Archive of SID

مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های متداول تصفیه فاضلاب صنایع قند در ایران

مهدی احمدی* مسعود تجریشی** احمد ابریشم‌چی**

(دریافت ۸۳/۶/۱۹ پذیرش ۸۳/۱۲/۲۳)

چکیده

واقع شدن ایران در منطقه خشک و کم‌آب جهان و افت کمی و کیفی منابع آب؛ توجه به برنامه‌های کاهش مصرف، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن را به خصوص در بخش صنعت ضروری می‌سازد به دلیل تنوع گسترده اقلیمی ایران و تأثیرپذیری انتخاب سیستم‌های تصفیه فاضلاب صنعتی از عوامل متعدد محیطی و هزینه‌ای، ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌های مختلف تصفیه فاضلاب صنعتی در شرایط مختلف یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت چنین طرح‌هایی به شمار می‌رود. در میان صنایع مختلف کشور، صنایع قند به عنوان آلاینده‌ترین صنایع کشور توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. قرار گرفتن بیش از ۹۰ درصد کارخانه‌های قند کشور در دشت‌های با بیلان منفی این مسأله را بیش از پیش مشخص‌تر می‌کند. این مقاله با بررسی مشکلات مرتبط با تولید فاضلاب صنایع قند کشور به عنوان آلاینده‌ترین صنعت کشور، به ارزیابی اقتصادی روش‌های متداول تصفیه فاضلاب، مقایسه ترکیب‌های مختلف تصفیه بی‌هوازی و هوازی در شرایط مختلف، معرفی مناسب‌ترین روش‌های تصفیه فاضلاب در اقلیم‌های مختلف و بررسی تأثیر مهم‌ترین عوامل محیطی و هزینه‌ای در انتخاب سیستم تصفیه می‌پردازد. برای این منظور شش ترکیب تصفیه بی‌هوازی و هوازی که از نظر فنی قابلیت اجرا در کشور را دارند، انتخاب شده و بر اساس نقشه‌های اجرایی آنها متره و برآورد هزینه‌ها انجام گرفته است و سپس حساسیت آن‌ها نسبت به مهم‌ترین پارامترهای طراحی تحلیل شده است. در پایان دو سیستم ترکیبی UASB با برکه‌های اختیاری و صافی‌های چکنده به عنوان جذاب‌ترین سیستم‌های تصفیه در اغلب شرایط ایران معرفی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *صنایع قند، تصفیه فاضلاب، متره و برآورد، مقایسه اقتصادی، آنالیز حساسیت*

*دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
**دانشیار و استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

Technical and Economic Comparison of Conventional Wastewater Treatment Systems in the Sugar Industries in Iran

Mehdi Ahmadi, Masoud Tajrishi**,Ahmad Abrishamch××*

Abstract

Iran's location in an arid and water scarce area characterized by qualititative and quantitative degradation in its water resources makes strict planning imperative for reduced water consumption and wastewater treatment and reuse, especially in the industry sector. The technical and economic evaluation of various industrial treatment processes is a key factor in the success of such schemes in the face of the effects of climate variety, high wastewater treatment costs, and environmental factors on selecting a most suitable alternative for industrial wastewater treatment. The situation is even more critical in the case of the sugar industry as the largest pollutant source and especially because more than 90% of its facilities are located on plains with a negative water balance. Reviewing wastewater problems associated with the Iranian sugar facilities, this paper will attempt to perform an economic assessment and a comparison of conventional anaerobic-aerobic processes under various conditions in order to identify the best aleternative and to determine the most important environmental and cost factors affecting the selection of a desirable alternative. For this purpose, six combined treatment systems are selected and their construction and operation costs and detailed uniform annual cost sensitivity analysis based on the most important parameters are presented. Finally, two different combined wastewater treatment systems of UASB + facultative lagoons and UASB + trickling filters will be introduced as the best treatment processes for Iranian conditions.

Key Words: *Sugar Industry, Wastewater Treatment, Cost Estimation, Economic Comparison, Sensitivity Analysis.*

* Grad. Student of Environmental Engineering
**Associate Professor, and Professor of Civil Engineering, respectively, Sharif University of Technology, Tehran

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

توسعه اقتصادی و صنعتی، رشد جمعیت و بالا رفتن سطح رفاه عمومی، افت کمی و کیفی منابع آب را در پی داشته و مدیریت آن را روز به روز پیچیده‌تر کرده است. رشد سریع صنایع تولیدی کشور که عموماً بدون توجه به کفایت منابع آب صورت می‌پذیرد، مشکلات عدیده‌ای را در تخصیص آب کافی به نقاط مختلف مصرف ایجاد کرده و فشار بیشتری بر منابع آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور وارد نموده است. به اعتقاد کارشناسان مسائل آب، مقابله با مشکلات ناشی از افت کمی و کیفی منابع آب، بدون طرح‌ریزی و اجرای برنامه‌های عملی کاهش مصرف، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن امکان‌پذیر نخواهد بود [۱]. فاضلاب از یک سو مهم‌ترین عامل آلودگی آب به شمار می‌رود و از سوی دیگر در صورت تصفیه کافی می‌تواند یکی از منابع جایگزین آب تازه باشد [۲]. در این میان بخش صنعت نقش عمده‌ای در کاهش ذخایر آب شیرین و آلودگی آنها داشته و در مقابل بیشترین پتانسیل را برای کاهش مصرف و اجرای برنامه‌های مدیریت آب و فاضلاب دارد.

آب عنصری اساسی در تمامی کارخانه‌های صنعتی به شمار می‌رود. بخش صنعت با مصرف بیش از ۱ میلیارد متر مکعب آب در سال، از مصرف‌کنندگان عمده آن در کشور محسوب می‌شود. بر اساس پیش‌بینی‌ها، این میزان تا سال ۱۴۰۰ به بیش از ۶ میلیارد مترمکعب و تا سال ۱۴۲۵ به ۹ میلیارد مترمکعب (۸درصد کل مصارف) خواهد رسید [۳]. صنایع غذایی کشور با مصرف بیش از ۲۴ درصد کل آب صنعتی در جایگاه نخست گروه‌های مختلف صنعتی قرار دارد. در این میان صنایع قند با مصرف بیش از ۱۸ درصد آب صنعتی و تولید ۳۴ درصد بار آلی کل صنایع کشور، توجه بیشتری را می‌طلبد[۴]. مقایسه مقادیر آب مصرفی در کارخانه‌های قند کشور با همین صنعت در سایر کشورهای جهان، نشان می‌دهد که این کارخانه‌ها به طور متوسط بیش از ۲ تا۱۰ برابر بیشتر آب مصرف می‌کنند. بر همین اساس این صنعت پتانسیل بسیار بالایی برای اجرای برنامه‌های مدیریت آب و فاضلاب به خصوص اجرای طرح‌های تصفیه فاضلاب دارد و کنترل آلودگی‌های تولیدی این صنعت بخش عمده‌ای از نگرانی‌های زیست‌محیطی مرتبط با صنایع را برطرف خواهد کرد.

بر اساس آخرین آمار سندیکای کارخانه‌های قند کشور، در سال ۱۳۸۱، ۴۱ کارخانه فعال تولید قند و شکر در کشور وجود داشته است که ۶ کارخانه از نیشکر و سایر کارخانه‌ها از چغندرقند برای تولید قند و شکر استفاده می‌کنند. در این بین، ۱۴ کارخانه از فرآیند استفان در قندگیری از ملاس نیز بهره می‌گیرند که از عوامل عمده افزایش مصرف آب و آلودگی پساب این کارخانه‌ها به شمار می‌رود. نتایج تحلیل موقعیت مکانی این کارخانه‌ها نشان داده است که بیش از ۹۰ درصد آنها در دشت‌هایی با بیلان منفی و بیش از ۸۵ درصد آن‌ها در مناطق آب و هوایی خشک و نیمه خشک کشور واقع شده‌اند [۵]. این مسأله اهمیت توجه به فاضلاب تولیدی این صنعت را بیش از پیش روشن می‌سازد.

علی‌رغم آن که بر اساس قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور، کلیه واحدهای صنعتی بایستی هزینه‌های مربوط به حفظ محیط زیست را جزو هزینه‌های خود بدانند، این صنایع به دلیل هزینه‌های سنگین اجرای زیرساخت‌های مورد نیاز و احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، مقید به انجام چنین فعالیت‌هایی نیستند[۶ و ۷]، بنابراین نیاز به جلب کمک‌های دولتی و بخش خصوصی در این بخش ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به این که امروزه سیستم‌های تصفیه فاضلاب قادر به تولید پساب با هر درجه از تصفیه هستند، مسأله اساسی در انتخاب فرآیندهای تصفیه، تصمیم‌گیری در مورد مناسب‌ترین گزینه تصفیه، بر مبنای مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی به منظور هدایت صحیح سرمایه‌های ملی و جلوگیری از اتلاف منابع مالی است.

نگاهی به توصیه‌ها و روش‌های انتخاب فرآیندها و نوع سیستم‌های تصفیه موجود در کشور نشان می‌دهد که انتخاب فرآیندها بیش از آن که با تجزیه و تحلیل مهندسی همراه باشد، حالت کیفی پیدا کرده و محدود به الگوی استفاده از فناوری پیشرفته می‌باشد [۸]؛ که این امر با امکانات کشور سازگار نیست و مشکلات عدیده‌ای در این رابطه ایجاد شده است. لذا ضرورت بررسی این گزینه‌ها با ضوابط کاملاً مهندسی و اقتصادی که بتواند ابزاری منطقی‌تر جهت انتخاب گزینه‌های برتر در شرایط اقلیمی کشور باشد، کاملاً محسوس می‌باشد[۹].

www.SID.ir

Archive of SID

در این مقاله، ضمن معرفی روش طراحی و شیوه انجام متره و برآورد هزینه‌های اولیه و جاری، به روش‌های متداول تصفیه فاضلاب صنایع غذایی پرداخته و در پایان با مقایسه سیستم‌های مختلف تصفیه بر اساس هزینه معادل سالانه و با در نظر گرفتن مهم‌ترین ملاحظات فنی و اقتصادی، بهترین گزینه‌های تصفیه فاضلاب در اقلیم‌های مختلف کشور معرفی می‌شوند.

۲- روش تحقیق

هدف از تصفیه فاضلاب، حذف آلاینده‌های آن برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست از جمله محیط‌های آبی است. انواع نسبتاً گسترده‌ای از روش‌های تصفیه فاضلاب‌های صنعتی وجود دارد. تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی معمولاً برای جداسازی مواد معلق و گندزدایی فاضلاب به کار می‌روند و در اغلب روش‌های تصفیه فاضلاب یکسان می‌باشند. بنابراین مبنای مقایسه فرآیندهای مختلف تصفیه فاضلاب، سیستم‌های بیولوژیکی خواهند بود. هم‌چنین در این مقاله، هزینه‌های تصفیه لجن نیز تنها به عنوان جنبه‌های مثبت یا منفی سیستم‌های مختلف مطرح می‌گردد.

دو مشخصه مهم در انتخاب و طراحی سیستم‌های تصفیه فاضلاب، غلظت و حجم فاضلاب تولیدی است که در صنایع قند نوسانات شدیدی دارد. مقادیر این مشخصه‌ها بیش از آن‌که به ظرفیت و فناوری تولید وابسته باشد، از نحوه اعمال مدیریت مصرف آب و کنترل آلودگی تولیدی تأثیر می‌پذیرد [۱۰]. نتایج تحلیل آماری- احتمالی مشخصه‌های غلظت BOD ، غلظت COD و ضریب تولید فاضلاب صنایع قند در جدول ۱ ارائه شده است [۱۱]. مقادیر مبنا به توصیه اکنفلدر معادل احتمال ۵۰ درصد (میانگین داده‌ها) و گستره مقادیر برابر یک انحراف معیار ($\pm\sigma$) حول احتمال میانگین انتخاب شده است [۱۲].

عامل دیگری که بر انتخاب و طراحی سیستم‌های تصفیه فاضلاب مؤثر است، کیفیت فاضلاب خروجی با توجه به منبع پذیرنده آن می‌باشد. با توجه به اهمیت بازیافت فاضلاب تولیدی برای مصارف کشاورزی، استاندارد تخلیه پساب در این تحقیق، بر مبنای آنگونه مصارف خواهد بود. در استانداردهای تخلیه پساب کشور غلظت مجاز COD پساب تولیدی برای مصارف کشاورزی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر است که در مقایسه با کشورهای دیگر منطقه مقدار بسیار بالایی است[۱۳]. در کشورهایی نظیر عربستان، کویت و تونس این مقدار ۵۰-۴۰ میلی‌گرم در لیتر و در توصیه‌های FAO حدود ۱۰۰-۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد[۲]. در این مطالعه مقدار COD انتخابی برابر ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و در محدوده ۲۰۰-۵۰ میلی گرم در لیتر تحلیل حساسیت، انجام شده است.

با توجه به غلظت‌های بالای آلاینده‌های فاضلاب صنایع غذایی، عمدتاً ترکیبی از روش‌های بی‌هوازی و هوازی (یا اختیاری) در تصفیه این فاضلاب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با بررسی اطلاعات موجود در سطح جهان، و با توجه به سوابق فنی و اجرایی موجود در کشور، برکه‌های بی‌هوازی و UASB[1] به عنوان مهم‌ترین سیستم‌های تصفیه بی‌هوازی و برکه‌های اختیاری، لجن فعال (هوادهی گسترده) و صافی چکنده (دو مرحله‌ای) به عنوان مهم‌ترین سیستم‌های تصفیه هوازی در صنایع قند انتخاب می‌گردند[۱۱]. سیستم‌های ترکیبی هر دو روش تصفیه بی‌هوازی با هر سه روش تصفیه هوازی جزو سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب این صنعت می‌باشند.

۲-۱- طراحی ابعاد هندسی، متره مصالح و تجهیزات مصرفی و برآورد هزینه‌ها

جدول ۲ روش‌های مورد استفاده در طراحی ابعاد سیستم‌های مختلف تصفیه فاضلاب صنایع قند را نمایش می‌دهد. متره و برآورد هزینه‌های هر سیستم با بررسی نقشه‌های مختلف اجرایی و دفترچه‌های محاسبات در قالب هزینه‌های ساختمانی و تجهیزات مکانیکی و قیمت زمین محاسبه گردیده است. اقلام عمده هزینه‌های هر یک از روش‌ها و مراحل تصفیه فاضلاب، در جدول ۳ ارائه شده است. هزینه‌های جاری هر سیستم نیز به صورت مجموع هزینه‌های نگهداری و تعمیر ، برق مصرفی و نیروی انسانی محاسبه شده است.

هزینه‌های نگهداری و تعمیر تجهیزات مکانیکی برای همه سیستم‌ها معادل ۳ درصد هزینه اولیه و هزینه نگهداری و تعمیر تأسیسات ساختمانی برای لاگون‌ها ۱/۷۵ درصد، UASB و لجن فعال ۴ درصد و صافی چکنده ۲ درصد

[1] Upflow Anaerobic Sludge Blanket

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه اولیه تأسیسات ساختمانی در نظر گرفته شده است. هزینه نیروی انسانی (P) نیز با بررسی برآورد هزینه‌های صورت گرفته در چند پروژه تصفیه فاضلاب صنعتی و شهری در کشور به صورت تابعی از حاصل‌ضرب دبی (Q) در غلظت COD فاضلاب (C) به صورت $Ln(P)=a.Ln(Q\cdot C)+b$ در نظر گرفته شده است. مقدار برآورد شده ضریب‌های a و b برای هر سیستم تصفیه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۱. گستره مقادیر مشخصه‌های مهم فاضلاب صنایع قند بر اساس توزیع احتمالی نرمال [۱۱]

مشخصه	واحد	کارخانه قند		کارخانه نیشکر
		بدون استفان	با استفان	
غلظت BOD	mg/L	۱۵۰۰±۵۱۰	۳۷۵۰±۱۲۰۰	۱۵۰۰±۵۱۰
غلظت COD	mg/L	۳۲۰۰±۱۵۰۰	۷۱۰۰±۲۵۰۰	۳۲۰۰±۱۵۰۰
ضریب تولید فاضلاب	m^3/ton	۵±۴		۳±۲

جدول ۲- روش‌های مورد استفاده در طراحی سیستم‌های تصفیه فاضلاب [۱۱]

نام سیستم تصفیه	روش طراحی	توضیحات
برکه بی‌هوازی	بار حجمی ($g\ COD/m^3\text{-}d$)	در گستره ۱۵۰–۵۰ در دمای ۲۵–۱۰ °C [۱۴]
برکه اختیاری	بار سطحی(λ_S) ($kg\ BOD/ha\text{-}d$)	$\lambda_S= ۳۵۰(۱/۱۰۷ - ۰/۰۰۲\ T)^{T-۲۵}$ [۱۵]
UASB	بار حجمی بر اساس نسبت SS/COD ($kg\ COD/m^3\text{-}d$)	در گستره ۹–۳ در محدوده دمایی ۳۵–۲۵ درجه سانتی‌گراد[۱۶]
لجن فعال	نرخ بارگذاری حجمی ($kg\ BOD/m^3\text{-}d$)	در گستره ۰/۵–۰/۱ و راندمان حذف ۹۵–۷۵ درصدBOD [۱۷]
صافی چکنده	نرخ بارگذاری حجمی ($kg\ BOD/m^3\text{-}d$)	در گستره ۲/۲–۰/۸ و راندمان حذف ۹۰–۶۰ درصد BOD [۱۸]

جدول ۳- مهم‌ترین اقلام هزینه‌ای احداث مراحل مختلف تصفیه فاضلاب

سیستم تصفیه	هزینه کارهای ساختمانی	هزینه تجهیزات	توضیحات
برکه‌ها	احداث خاکریز و عملیات خاکی	تهیه و حمل و نقل لوله‌ها، اتصالات و شیرآلات	عمق برکه بی‌هوازی: ۴/۲ متر عمق برکه هوازی: ۲/۲ متر
UASB	بتن‌ریزی، آرماتوربندی، قالب‌بندی، گودبرداری، گازگیرو کانال جمع‌آوری	لوله ورودی، سیستم پمپاژ و سیستم گرمایش	
لجن فعال	بتن‌ریزی، آرماتوربندی، قالب‌بندی و گودبرداری	تجهیزات هوادهی، سیستم پمپاژ، تجهیزات و لوله‌های ورودی/خروجی، سرریزها، دریچه‌ها، شیرها و متعلقات	هوادهی سطحی مورد محاسبه قرار گرفته است
صافی چکنده	بلوک‌های پیش‌ساخته، سطح زیرین، سنگ لاشه و گودبرداری	تسمه فولادی، سیستم توزیع جریان و لوله‌های انتقال فاضلاب	ساخت بدنه با بلوک‌های پیش‌ساخته و مهار با تسمه‌های فولادی
ته‌نشینی ثانویه	بتن‌ریزی، آرماتوربندی، قالب‌بندی و گودبرداری	لجن‌روب پارویی، حوضچه تقسیم، تجهیزات و لوله‌های آن، سرریزها و تجهیزات جمع‌آوری کفاب و تخلیه لجن	مخازن مستطیلی در نظر گرفته شده‌اند

جدول ٤- ضرایب معادلات رگرسیون مورد استفاده در برآورد هزینه نیروی انسانی

سیستم تصفیه	a	b	R^2
برکه اختیاری و صافی چکنده	۰/۴	۱/۵	۰/۷۶
لاگون بی‌هوازی	۰/۴	۱/۲	۰/۷۵
UASB	۰/۴	۱/۱	۰/۷۱
لجن فعال	۰/۵	٤/۱	۰/۷۲

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور مقایسه هزینه سیستم‌های مختلف تصفیه فاضلاب صنعت قند در کشور با توجه به پراکندگی ظرفیت کارخانه‌ها، دو ظرفیت ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ تن در روز به عنوان شاخص انتخاب می‌گردند. به منظور مقایسه سیستم‌ها، ضریب برگشت سرمایه (CRF[1]) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (۱)$$

در این رابطه i و n به ترتیب نرخ جذب سرمایه و عمر مفید تأسیسات و تجهیزات می‌باشند. در این مطالعه عمر تأسیسات ساختمانی ۲۵ سال و عمر تجهیزات الکترومکانیکی ۲۰ سال در نظر گرفته شده و مقایسه سیستم‌ها برای دو نرخ جذب ۱۲ درصد (مصوبه شورای اقتصاد برای طرح‌های عمرانی) و ۱۹ درصد (پیشنهاد دفتر فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی) و با توجه به پراکندگی یا پتانسیل توسعه صنایع قند کشور در نواحی نیمه مرطوب تا فراخشک انجام می‌گیرد. هزینه معادل یک‌نواخت سالانه (EUAC[2]) از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$EUAC = CRF \times CC + O\&M \qquad (۲)$$

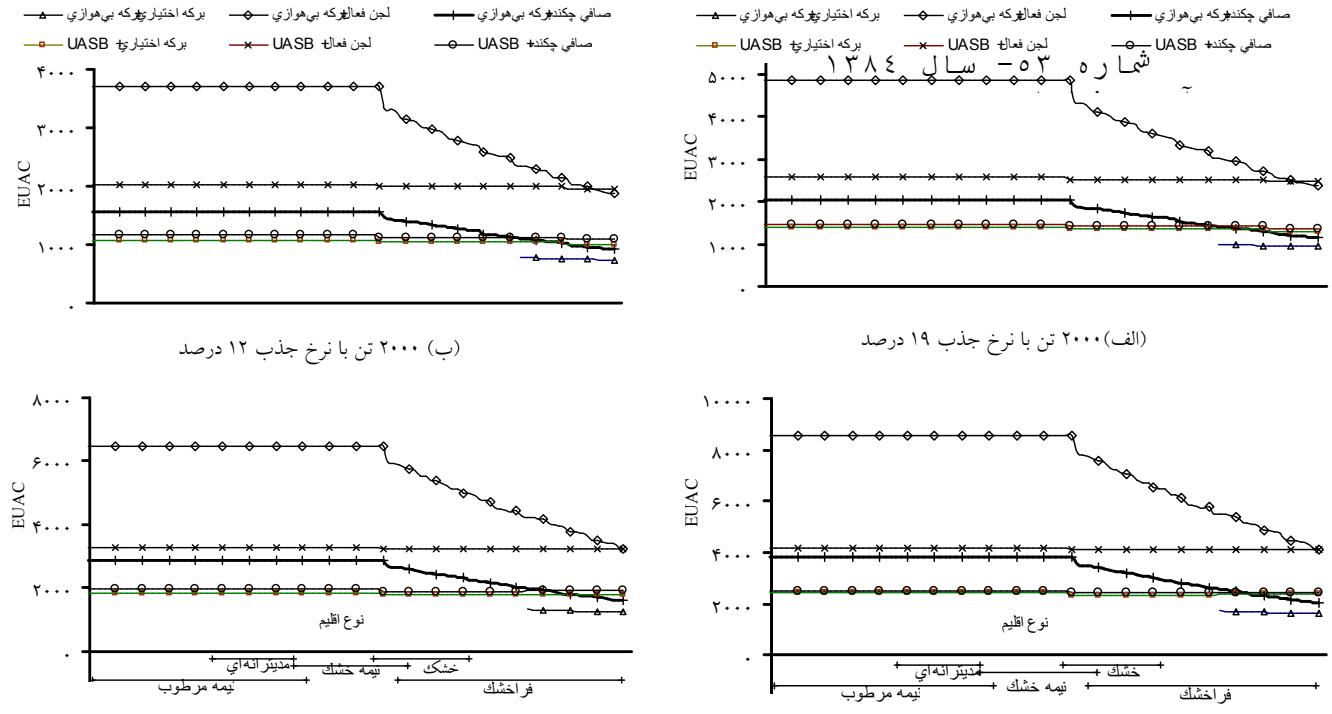
در این رابطه CC هزینه اولیه و O&M هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری است.

۳- نتایج و بحث

هزینه معادل سالانه روش‌های مختلف، بر اساس مقادیر مبنای مشخصه فاضلاب صنایع قند بدون فرآیند استفان با هر دو نرخ ۱۲ و ۱۹ درصد در شکل ۱ ارائه شده است. قیمت زمین در این محاسبات با توجه به قرار گرفتن این کارخانه‌ها در زمین‌های

[1] Capital Recovery Factor

[2] Equivalent Uniform Annual Cost



(الف) ۲۰۰۰ تن با نرخ جذب ۱۹ درصد

(ب) ۲۰۰۰ تن با نرخ جذب ۱۲ درصد

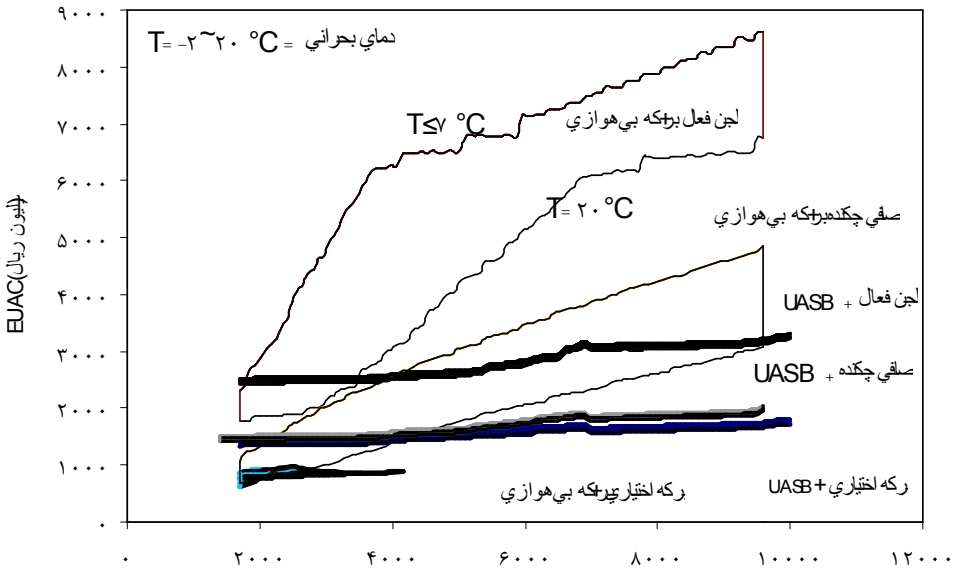
(ج) ۴۰۰۰ تن با نرخ جذب ۱۹ درصد

(د) ۴۰۰۰ تن با نرخ جذب ۱۲ درصد

شکل ۱- مقایسه EUAC (میلیون ریال) سیستم‌های مختلف تصفیه فاضلاب صنایع قند در اقلیم‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تحلیل حساسیت EUCA نسبت به COD ورودی در گستره دمایی اقلیم‌های نیمه مرطوب تا فراخشک

کشاورزی ۱۵ هزار ریال در نظر گرفته شده و تأثیر افزایش قیمت در آنالیز حساسیت بیان می‌گردد.

همان‌گونه که از شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، در همه شرایط، سیستم ترکیبی برکه بی‌هوازی و لجن فعال بیشترین هزینه و سیستم‌های ترکیبی UASB با برکه‌های اختیاری و صافی چکنده بجز در گرم‌ترین مناطق کشور، کمترین هزینه را دارند. سیستم‌های ترکیبی برکه بی‌هوازی و اختیاری به دلیل عملکرد ضعیف در تصفیه فاضلاب‌های غلیظ صنعتی تنها در گرم‌ترین مناطق کشور قادر به تولید پساب با کیفیت مورد نظر هستند. سیستم‌های ترکیبی UASB با صافی چکنده و لجن فعال نیز در اولویت‌های میانی قرار دارند که با افزایش ظرفیت کارخانه‌ها به اولویت‌های بالاتر منتقل می‌شوند. هم‌چنین تغییر نرخ جذب سرمایه تأثیر قابل توجهی بر اولویت سیستم‌ها ندارد و می‌توان در تصمیم‌گیری‌ها از آن صرف‌نظر کرد. تأثیر افزایش غلظت فاضلاب نیز اثری مشابه افزایش ظرفیت کارخانه‌ها (یعنی کاهش جذابیت سیستم‌های برکه‌ای) دارد. در مورد کارخانه‌های نیشکری که در دو ظرفیت ۱۰ و ۲۰ هزار تن در روز در کشور ایجاد شده‌اند، نیز ترتیب اولویت‌ها مشابه کارخانه‌های فرآوری چغندرقند می‌باشد.

علاوه بر موارد فوق، تصفیه لجن خروجی از سیستم لجن فعال در مقایسه با سیستم‌های دیگر که لجن تثبیت شده‌تری تولید می‌کنند، بسیار بالاست. این امر باعث می‌شود که هزینه سیستم‌های ترکیبی با لجن فعال در مقایسه با ترکیب‌های دیگر بیش از پیش افزایش و جذابیت آن به همان میزان کاهش یابد. تأثیر تصفیه لجن تجمع یافته در کف برکه‌ها؛ و لجن نسبتاً تثبیت شده خروجی از صافی‌های چکنده و UASB ، بر هزینه کل تصفیه در مقایسه با روش لجن فعال بسیار کمتر است.

مدت زمان دوره راه‌اندازی اولیه سیستم‌های UASB، لجن فعال و صافی چکنده در صنایع قند که به طور فصلی راهبری می‌شوند، از جمله معایب این سیستم‌ها است. مشکل تولید بو در برکه‌های بی‌هوازی و نقش سیستم هوادهی روش لجن فعال در انتشار بو، پس از دریافت فاضلاب تصفیه بی‌هوازی شده نیز، از معایب این دو سیستم است؛ بنابراین در نظر گرفتن چنین ملاحظاتی در انتخاب و طراحی سیستم‌های مختلف ضروری است.

۳-۱- تحلیل حساسیت

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل حساسیت، ابزاری است که جهت ارزیابی میزان تأثیر داده‌ها و پارامترها بر نتایج طراحی استفاده می‌شود؛ و به کمک آن می‌توان دقت داده‌ها را تعیین و پارامترها و ضرورت جمع‌آوری داده‌های بیشتر و بهبود تصمیمات مدیریتی را مورد ملاحظه قرار داد. تحلیل حساسیت را می‌توان نسبت به یک یا چند پارامتر مختلف انجام داد. به منظور ارائه فشرده‌تر نتایج تحلیل حساسیت، در شکل ۲ نتایج تحلیل حساسیت نسبت به COD ورودی و درجه حرارت بحرانی هوای محیط (به عنوان شاخص اقلیمی) و در شکل ۳ تحلیل حساسیت نسبت به COD ورودی و قیمت زمین با نرخ جذب سرمایه ۱۹ درصد برای یک کارخانه ۲۵۰۰ تنی فرآوری چغندرقند ارائه شده است. در شکل ۴ نیز تحلیل حساسیت نسبت به COD ورودی و ضریب تولید فاضلاب ارائه گردیده است. در این نمودارها شیب خطوط میزان حساسیت هزینه‌ها نسبت به پارامتر محور افقی و عرض نوارهای ایجاد شده، نشان‌دهنده حساسیت نسبت به پارامتر دوم می‌باشد.

با بررسی این شکل‌ها و تحلیل حساسیت نسبت به سایر پارامترها (قیمت انرژی، COD خروجی و ظرفیت کارخانه) نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- سیستم ترکیبی برکه بی‌هوازی و اختیاری، در غلظت‌های پایین و مناطق گرم کشور با کمترین هزینه قابل اجرا و بهره‌برداری هستند. در قیمت‌های بالاتر زمین، سیستم‌های ترکیبی با صافی چکنده اولویت انتخاب بالاتری دارند.

۲- EUAC در سیستم ترکیبی برکه بی‌هوازی و لجن فعال بجز در یک محدوده بالای غلظت COD، حساسیت بسیار بالایی نسبت به همه پارامترهای مورد بررسی نشان می‌دهد.

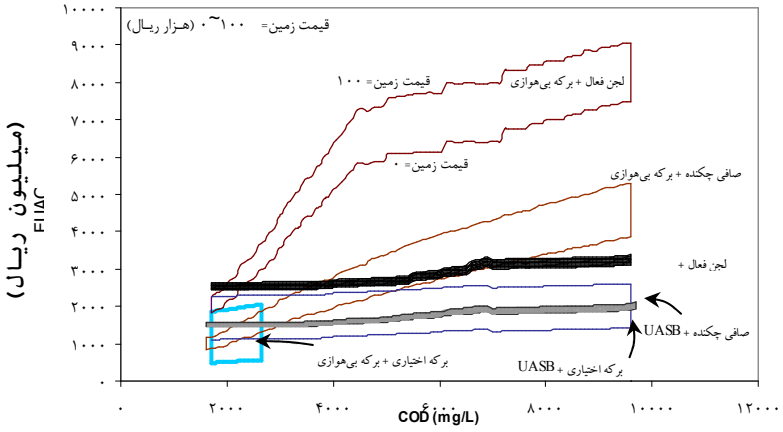
۳- در سه سیستم ترکیبی با UASB، حساسیت نسبت به قیمت انرژی کم است ولی سیستم‌های ترکیبی با لجن فعال بیشترین حساسیت را دارند.

۴- حساسیت نسبت به ضریب تولید فاضلاب در همه سیستم‌ها بالاست که این امر نشان‌دهنده اهمیت و تأثیر کاهش آن در کارخانه‌هاست. مقدار این ضریب بر حساسیت هزینه‌ها نسبت به COD ورودی نیز مؤثر است؛ به طوری‌که در ضرایب کوچک، حساسیت نسبت به COD ورودی، کم و به صورت خطی است و در ضرایب بالاتر حساسیت بالا بوده و به صورت لگاریتمی تغییر می‌کند.

۵- حساسیت نسبت به COD خروجی نیز در COD های با ورودی کم، بسیار زیاد است و با افزایش آن کاهش می‌یابد. این حساسیت در سیستم‌های ترکیبی با لجن فعال بیشترین مقدار را دارد؛ ضمن آنکه سیستم‌های برکه‌ای قادر به تصفیه و برآوردن نیازها در تمامی محدوده‌ها نیستند.

۴- نتیجه‌گیری

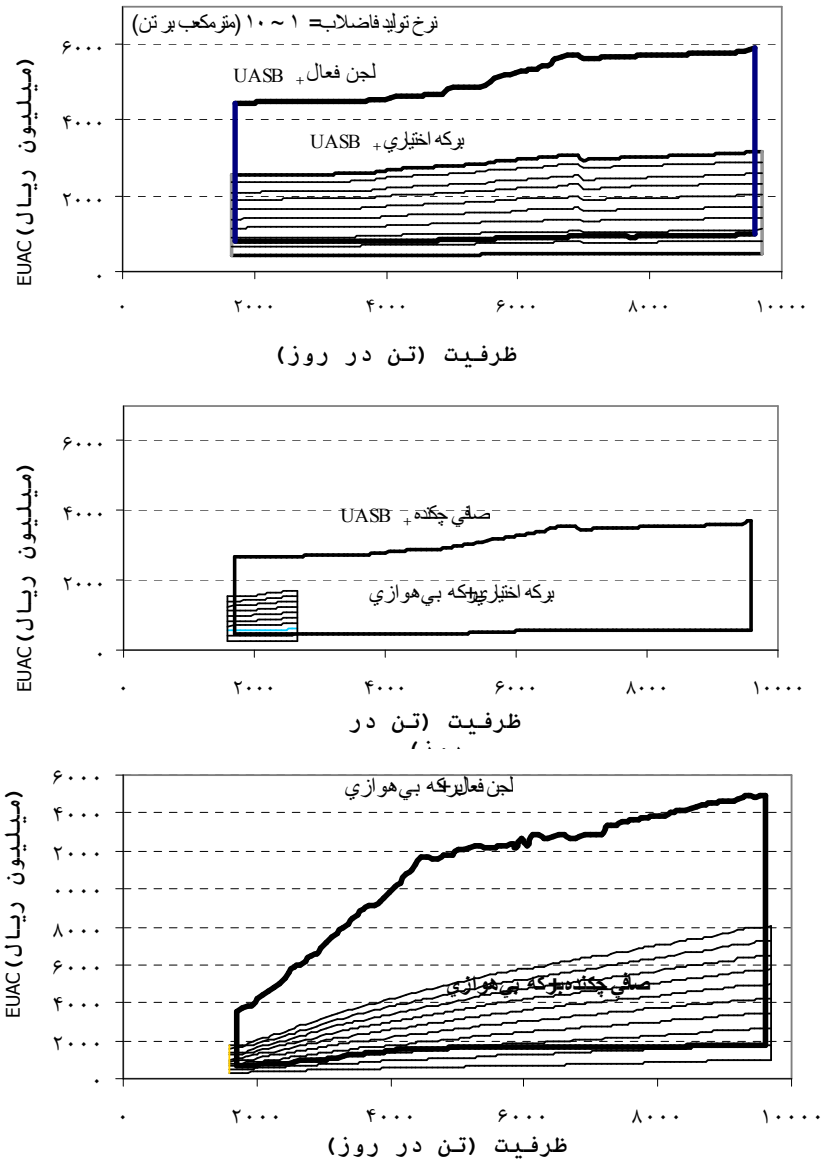
بالا بودن بار آلودگی تولیدی صنایع قند کشور و پراکندگی ناموزون آن‌ها در مناطق مختلف کشور نشان‌دهنده اولویت بالای این صنعت در اجرای برنامه‌های کاهش مصرف آب و تصفیه



شکل ۳- تحلیل حساسیت EUAC نسبت به COD ورودی و قیمت زمین

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- تحلیل حساسیت EUAC نسبت به COD ورودی و ضریب تولید پساب

فاضلاب و استفاده مجدد از پساب است. نتایج مقایسه سیستم‌های مختلف تصفیه فاضلاب این صنعت در شرایط متنوع اقلیمی کشور نشان داد:

۱- دو سیستم ترکیبی UASB با برکه‌های اختیاری و صافی چکنده در بیشتر شرایط محیطی و گستره مقادیر غلظت ورودی، نرخ تولید پساب و قیمت زمین جذابیت بالایی دارند.

۲- در مناطق گرم‌تر، سیستم‌های ترکیبی برکه بی‌هوازی با برکه اختیاری و صافی چکنده توان رقابتی بیشتری نسبت به دو سیستم فوق دارند.

۳- با افزایش قیمت زمین، COD ورودی و ظرفیت کارخانه‌ها؛ جذابیت سیستم ترکیبی UASB با لجن فعال افزایش قابل توجهی می‌یابد. ولی سیستم ترکیبی برکه بی‌هوازی با لجن فعال تنها در محدوده بسیار کوچکی از COD های کم، توان رقابت با سیستم‌های دیگر را دارد.

۴- ضریب تولید فاضلاب بیشترین تأثیر را بر هزینه‌های سیستم‌های مختلف تصفیه دارد که نشان‌دهنده اهمیت کاهش آن در کارخانه‌های قند کشور است.

۵- در صورتی که هزینه‌های تصفیه لجن نیز بر مقادیر هزینه تصفیه بیولوژیکی اضافه شود، بیشترین تأثیر را بر سیستم لجن فعال خواهد داشت که در نتیجه جذابیت آن

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش بیشتری خواهد یافت. در نظر گرفتن ملاحظاتی نظیر دوره راه‌اندازی اولیه و مشکل تولید بو در انتخاب و طراحی سیستم‌های تصفیه فاضلاب نیز ضروری است.

۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از شورای پژوهش‌های علمی کشور و طرح تحقیقات صنعتی، آموزش و اطلاع رسانی وزارت صنایع و معادن که در قالب طرح تحقیقاتی «روش های بازیافت آب و فاضلاب در صنایع غذایی» هزینه انجام این مطالعه را متقبل گردیده اند، سپاسگزاری می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

٦- مراجع

1- Miller, K. J. (1991). *"Keys to Better Water Quality."* Municipal Wastewater Reuse, EPA 430/09-91-022.

2- Okun, D. A. (1991). *"Realizing the Benefits of Water Reuse in Developing Countries.*" Municipal Wastewater Reuse, EPA 430/09-91-022.

۳- نیریزی، سعید. (۱۳۷۸). " استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، راهکار تأمین منابع آب." نشریه آب و محیط زیست، (۳٤)، ۱۲-٤.

۴- محرم‌نژاد، ن. (۱۳۷۷). "محیط زیست و صنعت قند." مجموعه مقالات بیستمین دوره سمینار کارخانه‌های قند و شکر در استان خراسان، ١٦٤-١٦٠.

۵- احمدی، م.، تجریشی، م.، ابریشم‌چی، ا. (۱۳۸۳). "مکان‌سنجی صنایع غذایی در دشت‌های آبی کشور." اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تهران،۹۹.

٦- سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۷۹). " مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست." جلد اول.

۷- شایگان، ج.، افشاری، ع. (۱۳۸۳). "بررسی وضعیت فاضلاب‌های شهری و صنعتی در ایران."م. آب و فاضلاب، (٤۹).

۸- محمدنژاد، ش. و تجریشی، م. (۱۳۷٦). "بررسی امکان استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه‌ها در کاهش بار هیدرولیکی جنوب تهران." چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، ١٤٠-١٣٤.

۹- شیرزاد، س.، تجریشی، م.، برقعی، س. م.، ایماندل، ک.، حسینی، نسب س.ا. (۱۳۷۸). "مقایسه اقتصادی روش‌های تصفیه فاضلاب شهری در شرایط اقلیمی ایران." م. انسان و محیط زیست، (۱)۱، ۱۲-۳.

10- Carawan, R. E., Chambers, J.V., Zall, R.R. (1979). "*Spinoff on Dairy Processing Water and Wastewater Management*. " USDA, Jan.

۱۱- احمدی، م. (۱۳۸۳). "بررسی فنی و اقتصادی روش‌های تصفیه فاضلاب صنایع غذایی در شرایط اقلیمی ایران." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

12- Eckenfelder, W.W. (2000). "*Industrial Water Pollution Control.*" McGraw-Hill Book Co., Singapore.

۱۳- سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۸۰). " آیین نامه‌های اجرایی بند (ج) ماده ۱۰٤ و ماده ۱۳٤ قانون برنامه سوم توسعه." انتشارات دایره سبز.

14- Mara, D. D. and Pearson, H. (1998). "*Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean Countries*. " Leeds: Lagoon Technology International Ltd.

15- Mara, D. D. and Pearson, H. (1987). "*Waste Stabilization Ponds: Design Manual for Mediterranean Europe.*" World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

16- Lettinga, G., Field, J., van Lier, J., Zeeman, G. , and Hulshoff Pol, L. W. (1997). *"Advanced Anaerobic Wastewater Treatment in the Near Future*. " J. Wat. Sci. Tech., 35(10), 5-12.

17- Qasim, S.R. (1999). "*Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation*." Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster.

18- Rittmann, B.E., and McCarty, P.L. (2001). "Environmental Biotechnology: Principles and Applications." McGraw-Hill Book Co., Singapore.

www.SID.ir