. این در حالی است که هزینه بهره‌برداری سالانه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استان کرمانشاه که همگی تصفیه‌خانه‌های بدون حذف مواد مغذی هستند برابر ۰/۰۲ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده به دست آمده است و تفاوت بسیار زیادی بین نتایج این دو مطالعه مشاهده می‌شود. همچنین قابل ذکر است که هزینه کل ایجاد تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در استان برابر ۰/۱۹ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده است که مقدار آن حتی کمتر از هزینه بهره‌برداری سالانه سیستم‌های مورد مطالعه مولینوس-سنانت و همکاران است. همچنین در مطالعه مولینوس-سنانت کل مزایای محیط‌زیستی حاصل از ۲۲

تصفیه‌خانه فاضلاب مورد مطالعه با استفاده از روش محاسبه قیمت سایه، ۰/۴۹۲۴ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده است که ۲۱ درصد آن مربوط به مزایای محیط زیستی حاصل از حذف فسفر، ۴۶ درصد مربوط به مزایای محیط زیستی حاصل از حذف نیترژن، ۱۲ درصد مربوط به مزایای محیط زیستی حاصل از حذف COD و ۰/۲ درصد مربوط به مزایای محیط زیستی حاصل از حذف مواد معلق است، به عبارتی می‌توان گفت که سود محیط زیستی حاصل از حذف، برابر ۰/۰۶ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده است [۳۴]. در حالی که کل مزایای محیط زیستی حاصل از حذف مواد آلی در تصفیه‌خانه‌های استان کرمانشاه در مطالعه حاضر برابر ۰/۳۰۰۴ دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده به دست آمده است. همان‌طور که قبلاً گفته شد این میزان برای BOD₅ حذف شده محاسبه شده است. تفاوت بسیار زیاد در مقدار حاصل از این دو مطالعه ممکن است به روش محاسبه سود محیط زیستی مربوط شود.

در تمامی موارد، در سیستم‌های لجن فعال و سیستم‌های طبیعی مورد مطالعه؛ مقادیر سرانه ایجاد تصفیه‌خانه به ازای هر مترمکعب فاضلاب مورد تصفیه، با دبی مورد بهره‌برداری و جمعیت تحت پوشش آنها همخوانی دارد. به این معنی که با افزایش جمعیت و دبی مورد بهره‌برداری، میزان سرانه ایجاد تصفیه‌خانه به ازای هر مترمکعب فاضلاب کاهش یافته است. در مقایسه سیستم‌های لجن فعال و طبیعی با وجود تفاوت تقریباً یک و نیم برابری در میزان ایجاد تصفیه‌خانه به ازای هر مترمکعب فاضلاب مورد تصفیه در سیستم‌های لجن فعال نسبت به سیستم‌های طبیعی، میزان هزینه-اثر بخشی در سیستم‌های لجن فعال تقریباً برابر نیمی از این میزان در سیستم‌های طبیعی است.

در سیستم‌های لجن فعال مشاهده می‌شود که میزان هزینه-اثر بخشی مربوط به مواد آلی بیشتر از هزینه-اثر بخشی مربوط به مواد معلق است. مشابه این اتفاق در سیستم‌های طبیعی نیز رخ داده و هزینه-اثر بخشی مواد آلی ۱/۴۷ برابر هزینه-اثر بخشی مواد معلق است.

در محاسبه نسبت هزینه-اثر بخشی، بهترین حالت برای مقدار کارایی که در فرمول محاسبات قرار می‌گیرد، برابر یک است. این مقدار زمانی به دست می‌آید که تصفیه‌خانه‌ها با راندمان ۱۰۰ درصد کار کند. قابل ذکر است که این وضعیت ایده‌آل در هیچ‌یک از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه مشاهده نشده است و دستیابی به این هدف ایده‌آل کمی سخت است؛ به این ترتیب نتیجه گرفته می‌شود که راندمان موجود در تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه باعث کاهش نسبت هزینه-اثر بخشی می‌شود و این مورد با اثر منفی راندمان

مهم‌ترین عامل در این موفقیت را می‌توان به هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری پایین‌تر سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب نسبت به سیستم‌های لجن فعال نسبت داد؛ به طوری که میزان هزینه صرف شده به ازای هر متر مکعب فاضلاب تصفیه شده در سیستم‌های طبیعی تقریباً ۷۰ درصد هزینه صرف شده به ازای هر متر مکعب فاضلاب تصفیه شده در سیستم لجن فعال است.

۵- قدردانی

به این وسیله نویسندگان این مقاله از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمانشاه به خاطر تأمین هزینه‌های مالی این طرح تحقیقاتی (با شماره ثبت ۹۲۱۲۲ به‌عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط) و کارکنان محترم شرکت آب و فاضلاب استان برای همکاری در انجام این تحقیق، قدردانی می‌نمایند.

تصفیه‌خانه بر نسبت هزینه-اثربخشی بیان می‌شود. در سیستم‌های لجن فعال مورد بررسی، این اثر برابر ۳۴ درصد است. همچنین می‌توان گفت که با افزایش راندمان کل این سیستم‌ها از مقدار ۷۳ درصد به ۹۰ درصد می‌توان حداقل ۲۱ درصد نسبت هزینه-اثربخشی را افزایش داد. در سیستم‌های طبیعی مورد بررسی، اثر منفی راندمان برابر ۳۶ درصد است و با افزایش راندمان کل این سیستم‌ها از مقدار ۶۱ درصد به ۹۰ درصد می‌توان حداقل ۴۶ درصد نسبت هزینه-اثربخشی را افزایش داد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، برآیند نتایج به دست آمده نشان داد که اگر چه راندمان سیستم‌های لجن فعال تا حدودی بیشتر از سیستم‌های طبیعی است، هزینه-اثربخشی سیستم‌های طبیعی ۲/۵ برابر سیستم‌های لجن فعال مورد مطالعه است. این نتایج نشان‌دهنده برتری سیستم‌های طبیعی در بحث هزینه-اثربخشی است که

۶- مراجع

1. Mekala, G.D., Davidson, B., Samad, M., and Boland, A.M. (2008). "A framework for efficient wastewater treatment and recycling systems." *International Water Management Institute (IWMI)*, Colombo, Sri Lanka, 10-20.
2. Giurco, D., Bossilkov, A., Patterson, J., and Kazaglis, A. (2011). "Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities." *J. of Cleaner Production*, 19(8), 867-876.
3. Hadian, M., Mohammadzade, A., Emani, A., and Golestani, M. (2009). "Estimated cost analysis and accounting services using reductive-stage, Fatemiyeh Hospital, Semnan University of Medical Sciences in 1385." *J. Health Management*, 12(37), 39-49. (In Persian)
4. Mardan, S., and Tofighi, H. (2007). "The economic design and operation of industrial wastewater treatment plant." *Public Relations and International Affairs of Iran Small Industries and Industrial Parks*, 1th Ed., 7-20. (In Persian)
5. Oskonezhad, M. (2009). *Engineering economics*, 2nd Ed., Amir Kabir University, Tehran. (In Persian)
6. Elliott, R., and Payne, K. (2005). *Essentials of economic evaluation in health care*, Pharmaceutical Press, UK.
7. Hernandez Sancho, F., Molinos Senante, M., and Sala Garrido, R. (2011). "Cost modelling for wastewater treatment processes." *Desalination*, 268(1-3), 1-5.
8. Rodriguez, Garcia, G., Molinos Senante, M., Hospido, A., Hernández Sancho, F., Moreira, M.T., and Feijoo, G. (2011). "Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants." *Water Research*, 45(18), 5997-6010.
9. Benedetti, L., Bixio, D., and Vanrolleghem, P.A. (2006). "Assessment of WWTP design and upgrade options: Balancing costs and risks of standards' exceedance." *Water Science and Technology*, 54(6,7), 371-378.
10. Almasi, A., and Pescod, M.B. (1996). "Pathogen removal mechanisms in anoxic wastewater stabilization ponds." *Water Science and Technology*, 33(7), 133-140.

11. Almasi, A., and Pescod, M.B. (1996). "Wastewater treatment mechanisms in anoxic wastewater stabilization ponds." *Water Science and Technology*, 33(7), 125-132.
12. Almasi, A., Zarrabi, M., and Meskini, H. (1997). "Compatibility rate of three laboratory methods for enumerating thermo-tolerant coliforms in water resources." *J. of Water and Wastewater*, 20-2 (70), 75-79. (In Persian)
13. Almasi, A., Pirsaeheb, M., and Dargahi, A. (2012). "The efficiency of anaerobic wastewater stabilization pond in removing phenol from kermanshah oil refinery Wastewater." *Iran. J. Health and Environ.*, 5(2), 41-49. (In Persian)
14. Derayat, J., Almasi, A., Sharafi, K., and Meskini, H. (2012). "A comparison of the efficiency of natural wastewater treatment plants in removal of protozoan cysts and parasitic eggs." *J. of Water and Wastewater*, 24-2, (86), 11-18. (In Persian)
15. Almasi, A., Dargahi, A., and Pirsaeheb, M. (2012). "The effect of different concentrations of phenol on anaerobic stabilization pond performance in treating petroleum refinery wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 24-1 (86), 61-68. (In Persian)
16. Dargahi, A., Almasi, A., Mahmoodi, M., and Khamootian, R. (2012). "Performance of the facultative stabilization pond in removing phenol from oil refinery effluent." *J. of Water and Wastewater*, 25-6 (94), 114-121.
17. Hernández Sancho, F., and Sala Garrido, R. (2009). "Technical efficiency and cost analysis in wastewater treatment processes: A DEA approach." *Desalination*, 249(1), 230-234.
18. Benedetti, L., Bixio, D., and Vanrolleghem, P.A. (2006). "Benchmarking of WWTP design by assessing costs, effluent quality and process variability." *Water Science and Technology*, 54(10), 95-102.
19. Mannino, I., Franco, D., Piccioni, E., Favero, L., Mattiuzzo, E., and Zanetto, G. (2008). "A cost-effectiveness analysis of seminatural wetlands and activated sludge wastewater-treatment systems." *Environmental Management*, 41, 118-129.
20. Yuan, Z., Jiang, W., Bi, J. (2010). "Cost-effectiveness of two operational models at industrial wastewater treatment plants in China: A case study in Shengze town, Suzhou City." *J. of Environmental Management*, 91(10), 2038-2044.
21. Yuan, Z., Zhang, L., and Bi, J. (2010). "Which is more cost-effective? A comparison of two wastewater treatment models in China-Singapore Suzhou industrial park, China." *J. of Cleaner Production*, 18(13), 1270-1275.
22. Sipala, S., Mancini, G., and Vagliasindi, F.G.A. (2005). "Development of a web-based tool for the calculation of costs of different wastewater treatment and reuse scenarios." *Water Science and Technology, Water Supply*, 3 (4), 89-96.
23. Chen, H., and Chang, N. (2002). "A comparative analysis of methods to represent uncertainty in estimating the cost of constructing wastewater treatment plants." *J. of Environmental Management*, 65, 383-409.
24. Verberne, A.J.P., and Wouters, J.W. (1993). "Membraanfiltratie voor de drinkwaterbereiding: Economische optimalisatie van ontwerpparameters." *H₂O*, 26(4), 383-387.
25. Bruggen, V.D., Everaert, K., Wilms, D., and Vandecasteele, C. (2001). "Application of nonofiltration for removal of pesticides, nitrate and hardness from ground water: Rejection properties and economic evaluation." *J. Membr Sci.*, 193 (2), 239-248.
26. Ovnaqh, M. (1995). "Classification of environmental sensitivity maps." *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 3 (2), 9-28.

27. Colmenarejo, M.F., Rubio, A., Sánchez, E., Vicente, J., García, M.G., and Borja, R. (2006). "Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain)." *J. of Environmental Management*, 81(4), 399-404.
28. Sperling, M.V. (2007). *Biological wastewater treatment, Vol. 3 : Waste stabilisation ponds*, IWA Publishing, New Delhi.
29. Almasi, A., Sharafi, K., Hazrati, S., and Fazlzadehdavil, M. (2013). "A survey on the ratio of effluent algal BOD concentration in primary and secondary facultative ponds to influent raw BOD concentration." *Desalination and Water Treatment*, 53 (13), 3475-3481.
30. Arbabi, M., and Zahedi, M. (1998). "Performance evaluation of stabilization ponds in urban wastewater treatment (in cooling climate)." *Second Congress of Environmental Health, Tehran University of Medical Sciences*, Tehran. (In Persian)
31. Zazouli, M., Ghahramani, E., GhorbanianAlahabad, M., Nikouie, A., and Hashemi, M. (2010). "Survey of activated sludge process performance in treatment of Agghala industrial town wastewater in Golestan province in 2007." *IJHE*, 3(1), 59-66. (In Persian)
32. Mahmodian, M., Fahiminia, M., Sepehrnia, B., and Heidari A. (2008). "Evaluate the current status and performance of wastewater treatment plants, industrial park shokoochieh Qom-in-1386." *Eleventh National Conference on Environmental Health, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan*. (In Persian)
33. Mehrdadi, N., and Ahmadi, M. (2000). "Review the operation of wastewater treatment Qods (West) and the solutions to it." *J. of Water and Wastewater*, 13-3 (39), 41-52. (In Persian)
34. Molinos Senante, M., Hernández Sancho, F., and Sala Garrido, R. (2010). "Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost-benefit analysis." *Science of The Total Environment*, 408(20), 4396-4402.