Archive of SID

مقایسهٔ هزینهٔ اثربخشی سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب لجن فعال متعارف و برکه‌های تثبیت (مطالعهٔ موردی: تصفیه‌خانه‌های شهر کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب و گیلان‌غرب)

علی الماسی[۱]، عبداله درگاهی[۲*]، مرضیه نادری[۳]، امیرحسین هاشمیان[۴]، سهراب دل‌انگیزان[۵]

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۲. دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۳. کارشناس‌ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۴. دانشیار، آمار زیستی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۵. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱ دی ۱۳۹۴
تاریخ پذیرش: ۱۲ اسفند ۱۳۹۴

چکیده

اهداف به‌منظور امکان‌سنجی اقتصادی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، روشی با قابلیت ارزیابی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از نظر اثربخشی هزینه‌ها و اقتصادی‌بودن آن لازم است. با انجام تجزیه‌وتحلیل هزینهٔ اثربخشی می‌توان تصمیم‌های اصولی برای رسیدن به اهداف مورد نظر اتخاذ کرد. هدف از این مطالعه مقایسهٔ هزینهٔ اثربخشی سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب با فرایندهای لجن فعال متعارف (کرمانشاه) و برکه‌های تثبیت (اسلام‌آباد غرب و گیلان‌غرب) در استان کرمانشاه است.

مواد و روش‌ها این مطالعه توصیفی- تحلیلی است. اطلاعات مربوط به تصفیه‌خانه‌ها از شرکت‌های آب و فاضلاب و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌ها جمع‌آوری و با استفاده از برنامهٔ آماری SPSS تجزیه‌وتحلیل آماری شد. تمامی هزینه‌ها و راندمان فرایندهای تصفیه بررسی و شاخص هزینهٔ اثربخشی آن محاسبه و سیستم‌ها از نظر این نسبت با هم مقایسه شد.

یافته‌ها نتایج نشان داد میانگین راندمان کل که حاصل میانگین حذف پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی است- از جمله مواد معلق کل و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی- در سیستم‌های لجن فعال متعارف و برکه‌های تثبیت به‌ترتیب برابر با ۷۳/۴۱±۲۴/۱۱ و ۶۳/۸۶±۱۰/۰۸ به‌دست آمد. میزان هزینهٔ اثربخشی در این سیستم‌ها نیز به‌ترتیب ۰/۱۹۸ و ۰/۹۶۵ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری با توجه به نتایج می‌توان گفت که سیستم برکه‌های تثبیت با وجود راندمان پایین‌تر نسبت به سیستم‌های لجن فعال هزینهٔ اثربخشی بهتری دارد که نشان‌دهندهٔ موفقیت بهتر این سیستم در بحث هزینهٔ اثربخشی است. مهم‌ترین عامل در این موفقیت را می‌توان به هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایین‌تر نسبت به سیستم‌های لجن فعال نسبت داد.

کلیدواژه‌ها:
استان کرمانشاه، سیستم‌های تصفیه، هزینهٔ اثربخشی.

مقدمه

با افزایش شهرنشینی و تغییر شیوهٔ زندگی و صنعتی‌شدن، میزان فاضلاب تولیدشده در مناطق شهری رو به افزایش است. در کشورهای درحال‌توسعه مسائلی مثل فقدان منابع مالی کافی، هزینه‌های تصفیهٔ بالا و افزایش میزان فاضلاب تولیدیِ بیش از ظرفیت تصفیه‌خانه‌ها به ناکارایی مطلوب تصفیهٔ فاضلاب می‌انجامد و به‌دنبال آن استفادهٔ طولانی‌مدت از پساب‌های تصفیه‌شده دور از استاندارد در بخش کشاورزی آثار زیانباری بر خاک، منابع آب و سلامت انسان دارد [۱]. علاوه‌بر توسعه و تعمیم تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، ارتقای کیفیت این

* **نویسندهٔ مسئول: عبداله درگاهی**
نشانی: همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکدهٔ بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط
تلفن: ۰۹۱۴۱۵۹۷۶۰۷
رایانه: a.dargahi29@yahoo.com

مجلهٔ علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دورهٔ ۲۴، شمارهٔ ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۶، ص ۱۱۵-۱۲۱.
آدرس سایت: http://jsums.medsab.ac.ir رایانامه: journal@medsab.ac.ir
شاپای چاپی: ۷۴۸۷-۱۶۰۶

www.SID.ir

Archive of SID

قبیل سیستم‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است [۲].

ضروری است مدیران در ارتقای مدیریت خود نشان دهند این واحدها تا چه حد و چگونه به اهداف مورد نظر دسترسی پیدا کرده‌اند. هزینه‌یابی و تجزیه‌وتحلیل هزینه‌ها ابزار مدیریتی مؤثری است که مدیران به‌کار می‌گیرند و یاری‌رسان آن‌ها در تخصیص بهینهٔ منابع مالی و بهره‌برداری حداکثر از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده است که یکی از مهم‌ترین وظایف مدیران نیز محسوب می‌شود تا از کارایی مطلوب سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب اطمینان پیدا کنند. این امر در گرو ارزیابی دقیق هزینه- اثربخشی است [۳].

به‌منظور امکان‌سنجی اقتصادی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیاز به روشی برای بررسی هزینه‌ها و دارای قابلیت ارزیابی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از نظر اثربخشی هزینه‌ها و اقتصادی بودن آن مشهود است. در سال‌های اخیر مبنای انتخاب راه‌حلی برای فرایند تصفیه‌خانه هزینهٔ کل است، یعنی مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری. ولی راه‌حلی اولویت دارد که دارای هزینهٔ قابل‌قبول‌تری باشد یا در مجموع هزینهٔ اثربخشی 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].

ارزیابی اقتصادی مطالعه‌ای است که هزینه‌ها و منافع دو یا چند خدمت یا مداخلهٔ جایگزین را مقایسه کند. شناسایی، اندازه‌گیری و ارزش‌گذاری صحیح هزینه‌ها و منافع در اقتصاد ضروری است. محاسبهٔ هزینهٔ اقتصادی واقعی مشکل است، اما اطمینان‌یافتن از اینکه اطلاعات هزینه تا حد ممکن هزینهٔ اقتصادی واقعی را منعکس می‌کند ضروری است [۶].

برخی مزایای تصفیه قابل‌محاسبه نیست، زیرا کمّی‌سازی نشده است. منافع محیط‌زیستی حاصل از تصفیهٔ فاضلاب به‌خوبی شناخته شده است و در اصطلاحات اقتصادی می‌توان آن را سودهای غیرمستقیم دسته‌بندی کرد. با وجود اهمیت آنالیز اقتصادی در زمینهٔ تصفیهٔ فاضلاب در این پروژه‌ها توجه کمتری به مسائل محیط‌زیستی و اجتماعی می‌شود و در ارزیابی‌ها تمرکزی بر این مسئله نمی‌شود [۷ و ۸].

در کشور ایران تصفیه‌خانه‌های زیادی در حال فعالیت است و سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی برای هر کدام انجام شده است، ولی همهٔ آن‌ها کارایی لازم را ندارد و نمی‌توانند اهداف مورد نظر طراحی را برآورده کنند [۹]. در این مطالعه، هدف مقایسهٔ هزینه- اثربخشی سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب با فرایندهای لجن فعال متعارف (کرمانشاه) و برکه‌های تثبیت (اسلام‌آباد غرب و گیلان‌غرب) در استان کرمانشاه است. با انجام ارزیابی‌های هزینه– اثربخشی این سیستم‌ها می‌توان ضعف‌های سیستمی را روشن و راهکارهایی برای بهبود آن ارائه کرد. همچنین، می‌توان سیستم‌های اصلاح‌شده را به جایگاه‌های دیگر با شرایط مشابه نیز تعمیم داد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی- تحلیلی است. از مهم‌ترین روش‌های ارزشیابی در این مطالعه استفاده از دو شاخص داده‌ها و گرفته‌هاست که باید هر کدام محاسبه شود و در رابطه قرارگیرد. روش استفاده از این شاخص‌ها را می‌توان روش آوردهٔ نهاده نامید. در این روش محاسبه می‌شود که چقدر هزینه شده است و به‌دنبال آن چقدر ارزش به‌دست می‌آید. پارامترهای نهاده در این طرح شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری است، از جمله هزینه‌های ساخت ابنیه، خرید و نصب تجهیزات الکترومکانیکال، همچنین هزینه‌های طراحی پروژه، اجرای پروژه، بهره‌برداری، نگهداری پروژه و نیروی انسانی که منجر به ایجاد پارامترهای آورده شود، از جمله رفاه اجتماعی، وضعیت محیط‌زیست، فروش محصولات حاصل از تصفیه، کنترل آلودگی و بیماری‌ها.

اطلاعات هزینه‌ای تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه از شرکت آب و فاضلاب جمع‌آوری شد و با توجه به شاخص‌های موجود در زمینهٔ ساخت‌وساز ابنیه، تجهیزات الکتریکی، تأسیسات مکانیکی و خدمات در سال‌های مختلف با توجه به سال احداث تصفیه‌خانه‌ها و با استفاده از روش وربن و ووترز هزینهٔ کل به‌صورت مجموعه‌ای از پارامترهای هزینه‌ای محاسبه شد. به‌منظور داشتن قابلیت مقایسه با یکدیگر، هزینه‌ها یکسان‌سازی و به هزینه‌های یک سال مشترک تبدیل شد. سپس، با استفاده از روش هزینهٔ یکنواخت سالیانه (Equivalent Uniform Annual Cost: EUAC) که یکی از روش‌های اقتصاد مهندسی برای مقایسهٔ پروژه‌ها با یکدیگر است و درنظرگرفتن دورهٔ طرح ۲۵ سال برای تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، هزینهٔ یکنواخت سالیانه برای هر تصفیه‌خانه محاسبه شد. سپس، بر اساس روش هزینه- منفعت که یکی از روش‌های اقتصاد مهندسی برای مقایسهٔ اقتصادی انواع پروژه‌هاست، منافع و زیان‌های ایجادشده با پارامترهای آورده محاسبه شد و در نهایت با تأثیر دادن کارایی در این نسبت میزان هزینه- اثربخشی به‌دست آمد [۵، ۱۰ و ۱۱].

شاخص اجتماعی

ایجاد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب زمینه‌ساز رغبت و امید به زندگی

www.SID.ir

Archive of SID

مردم در شهر است. این امر نه‌تنها از مهاجرت جلوگیری می‌کند، بلکه باعث جذب مردم و توسعه و رونق شهرها می‌شود و قطعاً افزایش احساس امنیت و رفاه مردم منطقه را در پی دارد. در جریان عملیات ایجاد و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها به‌طور مستقیم، تعدادی هر چند محدود از افراد محلی مشغول به‌کار می‌شوند که ارزش آن با توجه به تعداد افراد گرفته‌شده به کار و حقوق پرداختی از سوی ادارهٔ کار محاسبه می‌شود. همچنین، به‌طور غیرمستقیم بر اشتغال مردم اثر مثبت دارد مانند ایجاد اشتغال در اثر افزایش میزان آب در دسترس که باعث افزایش سطح زیر کشت و ایجاد مزارع پرورش آبزیان می‌شود.

برای محاسبهٔ ارزش اثر بر بهداشت و سلامت جامعه و کمّی‌کردن این شاخص در این طرح از اطلاعات مربوط به بیماری‌های انتقالی از پساب‌آلوده استفاده شد، از جمله اسهال ساده، اسهال خونی، هپاتیت A و تیفوییید. آمار مربوط به بیماری‌های مذکور در بین جمعیت (جمعیت شهری و جمعیت روستایی پایین‌دست تصفیه‌خانه) متأثر از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در ده سال (۱۳۸۰-۱۳۹۰) از طریق شبکه‌های بهداشت شهرستان‌های مربوط جمع‌آوری شد و از نظر اینکه تفاوت میانگین بروز بیماری در دو دورهٔ قبل از بهره‌برداری تصفیه‌خانه و بعد از بهره‌برداری تصفیه‌خانه معنادار است یا نیست آزمون آماری t-test زوجی با اطمینان ۹۵٪ و اعتماد ۵٪ انجام شد. هزینه‌های مربوط به بیماری‌ها نیز از روش پایین به بالا محاسبه شد که هزینه‌یابی خرد نیز نامیده می‌شود و با توجه به نتایج آزمون آماری هزینه‌های مربوط به کاهش یا افزایش بیماری‌ها محاسبه‌شده و شاخص اجتماعی استفاده می‌شود.

شاخص محیط‌زیستی

از جنبهٔ تأثیرات کمّی می‌توان محاسبه کرد که روزانه چه مقدار پساب تصفیه‌شده وارد رودخانه می‌شود که در جای خود تأثیرات مثبتی بر بالارفتن شدت جریان و توان خودپالایی رودخانه دارد. با توجه به اینکه پساب تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه‌ها طی قراردادی به آب منطقه‌ای فروخته می‌شود، با استفاده از ارزش مندرج برای هر مترمکعب پساب تصفیه‌شده در این قرارداد، ارزش افزایش کمیت آب محاسبه شد.

به‌منظور محاسبهٔ ارزش اثر بر کیفیت منابع آب در این طرح از روش محاسبهٔ جرایم محیط‌زیستی استفاده شد که در سازمان محیط‌زیست برای برخورد با آلودگی‌ها موجود است. منافع محیط‌زیستی حاصل از تصفیهٔ فاضلاب را می‌توان از این روش برای آلودگی کاهش‌یافته محاسبه کرد. مضرات محیط‌زیستی ناشی از دفع غیرمجاز پساب به محیط‌زیست نیز از این روش محاسبه و در تعیین هزینه- اثربخشی تصفیه‌خانه‌ها تأثیر داده شد.

اطلاعات مربوط به تصفیه‌خانه‌ها از شرکت‌های آب و فاضلاب و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌ها جمع‌آوری شد و با استفاده از راندمان حذف آلاینده‌ها از جمله COD، BOD_5 و TSS (پارامترهای مورد نظر شرکت آب و فاضلاب در بررسی راندمان سیستم‌های تصفیهٔ ثانویه) شاخص کارایی محاسبه شد که میانگینی از پارامترهای مذکور است [۱۲].

اطلاعات جمع‌آوری‌شده مربوط به راندمان تصفیه‌خانه‌ها در حذف آلاینده‌ها با استفاده از برنامهٔ آماری SPSS آنالیز 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 نهایت، تمام هزینه‌ها، منافع، زیان‌ها و راندمان فرایندهای تصفیه بررسی و شاخص‌های کیفی نیز به‌نحوی که گفتیم کمّی‌سازی و شاخص هزینه- اثربخشی آن محاسبه و سیستم‌های موجود از نظر این نسبت با هم مقایسه شد.

محاسبهٔ نسبت هزینهٔ اثربخشی

تمامی هزینه‌ها و راندمان فرایندهای تصفیهٔ مورد بررسی و شاخص‌های کیفی کمّی‌سازی شد. شاخص هزینه- اثربخشی نیز طبق معادله‌های زیر برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه محاسبه و سیستم‌های موجود از نظر این نسبت با هم مقایسه شد.

- محاسبهٔ میزان هزینهٔ کل در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب

$$C_{total}=c_{capital}+c_{maint}+c_{deprec}+c_{energy}+c_{chem}+c_{manpow}+c_{other} \quad (۱)$$

C_{total}: هزینهٔ کل، $c_{capital}$: هزینهٔ سرمایه‌گذاری، c_{maint}: هزینهٔ نگهداری از سیستم، c_{deprec}: هزینهٔ استهلاک، c_{energy}: هزینهٔ انرژی، c_{chem}: هزینهٔ مواد شیمیایی، c_{manpow}: هزینهٔ نیروی انسانی و c_{other}: سایر هزینه‌هاست.

- محاسبهٔ میزان هزینهٔ یکنواخت سالیانه در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب

$$EUAC= c_{capital}\ (A/P,\ \%i,\ n) - SV(A/F,\ \%i,\ n) + (c_{maint}+c_{deprec}+c_{energy}+c_{chem}+c_{manpow}+c_{other}) \quad (۲)$$

EUAC: هزینهٔ یکنواخت سالیانه، i: نرخ تنزیل اجتماعی، n: دورهٔ طرح و SV: ارزش اسقاطی است.

- محاسبهٔ نسبت هزینهٔ اثربخشی

$$Benefits = (Q_{eff} \times a) + \left(Q_{p.eff} \times \frac{P_{in}-P_{eff}}{P_{eff}} \times b \times S_A \times S_E\right) + (n \times S) + \sum_{i=1}^{i=n} n_i \times c_i \quad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

Benefits: منافع حاصل از تصفیهٔ فاضلاب، Q_{eff}: دبی سالیانهٔ پساب خروجی از تصفیه‌خانه، a : قیمت هر مترمکعب پساب فروخته‌شده توسط شرکت آب و فاضلاب، $Q_{p.eff}$: دبی سالیانهٔ 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 آلایندهٔ آب، S_A: حساسیت منطقه، S_E: حساسیت محیط، n: تعداد افراد مشغول به کار، S: میانگین حقوق شاغلان، n_i: تعداد موارد کاهش ابتلا به بیماری i، و c_i: هزینهٔ درمان فرد مبتلا به بیماری i است.

$$Losses = \left(Q_{un.eff} \times \frac{P_{eff}-P_{a.t}}{P_{a.t}} \times b \times S_A \times S_E\right) + \sum_{i=1}^{i=n} n_i \times c_i \qquad (۴)$$

Losses: ضررهای ناشی از تصفیهٔ نامناسب فاضلاب، $Q_{un.eff}$: دبی سالیانهٔ پساب خروجی از تصفیه‌خانه با شرایط غیرمجاز، P_{eff}: میزان آلاینده در پساب خروجی از تصفیه‌خانه، $P_{a.t}$: حد مجاز آلاینده در پساب خروجی از تصفیه‌خانه، b: ضریب ریالی آلایندهٔ آب، S_A: حساسیت منطقه، S_E: حساسیت محیط، n_i: تعداد موارد افزایش ابتلا به بیماری i و c_i: هزینهٔ درمان فرد مبتلا به بیماری i است.

$$\text{Cost} - \text{Effectiveness}_{\text{index}} = \text{Efficiency} \times \frac{Benefits-Losses}{EUAC} \qquad (۵)$$

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

نتایج

نتایج مطالعهٔ حاضر در جدول ۱ تا ۵ ارائه شده است.

جدول ۱. راندمان سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب در حذف مواد آلی، معلق و کل

سیستم	راندمان حذف COD	راندمان حذف BOD	راندمان حذف TSS	راندمان کل
لجن فعال متعارف	۷۷/۲۴±۸۶/۶۵	۷۴/۲۶±۶۷/۹۱	۶۷/۲۵±۸۱/۸۱	۷۳/۲۴±۴۱/۱۱
برکهٔ تثبیت	۷۸/۱۶±۸/۵۲	۸۳/۱۴±۳۷/۰۱	۲۹/۲۵±۴۳/۵۱	۶۳/۱۰±۸۶/۰۸

جدول ۲. نتایج حاصل از محاسبات هزینه–اثربخشی به تفکیک تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

تصفیه‌خانه	EUAC (میلیون ریال)	Cost/m^3 (ریال بر مترمکعب)	$\text{Cost- Effectiveness}_{\text{index}}$
کرمانشاه	۱۲۱۷۳۹/۱۱	۵۵۵۸/۸۶	۰/۱۹۸
اسلام‌آباد	۱۱۴۶۰/۱۱	۲۲۴۲/۶۸	۱/۰۸
گیلان‌غرب	۳۵۸۵/۶۵	۲۸۸۹/۳۲	۰/۱۸۷

جدول ۳. نتایج حاصل از محاسبات هزینه–اثربخشی سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب

سیستم تصفیه	EUAC (میلیون ریال)	Cost/m^3 (ریال بر مترمکعب)	$\text{Cost- Effectiveness}_{\text{index}}$
لجن فعال متعارف	۱۲۱۷۳۹/۱۱	۵۵۵۸/۸۶	۰/۱۹۸
برکه‌های تثبیت	۱۵۰۴۵/۷۹	۲۳۶۹/۰۴	۰/۹۶

جدول ۴. نتایج حاصل از محاسبات هزینه–اثربخشی به تفکیک سیستم‌های لجن فعال و طبیعی

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

جدول ۵. نتایج محاسبات هزینه–اثربخشی سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب به تفکیک راندمان حذف آلاینده‌ها

سیستم	راندمان حذف COD	راندمان حذف BOD	راندمان حذف TSS	راندمان کل
لجن فعال متعارف	۰/۲۱	۰/۲	۰/۱۸۲	۰/۱۹۸
برکهٔ تثبیت	۱/۱۲	۱/۱۴	۰/۶۳	۰/۹۶۵

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی راندمان حذف مواد آلی، مواد معلق و راندمان کل در سیستم‌های مورد مطالعه گویای این مورد است که در تمامی سیستم‌ها مقادیر مربوط به راندمان حذف مواد آلی بیش از راندمان حذف مواد معلق است. این مسئله راندمان کل سیستم‌ها را نیز کاهش می‌دهد.

سیستم برکه‌های تثبیت در حذف مواد معلق کارایی خوبی ندارد و از بین سیستم‌های مورد مطالعه پایین‌ترین راندمان را داراست. پس از بررسی مشکل موجود این نتیجه به‌دست آمد که سازوکار غالب کاهش جامدات معلق در برکه‌های بی‌هوازی، ته‌نشینی است که این شرایط به‌دلیل زمان ماند بالا به‌راحتی فراهم می‌شود. بر اساس نتایج حاصل، میانگین میزان کارایی برکه‌های اختیاری منفی است و این بدین دلیل است که میانگین میزان جامدات معلق در خروجی برکه‌های اختیاری بیش از میزان ورودی آن و این میزان در خروجی برکهٔ اختیاری ثانویه بیش از اولیه است. در پساب برکه‌های تثبیت، جلبک بخش بیشتر مواد معلق را شامل می‌شود (>٪۸۰). بر همین اساس، طبق ضوابط اتحادیهٔ اروپا، پساب خروجی از برکه‌ها ممکن است تا ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر جامدات معلق داشته باشد، ولی در مورد پساب سایر روش‌های تصفیه غلظت جامدات معلق در پساب باید به کمتر از ۳۰میلی‌گرم در لیتر برسد که این مسئله هم نشان‌دهندهٔ اختلاف جامدات معلق جلبکی و جامدات معلق فاضلابی است [۱۳] که با مطالعهٔ الماسی و همکاران و درگاهی و همکاران مطابقت دارد [۱۴-۱۶].

پیرصاحب و همکاران در بررسی عملکرد سیستم لجن فعال متعارف در شهر کرمانشاه برای حذف COD، ۸۶/۹ درصد و برای حذف TSS، ۸۳/۳ درصد را به‌دست آوردند [۱۷] و نتایج حاکی از عملکرد ضعیف‌تر سیستم‌های لجن فعال مورد بررسی در استان کرمانشاه است. در مطالعهٔ دیگری پیرصاحب و همکاران نشان دادند که راندمان حذف COD در سیستم هوادهی گسترده ۹۱/۰۶ درصد و حذف TSS، ۷۶/۷ درصد است [۱۸].

با کوچک‌تر شدن اندازهٔ تصفیه‌خانه‌ها و پیرو آن تحت پوشش قراردادن جمعیت کمتر در این تصفیه‌خانه‌ها سرانهٔ ایجاد تصفیه‌خانه به ازای هر نفر یا به ازای هر مترمکعب فاضلاب مورد تصفیه افزایش می‌یابد. بین سه تصفیه‌خانهٔ مورد مطالعه، تصفیه‌خانهٔ کرمانشاه بیشترین سرانهٔ هزینه را دارد. کمترین هزینه‌ها مربوط به تصفیه‌خانه‌های اسلام‌آباد و گیلان‌غرب بود. این موضوع را می‌توان به هزینه‌های پایین در خرید تجهیزات الکترومکانیکال، همچنین هزینه‌های بهره‌برداری در این نوع تصفیه‌خانه‌ها نسبت داد. هزینهٔ خرید تجهیزات الکترومکانیکال مورد نیاز در تصفیه‌خانه‌های با سیستم لجن فعال چندین برابر تصفیه‌خانه‌های با سیستم برکهٔ تثبیت است. این مقدار در دو سیستم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارد. سادگی فرایند و هزینهٔ کم در این سیستم‌ها قابلیت رقابت آن را با سیستم‌های متعارف تصفیهٔ فاضلاب افزایش می‌دهد. در مناطقی که زمین ارزان و در دسترس باشد، سیستم برکه‌های تثبیت یکی از بهترین گزینه‌های پیشنهادی است. نتایج حاصل از محاسبات هزینهٔ یکنواخت سالیانه در این مطالعه نشان‌دهندهٔ بیشترین EUAC در تصفیه‌خانهٔ سیستم لجن فعال متعارف و کمترین EUAC در تصفیه‌خانهٔ سیستم برکهٔ تثبیت است. تصفیه‌خانه‌های گیلان‌غرب، کرمانشاه و اسلام‌آباد به‌ترتیب EUAC بیشتری دارند.

رودریگوز و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در مناطقی از اسپانیا در رابطه با پروفایل محیط‌زیستی و اقتصادی شش نوع از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، میزان هزینه‌های بهره‌برداری در تصفیه‌خانهٔ ۱ با سیستم لجن فعال و دبی بهره‌برداری ۵۳۹۳۵ مترمکعب در روز را برابر ۰/۰۹۴۱ دلار به مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده و در تصفیه‌خانهٔ ۲ با سیستم لجن فعال و دبی بهره‌برداری ۵۱۱۱۱ مترمکعب در روز را برابر ۰/۱۰۶۴دلار به مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده گزارش کردند، در حالی که از بین تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، تصفیه‌خانهٔ فاضلاب کرمانشاه با دبی نزدیک به این دو سیستم بهره‌برداری هزینه‌های بهره‌برداری ۰/۰۱۹دلار به مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده داشته است که تفاوت بسیار زیادی با هم دارند. با توجه به اینکه میزان هزینهٔ کل ایجاد تصفیه‌خانه به‌ازای مترمکعب فاضلاب مورد تصفیه در شهر کرمانشاه برابر ۰/۲۱دلار به مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده به‌دست آمد، مشاهده می‌شود که هزینهٔ بهره‌برداری سالیانه در سیستم‌های مورد بررسی رودریگوز و همکارانش تقریباً برابر با نیمی از هزینهٔ کل ایجاد تصفیه‌خانه به ازای مترمکعب فاضلاب مورد تصفیه در شهر کرمانشاه است. علت این موضوع را می‌توان در مانیتورینگ بالا در سیستم‌های مورد مطالعه رودریگوز و همکارانش جویا شد. همچنین، در این مطالعه میزان هزینهٔ بهره‌برداری سالیانه در تصفیه‌خانهٔ ۵ با سیستم لجن فعال و دبی بهره‌برداری ۱۴۷۲۲ مترمکعب در روز برابر ۰/۲۴۸ دلار به مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده و در تصفیه‌خانهٔ ۷ با سیستم لجن فعال و دبی بهره‌برداری ۱۳۶۸۱مترمکعب در روز برابر ۰/۲۸۷۹ دلار به مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده است [۱۳]. با توجه به نزدیک‌بودن دبی بهره‌برداری در این دو تصفیه‌خانه با تصفیه‌خانهٔ اسلام‌آباد تفاوت بیش از بیست برابری در هزینهٔ بهره‌برداری سالیانهٔ این

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم‌ها در مقایسه با یکدیگر به‌دست آمد. دلایل عمدهٔ این تفاوت را می‌توان به هزینهٔ بیشتر مانیتورینگ، دفع زائدات و مصرف انرژی در سیستم‌های لجن فعال نسبت داد.

بیشترین سود محیط‌زیستی حاصل از تصفیهٔ فاضلاب به ازای مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده در این مطالعه مربوط به تصفیه‌خانهٔ اسلام‌آباد و سپس به‌ترتیب تصفیه‌خانه‌های گیلان‌غرب و کرمانشاه است. کل مزایای محیط‌زیستی حاصل از حذف مواد آلی در تصفیه‌خانه‌های استان برابر ۰/۳۰۰۴دلار بر مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده به‌دست آمد.

در بررسی جزئی‌تر نسبت هزینه- اثربخشی در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر اسلام‌آباد با ثابت درنظرگرفتن هزینه‌ها می‌توان گفت که کاهش بیماری‌های اسهال ساده و اسهال خونی در این شهر اثر مثبت ۸/۷ درصدی در این نسبت داشته است. همچنین، تأثیر سود محیط‌زیستی حاصل از این تصفیه‌خانه بر نسبت هزینه- اثربخشی تقریباً ۸۷ درصد بود. با توجه به اینکه در محاسبهٔ نسبت هزینه- اثربخشی بهترین حالت برای مقدار کارایی در فرمول محاسبات برابر یک است و این مقدار زمانی به‌دست می‌آید که تصفیه‌خانه با راندمان ۱۰۰ درصد کار کند و ذکر این نکته که این وضعیت ایده‌آل در هیچ‌یک از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه مشاهده نشده است و دستیابی به این هدف ایده‌آل کمی سخت است، می‌توان به این نتیجه رسید که راندمان موجود در تصفیه‌خانه‌ها باعث کاهش نسبت هزینه- اثربخشی می‌شود. در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر اسلام‌آباد این اثر برابر ۵۰ درصد است. همچنین، می‌توان گفت که با افزایش راندمان کل این تصفیه‌خانه از مقدار ۶۷ درصد به ۹۰ درصد می‌توان حداقل ۳۴/۹۱ درصد نسبت هزینه- اثربخشی را افزایش داد.

در بررسی جزئی‌تر نسبت هزینه- اثربخشی در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر کرمانشاه با ثابت درنظرگرفتن هزینه‌ها می‌توان بیان کرد که سود ناشی از کاهش بیماری تیفوییید اثر مثبت ۴ درصدی در این نسبت داشته است. اثر منفی راندمان بر نسبت هزینه- اثربخشی در این تصفیه‌خانه برابر ۳۶درصد است. همچنین، می‌توان گفت که با افزایش راندمان کل این تصفیه‌خانه از مقدار ۷۳/۴۱ درصد به ۹۰ درصد می‌توان حداقل ۲۲/۳۳ درصد نسبت هزینه- اثربخشی را افزایش داد.

در بررسی جزئی‌تر نسبت هزینه- اثربخشی در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر گیلان‌غرب می‌توان مشاهده کرد که افزایش معنادار بیماری اسهال ساده هزینهٔ زیادی را به جامعه تحمیل می‌کند و این مسئله اثر منفی ۵۸ درصدی در نسبت هزینه- اثربخشی داشته است. در صورتی که این هزینه به جامعه تحمیل نمی‌شد، نسبت هزینه- اثربخشی در این تصفیه‌خانه برابر ۰/۴۳۵ به‌دست می‌آمد. در این‌صورت پس از تصفیه‌خانهٔ اسلام‌آباد بهترین هزینه- اثربخشی را به خود اختصاص می‌داد. در رابطه با سود محیط‌زیستی حاصل از این تصفیه‌خانه می‌توان بیان کرد که این پارامتر توانسته اثر منفی و زیاد افزایش بیماری اسهال را خنثی کند، زیرا در غیر این‌صورت نسبت منافع به هزینه‌ها در این شهر منفی به‌دست می‌آمد. اثر منفی راندمان بر نسبت هزینه- اثربخشی در این تصفیه‌خانه برابر ۲۵/۶۶ درصد است. همچنین، می‌توان گفت که با افزایش راندمان کل این تصفیه‌خانه از مقدار ۷۹/۷۱ درصد به ۹۰ درصد می‌توان حداقل ۰/۸۳ درصد نسبت هزینه- اثربخشی را افزایش داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله منتج از پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد است. همچنین، نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و تقدیر خود را از مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه و کارکنان و پرسنل زحمتکش آن شرکت و مسئولان محترم تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرهای کرمانشاه، پاوه، سرپل‌ذهاب، اسلام‌آباد غرب، قصرشیرین و گیلان‌غرب در مراحل آزمایش و جمع‌آوری اطلاعات ابراز دارند.

References

[1] Mekala G.D, Davidson B, Samad M, Boland A.M. A framework for efficient wastewater treatment and recycling systems. International Water Management Institute (IWMI) Colombo, Sri Lanka, 2008: 10-20.

[2] Giurco D, Bossilkov A, Patterson J, Kazaglis A. Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities. Journal of Cleaner Production. 2011; 19(8): 867-76. doi: 10.1016/j.jclepro.2010.07.001.

[3] Hadian M, Mohammadzade A, Emani A, Golestani M. Estimatedcostanalysis andaccountingservicesusingreductive-stage. Fatemiyeh Hospital. SemnanUniversity ofMedical Sciencesin1385. Health Management, 1388, 12(37): 39-49. [In Persian]

[4] Mardan S, Tofighi H. The economic design and operation of industrial wastewater treatment plant. Public Relations and International Affairs of Iran Small Industries& Industrial Parks. 1386, First Edition: 7-20. [In Persian]

[5] Oskonezhad M. Engineering Economics. Amir Kabir University, Tehran Polytechnic. 2009; thethirty-second ed. [In Persian]

[6] Elliott R, Payne K. Essentials of economic evaluation in healthcare: Pharmaceutical Press; 2005.

[7] Hernandez-Sancho F, Molinos-Senante M, Sala-Garrido R. Cost modelling for wastewater treatment processes.

www.SID.ir

Archive of SID

Desalination, 2011; 268(1-3): 1-5. doi: 10.1016/j.desal.2010.09.042.

[8] Rodriguez-Garcia G, Molinos-Senante M, Hospido A, Hernández-Sancho F, Moreira MT, Feijoo G. Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. Water Research, 2011; 45(18): 5997-6010. doi: 10.1016/j.watres.2011.08.053.

[9] Benedetti L, Bixio D, Vanrolleghem PA. Assessment of WWTP design and upgrade options:balancing costs and risks of standards' exceedance. Water Science & Technology. 2006; 54(6-7): 371-8.

[10] Yuan Z, Jiang W, Bi J. Cost-effectiveness of two operational models at industrial wastewater treatment plants in China: A case study in Shengze town, Suzhou City. Journal of Environmental Management. 2010; 91(10): 2038-44. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.05.016.

[11] Yuan Z, Zhang L, Bi J. Which is more cost-effective? A comparison of two wastewater treatment models in China–Singapore Suzhou Industrial Park, China. Journal of Cleaner Production. 2010; 18(13): 1270-5. doi: 10.1016/j.jclepro.2010.04.009.

[12] Colmenarejo MF, Rubio A, Sánchez E, Vicente J, García MG, Borja R. Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain). Journal of Environmental Management. 2006; 81(4): 399-404. doi: 10.1016/j.jenvman.2005.11.007.

[13] Sperling MV. Biological wastewater treatment, vol. 3 (Waste Stabilisation Ponds). Ed F, editor. New Delhi, IWA Publishing; 2007.

[14] Almasi A, Sharafi K, Hazrati S, Fazlzadehdavil M. 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. 2015; 53(13): 3475-3481.

[15] Almasi A, Dargahi A, Amrane A, Fazlzade M, Mahmudi M, Hashemian AH. Effect of the retention time and the phenol concentration on the stabilization pond efficiency in the treatment of oil refinery wastewater. Fresenius Environmental Bulletin. 2014; 23(10a): 2541-2548.

[16] Dargahi A, Pirsaheb M, Savadpour MT, Alighadri M, Farrokhi M. Effect of retention time and temperature on the Stabilization ponds efficiency in treatment of oil refinery wastewater. Journal of Environmental Science and Technology. 2014; 16(2): 13-25.

[17] Khamutian R, Dargahi A, Pirsaheb M, Almasi A. Efficiency of conventional activated sludge in the removal of linear alkylbenzene sulfonate from municipal sewage. J Kermanshah Univ Med Sci. 2014; 18(1): 9-18. [In Persian]

[18] Pirsaheb M, Khamutian R, Dargahi A. Efficiency of Activated Sludge Process (Extended Aeration) in Removal of Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS) from Municipal Wastewater - Case Study: Wastewater Treatment of Paveh City. J. Health, 2013; 4(3): 249-259. [In Persian]

www.SID.ir