



ISSN 2588-3941

نشریه علمی - ترویجی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال دوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

نشریه علمی - ترویجی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال دوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

انجمن آب و فاضلاب ایران

سخن سردبیر

مقالات علمی

- ۱
- ۳ بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از ابزار Darwin Scheduler
جواد کرمی، علیرضا مقدم، علیرضا فریدحسینی، حسین ثنایی نژاد و علی نقی ضیایی
- ۱۳ بررسی صرفه اقتصادی استفاده از لوله‌های جداره نازک چدن نشکن در مقایسه با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی
مهرداد رشیدزاده
- ۲۱ تحلیل اطمینان‌پذیری سیستم تصفیه و بازیافت پساب شهرک صنعتی مورچه‌خورت با استفاده از روش شبکه بیزی
راضیه انالوئی، مسعود طاهریون و حمیدرضا صفوی
- ۲۸ ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های نمک‌زدایی از آب دریا با در نظر گرفتن ویژگی‌های بومی در نقاط مختلف دنیا
حمیدرضا رشیدی، محمدحسین صراف‌زاده و هاشم اصغرنژاد
- ۳۸ بهینه‌سازی تولید هم‌زمان آب شیرین و توان در نیروگاه‌های حرارتی
فرشید پرهیزکار و امید پورعلی
- ۴۶ آسیب‌شناسی اجرا و توسعه طرح‌های فاضلاب در ایران
علی اصغر قانع و مجید قنادی
- ۵۲ تاثیر استفاده از استاندارد اروپایی در عملکرد واحد دانه‌گیر هوادهی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
شیما مردانی و میترا حسینی ناژوانی

مطالب عمومی

- ۵۵ فراخوان ایده‌کاوی
- ۵۶ مصاحبه
- ۶۲ فناوری برتر
- ۶۴ معرفی کتاب
- ۶۵ گزارش فعالیت‌های انجمن

www.jwwse.ir

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۹/۱۸/۳ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی-ترویجی دریافت نموده است.

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



شرکت آب و فاضلاب استان تهران

این شماره با حمایت مادی و معنوی شرکت آب و فاضلاب استان تهران به چاپ رسیده است.

دکتر بیژن بینا: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

دکتر افشین تكدستان: دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپوراهواز

دکتر سید حسین سجادی فر: استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهریار و مشاور معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکتر محمد حسین صراف زاده: دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران و رئیس کرسی یونسکو در بازیافت آب

دکتر حمیدرضا صفوی: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر ناصر طالب بیدختی: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شیراز

دکتر علی اکبر عظیمی: استادیار بازنشسته دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

مهندس مجید قنادی: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط و مشاور معاون مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکتر سیمین ناصری: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

دکتر سارا نظیف: استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر منوچهر وثوقی: استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

مهندس علی اصغر قانع: معاونت فنی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
مهندس محمد پرورش: مدیر عامل و رئیس هیئت مدیره شرکت آب و فاضلاب استان تهران
مهدی بابایی: معاون برنامه ریزی و منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب استان تهران

مهندس افشین شقاقی: مدیر دفتر پژوهش و بهبود بهره وری شرکت آب و فاضلاب استان تهران
مهندس محمد شیرینی: رئیس گروه پژوهش شرکت آب و فاضلاب استان تهران
بختیار احمدی: کارشناس پژوهش شرکت آب و فاضلاب استان تهران

ناهید اختری

نیاز مهدی اصفهانی

انجمن آب و فاضلاب ایران

فصلنامه

۱۰۰۰ نسخه

تهران، خیابان طالقانی، بین قدس و وصال، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

شورای سیاستگزاری

صنعت آب و فاضلاب

مشاورین

هیئت تحریریه

کارشناس اجرایی

طراح و صفحه آرا

ناشر

ترتیب انتشار

شمارگان

آدرس:

تلفن:

فکس:

مقالات علمی

- ۱
- ۳ بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از ابزار Darwin Scheduler
جواد کرمی، علیرضا مقدم، علیرضا فریدحسینی، حسین ثنائی‌نژاد و علی نقی ضیایی
- ۱۳ بررسی صرفه اقتصادی استفاده از لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن در مقایسه با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی
مهرداد رشیدزاده
- ۲۱ تحلیل اطمینان‌پذیری سیستم تصفیه و بازیافت پساب شهرک صنعتی مورچه‌خورت با استفاده از روش شبکه بیزی
راضیه انالوئی، مسعود طاهریون و حمیدرضا صفوی
- ۲۸ ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های نمک‌زدایی از آب دریا با در نظر گرفتن ویژگی‌های بومی در نقاط مختلف دنیا
حمیدرضا رشیدی، محمدحسین صراف‌زاده و هاشم اصغرنژاد
- ۳۸ بهینه‌سازی تولید هم‌زمان آب شیرین و توان در نیروگاه‌های حرارتی
فرشید پرهیزکارو امید پورعلی
- ۴۶ آسیب‌شناسی اجرا و توسعه طرح‌های فاضلاب در ایران
علی اصغر قانع و مجید قنادی
- ۵۲ تاثیر استفاده از استاندارد اروپایی در عملکرد واحد دانه‌گیر هوادهی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
شیمای مردانی و میترا حسینی نازوانی

مطالب عمومی

- ۵۵ فراخوان ایده کاوی
- ۵۶ مصاحبه
- ۶۲ فناوری برتر
- ۶۴ معرفی کتاب
- ۶۵ گزارش فعالیت‌های انجمن

دکتر حمیدرضا صفوی
استاد دانشکده مهندسی
عمران، دانشگاه صنعتی
اصفهان



با عنایت به بحران‌های ناشی از کمبود شدید منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی در سطح کشور و لزوم پرداختن به بحث‌های مدیریت مصرف، حفاظت کمی و کیفی منابع آب، تصفیه و بازچرخانی پساب‌ها و نهایتاً استفاده چندباره از فاضلاب‌های تصفیه شده، انجمن آب و فاضلاب ایران با رویکرد چاپ و انتشار مطالبی که ضمن برخورداری از محتوای علمی و تحقیقاتی بتواند به نحو مطلوب‌تری ارتباط بین دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی را با صنعت آب و فاضلاب ایجاد نماید، اقدام به اخذ مجوز و چاپ نشریه علمی - ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب نمود که اکنون شماره دوم این مجله را در پیش رو دارید.

هدف اصلی از انتشار این مجله که به دو صورت چاپی و الکترونیکی منتشر می شود، انتشار مطالب کاربردی و انتقال تجارب عملی چه از جانب صنعت و چه مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی به مدیران، طراحان، مجریان، سازندگان و بهره‌برداران تاسیسات آب و فاضلاب و به عبارت دیگر خانواده این صنعت است که عمدتاً اعضای انجمن آب و فاضلاب نیز می‌باشند. براین اساس، ترکیب اعضای محترم هیئت تحریریه این مجله مشتمل بر همکاران شاخص دانشگاهی و کارشناسان ارشد خبره در صنعت آب و فاضلاب هستند. در این نشریه سعی شده علاوه بر چاپ مقالات تحقیقاتی، به نوشتارهای عمومی در زمینه تجارب عملی کارشناسان در زمینه‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری، معرفی سمینارهای پیش‌رو در سطوح ملی و بین‌المللی، کتاب‌های تخصصی، فناوری‌های جدید، مصاحبه با مدیران ارشد و نیز خبرگان این صنعت پرداخته شود که می‌تواند نقش موثری در ارتقای آگاهی‌های عمومی و نیز حرفه‌ای داشته و به‌ویژه برای اعضای محترم انجمن مفید فایده باشد. سعی شد این قاعده در شماره اول این نشریه رعایت شود که بر این اساس مورد استقبال خوانندگان قرار گرفت و بازخوردهای خوبی از خوانندگان محترم دریافت شد.

اصولاً انجمن‌های حرفه‌ای موفق در جهان تمرکز خود را بر محورهای برگزاری کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی، کارگاه‌ها و نشست‌های تخصصی، انتشار کتب و مجلات تخصصی قرار داده‌اند. براین اساس نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به‌عنوان اولین مجله انتشار یافته توسط انجمن آب و فاضلاب ایران قصد دارد ضمن انتشار منظم مطالب علمی، بازخوردهای اعضای خود و نیز جامعه تخصصی و حرفه‌ای را از مطالب انتشار یافته دریافت و ضمن بررسی و تحلیل آن‌ها در جلسات هیئت تحریریه، اقدامات توسعه‌ای و یا اصلاحی مورد نیاز را برنامه‌ریزی نماید. در این مرحله سعی شده با راه‌اندازی و به‌روزرسانی سایت مجله امکان ارسال، داوری، پذیرش و انتشار مقالات به‌سادگی و به‌صورت الکترونیکی امکان‌پذیر باشد. بر این اساس، امکان دریافت مقالات و مطالب این نشریه به‌صورت رایگان وجود دارد. موضوعات مورد نظر مجله برای ارسال مقالات، دستورالعمل تدوین مقالات و نحوه ارتباط با هیئت تحریریه و دفتر مجله در سایت آن موجود است.

در همین‌جا از کلیه خوانندگان این نشریه و به‌ویژه اعضای محترم انجمن آب و فاضلاب ایران تقاضا دارد مطالب علمی و به ویژه کاربردی خود را برای بررسی و چاپ از طریق سایت مجله ارسال نمایند. همچنین درخواست می‌شود نظرات و رهنمودهای ارزشمند خود را از طریق ایمیل مجله برای ما ارسال فرمایید. امید است با استفاده از نظرات ارزشمند مخاطبان نشریه شاهد رشد کیفی و کمی آن در شماره‌های آتی باشیم.

حمیدرضا صفوی
سردبیر

Optimizing Energy Consumption in Pumping Stations Using Darwin Scheduler

Javad Karami^{1*}, Alireza Moghadam², Alireza Farid-Hosseini³, Hossein Sanaee-Nejad³ and Ali Naghi Ziaei⁴

1- M.Sc. Student, Water Resources Engineering, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran.

2- Ph.D. Candidate, Water Resources Engineering, Urmieh University, Urmieh, Iran.

3, 4- Associate Professor and Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran.

*Corresponding Author, Email: jkkormanje@gmail.com

Received: 31/5/2017

Revised: 11/10/2017

Accepted: 11/10/2017

Abstract

Today, in addition to the optimal hydraulic design of water distribution networks, the optimization of energy consumption in pumping station is more important for researchers. Due to the energy costs include the major part of operation cost at a water network, in this paper study the optimization of daily energy cost of pumping station with five parallel pumps, using by Darwin scheduler at WaterGEMS V8i software based on Simple Genetic Algorithm (SGA) and Fast Messy Genetic Algorithm (FMGA). The hydraulic constraints include the minimum and maximum pressure of junctions, maximum velocity of pipes and maximum number of economic off and on of pumps. The results showed that the energy costs reduced 15 and 10 percent using by SGA and FMGA, respectively, with regard to electricity tariffs.

Keywords: Darwin Scheduler, Genetic Algorithm, Optimization, Water Distribution Networks.

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از ابزار Darwin Scheduler

جواد کریمی^{۱*}، علیرضا مقدم^۲، علیرضا فریدحسینی^۳، حسین ثنائی‌نژاد^۴، علی نقی ضیایی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه، ایران

۳ و ۴- دانشیار و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: jkkormanje@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۹

چکیده

امروزه در شبکه‌های توزیع آب شهری علاوه بر انجام طراحی بهینه هیدرولیکی، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ در راس الزامات محققان قرار گرفته است. با توجه به این که هزینه‌های انرژی سهم بالایی از هزینه بهره‌برداری از شبکه را شامل می‌شود، در این پژوهش به کمک ابزار Darwin Scheduler در نرم‌افزار WaterGEMS V8i نسبت به بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن هزینه انرژی مصرفی روزانه یک ایستگاه پمپاژ شامل پنج عدد پمپ موازی در یک شبکه توزیع آب شهری، به کمک الگوریتم ژنتیک ساده (SGA) و الگوریتم ژنتیک با آشفستگی سریع (FMGA) اقدام شده است. قیود هیدرولیکی شامل حداقل و حداکثر فشار در هر گره، سرعت حداکثری در هر لوله و تعداد دفعات خاموش و روشن شدن اقتصادی پمپ‌ها می‌باشد که در نتیجه کاهش هزینه‌های انرژی با استفاده از الگوریتم‌های SGA و FMGA به ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۰ درصد با اعمال تعرفه برق مصوب، نسبت به عملکرد پمپ‌ها بدون اعمال بهینه‌سازی حاصل شد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع آب، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، Darwin Scheduler

مربوط به آب کردند. با پیشرفت علم بهینه‌سازی، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی معرفی گردید و (Cunha and Sousa 1999) این الگوریتم را برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب به کار بردند. با گذشت زمان، الگوریتم‌های جدیدی، در رابطه با حل مسائل مربوط به آب استفاده شدند. از جمله می‌توان به بهینه‌سازی شبکه آبرسانی توسط (Eusuff and Lansey 2003) با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه (SFL) و (Keedwell and Khu 2006) با استفاده از الگوریتم اوتاماتای سلولی (Suribabu and Neelakantan 2006) با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (PSO) اشاره کرد. استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان (ACO) (Maier et al. 2003) برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب توسط (Coelho et al. 2012) و (Zecchin et al. 2007) صورت گرفت. در مقاله‌ای مبنی بر بهینه‌سازی ایستگاه پمپاژ، با مقایسه مدل هیدرولیکی EPANET و الگوریتم ژنتیک به این نتیجه رسیدند که ۳۴ درصد از انرژی سیستم طبق مدل الگوریتم ژنتیک قابل صرفه‌جویی است. (Mackle et al. 1995) نیز در مقاله‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک، اقدام به بهینه‌سازی ایستگاه‌های پمپاژ در جهت کاهش هزینه برق مصرفی نموده‌اند. (Hashemi et al. 2014) به منظور بهینه‌سازی برنامه ایستگاه‌های پمپاژ شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از پمپ‌های دور متغیر^۲ (VSP) ترکیبی از الگوریتم بهترین تکرار کلونی مورچگان^۳ (AS_{II}) و EPANET 2.0 را به کار گرفتند. پمپ‌های دور متغیر موجب انعطاف‌پذیری برنامه پمپاژ ضمن بهینه‌سازی مصرف انرژی و تأمین نیاز مصرف‌کنندگان با توجه به تغییرات تقاضا در طول شبانه‌روز می‌شود. نتایج اعمال مدل فوق در شبکه‌ای شاخص حاکی از تقلیل هزینه‌های پمپاژ نسبت به به کارگیری پمپ‌های دور ثابت^۴ (SSP) است. (Mala-Jetmarova et al. 2014) مدلی طراحی کردند تا هم‌زمان با ارائه کم‌ترین انحراف از استاندارد کیفی، نتایج مناسبی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ حاصل شود. آنها از نرم‌افزاری که با نسخه دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۵ (NSGA-II) لینک شده بود برای دو نوع شبکه متفاوت برای ایجاد تعادل بین کیفیت آب و هزینه‌های پمپاژ تحت ۱۴ سناریوی متفاوت استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که چگونه در هر دو شبکه تغییر در کیفیت آب منبع و یا کیفیت آب مورد نیاز شبکه، می‌تواند بر عملکرد و بهره‌برداری سیستم تأثیر بگذارد. (Menke et al. 2015)

رشد روزافزون جمعیت و تجمع آن‌ها در نقاط شهری، استفاده از شبکه‌های گسترده و پیچیده آبرسانی را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است. هزینه‌های بسیار سنگین سیستم‌های توزیع آب (WDSs)^۱، سبب شده است تا افزایش بهره‌وری در تجهیزات و تاسیسات صنعت آب از جمله خواست‌گاه‌های ذی‌نفعان این صنعت به‌شمار آید. با توجه به سهم ۶۵ درصدی هزینه‌های انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ از کل هزینه‌های بهره‌برداری، پرداختن به بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با اهمیت است.

رفتار عمومی سیال در سیستم‌های آبرسانی وابسته به زمان خواهد بود، بنابراین ارزیابی صحیح یک سیستم توزیع آب در گرو مطالعه رفتار سیال به کمک مدل‌های دینامیکی است. از طرفی می‌توان با بهینه‌سازی مدل مذکور اقدامات موثری را در کاهش هزینه‌ها انجام داد به گونه‌ای که قیدهای طراحی و نیاز مصرف‌کنندگان با حدود اطمینان خاصی تأمین شود. در این راستا با توجه به نوع طراحی انتخاب شده، می‌توان توابع هدف متفاوتی تعریف کرد. مشخص است مجموعه معینی از فاکتورهای اساسی برای حل یک مسئله وجود ندارد بنابراین اکثر روش‌های بهینه‌سازی قابلیت تطبیق با توابع هدف گوناگون را دارا می‌باشند.

در طول نیم‌قرن اخیر، تحقیقات بسیاری بر روی بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی در منابع مختلف دیده می‌شود. به‌طور مثال در زمینه بهینه‌سازی شبکه آبرسانی برای قطره‌ای پیوسته محققینی چون (Jacobson 1968) و (Varma et al. 1997) تحقیق کرده‌اند و همین‌طور برای بهینه‌سازی قطره‌ای گسسته می‌توان به تحقیقات (Kessler and Shamir, Quindry et al. 1979) و (Bhave and Sonak 1992) اشاره کرد. با ارائه مدل الگوریتم ژنتیک برای مسائل بهینه‌سازی، (Savic and Walters 1997) و (Vairavammoorthy and Ali 2000, 2005) از الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی شبکه‌ها استفاده کردند. همچنین (Keedwell et al. 2005) با ترکیب الگوریتم ژنتیک و اتوماسیون سلولی، سرعت و قابلیت‌های الگوریتم ژنتیک را بهبود بخشیدند و (Neelakantan and Suribabu 2005) و (Kadu et al. 2008) اقدام به اصلاح الگوریتم ژنتیک و استفاده از الگوریتم ژنتیک اصلاح شده برای بهینه‌سازی مسائل

بهره‌گیری از معادلات ریاضی و روش‌های غیرخطی نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ یک شبکه توزیع آب شاخص اقدام کردند. آن‌ها با اعمال تعرفه‌های مشخص، ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش هزینه مصرف انرژی در این شبکه را به دست آوردند. آن‌ها همچنین نشان دادند روش‌های غیرخطی نسبت به روش‌های خطی، از نظر مقدار بسیار بهتر و از لحاظ دقت اندکی پایین‌تر هستند. (Price and Ostfeld (2016) با علم به این که دست‌یابی به بهره‌برداری بهینه از ایستگاه پمپاژ با توجه به محدودیت‌های هیدرولیکی و کیفی از جمله رابطه غیرخطی افت فشار دینامیکی با جریان آب و رابطه کاهش غلظت کلر با عمر آب یک مسئله بسیار پیچیده است، از الگوریتم بهینه‌سازی گراف کاربردی^۶ (OGO) برای کمینه نمودن هزینه‌های پمپاژ اقدام نمودند.

در این پژوهش، به کمک ابزار Darwin Scheduler در نرم افزار WaterGEMS V8i نسبت به بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن هزینه انرژی مصرفی روزانه یک ایستگاه پمپاژ شامل پنج عدد پمپ موازی در یک شبکه توزیع آب شهری، به کمک الگوریتم ژنتیک ساده^۷ (SGA) و الگوریتم ژنتیک با آشفتگی سریع^۸ (FMGA) اقدام شده و نتایج آن با سناریوی بدون اعمال بهینه‌سازی (Base) مقایسه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- الگوریتم‌های بهینه‌سازی

در بین روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری، مدل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تحقق، به چهار عنصر اصلی زیر نیازمندند:

- جمعیت اولیه: یک مجموعه اولیه از اعضاء (کروموزوم‌ها) که معمولاً به صورت رشته‌هایی از ژن‌ها (بیت‌ها) کد می‌شوند و جواب‌هایی از مسئله را ارائه می‌نمایند.

- تابع هدف: روشی برای اندازه‌گیری میزان برازندگی هر عضو (جواب) می‌باشد و به هر فرد برازندگی بر اساس تابع هدف صورت می‌گیرد.

- عمل‌گر انتخاب: اعضای مورد نظر برای والد شدن در نسل آینده را تعیین می‌کند. طبیعی است که اعضایی که برازندگی بالایی دارند، احتمال بیشتری برای تولیدمثل دارند. چند روش از انواع متداول عمل‌گر انتخاب عبارتند از: روش چرخ گردان^۹، روش تورنمنت^{۱۰}، روش انتخاب تصادفی^{۱۱}.

- عمل‌گرهای آمیزش^{۱۲}: عمل‌گر اصلی الگوریتم ژنتیک برای

تولید کروموزوم جدید، عمل‌گر آمیزش است. عمل‌گر آمیزش فرد جدیدی را تولید می‌کند که برخی ژن‌های هر دو والد را دارد. عمل‌گر آمیزش در حقیقت مشابه همانی است که در طبیعت روی می‌دهد، به این ترتیب که ژن‌های دو کروموزوم والد مبادله می‌شود تا دو کروموزوم جدید به نام کروموزوم‌های فرزند ایجاد شود. به دلیل تغییراتی که روی کروموزوم‌های والد بر اثر تبادل ژن‌ها صورت می‌گیرد، کروموزوم‌های فرزند ویژگی‌های ژنتیکی مشترکی با دو والد خود دارد.

- عمل‌گر جهش^{۱۳}: در تکامل طبیعی، جهش، فرایندی تصادفی است که یک ژن را با ژن دیگری برای تولید یک ساختار ژنتیکی جدید تعویض می‌کند. در واقع جهش سازوکاری است که بر اثر آن، تغییری سازمان نیافته و کاملاً تصادفی در رشته ایجاد می‌شود. وجود این عمل‌گر از این نظر مهم است که عمل‌گر آمیزش، با وجود آنکه کروموزوم‌های متفاوت با کروموزوم‌های والد را ایجاد می‌کند، اما کروموزوم‌های فرزند دارای ژن‌های مشترکی از هر دو والد است. در حالی که عمل‌گر جهش، مشخصه‌هایی را ایجاد می‌کند که در جمعیت والدین وجود ندارد.

الگوریتم ژنتیک ساده (SGA) یکی از روش‌های فرا ابتکاری است که با مشخص کردن چند ترکیب (معمولاً تصادفی) با طول رشته‌های برابر به عنوان جمعیت اولیه، جواب بهینه را در فضای راه‌حل‌های ممکن جستجو می‌کند. در صورتی که یک الگوریتم ژنتیک آشفته (FMGA)، از ترکیب‌هایی با طول رشته‌های متغیر استفاده می‌کند، به طوری که طول رشته‌ها هم در طول هر نسل و هم از یک رشته به رشته دیگر متفاوت است. ایجاد این آشفتگی و بی‌نظمی در فضای حل مسئله، تاثیر مثبتی در تسریع بهینه‌سازی دارد.

در این پژوهش پس از انجام فرایند سعی و خطا، مقدار عددی پارامترهای الگوریتم ژنتیک شامل اندازه جمعیت برابر ۱۰۰، احتمال آمیزش ۹۵ درصد، احتمال جهش، ۱/۵ درصد، تعداد نقاط آمیزش، ۴ و حداکثر تکرار برابر ۱۰۰ هزار حاصل شد.

۲-۲- مدل ریاضی بهینه‌سازی ایستگاه پمپاژ

در این مقاله قبل از کاربرد الگوریتم‌ها نیاز به معرفی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مسئله بهینه‌سازی پمپ‌ها است. عملکرد بهینه پمپ‌ها از یک رابطه غیرخطی تبعیت می‌کند، زیرا توابع هدف و قیود غیرخطی بوده و پارامترهای تصمیم نیز بسیار زیاد

می‌باشد. در این پژوهش ایستگاه پمپاژی متشکل از پنج عدد پمپ موازی برای توزیع آب در یک شبکه گسترده است و تابع هدف، به حداقل رساندن هزینه‌های مصرف انرژی در طول افق بهره‌برداری است (روابط ۱ و ۲).

$$\begin{aligned} Min(EC) = & \rho g \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_E \frac{Q_{j,i} H_{j,i}}{\eta_{j,i}(Q_{j,i})} \Delta t_j + \\ & \rho g \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_D \frac{Q_{j,i} H_{j,i}}{\eta_{j,i}(Q_{j,i})} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \eta_{j,i}(Q_{j,i}) = & a_{j,i} Q_{j,i}^2 + b_{j,i} Q_{j,i} + c_{j,i} \\ i = & 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

که $Q_{j,i}$: دبی پمپاژ، $H_{j,i}$: فشار، $\eta_{j,i}$: راندمان پمپ i در زمان j ، C_E : تعرفه مصوب انرژی در ساعات مختلف شبانه روز و C_D : هزینه دیماند قدرت است.

دبی پمپاژ پمپ‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز به عنوان متغیر تصمیم به کار می‌رود. قیود مسئله به شرح زیر است: دبی پمپ‌های موجود:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Q_{j,i} = \sum_{j=1}^m Q_{D,j} \quad (3)$$

در رابطه فوق $Q_{D,j}$: مقدار دبی مورد نیاز شبکه در هر دوره زمانی j در شبانه روز است.

سرعت سیال در لوله‌ها:

$$V \leq 2 \frac{m}{s} \quad (4)$$

فشار هیدرولیکی در هر گره:

$$20 \text{ mH}_2\text{O} \leq H \leq 60 \text{ mH}_2\text{O} \quad (5)$$

تغییرات ارتفاع آبیگری مخزن: در بازه بهینه‌سازی هرچه ارتفاع اولیه مخزن و تغییرات ارتفاع کم‌تر باشد، در مصرف انرژی صرفه‌جویی بیشتر خواهد بود.

$$h_{s,j} = h_{s,j-1} + \frac{\sum_{i=1}^n Q_{i,j} - Q_{D,j}}{A_s} \quad (6)$$

$$h_{Min} \leq h_{s,j} \leq h_{Max} \quad (7)$$

که $h_{s,j}$: ارتفاع سطح آب داخل مخزن در فاصله زمانی j و A_s : مساحت مخزن ذخیره است.

دفعات روشن و خاموش شدن پمپ‌ها: تعداد دفعات روشن و خاموش شدن پمپ تاثیر بسیاری بر استهلاک و افزایش هزینه‌های ایستگاه پمپاژ دارد، بنابراین با توجه به نوع پمپ مورد استفاده حداکثر مجاز دفعات روشن و خاموش شدن، به عنوان آخرین قید لحاظ می‌شود.

$$N_s \leq 3 \quad (8)$$

که N_s : تعداد دفعات روشن و خاموش شدن هر پمپ است. معادلات حاکم در نرم‌افزار WaterGEMS برای انجام محاسبات هیدرولیکی به شرح زیر است:

۱- قانون بقای جرم: برای هر گره قانون بقای جرم باید برقرار باشد.

$$\sum Q_{in} - \sum Q_{out} = Q_e \quad (9)$$

که Q_{in} و Q_{out} : به ترتیب جریان ورودی و خروجی به گره می‌باشند و Q_e : میزان جریان مصرفی یا تقاضا در هر گره است. ۲- قانون بقای انرژی: در هر حلقه از شبکه، قانون بقای انرژی می‌تواند به شکل زیر نوشته شود.

$$\sum_{k \in Loop \ l} \Delta H_k = 0, \quad \forall l \in NL \quad (10)$$

که ΔH_k : افت فشار در لوله k ، و N_L : تعداد کل حلقه‌ها در سیستم است. افت فشار در هر لوله تفاوت هد بین گره‌های متصل به هم دیگر است و با استفاده از رابطه هیزن - ویلیامز محاسبه می‌شود:

$$\Delta H_k = H_{1,k} - H_{2,k} = \omega L \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} D^{-4.87}, \quad (11)$$

$$\forall k \in NP$$

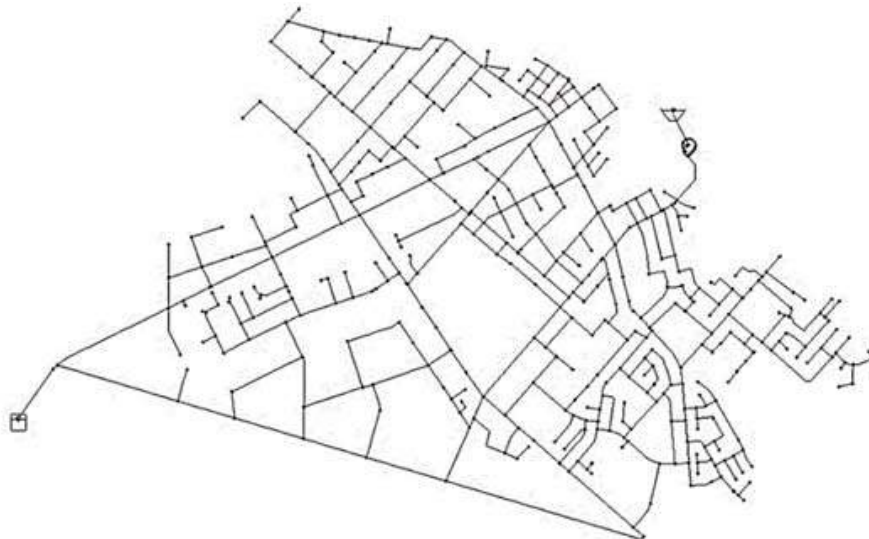
که $H_{1,k}$ و $H_{2,k}$: هد در دو انتهای لوله k هستند؛ ω : ثابت تبدیل عددی معادله است (که بستگی به واحدها دارد) و C : ضریب زبری لوله k (که وابسته به جنس لوله است) می‌باشند. مجموعه معادلات بقای جرم و بقای انرژی برای یک سیستم توزیع آب در نرم افزار WaterGEMS با استفاده از روش الگوریتم گرادیان حل می‌شود که قادر است هد و جریان را مدل نماید. از آنجایی که معادله پیوستگی و بقای جرم با هم دیگر در تعامل هستند و در هر تکرار حل می‌شوند، روش الگوریتم گرادیان از لحاظ تئوری همان دقت الگوریتم‌های معتبر مانند روش اصلاح مسیر شبیه‌سازی^{۱۴} و روش تئوری خطی^{۱۵} را دارد (WaterGEMS, 2005; Moghaddam et al., 2014).

۲- نتایج و بحث

شکل ۳ نمودار جریان خروجی از مخزن در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل بیشینه مصرف شبکه در ساعت ۲۲:۰۰ و به مقدار حدود ۱۹۴ لیتر در ثانیه است.

در هر شبکه، کمینه فشار در گره‌ها در ساعت بیشینه مصرف و بیشینه فشار در ساعت حداقل مصرف، به‌وقوع می‌پیوندد.

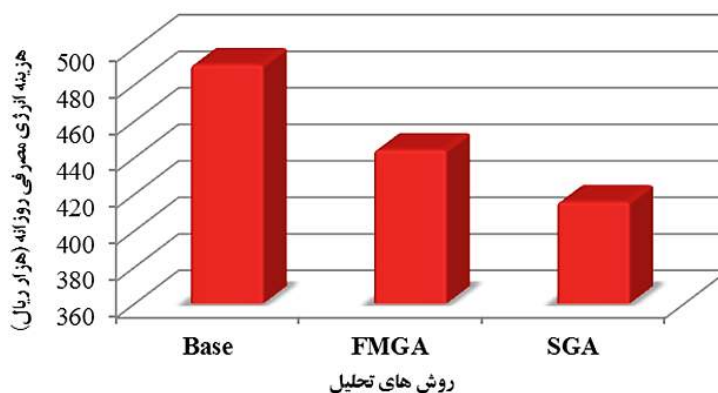
در این مقاله نسبت به مطالعه یک شبکه توزیع آب موردی اقدام شد (شکل ۱). این شبکه شامل تعداد ۵۵۵ لوله به اقطار مختلف و با ضریب هیزن ویلیامز ۱۳۰، ۴۵۹ گره، ۵ عدد پمپ و یک عدد مخزن به ارتفاع ۱۸۴ متر است.



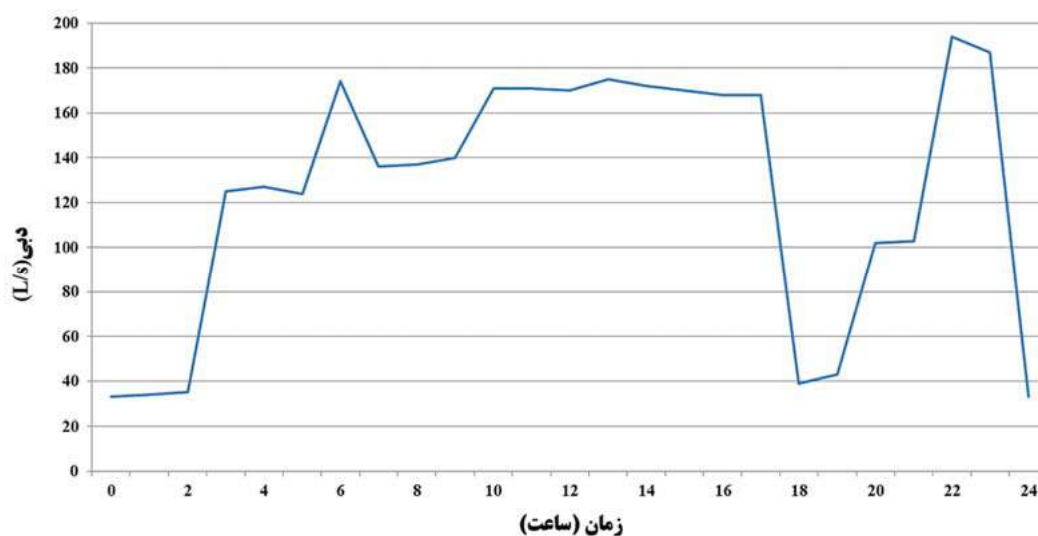
شکل ۱- شبکه توزیع آب مورد مطالعه

بنابراین در جدول ۱، فراوانی تعداد گره‌ها در سه دامنه مختلف در ساعت بیشینه مصرف (۲۲:۰۰) و حداقل مصرف (۱۸:۰۰)، ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تعداد گره‌های موجود در دامنه مطلوب (۳۰-۵۰ متر آب) در ساعت بیشینه مصرف تغییر معناداری ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند بهینه‌سازی با الگوریتم‌های FMGA و SGA تاثیر منفی بر فشار در گره‌ها و خروج از بازه مطلوب

شکل ۲، هزینه انرژی مصرفی روزانه در سناریوهای مورد بحث را در ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از انجام بهینه‌سازی با کمک ابزار Darwin Scheduler هزینه انرژی مصرفی روزانه در ایستگاه پمپاژ به وسیله الگوریتم‌های SGA و FMGA به ترتیب به میزان حدود ۱۵ و ۱۰ درصد در مقایسه با هزینه انرژی مصرفی پیش از اعمال بهینه‌سازی (Base)، کاهش یافته است.



شکل ۲- نمودار مقایسه هزینه انرژی مصرفی روزانه به‌دست آمده در ایستگاه پمپاژ برای روش‌های SGA، FMGA و Base



شکل ۳- نمودار دبی خروجی از مخزن در طول شبانه‌روز

سرعت ($V < 2 \text{ m/s}$) نه تنها تاثیر منفی نداشته است، بلکه سرعت‌های مطلوب‌تری را نیز حاصل نموده است.

منحنی مشخصه - راندمان پمپ‌های موجود در ایستگاه پمپاژ مذکور در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، نقطه‌ی کار ایده‌آل پمپ در دبی حدود ۳۴ لیتر در ثانیه و با راندمان حدود ۵۷ درصد حاصل می‌شود.

در شکل ۷ نمودارهای دبی خروجی پمپ‌های ایستگاه مورد نظر یا به عبارت دیگر الگوی ورود و خروج پمپ‌ها به مدار در سناریوهای مختلف در سه سناریوی Base، FMGA و SGA در ساعات شبانه‌روز نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پمپ شماره ۳ در سناریوی Base به مدت ۱۵ ساعت با دبی حدود ۶۰ لیتر در ثانیه کار می‌کند که با توجه به منحنی

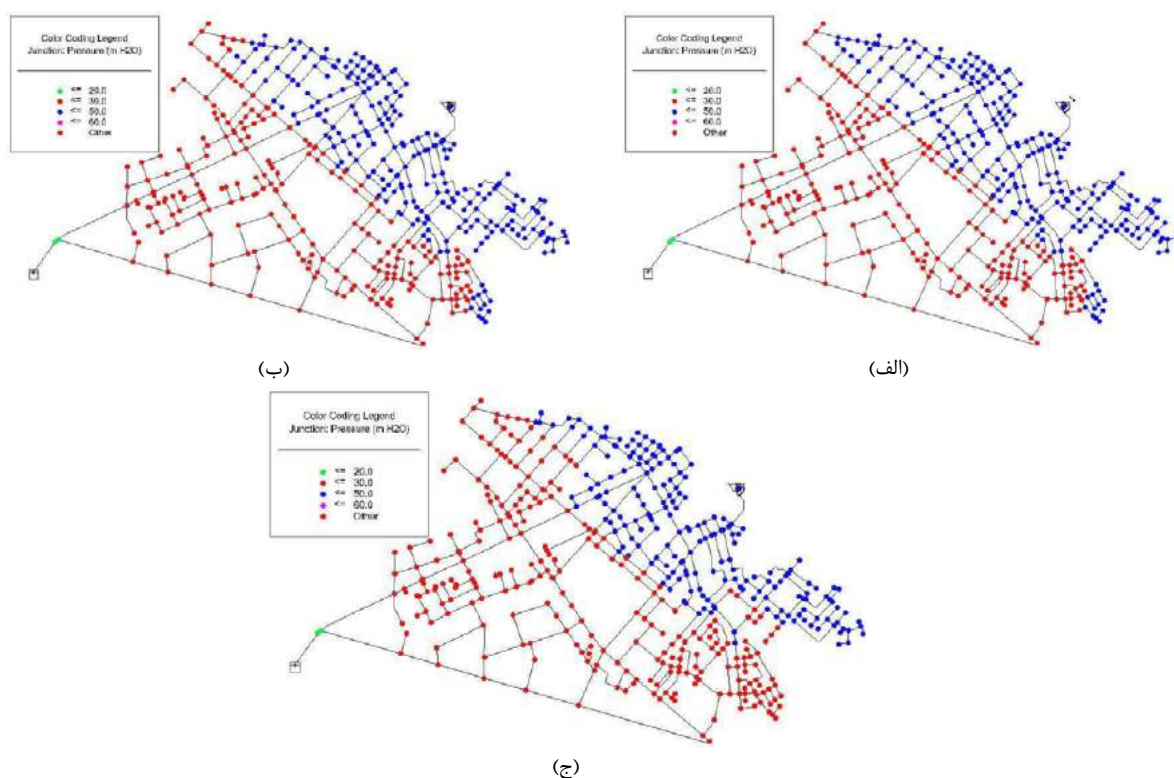
نداشته است. باید متذکر شد که در الگوریتم FMGA حدود ۶ گره از شبکه با کاهش فشار و ۱۱۸ گره با افزایش فشار نسبت به حالت Base به ترتیب در ساعات بیشینه مصرف (۲۲:۰۰) و حداقل مصرف (۱۸:۰۰) مواجه شده‌اند.

همچنین شکل‌های ۴ و ۵ فشار گره‌ها را در شبکه به ترتیب در ساعات بیشینه مصرف و کمینه مصرف به صورت ترکیب رنگی در گره‌ها نشان می‌دهد. رنگ سبز، قرمز، آبی و صورتی به ترتیب بیان‌گر فشار کمتر از ۲۰، بین ۲۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۶۰ متر می‌باشد.

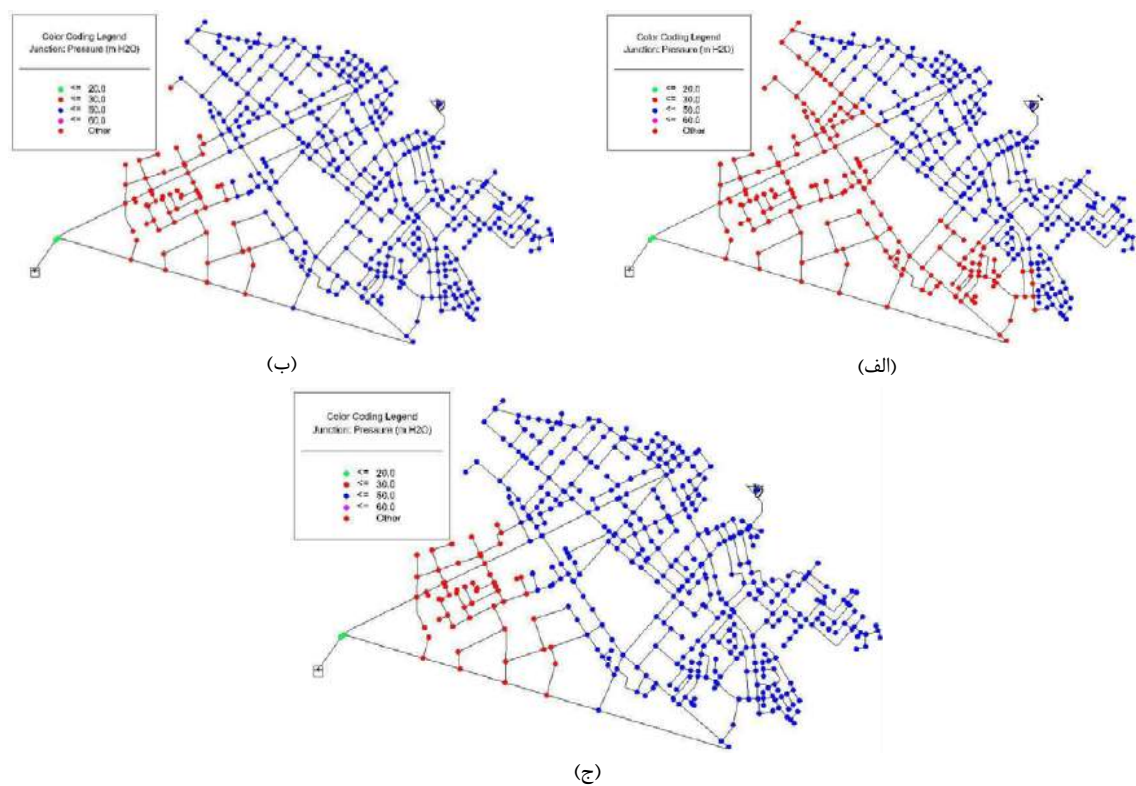
پس از اجرای مدل در سه حالت Base، FMGA و SGA حداکثر سرعت شبیه‌سازی شده به ترتیب ۰/۷۶، ۱/۰۶ و ۱/۱۷ متر بر ثانیه است. بنابراین اعمال بهینه‌سازی در ارضای قید

جدول ۱- فراوانی گره‌ها در بازه‌های مختلف فشاری در ساعات بیشینه مصرف و حداقل مصرف

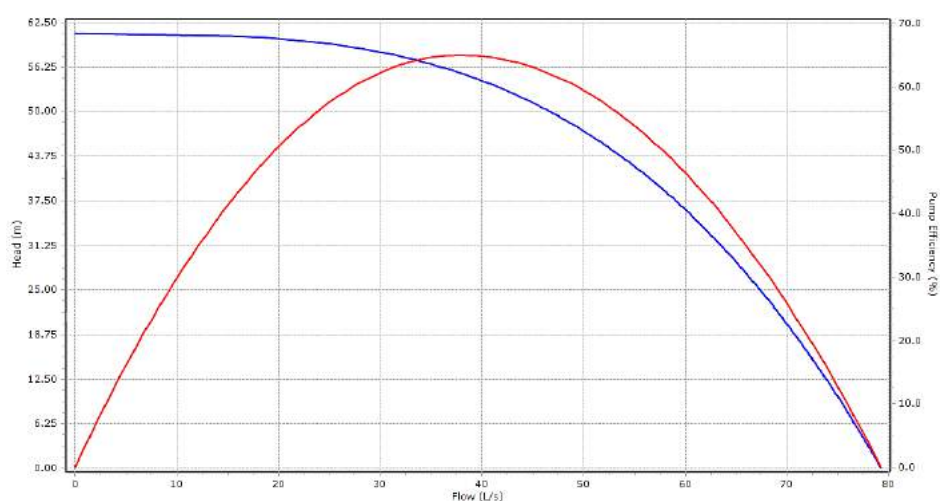
ساعت کمینه مصرف: ۱۸:۰۰				ساعت بیشینه مصرف: ۲۲:۰۰			
فشار (متر)	تعداد گره‌ها			فشار (متر)	تعداد گره‌ها		
	Base	FMGA	SGA		Base	FMGA	SGA
≤ 20	۲	۲	۲	≤ 20	۲	۲	۲
۲۰-۳۰	۱۷۵	۵۷	۲۶۱	۲۰-۳۰	۲۱۷	۲۲۳	۲۰۰
۳۰-۴۰	۲۸۲	۴۰۰	۱۹۶	۳۰-۴۰	۲۴۰	۲۳۴	۲۵۷
۴۰-۵۰	۰	۰	۰	۴۰-۵۰	۰	۰	۰



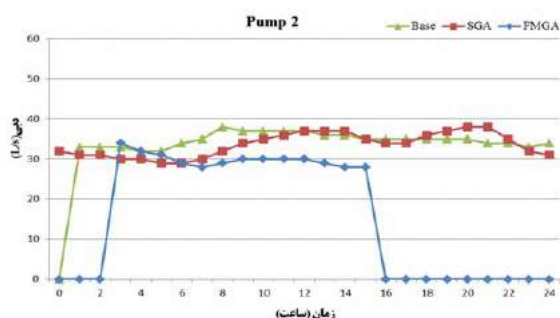
شکل ۴- فشار گره‌ها به صورت ترکیب رنگی در ساعت بیشینه مصرف برای سناریوهای الف) Base، ب) FMGA و ج) SGA



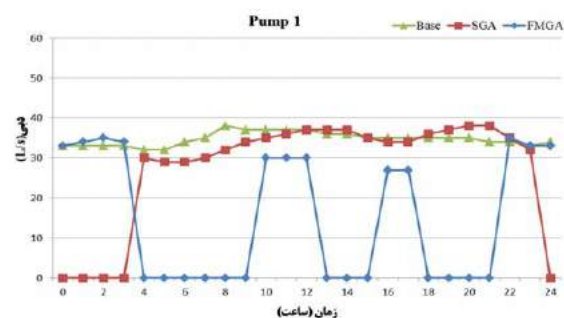
شکل ۵- فشار گره‌ها به صورت ترکیب رنگی در ساعت کمینه مصرف برای سناریوهای الف) Base، ب) FMGA و ج) SGA



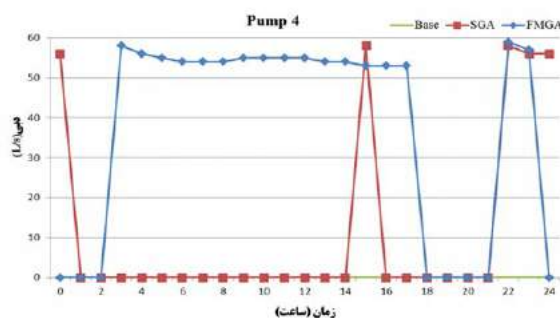
شکل ۶- منحنی مشخصه - راندمان پمپ



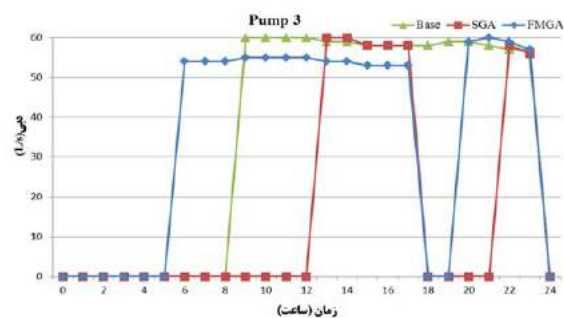
(ب)



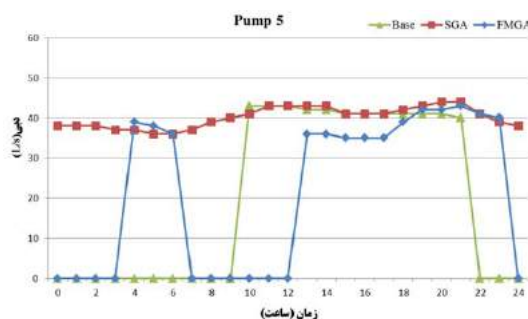
(الف)



(د)



(ج)



شکل ۷- نمودار دبی خروجی پمپ‌ها در سناریوهای Base، FMGA و SGA در ساعات شبانه‌روز
برای الف) پمپ ۱، ب) پمپ ۲، ج) پمپ ۳، د) پمپ ۴ و ه) پمپ ۵

- 9- Roulette Wheel Selection Method
- 10- Tournament Selection Method
- 11- Random Selection Method
- 12- Crossover
- 13- Mutation
- 14- Simultaneous Path Adjustment Method
- 15- Linear Theory Method

۵- مراجع

- Bhave, P.R. and Sonak, V.V., (1992), "A critical study of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks", *Water Resources Research*, 28(6), 1577-1584.
- Coelho, B., Tavares, A. and Andrade-Campos, A., (2012), "Analysis of diverse optimisation algorithms for pump scheduling in water supply systems", *Proceedings of 3rd International Conference on Engineering Optimization (EngOpt2012)*, July, Rio de Janeiro, Brazil.
- Cunha, M. and Sousa, J., (1999), "Water distribution network design optimization: simulated annealing approach", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), 215-221.
- Eusuff, M.M. and Lansey, K.E., (2003), "Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3), 210-225.
- Hashemi, S.S., Tabesh, M. and Ataekia, B., (2014), "Ant colony optimization of pumping schedule to minimize the energy cost using variable speed pump in water distribution networks", *Urban Water Journal*, 11(5), 334-347.
- Jacoby, S.L., (1968), "Design of optimal hydraulic networks", *Journal of the Hydraulics Division*, 94(3), 641-662.
- Kadu, M.S., Rajesh, G. and Bhave, P.R., (2008), "Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(2), 147-160.
- Kessler, A. and Shamir, U., (1989), "Analysis of linear programming gradient method for optimal design of water supply networks", *Water Resources Research*, 25(7), 1469-1480.
- Keedwell, E. and Khu, S.-Th., (2005), "A hybrid genetic algorithm for the design of water distribution network", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18, 461-472.
- Keedwell, E. and Khu, S.T., (2006), "Novel cellular

مشخصه - راندمان (شکل ۴)، راندمان این پمپ برای تامین این دبی به حدود ۳۸ درصد کاهش خواهد یافت.

پس از انجام بهینه‌سازی در ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه، ساعات کار پمپ مذکور با راندمان پایین (حدود ۳۸ درصد) در دو سناریوی FMGA و SGA به ترتیب به ۱۲ و ۶ ساعت تقلیل می‌یابد. پس از بهینه‌سازی، کلیه پمپ‌ها در تامین نیاز شبکه به کار گرفته می‌شود که این امر موجب افزایش طول عمر مجموعه ایستگاه پمپاژ و جلوگیری از استهلاک و خرابی هریک از پمپ‌ها می‌شود.

۳- نتیجه‌گیری

در حال حاضر، روش‌های متعددی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ وجود دارد که پیچیدگی و غیرخطی بودن الگوی جریان در برخی از شبکه‌های توزیع آب استفاده از روش‌های فراابتکاری از جمله الگوریتم ژنتیک را در ارجحیت قرار می‌دهد. در این مقاله از دو نوع از الگوریتم‌های خانواده الگوریتم ژنتیک به نام‌های الگوریتم ژنتیک ساده (SGA) و الگوریتم ژنتیک با آشفستگی سریع (FMGA) به کمک ابزار Darwin Scheduler در نرم‌افزار WaterGEMS V8i استفاده شد و نتایج آن با روش بدون تحلیل بدون بهینه‌سازی (سناریوی Base) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد ضمن حفظ و بهبود شرایط هیدرولیکی مجاز در شبکه توزیع آب، هزینه انرژی مصرفی روزانه در روش‌های FMGA و SGA به ترتیب به میزان حدود ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش پیدا کرد. همین‌طور استفاده از دو سناریوی مذکور به ترتیب، موجب کاهش ۲۰ و ۶۰ درصدی ساعات کار پمپ شماره ۳ با راندمان پایین (۳۸ درصد) و بکارگیری پمپ‌های شماره ۴ و ۲ شد که تاثیر به‌سزایی در کاهش استهلاک و افزایش طول عمر ایستگاه پمپاژ دارد.

۴- پی‌نوشت‌ها

- 1- Water Distribution Systems
- 2- Variable-Speed Pump
- 3- Ant System iteration best algorithm
- 4- Single-Speed Pump
- 5- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm -II
- 6- Operational Graph Optimization
- 7- Simple Genetic Algorithm
- 8- Fast Messy Genetic Algorithm

- Engineering*, 131(12), 1117-1125.
- Vairavamoorthy, K. and Ali, M., (2000), "Optimal design of water distribution systems using genetic algorithms", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 15(2), 374-382.
- Varma, K.V., Narasimhan, S. and Bhallamudi, S.M., (1997), "Optimal design of water distribution systems using an NLP method", *Journal of Environmental Engineering*, 123(4), 381-388.
- WaterGEMS User's Manual, (2005), Bentley Systems Inc., <http://docs.bentley.com/>.
- Zecchin, A.C., Maier, H.C., Simpson, A.R., Leonard, M. and Nixon, J.B., (2007), "Ant colony optimization applied to water distribution system design: comparative study of five algorithms", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(1), 87-92.
- automata approach to optimal water distribution network design", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(1), 49-56.
- Mackle, G., Savic, G.A. and Walters, G.A., (1995), "Application of genetic algorithms to pump scheduling for water supply", *First International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications (GALESIA)*, September 12-14, IET, 400-405.
- Maier, H.R., Simpson, A.R., Zecchin, A.C., Foong, W.K., Phang, K.Y., Seah, H.Y. and Tan, C.L., (2003), "Ant colony optimization for design of water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3), 200-209.
- Mala-Jetmarova, H., Barton, A. and Bagirov, A., (2014), "Exploration of the trade-offs between water quality and pumping costs in optimal operation of regional multiquality water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(6), 342-368.
- Menke, R., Abraham, E., Parpas, P. and Stoianov, I., (2015), "Approximation of system components for pump scheduling optimisation", *Procedia Engineering*, 119, 1059-1068.
- Moghaddam, A., Alizadeh, A., Ziaei, A., Farid Hosseini, A. and Falah Heravi, D., (2014), "Convergence rate improvement in water distribution network optimization using Fast Messy Genetic Algorithm (FMGA)", *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 28(1), 22-34.
- Neelakantan, T.R. and Suribabu, C.R., (2005), "Optimal design of water distribution networks by a modified genetic algorithm", *Journal of Civil Environmental Engineering*, 1(1), 20-34.
- Price, E. and Ostfeld, A., (2016), "Optimal pump scheduling water distribution systems using graph theory under hydraulic and chlorine constraints", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(10), 885-900.
- Quindry, G., Brill, E.D. and Lienman, J., (1979), "Water distribution system design criteria", Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- Savic, D.A. and Walters, G.A., (1997), "Genetic algorithms for least cost design of water distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(2), 67-77.
- Suribabu, C.R., and Neelakantan, T.R., (2006), "Design of water distribution networks using particle swarm optimization", *Urban Water Journal*, 3(2), 111-120.
- Vairavamoorthy, K. and Ali, M., (2005), "Pipe index vector, a method to improve genetic-algorithm-based pipe optimization", *Journal of Hydraulic*

Economical Review of the Use of Thin Wall Ductile Iron Pipes Compared to Polymer and Composite pipes

Mehrdad Rashidzadeh*

M.Sc., Materials Engineering, Supervisor of Product Innovation and Development, Hamoun Nyzeh Company, Kashan, Iran.

*Corresponding Author, Email: rashidzadeh@hanyco.net

Received: 31/5/2017

Revised: 9/10/2017

Accepted: 10/10/2017

بررسی صرفه اقتصادی استفاده از لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن در مقایسه با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی

مهرداد رشیدزاده*

کارشناسی ارشد مهندسی مواد، سرپرست نوآوری و توسعه محصول، شرکت هامون نایزه، کاشان

* نویسنده مسئول، ایمیل: rashidzadeh@hanyco.net

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۸

Abstract

As the time is going elapsing and science and technology become developed, various type of pipe that was made from different materials introduced to market. This issue makes an intense rivalry between pipe manufacturers. Multiple factors are important for choosing most suitable pipe for use in drinking water distribution pipelines. Technical characteristics should be matched with desired performance. Investigation of cost effectiveness of pipe materials in short and long term usages is essential. In some cases, a pipe material has low cost and it seems more cost effective than other pipes but repair and maintenance cost is more than other pipes. Ductile iron pipes have some advantages in comparison with plastic, steel and GRP pipes but in the field of weight and cost effectiveness, there are some critics. New developments led to introduction of new generation of ductile iron pipe. Light and low thickness ductile iron pipe that can plug to plastic pipes easily or replaced by damaged plastic pipes in pipelines is the new solution that represented according to the last developments in ductile iron pipes production technology. It is very reasonable to use this kind of ductile iron pipe in comparison with other pipe materials. Economic reviews show that use of low thickness ductile iron pipe can improve the cost effectiveness factor to about 50% in comparison with common ductile iron pipes. Low thickness ductile iron pipes are really light, resistant to corrosion, little head loss in pipe line, easy tapping with restriction of illegal tapping, compatibility with plastic pipes and low leak tightness that happens in pipelines can achieve about 20% cost reduction.

Keywords: Cost effectiveness, Ductile Iron, Light weight, Low thickness pipes, Pipe.

چکیده

با گذشت زمان و پیشرفت علم و تکنولوژی، انواع متعددی از لوله‌ها که از مواد مختلف تولید شده‌اند به بازار معرفی شده است. این موضوع باعث شده که رقابت شدیدی بین تولیدکنندگان لوله‌ها وجود داشته باشد. فاکتورهای متعددی در انتخاب مناسب‌ترین جنس لوله برای به‌کارگیری در خطوط توزیع آب آشامیدنی تعیین‌کننده هستند. علاوه بر این که لوله مورد استفاده باید از لحاظ کارایی و مشخصات فنی با کاربرد مورد نظر هم‌خوانی داشته باشد، لازم است میزان صرفه اقتصادی استفاده از یک نوع لوله خاص در کوتاه‌مدت و بلندمدت مورد توجه و بررسی دقیق قرار گیرد. در برخی موارد قیمت پایین‌تر یک نوع لوله باعث می‌شود که در نگاه اول استفاده از این نوع لوله در خطوط توزیع آب آشامیدنی منطقی‌تر از دیگر رقبای آن به نظر برسد، ولی هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ترمیم شبکه فرسوده در بلندمدت نتیجه متفاوتی را منعکس می‌کند. لوله‌های چدن نشکن علی‌رغم داشتن برتری‌های متعدد نسبت به لوله‌های رقیب خود مانند لوله‌های پلی‌اتیلنی، فولادی، GRP و ... به دلیل وزن نسبتاً بالا و عدم صرفه اقتصادی با انتقاداتی روبرو بودند. پیشرفت‌های جدید باعث شده است که نسل جدیدی از لوله‌های چدن نشکن با عنوان لوله‌های چدن نشکن جداره نازک سبک به بازار مصرف معرفی شوند. این لوله‌ها از لحاظ اندازه، کاملاً با لوله‌های پلیمری مطابقت داشته و قابلیت اتصال به لوله‌های پلیمری را دارند. همچنین می‌توان این نوع از لوله‌ها را برای جایگزینی با لوله‌های پلیمری فرسوده مورد استفاده قرار داد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک می‌تواند تا ۵۰٪ کاهش هزینه را نسبت به استفاده از لوله‌های چدن نشکن متداول به همراه داشته باشد. از لحاظ کاربردی برآوردها نشان می‌دهد که لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن با توجه به وزن سبک، مقاومت بالا در برابر خوردگی، میزان بسیار کم افت فشار در شبکه، انشعاب‌گیری آسان در عین جلوگیری از انشعاب‌گیری‌های غیرقانونی، هم‌خوانی با لوله‌های پلی‌اتیلنی و آمار بسیار پایین بروز نشتی در خطوط لوله، به طور متوسط ۲۰٪ کاهش هزینه را به همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: لوله، چدن نشکن، جداره‌نازک، سبک، صرفه اقتصادی.

بی‌شک مهم‌ترین رکن در سیستم انتقال آب از منابع اصلی به دست مصرف‌کنندگان، خطوط لوله می‌باشند. یک خط لوله از اجزای مختلفی مانند لوله‌ها، اتصالات، شیرها و ... تشکیل شده است که هر یک به‌نوبه خود از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. در سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و پیچیده‌تر شدن زیرساخت‌های شهری، پیشرفت‌های بسیاری در زمینه تولید و ساخت اجزای خط لوله از جنس‌های مختلف حاصل شده است. لوله‌های مورد استفاده در خطوط انتقال آب از مواد مختلفی تهیه می‌شوند و مصرف‌کنندگان نسبت به بودجه، کاربرد و شرایط محیطی محل نصب یکی از این نوع لوله‌ها را بعد از بررسی انتخاب کرده و مورد استفاده قرار می‌دهند. پیشرفت‌های چشم‌گیر در فرایند تولید لوله‌های انتقال آب را می‌توان از جهاتی ناشی از رقابت تنگاتنگ شرکت‌های تولید این نوع لوله‌ها با هم دانست. لوله‌های پلی‌اتیلنی، فولادی، چدن نشکن، PVC، GRP، سیمان آریست و ... از جمله لوله‌هایی هستند که به طور گسترده‌ای در شبکه‌های انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع لوله‌ها همیشه بر اساس اندازه، وزن، پوشش داخلی و خارجی، ضریب هیزن - ویلیامز، روش‌های نصب و قیمت مورد مقایسه بوده‌اند. هیچ‌گاه نمی‌توان گفت که یک نوع لوله به‌طور مطلق از انواع دیگر برتر است و در تمام زمینه‌ها نتیجه بهتری را به مصرف‌کننده خواهد داد. موسسه تحقیقاتی لوله چدن نشکن آمریکا (DIPRA)^۱ با مقایسه‌ای که بین قابلیت‌های انواع مختلف لوله داشته است، معمولاً کفه ترازو را به سمت لوله‌های فلزی و به خصوص لوله‌های چدن نشکن سنگین‌تر دانسته است (DIPRA, 2016a). این در حالی است که تولیدکنندگان لوله‌هایی از جنس متفاوت با این مقایسه مخالف هستند. در این مقاله به بررسی مزایا و معایب انواع مختلف لوله‌ها از زوایای مختلف پرداخته شده و تا حد امکان این موارد مورد مقایسه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر برخی از تولیدکنندگان لوله‌های چدن نشکن با توجه به پیشی گرفتن رقبا در برخی از زمینه‌ها، سعی بر آن داشته‌اند که با تغییرات اساسی در روش تولید و طراحی کلی لوله‌ها و اجزای خطوط لوله، مجدداً جایگاه خود را به عنوان یکی از انتخاب‌های اول در میان انواع دیگر لوله‌ها برای استفاده در خط لوله حفظ نمایند. براین اساس، لوله‌های چدن

نشکن جدارنازک جدیدترین محصولی است که برای رقابت با وزن کم، قیمت پایین و سهولت در حمل لوله‌های پلی‌اتیلنی و کامپوزیتی معرفی شده است. کمپانی‌های بزرگ تولیدکننده لوله‌های چدن نشکن امیدوارند که با استفاده از این نوع لوله‌ها بتوانند مزایای لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی را در کنار خواص منحصر به فرد چدن نشکن به مصرف‌کنندگان ارائه نمایند. در این صورت می‌توان گفت که لوله‌های چدن نشکن تا حد زیادی معادلات بازار را بهم خواهند زد و با توجه به اینکه لوله‌های چدن نشکن جدارنازک با اندازه‌هایی کاملاً هم‌خوان با لوله‌های پلیمری تولید می‌شوند، در صورتی که از لحاظ قیمت به‌صرفه‌تر باشند، می‌توانند سهمی از بازار لوله‌های پلیمری را به خود اختصاص دهند. شرکت PAM فرانسه از جمله پیشگازان در این زمینه است. این شرکت با معرفی محصول خود با نام Blutop توانسته است نظر بسیاری از کارشناسان در حوزه آب را به خود جلب نماید (Tsakiris and Tsakiris, ۲۰۱۲). مقایسه قیمت بین انواع مختلف لوله را نمی‌توان تنها براساس قیمت اولیه تمام شده خط لوله انجام داد. سرویس و نگهداری بعد از نصب، فراوانی آسیب‌های وارده در طول مدت عمر لوله، امکان و هزینه بازیافت لوله بعد از اتمام طول عمر آن، کاهش میزان انشعاب‌گیری‌های غیرمجاز و سهولت انجام عملیات جانبی مانند انشعاب‌گیری از جمله مواردی است که باید در مقایسه قیمت انواع لوله در نظر گرفته شود.

۲- مقایسه مشخصات کلی لوله‌های پلیمری، فلزی و کامپوزیتی

در زمان طراحی یک خط لوله جدید یکی از مهم‌ترین تصمیماتی که باید اتخاذ شود، انتخاب نوع لوله مناسب است. این انتخاب به فاکتورهای متعددی بستگی دارد که از میان آن‌ها قیمت تمام شده یکی از مهم‌ترین فاکتورها است. همچنین قابلیت اطمینان، بازه فشاری مجاز، قطرهای موجود، زمان مورد نیاز برای نصب، طول عمر و امکان تهیه لوله و اتصالات آن در تمام طول عمر خط لوله از بازار از جمله دیگر عوامل قابل توجه در انتخاب لوله‌ها می‌باشند. نمی‌توان به‌طور قطع گفت که کدام نوع لوله برای یک کاربرد خاص مناسب‌تر است. مثلاً در دهه هفتاد لوله‌های سیمانی آریستی به عنوان گزینه‌ای پرتعداد در لوله‌های با قطر پایین و با فشار پایین مطرح بودند. در دهه ۸۰

لوله‌های PVC به عنوان گزینه اول مطرح شدند. در سال‌های اخیر لوله‌های پلی‌اتیلنی مورد توجه قرار گرفته‌اند، این در حالی است که لوله‌های چدن نشکن و لوله‌های GRP در سال‌های اخیر به رقبایی بسیار جدی تبدیل شده‌اند. لوله‌های فولادی با پوشش خارجی اپوکسی و پوشش داخلی سیمان و پلی‌اورتان توانسته‌اند تا حدودی از نگرانی‌های مربوط به خوردگی لوله‌های فولادی کم کنند. جدول ۱ مزایا و معایب مربوط به هریک از لوله‌های کاربرد در خطوط لوله را نمایش می‌دهد. موارد دیگری مانند موجود بودن لوله و اتصالات در هر زمان که نیاز به تعویض جزیی از خط لوله به وجود آید، در دسترس بودن لوازم جانبی و یدکی و همچنین نزدیکی به کارخانه تولیدکننده برای جلوگیری از صادرات یا حمل طولانی‌مدت بار، می‌تواند از دیگر عوامل مهم در انتخاب یک نوع خاص از لوله باشد.

وزن بالای لوله‌های چدن نشکن معمولی مقوله‌ای انکارناپذیر است که در اندازه‌های پایین باعث برتری بیشتر لوله‌های پلی‌اتیلنی نسبت به لوله‌های چدن نشکن خواهد شد. از سوی دیگر داشتن دو لایه پوشش مقاوم در برابر خوردگی که عموماً شامل یک لایه پوشش فلز روی و یک لایه رنگ بیتومن، اپوکسی یا هر پوشش محافظ دیگر است، به‌نوبه خود می‌تواند

یک مزیت محسوب شود نه یک کاستی. با توجه به خاصیت حفاظتی فلز روی و استحکام پوشش، می‌توان نتیجه گرفت که احتمال آسیب دیدن پوشش لوله‌های چدنی در صورت حمل صحیح و کارگذاری مناسب بسیار کم است. از سوی دیگر خاصیت ذاتی مقاومت در برابر خوردگی در چدن نشکن باعث خواهد شد تا حتی با آسیب دیدن پوشش محافظ، اختلالی در عملکرد پوشش به‌وجود نیامده و مقاومت در برابر خوردگی در طول عمر مفید لوله همچنان حفظ شود.

با توجه به جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مهم‌ترین مزیت‌های لوله‌های فلزی نسبت به لوله‌های پلیمری، نشت‌یابی آسان‌تر این لوله‌ها است. لذا با توجه به بالا رفتن عمر اجزای خط لوله با گذشت زمان، نشت‌یابی یکی از عواملی است که در طول عمر یک خط لوله و هزینه کلی مورد نیاز یک خط لوله در طول عمر کاری خود تاثیرگذار خواهد بود. از سوی دیگر تعداد شکست‌ها و آسیب‌های وارده به خطوط لوله نیاز به عملیات نشت‌یابی و جایگزینی اجزای آسیب‌دیده را در بر خواهد داشت. هزینه ترمیم یک خط لوله بعد از نصب، بسیار تعیین‌کننده است. در بسیاری از موارد مصرف‌کنندگان لوله‌هایی را انتخاب می‌کنند که قیمت تمام‌شده اولیه آن‌ها برای تکمیل یک خط

جدول ۱- مقایسه لوله‌های انتقال آب با جنس‌های مختلف از لحاظ مزایا و معایب (Vosoughifar and Rahbaripour, 2011).

جنس لوله	کاستی‌ها	مزایا
لوله‌های سیمان آریستی (AC)	خطر آریست برای سلامتی انسان مستعد به آسیب دیدن در برابر ضربه استحکام شعاعی پایین مستعد به خوردگی در خاک‌های خاص جایگذاری مشکل نشت‌یابی سخت‌تر نسبت به لوله‌های فلزی و فرایند ترمیم پیچیده	استحکام و سفتی مقاومت به خوردگی در برابر بسیاری از انواع خاک‌ها و آب‌ها اتصال منعطف می‌تواند برای تامین مقداری انحراف استفاده شود
چدن نشکن (DI)	وزن بالا مستعد به خوردگی در صورت آسیب جدی به پوشش اتصال‌های گران‌قیمت مقاومت به شوک پایین پوشش خارجی دولایه نیاز است ترمیم سخت	استحکام مکانیکی بالا مقاومت به خوردگی مناسب سهولت در اتصال سهولت در نصب محل نشت به راحتی قابل تشخیص است
فولاد (Steel)	مستعد به خوردگی نیاز به پوشش دولایه	استحکام مکانیکی و مقاومت به شوک بالا قابلیت انحراف بدون شکست وزن کمتر نسبت به لوله‌های چدن نشکن سهولت نصب لوله‌هایی با قطر بالا سهولت ترمیم در محل نصب
پلاستیک تقویت‌شده با فیبر شیشه (GRP)	استحکام مکانیکی پایین دشواری جایگذاری نشت‌یابی سخت و استحکام قطری پایین	وزن سبک مقاومت به خوردگی سهولت در اتصال
پلی‌وینیل کلراید (PVC)	مستعد به آسیب در برابر ضربه آسیب‌پذیری در برابر اشعه ماوراء بنفش دشواری جایگذاری نشت‌یابی سخت استحکام قطری پایین برای اقطار بزرگ مناسب نیستند	مقاومت به خوردگی وزن سبک و انعطاف‌پذیری سهولت در اتصال
پلی‌اتیلن (MDPE/HDPE)	سختی نصب نشت‌یابی سخت نیاز اتصال جوشی به مهارت نصاب و تجهیزات گران‌قیمت استحکام قطری پایین برای اندازه‌های بالا مناسب نیست	مقاومت به خوردگی سبک و انعطاف‌پذیر اتصال می‌تواند جوش شود اقطار پایین به راحتی ترمیم می‌شود

لوله پایین‌تر از انواع دیگر لوله‌ها است ولی در طول زمان، مخارج مربوط به تعمیر و نگهداری لوله مذکور تا حدی بالا است که تمام صرفه‌جویی‌های اولیه در هزینه خرید را جبران می‌کند. به همین منظور طبق آمار حوادث رخ داده در شهر تهران طی دوره یک‌ساله از ۱۳۹۰/۰۱/۰۱ الی ۱۳۹۰/۱۲/۲۹ که از مرکز اطلاع‌رسانی و سامانه ۱۲۲ شرکت آب و فاضلاب استان تهران دریافت شده است میزان شکستگی‌های رخ داده در خطوط لوله موجود در شهر تهران به تفکیک جنس لوله به شرح جدول ۲ است.

همچنین محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۶ بار، ۱۰ بار و ۱۶

جدول ۲- فرکانس شکستگی خطوط لوله به تفکیک جنس لوله.

نوع لوله	فرکانس شکستگی (سال/کیلومتر/تعداد)
چدن نشکن	۰/۰۱
پلی‌اتیلن	۰/۲۱
فولاد	۰
آزبست	۰/۲۰
سایر	۰/۰۴
کل	۰/۴۶

بار که فراوان‌ترین فشارهای مورد استفاده در شبکه توزیع آب هستند، در جدول ۳ تا ۵ به تفکیک جنس لوله ارائه شده است. فرکانس شکستگی لوله‌های فلزی در حدود بیست برابر کم‌تر از لوله‌های پلیمری است. این در حالی است که طول عمر مفید لوله‌های پلیمری (به‌عنوان مثال لوله‌های پلی‌اتیلن) در حدود ۵۰ سال است و طول عمر لوله‌های چدن نشکن بیش از ۸۰ سال تخمین زده شده است. بنابراین به‌نظر می‌رسد صرف‌نظر از قیمت تمام‌شده اولیه، هزینه تعمیر و تعویض خطوط لوله پلیمری بسیار بیش‌تر از خطوط لوله فلزی و به‌خصوص لوله‌های چدنی است. در میان لوله‌های فلزی مطرح، لوله‌های فولادی، در اندازه‌های بسیار پایین که عملاً سهم زیادی را در شبکه توزیع به خود اختصاص می‌دهند کاربردی ندارند و قابلیت‌های لوله‌های فولادی در اندازه‌های بالا آشکار می‌شود؛ اما لوله‌های چدن نشکن توانسته‌اند با توجه به تمام کاستی‌هایی که بر آن‌ها وارد می‌دانند خود را در این بازار مطرح کنند.

۳- مقایسه لوله‌های پلیمری و چدن نشکن معمولی از لحاظ قیمت

از نظر قیمت اولیه، لوله‌های چدن نشکن را می‌توان در مقایسه

جدول ۳- محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۶ بار

جنس لوله	فرکانس شکستگی (تعداد/کیلومتر/سال)	مدت شکستگی (روز)	دبی شکستگی (m ³ /hr)	فشار متوسط (متر)	تلفات از شکستگی (m ³ /Km/Year)
پلی‌اتیلن	۰/۲	۱/۵	۱۲	۶۰	۱۰۵/۲
UPVC	۰/۲	۱/۵	۱۲	۶۰	۱۰۵/۲
GRP	۰/۲	۱/۵	۱۲	۶۰	۱۰۵/۲
فولادی	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۶۰	۵/۳
چدن نشکن	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۶۰	۵/۳

جدول ۴- محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۱۰ بار

جنس لوله	فرکانس شکستگی (تعداد/کیلومتر/سال)	مدت شکستگی (روز)	دبی شکستگی (m ³ /hr)	فشار متوسط (متر)	تلفات از شکستگی (m ³ /Km/Year)
پلی‌اتیلن	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۱۸۲/۷
UPVC	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۱۸۲/۷
GRP	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۱۸۲/۷
فولادی	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۹/۱
چدن نشکن	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۹/۱

جدول ۵- محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۱۶ بار

جنس لوله	فرکانس شکستگی (تعداد/کیلومتر/سال)	مدت شکستگی (روز)	دبی شکستگی (m ³ /hr)	فشار متوسط (متر)	تلفات از شکستگی (m ³ /Km/Year)
پلی اتیلن	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۳۰۳/۴
UPVC	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۳۰۳/۴
GRP	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۳۰۳/۴
فولادی	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۱۵/۲
چدن نشکن	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۱۵/۲

از سویی اگر آمار میزان شکستگی لوله‌های چدن نشکن در جداول ۳ الی ۵ با هم مقایسه شوند به خوبی مشخص می‌شود که میزان شکستگی لوله‌های چدن نشکن حدود ۲۰ برابر کمتر از لوله‌های پلیمری است. درحالی که عمر کاری لوله‌های چدن نشکن حدود ۸۰ سال بوده و ۳۰ سال بیش از لوله‌های پلیمری عمر می‌کنند. این طول عمر بیش‌تر را می‌توان با عوامل متعددی توجیه نمود. بنابراین اگر قیمت لوله‌های چدن نشکن معمولی بدون احتساب هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بعدی، هزینه حمل و ... مورد بررسی قرار گیرد، لوله‌های چدن نشکن گران‌قیمت‌تر هستند. این در حالی است که در اندازه‌های پایین با توجه به عملکرد مناسب لوله‌های پلیمری و وزن سبک آن‌ها، عموماً توجهی به تعمیرات آبی خط لوله نشده و فقط بر روی زمان نصب خط لوله تمرکز می‌شود.

با لوله‌های پلی اتیلن، گران‌تر تلقی نمود. نمونه‌ای از محاسبه قیمت نصب لوله‌های PVC در مقایسه با لوله‌های چدن نشکن در جدول ۶ و ۷ ارائه شده است. این محاسبات برای برقراری ۱۰۰ متر خط لوله انجام شده است. مبنای محاسبات قیمت دلار معادل ۳۸۰۰۰ ریال بوده است.

بر این اساس ساخت خط لوله‌ای با ۱۰۰ متر طول با لوله چدن نشکن هزینه‌ای برابر با ۱/۶۳ برابر لوله PVC خواهد داشت. بر طبق محاسبات انجام شده، هزینه نصب با توجه به وزن بیش‌تر لوله‌های چدن نشکن و اتصالات متعدد استفاده شده در خطوط لوله چدن نشکن برای تغییر مسیر خط لوله نسبت به لوله‌های PVC افزایش یافته است، از سویی قیمت مواد مورد استفاده برای ساخت لوله‌های چدن طبیعتاً گران‌تر تمام خواهد شد. این در حالی است که ابزار و ادوات لازم تفاوت آن‌چنان زیادی با یکدیگر ندارند.

جدول ۶- محاسبه قیمت اجرای صد متر خط لوله از جنس PVC

اندازه لوله	طول کل	قیمت مواد		سرعت نصب	هزینه تجهیزات آزمایشگاهی		هزینه پرسازی ترانشه		هزینه کل نصب	
میلیمتر	متر	مجموع ریال	ریال/متر	متر/ساعت	مجموع	ریال/متر	مجموع	ریال/متر	مجموع	ریال/متر
۱۰۰	۱۰۰	۷۱۴۴۰۰	۷۱۴۴۰	۱۵۰	۱۶۶۸۲۰۰	۱۶۶۸۲۰	۱۷۰۶۲۰۰	۱۷۰۶۲۰	۴۰۹۲۶۰۰	۴۰۹۲۶۰
۱۵۰	۱۰۰	۱۱۴۰۰۰۰	۱۱۴۰۰۰	۱۲۵	۲۰۰۲۶۰۰	۲۰۰۲۶۰	۱۹۵۷۰۰۰	۱۹۵۷۰۰	۵۰۹۹۶۰۰	۵۰۹۹۶۰
۲۰۰	۱۰۰	۲۳۹۴۰۰۰	۲۳۹۴۰۰	۱۱۵	۲۱۷۷۴۰۰	۲۱۷۷۴۰	۲۲۱۵۴۰۰	۲۲۱۵۴۰	۶۷۸۶۸۰۰	۶۷۸۶۸۰
۲۵۰	۱۰۰	۳۶۴۴۲۰۰	۳۶۴۴۲۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰۰	۲۵۰۴۲۰	۲۴۷۰۰۰۰	۲۴۷۰۰۰	۸۶۱۸۴۰۰	۸۶۱۸۴۰
۳۰۰	۱۰۰	۵۱۳۳۸۰۰	۵۱۳۳۸۰	۱۰۰	۳۱۲۷۴۰۰	۳۱۲۷۴۰	۲۷۳۶۰۰۰	۲۷۳۶۰۰	۱۰۳۷۴۰۰	۱۰۳۷۴۰
۳۵۰	۱۰۰	۶۶۵۳۸۰۰	۶۶۵۳۸۰	۸۰	۳۹۱۰۲۰۰	۳۹۱۰۲۰	۳۰۰۵۸۰۰	۳۰۰۵۸۰	۱۲۷۷۰۰۰	۱۲۷۷۰۰
۴۰۰	۱۰۰	۹۱۴۲۸۰۰	۹۱۴۲۸۰	۶۴	۴۴۶۸۸۰۰	۴۴۶۸۸۰	۳۲۷۹۴۰۰	۳۲۷۹۴۰	۱۶۳۳۶۲۰۰	۱۶۳۳۶۲۰
۴۵۰	۱۰۰	۱۱۵۲۱۶۰۰	۱۱۵۲۱۶۰	۵۶	۵۰۰۴۶۰۰	۵۰۰۴۶۰	۳۵۶۰۶۰۰	۳۵۶۰۶۰	۱۹۵۵۴۸۰۰	۱۹۵۵۴۸۰
۵۰۰	۱۰۰	۱۰۳۴۷۴۰۰	۱۰۳۴۷۴۰	۵۰	۶۲۵۸۶۰۰	۶۲۵۸۶۰	۳۸۴۵۶۰۰	۳۸۴۵۶۰	۱۹۱۹۷۶۰۰	۱۹۱۹۷۶۰
۶۰۰	۱۰۰	۱۴۹۴۱۶۰۰	۱۴۹۴۱۶۰	۴۰	۷۰۲۵۳۰۰	۷۰۲۵۳۰	۴۴۳۰۸۰۰	۴۴۳۰۸۰	۲۵۶۳۱۰۰۰	۲۵۶۳۱۰۰
		مجموع			مجموع		مجموع		مجموع	
		۶۵۶۰۳۳۶۰۰۰۰۰۰ ریال			۳۸۱۰۴۷۳۰۰۰ ریال		۲۹۲۰۶۸۰۰۰ ریال		۱۰۲۸۴۰۷۸۰۰۰۰ ریال	

جدول ۷- محاسبه قیمت اجرای صد متر خط لوله از جنس چدن نشکن DIP

اندازه لوله	طول لوله	قیمت مواد		سرعت نصب	هزینه تجهیزات آزمایشگاهی		هزینه پرسازی ترانشه		هزینه کل نصب	
بیلیمتر	متر	مجموع ریال	ریال /متر	متر/ساعت	مجموع	ریال /متر	مجموع	ریال /متر	مجموع	ریال /متر
۱۰۰	۱۰۰	۳۴۲۰۰۰۰	۳۴۲۰۰۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۲۵۰۴۲۰	۱۷۰۶۲۰۰۰	۱۷۰۶۲۰	۷۶۳۰۴۰۰۰	۷۶۳۰۴۰
۱۵۰	۱۰۰	۵۶۰۱۲۰۰۰	۵۶۰۱۲۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۲۵۰۴۲۰	۱۹۵۷۰۰۰۰	۱۹۵۷۰۰	۱۰۰۵۸۶۰۰۰	۱۰۰۵۸۶۰
۲۰۰	۱۰۰	۶۹۸۴۴۰۰۰	۶۹۸۴۴۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۲۵۰۴۲۰	۲۲۱۵۴۰۰۰	۲۲۱۵۴۰	۱۱۷۰۴۰۰۰۰	۱۱۷۰۴۰۰۰
۲۵۰	۱۰۰	۹۰۲۵۰۰۰۰	۹۰۲۵۰۰	۹۰	۲۷۸۱۶۰۰۰	۲۷۸۱۶۰	۲۴۷۰۰۰۰۰	۲۴۷۰۰۰	۱۴۲۷۶۶۰۰۰	۱۴۲۷۶۶۰
۳۰۰	۱۰۰	۱۱۵۶۳۴۰۰۰	۱۱۵۶۳۴۰	۸۵	۲۹۴۵۰۰۰۰	۲۹۴۵۰۰	۲۷۳۶۰۰۰۰	۲۷۳۶۰۰	۱۷۲۴۴۴۰۰۰	۱۷۲۴۴۴۰۰
۳۵۰	۱۰۰	۱۵۳۱۴۰۰۰۰	۱۵۳۱۴۰۰	۷۰	۳۵۷۵۸۰۰۰	۳۵۷۵۸۰	۳۰۰۵۸۰۰۰	۳۰۰۵۸۰	۲۱۸۹۵۶۰۰۰	۲۱۸۹۵۶۰۰
۴۰۰	۱۰۰	۱۹۰۶۴۶۰۰۰	۱۹۰۶۴۶۰	۵۸	۴۳۱۶۸۰۰۰	۴۳۱۶۸۰	۳۲۷۹۴۰۰۰	۳۲۷۹۴۰	۲۶۶۶۰۸۰۰۰	۲۶۶۶۰۸۰۰
۴۵۰	۱۰۰	۲۳۷۰۴۴۰۰۰	۲۳۷۰۴۴۰	۵۰	۵۰۰۴۶۰۰۰	۵۰۰۴۶۰	۳۵۶۰۶۰۰۰	۳۵۶۰۶۰	۳۲۲۶۹۶۰۰۰	۳۲۲۶۹۶۰۰
۵۰۰	۱۰۰	۲۲۱۵۴۰۰۰۰	۲۲۱۵۴۰۰	۴۵	۵۵۶۳۲۰۰۰	۵۵۶۳۲۰	۳۸۴۵۶۰۰۰	۳۸۴۵۶۰	۳۱۵۶۲۸۰۰۰	۳۱۵۶۲۸۰۰۰
۶۰۰	۱۰۰	۲۵۰۵۳۴۰۰۰	۲۵۰۵۳۴۰۰	۳۵	۷۱۵۱۶۰۰۰	۷۱۵۱۶۰	۴۴۳۰۸۰۰۰	۴۴۳۰۸۰	۳۶۶۳۵۸۰۰۰	۳۶۶۳۵۸۰۰۰
		مجموع			مجموع		مجموع		مجموع	
		۱,۴۱۸,۸۴۴,۰۰۰ ریال			۳۸۸,۵۱۲,۰۰۰ ریال		۲۹۲,۰۶۸,۰۰۰ ریال		۲۰,۹۹,۳۸۶,۰۰۰ ریال	

لوله‌های چدن‌نشکن دارای استحکام کششی در حدود ۲۴ برابر لوله‌های پلی‌اتیلن هستند، این در حالی است که لوله‌های پلی‌اتیلنی حتی در مقادیر پایین تنش کششی دچار خزش می‌شوند (DIPRA, 2016b). تغییرات و نوسانات معمول در دمای نصب و عملکرد لوله چدن نشکن تاثیری روی استحکام آنها ندارد. در دمای سرویس‌کاری لوله‌های چدن نشکن هیچ تغییر محسوسی حتی در دمای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در استحکام کششی ایجاد نمی‌شود. ۱۸ برابر بودن ضریب انبساط حرارتی پلی‌اتیلن نسبت به لوله‌های چدن نشکن باعث خواهد شد تا احتمال جابجایی سراسری خط لوله بالاتر برود. مقاومت در برابر فشار هیدرواستاتیک ترکیدگی لوله چدن نشکن ۶/۱ برابر لوله‌های پلی‌اتیلنی سنگین است. ترک تنها نشانه‌ای است که در صورت قرار دادن لوله چدن نشکن در معرض فشار تا شکست در آن مشاهده شده است، در حالی که لوله‌های پلی‌اتیلنی وقتی تا مرحله شکست تحت فشار قرار می‌گیرند، پس از شکست دچار بادکردگی، انحنای، پیچش و اعوجاج می‌شوند (DIPRA, 2016b). استحکام لوله‌های چدن‌نشکن در برابر ضربه حدود ۱۲ برابر لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین است. این در حالی است که استحکام ضربه لوله‌های چدنی مانند استحکام کششی آن‌ها از دما تاثیر نمی‌پذیرد (DIPRA, 2016b).

لوله‌های چدن نشکن دارای دامنه وسیعی از اتصال‌ها برای متصل کردن لوله‌ها به یکدیگر می‌باشند. اتصال‌های معمولی،

مقید، مکانیکی، بولتد گلندی و ... از جمله اتصال‌هایی هستند که هر کدام دارای زیرشاخه‌های وسیعی با توجه به طراحی شرکت سازنده می‌باشند. در مواردی یک شرکت سازنده دارای چندین مدل اتصال است که با توجه به کاربرد می‌توان از آن استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین مزایای کثرت این اتصال‌ها، تنوع در طراحی اتصال‌های مقاوم در برابر لرزه است که امکان بیرون‌زدگی و نشستی خط لوله را در هنگام لرزه به نزدیک صفر می‌رساند. تعداد اتصال‌های لوله‌های پلی‌اتیلنی و کامپوزیتی که خواصی مشابه اتصال‌های مقاوم به زلزله چدن نشکن ارائه نمایند کمتر از انگشتان یک دست است. لوله‌های چدن نشکن علاوه بر خاصیت ذاتی مقاومت در برابر خوردگی، دارای دو پوشش ضدخوردگی قوی هستند. از سویی ضخامت لوله‌های چدن نشکن معمولی بسیار بیشتر از لوله‌های پلیمری است، لذا مقاومت در برابر خوردگی لوله‌های چدن نشکن بسیار بالاتر از لوله‌های پلیمری خواهد بود.

نکته قابل توجه در محاسبه قیمت تمام شده خط لوله‌ای از جنس چدن نشکن با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی میزان ارزش اسقاط لوله‌ها بعد از طول عمر آن‌ها است. لوله‌های چدن نشکن از این نظر که ۴۰٪ ارزش اسقاط دارند و به راحتی بعد از طول عمر آن‌ها قابل بازیافت هستند، به لوله‌هایی دوست‌دار محیط‌زیست معروف هستند. این در حالی است که ارزش اسقاط لوله‌های پلیمری یا کامپوزیتی بعد از سپری شدن طول

عمر مفید آن‌ها بسیار پایین‌تر از این رقم است. این نوع لوله‌ها بعد از گذراندن طول عمر مفید عملاً دیگر قابل استفاده مجدد نخواهند بود.

انشعاب‌گیری از لوله‌های چدن نشکن نسبت به لوله‌های پلیمری از جنبه‌هایی مشکل‌تر است. این موضوع می‌تواند با استفاده از تجهیزات مناسب با سرعت بیشتری انجام شود. این در حالی است که مزیت لوله‌های چدن نشکن در عدم امکان انشعاب‌گیری غیرمجاز از آن است. لذا در آمار کلی انشعاب‌گیری‌های غیرمجاز، این آمار برای لوله‌های پلیمری حدود ۵ برابر بیشتر از لوله‌های چدن نشکن است. بنابراین، در رویکرد بازگشت سرمایه طولانی‌مدت، لوله‌های چدن نشکن با توجه به ارزش اسقاط بالاتر، طول عمر بیشتر و کاهش انشعاب‌گیری غیرمجاز گزینه مناسب‌تری خواهند بود.

۴- صرفه اقتصادی و کاربردی لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک نسبت به لوله‌های چدن نشکن معمولی، پلیمری و کامپوزیتی

لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن با رویکرد بهبود کارایی لوله‌های چدن نشکن معمولی در اندازه‌های پایین به بازار معرفی شده‌اند. این نوع لوله‌ها، با توجه به وزن پایین‌تر و جداره نازک‌تر قابلیت حمل و نصب راحت را دارا می‌باشند. انشعاب‌گیری از این لوله‌ها بسیار آسان‌تر بوده و از سویی با توجه به طراحی این لوله‌ها مطابق با استاندارد ISO 16631، این لوله‌ها قابلیت نصب و جایگزین شدن با لوله‌های پلیمری را دارا هستند. لذا با توجه به حفظ خاصیت مقاومت در برابر ضربه، استحکام کششی، مقاومت در برابر خوردگی و طول عمر بالای لوله‌های چدن نشکن معمولی، لوله‌های جداره‌نازک سبک، کاهش هزینه حمل، کاهش افت فشار و به تبع آن کاهش هزینه پمپاژ (۳۸٪ کمتر از لوله‌های PVC)، افزایش قطر هیدرولیک نسبت به لوله‌های چدن نشکن و پلیمری و کامپوزیتی را در بر خواهند داشت. مواد اولیه مورد استفاده برای تولید لوله‌های چدن نشکن جداره نازک بسیار کم‌تر از لوله‌های چدن نشکن معمولی خواهد بود بنابراین هزینه مواد اولیه مورد استفاده برای تولید مترآبی برابر از هر دو لوله حداقل ۴۰٪ کاهش پیدا خواهد کرد. این در حالی است که مهم‌ترین هزینه موثر در جدول ۶ و ۷ هزینه مواد اولیه است. از سویی کاهش هزینه حمل و کاهش

ابزارهای مورد نیاز برای نصب خط لوله از دیگر مزایای لوله‌های جداره‌نازک است. در اندازه‌های بزرگ، لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن می‌توانند جایگزینی مناسب برای لوله‌های فولادی که نیاز به تجهیزات حفاظت کاتدیک گران‌قیمت دارند باشند. در جدول ۸، لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن از لحاظ وزن و ضخامت با لوله‌های چدن نشکن معمولی مقایسه شده‌اند.

جدول ۸- میزان کاهش وزن و ضخامت در لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن نسبت به لوله‌های معمولی

اندازه لوله (mm)	۹۰	۱۱۰	۱۲۵
وزن لوله تایتون معمولی (kg)	۸۷	۱۰۶	۱۵۷
وزن لوله جداره‌نازک (kg)	۵۲	۶۴	۷۸
ضخامت اسمی لوله تایتون معمولی (mm) (K9)	۵/۷	۵/۷	۵/۷
ضخامت اسمی لوله جداره‌نازک (mm)	۳/۳	۳/۳	۳/۳
درصد کاهش وزن لوله جداره‌نازک	۴۰/۲٪	۳۹٪	۴۱/۹٪

در صورت کاهش وزن و ضخامت لوله و بالا رفتن سرعت نصب به میزان ۱/۸ برابر می‌توان نتیجه گرفت که قیمت نهایی نصب ۱۰۰ متر خط لوله چدن نشکن جداره نازک به حدود ۱۳۸۹۹۷۴۲۶۰ ریال خواهد رسید، این در حالی است که قیمت ۱۰۰ متر خط لوله از جنس PVC طبق جدول ۶ برابر است با ۱۲۸۴۷۸۰۰۰۰ ریال. بنابراین تفاوت آن با لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک در حدود ۱۰۵۲۵۱۲۶۰ ریال خواهد بود که با توجه به طول عمر سی ساله بیشتر، نیاز به تعمیر حدود ۲۰ برابر کمتر، افت فشار کمتر و به تبع هزینه پمپاژ پایین‌تر در طول عمر خط لوله، هزینه‌ای به صرفه را در بر خواهد داشت.

لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک با اتصالاتی با انحراف زاویه‌ای حدود ۶ درجه به هم متصل می‌شوند، علاوه بر این انواع اتصالات برای تغییر جهت خط لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد، در صورتی که تغییر جهت خطوط لوله پلی‌اتیلنی با استفاده از ایجاد انحنا در بدنه لوله انجام می‌شود. بنابراین ممان خمشی بسیار بالایی به بدنه لوله وارد خواهد شد که در طول زمان، استحکام خط لوله را در قسمت بدنه لوله بسیار کاهش خواهد داد. این در حالی است که در مورد لوله‌های چدن نشکن، بدنه لوله با اتصال ساختاری زنجیری را بوجود آورده و نیروهای محوری وارده در تمام خط لوله انتقال خواهند یافت.

1- Ductile Iron Pipe Research Association

۷- مراجع

- Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA), (2016a), "Material comparison, Ductile iron pipe vs. PVC pipe", <https://www.dipra.org/>.
- Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA), (2016b), "Material comparison, Ductile iron pipe vs. HDPE pipe", <https://www.dipra.org/>.
- Tsakiris, G., and Tsakiris, V., (2012), "Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems", *Water Utility Journal*, 3, 26-36.
- Vosoughifar, H., and Rahbaripour, A., (2011), "Evaluation of high density polyethylene pipes", *Journal of Mechanical Engineering*, (80).

انتخاب جنس لوله مورد استفاده یکی از مهم ترین فاکتورهایی است که باید در زمان بنا نهادن یک خط لوله به آن توجه نمود. یکی از مهم ترین فاکتورهای مورد توجه در انتخاب جنس لوله، قیمت تمام شده است. قیمت تمام شده یک خط لوله را می توان از دو منظر کوتاه مدت و بلندمدت مورد بررسی قرار داد. از سویی تفاوت قابلیت های مواد باعث شده است که برتری در اندازه های بالا با لوله های فلزی و در اندازه های کوچک تر با لوله های پلیمری و کامپوزیتی باشد. به طور کلی لوله های فولادی در اندازه های بزرگ تر موفق تر بوده و لوله های چدن نشکن در اندازه های بزرگ و متوسط رقیب مناسبی برای لوله های پلیمری بوده اند. اما در اندازه های پایین، قیمت و وزن بالاتر لوله های فلزی باعث شده است که امکان رقابت را در این زمینه از دست بدهند. قیمت لوله های چدن نشکن معمولی حدوداً ۳ برابر بیشتر از لوله های پلیمری و حدوداً ۱/۵ برابر لوله های فولادی است، اما از منظر بلندمدت لوله های چدنی نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند، میزان شکستگی در آن حدود ۲۰ برابر کمتر از لوله های پلیمری و کامپوزیتی است، نیاز به حفاظت کاتدیک ندارند، مقاومت مناسب در برابر خوردگی دارند، طول عمری حدود ۸۰ سال را برای آن ها متصور هستند و انشعاب گیری غیرقانونی از آن ها بسیار مشکل تر از لوله های پلیمری، کامپوزیتی یا فولادی است. از سویی نشت یابی شبکه به ابزار بسیار ساده تری نیازمند است. برای ایجاد رقابت در اندازه های کوچک تر بین لوله های چدن نشکن و لوله های پلی اتیلنی، کاهش ضخامت و وزن لوله های چدن نشکن در عین حفظ خواص لوله های چدن نشکن معمولی می تواند تا حدود بسیار زیادی موثر باشد. صرفه اقتصادی ۵۰٪ نسبت به لوله های چدن نشکن معمولی و صرفه اقتصادی ۲۰٪ نسبت به لوله های ساخته شده از دیگر مواد را می توان با کاهش ضخامت حساب شده لوله های چدنی در طولانی مدت به دست آورد. با توجه به این که دیدگاه یک نصاب خط لوله عموماً باید بلندمدت باشد، استفاده از لوله های چدن نشکن خواهد توانست نیازهای بلندمدت را چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ کاربردی تامین نماید.

Analysis and Evaluation of the Performance of Water Distribution Networks Using Performance Criteria and Certain and Fuzzy Stability index

Raziyeh Analooei^{1*}, Masoud Taheriyoun² and Hamid Reza Safavi³

1- M.Sc., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2, 3- Assistant Professor and Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author, Email: r_analooei@yahoo.com

Received: 9/6/2017

Revised: 20/8/2017

Accepted: 26/8/2017

Abstract

Nowadays, using treated wastewater in diverse purposes such as agriculture, industry, and urban irrigation has become an appropriate solution for water shortage. Despite the advantages of water reuse, it is on the other hand always risky due to various pollutants in wastewater and lack of complete treatment in accordance with the standards. Therefore risk assessment should be conducted in order to determine the reliability of system and to offer solutions to enhance the wastewater treatment system performance. Risk is the possibility of occurrence of an adverse event and the severity of its negative effects. In the present study, Bayesian network approach is used for risk assessment and analysis of the reliability of the wastewater treatment plant. In this method the possibility of an event can be obtained by creating cause and effect relationship between the components of the system. Wastewater treatment plant of Industrial Complex of Moorchehort is selected as the case study in this research. Fouling, corrosion and biofilm as the results of using treated wastewater for industry have been determined as the studied events. The model input data have been formed by experts and specialists as well as the laboratory data from wastewater treatment plant of the Complex. The reliability of wastewater treatment system analyzed by Bayesian network model was determined as 70 percent. The efficiency of the Bayesian network to determine the elements of failure and to estimate the risk of wastewater treatment system not meeting the effluent standards for the industry uses is shown in this study.

Keywords: Bayesian network model, Risk and reliability assessment, Wastewater treatment plant, Water reuse

تحلیل اطمینان پذیری سیستم تصفیه و بازیافت پساب شهرک صنعتی مورچه خورت با استفاده از روش شبکه بیزی

راضیه انالوئی^۱، مسعود طاهریون^۲، حمیدرضا صفوی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

* نویسنده مسئول، ایمیل: r_analooei@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۴

چکیده

امروزه استفاده از فاضلاب تصفیه شده در بخش های مختلفی از قبیل کشاورزی، صنعت و آبیاری فضای سبز به راه حل مناسب برای جبران کمبود آب تبدیل شده است. به دلیل احتمال وجود آلاینده های مختلف در فاضلاب و عدم تصفیه کامل منطبق بر استانداردها، این امر همواره با ریسک و عدم اطمینان همراه است. بنابراین به منظور تعیین وضعیت اطمینان پذیری و ارائه راهکارهای ارتقای آن در سیستم تصفیه فاضلاب، باید ارزیابی ریسک صورت گیرد. ریسک بیانگر احتمال وقوع یک رخداد نامطلوب به همراه شدت اثرات منفی آن است. در تحقیق حاضر از روش شبکه بیزی برای ارزیابی ریسک و تحلیل اطمینان پذیری سیستم تصفیه فاضلاب استفاده شده است. در این روش با ایجاد رابطه علت و معلولی بین اجزای سیستم، می توان احتمال رخداد یک رویداد در سیستم را به دست آورد. مطالعه موردی در این پژوهش، سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه خورت است. رویداد نهایی مورد بررسی در مدل، ایجاد پیامد رسوب، خوردگی و بیوفیلم حاصل از استفاده پساب در تأسیسات صنعتی شهرک صنعتی می باشد. داده های ورودی به مدل از طریق نظرات کارشناسان و متخصصان و داده های آزمایشگاهی تصفیه خانه شهرک صنعتی مورچه خورت تهیه شده است. نتایج نشان می دهد که با احتمال ۷۰ درصد سیستم تصفیه فاضلاب قادر به تأمین پساب با کیفیت مناسب برای مصارف صنعتی خواهد بود. همچنین کارایی مدل شبکه بیزی در تحلیل اطمینان پذیری و تخمین ریسک ناشی از عدم تطابق پساب خروجی با استانداردهای مورد نظر صنایع نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: تصفیه خانه فاضلاب، ارزیابی ریسک، اطمینان پذیری، روش شبکه بیزی، پساب

یک تصفیه‌خانه فاضلاب دارای واحدهای مختلف فرایندی و الکترومکانیکی است که در صورت بروز اشکال در هر واحد، تصفیه‌خانه قادر نخواهد بود کیفیت مناسب خروجی پساب را مطابق استانداردهای زیست‌محیطی تأمین نماید. ریسک بیانگر احتمال وقوع یک رویداد نامطلوب در سیستم و شدت اثرات منفی آن می‌باشد. اطمینان‌پذیری عکس مفهوم ریسک بوده و عبارت است از احتمال اینکه سیستم یک عمل یا کارکرد موردنیاز را بدون نقص تحت موقعیت‌های تعیین‌شده برای یک دوره معین زمانی انجام دهد (Taheriyoun et al., 2014).

یکی از روش‌های کارآمد ارزیابی ریسک و اطمینان‌پذیری سیستم روش شبکه بیزی^۱ می‌باشد. شبکه بیزی یک دیاگرام احتمالاتی برای نمایش روابط علل و معلولی بین اجزاء یک سیستم است. درواقع روش بیزی کمک می‌کند تا با استفاده از احتمالات شرطی بین اجزاء یک سیستم، بتوان ارزیابی اطمینان‌پذیری سیستم مورد مطالعه را انجام داد. شبکه بیزی با دو بخش کیفی و کمی وابستگی چندین متغیر مؤثر بر یکدیگر را نشان می‌دهد. در نتیجه می‌توان از شبکه‌های بیزی برای تصمیم‌گیری و استدلال در شرایط عدم قطعیت استفاده کرد (Taheriyoun et al., 2016). در ادامه چند مطالعه مرتبط با تحقیق حاضر بررسی می‌شود.

Rahman et al. (2016) با استفاده از شبکه بیزی به ارزیابی شوری زمین‌های کشاورزی برآثر آبیاری پساب حاصل از تصفیه فاضلاب پرداختند. داده‌های مورد استفاده در مدل با استفاده از انجام آزمایش‌هایی بر روی خاک منطقه مورد مطالعه و پساب مورد استفاده انتخاب شدند. آبیاری منطقه مورد مطالعه با استفاده از پساب به مدت ۲۰ سال بود. Rahman et al. (2016) نشان دادند که شوری خاک در طی این ۲۰ سال افزایش زیادی یافته است. یکی از پیشنهاد‌های آنان برای کاهش شوری خاک استفاده از اسمز معکوس برای تصفیه تکمیلی بود. Tang et al. (2016) با استفاده از شبکه بیزی به ارزیابی ریسک آلودگی پروژه انتقال کانال روباز آب از جنوب به شمال چین پرداختند. عوامل ایجاد ریسک در سیستم انتقال آب سه عامل شرایط جاده، کامیون‌های عبوری از روی پل و عوامل انسانی بودند. درنهایت مشخص شد احتمال وجود ریسک در این پروژه تنها ۶ درصد است که مهم‌ترین آن عوامل

انسانی می‌باشد. (Kabir et al. (2015) در پژوهشی با استفاده از شبکه بیزی به ارزیابی اطمینان‌پذیری سیستم توزیع آب شهری پرداختند. مطالعه موردی در این تحقیق سیستم توزیع آب شهر کلگری کانادا بود. نتایج تحقیق نشان داد تنها ۶/۲ و ۸/۲ درصد از کل لوله‌های سیستم توزیع آب شهری در نرخ شکست بالا و بسیار بالا قرار دارند. مدل ارائه‌شده برای شناسایی لوله‌های آسیب‌پذیر و حساس سیستم تصفیه آب به کار می‌رود، درنتیجه می‌توان تعداد لوله‌هایی را که نیاز به تعمیر و نگهداری دارند شناسایی کرد. طاهریون و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش شبکه‌های بیزی به ارزیابی ریسک استفاده از پساب در بخش کشاورزی پرداختند. در این پژوهش با ایجاد شبکه احتمالاتی بیزی و استفاده از نرم‌افزار HUGIN میزان ریسک استفاده از فاضلاب در بخش کشاورزی بر دو اثرپذیرنده انسان و گیاه تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان ریسک ناشی از خطرات موجود برآثرپذیرندگان انسان و گیاه به ترتیب ۴۶٪ و ۳۸٪ می‌باشند. همچنین آلاینده کادمیوم بیشترین سهم را در ایجاد ریسک دارند و دترجنت و نیترات در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. (Anbari (2013) با استفاده از شبکه‌های بیزی به بررسی دو مورد شکست ساختاری و شکست هیدرولیکی شبکه جمع‌آوری فاضلاب پرداخت. در این حالت با استفاده از یک الگوریتم چهارمرحله‌ای شامل آماده‌سازی ورودی مدل، آموزش شبکه بیزی، اعتبارسنجی شبکه و در نهایت دریافت نتایج خروجی، سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهر تهران مدل‌سازی شد. با استفاده از مقادیر ریسک به‌دست‌آمده از مدل تحلیل ریسک، اولویت‌های نگهداری و تعمیر سیستم مشخص شدند. در پژوهش حاضر، سعی شده تا الگویی برای ارزیابی اطمینان‌پذیری سیستم تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از پساب در تأسیسات صنعتی با استفاده از شبکه بیزی تدوین شود. در این مدل، رابطه علت و معلولی بین اجزای مختلف سیستم تصفیه فاضلاب در تأمین پساب با کیفیت مناسب برای مصارف صنعتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲- روش تحقیق

شبکه بیزی یک دیاگرام احتمالاتی برای نمایش روابط علل و معلولی بین اجزاء یک سیستم است. با استفاده از این مدل می‌توان وابستگی چندین متغیر مؤثر بر یکدیگر را نشان داد. این روش بر اساس تئوری احتمال بوده و تکنیک مؤثری برای

CPT استفاده می‌شود. درواقع در این جدول مقدار احتمال هر گره در حالت‌های مختلف مثلاً موفقیت و شکست و تحت تأثیر گره‌های ماقبل قرار می‌گیرند. درنهایت از نرم‌افزار HUGIN به‌منظور تشکیل مدل بیزی و تحلیل مدل استفاده می‌شود.

۳- مطالعه موردی

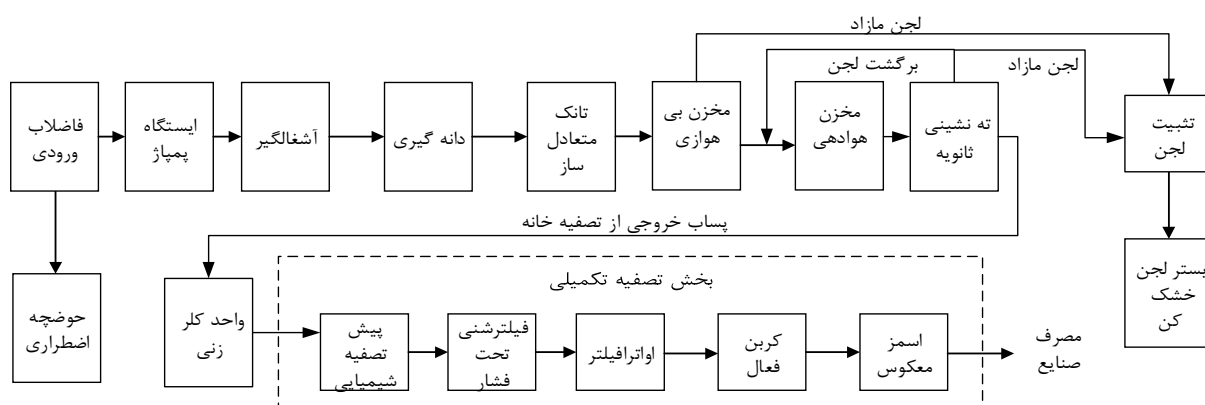
تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت در ۲ فاز اجرایی به بهره‌برداری رسیده است. فاز اول شهرک در سال ۱۳۸۸ و با ظرفیت ۸۰۰ مترمکعب در روز و فاز دوم آن در سال ۱۳۹۱ و با ظرفیت ۱۲۰۰ مترمکعب در روز مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. از سال ۱۳۹۲ پس‌اب حاصل از تصفیه فاز ۲ بعد از عبور از سیستم تصفیه تکمیلی در اختیار صنایع موجود در شهرک قرار گرفته و تا امروز بخشی از آب موردنیاز صنایع که شامل صنایع غذایی، نساجی، بسته‌بندی، ماشین‌آلات صنعتی و شیمیایی می‌باشند را تأمین می‌کند. فلودیگرام تصفیه‌خانه در شکل ۱ نشان داده شده است. فرآیندهای مورد استفاده در این تصفیه‌خانه شامل حوضچه اضطراری، آشغال‌گیر، دانه‌گیر، تانک متعادل‌ساز، راکتور بی‌هوازی باغل‌گیر، دانه‌گیر و چربی‌گیر، تانک متعادل‌ساز، راکتور بی‌هوازی دارای بافل با جریان رو به بالا، راکتور لجن فعال با بستر معلق، حوضچه ته‌نشینی مستطیلی و حوضچه کلر زنی می‌باشد. بخش تصفیه تکمیلی نیز شامل واحدهایی از قبیل پیش تصفیه شیمیایی، فیلتر شنی، اولترا فیلتر، کربن فعال و اسمز معکوس است. در این مطالعه به بررسی ریسک‌های بخش تصفیه‌خانه و تصفیه تکمیلی شهرک صنعتی مورچه‌خورت پرداخته می‌شود.

تصمیم‌سازی در مواردی است که امکان جمع‌آوری داده‌های کافی برای کاهش عدم قطعیت‌ها موجود نیست (Rahman et al., 2016). روش BN بر پایه قانون بیز^۲ بنا شده است. به ساده‌ترین شکل می‌توان قانون بیز را به‌صورت زیر بیان کرد (Kjaerulff and Madsen, 2007):

$$P(X|Y) = \frac{P(Y|X)P(X)}{P(Y)} \quad (۱)$$

که $P(X|Y)$: احتمال رخداد رویداد X به شرط وقوع رویداد Y ، $P(Y|X)$: احتمال وقوع رویداد Y به شرط رخداد رویداد X ، $P(X)$: احتمال وقوع رویداد X و $P(Y)$: احتمال وقوع رویداد Y هستند.

درواقع شبکه بیزی مدلی گرافیکی است که روابط احتمالاتی بین تعداد زیادی از متغیرها را نمایش می‌دهد. با استفاده از این روش رابطه بین علت‌ها و معلول‌ها برقرار می‌شود و می‌توان احتمال رخداد یک رویداد در سیستم را با استفاده از اثرات سایر اجزاء سیستم به‌دست آورد. هریک از متغیرهای تصمیم‌گیری در روش BN به‌صورت یک گره مدل می‌شوند. گره‌ها توسط پیکان‌هایی^۳ که نشان‌دهنده جهت اثر و رابطه علت و معلول است به هم متصل می‌شوند. برای هر گره حالت‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود و برای هر یک از حالت‌ها نیز درصدی به‌عنوان احتمال وقوع منظور می‌شود (Rahman et al., 2016). در نتیجه می‌توان احتمال آخرین گره را که از گره‌های ماقبل خود تأثیر می‌پذیرد به‌دست آورد. به‌منظور تعیین چگونگی تأثیر یک گره بر روی سایر گره‌ها از جدول احتمالات شرطی^۴ یا

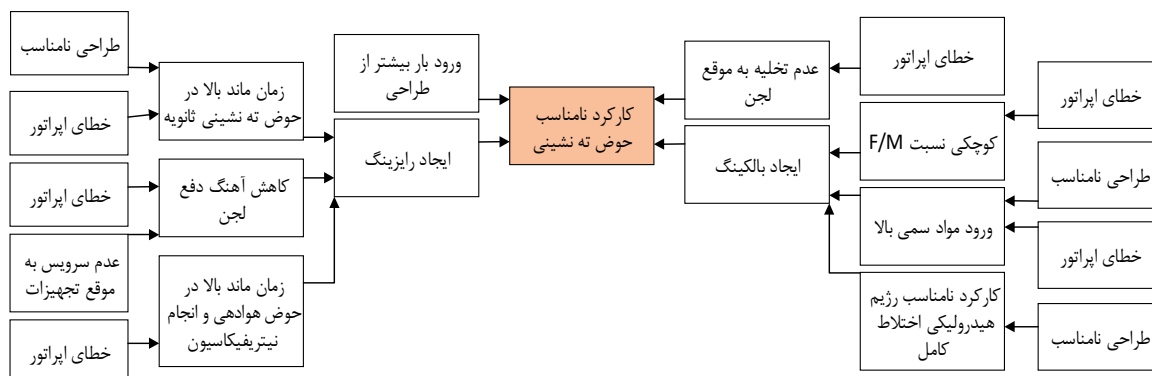


شکل ۱- فلودیگرام تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت

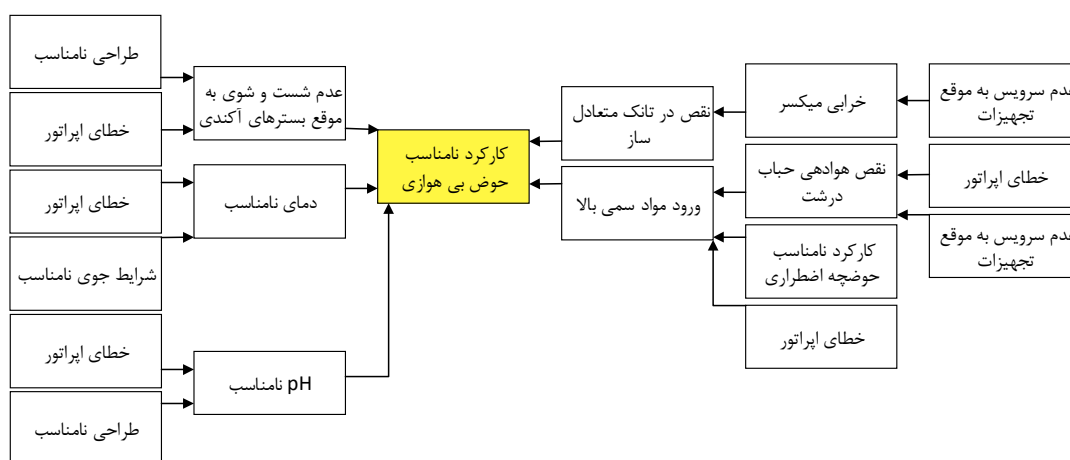
گره پیامد در سه گروه طبقه‌بندی می‌شود. این پیامدها شامل موارد زیر هستند: ۱- عدم رخداد رسوب، خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی، ۲- رخداد رسوب، خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت و ۳- رخداد رسوب، خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت.

به منظور کمی سازی و اختصاص احتمال موفقیت و شکست به هر گره، از جدول CPT استفاده می شود. احتمال موفقیت و شکست و احتمال شرطی هر گره با استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان تصفیه خانه و داده های آزمایشگاهی تصفیه خانه و مراجع معتبر طراحی و بهره برداری تصفیه خانه تعیین گردیده است. به عنوان نمونه جدول CPT مربوط به ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی در جدول ۱ نشان داده شده است.

شکل ۲- شبکه بیزی تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی، مورچه خورت



شکل ۳- ادامه شبکه بیزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت (بخش اول)



شکل ۴- ادامه شبکه بیزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت (بخش دوم)

تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- CPT ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی

C1	خیر	بله	خیر	بله
C2	خیر	بله	خیر	بله
خیر	۰/۹۷	۰/۴	۰/۵	۰/۰۱
بله	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۵	۰/۹۹

با توجه به جدول ۲ احتمال وقوع کیفیت نامناسب خروجی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی ۲۶٪ است. در نتیجه بخش تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت عملکرد مناسبی برابر ۷۴٪ تأمین پساب به‌منظور ورود به بخش تصفیه تکمیلی دارد. همچنین حوض ته‌نشینی و حوض هوادهی به ترتیب با ۷۸٪

با توجه به جدول ۱ ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی ناشی از دو عامل C1 (خطای اپراتور) و C2 (عدم کارکرد مناسب حوضچه اضطراری) می‌باشد. در نتیجه با توجه به جدول ۱ احتمال عدم ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی به‌شرط عدم وجود خطای اپراتور و کارکرد مناسب حوضچه اضطراری ۹۷ درصد و احتمال شکست ۳ درصد می‌باشد. اگر خطای اپراتور رخ ندهد ولی حوضچه اضطراری به‌درستی کار نکند موفقیت حوض هوادهی در عدم ورود مواد سمی بالا ۴۰ درصد و عدم موفقیت ۶۰ درصد است. در واقع ورود یا عدم ورود مواد سمی بالا به حوض هوادهی به وقوع یا عدم وقوع خطای اپراتور و کارکرد نامناسب حوضچه اضطراری بستگی دارد. پس از تشکیل و تحلیل شبکه بیزی توسط نرم‌افزار HUGIN احتمال وقوع هر گره و گره پیامد به‌دست‌آمده است. نتایج حاصل از تحلیل برای گره‌های مهم و کلیدی شبکه بیزی به‌جز گره پیامد

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل شبکه بیزی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت به‌استثنای گره پیامد

نام رویداد	احتمال موفقیت (%)	احتمال شکست (%)
کیفیت نامناسب خروجی تصفیه‌خانه	۷۴	۲۶
کارکرد نامناسب حوض ته‌نشینی	۷۸	۲۲
کارکرد نامناسب سیستم هوادهی	۸۲	۱۸
کارکرد نامناسب سیستم پیش‌تصفیه شیمیایی	۷۵	۲۵
کارکرد نامناسب سیستم فیلتر شنی	۸۲	۱۸
کارکرد نامناسب سیستم اولترافیلتراسیون	۸۳	۱۷
کارکرد نامناسب سیستم کربن فعال	۷۶	۲۴
کارکرد نامناسب سیستم اسمز معکوس	۸۹	۱۱

مناسب برای مصارف صنعتی آن برابر ۳۰٪ تعیین شده است. به‌منظور کاهش ریسک‌های سیستم و افزایش اطمینان‌پذیری پیشنهادهایی از قبیل تهیه نظام‌مند مدیریت بحران، افزایش سطح دانش فنی اپراتورهای تصفیه‌خانه به‌منظور کاهش خطاهای انسانی، استفاده از تجهیزات الکترونیک جهت پایش سیستم‌های موجود، سرویس و تعمیر بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه به‌صورت منظم و دوره‌ای، افزایش نیروی کار جهت بالا بردن دقت بررسی‌ها و سرویس تجهیزات، تجهیز کردن آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و انجام آزمایش‌های مرتب دوره‌ای پارامترهای مختلف مطابق با استاندارد پساب‌های صنعتی ارائه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر سعی شده است تا با استفاده از روش شبکه بیزی الگویی برای ارزیابی ریسک و اطمینان‌پذیری سیستم تصفیه فاضلاب ارائه شود. مدل بیزی بر اساس تعیین احتمال

و ۸۲٪ عملکردی مناسبی در بخش تصفیه‌خانه دارند. بنابراین احتمال وقوع کیفیت نامناسب بخش خروجی تصفیه‌خانه، بیشتر ناشی از کارکرد نامناسب حوض ته‌نشینی است. از طرفی بخش تصفیه تکمیلی شامل پیش‌تصفیه شیمیایی، فیلتر شنی، اولترا فیلتر، کربن فعال و اسمز معکوس به ترتیب با احتمال ۷۵٪، ۸۲٪، ۸۳٪، ۷۶٪ و ۸۹٪ قادر به تأمین پساب مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی می‌باشند. همچنین احتمال گره پیامد که در سه دسته تقسیم‌بندی شده در جدول ۳ نشان داده شده است. احتمال وقوع رویداد A1 یعنی عدم وقوع رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی برابر ۷۰٪، رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت ۲۴٪ و رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت ۶٪ تعیین شده است.

درنهایت احتمال موفقیت کل سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت در تأمین آب با کیفیت مناسب برای مصارف صنعتی با استفاده از روش شبکه بیزی برابر ۷۰٪ و احتمال شکست سیستم در تأمین آب باکیفیت

جدول ۳- احتمال وقوع گره پیامد مدل بیزی تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت

نماد	احتمال پیامد (%)	پیامد
A1	۷۰	عدم وقوع رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی
A2	۲۴	رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت
A3	۶	رخداد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت

۷- تشکر و قدردانی

این تحقیق با همراهی دکتر سید علیرضا مؤمنی مدیر محیطزیست شرکت شهرک‌های صنعتی استان اصفهان، خانم مهندس مهناز حیدری مدیر تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت، خانم مهندس حمیده ابراهیمی کارشناس تصفیه‌خانه شهرک صنعتی مورچه‌خورت و آقای مهندس حمید ارومیه طراح بخش تصفیه تکمیلی تصفیه‌خانه مورچه‌خورت انجام شده که بدین‌وسیله از زحمات این عزیزان تشکر می‌شود.

۸- مراجع

- عنبری، م.ج. (۱۳۹۲)، «تحلیل ریسک سیستم‌های تصفیه‌خانه با استفاده از شبکه‌های بیزی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
- HUGIN, [Computer Software], Hugin Expert, Available from: <http://www.hugin.com/>.
- Kabir, G., Demissie, G., Sadiq, R., and Tesfamariam, S., (2015), "Integrating failure prediction models for water mains: Bayesian belief network based data fusion", *Journal of Knowledge-Based Systems*, 85, 159-169.
- Kjaerulff, U.B., and Madsen, A.L., (2007), *Bayesian Networks and influence diagrams: A guide to construction and analysis*, Springer Science+Business Media, New York.
- Rahman, M.M., Hagare, D., and Maheshwari, B., (2016), "Bayesian Belief Network analysis of soil salinity in a peri-urban agricultural field irrigated with recycled water", *Journal of Agricultural Water Management*, 176, 280-296.
- Taheriyoun, M., Alavi, V., and Ahmadi, A., (2016), "Risk analysis of wastewater reuse in agriculture using bayesian network", *Amir Kabir Journal of Science and Research, Civil and Environmental Engineering*, 48 (1), 101-110, (In Persian).
- Taheriyoun, M., Bahrami, M., and Moradinejad, S., (2014), "Reliability analysis of a municipal wastewater treatment plant using fault tree analysis", *Journal of Iran-Water Resource Research*, 10(2), 1-11, (In Persian).
- Tang, C., Yi, Y., Yang, Zh., and Sun, J., (2016), "Risk forecasting of pollution accidents based on an integrated Bayesian Network and water quality model for the South to North water transfer project", *Journal of Ecological Engineering*, 96, 109-116.

هر گره و احتمال شرطی هر گره نسبت به گره‌های پیشین خود عمل می‌کند و درنهایت می‌توان احتمال وقوع گره نهایی را تعیین کرد. مطالعه موردی انتخاب شده سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت است. این تصفیه‌خانه در دو بخش تصفیه‌خانه اصلی و بخش تصفیه تکمیلی بخشی از آب صنایع موجود در شهرک به‌منظور استفاده در بخش‌های مختلفی از قبیل برج‌های خنک‌کننده، بویلرها، آب مصرفی در صنایع مختلفی مانند نساجی، پلاستیک و لاستیک، فولاد و آهن، صنایع غذایی و آب شست‌وشو را شامل می‌شوند، تهیه می‌کند. با تشکیل شبکه بیزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و تحلیل مدل بیزی احتمال وقوع رویداد عدم وقوع رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی برابر ۷۰٪، ایجاد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در بلندمدت ۲۴٪ و ایجاد رسوب و خوردگی و بیوفیلیم در تأسیسات صنعتی در کوتاه‌مدت ۶ درصد تعیین شده است. در نتیجه، احتمال موفقیت کل سیستم تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت با استفاده از روش شبکه بیزی برابر ۷۰٪ است. درنهایت به‌منظور کاهش ریسک‌های سیستم و افزایش اطمینان‌پذیری پیشنهادهایی از قبیل تهیه نظام‌مند مدیریت بحران، افزایش سطح دانش فنی اپراتورهای تصفیه‌خانه به‌منظور کاهش خطاهای انسانی، استفاده از تجهیزات الکترونیک جهت پایش سیستم‌های موجود، سرویس و تعمیر بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه به‌صورت منظم و دوره‌ای، افزایش نیروی کار جهت بالا بردن دقت بررسی‌ها و سرویس تجهیزات، تجهیز کردن آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی مورچه‌خورت و انجام آزمایش‌های مرتب دوره‌ای پارامترهای مختلف مطابق با استاندارد پساب‌های صنعتی ارائه شده است.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Bayesian Network
- 2- Bayes
- 3- Edges
- 4- Conditional Probability Table

Technical and Economic Aspects of Water Desalination Worldwide

Hamid Reza Rashidi¹, Mohammad Hossein Sarrafzadeh^{2*} and Hashem Asgharnejad¹

1-Unesco Chair on Water Reuse, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran.

2- Associate Professor, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: sarrafzdh@ut.ac.ir

Received: 18/6/2017

Revised: 10/10/2017

Accepted: 11/10/2017

ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های نمک‌زدایی از آب دریا با در نظر گرفتن ویژگی‌های بومی در نقاط مختلف دنیا

حمیدرضا رشیدی^۱، محمدحسین صراف‌زاده^{۲*}، هاشم اصغر‌نژاد^۱

۱- کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: sarrafzdh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۹

Abstract

As a consequence to global warming and climate change all around the world and irregular consumption of underground water resources, the societies are being faced to a serious danger named water scarcity. Population growth, need to food security, climate changes and agricultural needs have forced the societies to search for appropriate alternatives for fresh water resources. Unconventional water resources are known as one of the most important alternatives for fresh water on the earth. One of the most sources of unconventional waters is saline or brackish water. Considering the great amount of saline water on the earth, water desalination can be a fruitful method to overcome the crisis of water scarcity. Water desalination technologies will be categorized into two main groups of thermal and membrane technologies. In this paper, at first the most important and most applicable desalination technologies around the world are studied, then the influences of desalination technologies regarding energy and economy have been evaluated. At the end, the examples of desalination units in different parts of the world have been studied.

Keywords: Desalination, Membrane processes, Water sweetening, Unconventional water resources

چکیده

با افزایش میانگین دمای کره زمین و به‌وجود آمدن تغییر اقلیم و همچنین مصرف بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، جوامع امروزی با خطری بسیار اساسی و مهم به‌نام کمبود آب مواجه شده‌اند. رشد جمعیت، نیاز به امنیت غذایی، تغییرات اقلیمی و نیازهای کشاورزی جوامع بین‌المللی را مجبور به جستجو برای منابع جایگزین آب کرده است. منابع آب نامتعارف، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین جایگزین‌ها برای منابع آب شیرین موجود در کره زمین، معرفی شده‌اند. یکی از مهم‌ترین منابع آب نامتعارف، آب‌های شور و لب‌شور به‌شمار می‌آیند. با توجه به وجود منابع عظیم آب شور در کره زمین، نمک‌زدایی آب روشی کارآمد برای غلبه بر بحران کم‌آبی به‌حساب می‌آید. فرایندهای نمک‌زدایی به‌طور کلی به دو دسته فرایندهای گرمایی و فرایندهای غشایی تقسیم می‌شوند. در این مقاله ابتدا به بررسی روش‌های مهم و پرکاربرد در سطح جهان پرداخته و سپس اثرات فرایند نمک‌زدایی از منظر اقتصاد و انرژی در روش‌های مختلف و متداول این فرایند مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نمونه واحدهای نمک‌زدایی در نقاط جغرافیایی مختلف جهان از این حیث بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: منابع آب نامتعارف، نمک‌زدایی، فرایند شیرین‌سازی، فرایندهای غشایی

در اوایل قرن بیستم میلادی فرایند تبخیر و میعان به عنوان یکی از اصلی‌ترین روش‌های نمک‌زدایی شناخته می‌شد. در خلال جنگ جهانی دوم به دلیل کمبود آب آشامیدنی، سرمایه‌گذاری بسیار زیادی برای پیشرفت تکنولوژی‌های نمک‌زدایی و صنعتی‌سازی آن صورت گرفت. به طوری که سرانجام اولین نوع صنعتی شده و پیشرفته آن در سال ۱۹۶۰ بر مبنای روش حرارتی ابداع شد (Nair and Kumar, 2013). فرایند نمک‌زدایی، آب دریا را به دو جریان اصلی آب آشامیدنی و شورابه (حاوی غلظت بالای نمک) تقسیم می‌کند. اگرچه دفع این جریان شورابه تشکیل شده که حاوی مقادیر بسیار زیادی از نمک است، خود یک معضل بزرگ زیست‌محیطی به شمار می‌آید، اما پیشرفت‌های اخیر صورت گرفته در حوزه فناوری‌های شیرین‌سازی آب، استفاده از این روش را به منظور تامین آب شیرین، توجیه‌پذیر نموده است. همچنین طراحی فرایندهای جدید نمک‌زدایی به کاهش این معضل کمک شایانی کرده است (Al-Mutaz, 1991). با این وجود در ادامه این مقاله به معرفی و بررسی روش‌های مختلف نمک‌زدایی از آب از منظر فنی و اقتصادی پرداخته خواهد شد.

۲- روش‌های نمک‌زدایی از آب

انتخاب روش مناسب برای نمک‌زدایی به عوامل گوناگونی مانند کیفیت آب، مساحت واحد عملیاتی، ظرفیت و هزینه‌های اکتشاف بستگی دارد. به طور عام، روش‌های نمک‌زدایی از آب به دو دسته کلی روش‌های حرارتی و روش‌های غشایی تقسیم می‌شوند (Gorjian and Ghobadian, 2015).

۲-۱- روش‌های حرارتی

نحوه کار روش‌های حرارتی به این صورت است که ابتدا آب دریا را حرارت داده و سپس اقدام به جمع‌آوری میعانات حاصل می‌کنند. این روش به سه صورت تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای (MSF)، تقطیر چندمرحله‌ای (MED) و تراکم بخار (VC) انجام می‌شود (Kucera, 2014). در تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای (MSF) که یک فرایند چندمرحله‌ای تبخیر آب از طریق جوشش است. روش کار بدین‌صورت است که آب گرم شده را به مخازنی با فشار کم هدایت می‌کنند. وقتی آب به فضای حاوی فشار بسیار کم رسید، به این علت که قبلاً از منبع حرارتی

آب در تمام جنبه‌های زندگی، مهم و اساسی بوده و نقش بسیار پررنگی در بقای انسان‌ها و همچنین پیشبرد فعالیت‌های اقتصادی ایفا می‌کند (Dawoud, 2011). امروزه نیاز به آب شیرین به دلیل افزایش جمعیت جامعه بشری و ارتقای سطح زندگی مردم، توسعه صنایع و پیشرفت کشاورزی روزبه‌روز در حال افزایش است. متأسفانه منابع آب شیرین طبیعی در دسترس، خیلی کم‌تر از درخواست جامعه است و طبق پیش‌بینی سازمان ملل متحد تا پایان سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۱/۸ میلیارد نفر از مشکل کم‌آبی رنج خواهند برد (Sharon and Reddy, 2015). آمارها حاکی از آن است که حدود ۹۷ درصد آب موجود در کره زمین را آب‌های شور دربر می‌گیرند و در این میان تنها ۰/۵ درصد آب شیرین و قابل شرب در دسترس است (Khawaji et al., 2008). با در نظر گرفتن رشد ۳۰ درصدی جمعیت در ۳۵ سال آینده، وضعیت کمبود آب بیش از پیش نگران‌کننده و چالش‌برانگیز خواهد شد (Lutz et al., 1997). بنابراین رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی و به تبع آن تأثیرات بر کشاورزی و استفاده بیش از حد منابع آبی، جوامع بین‌الملل را مجاب به جستجو برای منابع جایگزین و مدیریت منابع آبی کرده است. از این‌رو حتی آن دسته کشورهایی که در حال حاضر با کمبود آب مواجه نیستند نیز در خطر رویارویی با این بحران در آینده قرار دارند.

برای حل مشکل کم‌آبی راه‌های بی‌شماری از جمله سدسازی، باروری ابرها، شیرین‌سازی آب دریا (نمک‌زدایی) و بازیابی آب مصرفی (آب خاکستری) تاکنون اتخاذ شده است. ولی با توجه به این که تنها منبع بی‌پایان آب، اقیانوس‌ها و دریاها هستند بهترین راه توسعه و پیشرفت در زمینه تهیه منابع آب، نمک‌زدایی از آب دریاها است (Gorjian and Ghobadian, 2015). نمک‌زدایی فرایندی است که در آن نمک و دیگر املاح معدنی و آلودگی‌ها از آب حذف می‌شود و قابلیت تنظیم کمیت و کیفیت آب را به تناسب نیاز فراهم می‌کند تا بدین ترتیب آب شور تصفیه شده برای مصارف شهری و کشاورزی یا صنعتی قابل استفاده باشد. تا چندی پیش، این فرایند محدود به کشورهای کم‌آب اما نفت‌خیز مانند کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا بود، اما امروزه این روش به ابزاری مؤثر برای رفع نیاز رو به رشد جوامع تبدیل شده است (Shatat et al., 2013).

مقداری گرما کسب کرده است به صورت ناگهانی تبخیر می شود (Likhachev and Li, 2013). سپس بخار آب شیرین، میعان شده و وارد خطوط آب آشامیدنی می شود. یکی از معایب این روش مصرف بسیار بالای انرژی هم از نوع الکتریکی و هم حرارتی در مقابل سایر روش ها است، همچنین قیمت تمام شده آب شیرین با این روش نیز تقریباً بالا است (Mezhar et al., 2011). در تقطیر چندمرحله ای (MED) با پاشیدن آب شور روی لوله هایی که بخار در آن جریان دارد، مقداری از آب شور تبدیل به بخار می شود. چون این عمل در خلأ انجام می شود، آب در دمای پایین تری به بخار تبدیل می شود و کارایی دستگاه بالا می رود. از بخار تولید شده به عنوان تأمین کننده انرژی حرارتی مرحله بعد استفاده می شود. از طرفی این بخار سرد شده و به محصول تبدیل می شود. با افزایش مراحل می توان از مقدار بخار اولیه ثابت، محصول بیش تری به دست آورد (Sharon and Reddy, 2015). این روش همانند روش MSF به انرژی های حرارتی و الکتریکی نیاز دارد که البته میزان مصرف آن کم تر است. هزینه آب تولیدی نیز تقریباً بالا و در حد روش MSF است (Mezhar et al., 2011). همچنین از این روش می توان در ظرفیت های بالای تولید آب شیرین نیز استفاده کرد (Ghalavand et al., 2015). تراکم بخار (VC) یک فرایند شامل دستگاه های ساده تبخیر است که به عنوان متراکم کننده بخار مورد استفاده قرار می گیرند. در فرایند تراکم بخار، از انرژی مکانیکی و انرژی گرمایی به منظور متراکم ساختن بخار استفاده می شود. در این فرایند آب شور بر روی دسته لوله تبخیر کننده قرار می گیرد که در نتیجه بخاری با همان درجه حرارت و فشار تشکیل می شود. بخار تولیدی در یک اجکتور بخار به صورت حرارتی متراکم شده و یا در یک کمپرسور به صورت مکانیکی فشرده می شود. بخار فشرده شده وارد دسته لوله های تبخیر کننده می شود، در آنجا میعان شده و به آب شیرین تبدیل می شود (Chandrashekera and Yadav, 2017). میزان مصرف انرژی در این روش بسیار بالا است ولی به میزان فضای کم تری نسبت به روش های MSF و MED نیاز دارد (Ghalavand et al., 2015).

۲-۲- روش های غشایی

روش غشایی در ابتدا تنها به مصارف شهری و ظرفیت کم به عنوان تصفیه آب استفاده می شد ولی با پیشرفت تکنولوژی از

این روش به طور گسترده در صنعت آب و شیرین سازی استفاده می شود. این روش از یک غشای انتخاب پذیر استفاده می کند که باعث جدایی آب از نمک و تولید آب آشامیدنی می شود. این روش به سه دسته کلی اسمز معکوس (RO)، الکترودیالیز (ED) و تقطیر غشایی (MD) تقسیم می شود (Gorjian and Ghobadian, 2015). اسمز معکوس (RO) یک فرایند فیزیکی است و طی آن می توان از محلول به کمک یک غشا نیمه تراوا، حلال تقریباً خالص تهیه کرد. همچنین می توان از آب شور، آب آشامیدنی مطلوب تهیه نمود. اگر یک غشای نیمه تراوا بین دو محلول با غلظت های متفاوت قرار گیرد، مقداری از حلال از یک طرف غشاء به طرف دیگر منتقل می شود. جهت حرکت حلال به گونه ای است که محلول غلیظ تر را رقیق می نماید (Nair and Kumar, 2013). این روش در مقابل سایر روش ها تنها نیاز به انرژی الکتریکی دارد که میزان مصرف انرژی آن بسیار کم تر است و باعث می شود قیمت آب آشامیدنی در مقابل سایر روش ها بسیار کم تر شود. یکی از معایب روش RO، رسوب گیری غشاها است که باعث عمر کوتاه آن ها می شود. الکترودیالیز (ED) یک فرایند بر اساس توانایی غشا های نیمه تراوا در عبور دادن بعضی از یون های منتخب موجود در محلول نمک های یونی و عبور ندادن سایر یون ها، است. وقتی یک جریان مستقیم به محلول اعمال می شود، یون های مثبت نمک های موجود در محلول به سمت الکترود منفی یا کاتد و یون های منفی به سمت الکترود مثبت یا آنود حرکت می کنند. یک غشای نیمه تراوای کاتیونی، به یون های مثبت اجازه عبور می دهد. فرایند الکترودیالیز، مواد کلئیدی و غیر یونی و نیز باکتری ها را از آب حذف نمی کند (Li et al., 2013). این روش نیاز به انرژی الکتریکی بسیار زیادی دارد و همچنین به دلیل باقی ماندن باکتری ها و مواد غیر یونی در آب، نیازمند یک مرحله تصفیه دیگر پیش از مصرف آشامیدنی است. تقطیر غشایی (MD) یک فرایند ترکیبی از روش اسمز معکوس و تقطیر است که از غشای سنتزی آب گریز استفاده می کند و اجازه می دهد بخار آب از روزه های غشا عبور کند ولی خود محلول اجازه عبور نمی یابد. نیروی محرکه در این روش، اختلاف فشار بخار مایع در سراسر غشاء است (Ghaffour et al., 2015). رسوب گیری غشاء یک مشکل بسیار مهم برای این روش است که در درازمدت باعث افزایش هزینه می شود، همچنین به دلیل هزینه بالا و ظرفیت تولیدی کم آن، در مقیاس بالا مورد استفاده قرار نمی گیرد (Wang et al., 2016).

۳- بررسی میزان مصرف انرژی در روش‌های مختلف

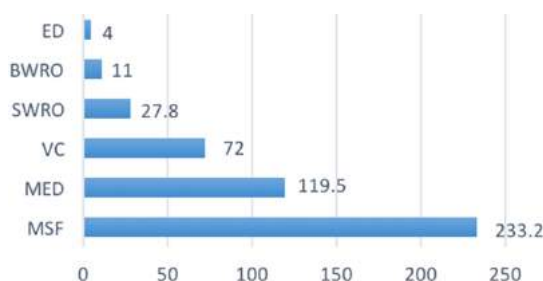
فرایندهای نمک‌زدایی نیازمند انرژی عملیاتی هستند. در فرایندهای حرارتی این انرژی به‌صورت انرژی حرارتی و در فرایندهای غشایی به‌طور مثال اسمز معکوس، این انرژی به‌شکل انرژی الکتریکی مورد نیاز است (Miller, 2003). حداقل انرژی تئوری مورد نیاز برای نمک‌زدایی از آب دریا حدود ۳ کیلوژول به‌ازای تولید هر کیلوگرم آب شیرین است. اما همانند بقیه فرایندهای شیمیایی و فیزیکی، این فرایند نمی‌تواند در شرایط ایده‌آل کار کند. علاوه بر این در طراحی این فرایند با نزدیک‌تر شدن به بازده ایده‌آل، اندازه تجهیزات بزرگ‌تر شده و هزینه سرمایه‌گذاری ثابت اولیه افزایش می‌یابد و از طرفی هزینه انرژی مصرفی کم‌تر می‌شود. بنابراین باید طراحی در یک نقطه بهینه هزینه مورد نیاز برای تولید آب صورت گیرد. پس انرژی مصرفی واقعی در روش‌های مختلف نمک‌زدایی، از میزان حداقل انرژی تئوری بیش‌تر خواهد بود.

میانگین مصرف انرژی مورد نیاز در فرایندهای متداول نمک‌زدایی در شکل ۱ آمده است. به‌طور کلی، روش MSF بیش‌ترین مصرف انرژی را دارا است. پس از آن به‌ترتیب روش‌های MED و VC هستند. واضح است که مقدار انرژی مصرفی اسمز

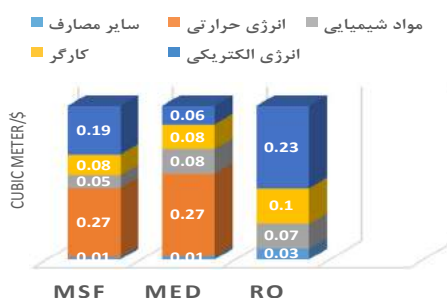
معکوس کم‌تر است اما این روش به انرژی الکتریکی نیاز دارد که از انرژی حرارتی به‌دست می‌آید، درحالی‌که روش MSF مستقیماً با انرژی حرارتی کار می‌کند. با توجه به این شکل انرژی مصرفی برای فرایندهای حرارتی تقریباً مستقل از غلظت نمک در آب خوراک است، اما در روش‌های غشایی این مقدار وابسته به غلظت نمک در خوراک ورودی است.

۴- تحلیل اقتصادی روش‌ها

در سال ۱۸۵۰ میلادی تحقیقات اولیه در زمینه نمک‌زدایی شکل گرفت. مهم‌ترین چالش پیش رو در آن‌زمان، فقط یافتن روشی برای تولید آب شیرین بدون توجه به مباحث انرژی و اقتصادی بود. با بالغ شدن فرایندهای نمک‌زدایی و تجاری شدن آن‌ها، تلاش‌ها برای کاهش هزینه‌های زیاد تولید آب بدین روش‌ها شکل گرفت (Ghaffour et al., 2013). برای این که بتوان نمک‌زدایی را با هزینه کم‌تری انجام داد، در ابتدا باید عوامل تأثیرگذار بر هزینه فرایند نمک‌زدایی شناخته شوند. به‌طور کلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل هزینه سرمایه‌گذاری ثابت اولیه و عملیاتی می‌شود. شکل ۲ میزان تأثیر عوامل مختلف مؤثر در هزینه عملیاتی نمک‌زدایی برای روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر سه روش MSF،



شکل ۱- انرژی مصرفی برای نمک‌زدایی (Miller, 2003) (kJ/kg fresh water)



شکل ۲- عوامل تأثیرگذار بر هزینه عملیاتی فرایند نمک‌زدایی (Al Hashemi et al., 2014)

۵- نمک‌زدایی از آب دریا در سطح جهان

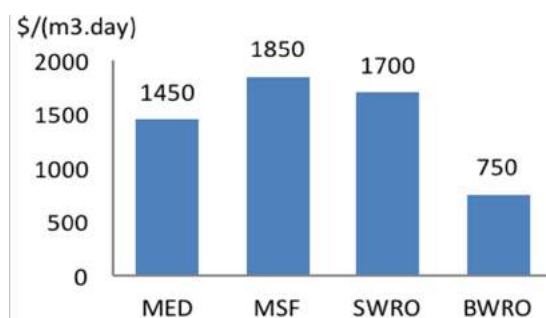
با توجه به بحران آب و منابع محدود آب آشامیدنی، صنعت شیرین‌سازی در جهان به سرعت گسترش یافته تا با استفاده از آب دریاها و اقیانوس‌ها مشکل کم‌آبی برطرف شود. ظرفیت تولیدی آب در سال ۲۰۱۰، حدود ۶۰ میلیون مترمکعب در روز بود که این مقدار تا سال ۲۰۱۵ تقریباً دو برابر شده است (Shatat et al., 2013). در جدول ۱ ظرفیت روش‌های شیرین‌سازی آب دریا در جهان و در جدول ۲ کشورهایی که از صنعت شیرین‌سازی بیش‌ترین استفاده را برای تأمین آب آشامیدنی می‌کنند، بیان شده است.

شیرین‌سازی آب دریا دهه‌ها است که پیشرفت بسیار زیادی در مناطق خشک جهان مانند دریای مدیترانه، خاورمیانه و دریای کارائیب به‌وجود آورده است. قسمت عمده واحدهای تولید کننده آب آشامیدنی در منطقه خاورمیانه واقع شده است، به‌طوری‌که نزدیک به ۶۵٪ تولید آب جهان در حاشیه کشورهای خلیج فارس اتفاق می‌افتد. عربستان، امارات، کویت، قطر و ایران از بزرگ‌ترین کشورهای تولید کننده آب آشامیدنی

MED و RO بیش‌ترین هزینه عملیاتی مربوط به تأمین انرژی مورد نیاز فرایند است. دیگر هزینه‌ها شامل تأمین مواد شیمیایی، دستمزد کارگران و غیره می‌شود. از آنجایی که در روش MSF مقدار انرژی مصرفی بیش‌تر از روش‌های دیگر است، منطقی است که بیش‌ترین مجموع هزینه‌های عملیاتی مربوط به این روش باشد. مجموع هزینه‌های عملیاتی در روش‌های MSF، MED و RO به‌ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۴۶ دلار به‌ازای هر مترمکعب است (Al Hashemi et al., 2014). با فرض ظرفیت تولید یک واحد نمک‌زدایی برابر با ۱ Mm³/day، تفاوت هزینه عملیاتی روش RO و MSF برابر ۱۴۰ K\$/day خواهد شد که باعث صرفه‌جویی ۵۰ میلیون دلاری در سال می‌شود. مقایسه هزینه سرمایه‌گذاری ثابت روش‌های فوق در شکل ۳ نمایش داده شده است که در آن BWRO و SWRO به‌ترتیب اسمز معکوس برای آب لب‌شور و آب شور دریا می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود هزینه سرمایه‌گذاری ثابت اولیه روش MSF بیش‌تر از دو روش دیگر است. همچنین با توجه به غلظت آب لب‌شور در مقایسه با آب دریا تفاوت هزینه سرمایه‌گذاری اولیه ثابت روش اسمز معکوس توجه می‌شود.

جدول ۱- ظرفیت روش‌های مختلف نمک‌زدایی در جهان (Attia et al., 2016)

روش	ظرفیت (%)
اسمز معکوس (RO)	۵۹/۸۵
تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای (MSF)	۲۵/۹۹
تقطیر چند مرحله‌ای (MED)	۸/۲
الکترودیالیز (ED)	۳/۵۳
هیبرید	۰/۷۱
سایر	۱/۰۲



شکل ۳- هزینه سرمایه‌گذاری ثابت (Ghaffour et al., 2015)

جدول ۲- بزرگ‌ترین کشورهای استفاده‌کننده از صنعت شیرین‌سازی آب (Nair and Kumar, 2013)

ردیف	کشور	ظرفیت تولیدی (Mm ³ /day)	سهم جهانی (%)
۱	عربستان	۹/۹	۱۶/۵
۲	آمریکا	۸/۴	۱۴
۳	امارات	۷/۵	۱۲/۵
۴	اسپانیا	۵/۳	۸/۹
۵	کویت	۲/۵	۴/۲
۶	چین	۲/۴	۴
۷	ژاپن	۱/۶	۲/۶
۸	قطر	۱/۴	۲/۴
۹	الجزایر	۱/۴	۲/۳
۱۰	استرالیا	۱/۲	۲

در حاشیه خلیج فارس هستند. در جدول ۳ به اختصار برخی از بزرگ‌ترین واحدهای اجرا شده در منطقه خاورمیانه نمایش داده شده است.

جدول ۳- برخی از بزرگ‌ترین واحدهای نمک‌زدایی اجرا شده در منطقه خاورمیانه (Al Hashemi et al., 2014)

محل	تعداد واحدهای اجرا شده	ظرفیت (m ³ /d)	جمعیت (نفر)
امارات	۴۹۲	۹,۳۵۸,۴۹۲	۹,۲۰۵,۶۵۱
عربستان	۲,۶۶۴	۱۳,۰۸۰,۴۹۷	۲۸,۲۹۰,۰۰۰
قطر	۱۳۹	۱,۸۳۲,۷۶۲	۲,۰۳۵,۱۰۶
عمان	۱۸۴	۱,۰۹۴,۷۴۰	۳,۸۶۹,۸۷۳
کویت	۸۸	۳,۰۲۳,۳۶۹	۳,۲۵۰,۵۰۰
بحرین	۱۶۵	۱,۱۱۳,۰۰۱	۱,۳۱۸,۰۰۰

ظرفیت آب شیرین تولیدی از این ناحیه حدود Mm^3/day ۱۲/۱ بوده که معادل ۴۵٪ از آب شیرین تولیدی در کل جهان است. عربستان به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده آب شیرین در جهان به شمار می‌رود که ۱۷٪ تولید آب شیرین جهان به آن تعلق دارد. نزدیک به ۵۰٪ آب مورد نیاز این کشور از طریق واحدهای شیرین‌سازی تأمین می‌شود. «الجوبیل» به عنوان بزرگ‌ترین واحد شیرین‌سازی آب در جهان با ظرفیت یک میلیون مترمکعب در روز در عربستان قرار دارد که با روش MSF کار می‌کند. عربستان برنامه‌ریزی کرده است با توجه به رشد جمعیت و نیاز روزافزون به آب شیرین تا ۲۰ سال آینده ۶ میلیون مترمکعب در روز به تولیدات آب شیرین خود اضافه کند. عمده روش‌های مورد استفاده در عربستان MSF و RO هستند که روش MSF با در اختیار داشتن ۶۴/۲٪ در تولیدات آب شیرین، نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. با توجه به آلاینده‌های زیست‌محیطی که واحدهای شیرین‌سازی با مصرف نفت و گاز تولید می‌کنند، کشور عربستان در صدد جایگزینی انرژی مصرفی از طریق انرژی خورشیدی و انرژی هسته‌ای در ۱۰ سال آینده است (Mezhar et al., 2011).

امارات نیز از جمله کشورهای پیشرو در امر استفاده از فرایندهای نمک‌زدایی برای تهیه آب شیرین به شمار می‌آید. اولین واحد شیرین‌سازی در سال ۱۹۷۶ در «ابوظبی» با ظرفیت ۲۵۰ مترمکعب در روز تأسیس شد. به دلیل بحث‌های

توریستی، تراکم جمعیت و نیاز روزافزون به آب آشامیدنی، عمده واحدهای شیرین‌سازی در شهرهای ابوظبی، دوی و شارجه احداث شده‌اند، به طوری که نزدیک به ۹۹ درصد آب آشامیدنی شهرهای ابوظبی و دوی از طریق شیرین‌سازی تولید می‌شود (Mohsen et al., 2016). به دلیل انرژی ارزان در دسترس، ظرفیت تولید بالا و غلظت بالای آب خلیج فارس، روش MSF یکی از مورد قبول‌ترین روش‌های شیرین‌سازی آب در امارات متحده عربی است به طوری که سهم آن ۶۳٪ از تولیدات آب شیرین است. مصرف زیاد انرژی در روش MSF استفاده از این فناوری را در واحدهای جدیدالتأسیس این منطقه با تردید مواجه نموده و اقبال بیشتری به فناوری‌های غشایی شده است. با پیشرفت فناوری، امروزه به روش RO توجه بیش‌تری می‌شود و پیش‌بینی شده است که در سال‌های آینده نقش بسیار بیش‌تری را در این کشور داشته باشد.

در ایران نیز در سال ۱۹۶۰ اولین واحد شیرین‌سازی بر مبنای روش MSF با ظرفیت ۱۰۰۰ مترمکعب در روز در جزیره خارک احداث شد. روش MSF در ایران به مانند سایر کشورهای حوزه خلیج فارس یکی از روش‌های مورد علاقه بوده است به طوری که با پیشرفت تکنولوژی و پیدایش روش‌های جدید، روش RO به عنوان جایگزینی بسیار مناسب معرفی شده است. ایران در حال حاضر از ۱۴ واحد شیرین‌سازی در مناطق جنوبی خود بهره می‌برد که برنامه‌ریزی کرده است این مقدار را به ۳۰ واحد در سال‌های آینده افزایش دهد که عمده این واحدها مبتنی بر روش RO می‌باشند. در جدول ۴ به این واحدها اشاره شده است.

چین، اردن و کویت از دیگر کشورهای آسیایی هستند که بخش قابل‌توجهی از آب شیرین مورد نیاز خود را از طریق نمک‌زدایی از آب دریا تأمین می‌نمایند.

۵-۲- نمک‌زدایی در اروپا

کشورهای قاره اروپا در دو دهه گذشته با کاهش کیفیت و کمیت آب روبه‌رو شده‌اند. این وضعیت در جنوب اروپا و حاشیه دریای مدیترانه به دلیل اقلیم آب و هوایی نیمه‌خشک و همچنین رواج صنعت کشاورزی بر پایه روش‌های سنتی آبی و گردشگری، وخیم‌تر است. برای مثال در جزایر مایورکا واقع در اسپانیا، مصرف آب به دلیل رواج کشاورزی و گردشگری قابل‌توجه است، اما منابع آبی موجود در این جزیره محدود است (Del Castillo, 2004).

جدول ۴- واحدهای شیرین سازی آب در ایران (Gorjian and Ghobadian, 2015)

محل	روش	ظرفیت (مترمکعب در روز)	سال تأسیس
چابهار	MSF	۳۰,۰۰۰	۲۰۰۰
بندرعباس	MSF	۲,۴۰۰	۲۰۰۰
عسلویه	RO	۱۰,۰۰۰	۲۰۰۴
کنارک (فاز ۱)	MSF	۱۵,۰۰۰	۲۰۰۶
کنارک (فاز ۲)	RO	۲۰,۰۰۰	۲۰۱۰
بندرعباس	RO	۲,۵۰۰	۲۰۰۶
سیری	MED	۱,۲۰۰	۲۰۰۷
بندرعباس	MED	۴,۰۰۰	۲۰۰۵
خوزستان	RO	۵,۰۰۰	۲۰۰۸
جزیره لاوان	MED	۲,۴۰۰	۲۰۰۹
خارک	MED	۳۶۰	۲۰۰۸
عسلویه	MED	۱۲۰,۰۰۰	۲۰۰۸
جزیره قشم	MED	۲,۰۰۰	۲۰۱۱
زاهدان	RO	۲۰,۰۰۰	۲۰۱۰
مجموع		۲۳۴,۸۶۰	

استفاده از روش های نمک زدایی آب دریا برای تأمین آب در کشور اسپانیا تغییر سیاست های اقتصادی دولت اسپانیا در سال ۲۰۰۵ بود. قبل از این سال دولت اسپانیا به دنبال انتقال آب از اروپای مرکزی به جنوب این کشور بود، اما پس از آن سیاست تأمین آب به استفاده از نمک زدایی آب دریا تغییر کرد، به نحوی که تا سال ۲۰۰۹ شاهد رشد ۷۰ درصدی ظرفیت نمک زدایی در این کشور بود. در جدول ۵ برخی از واحدهای نمک زدایی اروپا نمایش داده شده است (Fritzman et al., 2007).

جدول ۵- مشخصات واحدهای مهم شیرین سازی آب در اروپا (Mickley, 2012)

نام	سال ساخت	ظرفیت (m ³ /day)
لاس پالماس	۲۰۰۴	۷۸,۰۰۰
کاربونراس	۲۰۰۲	۱۲۳,۰۰۰
ماربلا	۱۹۹۶	۵۵,۰۰۰
لنزاروته	۲۰۰۰	۲۰,۰۰۰
کارتاجنا	۲۰۰۶	۱۴۰,۰۰۰

۵-۳- نمک زدایی در آمریکا

نزدیک به ۱۴ درصد از واحدهای شیرین سازی آب در سطح جهان در آمریکا قرار دارند که این مقدار برابر ۲۰۰۰ واحد شیرین سازی می باشد. به گزارش موسسه بین المللی شیرین سازی آب، ۵۰ تا ۷۵ درصد واحدهای شیرین سازی در آمریکا با میانگین ظرفیت یک میلیون گالن در روز تأسیس می شوند. در قسمت عمده ای از این واحدها از فرایند اسمز معکوس یا نانوفیلتراسیون و در موارد معدودی مانند واحدهای صنعتی کوچک یا هتل ها از تراکم بخار استفاده می شود. تاریخچه شیرین سازی آب در آمریکا بسیار قدیمی است، به عنوان مثال در دهه ۱۹۶۰ در Key West واحد شیرین سازی با تکنولوژی MSF احداث شده است که بعداً در سال ۱۹۸۰ به روش اسمز معکوس تغییر یافته است. همچنین اولین واحد شیرین سازی در آمریکا در سال ۱۸۶۱ تأسیس شده و تا سال ۱۹۰۰ در حال بهره برداری بوده است که آب قسمت های جنوبی ایالت فلوریدا را تأمین می کرده است. همچنین جزایر ویرجین ۵۰ سال است که از روش شیرین سازی آب استفاده می کنند (Tonner, 2002). مشکل عمده شیرین سازی آب به روش گرمایی در ایالت هایی مانند تگزاس یا ایالت های جنوبی آمریکا این است که با وجود

کمبود آب بر جنبه های مختلف رشد اقتصادی اثرگذار خواهد بود، اما این معضل تأثیر به سزایی بر روی صنعت گردشگری خواهد داشت. برای نمونه در لنزاروته بین سال های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۲ تعداد گردشگران از ۱۰,۰۰۰ نفر به ۱/۹ میلیون نفر رسیده است. این رشد در تعداد گردشگر قطعاً بدون افزایش تأمین آب شیرین از ۴۵۰,۰۰۰ مترمکعب در سال به ۱۷,۲۱۰,۰۰۰ مترمکعب در سال، در طول همین سال ها امکان پذیر نبود (Del Castillo, 2004). تضمین ادامه این صنعت در آینده نیز وابسته به تأمین بیشتر منابع آبی است. بنابراین بیشترین واحدهای نمک زدایی در سواحل مدیترانه احداث شده و از فناوری اسمز معکوس برای نمک زدایی آب دریا استفاده می کنند. دلیل این امر قیمت بالای انرژی فسیلی در اروپا است که باعث مقرون به صرفه شدن روش های غشایی نسبت به روش های حرارتی می شود.

در قاره اروپا بیشترین و بزرگترین واحدهای نمک زدایی در اسپانیا واقع شده است. ۸۰ درصد از واحدهای نمک زدایی در اسپانیا در ۴ ناحیه جزایر قناری (۳۳٪)، آندولس (۲۳٪)، موریسیا (۱۳٪) و والنسیا (۱۳٪) قرار دارد. یکی از دلایل افزایش

داشتن منابع فراوان سوخت‌های فسیلی، فرایند همچنان گران است و برای آن که اقتصادی شود فرایند شیرین‌سازی آب با فرایندهای شیمیایی یا نفتی که گرمای زیادی تولید می‌کنند و یا واحدهای تولید قدرت یا انرژی کوپل می‌شوند و انرژی لازم برای شیرین‌سازی آب از این طریق تأمین می‌شود. فرایند اسمز معکوس می‌تواند در کنار فرایندهای تولید هم‌زمان قدرت و انرژی به کار رود تا فرایندها هرچه بیش‌تر اقتصادی شوند. سیستم غشایی دوتایی با ترکیب کردن سیستم فشار پایین - شار بالا می‌تواند سیستمی ایجاد کند که آب را بسیار خالص و کاملاً قابل شرب کند. این روش هم‌اکنون در آمریکا بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین نوعی از فرایند هیبرید وجود دارد که در آن از نانوفیلترها برای تصفیه اولیه آب در فرایندهای گرمایی شیرین‌سازی استفاده می‌شود که این امر باعث کاهش چشمگیری در دمای مورد نیاز در فرایندهای گرمایی شیرین‌سازی می‌شود که خود باعث کاهش مصرف انرژی خواهد شد (Tonner, 2002).

بیشتر واحدهای شیرین‌سازی در آمریکا برای شیرین‌سازی آب‌های بسیار شور زیرزمینی، آب‌ها و فاضلاب‌های شهری برای استفاده در مصارف صنعتی است. تقریباً تمام واحدهای شیرین‌سازی در آمریکا براساس فرایندهای غشایی کار می‌کنند و سرآمد آن‌ها فرایند اسمز معکوس (RO) است که تعدادی از آن‌ها در جدول ۶ آورده شده‌اند (Barker, 2003). تعداد بسیار زیادی از واحدهای شیرین‌سازی در کشور آمریکا در مناطق ساحلی هم در شرق و هم در غرب آمریکا متمرکز هستند. دلیل این موضوع می‌تواند برای هر ایالتی به‌صورت جداگانه توجیه شود. برای ایالتی مانند ایالت کالیفرنیا به‌علت خشکسالی پیش‌رونده‌ای که در سال‌های اخیر در این ایالت رخ داده است و همچنین به‌علت کشاورزی گسترده‌ای که در این ایالت وجود دارد، نیاز به آب شیرین بسیار حیاتی و ملموس است. برای ایالتی مثل فلوریدا در ابتدا به‌نظر می‌رسد به‌علت دارا بودن آب‌وهوای استوایی نیازی به واحدهای شیرین‌سازی ندارد، اما باید درنظر گرفت که جمعیت بسیار زیادی در این ایالت و ایالت‌های همسایه آن ساکن هستند و همچنین این ایالت از افزایش روزافزون جمعیت که یک روند افزایشی در جهان است، مستثنی نیست. همچنین به‌دلیل این که ایالت‌های شمال ایالت فلوریدا دسترسی به اقیانوس ندارند، آب در ایالت فلوریدا شیرین‌سازی شده و به ایالت‌های شمالی منتقل می‌شود.

همچنین جمع‌آوری آب باران به‌عنوان یک منبع طبیعی آب شیرین، نیاز به سرمایه‌گذاری و ساخت زیرساخت‌های فراوان برای جمع‌آوری آب‌های سطحی دارد که به‌سهولت امکان‌پذیر نیست (Rijsberman, 2006).

شیرین‌سازی آب نه‌تنها در کشور آمریکا ادامه پیدا می‌کند بلکه به‌عنوان یک صنعت مهم هم تلقی خواهد شد و مردم هم به‌زودی از این تکنولوژی از طریق رسانه‌های جمعی آگاهی بیشتری کسب می‌کنند. یکی از بزرگ‌ترین واحدهای شیرین‌سازی آب در ترینیداد در قاره آمریکا تأسیس شده است. در حالی که برخی فکر می‌کنند استفاده از آب شیرین موجود به‌صورت طبیعی بهتر است، اما باید به این نکته توجه داشت که هزینه بالای تأسیسات انتقال آب و خشکسالی روزافزون، اهمیت وجود واحدهای شیرین‌سازی آب را آشکار می‌کند. در کشور آمریکا ایالت‌های پرآب مرکزی آب را برای ایالت‌های خشک تا نیمه‌خشک در جنوب غربی تأمین می‌کنند که به‌علت هزینه بالای تأسیسات انتقال آب، این راه اقتصادی به‌نظر نمی‌رسد و این موضوع خود نیز لزوم استفاده از تکنولوژی‌هایی برای شیرین‌سازی آب را آشکار می‌کند. همچنین مشکلات سیاسی می‌تواند لزوم استفاده از فناوری‌هایی برای شیرین‌سازی آب و تأمین آب هر کشوری از طریق منابع همان کشور را نشان دهد. به‌طور مثال کشور آمریکا واحد شیرین‌سازی آبی را در خلیج گوانتانامو تأسیس نمود، اما کشور کوبا از جاری شدن آب برای این فرایند ممانعت کرد. یا در مثالی دیگر تأسیس واحدی در خلیج تمپا با تولید ۲۵ میلیون گالن در روز با انتقادهای فراوانی روبه‌رو شد مبنی بر این که این واحد نباید در یک خلیج بلکه باید در آب‌های آزاد تأسیس شود. در سال‌های پیش شیرین‌سازی آب به‌عنوان یک صنعت پرهزینه و غیراقتصادی درنظر گرفته می‌شد که با گرفتن وام‌هایی با اقساط ۵ ساله مثل تمام صنایع

جدول ۶- تعدادی از واحدهای شیرین‌سازی آمریکا (Tonner, 2002)

واحد	ظرفیت (مترمکعب در روز)	سال تأسیس
تگزاس	۳۴۰,۶۵۰	۲۰۰۶
کالیفرنیا	۲۶۵,۰۰۰	۲۰۰۷
کالیفرنیا	۲۶۴,۹۵۰	۲۰۰۶
تگزاس	۹۴,۶۲۵	۲۰۰۷
فلوریدا	۹۴,۶۲۵	۲۰۰۷
مجموع	۱,۰۵۹,۸۵۰	

دیگر قابل تأسیس بود. اما در حال حاضر و با پیشرفت فناوری، این صنعت به عنوان یک صنعت با توجیه اقتصادی بالا در نظر گرفته می شود و سرمایه گذاران بر روی سهام آن در بازارهای جهانی سرمایه گذاری می کنند. همچنان که جمعیت در آمریکا در حال رشد و در حال مهاجرت به مناطق ساحلی است، صنعت شیرین سازی آب هم در حال پیشرفت خواهد بود.

۶- نتیجه گیری

در بین راه حل های موجود برای غلبه بر بحران آب شیرین در جهان، نمک زدایی روشی پایدار و توسعه یافته به حساب می آید که استفاده از آن در بسیاری از نقاط جهان رشد چشمگیری داشته است. این روند افزایشی ناشی از وجود منبع خوراک عظیم، کیفیت مناسب آب خروجی، قابلیت تنظیم کیفیت آب تصفیه شده و امکان ترکیب با دیگر واحدهای صنعتی مثل نیروگاه برق برای استفاده بهینه از انرژی هدررفته است. البته این رشد چشم گیر با چالش های مصرف انرژی و هزینه بالا مواجه است که نیازمند چاره اندیشی برای ادامه این روند روبه رشد است. مقایسه روش های به کار گرفته شده برای شیرین سازی آب، در کشورهای مختلف آسیایی و آمریکا حاکی از آن است که به دلیل برخورداری بودن کشورهای حوزه خلیج فارس از منابع غنی نفت و گاز، دغدغه تصفیه با خلوص بالا و تهیه آب با کیفیت، از اهمیت بسیار بالاتری نسبت به انرژی برخوردار است. چرا که در بسیاری از موارد، روش MSF به دلیل قابل اعتماد بودن، نیاز کم تر به مراحل پیش تصفیه و تولید آب با خلوص بالا، بیش تر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی واحدهای شیرین سازی در حاشیه خلیج فارس، به دلیل دارا بودن مقادیر زیادی نمک، نیازمند تکنولوژی قوی برای تصفیه همانند MSF می باشند، هرچند که مصرف زیاد انرژی در روش MSF استفاده از این فناوری را در واحدهای جدیدالتأسیس با تردید مواجه نموده است. این مسئله در دریای چین واقع در اقیانوس آرام و همچنین همسایگی آمریکا با اقیانوس های آرام و اطلس کاملاً برعکس است. در این مناطق به دلیل غلظت کم تر نمک نسبت به خلیج فارس، عدم نیاز به تصفیه کامل و همچنین کاهش هزینه های آب تولیدی از روش RO استفاده می شود. با این حال تحقیقات و پیشرفت های اخیر، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در شیرین سازی را به عنوان روشی مؤثر و کارآمد معرفی کرده است، به طوری که می توان هم زمان بحران آب و

همچنین تولید آلاینده های زیست محیطی را کاهش داد و این تکنولوژی را دوست دار محیط زیست قرار داد.

۷- پی نوشت ها

- 1- Multi Stage Flash (MSF)
- 2- Multi Effect Distillation (MED)
- 3- Vapor Compression (VC)
- 4- Reverse Osmosis (RO)
- 5- Electrodialysis (ED)
- 6- Membrane Distillation (MD)
- 7- Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)
- 8- Seawater Water Reverse Osmosis (SWRO)

۸- مراجع

- Al Hashemi, R., Zarreen, S., Al Raisi, A., Al Marzooqi, F.A., and Hasan, S.W., (2014), "A review of desalination trends in Gulf Cooperation Council Countries", *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*, 1(2), 72-96.
- Al-Mutaz, I.S., (1991), "Environmental impact of seawater desalination plants", *Environmental Monitoring and Assessment*, 16(1), 75-84.
- Attia, N.F., Jawad, M.A., and Al-Saffar, A., (2016), "The integration of desalination plants and mineral production", *Desalination and Water Treatment*, 57(45), 21201-21210.
- Barker, M., (2003), *Desalination in the United States*, Frost & Sullivan, Industry Analyst, Environment Group.
- Chandrashekhara, M., and Yadav, A., (2017), "Water desalination system using solar heat: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1308-1330.
- Dawoud, M.A., (2011), "Water import and transfer versus desalination in arid regions: GCC countries case study", *Desalination and Water treatment*, 28(1-3), 153-163.
- Del Castillo, J., (2004), "Desalination costs at the Spanish Mediterranean Coast, The Bahia de Palma, Mallorca Case", *International Conference on Desalination Costing*, Limassol.
- Fritzmman, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., and Melin, T., (2007), "State-of-the-art of reverse osmosis desalination", *Desalination*, 216(1-3), 1-76.
- Ghaffour, N., Bundschuh, J., Mahmoudi, H., and Goosen, M.F., (2015), "Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems", *Desalination*, 356, 94-114.
- Ghaffour, N., Missimer, T.M., and Amy, G.L., (2013),

- worldwide", *Sustainable Cities and Society*, 9, 67-80.
- Tonner, J.B., (2002), "Desalination in America", *Water Quality Products*, 7(11), 12-13.
- Wang, O., (2016), "Desalination by evaporation: A review", *Desalination*, 387, 46-60.
- "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability", *Desalination*, 309, 197-207.
- Ghalavand, Y., Hatamipour, M.S., and Rahimi, A., (2015), "A review on energy consumption of desalination processes", *Desalination and Water Treatment*, 54(6), 1526-1541.
- Gorjian, S., and Ghobadian, B., (2015), "Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 571-584.
- Khawaji, A.D., Kutubkhanah, I.K., and Wie, J.M., (2008), "Advances in seawater desalination technologies", *Desalination*, 221(1-3), 47-69.
- Kucera, J., (2014), "Introduction to desalination", *Desalination: Water from Water*, 1-37.
- Li, C., Goswami, Y., and Stefanakos, E., (2013), "Solar assisted sea water desalination: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 136-163.
- Likhachev, D.S., and Li, F.C., (2013), "Large-scale water desalination methods: a review and new perspectives", *Desalination and Water Treatment*, 51(13-15), 2836-2849.
- Lutz, W., Sanderson, W.C., and Scherbov, S., (1997), "Doubling of world population unlikely", *Nature*, 387(6635), 803-805.
- Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., and Khaled, A., (2011), "Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies", *Desalination*, 266(1), 263-273.
- Mickley, M., (2012), "US municipal desalination plants: number, types, locations, sizes, and concentrate management practices", *IDA Journal of Desalination and Water Reuse*, 4(1), 44-51.
- Miller, J.E., (2003), *Review of water resources and desalination technology*, Sandia national labs unlimited release report SAND.
- Mohsen, M.S., Akash, B., Abdo, A.A., and Akash, O., (2016), "Energy options for water desalination in UAE", *Procedia Computer Science*, 83, 894-901.
- Nair, M., and Kumar, D., (2013), "Water desalination and challenges: The Middle East perspective: a review", *Desalination and Water Treatment*, 51(10-12), 2030-2040.
- Rijsberman, F.R., (2006), "Water scarcity: fact or fiction?", *Agricultural Water Management*, 80(1), 5-22.
- Sharon, H., and Reddy, K.S., (2015), "A review of solar energy driven desalination technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118.
- Shatat, M., Worall, M., and Riffat, S., (2013), "Opportunities for solar water desalination

Optimization of Power-Water Cogeneration in Thermal Power Plants

Farshid Parhizkar¹ and Omid Pour-Ali^{2*}

1- M.Sc. Student, Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: pourali@kntu.ac.ir

Received: 18/6/2017

Revised: 23/8/2017

Accepted: 26/8/2017

Abstract

In recent years, due to the overexploitation of natural water resources and increase in demand for water, various methods of water desalination have attracted enormous interest. Seawater desalination process can be used as a suitable method in order to supply drinking and industrial water. Thermal power plants are one of the major water consuming industries many of which are located in coastal area. Therefore, the power and water can be generated simultaneously using cogeneration technique, which consequently increases the efficiency of the existing power plants. In this paper, cogeneration of power (in an existing thermal power plant) and water (using the steam extraction turbine outlet of the existing power plant) has been investigated. According to the results, desalinated water production by a combination of reverse osmosis and thermal desalination, or multi-stage flash distillation (MSF), at flow rates higher than 800 m³/h is economically feasible.

Keywords: Genetic Algorithm, Optimization, Water and power cogeneration, Water desalination.

بهینه‌سازی تولید هم‌زمان آب شیرین و توان در نیروگاه‌های حرارتی

فرشید پرهیزکار^۱ و امید پورعلی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
*نویسنده مسئول، ایمیل: pourali@kntu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۶/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۴

چکیده

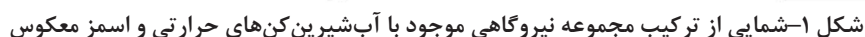
در سال‌های اخیر با توجه به برداشت‌های بیش از حد از منابع طبیعی آب شیرین و افزایش مصرف آن، روش‌های متنوع شیرین‌سازی آب بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌منظور تامین آب آشامیدنی و آب مصرفی واحدهای صنعتی، می‌توان از فرآیند شیرین‌سازی آب دریا به‌عنوان یک روش مناسب استفاده نمود. نیروگاه‌های حرارتی یکی از مهم‌ترین صنایع مصرف‌کننده آب هستند که تعداد قابل ملاحظه‌ای از آن‌ها در مجاورت دریاها قرار دارند. بنابراین، با بهره‌گیری از علم تولید هم‌زمان می‌توان توان و آب شیرین را به‌صورت هم‌زمان تولید نمود و به‌دنبال آن، راندمان کلی نیروگاه‌های موجود را افزایش داد. در این مقاله تولید هم‌زمان توان (در یک نیروگاه حرارتی موجود) و آب شیرین (با استفاده از خروجی توربین بخار زیرکش‌دار آن نیروگاه) بررسی شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تولید آب شیرین با ترکیبی از آب شیرین‌کن‌های اسمز معکوس و حرارتی (MSF) در دبی‌های بیشتر از ۸۰۰ m³/h توجیه اقتصادی دارد.

کلمات کلیدی: تولید هم‌زمان آب و توان، شیرین‌سازی آب، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک.

خصوص جنبه‌های اقتصادی و بهینه‌سازی تولید هم‌زمان توان و آب شیرین صورت گرفته است که (Lianying et al., 2013) یک نمونه از این سری پژوهش‌ها است. در این کار پژوهشی، با مدل‌سازی تجهیزات نیروگاهی و آب‌شیرین‌کن‌های حرارتی و اسمز معکوس (کربلایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ El-dessouky and Ettouney, 2002) و با استفاده از توابع اقتصادی (شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و جاری) (Reyhani et al., 2016; Seider et al., 2003) و بهره‌گیری از بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک (Burke and Kendall, 2010) بهترین میزان آب شیرین تولیدی و هزینه بهینه نهایی تولید آب شیرین تعیین شده است.

در این کار پژوهشی، هدف دستیابی به مقدار بهینه تولید هم‌زمان توان و آب شیرین از نقطه‌نظر اقتصادی می‌باشد. بدین منظور، یک سیستم ترکیبی آب‌شیرین‌کن (شامل آب‌شیرین‌کن حرارتی و اسمز معکوس) جدید به یک نیروگاه حرارتی موجود (با توان تولیدی ۲۵۰ MW) متصل خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بخار تولیدشده در بویلر وارد توربین

اکثر کشورهای خشک و نیمه خشک با مشکلات کمبود آب مواجه می باشند، در نتیجه این کشورها درصدد تأمین آب شرب و آب مصرفی صنایع از طریق شیرین سازی منابع قابل ملاحظه آب شور (مانند دریاها) هستند. یکی از مهم ترین صنایع مصرف کننده آب و انرژی نیروگاه های حرارتی می باشد که با استفاده از حرارت اتلافی قسمت های مختلف نیروگاه ها می توان هزینه تولید آب شیرین با استفاده از سیستم های آب شیرین کن متداول مانند آب شیرین کن حرارتی تقطیری چندمرحله ای^۱ و اسمز معکوس^۲ را تا حد قابل توجهی کاهش داد. در نیروگاه های حرارتی که از توربین های بخار زیرکشدار^۳ برای تولید توان استفاده می شود، می توان در یک دما و فشار خاص بخار با کیفیت مورد نظر را از توربین دریافت نموده و آن را برای تولید هم زمان توان و آب استفاده نمود. با توجه به مزیت های تولید هم زمان تاکنون پژوهش های مختلفی در این زمینه صورت گرفته است (Al-Sofi et al., 1992; Awerbuch, 1997). به عنوان نمونه، تحلیل انرژی ترکیب توربین گازی و مجموعه آب شیرین کن حرارتی توسط Cardona and Piacentino (2004) بررسی شده است. در پژوهش های صورت گرفته مطالعات بسیار کمی در



زیرکشی دار مجموعه نیروگاهی موجود می شود و سپس مقداری از این بخار از زیرکشی توربین خارج شده تا به منظور تولید آب شیرین توسط مجموعه آب شیرین کن حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مقداری از توان تولید شده توسط این توربین به منظور تولید آب شیرین توسط مجموعه آب شیرین کن اسمز معکوس استفاده می شود.

۳- مدل سازی سیستم

معادلات حاکم در قسمت زیر ارائه شده است:

۳-۱- بویلر

بخار داغ توسط بویلر تأمین می شود که برای تولید هم زمان توان و آب شیرین مورد استفاده قرار می گیرد. مقدار حرارت مورد نیاز در بویلر با استفاده از رابطه زیر به دست می آید (Lianying et al., 2013; Seider et al., 2003):

$$Q_{bo} = M_{s.bo}(h_{bo.out} - h_{bo.in}) \quad (1)$$

که Q_{bo} : مقدار حرارت مورد نیاز بویلر، $h_{bo.out}$: دبی جرمی بخار خروجی از بویلر، آنتالپی بخار خروجی از بویلر، $h_{bo.in}$: آنتالپی آب ورودی به بویلر هستند.

۳-۲- توربین بخار

در این پژوهش از یک توربین بخار زیرکشی دار (به دلیل نیاز به بخار اشباع در سطح فشار و دمای مشخص برای استفاده

در آب شیرین کن حرارتی) استفاده خواهد شد (شکل ۲). بخار خروجی از زیرکشی این توربین (به علت تولید توان در طول توربین) فشار پایین تری نسبت به بخار ورودی به توربین دارد. بنابراین، با انتخاب این توربین می توان با استفاده از بخار خروجی از زیرکشی توربین که به سطح فشار مشخص برای ورودی به مجموعه آب شیرین کن حرارتی رسیده است، به تولید آب شیرین در کنار تولید توان (بدون استفاده از بویلر کمکی) پرداخت. جریان های ورودی و خروجی از توربین بخار زیرکشی دار شامل یک جریان بخار ورودی از بویلر و دو جریان خروجی از توربین (به صورت های چگالیده^۴ از انتهای توربین و بخار اشباع در فشار و دمای مورد نظر) است که با اعمال قوانین بقای جرم و انرژی می توان دبی و توان قسمت های مختلف توربین را به صورت زیر محاسبه نمود (Seider et al., 2003):

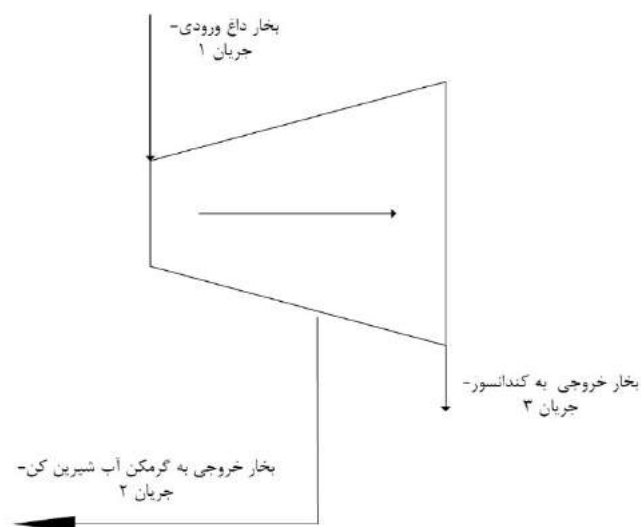
$$M_{s.bo} = M_{s.t} \quad (2)$$

که $M_{s.t}$: دبی جرمی بخار ورودی به توربین است.

$$M_{s.t} = M_{s.cond} + M_{s.ext} \quad (3)$$

در معادله فوق $M_{s.cond}$: دبی بخار اشباع ارسالی به کندانسور (خروجی شماره ۳ در شکل ۱) و $M_{s.ext}$: دبی بخار اشباع مورد نظر ارسالی به مجموعه آب شیرین کن حرارتی (خروجی شماره ۲ در شکل ۱) می باشند.

$$W_{tot} = W_{ext} + W_{cond} \quad (4)$$



شکل ۲- شمایی از توربین بخار زیرکشی دار نیروگاه حرارتی

استفاده شده است. این آب شیرین کن ۲۱ مرحله‌ای بوده و حرارت مورد نیاز برای شیرین‌سازی آب دریا، از بخار اشباع خروجی از توربین بخار زیرکشی‌دار تأمین می‌شود. با استفاده از روابط (۹) تا (۱۱) می‌توان به دبی آب شیرین خروجی از آب شیرین کن و بخار مورد نیاز برای تبخیر آب دریا دست یافت. لازم به ذکر است غلظت نمک در آب دریا ۳۶۰۰۰ ppm و در شور آب خروجی از آب شیرین کن (با توجه به قوانین سازمان بهداشت جهانی (WHO) World Health Organization و به دلیل رعایت مسائل محیط‌زیستی) ۷۰۰۰۰ ppm در نظر گرفته شده است.

$$M_{d.msrf} = \frac{M_f}{1 - (1 - y)} \quad (۹)$$

که M_f : دبی جرمی آب ورودی از دریا به آب شیرین کن حرارتی و y : ضریب وابسته به عوامل حرارتی آب شیرین کن می‌باشد (که با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود):

$$y = \frac{C_p \cdot \Delta T_{msf}}{\lambda_{ave}} \quad (۱۰)$$

که C_p : ظرفیت گرمایی آب دریا، ΔT_{msf} : اختلاف دما در مراحل آب شیرین کن حرارتی و λ_{ave} : گرمای نهان تبخیر آب دریا در دمای میانگین هستند.

$$M_{s.ext} = \frac{M_f \cdot C_p \cdot (T_{TBT} - T_0)}{h_{fg}} \quad (۱۱)$$

که T_{TBT} : دمای آب خروجی از گرم کن آب شیرین کن، T_0 : دمای آب ورودی به گرم کن آب شیرین کن و h_{fg} : گرمای نهان بخار موجود در گرم کن آب شیرین کن حرارتی می‌باشند.

۳-۳-۲- آب شیرین کن اسمز معکوس (RO)

آب شیرین کن اسمز معکوس به کمک پمپ‌های فشار بالا (که از توان الکتریکی تولیدی، توسط توربین بخار زیرکشی‌دار استفاده می‌کنند) عمل شیرین‌سازی آب دریا را انجام می‌دهند. با بهره‌گیری از رابطه زیر می‌توان به دبی‌های مورد نظر دست یافت:

$$M_{sea.ro} = M_{d.ro} + M_{b.ro} \quad (۱۲)$$

که $M_{sea.ro}$: دبی آب ورودی دریا به اسمز معکوس، $M_{d.ro}$: دبی آب شیرین خروجی از اسمز معکوس و $M_{b.ro}$: دبی شور آب

که W_{tot} : مقدار کل کار تولید شده، W_{ext} : مقدار کار تولیدی قسمت زیرکشی توربین و W_{cond} : کار تولیدی قسمت مرتبط با کندانسور هستند که از روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$W_{ext} = M_{s.t}(h_1 - h_2) \quad (۵)$$

که h_1 : آنتالپی جریان ورودی به توربین آنتالپی و h_2 : جریان زیرکشی خروجی از توربین است.

$$W_{cond} = M_{s.cond}(h_2 - h_3) \quad (۶)$$

h_3 : آنتالپی جریان بخار خروجی از توربین به سمت کندانسور است.

۳-۳-۳- واحد آب شیرین کن

در این کار پژوهشی از آب شیرین کن‌های حرارتی تقطیری چند مرحله‌ای (MSF) و اسمز معکوس (RO) به صورت هم‌زمان استفاده شده است. یکی از اهداف این مطالعه، دستیابی به بهترین نوع چینش این آب شیرین کن‌ها و یافتن مقدار بهینه تولید توسط هر مجموعه آب شیرین کن است. محاسبات مربوط به میزان تولید آب شیرین^۵ و همچنین شور آب^۶ تولیدی در واحدهای آب شیرین کن به صورت زیر است (Lianying et al., 2013):

$$M_d = M_{d.msrf} + M_{d.ro} \quad (۷)$$

که M_d : مقدار کلی آب شیرین تولید شده و $M_{d.msrf}$ و $M_{d.ro}$: آب شیرین تولید شده توسط آب شیرین کن‌های حرارتی و اسمز معکوس هستند.

$$M_{bd} = M_{bd.msrf} + M_{bd.ro} \quad (۸)$$

که M_{bd} : کل آب شور خارج شده از سیستم‌های آب شیرین کن و $M_{bd.msrf}$ و $M_{bd.ro}$: آب شور خارج شده از آب شیرین کن‌های حرارتی و اسمز معکوس هستند. جزئیات و محاسبات هر کدام از آب شیرین کن‌ها در ادامه ارائه شده است.

۳-۳-۱- آب شیرین کن حرارتی تقطیری چند مرحله ای (MSF)

همان‌طور که گفته شد، برای تولید آب شیرین در مجموعه مطالعاتی مورد نظر از آب شیرین کن حرارتی از نوع MSF

خروجی از اسمز معکوس می‌باشند.

۳-۵- مدل سازی اقتصادی

قیمت محاسبه شده برای این سیستم شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه برای خرید تجهیزات (جدول ۱) و هزینه های جاری سالیانه (انرژی مصرفی، مواد شیمیایی، نیروی کار) است. هزینه های سرمایه گذاری اولیه با استفاده از توابع هم سطح سازی قیمت ها (جدول ۲) به هزینه سرمایه گذاری سالیانه تبدیل می شوند که برای این هم سطح سازی عمر مفید تجهیزات ۲۰ سال و نرخ تورم ۱۹ درصد است.

در جدول ۱، مقدار حرارت مورد نیاز در قسمت گرم کن آب شیرین کن حرارتی، اختلاف دمای لگاریتمی نهایی در قسمت گرم کن آب شیرین کن حرارتی، اختلاف فشار در داخل محفظه گرم کن آب شیرین کن حرارتی و اختلاف فشار در داخل لوله های گرم کن آب شیرین کن حرارتی، کل حرارت تأمین شده برای پیش گرمایش آب ورودی دریا (در طی مراحل آب شیرین کن حرارتی)، اختلاف دمای لگاریتمی نهایی آب دریا در طی مراحل آب شیرین کن حرارتی، اختلاف دمای هر مرحله در آب شیرین کن حرارتی و اختلاف فشار آب شور دریا در داخل لوله های گذرنده در مراحل آب شیرین کن حرارتی، توان مصرفی توسط پمپ آب شیرین کن حرارتی و راندمان پمپ های مورد استفاده در آب شیرین کن حرارتی می باشند.

۳-۴- مدل سازی ریاضی

برای مدل سازی ریاضی ترکیبی از نیروگاه حرارتی موجود با مجموعه های آب شیرین کن حرارتی و اسمز معکوس (شکل ۱) در نظر گرفته شده که به منظور انجام بهینه سازی برای تولید آب شیرین و توان، فرضیات زیر مورد استفاده قرار گرفته اند. با مدل سازی ریاضی و با استفاده از بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک می توان به مقادیر بهینه تولید توان و آب شیرین در این واحد نیروگاهی اصلاح شده دست یافت.

- بویلر، توربین و آب شیرین کن حرارتی به صورت آدیاباتیک فرض شده و از تلفات حرارتی در آن ها صرف نظر شده است.
- محصول آب شیرین کن حرارتی بدون نمک فرض شده است.

- غلظت نمک در شور آب خروجی آب شیرین کن های حرارتی و اسمز معکوس به دلیل مسائل محیط زیستی و قوانین سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۷۰۰ ppm در نظر گرفته شده است.

- کارکرد این مجموعه ترکیبی ۸۰۰۰ ساعت در سال در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- توابع قیمت های تجهیزات کاربردی (کربلایی اکبری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Seider et al., 2003)

توابع قیمت	تجهیزات
$3344.3(W_{tot}^{0.7}) - 61.3(W_{tot}^{0.95})$	توربین
$\exp(0.802 \log(M_{dro}) + 0.01775(\log M_{dro})^2)$	آب شیرین کن اسمز معکوس
$430 \times 0.367 Q_{BH} TTD_{BH}^{-0.7} \Delta P_{tBH}^{-0.008} \Delta P_{sBH}^{-0.004}$	گرم کن آب شیرین کن حرارتی
$430 \times 1.6 Q_s TTD_c^{-0.5} \Delta T_n^{-0.75} \Delta P_{ts}^{-0.1}$	بازیافت و دفع حرارت
$705.48 W_{pump}^{0.71} (1 + \frac{0.2}{1 - \eta_{pump}})$	پمپ

جدول ۲- توابع هم سطح سازی اقتصادی (Shakib et al., 2011)

توضیح	تابع
i : نرخ اسمی سود بانکی (۲۵ درصد) f : تورم سالیانه (۱۹ درصد)	$i = \frac{j - f}{1 + f}$
C_{acap} : هزینه هم سطح شده اولیه سالیانه Y_{proj} : عمر مفید تجهیزات	$C_{acap} = C_{cap} \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^{Y_{proj}}}{(1 + i)^{Y_{proj}} - 1}$

در این کار پژوهشی، تابع هدف موردبررسی (معادله ۱۳) براساس قیمت کلی سالیانه (شامل قیمت سالیانه سرمایه‌گذاری و جاری) است که با کمینه کردن این تابع با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقدار بهینه تولید آب شیرین (توسط مجموعه آب شیرین‌کن‌های حرارتی و اسمز معکوس) و توان مشخص خواهد شد.

$$TAC = \text{Capital cost of (MSF + RO)} + \text{Operating cost of (MSF + RO)} \quad (13)$$

۴- اطلاعات مسئله

همان‌طور که در قسمت‌های قبل گفته شد، در این مقاله یک واحد نیروگاهی با توربین بخار زیرکشی‌دار (با توان ۲۵۰ MW) با آب‌شیرین‌کن‌های حرارتی و اسمز معکوس (برای تأمین ۲۰۰ تا ۱۵۰۰ m³/h) ترکیب شده است. اطلاعات مربوط به تجهیزات این فرآیندها در جدول ۳ آورده شده‌اند.

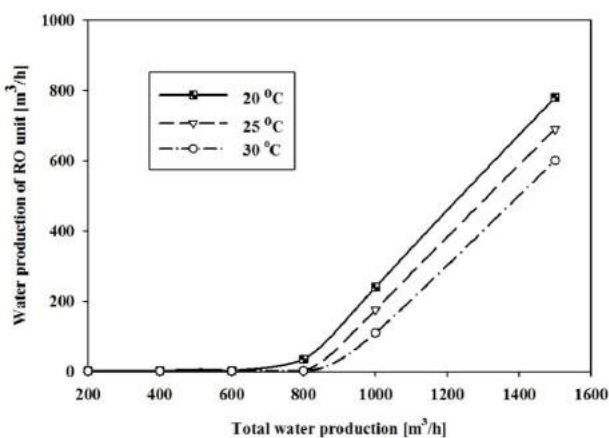
جدول ۳- اطلاعات نیروگاه و آب‌شیرین‌کن‌های استفاده شده (Lianying et al., 2013)

مقدار	عوامل
توربین زیرکشی‌دار	
۵۸۵	دمای بخار ورودی به توربین (°C)
۱۳۳	دمای بخار خروجی از زیرکشی توربین (°C)
۳/۸۵	فشار بخار خروجی از زیرکشی توربین (MPa)
۰/۸۵	راندمان توربین
آب شیرین‌کن حرارتی	
۲۱	تعداد مراحل
۱۱۰	دمای خروجی از گرمکن MSF (°C)
۴۲۰۰۰	غلظت آب دریا (ppm)
۳۰، ۲۵، ۲۰	دمای آب دریا (°C)
۰/۳	فشار گرم‌کن MSF (MPa)
$8/33 \times 10^{-6}$	ضریب نفوذ پذیری آب
۰/۷۵	راندمان پمپ

۵- نتایج

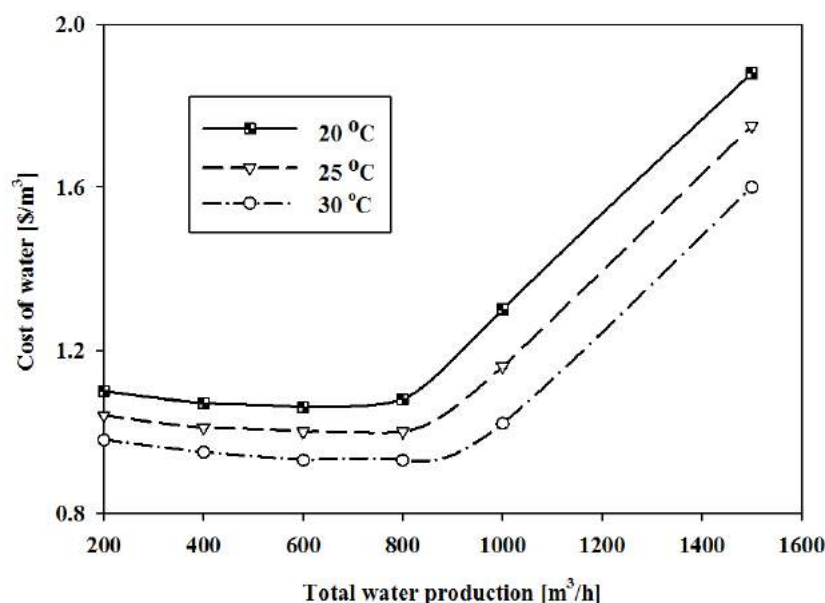
یکی از ابزارهای پرکاربرد برای استفاده بهینه از حرارت تولیدی در نیروگاه‌ها و واحدهای صنعتی، روش تولید هم‌زمان توان و آب شیرین است. همان‌طور که گفته شد، در این مقاله، تولید

هم‌زمان توان و آب شیرین با استفاده از توان و بخار خروجی تولیدشده از توربین زیرکشی‌دار در یک واحد نیروگاهی موجود، بررسی شده است. براساس اطلاعات نمایش داده شده در شکل ۳، سهم آب شیرین تولیدی توسط سیستم اسمز معکوس برحسب کل مقدار آب شیرین تولیدشده نمایش داده شده است. براساس این شکل، در مقدارهای بیشتر از ۸۰۰ m³/h مجموعه آب شیرین‌کن‌های حرارتی و اسمز معکوس باید به‌صورت موازی کار کرده و در حالتیکه مقدار آب شیرین تولیدی کمتر از این مقدار باشد، آب‌شیرین‌کن حرارتی باید به‌تنهایی برای تولید آب شیرین مورد استفاده قرار گیرد تا از لحاظ هزینه‌ها وضعیت مطلوبی فراهم آید. همچنین مشخص است که در شرایطی که دمای آب ورودی دریا ۲۰ °C باشد، آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس مقدار بیشتری آب شیرین نسبت به سایر حالت‌ها (که دمای آب ورودی از دریا ۲۵ °C و ۳۰ °C می‌باشد) تولید می‌کند. زیرا برای تبدیل آب شور ۲۰ °C به آب شیرین توسط آب شیرین‌کن حرارتی، باید بخار بیشتری (از زیرکشی توربین) نسبت به آب شور ۲۵ °C و ۳۰ °C مصرف شود که موجب بالا رفتن هزینه‌ها خواهد شد.

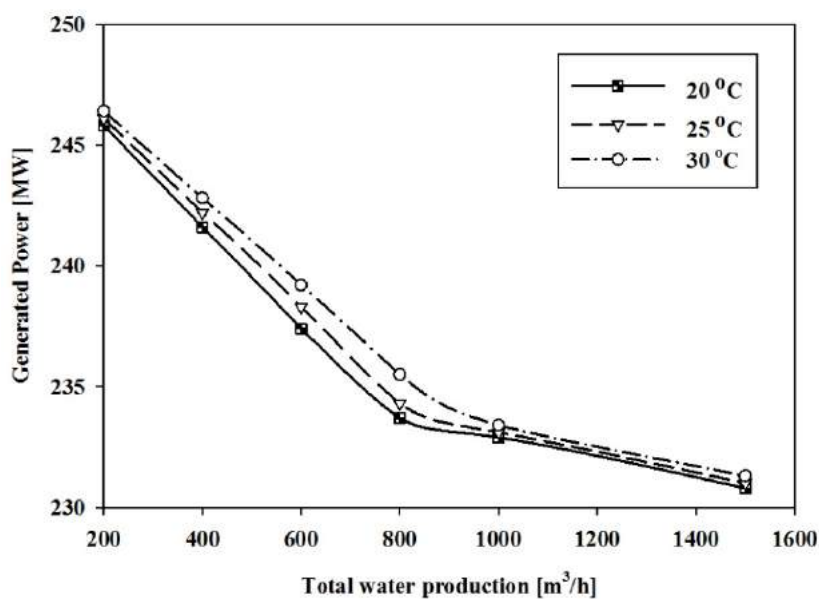


شکل ۳- مقدار تولید بهینه آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس برحسب مقدار کل آب شیرین تولیدی توسط مجموعه آب شیرین‌کن‌ها

شکل ۴ تغییرات قیمت تمام‌شده کلی برای هر مترمکعب آب شیرین تولیدی بر حسب مقدار کلی آب شیرین تولیدی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، قیمت اولیه آب شیرین تولیدی در مقادیر بیشتر از ۸۰۰ m³/h به‌صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با توجه به اطلاعات کسب‌شده از دو نمودار ۳ و ۴،



شکل ۴- هزینه آب شیرین تولیدی برحسب مقدار کل آب شیرین تولیدی توسط مجموعه آب شیرین کن‌ها



شکل ۵- میزان توان تولید شده برحسب مقدار کل آب شیرین تولیدی توسط مجموعه آب شیرین کن‌ها

کاهش تولید توان تا دبی $800 \text{ m}^3/\text{h}$ آب شیرین تولیدی کاملاً محسوس بوده و در دبی‌های بالاتر که سهم عمده‌ای از تولید آب شیرین توسط آب شیرین کن اسمز معکوس صورت می‌گیرد، این تغییرات (توان) با شیب کمتری صورت می‌گیرد.

می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در دبی‌های کم، تولید آب شیرین به روش حرارتی مطلوب بوده و با افزایش دبی آب شیرین تولیدی روش اسمز معکوس از لحاظ هزینه‌ای مقبول‌تر است. شکل ۵ تغییرات میزان توان تولیدی را بر حسب میزان آب شیرین به‌دست‌آمده نمایش می‌دهد. با توجه به این نمودار، به دلیل مصرف بخار توسط سیستم آب شیرین کن حرارتی،

- MSF/SWRO plants", *Desalination and Water Reuse*, Part 1, 2/3, 10-46.
- Awerbuch, L., (1997), "Power-desalination and the importance of hybrid ideas", *IDA World Congress*, Madrid.
- Burke, E.K., and Kendall, G., (2010), *Search methodologies: Introductory tutorials in optimization and decision support techniques*, Springer.
- Cardona, E., and Piacentino, A., (2004), "Optimal design of cogeneration plants for seawater desalination", *Desalination*, 166, 411-426.
- Ettouney, H.M., and El-Dessouky, H.T., (2002), *Fundamentals of salt water desalination*, Elsevier.
- Lianying, W., Yangdong, H., and Congjie, G., (2013), "Optimum design of cogeneration for power and desalination to satisfy the demand of water and power", *Desalination*, 324, 111-117.
- Reyhani, H. A., Meratizaman, M., Ebrahimi, A., Pourali, O., and Amidpour, M., (2016), "Thermodynamic and economic optimization of SOFC-GT and its cogeneration opportunities using generated syngas from heavy fuel oil gasification", *Energy*, 107, 141-164.
- Seider, J.D., Seader, W.D., and Lewin, D.R., (2003), *Product and process design principles: Synthesis, analysis and evaluation*, Wiley.
- Shakib, S.E., Amidpour, M., and Aghanajafi, C., (2012), "Simulation and optimization of multi effect desalination coupled to a gas turbine plant with HRSG consideration", *Desalination*, 285, 366-376.

در این کار پژوهشی تولید هم‌زمان توان با استفاده از یک نیروگاه حرارتی موجود و آب شیرین به کمک ترکیب آب شیرین‌کن‌های حرارتی و اسمز معکوس با توربین زیرکشی‌دار نیروگاه موجود بررسی شده است. با استفاده از توربین زیرکشی‌دار می‌توان حرارت اولیه موردنیاز آب شیرین‌کن حرارتی را تأمین و از طرفی با استفاده از برق تولیدی توسط آن توربین توان لازم برای تولید آب شیرین به وسیله آب شیرین‌کن اسمز معکوس را مهیا نمود. با انجام آنالیزهای اقتصادی و بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک، مقدار بهینه تولید آب توسط هر کدام از این مجموعه‌های آب شیرین‌کن تعیین شده‌اند. براساس نتایج کسب‌شده، هزینه تولید آب شیرین در دبی کمتر از m^3/h ۸۰۰ فقط با سیستم حرارتی و در دبی‌های بالاتر توسط هر دو سیستم آب شیرین‌کن حرارتی و اسمز معکوس قابل قبول می‌باشد. لازم به ذکر است که به‌منظور بالا بردن دقت محاسبات در تصمیم‌گیری‌ها، در پژوهش‌های آتی باید علاوه بر آنالیز اقتصادی هزینه‌ها، آنالیز درآمدها و همچنین سود خالص مدنظر قرار گیرد. به‌طور کلی می‌توان براساس نتایج این پژوهش نتیجه‌گیری نمود که تولید هم‌زمان توان و آب شیرین در واحدهای صنعتی مانند نیروگاه‌های حرارتی که در مناطق خشک ساحلی جنوبی کشور قرار دارند (و با بحران جدی آب شیرین مواجه بوده و به منابع کافی آب دریا به عنوان ماده اولیه آب شیرین‌کن‌ها دسترسی دارند) امکان‌پذیر است.

۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- Multi-Stage Flash distillation (MSF)
- 2- Reverse Osmosis (RO)
- 3- Extraction steam turbine
- 4- Condensing
- 5- Fresh water
- 6- Brine

۸- مراجع

- کربلایی اکبری، ع.، قلی‌نژاد، م.، پورعلی، ا.، عمیدپور، م.، (۱۳۹۵)، «بهینه‌سازی دودهدفه بازیافت حرارت و تولید آب شیرین از سیستم آب خنک‌کن یک‌بارگذر»، *مجله علمی و پژوهشی شریف (مهندسی مکانیک)*، ۳۲، ۱۳۷-۱۴۷.
- Al-Sofi, M.A.K., Hassan, A.M., and El-Sayed, E.F., (1992), "Integrated and non-integrated power/

Technical Note

Pathology, Construction and Development Strategies of Wastewater Projects Implementation in Iran

Ali Asghar Ghane¹ and Majid Ghanadi^{2*}

1- Deputy Director for Engineering and Development,
Water and Wastewater Engineering Company

2- Engineering and Development Consultant, Water
and Wastewater Engineering Company

* Corresponding Author, Email: Ghannadi48@gmail.com

Received: 17/7/2017

Revised: 3/10/2017

Accepted: 6/10/2017

Abstract

A review of the twenty years of experience in the implementation of wastewater projects in the country shows that in spite of many efforts and achieving the 46.18 percent of urban population utilizing modern sewage services, it is necessary to study the pathology of the implemented plans, the grounds for obtaining solutions tailored to the needs of the country and accelerate the comprehensive coverage of modern sewage services. Failure to pay attention to technical and economic justification in the studies of projects and the significant number of half-finished projects and unused capacities are among general harms resulted from sewage projects in the country to which the poor quality of effluent and the low efficiency of the treatment processes in some of the implemented projects should be added. Paying attention to the issue of economic market and effluent tariffs, transparency in effluent marketing and usage policies, the creation of appropriate patterns commensurate with the climate and operational capability, and the management of the maintenance and updating of facilities and manpower operating them, along with the creation of a ground for private sector to participate in implementing and managing projects are topics ahead of this section

Keywords: Development, Pathology, Sewage plans.

یادداشت فنی

آسیب شناسی اجرا و توسعه طرح های فاضلاب در ایران

علی اصغر قانع^۱ و مجید قنادی^{۲*}

۱- معاون مهندسی و توسعه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

۲- مشاور معاونت مهندسی و توسعه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

* نویسنده مسئول، ایمیل: Ghannadi48@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۴

چکیده

مروری بر تجربه های برآمده از بیست و چند سال اجرای طرح های فاضلاب در کشور نشان می دهد که به رغم تلاش های فراوان انجام شده و نیل به شاخص ۴۶/۸۱ درصد جمعیت شهری بهره مند از خدمات مدرن فاضلاب، لازم است با آسیب شناسی طرح های اجرا شده، زمینه برای حصول راهکارهای متناسب با شرایط کشور و به دنبال آن تسریع در پوشش فراگیر خدمات مدرن فاضلاب فراهم آید. عدم توجه به توجیه فنی و اقتصادی در مطالعات طرح ها، شمار قابل توجه طرح های نیمه تمام و ظرفیت های بلااستفاده ایجاد شده، از جمله آسیب های عمومی طرح های فاضلاب در کشور است که باید کیفیت نامطلوب پساب و کارآمدی پایین فرایندهای تصفیه در برخی طرح های اجرا شده را نیز بر آن افزود. توجه به موضوع بازار اقتصادی و تعرفه های پساب، شفافیت و ثبات در سیاست های بازایی و کاربری پساب، ایجاد الگوهای متناسب با وضعیت اقلیمی و توان اجرایی و راهبری، آسیب شناسی نگهداری و به روزآوری تأسیسات و نیروی انسانی راهبر آن، به همراه زمینه سازی برای همراه ساختن بخش خصوصی در اجرا و راهبری طرح ها، از جمله موضوع های پیش روی این بخش است.

کلمات کلیدی: طرح های فاضلاب، آسیب شناسی، توسعه.

۱- مقدمه

حفظ سلامت جوامع انسانی و صیانت از محیط‌زیست و منابع آن ایجاب می‌کند تا زاینده‌های حاصل از فعالیت‌های گوناگون شهری، صنعتی و کشاورزی جمع‌آوری، تصفیه و با حداقل مخاطرات زیست‌محیطی، دفع شوند. بر این رویکرد، چرخه انسان ساخت آب - که با سرعت به مراتب بیش‌تری در درون چرخه طبیعی آب در جریان است - با جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌های حاصل از مصرف آب کامل می‌شود.

در کشور ایران، پس از تصویب و ابلاغ قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب در دی‌ماه ۱۳۹۶، توجه جدی و اهتمام ویژه‌ای به موضوع جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب - به عنوان یکی از وظایف اصلی و بنیادین این شرکت‌ها - شده است و به یقین یکی از ثمره‌های میمون و مبارک تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب، نهضت ایجاد زیرساخت‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب در کشور و جبران بخش قابل توجهی از عقب‌ماندگی‌های پیشین بوده است. دستاورد این رویکرد آن بوده که پس از گذشت بیست‌وچند سال از استقرار و شروع به کار شرکت‌های آب و فاضلاب و در پایان شهریورماه سال ۱۳۹۶، اجرای ۵۶۴۶۰ کیلومتر شبکه جمع‌آوری، ۳۰۴۹ کیلومتر خطوط انتقال و ۵۸۱ واحد تصفیه‌خانه با مجموع توان اسمی ۴/۴۹ میلیون مترمکعب بر شبانه‌روز و ظرفیت در مدار بهره‌برداری ۳/۴۳ میلیون مترمکعب بر شبانه‌روز در ۲۹۵ شهر انجام شده است و با ۶/۴۱ میلیون مشترک، سطح پوشش و بهره‌مندی جمعیت شهری کشور از خدمات مدرن جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، به ۴۷/۶ درصد رسید. در دولت یازدهم ۳۰۴ کیلومتر خط انتقال و ۹۵۰۲ کیلومتر شبکه جمع‌آوری، به همراه ۴۰ واحد تصفیه‌خانه با مجموع ظرفیت ۱/۰۳۱ میلیون مترمکعب در شبانه‌روز، احداث و در مدار بهره‌برداری قرار گرفت و امکان بهره‌مندی ۱/۸۰۶ میلیون فقره مشترک جدید به خدمات مدرن جمع‌آوری و تصفیه‌ی فاضلاب فراهم شد. در سال نخست دولت دوازدهم نیز، تکمیل و راه‌اندازی ۱۶ واحد تصفیه‌خانه جدید فاضلاب، با مجموع توان پالایش ۲۸۱/۵ هزار مترمکعب در شبانه‌روز، برنامه‌ریزی شده است. از این تعداد، در شهریورماه سال ۱۳۹۶، تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرابله در استان ایلام، به روش لجن فعال و با ظرفیت ۴۵۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز، افتتاح و در مدار بهره‌برداری قرار گرفت. ۱۵ واحد تصفیه‌خانه

فاضلاب دیگر نیز (در صورت تخصیص اعتبارات لازم)، به تدریج و تا پایان سال ۱۳۹۶ تکمیل و راه‌اندازی خواهند شد. در سال ۱۳۹۶ تعداد ۲۲۲ طرح فاضلاب با اعتبار ۲۰/۸۳۶ هزار میلیارد ریال در پیوست شماره یک قانون بودجه‌ی کشور، از ردیف اجرایی برخوردار بوده‌اند. اتمام این طرح‌ها، مطابق جدول ۱ به اعتباری بالغ بر ۲۷۴ هزار میلیارد ریال نیازمند است.

جدول ۱- میزان اعتبار مورد نیاز طرح‌های فاضلاب

عنوان	تعداد	اعتبار مورد نیاز (میلیون ریال)
طرح‌های با پیشرفت فیزیکی بیش از ۸۰ درصد	۴۹	۳۲,۴۵۷
طرح‌های با پیشرفت فیزیکی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد	۱۲۹	۱۲۶,۴۵۹
طرح‌های با پیشرفت فیزیکی کم تر از ۲۰ درصد	۴۴	۱۱۴,۷۶۸
جمع اعتبار مورد نیاز برای تکمیل طرح‌های فاضلاب		۲۷۳,۶۸۴

اکنون پس از قریب به سه دهه تلاش در این عرصه خطیر که ثمره آن ارتقای شاخص‌های کیفیت زندگی در جوامع شهری در کنار مشارکت در بازیابی و بازچرخانی آب و پیشگیری از آلودگی منابع آبی کشور بوده است، شایسته است تا با بازخوانی برنامه‌های گذشته و مروری بر عملکرد و اندوخته‌های به‌دست آمده، نیازمندی‌ها و برنامه‌های کشور در این بخش به گونه‌ای کارآمدتر تدوین شود. در این زمینه لازم است تا در یک فضای کارشناسی و مدیریتی و به‌دور از نگرش‌های جناحی و در قالب نشست‌های هم‌اندیشی و میزگردهای تخصصی، موارد ده‌گانه‌ای که در ادامه -تنها به عنوان سرفصل‌های کلی و به اجمال ارایه شده است- در معرض قضاوت و نقد صاحبان دانش و تجربه و نظریه‌پردازان طرح‌های فاضلاب قرار گیرد و با بهره‌مندی مدیران و برنامه‌ریزان کشور از نتایج آن، زمینه برای جبران کاستی‌ها و بهبود و سرعت یافتن طرح‌های مناسب فاضلاب در کشور فراهم آید.

به این واقعیت نیز باید توجه داشت که در هزاره جدید میلادی، فرایند دینامیک مدیریت خدمات آب و فاضلاب، در حال تغییر است. این تغییرات که از آن به «پارادایم جدید مدیریت آب» تعبیر می‌شود، مطابق شکل ۱ از چهار مؤلفه اصلی تشکیل شده است. بر پایه این رویکرد مدیریتی، در قرن بیست‌ویکم تأمین و پاسخ‌گویی به تقاضاهای خدمات آب و فاضلاب، تنها متکی به رویکردهای سازه‌ای و توسعه‌ای منحصر نبوده و به راه‌حل‌های



شکل ۲- متغیرهای بیرونی اثرگذار بر اجرای طرح‌های فاضلاب



شکل ۱- مؤلفه‌های اصلی پارادایم جدید مدیریت آب

غیرسازه‌ای و رویکردهای کاملاً جدید در برنامه‌ریزی و مدیریت نیازمند است. مدیریت خدمات آب و فاضلاب، باید اولویتهای ملی توسعه را پشتیبانی کند و استراتژی‌هایی را در پیش گیرد که از فرصت‌های توسعه بهره‌برداری کند. مدیریت کلان کارآمد و خوب آب، باید بتواند هم‌زمان ملاحظات کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی را یکپارچه کند. اقدام‌ها و اثرات بخش‌های مختلف مصرف را هماهنگ سازد و حوزه آبریز را واحد مدیریت قرار دهد تا بتواند مسائل بالا و پایین‌دست را حل کرده و سیاست‌های ملی توسعه را محقق سازد.

۲- آسیب‌شناسی طرح‌های فاضلاب

۱-۲- آسیب‌شناسی طرح‌های اجراشده فاضلاب در ایران

در اجرای طرح‌های فاضلاب، در کنار ضابطه‌های فنی رایج، متغیرهای بیرونی فراوانی اثرگذار هستند (شکل ۲). درجه اهمیت و شدت اثرگذاری متغیرهای بیرونی، گاه به حدی است که ضابطه‌های فنی را که باید حاکم و محور طرح‌های فاضلاب باشد، در درجه چندم اهمیت قرار می‌دهد. این وضعیت سبب شده است تا افق دید بسیاری از مدیران، معطوف و محدود به چاره‌اندیشی برای مشکلات موجود و گذر از وضعیت‌های مقطعی باشد. این امر آفتی بزرگ برای شرکت‌های آب و فاضلاب است. روزمرگی و درگیر شدن به مسایل گذرا و مقطعی، تهدیدی است که این شرکت‌ها، به‌ویژه بخش‌های برنامه‌ریزی و مهندسی و توسعه آن‌ها را از ادای وظیفه حساس

خود دور می‌سازد. افق دید، اهداف و برنامه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب به‌ویژه معاونت‌های مهندسی و توسعه، باید معطوف به آینده حداقل میان‌مدت (۵ ساله و بیش‌تر) باشد. به اجمال در قالب این سرفصل، به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- طرح‌های فاضلاب باید توجیه فنی و اقتصادی داشته باشند - اغلب طرح‌های فاضلاب ما در مرحله مطالعات امکان‌سنجی، به عنوان یک طرح اقتصادی سودده، بررسی نمی‌شوند. فایده‌های یک طرح، شامل تامین منافع ملی (مانند: تامین غذا و آب، اشتغال، اسکان جمعیت و ...) و یا سود مشخصی نظیر افزایش درآمد دولت و یا سود سرمایه‌گذاران و یا ترکیبی از هر دو می‌تواند باشد. طرح‌هایی که با فشارهای سیاسی و یا منطقه‌ای و بدون مطالعات امکان‌سنجی، وارد مرحله اجرا می‌شوند، به گونه‌ای، هدررفت منابع ملی و اقدامی-آگاهانه یا ناآگاهانه- در افزودن به شمار طرح‌های نیمه‌تمام تلقی می‌شود. طرح‌هایی که مطالعات امکان‌سنجی و توجیه فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، با مبانی و مفروضات مطمئن نداشته باشند، شاخص‌های عملکردی قابل قبول نخواهند داشت و همواره در معرض توقف و شکست قرار دارند.

- شمار قابل توجه طرح‌های فاضلاب نیمه‌تمام در کشور - ناکارآمدی ساختار مدیریت اجرایی طرح‌های عمرانی در کشور، که طرح‌های فاضلاب نیز در زمره آن‌ها قرار دارد، چه در

طرف دستگاه‌های اجرایی و چه در طرف مشاوران و پیمانکاران، یکی از عامل‌های مؤثر در تولید و تکثیر طرح‌های عمرانی نیمه‌تمام به شمار می‌رود. پاسخگو نبودن مدیران، مجریان و مشاوران پروژه‌ها نسبت به افت شاخص‌های عملکردی پروژه‌ها، تضاد منافع بین اتمام پروژه‌ها و درآمد مشاوران، فقدان دغدغه‌ی پاسخگویی در مورد تاخیرها، عدم تخصیص بهینه منابع مالی و در مواردی نداشتن گزارش‌های عملکردی استاندارد از پروژه‌ها، نظارت غیرمؤثر و غیرحرفه‌ای بر پیشرفت پروژه‌ها و عدم انتشار گزارش‌های فنی شفاف در مورد شاخص‌های عملکردی پروژه‌ها، همه و همه بستری را برای تاخیر در اجرا و یا نیمه‌تمام ماندن پروژه‌ها فراهم ساخته است.

- چرایی و علت‌های محتمل کیفیت نامطلوب پساب و کارآمدی پایین فرایندهای تصفیه

کیفیت پساب خروجی در شمار قابل توجهی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، متأثر از مشکلات موجود در طراحی و اجرای ضعیف تأسیسات فاضلاب از یک سو و از دیگر سو نقیصه‌های مشاهده شده در نگهداری و راهبری تصفیه‌خانه‌ها به دلیل توان محدود عملیاتی و اعتماد به نفس و مهارت فنی پایین بهره‌برداران و در مواردی، اعمال بار حجمی و آلی بیش از ظرفیت طراحی، در حدود مورد انتظار و متناسب با استانداردهای استفاده ایمن از پساب نیست.

- ظرفیت‌های بلا استفاده تأسیسات

آمار نشان می‌دهد که در پایان سال ۱۳۹۵ جمعیت تحت پوشش تأسیسات فاضلاب در بخش تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (۱۸/۷ میلیون نفر) و در بخش شبکه‌های جمع‌آوری (۲۷/۵۸ میلیون نفر) با یکدیگر هماهنگ و هم‌آوا نیست و در مواردی، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، پس از گذشت سال‌ها از آغاز بهره‌برداری رسمی آن‌ها، با بارگذاری اندکی در مدار بهره‌برداری قرار دارند. این امر بیانگر فقدان هماهنگی در اجرای خطوط اصلی، شبکه‌های جمع‌آوری و نصب انشعاب در کشور است.

۲-۲- اقتصاد فاضلاب و سهم طرح‌های فاضلاب در بودجه‌های عمرانی و راهبری شرکت‌های آب و فاضلاب
بر اساس برنامه‌ی پنجم توسعه مقرر بود جمعیت شهری بهره‌مند از خدمات مدرن فاضلاب از ۳۵ درصد در ابتدای

برنامه، به ۵۱/۵ درصد در انتهای برنامه (سال ۱۳۹۵) برسد. با توجه به عدم تکافوی اعتبارات مورد نیاز این بخش، تحقق این مهم دشوار و غیرقابل دسترس می‌نمود، مگر آن‌که اقدام‌های حمایتی زیر برای توسعه این زیرساخت پیش‌بینی و تدارک می‌شد:

- تخصیص مناسب و صد درصدی اعتبارات مورد نیاز زیرساخت‌های فاضلاب

-افزایش تعرفه‌های بخش فاضلاب

- ایجاد مکانیسم‌های حمایتی مشابه تبصره ۳

- واگذاری تخصیص پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها به نفع شرکت‌های آب و فاضلاب شهری که متولی اجرای تأسیسات فاضلاب کشور هستند تا در مناطقی که دارای توجیه فنی و اقتصادی است، با به‌کارگیری ظرفیت‌های بخش خصوصی، منابع مالی مورد نیاز این بخش تامین شود.

- توجه ویژه به سواحل شمالی، جنوبی و منابع آبی سطحی که فاضلاب شهرها و اجتماعات به آن‌ها تخلیه می‌شود تا به‌صورت ضربتی، نسبت به اجرا و سرمایه‌گذاری در این طرح‌ها اقدام لازم شود.

به‌رغم تلاش‌های فراوان برای تحقق این هدف، به دلیل عدم تدارک کامل موارد گفته شده، در انتهای برنامه پنجم (سال ۱۳۹۵) شاخص جمعیت شهری بهره‌مند از خدمات مدرن فاضلاب از مرز ۴۶/۸۱ درصد فراتر نرفت.

۲-۳- فقدان الگوهای مناسب برای تصفیه فاضلاب متناسب با وضعیت اقلیمی و توان فنی و اجرایی و راهبری در مناطق مختلف کشور

در این زمینه لازم است الگوهای مناسب برای تصفیه فاضلاب، متناسب با وضعیت اقلیمی، نیازها، کاربری‌های متصور برای پساب حاصل از تصفیه و توان فنی، اجرایی و راهبری در مناطق مختلف کشور بررسی، تدوین و آرایه شود. توصیه موکد می‌شود به منظور نیل به نتایج کاربردی، نشست‌های محلی و با موضوع‌های محلی در خصوص پساب برگزار شود.

۲-۴- شناسایی و شفاف‌سازی آسیب‌ها و نگرانی‌های راهبری، نگهداری و به‌روزرسانی تأسیسات فاضلاب

۲-۵- شفاف‌سازی در سیاست‌های بازبایی و کاربری

پساب

- بر اساس برخی گزارش‌ها، حدود ۸۰۰۰ هکتار از زمین‌های زراعی کشور، با فاضلاب خام آبیاری می‌شوند. این مقدار، اگرچه از نظر وسعت و در مقایسه با سطح کل زیرکشت زمین‌های کشور زیاد نیست، اما می‌تواند منشاء نگرانی‌ها و بروز بیماری‌های منتقله از فاضلاب شود. ضمن آن‌که پیامدهای ناخواسته و گاه مخرب محتوی املاح پساب به‌ویژه وجود مقادیر زیاد شوینده‌ها در پساب و اثرات مخرب آن بر خاک و گیاه و آلودگی شیمیایی خاک و محصولات آبیاری شده با فاضلاب نیز مطرح است.

- کیفیت فاضلاب بسیار متأثر از شیوه زندگی و مواد و لوازم مصرفی است. در دوران ما که طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی در قالب انواع گوناگون داروها، رنگ‌ها، نگهدارنده‌های غذایی، سموم و مانند آن در زندگی روزمره به‌کار می‌رود، لزوم سنجش محتوی آلاینده‌های خاص در پساب‌ها (شامل ترکیبات استرادیول موجود در قرص‌های ضدبارداری، فیتواستروژن‌ها، حشره‌کش‌ها، ترکیبات شیمیایی همچون بیسفنول A، نونیل فنول، فلزات سنگین) که در قالب کلی، عامل‌های مخرب غدد درون‌زیر^۱ (EDC) شناخته می‌شوند و تعیین جوانب بهداشتی و راه‌های کنترل آن‌ها ضرورت دارد.

- به جوانب اجتماعی و روان‌شناختی، هم‌زمان با رویکردهای بهداشتی کاربری پساب باید توجه شود. به‌عنوان نمونه، مردم مخالفت کم‌تری نسبت به استفاده از سیلاب تصفیه‌نشده در مقایسه با فاضلاب تصفیه‌شده دارند. در حالی‌که خطر استفاده از فاضلاب تصفیه شده، مشابه و یا کم‌تر از سیلاب تصفیه نشده است.

- با توجه به شرایط حاضر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور، اولویت نخست کاربرد پساب با هدف بیابان‌زدایی، مصارف صنعتی و توسعه‌ی فضای سبز پیرامون شهرها، توصیه می‌شود.

۲-۶- نیروی انسانی تأسیسات فاضلاب، آموزش، به‌روزرسانی و اعتماد به نفس بخشیدن به آن‌ها

مشکلات نیروی انسانی (انگیزه، ماندگاری، آموزش و ...) و میزان اندک بهره‌وری آن از جمله عامل‌های اصلی در تقلیل کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها به‌شمار می‌روند. لذا لازم است هم‌زمان با شناسایی و شفاف‌سازی آسیب‌ها و نگرانی‌های راهبری تأسیسات فاضلاب، به نیروی انسانی تأسیسات فاضلاب، آموزش، به‌روزرسانی و اعتماد به نفس بخشیدن به آن‌ها توجه

ویژه شود.

۲-۷- ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست (HSE) در تأسیسات فاضلاب

بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) به تبع اهمیت و جایگاه سازمانی آن، نقش مهمی در نظام تصمیم‌سازی و اجرایی فعالیت‌ها و گزاره‌های مربوط به تبیین، تعیین، تشخیص، طراحی و نظارت بر اجرای طرح‌های فاضلاب برعهده دارد. به‌رغم اهمیت فراوان موضوع HSE در اجرا و راهبری تأسیسات فاضلاب، به‌دلیل نوپا بودن و عدم توجه شایسته به این بخش، حادثه‌ها و هزینه‌های قابل توجهی به شرکت‌های آب و فاضلاب تحمیل می‌شود.

۲-۸- بازار پساب و تعرفه‌های آن

در سال ۱۳۹۵ میانگین هزینه تمام شده جمع‌آوری و تصفیه هر مترمکعب فاضلاب در شهرهای کشور، ۸۱۱۰۰ ریال برآورد شده است. در حالی‌که در این سال، میانگین بهای فروش هر مترمکعب پساب، رقم ناچیز ۲۵۹۲ ریال بوده است. تفاوت فاحش میان هزینه تمام‌شده و بهای فروش پساب، گواه نابه‌سامانی و عدم توجه به موضوع اقتصاد پساب است. لازم است در کنار توجه به جوانب بهداشتی و استانداردهای پساب، موضوع اقتصاد پساب نیز که رابطه‌ای وثیق با نیل به بهره‌وری بهینه و رعایت انضباط‌ها و معیارهای کیفیت پساب دارد، توجه شود.

۲-۹- زمینه‌سازی برای همراهی بخش خصوصی در احداث و راهبری تأسیسات فاضلاب

در حال و آینده برای تسریع در اجرای طرح‌های فاضلاب، لازم است شماری از تأسیسات فاضلاب کشور با مشارکت بخش خصوصی و در قالب قراردادهای خرید تضمینی آب و پساب به مرحله اجرا درآید. برای ادای مطالبات این طرح‌ها، باید سالانه مبلغ ۱۵۰۰ میلیارد ریال در قالب ردیف خرید تضمینی برای خرید پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها، پیش‌بینی شود. بدیهی است این اعتبار بسته به میزان تعدیل سالانه نیز باید افزایش یابد. پیش‌بینی می‌شود با تامین این منابع اعتباری در ردیف خرید تضمینی به میزان تقریبی ۱۵ هزار میلیارد ریال، بخش خصوصی راغب به سرمایه‌گذاری در بخش فاضلاب کشور شود. تاکنون اقدام‌های مناسبی برای توسعه مشارکت بخش

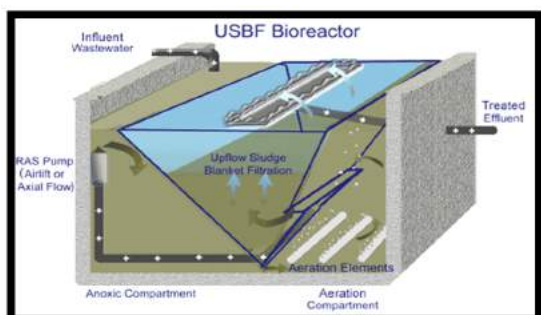
پساب، مصوبه جلسه مورخ ۱۳۹۳/۷/۵ دفتر وزیر نیرو، «کلیه پساب‌ها در اختیار شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور می‌باشد. شرکت مزبور می‌بایست از محل فروش این پساب، برای سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز و توسعه تاسیسات جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب با هر روش ممکن (BOO, BOT و بیع متقابل) اقدام نماید. ...».

- شاید بتوان گفت که دیگر اجرای طرح‌های بزرگ و پرهزینه فاضلاب به تاریخ پیوسته است و با توجه به شرایط و نیازها، به راهبردهای تازه‌ای در اجرای طرح‌های فاضلاب نیاز است. ایجاد و راهبری تاسیسات محلی و منطقه‌ای فاضلاب و تمرکززدایی از طرح‌های فاضلاب، از جمله این راه‌کارها است. تمرکززدایی از طرح‌های فاضلاب و توجه به طرح‌های محلی با سه هدف انجام می‌شود:

- * مدیریت و تقلیل هزینه‌ها
 - * کاهش آسیب‌پذیری اجتماع از عدم کارکرد تاسیسات متأثر از رخدادهای طبیعی و انسان‌ساخت
 - * سهیم شدن و مسئولیت‌پذیری تولیدکننده فاضلاب در حفاظت از محیط‌زیست
- در نمونه‌هایی از طرح‌های تمرکززدایی فاضلاب که در برخی کشورها تجربه شده است، ضمن مسئولیت‌پذیر ساختن مشترکان در تصفیه فاضلاب، مطابق آن چه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است، فقط فاضلاب نیمه‌تصفیه شده و با کیفیت مشخص جمع‌آوری می‌شود.

۳- پی‌نوشت‌ها

- 1- Endocrine Disrupting Chemicals (EDC)
- 2- Health, Safety and Environment



شکل ۴- نمونه‌ای از فرایندهای تصفیه فاضلاب در طرح تمرکززدایی

خصوصی به‌ویژه صنعت، برای سرمایه‌گذاری در طرح‌های فاضلاب کشور در ازای استفاده از پساب برای یک بازه زمانی مشخص، انجام شده است. در این روش دولت بدون پرداخت هیچ‌گونه اعتباری، مشکلات کامل تاسیسات فاضلاب شهرها را برطرف خواهد ساخت و بخش خصوصی نیز برای اجرای طرح‌های توسعه‌ای خود، با بازچرخانی فاضلاب و بهره‌برداری از پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها، به این منبع آبی ارزشمند تکیه خواهد کرد. این امر مستلزم آن است که تخصیص پساب خروجی از تاسیسات فاضلاب، از شرکت‌های آب منطقه‌ای منفک و در اختیار شرکت‌های آب و فاضلاب که متولی امر توسعه، بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات فاضلاب می‌باشند، قرار گیرد. در صورت اعطای تخصیص پساب به شرکت‌های آب و فاضلاب شهری، پتانسیل جذب سرمایه بخش خصوصی حداقل به میزان ۳۵ هزار میلیارد ریال قابل دسترس و تحقق خواهد بود.

۲-۱۰- به‌سوی آینده

- تجربه‌های حاصل از بیست‌وچند سال تلاش در عرصه خدمات فاضلاب، بیان‌گر آن است که موضوع خدمات فاضلاب در ایران دو گونه است:
 - * نخست مناطقی که با مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی مواجه هستند و سرمایه‌گذاری دولت در آن جا لازم است (مانند شهرهای شمالی)
 - * دوم مناطقی که موضوع اقتصادی پساب، مطرح و ارزش پساب بالا است (مانند یزد و منطقه ۲۲ تهران).
- بر پایه این تجربه و به استناد بند ۲ نظام‌نامه استفاده از



شکل ۳- تصویر تجسمی از مدل طرح تمرکززدایی فاضلاب

Effect of Using European Standard on Performance of Aerated Grit Chamber in Wastewater Treatment Plants

Shima Mardani and Mitra Hosseini Nazhvani
Senior Expert of Environmental Engineering, Water and Wastewater Consulting Engineers Company (Research and Design).

* Corresponding Author, Email: info@wwcerd.com

Abstract

Grit chamber unit is used to separate and remove suspending non-organic particles such as gravel, sand, seeds and other solids with faster sedimentation rates than perishable particles in sewage as well as scum and fat removal. Grit recycling in aerated grit chambers of wastewater treatment plants leads to a better management of treatment plants and minimizes the operational problems. In this study, the performance of European and American designed aerated grit chambers was compared with each other. The results indicated that the use of grit chambers designed by European standards, not only reduces the cost of initial investment and equipment, but also minimizes the operational problems in other treatment units and in general, it increases the efficiency of treatment plants.

Keywords: Aerated grit chamber, American standard, European standard, Grit removal, Wastewater treatment plant

تأثیر استفاده از استاندارد اروپایی در عملکرد واحد دانه گیر هوادهی در تصفیه خانه های فاضلاب

شیما مردانی و میترا حسینی نازوانی
کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، شرکت مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب اصفهان.

* نویسنده مسئول، ایمیل: info@wwcerd.com

چکیده

واحد دانه گیر برای جداسازی و حذف ذرات غیرآلی معلق مانند ذرات شن، ماسه، دانه و دیگر مواد جامد با سرعت ته نشینی بیشتر نسبت به ذرات فسادپذیر در فاضلاب و هم چنین حذف کفاب و چربی مورد استفاده قرار می گیرد. بازیافت دانه در حوضچه های دانه گیر تصفیه خانه های فاضلاب سبب راهبری بهتر واحدهای تصفیه ای و کاهش مشکلات بهره برداری خواهد شد. در این مقاله عملکرد دانه گیرهای هوادهی شده با استانداردهای آمریکایی و اروپایی در تصفیه خانه های فاضلاب مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از دانه گیرهایی که طراحی آن ها براساس استانداردهای اروپایی انجام شده است علاوه بر کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه و هزینه تجهیزات، باعث کاهش مشکلات بهره برداری در سایر واحدهای تصفیه و به طور کلی باعث افزایش راندمان تصفیه خانه خواهد شد.

کلمات کلیدی: واحد دانه گیر هوادهی شده، تصفیه خانه فاضلاب، استاندارد اروپایی، استاندارد آمریکایی، حذف دانه.

۱- مقدمه

بهتر واحدهای تصفیه ای شده و از گرفتگی پمپ ها، اشغال شدن حجم مفید حوضچه ها، تشکیل لایه کفاب در هاضم ها و اختلال در عمل هضم و گرفتگی دستگاه های آبیگری لجن می کاهد. بنابراین کاربرد دانه گیر متناسب با ماهیت و مقدار دانه های فاضلاب که به شدت وابسته به شرایط محیطی، سطح فرهنگ، عادات غذایی و جنس شبکه های فاضلاب رو است، از خروج

واحد دانه گیر برای جداسازی و حذف ذرات غیرآلی معلق مانند ذرات شن، ماسه، دانه و دیگر مواد جامد با سرعت ته نشینی بیشتر نسبت به ذرات فسادپذیر در فاضلاب و هم چنین حذف کفاب و چربی مورد استفاده قرار می گیرد (شرکت مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، ۱۳۹۰ تاکنون). بازیافت دانه در حوضچه های دانه گیر تصفیه خانه فاضلاب سبب راهبری

بیش از حد دانه از این واحد و ایجاد مشکلات در سایر واحدها جلوگیری می‌کند (سایت آب و فاضلاب استان اصفهان). انتخاب نوع دانه‌گیر به عوامل متفاوتی بستگی دارد که موارد اصلی آن شامل شاخص‌های بهره‌برداری و اجرایی بوده و موارد مربوط به هر شاخص به شرح زیر است (بدلیانس قلی‌کندی، ۱۳۸۸):

الف) شاخص‌های بهره‌برداری

- مقدار و نوسان‌های فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه
- جداسازی مواد دانه‌ای ته‌نشین شده
- مقدار دانه‌های ماسه‌ای و مواد معدنی دیگر موجود در فاضلاب
- نوع تجهیزات مربوط به جریان ورودی به دانه‌گیر
- شیوه انتقال مواد ته‌نشین شده از محل تاسیسات
- محل مورد نیاز برای واحدهای مختلف تاسیسات
- استفاده از تاسیسات مزبور به‌عنوان یک مرحله پیش‌تصفیه بیولوژیکی

ب) شاخص‌های اجرایی

- محل مورد نیاز
- ارتفاع محل
- وضعیت آب‌های زیرزمینی و ساختار زمین

- میزان فعالیت مورد نیاز برای اجرای قالب‌های بتن‌ریزی مطابق نوع دانه‌گیر
- تجهیزات مکانیکی مورد نیاز

۲- انواع تاسیسات دانه‌گیر

تاسیسات مورد استفاده برای جداسازی ماسه و مواد دانه‌ای از فاضلاب را می‌توان به‌ترتیب زیر تقسیم‌بندی کرد (بدلیانس قلی‌کندی، ۱۳۸۸):

- دانه‌گیرهای عمیق
 - دانه‌گیرهای با جریان افقی
 - دانه‌گیرهای دایره‌ای (ورتکس)
 - دانه‌گیرهای مجهز به هوادهی
- با توجه به این‌که اغلب دانه‌گیرهای موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ایران مخصوصاً تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرهای بزرگ از جمله تهران، اصفهان، مشهد، شیراز و ... از نوع هوادهی هستند که دارای طول کم، عرض و عمق زیاد بوده و قادر به حذف دانه‌ها مخصوصاً هسته‌های میوه که به‌وفور در فاضلاب وجود دارد، نیستند. در این مقاله عملکرد دانه‌گیرهای هوادهی با استاندارد آمریکایی و اروپایی مقایسه و دانه‌گیر مناسب پیشنهاد شده است.

جدول ۱- مقایسه استانداردهای اروپایی و آمریکایی برای طراحی واحد دانه‌گیر هوادهی شده (شرکت مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، ۱۳۹۰ تاکنون، بدلیانس قلی‌کندی، ۱۳۸۸؛ DWA, 2009; Tchobanoglous, 2014)

پارامتر	استاندارد آمریکایی	استاندارد اروپایی
زمان ماند هیدرولیکی در دبی حداکثر (min)	۲-۵	حدود ۱۰
عمق مفید حوضچه (m)	۲-۵	۲-۵
عرض (m)	۲/۵-۷	۲/۵-۷
طول (m)	۷/۵-۲۰	حداکثر ۵۰
نسبت عرض به عمق (w/h)	۱-۵	کمتر از ۱ (هوای خشک)، بیشتر از ۰/۸ (هوای بارانی)
نسبت طول به عرض (L/w)	۳-۵	حدود ۱۰ برابر
میزان هوای مورد نیاز	$0.2-0.5 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{min}$	$0.5-0.9 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (سطح مقطع کمتر از ۳ مترمربع) $0.5-1.1 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (سطح مقطع ۳ تا ۵ مترمربع) $0.5-1.3 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (سطح مقطع بزرگتر از ۵ مترمربع)
میزان دانه ($\text{m}^3/1000 \text{ m}^3$)	$0.004-0.02$	$0.004-0.02$
سرعت جریان افقی فاضلاب (m/s)	-	کمتر از ۰/۲
مساحت مقطع عرضی (m^2)	-	۱-۱۵
شیب بستر (degree)	-	۳۵-۴۵

۲-۱- دانه گیرهای هوادهی شده

دانه گیرهای مجهز به سیستم هوادهی برای جداسازی ذرات به قطر ۰/۲ میلی متر یا بزرگتر طراحی می شوند. در حوضچه های دانه گیری همراه با هوادهی، هوا در راستای یک ضلع مخزن مستطیلی وارد می شود تا الگوی مارپیچی از یک جریان عمود به جریان در حال عبور از مخزن ایجاد کند. ذرات دانه های سنگین تر که سرعت ته نشینی بیشتری دارند در کف مخزن ته نشین می شوند. ذرات سبک تر به خصوص ذرات آلی به حالت معلق باقی مانده و از مخزن عبور می کند. سرعت غلتیدن یا تلاطم، اندازه ذرات با وزن مخصوص مختلف را که از فاضلاب حذف خواهند شد، تعیین می کند (Tchobanoglous, 2014). معیارهای طراحی دانه گیر هوادهی براساس استاندارد آمریکایی و اروپایی متفاوت بوده که به شرح جدول ۱ است.

۲-۲- تجربیات استفاده از واحد دانه گیر هوادهی شده

در سال های گذشته در تصفیه خانه های فاضلاب در حال بهره برداری کشور که دارای واحد دانه گیر هوادهی شده هستند و طراحی این واحدها براساس استاندارد آمریکایی انجام شده است، عدم بازیافت مناسب دانه در دانه گیرهای طراحی شده با این استاندارد، مشکلاتی را برای سایر واحدهای تصفیه ایجاد نموده که برخی از آنها عبارتند از (شرکت مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، ۱۳۹۰ تاکنون؛ سایت آب و فاضلاب استان اصفهان):

الف: گرفتگی مکرر پمپ های لجن اولیه و تعویض پمپاژ لجن از پمپ های کوچک به پمپ های بزرگتر

ب: خرابی مکرر پاروهای لجن روبرو اولیه و گرفتگی لوله خروجی لجن از حوضچه اولیه به ایستگاه پمپاژ

ج: اشغال شدن حجم مفید حوضچه های هوادهی از دانه

د: ایجاد ظاهر زشت بر روی سطح حوضچه های ته نشینی ثانویه و کانال پساب خروجی که تبعات روانی بر بازدیدکنندگان و مردم عادی دارد.

ه: گرفتگی مکرر پمپ های تغذیه لجن هاضم

و: ...

در این زمینه و با توجه به مشکلات اشاره شده در تصفیه خانه های فاضلاب شهر اصفهان (جنوب، شمال و شاهین شهر)، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان عملکرد حوضچه های دانه گیر را در این سه تصفیه خانه فاضلاب مورد

ارزیابی قرار داد. شایان ذکر است طراحی اولیه و اجرای واحد دانه گیر در تصفیه خانه فاضلاب شاهین شهر براساس استاندارد اروپایی و در تصفیه خانه های فاضلاب جنوب و شمال اصفهان براساس استاندارد آمریکایی می باشد (سایت آب و فاضلاب استان اصفهان).

نتایج این بررسی حاکی از آن بود که مقدار بازیافت دانه در تصفیه خانه فاضلاب شاهین شهر (طراحی دانه گیر با استاندارد اروپایی) که نسبت طول به عرض آن زیاد است، بیشتر از دو تصفیه خانه دیگر (۰/۴ مترمکعب برای هر ۱۰۰۰ مترمکعب فاضلاب) بود. بنابراین طرح دانه گیر جدید در تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان مطابق استانداردهای اروپایی، مطالعه، طراحی، اجرا و بهره برداری شد. در این دانه گیرها با فراهم کردن جریان چرخشی پیچ وار در حوضچه و تولید نیروی گریز از مرکز، امکان حذف بیشتر دانه نسبت به حوضچه های دانه گیر قدیم (طراحی با استاندارد آمریکایی) فراهم شد. به طوری که میزان بازیافت دانه در این حوضچه ها بیش از ۴ برابر حوضچه های قدیمی بود. نتایج به دست آمده در مدت ۱۰ ماه بهره برداری از دانه گیر جدید (استاندارد اروپایی) حاکی از کارایی و عملکرد بهتر این دانه گیرها بود (سایت آب و فاضلاب استان اصفهان). براین اساس به نظر می رسد که استفاده از دانه گیرهایی که طراحی آنها براساس استانداردهای اروپایی انجام شده است علاوه بر کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه ساخت پل متحرک به دلیل عمق و عرض کم، کاهش هزینه تجهیزات مربوط به بلوئر هوادهی، لوله کشی کف و دیفیوزرها، باعث کاهش مشکلات بهره برداری در سایر واحدهای تصفیه و به طور کلی باعث افزایش راندمان تصفیه خانه خواهد شد.

۳- نتیجه گیری

با توجه به موارد فوق، مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب اصفهان نیز در کلیه طرح های مطالعاتی و اجرایی خود از سیستم دانه گیری با استاندارد اروپایی (ATV آلمان) که دارای طول زیاد و عرض و عمق کم هستند (نسبت طول به عرض حداقل ۱۰)، استفاده می نماید تا علاوه بر بازیافت بهتر دانه، هزینه های سرمایه گذاری اولیه دانه گیر و هزینه های بهره برداری تصفیه خانه کاهش یابد و پیشنهاد می شود کلیه مهندسين مشاور نیز با توجه به ماهیت، مقدار دانه و بافت

۴- منابع

- بدلیانس قلی‌کندی. گ.، (۱۳۸۸)، طراحی تصفیه‌خانه فاضلاب، انتشارات آییژ.
- شرکت مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، (۱۳۹۰) تاکنون، «گزارش های مطالعات مرحله اول طرح های تصفیه خانه فاضلاب شهرهای مختلف»، اصفهان، ایران.
- DWA, (2009), "Qualification of wastewater treatment plant staff".
- Tchobanoglous. G., (2014), "Wastewater engineering, treatment and resource recovery", Metcalf & Eddy.
- www.abfaesfahan.ir/?q=en/node/219

فرهنگی منطقه تحت پوشش، سیستم دانه‌گیری با استاندارد اروپا را به‌عنوان یک تجربه موفق در طرح‌های آبی خود مدنظر قرار دهند.

فراخوان ایده کاوی

محور کاوش:

استفاده مجدد از پساب به عنوان یک منبع پایدار آب

اهداف کاوش:

فرهیختگان گرامی می‌توانند فرم مربوطه را از طریق سایت انجمن آب و فاضلاب ایران (irwwa.ir) دریافت و پس از تکمیل، تا حداکثر سه ماه پس از دریافت مجله، از طریق پست الکترونیکی انجمن آب و فاضلاب ایران به نشانی info@irwwa.ir به دبیرخانه انجمن ارسال نمایند. پس از جمع‌آوری و ارزیابی ایده‌های دریافتی، به ارائه‌کنندگان ایده‌های برگزیده، از طرف شرکت آب و فاضلاب استان تهران جوایز نفیسی اهدا می‌شود.

- ❁ مدیریت پایدار منابع آب در شهرهای کلان با توجه به بحران کمبود سرچشمه‌های آبی
- ❁ شناسایی روش‌های نوین در تصفیه فاضلاب (پساب) جهت آماده‌سازی و تزریق در منابع آبی
- ❁ بررسی جوانب بازچرخانی پساب در منابع آب

انتظارات مورد نظر از کاوش:

- ❁ ارائه ایده‌های کاربردی مدیریت منابع آبی با استفاده از بازچرخانی آب
- ❁ ارائه فناوری و ایده‌های نوین در بازچرخانی پساب و ارتقای کیفیت پساب جهت تزریق به منابع آبی زیرزمینی و سایر ایده‌هایی که می‌تواند راهگشا باشد.



آقای مهندس هاشم امینی
مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب
استان اصفهان

✿ لطفاً ضمن معرفی مختصر شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، یک معرفی اجمالی از خود نیز ارائه فرمایید.

- ضمن عرض سلام و آرزوی سلامتی و موفقیت برای مخاطبین محترم این نشریه، من هاشم امینی متولد شهر اصفهان، دارای مدرک تحصیلی مهندسی شیمی در مقطع لیسانس و مدیریت در مقطع کارشناسی ارشد با حدود ۲۰ سال سابقه خدمت در مجموعه صنعت آب و فاضلاب هستم و امسال هشتمین سالی است که توفیق خدمت در سمت مدیرعاملی شرکت پر افتخار آب و فاضلاب استان اصفهان را دارم.

در باب معرفی مختصر شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان باید گفت در واقع این شرکت طلایه دار صنعت آب و فاضلاب به سبب فعالیت در سطح کشور است که پنجاه و دومین سال تأسیس خود را سپری می کند و در تمام این سال ها، مرجع علم و فن و تجربه در صنعت در سطح کشور بوده است. همان گونه که مستحضرید الگوی ایجاد شرکت های آب و فاضلاب که با تصویب قانون تأسیس آن ها در سال ۱۳۶۹، خدمت رسانی در این بخش را وارد عرصه جدیدی کرد به صورت کاملاً مشخص از ساختار سازمانی و تجربیات شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان الهام گرفته است.

شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان در حال حاضر با سه تصفیه خانه آب، بیش از ۱۵۰ حلقه چاه در مدار و به واسطه بیش از ۱۲ هزار کیلومتر شبکه و خطوط انتقال، وظیفه تأمین آب شرب و بهداشت ۹۳ شهر (به صورت مستقیم) و بیش از ۲۳۰ روستا (به صورت غیرمستقیم) را برعهده دارد که شامل جمعیتی بالغ بر حدود چهار و نیم میلیون نفر است. همچنین به کمک ۲۳ تصفیه خانه فاضلاب و بیش از هفت هزار کیلومتر شبکه جمع آوری و کلکتور فاضلاب، نیمی از این جمعیت، تحت

پوشش شبکه جمع آوری فاضلاب و دفع بهداشتی پساب هستند و برای حدود پنج هزار کیلومتر باقی مانده، طرح های لازم تهیه شده که در برنامه توسعه و اجراست.

✿ نکته تمایز شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان نسبت به دیگر شرکت های آب و فاضلاب چیست؟

- همان گونه که اشاره شد قدمت شرکت آب و فاضلاب اصفهان (بیش از پنجاه سال سابقه خدمت رسانی)، وسعت نواحی تحت پوشش آن (پوشش بیش از نود شهر در گستره استان اصفهان)، پرسنل متخصص و متعهد، وجود زیرساخت بسیار قوی که ناشی از دیدگاه وسیع و آتیه نگر گذشتگان به خصوص موسس گرانقدر شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان (آقای مهندس حجازی) می باشد را می توان از مهم ترین نقاط تمایز شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان دانست.

✿ نقاط ضعف و قوت عملکرد شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان را بیان کنید

- از منظر نقاط قوت، نیروی انسانی متعهد و متخصص را می توان بزرگ ترین سرمایه و دارایی ارزشمند این شرکت دانست. همچنین وجود زیرساختی قوی در همه زمینه ها در بخش های مختلف تأسیساتی، توسعه روزافزون تله متری و جایگاه ویژه هوشمندسازی در شبکه های توزیع و خطوط انتقال آب، کم بودن مقدار آب بدون درآمد در بین سایر

شرکت‌های آب و فاضلاب (با حدود ۱۷ درصد) و همه‌گیر بودن رعایت الگوی مصرف در بین اغلب مشترکین در سطح استان اصفهان (بیش از ۸۵ درصد مشترکین ما در محدوده الگوی بهینه مصرف می‌کنند)، توسعه روزافزون درگاه‌های خدمات غیرحضوری، جذب گسترده سرمایه‌گذاران بخش خصوصی در قالب قراردادهای بیع متقابل و فاینانس (بیش از ۱۰۰۰ میلیارد تومان جذب سرمایه بخش خصوصی)، طراحی و تدوین و عملیاتی نمودن نرم‌افزارهای تخصصی ویژه صنعت آب و فاضلاب نظیر سامانه مدیریت فشار، سامانه ۱۲۲ و ۱۵۲۲ و ... را به‌عنوان مهم‌ترین این موارد می‌توان عنوان کرد.

برای ذکر نقاط ضعف، از دیدگاه فنی بسیاری موارد به دلیل مباحث پدافندی قابلیت اشاره ندارد، ولی به‌صورت کلی بزرگ‌ترین مشکلی که در حال حاضر شرکت‌های آب و فاضلاب با آن روبرو هستند، مشکل تامین آب در شرایط بحرانی کنونی است که با توجه به فقر روزافزون سفره‌های آب زیرزمینی و تغییرات گسترده اقلیمی و سایر مشخصه‌های شرایط بحرانی، اختلالاتی را در تثبیت شرایط پایدار خدمت‌رسانی ایجاد کرده است.

مشکل دیگر صنعت که گریبان‌گیر شرکت آب و فاضلاب اصفهان نیز هست، مشکل کمبود اعتبارات مورد نیاز برای تکمیل و اجرای طرح‌هاست که در یک محاسبه تقریبی می‌توان آن را به نامتناسب بودن بهای آب با هزینه‌های تامین و توزیع آن و عدم دریافت قیمت واقعی این کالای ارزشمند نسبت داد. به‌عبارت دیگر مغایر با نص صریح اساس‌نامه شرکت‌های آب و فاضلاب، این شرکت‌ها با روند و روال کنونی قیمت‌گذاری آب، به‌هیچ عنوان بنگاه‌های اقتصادی نیستند.

همچنین با توجه به این‌که اولین لوله‌گذاری‌های شبکه جمع‌آوری فاضلاب اصفهان به سال ۱۳۳۶ برمی‌گردد، به‌صورت ویژه مشکل قدمت و فرسودگی شبکه و تاسیسات فاضلاب شهر اصفهان در سالیان اخیر تبدیل به یکی از نقاط ضعف چالش‌برانگیز برای این شرکت شده است. مشکلی که در اصفهان به‌دلیل قدمت تاسیسات، چندسالی است رخ‌نمون است و در سال‌های بعد قطعاً گریبان‌گیر بقیه شرکت‌های آب و فاضلاب در سطح کشور خواهد بود.

🌸 با توجه به بحران آب در استان اصفهان برای تامین

درازمدت آب شهرهای اصفهان چه برنامه‌ای دارید؟

- ابتدا بهتر است اشاره شود که به‌طور متوسط مصرف روزانه آب شرب در استان اصفهان چیزی بالغ بر یک میلیون مترمکعب است که در زمان‌های اوج مصرف حدود ۳۰ درصد به این مقدار افزوده می‌شود. تامین این حجم از آب به‌صورت مستمر در استانی با میانگین بارندگی سالانه کم‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر که در منطقه مرکزی ایران با آب و هوایی گرم و خشک قرار دارد کاری بسیار سخت و طاقت‌فرسا است که تاکنون به‌لطف پروردگار و تلاش خستگی‌ناپذیر همکاران ما در شرکت آب و فاضلاب اصفهان به خوبی انجام شده است. اهمیت این تلاش بی‌وقفه زمانی بیش‌تر مشخص می‌شود که بدانید طرح تامین آب اصفهان بزرگ در سال ۱۳۸۵ به افق طرح خود رسیده و مقرر بوده که از آن سال به بعد طرح جدیدی به طرح‌های تامین آب افزوده شود که تا این تاریخ نه‌تنها این اتفاق نیفتاده است، بلکه به‌سبب خشکسالی و فقر منابع آبی، حدود سی درصد منابع طرح قدیمی (نظیر چاه‌های فلمن) را نیز از دست داده‌ایم.

اما علی‌رغم این موضوع، طی ده سال گذشته با مدیریت متمرکز و منسجمی که انجام شده است نه تنها منبع تامین جدیدی اضافه نشده بلکه سعی شده مصارف به‌صورت انقباضی کنترل شود. از دید آماری در این ده سال به‌طور متوسط حدود ۳۵ درصد در تعداد مشترکین تحت پوشش رشد داشته‌ایم (سالیانه حدود ۳/۵ درصد)، اما با وجود رشد تعداد مصرف‌کنندگان و کاهش منابع تامین، پوشش شبکه و مشترکین به‌خوبی انجام شده است. این امر مرهون زحمات کارکنان خدوم و زحمت‌کش آب و فاضلاب استان اصفهان است که با مدیریت مقدار آب بدون درآمد و کاهش معنی‌دار آن و رساندن آن از حدود ۳۱ درصد به حدود ۱۷ درصد (طی هشت سال) و همه‌گیر کردن مفاهیم مدیریت مصرف و توسعه فرهنگ بهینه مصرف آب، کمبودهای موجود را به‌خوبی جبران کرده‌اند. اما برای آینده استان از سال ۱۳۹۳ سندی تحت عنوان «سند جامع مدیریت تامین، توزیع و مصرف آب شرب استان» تهیه شده و متعاقب تهیه نسخه اصلی، برش‌های منطقه‌ای آن هم برای ۳۴ منطقه استان تهیه و تدوین شده است. در این سند علاوه‌بر هدف‌گذاری کاهش مقدار آب بدون درآمد در هر منطقه تا رسیدن به مقدار بهینه، برای کاهش سرانه مصرف آب شرب تا رسیدن به استانداردهای جهانی و نیز بهینه‌سازی

مدیریت منابع آب موجود هم برنامه‌ریزی کاملی صورت گرفته و امیدواریم بتوانیم با آن برنامه ضمن حفظ و به‌سازی منابع موجود، با مدیریت مصرف، راندمان استفاده از پتانسیل‌های فعلی را هم افزایش دهیم. به‌طور کلی باید اشاره کنم که اساس برنامه آب و فاضلاب اصفهان برای تامین آب آینده بر دو اصل استوار است: اصل اول، جایگزینی مدیریت مصرف به جای تامین و اصل دوم، استفاده گسترده از فناوری‌های نوین در ارتقای سطح کمی و کیفی خدمات می‌باشد.

🌟 نتایج اقدامات شما در مورد مدیریت مصرف و تقاضا چیست؟ چه مقدار توانستید مصرف آب اصفهان را کم کنید؟

- به‌نظر من در پاسخ سوال قبلی به‌نوعی به جواب این پرسش هم اشاره کردم، اما به‌صورت خلاصه مجدداً عرض می‌کنم که در اثر انجام سیاست‌های نظام‌مند و هدف‌دار مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد طی هشت سال اخیر، مقدار آب بدون درآمد از ۳۱ درصد به ۱۷ درصد کاهش یافته که این مقدار کاهش تقریباً معادل ۵۰ میلیون مترمکعب در سال است. همچنین سرانه مصرف آب مشترکین در بخش خانگی نیز از ۱۸۹ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز (در سال ۱۳۸۶) به عدد ۱۵۱ رسیده که حاصل آن قرارگرفتن حدود ۸۵ درصد مشترکین بخش خانگی در محدوده الگوی مصرف بوده است.

🌟 **ضرورت تشکیل انجمن آب و فاضلاب ایران و نقشی که می‌تواند در حوزه آب و فاضلاب ایفا کند را بیان کنید.**

- وقتی به عوامل رشد سازمان‌یافته شرکت‌ها نگاهی بیندازیم، بی‌شک یکی از مهم‌ترین ارکان آن ایجاد، حفظ و توسعه مثلث معروف «دانش - صنعت - تخصص» است و همه می‌دانیم که دانشگاه‌ها، شرکت‌های آب و فاضلاب و انجمن‌های تخصصی هرکدام به نوعی یکی از اضلاع این مثلث را تشکیل می‌دهند. در توجیه این حضور سه‌جانبه بد نیست اشاره‌ای هم بشود به لزوم استقرار یک مدل بومی و کارآمد از «مدیریت دانش» که جای خالی آن در بسیاری از حوزه‌ها در کشورمان احساس می‌شود. دانشی که در شرکت‌های آب و فاضلاب به‌طور متناوب و مستمر در حال تولید و ایجاد است، ناشی از ترکیب دانش و تجربه تخصصی خاصی است که هم نیاز به مستندسازی دارد و هم نیازمند به‌سازی و توسعه‌یافتگی است و از همه این‌ها مهم‌تر

به دلیل تخصصی بودن این صنعت و محدود بودن مخاطبین و متخصصین آن نسبت به بسیاری دیگر از صنایع، نیازمند به اشتراک‌گذاری دانش و تجربه‌ها است. اینجاست که حلقه مدیریت دانش با حضور انجمن‌های تخصصی نظیر «انجمن آب و فاضلاب ایران» تکمیل می‌شود.

🌟 **نحوه ارتباط شرکت آب و فاضلاب اصفهان با انجمن آب و فاضلاب ایران چگونه است و دو طرف چه کمکی می‌توانند به هم بکنند؟**

- فکر می‌کنم پاسخ این پرسش در سوال قبلی داده شد. نگاه شرکت آب و فاضلاب اصفهان به انجمن‌های تخصصی، نگاهی تعاملی است که در قالب تعامل بتوان حلقه مفقوده زنجیره مدیریت دانش را در این صنعت بزرگ و گسترده تکمیل کرد. در همین راستا تفاهم‌نامه‌ای بین دو طرف امضا شده است که امید می‌رود با تحقق این تفاهم‌نامه شاهد ارتباط مستمر و هدف‌مندی بین آب و فاضلاب استان اصفهان و انجمن آب و فاضلاب ایران باشیم.

🌟 **شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان چه ارتباط ارگانیکی با دانشگاه‌ها داشته است؟ چقدر توانسته برای دانشگاه مسئله تعریف کند و چقدر از تحقیقات دانشگاهی را برای رفع مشکلات خود به‌کارگرفته است؟ چقدر آب و فاضلاب اصفهان توانسته داده‌های مورد نیاز طرح‌های تحقیقاتی دانشگاهی را تامین کند؟ لطفاً همه موارد به‌صورت کمی بیان شود.**

- تاسیس واحد تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان در سال ۱۳۷۴ و آغاز انعقاد اولین قراردادهای تحقیقاتی با دانشگاه‌های مادر از این سال، به‌خوبی گویای اعتقاد راسخ این شرکت بر ارتباط منسجم با دانشگاه‌ها و مراکز علمی - پژوهشی برای رفع معضلات و مشکلات مبتلا به از طریق انجام طرح‌های پژوهشی کاربردی می‌باشد.

نیازسنجی تحقیقات در کلیه بخش‌ها (فنی و مهندسی، بهره‌برداری، مدیریت و منابع انسانی، مالی، مشترکین و ...)، ارزیابی نیازها توسط کارگروه‌های تخصصی، پردازش نیازها و تعریف اولویت‌های پژوهشی و سپس فراخوان اولویت‌های مصوب به مراکز دانشگاهی و پژوهشی، خلاصه فعالیت‌های واحد تحقیقات در خصوص تعریف مسئله با هدف رفع مشکلات

و ارتقای وضعیت موجود بوده و بی تردید ارائه داده‌های مورد نیاز متناسب با موضوع تحقیق، جزء لاینفک فراخوان فوق‌الذکر است. از موفق‌ترین طرح‌های پژوهشی شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان در بین حدوداً ۱۰۰ طرح تحقیقاتی و پایان‌نامه دانشجویی مورد حمایت (در مقاطع ارشد و دکترا) می‌توان به‌موارد زیر اشاره کرد:

* "بررسی و کنترل پدیده بالکینگ در تصفیه‌خانه جنوب اصفهان"، (مجری: دانشگاه تربیت مدرس)؛
* "کاربرد فرایند UASB برای کاهش بار آلودگی فاضلاب کشتارگاه اصفهان"، (مجری: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)؛
* "زایش بیولوژیکی فسفردر تصفیه‌خانه جنوب اصفهان"، (مجری: دانشگاه تربیت مدرس)؛

* "بررسی نحوه کنترل و سطح حساسیت سوسری‌های شبکه فاضلاب اصفهان"، (مجری: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)؛
* "مقایسه کارایی و ارزیابی اقتصادی مواد تولید داخل و انواع خارجی در بهبود آب‌گیری لجن"، (مجری: دانشگاه صنعتی شریف)؛

* "بررسی کارایی روش شناورسازی هوای محلول (DAF) در تغلیظ لجن فاضلاب"، (مجری: دانشگاه صنعتی شریف)؛
* "ارزیابی فرایند لجن فعال دومرحله‌ای (AB) در تصفیه فاضلاب شهر اصفهان"، (مجری: دانشگاه تربیت مدرس)؛

* "استفاده از گیاهان بومی به‌عنوان پلی‌الکترولیت‌های طبیعی در فرایند تصفیه آب و مقایسه آن‌ها با پلی‌الکترولیت‌های مصنوعی از نظر کارایی"، (مجری: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)؛

* "بررسی علل شکستگی لوله‌های بتنی پیش‌تنیده ۱۴۰۰ میلی‌متری"، (مجری: پژوهشکده صنعت نفت)؛

* "بررسی کارائی سیستم تماس‌دهنده بیولوژیکی دوار (RBC) در تصفیه فاضلاب شهری"، (مجری: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)؛

* "بررسی و کارایی آنتراسیت تولید داخل و نوع خارجی در عملیات تصفیه آب"، (مجری: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)؛
* "راه‌اندازی سیستم بیوفیلتر در ایستگاه پمپاژ فاضلاب خمینی‌شهر به‌منظور بوزدایی در این محل"، (مجری: دانشگاه صنعتی شریف)؛

* "تعیین معیارهای طراحی بهینه در روش تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهری استان اصفهان"، (مجری: دانشگاه

خواجه نصیرالدین طوسی)؛

* "تعیین معیارهای ارزیابی و تعیین صلاحیت تولیدکنندگان لوله و اتصالات پلی‌اتیلن"، (مجری: دانشگاه صنعتی امیرکبیر)؛
* "بررسی و ارائه راهکارهای اجرایی کاهش حجم لجن مازاد بیولوژیکی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان)"، (مجری: پژوهشکده آب و فاضلاب دانشگاه صنعتی اصفهان)؛

* "امکان‌سنجی کاربرد روش‌های ارتقای شاخص‌های بهداشتی اتصالات برنجی و برنزی مورد استفاده در خطوط انتقال آب شرب"، (مجری: دانشگاه آزاد اسلامی - واحد نجف‌آباد)،

* "امکان‌سنجی روش‌های افزایش تولید بیوگاز در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌روش لجن فعال، (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان)"، (مجری: دانشگاه صنعتی اصفهان - پژوهشکده آب و فاضلاب)؛

* "پایش کیفی آب قبل از ورود به تصفیه‌خانه آب (از سد زاینده‌رود) تا آخرین نقطه مصرف (در طرح آب‌رسانی اصفهان بزرگ)"، (مجری: دانشگاه اصفهان)؛

* "بررسی تاثیر استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر کیفیت میکروبی خاک و محصولات آبیاری شده با پساب: ارزیابی کمی خطر میکروبی (QMRA)"، (مجری: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)؛

* "آنالیز هیدرودینامیکی رفتار جریان فاضلاب در مخازن هوادهی به‌منظور بررسی اثر شکل پره هواده بر مشخصات عملکردی سیستم به‌روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)"، (طرح سرباز نخبه)؛

* "مطالعه تجربی و تئوری پدیده یخ‌زدگی کنتور آب و جلوگیری از آن به کمک گرمایش تابشی"، (مجری: دانشگاه اصفهان).

✿ **لطفاً میزان بودجه تحقیقاتی آب و فاضلاب استان اصفهان و نحوه هزینه‌کرد آن و نتیجه عملکرد واحد تحقیقات آن شرکت را بیان کنید.**

- به‌صورت میانگین یک درصد از درآمد حاصل از فروش آب (آب‌بهاء) در هر سال به تحقیقات اختصاص می‌یابد. هزینه‌کرد این بودجه پس از تعریف اولویت‌های تحقیقاتی شرکت آب و فاضلاب به‌صورت سالیانه در قالب فراخوان‌های جذب محققین

و با انعقاد قراردادهای تحقیقاتی انجام می‌شود. با توجه به این که سیاست این شرکت تعریف پروژه‌های تحقیقاتی کاربردی در جهت ارتقای توان داخلی یا حل معضلات و مشکلات موجود در صنعت است، تاکنون نتایج بسیار خوبی از این تحقیقات به‌دست آمده است که بازخوردهای عملی بخشی از آن‌ها هم‌اکنون در قسمت‌های مختلف شرکت در عمل در حال استفاده و کاربرد می‌باشد.

وضعیت تصفیه‌خانه آب و کیفیت آب تحویلی به مردم استان اصفهان چگونه است؟

- همان‌گونه که اشاره شد، در حال حاضر سه تصفیه‌خانه آب در استان اصفهان در مدار بهره‌برداری است که بزرگ‌ترین آن‌ها تصفیه‌خانه آب باباشیخ علی با ظرفیت تقریبی ۱۲/۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشد و بیش از ۸۵ درصد جمعیت استان تحت پوشش این تصفیه‌خانه قرار دارند. کیفیت آب تحویلی از این تصفیه‌خانه با الگوها و استانداردهای بین‌المللی کاملاً مطابقت داشته و در برخی پارامترها حتی بسیار بهتر از دامنه‌های پیش‌بینی شده در استانداردهای جهانی است. گواه بر این مدعا، آزمایشات مکرر و متناوب سازمان‌های نظارتی متولی نظیر مراکز بهداشت معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی استان و ... می‌باشد. به‌رحال افتخار ما این است که آبی با استانداردهای جهانی را برای مردم نکته‌سنگ و دقیق اصفهان تامین و توزیع می‌کنیم. البته همین کیفیت در خصوص دو تصفیه‌خانه دیگر در شهرهای گلپایگان و خوانسار هم صدق می‌کند با این تفاوت که ظرفیت تولید آب این دو تصفیه‌خانه در حد رفع نیاز محلی است.

لطفا برنامه خود را برای بهبود کیفیت آب اصفهان بیان کنید.

- البته ارتقای روزافزون، همیشه در دستور کار شرکت آب و فاضلاب استان بوده و گرچه کیفیت آب تحویلی کنونی (چه ۸۵ درصدی که از محل تصفیه‌خانه آب باباشیخ علی تامین می‌شود و چه ۱۵ درصدی که از سایر منابع محلی استان تامین می‌شود) با استانداردهای بین‌المللی انطباق کامل دارد. اما برنامه‌های گسترده‌ای برای ارتقای همین وضعیت نیز در دستور کار است که مهم‌ترین آن‌ها پیگیری برنامه ایمنی و

سلامت آب (WSP) است که از سال ۱۳۹۳ تاکنون به‌صورت مشارکتی و فراسازمانی دنبال می‌شده و در مراحل خوبی از پیشرفت قرار دارد. همچنین تجهیز سامانه آبرسانی اصفهان بزرگ به ابزار پایش و کنترل کیفی برخط و توسعه این پایش به شبکه توزیع به کمک فناوری‌های نوین در دست انجام است و هم‌زمان با نقاط حساس تامین آب استان که در سامانه پایش برخط قرار گرفته در حال اجرا و توسعه می‌باشد.

وضعیت شبکه فاضلاب اصفهان چگونه است و در شبکه و تصفیه‌خانه‌ها با چه چالش‌هایی روبرو هستید؟ با توجه به گذشت بیش از ۵۰ سال از اجرای شبکه فاضلاب شهر اصفهان، وضعیت کلی آن و نیز روند اجرای بازسازی آن را تشریح نمایید.

- پیش‌تر هم اشاره شد که به‌دلیل قدمت و فرسودگی شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب در شهرهای اصفهان، خمینی شهر و شاهین شهر، چالش بزرگی فراروی این شرکت قرارداد مدیریت آن بسیار حساس، خاص و پرهزینه است. بد نیست یادآور شویم که لوله‌گذاری‌های مربوط به شبکه جمع‌آوری فاضلاب اصفهان بزرگ در برخی نقاط طول عمری بیش از ۵۰ سال دارد که در نوع خود در کشور بی‌نظیر است. بدیهی است شبکه‌ای با این قدمت با انواع مشکلات نظیر فرسودگی، خوردگی، وجود سوسری‌ها و ... مواجه است که بهره‌برداری از آن را با سختی و هزینه زیاد توأم کرده و با وجودی که براساس یک برنامه مدون و مستمر، وضعیت شبکه به‌طور مرتب به کمک ویدیومتری در حال رصد و پایش بوده و بسیاری نقاط آسیب‌پذیر در دستور کار اصلاح و به‌سازی قرار گرفته‌اند، لیکن وسعت شبکه موجود (بیش از ۳۵۰۰ کیلومتر) و بزرگی اقطار و دبی فاضلاب در حال انتقال، شرایط خاصی را برای این شرکت به‌وجود آورده تا جایی که اخیراً یک قرارداد بیع متقابل به مبلغ پنجاه میلیون یورو با یک گروه کنسرسیوم از مشاورین داخلی و خارجی برای بازسازی بخش کوچکی از شبکه فرسوده جمع‌آوری فاضلاب اصفهان منعقد شده و حدود یک سال و نیم است که این گروه در شهر اصفهان مشغول بازسازی شبکه فاضلاب هستند. اما متأسفانه منابع مالی موجود کفایت شرایط یاد شده را نکرده و درحال برنامه‌ریزی برای جذب سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی برای ادامه روند بازسازی شبکه فاضلاب اصفهان هستیم.

روش و ابزار هوشمند قطع اضطراری مخازن آب، گاز، نفت و ...

ارائه شده در دومین ایده‌بازار- فن‌بازار صنعت آب و فاضلاب ۱۳۹۶، به انتخاب شرکت آب و فاضلاب استان تهران

نیز با روش‌های مختلف قابل استفاده است. علاوه بر سنسور زلزله سایر سنسورها براساس نیاز، قابل اضافه‌شدن به سامانه می‌باشد.

* مزایا

- نصب در بهترین نقطه مخزن، مستقل از آسیب‌پذیری نقاط پایین‌دست
- عدم نیاز به اتصال انعطاف‌پذیر و بریدن لوله خروجی
- هزینه و زمان کم‌تر و دسترسی سریع‌تر به اهداف تأمین آب اضطراری
- قابلیت نصب در همه مخازن با انواع حالات قرارگیری لوله خروجی
- قابلیت اطمینان بیش‌تر و عملکرد هوشمند
- بهره‌بردار پسند
- بازار مناسب و امکان صادرات و اشتغال‌زایی
- قابلیت استفاده در صنایع نفت و گاز
- سادگی فناوری و امکان صنعتی‌سازی
- حذف سونداژ و شناسایی خط خروجی و اتاق‌چه مدفون و ...

یکی از وظایف اصلی مدیریت سامانه‌های آبی بلافاصله پس از وقوع زلزله، حفظ ایمنی آب برای شرایط اضطراری و بحرانی است. از آنجایی که آب به‌راحتی از محل لوله‌های شکسته خارج می‌شود، برخی از مخازن سرویس به شیرهای قطع سریع با سنسورهای لرزه‌ای مجهز می‌شوند. این شیرها بر روی خط انتقال خروجی مخزن نصب می‌شوند، ولی به‌دلیل احتمال آسیب‌پذیری محل اتصال لوله با دیواره مخزن در زلزله، حتی با وجود اتصال انعطاف‌پذیر، بهتر است نقطه نصب قابل اطمینان‌تری انتخاب شود. ایده انسداد از داخل مخزن برای شیرهای قطع اضطراری برای اولین بار در این طرح مطرح شده است. این روش اجرایی و متدولوژی خلاقانه، در اداره ثبت اختراعات کشور و اداره ثبت اختراعات امریکا ثبت و پاتنت آن در یکی از مخازن آب تهران با موفقیت اجرا شد. این محصول شامل اتاقک پیش‌ساخته سبک بر روی سقف مخزن، تجهیزات مکانیکی و الکترونیکی سامانه هوشمند قطع اضطراری در داخل اتاقک و عامل انسداد خروجی در درون مخزن می‌باشد. سیستم باز و بسته کردن خروجی با مکانیزم‌های مختلف از قبیل جک پنوماتیک، گیربکس یا جک هیدرولیک و ... و عامل انسداد



شکل ۳- محل نصب شیر در مخزن



شکل ۲- قطعه بدنه اتصال شیر به مخزن



شکل ۱- شیر کنترل هوشمند قطع‌کن اضطراری مخازن

دستگاه حفاری تونل‌های کوچک مقطع

ارائه شده در دومین ایده‌بازار-فن‌بازار صنعت آب و فاضلاب ۱۳۹۶، به انتخاب شرکت آب و فاضلاب استان تهران

فاضلاب، تونل‌های انتقال آب، تونل‌های معدن‌کاری زیرزمینی و دیگر تونل‌های نظامی و غیرنظامی در کشور عزیزمان ایران و همچنین استفاده از ماشین‌آلات غیرمرتبط برای حفاری و تونلینگ در اغلب این‌گونه پروژه‌ها، برآن شدید تا با اتکال به خداوند منان و بهره‌برداری از علم، تخصص و تجربه مهندسين و اساتید ایرانی ماشینی طراحی کنیم که بتواند مطابق با استانداردهای روز جهان، شرایط زمین‌شناسی ایران، مهندسی سنگ و خاک، زیر ساخت‌های مورد نیاز عملیات تونلینگ و با بهره‌گیری از امکانات، تجهیزات و ابزارهای بومی، عملیات حفاری و حفاری پیوسته را به‌صورت کنترل از راه دور انجام دهد.

ماشین کانتینریوس تونلینگ شایان-۱۵۰۰، در راستای مکانیزاسیون حفاری تونل‌های شهری و غیرشهری و با فناوری بسیار قوی و بومی تولید شده است و با بهره‌گیری از امکانات و تجهیزات داخلی و با درنظر گرفتن استانداردهای مدیریت کیفی، شرایط اقلیمی، زمین‌شناختی، شرایط و محیط کارگاه حفاری زیرزمینی، امکان‌سنجی اقتصادی و فنی مهندسی (از نظر علم مهندسی تونل) به‌صورت کاملاً پیشرفته و بومی طراحی و تولید شده است.

شرکت دانش‌بنیان صنعت و معدن شایان فناوران آمیتی‌س به‌عنوان یک شرکت سهامی خاص در سال ۱۳۹۴ تأسیس و با عبور از ممیزی‌های مختلف موفق به ورود به حوزه شرکت‌های دانش‌بنیان در همان سال شد. به‌دنبال تحقیقات میدانی انجام شده بر روی روش‌های منسوخ حفاری در تونل‌های کشور و عملیات ساخت و تولید در خصوص ماشین مکانیزه حفاری تونل‌های کوچک مقطع که پیش از تأسیس شرکت و با ساخت نمونه مهندسی به ثبت اختراع رسیده و انجام شده بود و با توجه به انجام طراحی‌های مهندسی و ایجاد زیرساخت‌های لازم از جمله بهره‌گیری از نخبگان صنعتی و دانشگاهی در درون شرکت، پروژه ساخت نمونه صنعتی ماشین فوق‌الذکر پس از تأسیس شرکت به‌عنوان اولویت شماره یک، شروع شد. با لطف خداوند متعال و با همبستگی موجود میان مدیران، کارکنان و کارگران فعال در این شرکت، مطابق برنامه زمان‌بندی ارائه شده توسط دپارتمان برنامه‌ریزی و کنترل پروژه شرکت، ساخت نمونه صنعتی «دستگاه مکانیزه حفاری تونل‌های کوچک مقطع» به‌پایان رسید.

با عنایت به شرایط نامناسب حفاری تونل‌های کوچک مقطع در پروژه‌های تونل‌های کوچک مقطع شهری، تونل‌های

مشخصات دستگاه

موضوع	توضیحات
ابعاد دستگاه (طول × عرض × ارتفاع)	1600 mm, 1900 mm, 4500 mm
سرعت پیشروی حفاری (در سنگ نرم تا متوسط)	1 mph
عرض حفاری	2500 mm
ارتفاع حفاری	3100 mm
حداکثر شیب	16 Deg
سامانه پیش‌برنده	چرخ زنجیری
شکل مقطع حفاری	گوناگون (تخم‌مرغی، نعل اسبی، مستطیل، دایره و ...)
سامانه (راهبری)	کنترل از راه دور
چرخش	360 Deg (درجا)
سختی مواد	25 MP
نیروی برش کله حفاری	16500 N



شکل ۱- دستگاه حفاری تونل‌های کوچک مقطع



شکل ۳- کابل هوشمند دستگاه

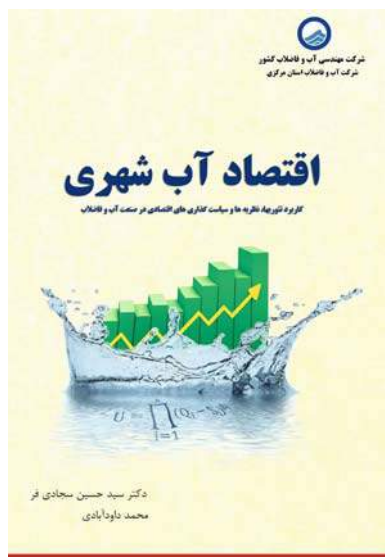


شکل ۲- کنترل گر دستگاه

اقتصاد آب شهری

نویسندگان: دکتر سیدحسین سجادی فر و محمد داودآبادی

انتشارات نویسنده، چاپ اول: ۱۳۹۵



تئوری‌های اقتصاد، یکی از مهم‌ترین راه‌های موجود برای تخصیص بهینه منابع کم‌یاب است. اقتصاد آب به چگونگی تولید، توزیع و مصرف بهینه آب می‌پردازد. بنابراین این مسئله مهم اقتصادی پیش می‌آید که چگونه می‌توان منابع کم‌یاب (آب) را برای ارضای خواسته‌هایی که با هم در رقابت می‌باشند تخصیص داد، به‌طوری که حداکثر رفاه جامعه حاصل شود. عدم وجود دیدگاه اقتصادی در مدیریت آب کشور و به‌ویژه پایین بودن قیمت‌های اقتصادی آب و عدم توجه به دیدگاه‌های اقتصادی، شرایط بحرانی را برای برخی از واحدهای صنعت آب و فاضلاب کشور رقم زده است. برای اجرای مدیریت راهبردی بهینه در حوزه آب باید بیش از پیش ابزارها و راهکارهای اقتصادی را مورد توجه قرار داد. در این راستا موضوعات کلان مرتبط با اقتصاد آب در این کتاب از جوانب مختلف نقد و بررسی شده است. این کتاب برای نخستین بار در کشور سعی دارد ضمن ارائه و تشریح تمام تئوری‌ها، مسایل و تجارب برخی از کشورها با موضوعات مرتبط با تئوری اقتصاد آب، کاربرد هریک از آن‌ها را با توجه به شرایط محیطی حاکم بر صنعت آب و فاضلاب، با ارائه نمونه‌های واقعی (واحدهای خودگردان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی) در اختیار مخاطبان خود قرار بدهد.

اهداف کتاب:

- ۱- مسایل و تئوری‌های اقتصادی حاکم بر صنعت و آب فاضلاب را به‌صورت نظری و کاربردی در اختیار مخاطبان قرار دهد.
- ۲- مدل‌سازی ریاضی مؤلفه‌های اصلی اقتصادی (تقاضا، عرضه، هدررفت آب، سرمایه‌گذاری و ...) با درنظر گرفتن شاخص‌ها و شرایط حاکم بر صنعت مانند وضعیت آب، هوا، ظرفیت دسترسی به منابع آبی، سطح درآمد خانوارها و ...
- ۳- ضمن جلب توجه مدیران ارشد شرکت‌های آب و فاضلاب و تصمیم‌گیران و تصمیم‌سازان به موضوع اقتصاد آب و فاضلاب، نگاهی علمی و تخصصی به مسایل اقتصادی را به‌صورت کمی و مدل‌سازی ریاضی ارائه می‌دهد.
- ۴- آشنا ساختن مدیران عامل، معاونان درآمد و امور مشترکین، مدیران، کارشناسان و سایر دست‌اندرکاران مسایل اقتصادی با تکنیک‌های علمی و کمی در تجزیه و تحلیل مسایل اقتصادی صنعت آب و فاضلاب.
- ۵- پیشنهاد روش‌های علمی و اقتصادی در قیمت‌گذاری نرخ فروش آب و فاضلاب به‌منظور بهبود، اصلاح و افزایش تعرفه‌های آب و فاضلاب در کشور.

فصل‌های کتاب

این کتاب در ۸ فصل به شرح زیر تدوین شده است:

فصل اول: کلیات

فصل دوم: تئوری و مسایل اقتصاد خرد

فصل سوم: تئوری تقاضای آب شهری

فصل چهارم: تخمین تابع تقاضای آب شهری

فصل پنجم: تئوری بنگاه

فصل ششم: تخمین تابع هزینه آب شهری

فصل هفتم: مفاهیم و روش‌های قیمت‌گذاری آب شهری

فصل هشتم: وضعیت مؤلفه‌های اقتصادی صنعت آب و فاضلاب

گزارش برگزاری اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران



اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب با محوریت و اهتمام انجمن آب و فاضلاب ایران و با مشارکت دانشگاه تهران و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و حمایت مراکز تحقیقاتی و سازمان‌های مرتبط در تاریخ ۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵ در محل دانشگاه تهران برگزار شد. هدف اصلی از برگزاری این کنگره ایجاد تعامل سازنده میان متخصصین دانشگاهی به‌ویژه پژوهش‌گران، مشاوران، صنعت‌گران، مسئولین اجرایی و کارشناسان صنعت آب و فاضلاب کشور بود. برگزاری این کنگره در راستای برنامه‌های پنج‌ساله انجمن علمی آب و فاضلاب ایران تنظیم و اجرا شد. محورهای اصلی این کنگره در زمینه‌های چالش‌های کنترل و مدیریت صحیح آب و فاضلاب و تشکیلات و تأسیسات آن، آلاینده‌های آب و اثرات آن بر سلامت مصرف‌کنندگان، آب‌های نامتعارف تولیدی در کشور، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع مالی و انسانی، تحلیل و آسیب‌شناسی توسعه صنعت آب و فاضلاب، جوانب فرهنگی و مشارکت مردم در ارتقاء وضعیت آب و فاضلاب کشور بود.

همچنین برای بالابردن هرچه بیشتر کیفیت برگزاری کنگره، به‌طور هم‌زمان برنامه‌های دیگری نیز مدنظر قرار گرفت که مهم‌ترین موارد به شرح ذیل می‌باشند:

- تجلیل از استاد پیشکسوت، آقای دکتر رازقی؛ به خاطر سالیان سال تلاش در عرصه علم، دانش و حرفه
- امضاء سند ملی بازیافت آب از پساب؛ توسط آقایان دکتر تابش، دکتر رزاقی و دکتر مهرنیا
- اعلام اسامی برندگان مسابقه پایان‌نامه برتر و تجلیل از آن‌ها همراه با اهدای جوایز و لوح تقدیر
- اعلام مقالات برتر شفاهی و پوستری در کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
- برگزاری چهار عنوان کارگاه تخصصی در روز دوم کنفرانس با عناوین زیر:
 - ✿ تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری سامانه‌های آب و فاضلاب
 - ✿ شیرین‌سازی آب دریا
 - ✿ مدیریت رواناب‌های سطحی در شهرها (تجربیات کسب‌شده در شهر تهران)
 - ✿ پایش میدانی واحدهای بیولوژیک تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با رویکرد لجن فعال
- برگزاری نمایشگاه جانبی با حضور شرکت‌ها و انجمن‌های فعال در زمینه آب و فاضلاب
- تشکیل اولین کمیته تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران هم‌زمان با کنگره
- بازدید از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران در تاریخ ۲۸ بهمن‌ماه ۱۳۹۵



شکل ۲- امضاء سند ملی بازیافت آب از پساب



شکل ۱- بزرگداشت پیشکسوتان



شکل ۴- بازدید از تصفیه خانه جنوب



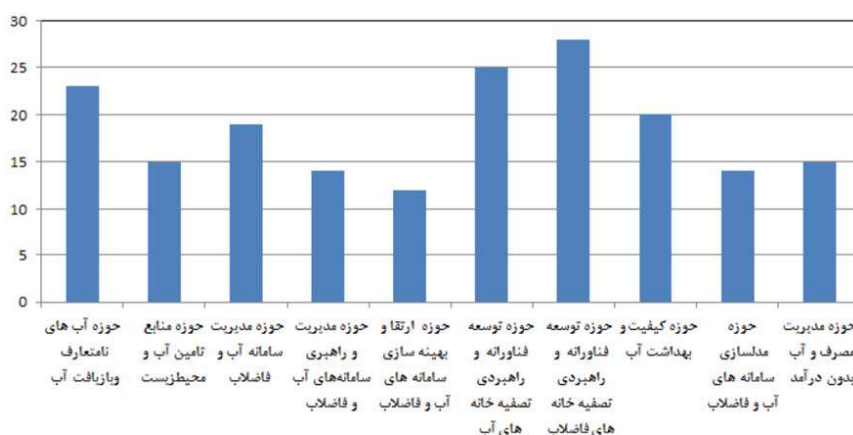
شکل ۳- نمایشگاه جانبی



شکل ۵- حضور مخترعان نوجوان در نمایشگاه جانبی کنگره

شایان ذکر است که در مجموع ۲۵۳ مقاله توسط کنگره دریافت و پس از بررسی داوران، ۲۰۹ مقاله پذیرفته شد. از این تعداد، ۴۴ مقاله به صورت شفاهی ارائه شدند و ۱۴۱ مقاله نیز به صورت پوستر به نمایش درآمدند. در شکل ۶ تعداد مقالات در حوزه های مختلف مشخص شده است.

همچنین در شکل ۷ تعداد مقالات پذیرفته شده از دانشگاه های مختلف و شرکت های آب و فاضلاب استان های کشور نشان داده شده است. براساس این شکل، شرکت های آب و فاضلاب مشارکت بالایی در مجموعه مقالات داشته اند.



شکل ۶- تعداد مقالات در حوزه های مختلف

اسامی شرکت کنندگان در نمایشگاه جانبی کنگره

همزمان با کنگره، نمایشگاه جانبی با حضور شرکت‌ها و انجمن‌های فعال در زمینه آب و فاضلاب برگزار شد. اسامی شرکت کنندگان در اولین کنگره به شرح زیر است:

هامون نایزه، آب صنعت انرژی، سامان پالایش ایرانیان، مهندسين مشاور آبران، مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب اصفهان، زمین آب پی، ساباط انرژی پاک، اسپیناس، موج آب، پایگاه تحلیلی خبری آب ایران و کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

اسامی برندگان مسابقه پایان نامه برتر

اسامی برندگان مسابقه پایان نامه برتر در دو مقطع کارشناسی ارشد و دکتری در مراسم اختتامیه اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران اعلام شد و با اهدای جوایز، لوح تقدیر و تندیس کنگره از برندگان تجلیل شد (جدول ۱).

بیانیه پایانی کنگره

محورهای زیر در کنگره به عنوان خط و مشی مهم در پیشرفت صنعت آب و فاضلاب و رفع چالش‌های آن پیشنهاد شد:

تاکید و توجه به تعهدات بین‌المللی ایران در زمینه دسترسی

جدول ۱- اسامی برندگان مسابقه پایان نامه برتر

مقطع	نام و نام خانوادگی	عنوان رساله/پایان نامه	دانشگاه	استاد راهنما
کارشناسی ارشد	عیسی ابتهاج	مطالعه عددی انتقال رسوب در سیستم‌های فاضلاب	رازی کرمانشاه	دکتر بنکداری
	مهیار ابوطالبی	بهینه سازی چندهدفه شبکه پایش کیفی در سامانه رودخانه-مخزن در شرایط بروز آلاینده ناگهانی	تهران	دکتر بزرگ حداد
	فرشید رحمانی	بازسازی شبکه توزیع آب با رویکردهای اقتصادی و محیط زیستی	امیرکبیر	دکتر اردشیر
دکتری	اکبر شیرزاد	بهینه‌سازی چندهدفه شبکه‌های توزیع آب و ارائه مدلی جامع برای طراحی پویای این شبکه‌ها	تهران	دکتر تابش
	آذر اسدی	Hygienic water reuse from industrial wastewaters in a novel integrated membrane bioreactor capable for simultaneous CNP removal	رازی کرمانشاه	دکتر زینتی زاده و Prof. Mark Van Loosdrecht
	سید ارشاد مرادی	سنتز و اصلاح جاذب‌های شبکه آلی فلزی برای حذف برخی از آلاینده‌های آلی و فلزی از نمونه‌های پساب	یزد	دکتر حاجی شعبانی و دکتر دادفرنیا

خلاصه سه شماره بهار خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران در سال ۱۳۹۶

شرح مختصر مطالب سه شماره نخست خبرنامه که در فروردین، اردیبهشت و خردادماه سال ۱۳۹۶، منتشر شد، به قرار زیر است:

- ✿ مصاحبه با سرکار خانم دکتر نظیف، بازرس انجمن آب و فاضلاب ایران
- ✿ مصاحبه با جناب آقای دکتر رازقی، استاد بازنشسته و پیش‌کسوت صنعت آب و فاضلاب
- ✿ مصاحبه با جناب آقای مهندس پیراینده، دبیر انجمن آب و فاضلاب ایران و مدیر عامل شرکت مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب
- ✿ اخبار برگزاری دومین رویداد ایده‌بازار – فن‌بازار صنعت آب و فاضلاب با مشارکت علمی انجمن آب و فاضلاب ایران
- ✿ اخبار برگزاری جلسات شورای سیاست‌گذاری همایش ملی مدیریت مصرف و تلفات آب
- ✿ آغاز به کار سایت کنفرانس‌های انجمن
- ✿ شروع سری مسابقات خبرنامه همراه با اهداء جایزه
- ✿ برگزاری جلسه مجمع عمومی اتحادیه انجمن‌های علمی علوم آب و انتخاب انجمن آب و فاضلاب ایران به عنوان نایب رئیس
- ✿ تشکیل جلسات هیئت مدیره و کمیته تخصصی تلفات آب انجمن آب و فاضلاب ایران
- ✿ ملاقات با رئیس کمیته تخصصی سیستم‌های نوبتی آب انجمن جهانی آب (IWA)، مهندس پاکروح و مدیر مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری
- ✿ برگزاری جلسات هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب
- ✿ صدور و اعطای کارت‌های عضویت اعضا به صورت دوره‌ای
- ✿ معرفی کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی معتبر
- ✿ اشاره به مهم‌ترین اخبار صنعت
- ✿ معرفی تازه‌های علم و صنعت



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال دوم - شماره سوم - خردادماه ۱۳۹۶

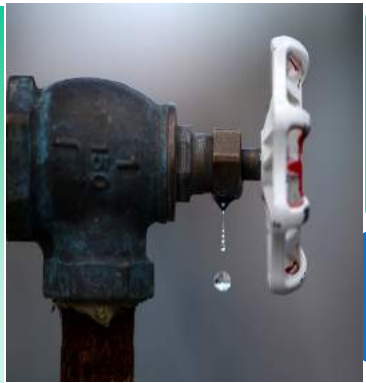
<http://irwwa.ir>

اطلاعات تماس:
info@irwwa.ir
۰۲۱-۸۸۴۹۱۳۹۰

نشانی پستی:
تهران، خیابان طالقانی، بین خیابان، قدس و وصال، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷

آدرس تلگرام:
<https://telegram.me/IRWWA94>

آدرس لینکدین:
<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>



مطالب این شماره:

- مصاحبه
- اخبار انجمن
- رویدادهای پیش‌رو
- تازه‌های علم
- اخبار صنعت

همکاران خبرنامه:
دکتر سارا نظیف
دکتر مسعود تابش
مهندس نیوشا رائی فقهی
مهندس سید احمدرضا شاهنکیان
سروش تابش

سخن اول:

آموزش متخصصان آب و فاضلاب در حوزه‌های مختلف چندین دهه است که در دانشگاه‌های کشور مدنظر قرار گرفته است ولی متأسفانه هنوز این متخصصان جایگاه خود را در صنعت آب و فاضلاب کشور پیدا نکرده‌اند. به نظر می‌رسد در بسیاری موارد این افراد با نیازها و واقعیتهای عملیاتی این صنعت آشنا نبوده و با صنعت اطمینان لازم را به این افراد برای بکارگیری آنها ندارد. فراهم کردن فرصتهای کارآموزی و انجام پروژه‌های دانشجویی در محیط شرکت‌های آب و فاضلاب می‌تواند گامی اساسی در رفع این معضل باشد که باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

برنده مسابقه شماره ۲: جناب آقای مهدی سلطانی، لطفاً برای دریافت هدیه از طریق ایمیل یا ما تماس بگیرید.

مسابقه شماره ۳:
به نظر شما بهترین گزینه برای مدیریت فاضلاب شهر تهران چیست؟

- ۱- حفظ سستی تخلیه به چاه‌های چسبی
- ۲- جمع آوری در تصفیه خانه‌های متمرکز و استفاده از خروجی برای دشتهای پایین دست
- ۳- جمع آوری و تصفیه در تصفیه خانه‌های محلی

استفاده از ساب برای تامین نیازهای محلی

شماره گزینه منتخب خود را به آدرس ایمیل comp.irwwa@gmail.com یا به آدرس ارسال فرمایید تا در قسمت subject ایمیل، شماره مسابقه را وارد نمایید. در پایان هر ماه به نفر برگزیده به فید فرجه هدیه‌ای اعلان می‌گردد.

انجمن آب و فاضلاب ایران از تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۰۱ توسط تعدادی از برجسته‌ترین استادان و پیش‌کسوتان حوزه مهندسی و علوم آب و فاضلاب کشور با مجوز کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تشکیل شد. پروانه تأسیس انجمن به شماره ۳/۲۱۰۶۱۹ مورخ ۱۳۹۴/۱۰/۷ توسط معاونت پژوهشی و فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری صادر گردید. در راستای ارتقای علوم آب و فاضلاب و ارتباط هرچه نزدیک‌تر با این صنعت، بر طبق اساس‌نامه اهداف متنوعی پیش‌بینی شده است که انجمن فعالیت‌های خود را در راستای تحقق آنها برنامه‌ریزی کرده است. در همین راستا، انجمن از سال ۱۳۹۵، اقدام به عضوگیری نموده و تاکنون بسیاری از اعضای هیئت علمی و دانشجویان دانشگاه‌های مختلف در رشته‌های مرتبط با علوم آب و فاضلاب و متخصصین صنعت آب و فاضلاب کشور به عضویت در انجمن درآمده‌اند. لذا از علاقه‌مندان به حوزه‌های مرتبط با علوم و صنعت آب و فاضلاب دعوت می‌شود تا برای شروع فرآیند عضویت خود در **انجمن آب و فاضلاب ایران**، از طریق لینک <http://irwwa.ir>، به سایت انجمن مراجعه نموده و با ایجاد حساب کاربری در سایت، اقدام به دریافت نام کاربری و رمز ورود اقدام کنند. سپس وارد حساب کاربری خود شده و گزینه عضویت را انتخاب نموده و با تکمیل فرم عضویت حقیقی، عضویت خود را در انجمن تکمیل فرمایید. مراحل پرداخت حق عضویت و اعطای کارت پس از ارسال ایمیل تأییدیه از سوی انجمن، شروع خواهد شد.

دعوت به پرداخت حق عضویت حقیقی

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

عضویت حقیقی			مزایای عضویت		عضویت حقوقی (شرکت‌ها)
پيوسته	وابسته	کوچک	متوسط	بزرگ	
٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن
-	-	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن
-	-	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن*
٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف خرید مقاله از مجلات انجمن
٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف خرید انتشارات انجمن
*	*	*	*	*	امکان صدور معرفی‌نامه عضویت در انجمن
*	*	*	*	*	اطلاع‌رسانی و امکان حضور در نشست‌ها، گردهمایی‌ها و کارگروه‌های انجمن
*	*	*	*	*	دسترسی به مقالات بارگذاری شده در سایت
*	*	*	*	*	دسترسی به آموزش‌های بارگذاری شده در سایت

از اعضای محترمی که وضعیت آن‌ها به‌عنوان عضو پیوسته / وابسته انجمن آب و فاضلاب ایران مورد تأیید قرار گرفته و فرآیند پذیرش آن‌ها تکمیل شده است، تقاضا می‌شود نسبت به واریز مبلغ ۲۰۰۰۰۰ ریال بابت صدور و ارسال کارت عضویت و همچنین مبلغ ۵۰۰۰۰۰ ریال بابت حق عضویت سال ۱۳۹۶ به حساب شماره ۱۳۵۷۲۰۶۲۳ با شماره شبای IR9301800000000000135720623 و یا شماره کارت مجازی ۵۸۵۸-۸۳۷۰-۶۲۵۶-۰۰۱۲ بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) به نام انجمن آب و فاضلاب ایران اقدام و اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن ارسال فرمایند.

همچنین حق عضویت با تأخیر مربوط به سال ۱۳۹۵ و پرداخت زود هنگام حق عضویت سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ تا قبل از پایان سال ۱۳۹۶ با تخفیف متعلقه عبارتند از:

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تأخیر سال ۱۳۹۵	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت با تخفیف سال ۱۳۹۷	۴۵۰۰۰۰
حق عضویت با تخفیف سال ۱۳۹۸	۴۰۰۰۰۰
هزینه صدور و ارسال کارت عضویت	۲۰۰۰۰۰

* هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۲۵۰۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۲۵۰۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۵۰۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۸۰۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

کنفرانس های داخلی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب	تهران، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور	۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶	http://iwwa-conf.ir/
هشتمین کنفرانس علمی پژوهشی آبخوانداری و مدیریت منابع آب و خاک	کرمان	۱۷ و ۱۸ بهمن ماه ۱۳۹۶	http://conf.isc.gov.ir/isiwe8
هفتمین کنفرانس منابع آب ایران	یزد	۴ و ۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷	http://confs.yazd.ac.ir/7wrmc
یازدهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران	تهران، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی عمران	۱۷ تا ۲۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷	http://11icce.ut.ac.ir/
هفدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران	شهرکرد	۱۴ و ۱۵ شهریور ماه ۱۳۹۷	http://conf.isc.gov.ir/17hydro96

کنفرانس های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
Sustainable Wastewater Treatment and Resource Recovery	Chongqing, China	7-10 November 2017	http://www.nrr-lwwtp2017.com/
8 th Specialized Conference on Sustainable Viticulture, Winery Wastes & Agri-industrial Wastewater Management	Viña del Mar, Chile	12-15 November 2017	http://www.winery2017.com/
IWA Water and Development Congress & Exhibition 2017	Buenos Aires, Argentina	13-16 November 2017	http://www.waterdevelopmentcongress.org/
Congresso IWA YWP Spain	Bilbao, Spain	16-18 November 2017	http://ywp-spain.es/
International Young Water Professional Conference	Cape Town, South Africa	10-13 December 2017	http://iwaywpcconference.org/
Water Resource Recovery Modelling 2018	Lac Beauport, Quebec City Region, Canada	10-14 March 2018	http://www.wrrmod2018.org/
IWA Biofilms: Granular Sludge System Conference 2018	Delft, Netherlands	18-21 March 2018	http://www.granularsludgeconference.org/
Water Loss 2018	Cape Town, South Africa	7-9 May 2018	http://www.waterloss2018.com/
10 th Eastern European IWA YWP Conference	Zagreb, Croatia	7-12 May 2018	http://www.iwa-network.org/events/10th-eastern-european-iwa-ywp-conference/
The 2 nd Disinfection and Disinfection By-Products Conference	Beijing, China	14-18 May 2018	http://www.iwa-network.org/events/the-2nd-disinfection-and-disinfection-by-products-conference/
Sludge Management in Circular Economy (SMICE)	Rome, Italy	23-25 May 2018	http://smice2018.com/
LET 2018 – The 15 th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies	Nanjing, China	27-31 May 2018	http://iwa-let.org/

**نگاهى به گذشته مهندسين مشاور دكتور مهندس غلامرضا كورس
و حال مهندسين مشاور آبران**



فيلتراسيون آب اهواز
۱۳۴۰



زنده ياد
دكتور كورس



بسترهاى فيلتر آب اهواز
۱۳۴۰



فاضلاب اصفهان
۱۳۴۰



سالن كامپيوتر
۱۳۵۲



تصفيه خانه فاضلاب جنوب غرب استان تهران
۱۳۹۶



انتقال آب از سد گرمى چاي به ميانه
در حال اجرا



تصفيه خانه آب اردبيل
۱۳۸۷



تصفيه خانه فاضلاب پردیس
۱۳۹۶

مهندسين مشاور آبران (سهامى خاص)

تهران ، خيابان شيخ بهايى شمالى ، خيابان كشفيان ، پلاك ۴۰

تلفن : ۳-۸۸۰۶۰۴۴۱ ، ۸۸۰۳۳۵۸۶ ، دورنگار : ۸۸۰۴۷۵۰۴

www.abrance.com
Tehran@abrance.com

مؤلف استاندارد ۳-۱۷ و ۳۰۸-الف

فعالیت اولیه از سال ۱۳۶۱ در راستای ادامه برنامه های تغییر و تحول در مؤسسه مهندس مشاور دکتر غلامرضا کورس (تاسیس سال ۱۳۳۲ بعنوان اولین مهندس مشاور کشور در طرحهای آب و فاضلاب شهری) با دارا بودن مسئولیت جابجائی و تکمیل پروژه های در دست اقدام بوده است.

گواهینامه تشخیص صلاحیت :

- پایه یک تخصص تاسیسات آب و فاضلاب
- پایه دو تخصص تاسیسات آب و فاضلاب
- پایه سه تخصص شبکه های آبیاری و زهکشی
- پایه سه ساختمانهای مسکونی ، اداری ، تجاری ، صنعتی و نظامی

عضویت در :

- جامعه مهندسان مشاور ایران
- (گروه تخصصی تاسیسات شهری)
- عضویت در اتاق بازرگانی و صنایع ایران و آلمان
- عضویت در انجمن بین المللی آب (IWA)
- انجمن متخصصین آب و فاضلاب
- عضویت در انجمن هیدرولیک ایران
- عضویت در انجمن مهندسی ارزش ایران



طراحی و نظارت بر اجرای تاسیسات انتقال ، تصفیه ، ذخیره و توزیع آب شرب



طراحی و نظارت بر اجرای تاسیسات جمع آوری ، تصفیه و دفع فاضلاب



مشارکت در تدوین استانداردها و ضوابط معتبر

- ۱- ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی
- ۲- راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن (نشریه ۳۰۸ الف)
- ۳- دستورالعمل حوادث و اتفاقات شبکه آبرسانی
- ۴- دستورالعمل برآورد هزینه و توجیه اقتصادی رفع تلفات فیزیکی
- ۵- دستورالعمل روش های کاربردی برای مقابله با نشت در شبکه های آبرسانی شهری



ISO 9001 : 2008 ISO 14001 : 2004 OHSAS18001: 2007

راهنمای نگارش و ارسال مقاله در سامانه مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب

✿ نویسنده مسئول مقاله به هنگام ثبت مقاله، فایل های

زیر را برای دفتر مجله از طریق سامانه ارسال می نماید:

- فایل Word مقاله بدون نام نویسندگان، که محل شکل ها و جدول ها را در متن مشخص کرده است اما شکل ها و جدول ها در انتهای متن ارائه شده اند.

- فایل pdf مقاله بدون نام نویسندگان که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل ها و جدول ها در جای خود جانمایی شده اند.

- فایل مشخصات نویسندگان.

- فایل کپی رایت که نامه ای است که نویسندگان با مضمون تعهد ارسال مقاله فقط برای مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب تهیه می کنند و با امضای کلیه مولفین با ترتیبی که قرار است چاپ شود، ارسال می نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).

✿ نرم افزار حروف چینی: نرم افزار Microsoft Word 2013

✿ عنوان: کوتاه اما معرف محتوای مقاله است و از ۱۵ واژه تجاوز نمی کند.

✿ نام نویسنده (گان): به همان ترتیبی که در مقاله چاپ می شود، در یک فایل جداگانه به طور کامل آورده می شود. عناوین دانشگاهی نویسنده (گان) به ترتیب نویسنده: مرتبه علمی، گروه، دانشکده، دانشگاه، شهر، کشور نشان داده می شود. عناوین غیر دانشگاهی نیز به ترتیب عنوان آخرین مدرک دانشگاهی، سمت، محل کار، شهر و کشور نشان داده شود. ثبت اسامی تمامی نویسندگان به همراه پست الکترونیکی و اطلاعات تماس ایشان در سامانه الزامی است. با توجه به سیستم الکترونیک مجله برای پیشبرد وضعیت مقالات، مقاله مستقیماً برای داور ارسال می شود، لذا تاکید می شود که فایل های ارسالی به مجله فاقد نام نویسنده (گان) باشد. در غیر این صورت تا اصلاح شدن فایل، ارسال مقاله برای داوران متوقف می شود.

✿ نام مؤسسه: نام مؤسسه در بخش فارسی و انگلیسی منطبق بر نام مصوب و رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات، دانشگاه ها، سازمان ها و ...).

✿ چکیده فارسی: شامل مقدمه، مواد و روش ها (روش

نویسندگان محترم پس از آماده سازی مقاله مطابق راهنمای تدوین مقالات، از طریق ثبت نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب به آدرس jwwse.ir می توانند وارد صفحه شخصی خود شده و با تکمیل بخش های مربوطه، مقاله خود را ارسال نمایند.

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

- ارسال مقاله منحصراً از طریق ثبت نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب انجام می شود.

- نویسنده ای که برای بار چندم اقدام به ارسال مقاله می نماید، حتماً باید از طریق صفحه شخصی قبلی خود نسبت به ارسال مقاله اقدام نموده و به هیچ عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.

- وارد کردن اسامی تمامی نویسندگان در سامانه و در محل مربوط به مشخصات نویسندگان مقاله، الزامی است.

- نویسندگان در طی مراحل ارسال مقاله، در قسمت نامه به سردبیر، متعهد می شوند که مقاله صرفاً برای مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب تهیه شده و برای چاپ یا ارزیابی به مجله دیگری ارائه نشده است.

- نویسندگان در قسمت ارسال فایل ها با ارسال یک فایل word که به امضای همه نویسندگان رسیده است، حق چاپ مقاله را به مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب واگذار می نمایند. در غیر این صورت مقاله در روند داوری قرار نخواهد گرفت.

- فایل هایی که نویسنده در مرحله اولیه ارسال می کنند شامل فایل word مقاله بدون نام نویسندگان، فایل Pdf بدون نام نویسندگان، فایل مشخصات کامل نویسندگان و فایل اصلی شکل ها در محیط نرم افزاری مربوطه است.

✿ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات

مجله علمی- ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب به زبان فارسی و با چکیده انگلیسی چاپ می شود. تعداد صفحات مقاله کامل و نیز مروری حداکثر ۱۲ صفحه و یادداشت فنی بین ۴ تا ۶ صفحه قابل چاپ است. لازم به ذکر است که مقاله ارسالی نباید همزمان در مجله دیگری چاپ شده یا تحت داوری باشد.

تحقیق)، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری است. حداقل تعداد کلمات در چکیده ۱۵۰ و حداکثر ۲۵۰ کلمه باشد.

🌀 **چکیده انگلیسی:** باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

🌀 **واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:** باید یکسان و شامل حداقل چهار و حداکثر شش واژه مجزا باشد که موضوع تحقیق، بیشتر پیرامون آنهاست.

🌀 **متن مقاله:** متن کامل مقاله در دو فایل جداگانه شامل یک فایل Word با قلم نازک B Nazanin با اندازه ۱۲ برای زبان فارسی و قلم Times New Roman با اندازه ۱۰ برای زبان انگلیسی و با فاصله بین خطوط ۱/۵ سانتیمتر به صورت تک ستونی و یک فایل با فرمت pdf ارائه می‌شود. فایل word مقاله، یک مقاله کامل و شامل تمامی اجزای ضروری است، با این تفاوت که محل ارائه تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در انتهای فایل word است و فقط محل ارجاع آن‌ها در متن اصلی جانمایی می‌شود. در فایل pdf، مقاله به صورت کامل و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه شود. همان‌طور که اشاره شد، در هر دو فایل word و pdf اسامی و مشخصات نویسندگان به طور کامل حذف می‌شوند.

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و همچنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش قدردانی و بخش پی‌نوشت‌ها در انتهای مقاله و قبل از بخش مراجع نوشته می‌شود. بخش‌های مختلف متن و همه صفحات و همین‌طور تمام سطرها به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

- معادل انگلیسی کلمات فارسی که نیاز به توضیح به زبان اصلی دارد، وقتی برای اولین بار در مقاله به کار می‌روند، به صورت پی‌نوشت در انتهای مقاله قبل از لیست مراجع درج می‌شوند. شماره پی‌نوشت‌ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می‌شود و به صورت مسلسل ادامه می‌یابد.

🌀 **جدول‌ها و شکل‌ها:** در صفحات جداگانه در انتهای فایل word مقاله با کیفیت مناسب چاپ ارائه می‌شوند. همه جدول‌ها و شکل‌ها شماره‌گذاری شده و عنوان جدول در بالای آن و عنوان شکل در زیر آن نوشته می‌شود. در عنوان جداول و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان‌های دبی آب خام در تصفیه‌خانه بابا شیخ علی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۵. در

ضمن اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگری اخذ شده است، به مرجع مورد نظر در آخر عنوان جدول یا شکل اشاره می‌شود و مشخصات مأخذ در بخش مراجع درج می‌شود. همچنین ارسال فایل اصلی شکل‌ها در محیط نرم‌افزاری به همراه کاربرگ داده‌های نمودار نیز ضروری است. در فایل pdf مقاله، تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در محل خودشان در متن مقاله جانمایی می‌شوند.

- در صورتی‌که در مقاله از عکس استفاده شده باشد، ارسال فایل اصلی آن الزامی است.

- در مورد نمودارهایی که با نرم‌افزارهای تخصصی تهیه شده‌اند، ارسال کاربرگ داده‌های رسم نمودار نیز ضروری است.

🌀 **معادلات:** معادلات به صورت خوانا با حروف و علائم مناسب با استفاده از Microsoft Equation تهیه می‌شوند. واحدها بر حسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

🌀 **مراجع:** نگارش مراجع در این مجله بر اساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت انگلیسی یا فارسی (نویسنده، سال) عمل می‌شود و در انتهای مقاله مرجع‌نویسی به صورت الفبایی است. ارجاع در داخل متن به بیش از یک مرجع در کنار هم، به این صورت است که مراجع با نقطه ویرگول (;) از هم جدا می‌شوند. لازم به ذکر است که همه مراجع فارسی انگلیسی به ترتیب ارائه می‌شوند. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن‌ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می‌شوند. تاکید می‌شود که در بخش فهرست مراجع نام تمامی مجلات، انتشارات، موسسات، کنفرانس‌ها و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری می‌شود. در متن مقاله نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می‌شود. در صورتی‌که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی‌که بیش از دو نفر باشند، از عبارت et al., (و همکاران) در متن مقاله استفاده می‌شود.

🌀 **مقاله غیر انگلیسی:**

تابش، م. بهبودیان، ص. و بیگی، س.، (۱۳۹۳)، «پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)»، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۰ (۳)، ۱۴-۲۵.

عنبری، م. (۱۳۹۲)، «تحلیل ریسک سیستم‌های فاضلاب با

استفاده از شبکه‌های بیزین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران-آب، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه
تهران، تهران، ایران.

🌀 مقاله انگلیسی:

Pasha Zanousi, S., Ayati, B., and Ganjidoost, H., (2010), "Investigation of tubifex worms potential in mass and volume reduction of sludge wastewater treatment plants in laboratory scale", *Journal of Water and Wastewater*, 24(4), 59-65.

🌀 مقاله منتشر نشده:

Foladori, P., Tamburini, S., and Bruni, L. (2017), "Bacteria permeabilisation and disruption caused by sludge reduction technologies evaluated by flow cytometry", *Journal of Water Research*, in press.

🌀 کتاب:

Briere, F.G., (2014), *Drinking-water distribution, sewage, and rainfall collection*, Presses Internationales Polytechnique, Paris.

🌀 بخشی از کتاب:

Meltzer, P.S., Kallioniemi, A., and Trent, J.M., (2002), "Chromosome alterations in human solid tumors", in: B.Vogelstein & K.W. Kinzler (eds.), *The genetic basis of human cancer*, pp. 93-113, McGraw-Hill, New York.

🌀 موسسه به جای نویسنده:

WHO, (2011), *Nitrate and nitrite in drinking-water-background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*, World Health Organization, Geneva.

🌀 مقالات کنفرانسی:

Murphy, L.J., Dandy, G.C., and Simpson, A.R., (1994), "Optimum design and operation of pumped water distribution systems", *Proceedings of the International Conference on Hydraulics in Civil Engineering*, Institution of Engineers, Brisbane, Australia, pp. 149-155.

🌀 پایان نامه:

Hashemi, S.S., (2010), "Optimization of water networks by minimizing pumping energy", MSc. Thesis, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran.

🌀 سایت اینترنتی:

Burka, L.P., (2003), "A hypertext history of multiuser dimensions", Viewed 5 Dec 2015, <http://www.ccs.neu.edu/>



شرکت آب و فاضلاب استان تهران



ISSN 2588-3941

Journal of Water & Wastewater Science and Engineering

Volume 2, No. 1, Spring 2017

Editorial	1
Technical Papers	
Optimizing Energy Consumption in Pumping Stations Using Darwin Scheduler	3
Javad Karami, Alireza Moghadam, Alireza Farid-Hosseini, Hossein Sanaee-Nejad and Ali Naghi Ziaei	
Economical Review of the Use of Thin Wall Ductile Iron Pipes Compared to Polymer and Composite pipes	13
Mehrdad Rashidzadeh	
Analysis and Evaluation of the Performance of Water Distribution Networks Using Performance Criteria and Certain and Fuzzy Stability index	21
Raziyeh Analooei, Masoud Taheriyoun and Hamid Reza Safavi	
Technical and Economic Aspects of Water Desalination Worldwide	28
Hamid Reza Rashidi, Mohammad Hossein Sarrafzadeh and Hashem Asghar-Nejad	
Optimization of Power-Water Cogeneration in Thermal Power Plants	38
Farshid Parhizkar and Omid Pour-Ali	
Pathology, Construction and Development Strategies of Wastewater Projects Implementation in Iran	46
Ali Asghar Ghane and Majid Ghanadi	
Effect of Using European Standard on Performance of Aerated Grit Chamber in Wastewater Treatment Plants	52
Shima Mardani and Mitra Hosseini Nazhvani	
General Section	
Idea Recall	55
Interview	56
Best Technology	62
Book Presentation	64
News	65