Optimization of Industrial Water Treatment By Reverse Osmosis and Ion Exchange

Torabian, A.(Ph.D) and Toghraee, M.
Dept. of Environmental Engineering
University of Tehran.

Abstract

Every year billions of rials are spent for supplying demineralized water for industries. The basic procedure for providing demineralized water is ion exchange (IX), but nowdays some modern techniques have been developed. One of the most important of these techniques is reverse osmosis (RO). Although there are some RO systems in Iran at the time being, but principal of design and operation are not clarified. Therefore, RO system has not been interested by local industries. Besides there is no price criteria for selection of IX, RO or mixed Ro and IX for providing demineralized water.

In this study, a case study for ecnomic comparison of RO and combination of Ro and IX have been studied technically and economically. Flow rate for the case was 50 m^3/hr and various TDS up to 3000 mg/1 were used. The results of the study indicated while the water contain TDS of more than 520 mg/L with considering the interset rate of 30 percent still the procedure is economical.

بهینه‌سازی تصفیه آب صنعتی به روش اسمز معکوس و تبادل یونی

علی ترابیان* محمد طغرایی**

چکیده

سالیانه در صنایع کشور میلیاردها ریال صرف تهیه آب بدون یون می‌گردد. روش سنتی تهیه آب بدون یون استفاده از سیستم تبادل یونی است اما امروزه روش‌های دیگری هم عرضه شده‌اند. از جمله مهمترین این روش‌ها، روش اسمز مکعوس است. اگرچه امروزه درکشور سیستم‌های اسمز معکوس در حال بهره‌برداری می‌باشد ولی روش‌های انتخاب طراحی صحیح آنها دقیقاً مشخص نیست و در نتیجه به علت وجود مشکلات، چندان مورد استقبال صنایع کشور قرار نگرفته‌اند. در این تحقیق یک مطالعه موردی جهت مقایسه تهیه آب بدون یون به روش تبادل یونی و ترکیب تبادل یونی و اسمز معکوس برای جریانی با دبی ۵۰ مترمکعب در ساعت و TDSهای مختلف تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر انجام و نتیجه گیری شده که در شرایط بهره بانکی ۳۰ درصد در سال TDS انتقال معادل ۵۲۰ میلی‌گرم در لیتر است و به عبارت دیگر تهیه آب دمین برای آبی با TDS بالای ۵۲۰ میلی‌گرم در لیتر به روش تبادل یونی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

مقدمه

بهینه‌سازی تهیه آب بدون یون با توجه به سرمایه گذاری‌هایی که در صنعت در این زمینه صورت گرفته و یا در آینده انجام می‌شود از اهمیت به سزایی برخوردار است. چنانچه هدایت الکتریکی آب کمتر از ۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد به آن آب دمین اطلاق می‌گردد [۱]. روش سنتی تهیه آب دمین در ایران سیستم تبادل یونی است که در آن از ستون‌های کاتیونی و آنیونی و احتمالاً ستون مخلوط استفاده می‌شود. ولی امروزه روش‌های دیگری هم عرضه شده‌اند که مهمترین آنها روش اسمز معکوس است. معمولاً مشخصات واحد اسمز معکوس با دو عامل بازیافت[1] و درصد زدایش نمک[2] بیان می‌شود. این دو عامل به صورت زیر تعریف شده‌اند [۲].

$$R = Qp/Qf \times 100, SR = 1 - TDSp/TDSf$$

که در آن:

Qp = دبی خروجی از اسمز معکوس

Qf = دبی ورودی به RO

TDSp = کل نمک‌های محلول در جریان خروجی

TDSf = کل نمک‌های محلول در جریان ورودی

با توجه به این که درصد زدایش نمک واحدهای معمول اسمز معکوس برای آب‌های لب‌شور بین ۹۰ تا ۹۵ درصد است، مشخص می‌گردد که یک واحد اسمز معکوس منفرد تنها در صورتی می‌تواند TDS ورودی را تا حدی کاهش دهد تولید

* - استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

** - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

1- Recovery

2- Salt Rejection

آب دمین کاهش دهد که TDS آب ورودی به آن کمتر از ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد. در حالی که واحدهای تبادل یونی (از نظر فنی) می‌توانند از آب با هر TDS، آب دمین تهیه نمایند.

بنابراین چنانچه TDS آب ورودی بیش از ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد امکان تهیه آب دمین توسط واحد اسمز معکوس به تنهایی از لحاظ فنی امکان‌پذیر نمی‌باشد و باید پس از واحد اسمز معکوس یک ستونی تبادل یونی دو بستره استفاده نمود. به چنین واحدی که از ترکیب اسمز معکوس و تبادل یونی دو بستره تشکیل شده واحد هیبریدی می‌گویند. از نظر فنی و اقتصادی چنانچه TDS آب از حد مشخص بیشتر باشد از واحد هیبریدی و در غیر این صورت می‌توان از واحد تبادل یونی (ستون کاتیون و ستون آنیون) استفاده نمود. این حد مشخص را TDS انتقال می‌نامند و برای به دست آوردن آن لازم است مطالعات اقتصادی صورت گیرد. هدف این تحقیق نشان دادن TDS انتقال برای جریان با دبی ۵۰ مترمکعب در ساعت و TDSهای مختلف تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

روش تحقیق

به منظور تعیین TDS انتقال و استفاده کاربردی آن از در صنعت، ارزیابی اقتصادی برای جریان آبی با دبی ۵۰ متر مکعب در ساعت با TDSهای ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر صورت گرفته است. چهار آنالیز آب برای آب ورودی مطابق TDSها در نظر گرفته شده و سیستم تبادل یونی (IX)، اسمز معکوس (RO)، اسمز مکعوس و تبادل یونی (RO+IX) دو بستره برای حالت‌های مختلف طراحی شده است. در محاسبات اقتصادی عمر سیستم ۳۰ سال و بهره بانکی به ترتیب ۱۵ و ۳۰ درصد در نظر گرفته شده و محاسبات برای هر دو حالت انجام شده است. بهره ۱۵ درصد برای استفاده از وام‌های بانکی تحت حمایت وزارت صنایع و بهره دوم برای استفاده از وام بدون حمایت جهت ساخت و راه‌اندازی می‌باشد.

در این مطالعه جهت به دست آوردن TDS انتقال قیمت آب خروجی از واحد اسمز معکوس و تبادل یونی دو بستره و همچنین قیمت واحد تبادل یونی منفرد محاسبه و مقایسه شده است. برای واحد اسمز معکوس از مدول HOLLOW FINE FIBRE از جنس PA استفاده شده و برای تبادل یونی در حالت منفرد از رزین‌های کاتیونی و آنیونی قوی استفاده شده است. برای این که بتوان مقایسه صحیحی بین دو سیستم تبادل یونی و اسمز معکوس انجام داد، آب در شرایط کاملاً ایده‌ال یعنی بدون هیچگونه مواد آلی، مواد کلوئیدی، سیلیس و pH بین ۶/۵ الی ۷/۵ در نظر گرفته شده است. ساعات بهره‌برداری در یک روز ۸ ساعت می‌باشد. هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه بر حسب تابعی از ظرفیت واحد Qp به دست آورده شده و برای به دست آوردن چنین رابطه‌ای برای واحد اسمز معکوس اطلاعات و قیمت واحدهای اسمز معکوس مختلف جهان در حیطه آب لب شور گردآوری شده است. قیمت‌ها توسط شاخص هزینه (M&S)[1] به روز تبدیل شده است. در نهایت رابطه زیر برای هزینه سرمایه گذاری واحد اسمز معکوس در سال ۱۹۹۸ به دست آمد.

$$COST(USD) = 154/3\ Qp\ (m^3/d) + 185130$$

برای سال‌های آینده می‌توان با استفاده از شاخص M&S هزینه سرمایه گذاری را محاسبه نمود. باید توجه داشت روش فوق یک روش تخمینی تقریبی است که معمولاً برای محاسبه سرمایه گذاری اولیه به‌کار می‌رود. این روش در این تحقیق فقط به عنوان کنترل به کار گرفته شده است.

روش اصلی به کار گرفته شده، روش تخمین مطالعاتی می‌باشد. در این روش سرمایه گذاری اولیه و هزینه‌های جاری بستگی به اجزاء تشکیل دهنده پروژه دارند. اجزاء تشکیل دهنده برای واحد اسمز معکوس جهت سرمایه گذاری اولیه و بهره‌برداری در جدول ۱ نشان داده شده است. برای واحد تبادل یونی، طراحی و محاسبه قیمت از برنامه کامپیوتری شرکت پرولیت استفاده شده است. اجزاء تشکیل دهنده واحد یونی جهت سرمایه گذاری و بهره‌برداری در جدول ۱ نشان داده شده است.

هزینه‌های اسمز معکوس در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. با توجه به این که برق مصرفی در واحد اسمز معکوس عمدتاً مربوط به پمپ‌های فشار بالا می‌باشد لذا با استفاده از رابطه انرژی مصرفی پمپ‌ها میزان برق آنها محاسبه

1- Marshall & Swift

جدول ۱ - اجزاء سرمایه گذاری اولیه و هزینه جاری واحد RO و تبادل یونی.

اسمز معکوس		تبادل یونی	
اجزا سرمایه گذاری واحد اسمز معکوس	اجزاء هزینه‌های جاری	اجزا سرمایه گذاری واحد تبادل	اجزاء هزینه‌های بهره‌برداری
هزینه زمین	هزینه انرژی	هزینه زمین	هزینه‌های اسید و قلیا
هزینه آماده‌سازی سطح	هزینه تعویض غشاء	هزینه آماده‌سازی	هزینه‌های لوازم یدکی
هزینه تأسیسات تأمین آب و دفع جریان غلیظ (بازداشته)	هزینه پرسنلی	دفع جریان شستشو	هزینه‌های پرسنلی
هزینه تأسیسات جانبی	هزینه قطعات یدکی	تأسیسات جانبی	هزینه‌های انرژی
هزینه تأمین برق	هزینه مواد شیمیایی	ستون‌ها رزین	
هزینه لوله کشی خارجی		لوله کشی و شیرآلات	
هزینه سیستم اسمز معکوس		کنترل و ابزار دقیق	
هزینه غشاء			
هزینه پمپ‌ها			
هزینه کنترل‌ها			
هزینه لوله کشی			
هزینه برق‌کشی			
هزینه ظروف تحت فشار			
هزینه نگهدارنده‌ها			

جدول ۲- پارامترهای سرمایه گذاری اولیه.

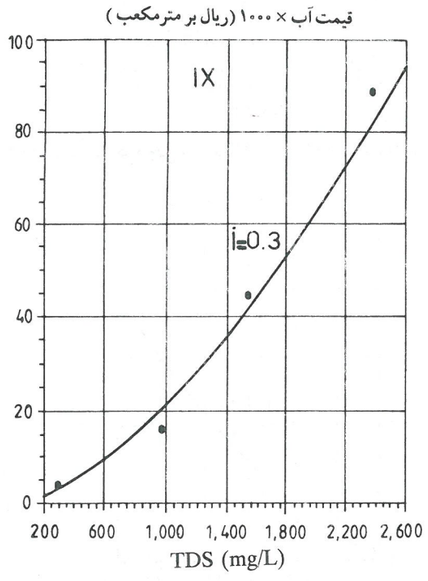
مورد	$ m^3 pd	
	گستره قیمت	قیمت نمونه
- هزینه زمین	۰-۱۴۵۰	۲۶/۴۲
- هزینه آماده‌سازی	۱۳/۲-۱۳۲/۱	۲۳/۷۸
- هزینه تأمین آب	۱۳/۲-۷۹/۲۶	۲۹/۰۶
- هزینه تأسیسات جانبی	۱۹۸/۱۵-۵۲۸/۴۰	۴۰۹/۵۱
- هزینه تأسیسات اصلی		

جدول ۳- پارامترهای هزینه جاری.

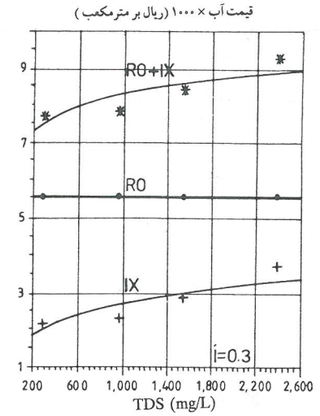
مورد	$ m^3 pd	
	گستره قیمت	قیمت نمونه
- انرژی		
- تعویض غشاء	۰/۰۱-۰/۰۳۴	۰/۰۵
- هزینه کارگری		
- قطعات یدکی		۰/۰۲
- مواد مصرفی		
- مواد شیمیایی	۰/۰۱-۰/۱۴	۰/۰۴
- فیلتر فشنگی	۰/۰۰۵-۰/۰۵	۰/۰۱

جدول ۴- قیمت برق صنعتی.

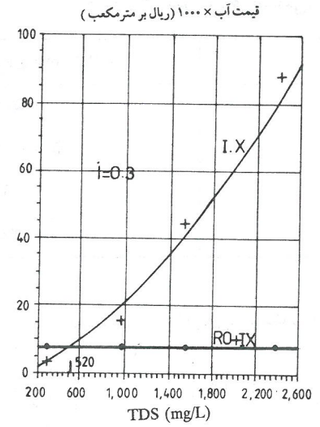
مقدار مصرف KWH/mo	ارزش Rls/kwh
۰/۵۰۰	۵۰
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰
۱۰۰۰-۱۲۰۰	۱۵۰
>۱۲۰۰	۱۷۰



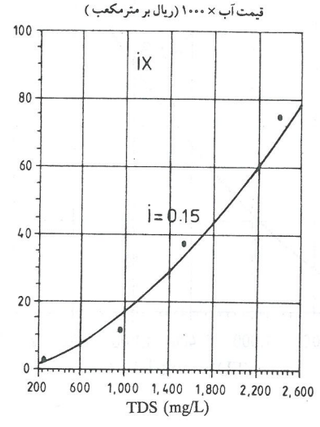
شکل ۱- قیمت آب خروجی واحد IX منفرد نسبت به TDS آب ورودی.



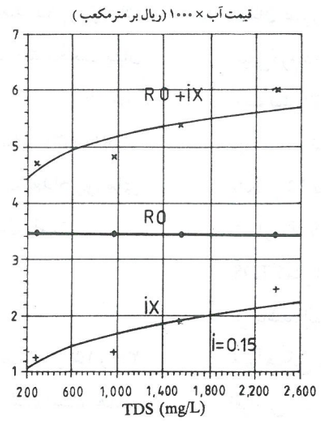
شکل ۲- قیمت آب خروجی واحد RO+IX.



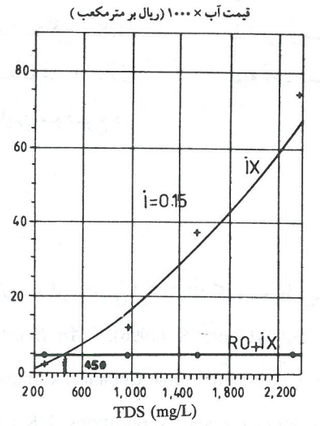
شکل ۳- قیمت آب خروجی واحد IX و RO+IX نسبت به TDS آب ورودی.



شکل ۴- قیمت آب خروجی واحد IX منفرد نسبت به TDS آب ورودی.



شکل ۵- قیمت آب خروجی واحد RO + IX.



شکل ۶- قیمت آب خروجی واحد IX و RO+IX نسبت به TDS آب ورودی.

می‌شود. برای قسمت برق صنعتی در سال ۱۳۷۷ از جدول ۴ استفاده شده است. هزینه‌های پرسنلی با توجه به حداقل حقوق در سال ۱۳۷۷ و سهم کارفرما در پرداخت حق بیمه و لزوم استفاده از کارگرفتی ۲۵۰۰ ریال در ساعت در نظر گرفته شده است.

کلیه هزینه‌ها برای مقایسه نتایج تحقیق با کار سایر محققین با فرض برابری هر دلار معادل ۵۰۰۰ ریال تبدیل شده است.

جهت مقایسه دو پروژه اسمز معکوس تبادل یونی دو بستره و تبادل یونی از روش هزینه سرمایه گذاری اولیه[1] استفاده شده است. این روش برای پروژه‌هایی قابل اجرا است که در آن مواد اولیه و فرآورده‌ها یکسان هستند. به این علت این روش معمول‌ترین روش گزینش در پروژه‌های آب و فاضلاب است. به طور خلاصه در این روش سرمایه گذاری اولیه در

1- Captalized Cost

ضریبی بنام فاکتور بارمالی (CRF) ضرب شده و حاصل با هزینه‌های جاری جمع می‌گردد. جمع حاصل را هزینه سرمایه گذاری می‌گویند و به K نمایش می‌دهند. در پروژه‌های تصفیه آب K با استفاده از رابطه زیر بر حسب مترمکعب بیان می‌شود.

$$k(RLs/m^3) = K(RLs/Yr)/[Qp(m^3d \times 365 \times Load\ Factor)]$$

مقصود از LOADING FACTOR نسبت تعداد روزهای کاری سیستم به تعداد روزهای کل (طی یکسال) است.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از این تحقیق برای بهره‌های ۱۵ و ۳۰ درصد به ترتیب در نمودارهای ۱ تا ۶ خلاصه شده است. همان طوری که نمودارهای ۲ و ۵ نشان می‌دهد تغییرات قیمت آب تولیدی از یک واحد اسمز معکوس بستگی به TDS ندارد. در حالی که در واحد تبادل یونی قیمت آب شدیداً بستگی به TDS دارد. هزینه آب در روش هیبریدی (اسمز معکوس + تبادل یونی دو بستره) بستگی کمی به TDS دارد. این موضوع در نمودارهای ۲ و ۵ به خوبی نشان داده شده است.

زمانی که بهره بانکی ۳۰ درصد در سال باشد TDS انتقال همان طوری که شکل شماره ۳ نشان می‌دهد معادل ۵۲۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. این بدین معنی است که چنانچه TDS آب بیش از ۵۲۰ میلی‌گرم در لیتر باشد تهیه آب دمین با استفاده از سیستم تبادل یونی مقرون به صرفه نمی‌باشد. چنانچه بهره بانکی ۱۵ درصد در سال در نظر گرفته شود با توجه به شکل شماره ۶، TDS انتقال معادل ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر است. یعنی با TDS کمتر از ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر تبادل یونی مقرون به صرفه می‌باشد. البته نتایج این تحقیق با کارهای انجام شده در اروپا هم‌آهنگی دارد [۲]. بنابراین هر چقدر دبی جریان ورودی افزایش یابد واحد اسمز مکعوس + تبادل یونی دو بستره به صرفه‌تر می‌گردد و هر چقدر TDS آب ورودی افزایش یابد قیمت آب تولیدی افزایش می‌یابد. لذا به نظر می‌رسد قبل از طراحی و ساخت واحدهای اسمز معکوس و تبادل یونی جهت تهیه آب دمین لازم است به این نتایج توجه کافی مبذول داشت.

منابع و مراجع

۱- طغرایی، م. (۱۳۷۷). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

2- Newell, P.A., Wrigley P. Shen, and Whipple, S. (1996). " *An Economic Comparison of Reverse Osmosis and Ion Exchange in Europ* ", Germany : Dow Chemical Company, PP. 59-60.

3- Gregig, J.A. Ion Exchange Developments and Applications, UK : (1996). " *Society of Chemical Industry* ", PP 30-65.

4- Mallevialle, J., Odendaal, P.E. (1996). " *The Emergence of Membrances in Water and Wastewater Treatment*", AWWA and Research Foundation of South Africa.