



ISSN 2588-3941

نشریه علمی - ترویجی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

نشریه علمی - ترویجی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

۲

مقالات علمی

۴ پنج‌مارکینگ آب بدون در آمد و محاسبه سطح اقتصادی نشت، مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
آسیه سادات ملاباشی، هاشم امینی و حسن غلامی

۱۴ برآورد هزینه نهایی تولید آب شرب شهر تهران
فاطمه مولائی و مرتضی تهمانی‌پور

۲۳ بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر تغییر ضریب زبری هیزن - ویلیامز لوله‌های چدنی در طول دوره بهره‌برداری
محمد کاظمی سوچلمایی و مسعود تابش

۳۵ بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با رویکرد بیشینه‌سازی سود (مطالعه موردی: هماشهر استان کرمان)
سعید خلیفه، کاظم اسماعیلی و حمید خلیفه

۴۴ مروری بر جاذب‌ها و نانوجاذب‌های طبیعی کیتوسان مورد استفاده در حذف آلاینده‌های فلزی آب
محمد حسین نوری شمسی، مصطفی جعفری و محمد شاهین

۶۱ ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه
یحیی چوپان، عباس خاشعی سیوکی و علی شهیدی

مطالب عمومی

۶۹ مصاحبه

۷۳ میزگرد

۸۲ پایان‌نامه برتر

۸۵ معرفی کتاب

۸۷ گزارش فعالیت‌های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۹۰۱۸/۳ 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

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

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 برنامه ریزی 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: مشاور مدیر عامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
دکتر احمد سیاحی: مدیرکل دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
مهندس عباس حاج حریری: معاون اسبق نظارت بر بهره برداری، شرکت آب و فاضلاب استان تهران

شورای سیاستگذاری
صنعت آب و فاضلاب

ناهید اختری

نیاز مهدی اصفهانی

انجمن آب و فاضلاب ایران

۱۰۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-395X

info@jwse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمابر:

:Online ISSN

:E-Mail

مقالات علمی

- ۱
- ۴ پنج‌مارکینگ آب بدون درآمد و محاسبه سطح اقتصادی نشت، مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب
استان اصفهان
آسیه سادات ملاباشی، هاشم امینی و حسن غلامی
- ۱۴ برآورد هزینه نهایی تولید آب شرب شهر تهران
فاطمه مولائی و مرتضی تهمی‌پور
- ۲۳ بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر تغییر ضریب زبری هیزن-ویلیامز لوله‌های چدنی در طول دوره بهره‌برداری
محمد کاظمی سوچلمایی و مسعود تابش
- ۳۵ بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با رویکرد بیشینه‌سازی سود (مطالعه موردی: همایش شهر استان کرمان)
سعید خلیفه، کاظم اسماعیلی و حمیدخلیفه
- ۴۴ مروری بر جاذب‌ها و نانوجاذب‌های طبیعی کیتوسان مورد استفاده در حذف آلاینده‌های فلزی آب
محمد حسین نوری شمسی، مصطفی جعفری و محمد شاهین
- ۶۱ ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه
یحیی چوپان، عباس خاشعی سیوکی و علی شهیدی

مطالب عمومی

- ۶۹ مصاحبه
- ۷۳ میزگرد
- ۸۲ پایان نامه برتر
- ۸۵ معرفی کتاب
- ۸۷ گزارش فعالیت‌های انجمن



دکتر مسعود تابش

وزارت نیرو منتشر شد. براساس این نشریه راه کارهای متنوعی برای کاهش آب بدون درآمد پیشنهاد شده است. راه کارهای کاهش هدررفت واقعی برحسب اولویت عبارتند از: افزایش کیفیت و سرعت تعمیرات، مدیریت فشار، نشت یابی و مدیریت نشت و بازسازی و نوسازی شبکه ها. همچنین راه کارهای کاهش هدررفت ظاهری شامل شناسایی و رفع مصارف غیرمجاز، بهبود مدیریت سیستم در امور مشترکین، کاهش یا حذف خطای پرسنلی از طریق آموزش و یا سیستم قرائت خودکار کنتورها و همچنین آزمایش کنتورها و تعویض کنتورهای خراب یا بی دقت است.

نکته مهم برای اجرایی کردن راه کارهای کاهش آب بدون درآمد وجود منابع مالی کافی برای این امر است. پس از گذشت دو دهه از شروع اقدامات عملی در زمینه مدیریت و کاهش آب بدون درآمد در سطح شرکت های آب و فاضلاب و کاهش میزان آن از حدود ۴۰-۵۰ درصد به ۲۵ درصد فعلی، کاهش بیشتر آب بدون درآمد هزینه های بیشتری را می طلبد به صورتی که مبلغ مورد نیاز برای کاهش ۱٪ از آب بدون درآمد حداقل ۵۰۰ میلیارد تومان برآورد شده است. متأسفانه در سال های اخیر به دلیل عدم وجود منابع مالی کافی، روند کاهش آب بدون درآمد در سطح کشور کند شده است.

از سوی دیگر در صورتی انگیزه لازم برای کاهش آب بدون درآمد در شرکت های آب و فاضلاب ایجاد می شود که سود ناشی از کاهش هدررفت و بازیابی آب، از هزینه های انجام شده بیشتر باشد. با در نظر گرفتن قیمت فروش آب برای هدررفت ظاهری و قیمت تمام شده برای هدررفت واقعی، متأسفانه در حال حاضر در بسیاری از موارد هزینه ها از درآمد ناشی از کاهش تلفات بیشتر است. بنابراین انجام بسیاری از راه کارهای کاهش هدررفت توجیه اقتصادی ندارد و فعالیت های کنونی، بیشتر با هدف حفظ حداقل منابع آبی موجود صورت می گیرد. در نتیجه با توجه به قیمت بسیار ناچیز آب در حال حاضر و عدم وجود درآمد کافی در شرکت های آب و فاضلاب، ادامه روند کنونی در بسیاری از موارد توجیه اقتصادی ندارد مگر این که نسبت به واقعی کردن قیمت آب اقدام عاجلی از سوی سیاست گزاران و تصمیم گیرندگان انجام شود. تاخیر و تعلل در خصوص تصمیم گیری در این امر موجب استهلاک بیشتر سامانه های آبرسانی کشور، عدم کاهش تلفات، از دست رفتن منابع آبی

همه ساله با فرارسیدن فصل تابستان و رخ نمودن کمبود آب در بسیاری از شهرها و روستاها مقوله آب بدون درآمد و هدررفت آب و ضرورت کاهش آن مورد توجه مسئولین، رسانه ها و مردم قرار می گیرد. آب بدون درآمد به مابه التفاوت میزان تولید و مصارف دارای قبض اتلاق شده که خود به سه بخش هدررفت ظاهری، هدررفت واقعی و مصارف مجاز بدون درآمد تقسیم بندی می شود. در هدررفت ظاهری که ناشی از انشعابات غیرمجاز، خطاهای مدیریتی، پرسنلی و ابزار اندازه گیری است آب توسط مصرف کننده به مصرف می رسد ولی به دلیل عدم شناخت مشترک مصرف کننده و محل آن، هزینه های آب توسط شرکت آب و فاضلاب قابل وصول نیست. در هدررفت واقعی که شامل نشت زمینه، شکستگی های گزارش شده و گزارش نشده و نشت و سرریز از مخازن است، آب قبل از رسیدن به دست مصرف کننده از سامانه خارج می شود. در این نوع تلفات، نه تنها هزینه های آب تولید شده به دست شرکت آب و فاضلاب نمی رسد بلکه به دلیل عدم پاسخگویی به بخشی از نیاز مشترکین، شرکت های آب و فاضلاب مجبور به سرمایه گذاری مجدد برای جبران کمبود آب هستند. مقدار متوسط آب بدون درآمد در کل کشور در حال حاضر از سوی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور حدود ۲۵٪ اعلام شده است (که به طور متوسط حدود ۶۰٪ این مقدار هدررفت واقعی و ۴۰٪ آن نیز هدررفت ظاهری است) و تا رسیدن به حد قابل قبول (۱۵٪) از نظر بانک جهانی، فاصله دارد.

برای شناخت و محاسبه عوامل موثر در آب بدون درآمد و راه کارهای کاهش آن نشریه ۵۵۶ در سال ۱۳۹۰ از سوی معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری و طرح استانداردهای

ارزشمند و حیاتی کشور و زیان اقتصادی بیشتر شرکت‌های آب و فاضلاب خواهد شد.

کمیته تخصصی "تلفات آب" انجمن آب و فاضلاب ایران که ۲ سال از آغاز به کار آن می‌گذرد با حضور با سابقه‌ترین اساتید، مدیران و کارشناسان در این حوزه تخصصی در نظر دارد از جوانب مختلف از جمله برنامه‌های آموزشی، پژوهشی، تدوین و بازنگری استانداردها و دستورالعمل‌ها، انتشار کتب و مجلات، برگزاری همایش‌های ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب، برگزاری کارگاه‌ها و میزگردهای تخصصی، علاوه بر افزایش دانش و بینش مدیران، کارشناسان، مشاورین و سازندگان و همچنین عموم مردم، مسائل مبتلابه در این موضوع را مورد بحث و بررسی قرار داده و نظرات، تجربیات و دستاوردهای خود را در اختیار جامعه کارشناسی، علمی و مدیریتی کشور قرار دهد. کلیه علاقه‌مندان به فعالیت در این حوزه می‌توانند از طریق عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران و انتخاب کمیته تخصصی تلفات آب و همچنین حضور در گروه water loss در فضای مجازی، در فعالیتهای این کمیته مشارکت نمایند.

استاد دانشگاه تهران، رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران و عضو هیئت تحریریه

Benchmarking Non-Revenue Water and Calculating Economic Leakage Level, Case Study: Isfahan Water and Wastewater Company

Asieh Sadat Mollabashi^{1*}, Hashem Amini² and Hasan Gholami³

1- Manager of NRW Reduction and Water Consumption Department of Isfahan Water and Wastewater Company

2- General Manager of Isfahan Water and Wastewater Company

3- Deputy of Operation of Isfahan Water and Wastewater Company

* Corresponding Author, Email: amollabashi@gmail.com

Received: 16/3/2018

Revised: 01/8/2018

Accepted: 18/8/2018

Abstract

Recognizing, calculating and planning for reducing Non-Revenue Water (NRW) has been one of the aims and plans in Iranian water and wastewater companies for more than two decades. In the meantime, Real Losses (RL), which constitute a major part of non-revenue water, are mainly due to leakage in various parts of the water supply systems and a large part of the NRW reduction activities is put to prevent and reduce RL. However, like other projects and activities, it should be implemented to the extent with economic justification. Since it is difficult to achieve a quick and practical method for calculating the economic leakage rate, the companies often use a reduction in the percentage of non-revenue water in their targeting. However according to the IWA, the use of percentage of NRW as a technical indicator is never been recommended. In this paper, followed by a quick review of the performance indicators of non-revenue water, the method of benchmarking of non-revenue water, targeting actions, and calculating the economic leakage level (ELL) are presented for a city in Isfahan province. In this city, the real loss was 7 times the economic level of leakage. Therefore, the real loss reduction measures were proposed and planned among which the active leak detection in 10-month interval was the priority due to high ILI.

Keywords: Active leakage detection, Benchmarking, Economic leakage level, Non-revenue water, Water real loss.

بنچ مارکینگ آب بدون درآمد و محاسبه سطح اقتصادی نشت، مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

آسیه سادات ملاباشی^{۱*}، هاشم امینی^۲ و حسن غلامی^۳

۱- مدیر دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

۲- رئیس هیأت مدیره و مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

۳- معاون بهره برداری شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
* نویسنده مسئول، ایمیل: amollabashi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۵

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۷

چکیده

شناخت، محاسبه و برنامه ریزی کاهش آب بدون درآمد (NRW) بیش از دو دهه است که در رؤس اهداف و برنامه های شرکت های آب و فاضلاب ایران قرار گرفته است. در این میان هدررفت های واقعی (RL) که قسمت عمده ای از آب بدون درآمد را تشکیل می دهد عمدتاً ناشی از نشت در قسمت های مختلف سیستم آبرسانی بوده که بخش بزرگی از فعالیت های کاهش NRW برای جلوگیری و کاهش آن صرف می شود. لیکن همچون سایر پروژه ها و فعالیت ها باید تا حدی انجام شود که توجیه اقتصادی داشته باشد. از آنجا که دستیابی به یک روش سریع و عملی برای محاسبه سطح اقتصادی نشت، مشکل است شرکت های آبفا اغلب از کاهش درصد آب بدون درآمد در هدف گذاری خود استفاده نموده اند که بنا به تأکید IWA استفاده از درصد NRW به عنوان یک شاخص فنی به هیچ عنوان توصیه نمی شود. در این مقاله ضمن مرور سریع و کلی شاخص های عملکردی آب بدون درآمد، روش بنچ مارکینگ آب بدون درآمد، هدف گذاری اقدامات و محاسبه سطح اقتصادی نشت (ELL) که به طور عملی در آبفای استان اصفهان و برای یک شهر انجام گرفته است، ارائه می شود. در شهر مذکور، هدررفت واقعی ۷ برابر سطح اقتصادی نشت بوده که با توجه به ILI بالا، اقدامات کاهش هدررفت واقعی که در رأس آنها نشت یابی فعال در بازه زمانی ۱۰ ماهه است، در برنامه عملیاتی آن شهر قرار گرفت.

کلمات کلیدی: آب بدون درآمد، بنچ مارکینگ، هدررفت واقعی آب، سطح اقتصادی نشت، نشت یابی فعال.

در اروپا، آسیا و آفریقا آزمایش کرد، ویرایش دوم شاخص‌ها در سال ۲۰۰۶ و طبق جدول ۱ پیشنهاد شد.

در هر دو ویرایش اول و دوم شاخص‌های عملکردی IWA، به‌طور واضح گفته می‌شود که بیان NRW به‌صورت درصدی از حجم ورودی سیستم نمی‌تواند برای ارزیابی راندمان مدیریت توزیع، شرایط زیرساختی و هدررفت استفاده شود. متأسفانه برخی کاربران که ادعا می‌کنند از روش IWA پیروی می‌کنند این نکته مهم را نادیده می‌گیرند. به‌طور خلاصه می‌توان استفاده مناسب و نامناسب از شاخص درصد NRW از حجم آب ورودی به سیستم را در جدول ۲ بیان نمود (Lambert et al., 2014).

۱-۲- پنج‌مارکینگ

به‌دنبال تعریف شاخص، مسئله پنج‌مارکینگ نیز مطرح می‌شود. پنج‌مارکینگ فرآیندی مستمر و سیستماتیک برای شناسایی، تحلیل و پیاده‌سازی بهترین اقداماتی است که منجر به ارتقای عملکرد می‌شود. به‌عبارت دیگر فرآیندی مداوم به‌منظور مقایسه عملیات است. اما منظور از مقایسه چیست؟ به‌طور کلی انواع پنج‌مارکینگ عبارت است از مقایسه چه چیزی؟ و مقایسه با چه چیزی؟

داده‌های پنج‌مارکینگ یک چارچوب برای هر شرکت برای رصد کردن اهداف و بهبود آن فراهم می‌کند. استفاده از داده‌های پنج‌مارکینگ یا آغاز فرایند اندازه‌گیری عملکرد می‌تواند کلیدی برای بهبود عملکرد باشد. IWA در سال ۲۰۰۸ پنج‌مارک‌های آب بدون درآمد را در دو دسته تقسیم کرد (Lambert et al., 2014):

پنج‌مارک اندازه‌گیری: مقایسه شاخص‌های عملکردی سیستم‌هایی که دارای مشخصه‌های متفاوتی هستند.

پنج‌مارک فرآیندی: شناسایی بهترین عملیات برای بهبود عملکرد

در سال ۲۰۱۰ مجدداً IWA این پنج‌مارک‌ها را به‌ترتیب با پنج‌مارک ارزیابی عملکرد و پنج‌مارک بهبود عملکرد جایگزین نمود. بدین ترتیب شاخص‌های عملکردی NRW و هدررفت آب به آسانی برای مقاصد زیر انتخاب می‌شوند:

- هدف‌گذاری و رصد نمودن یک سیستم و زیر سیستم‌ها.
- به‌عنوان مثال شاخص هدررفت واقعی اجتناب‌ناپذیر UARL.
- مقایسه فنی بین سیستم‌هایی که هر کدام مشخصه‌های خاص

امروزه تقاضای آب با توجه به رشد سریع جمعیت، تغییرات استانداردهای زندگی و توسعه صنایع در حال افزایش است در حالی که منابع آب تجدیدپذیر رو به کاهش هستند که منجر به چالش یا بحران آب و به‌طور ویژه در برخی از کشورهای جهان شده است. لذا مدیریت تقاضا و عرضه آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سطح تقاضای آب می‌تواند تا اندازه‌ای کاهش یابد، اگر هدررفت آب (مخصوصاً هدررفت واقعی) کاهش یابد. در کشورهای در حال توسعه مدیریت هدررفت آب با توجه به محدودیت‌های مالی، سطح پائین مهارت و تجربه و همچنین تکنولوژی به یک چالش تبدیل شده است. از طرف دیگر علاقه قابل‌توجهی در میان شرکت‌های آبی در کلیه کشورهای جهان برای تعیین سطح آب بدون درآمد (NRW) در سیستم آبرسانی و توزیع آب و سود حاصل از اقدامات کاهش آن وجود دارد (Kanakoudis and Gonelas, 2016).

برای اقدامات کاهش آب بدون درآمد همچون سایر اقدامات فنی نیاز به هدف‌گذاری، بررسی راندمان، اثربخشی و بهره‌وری بوده که برای بررسی این موارد نیاز به تعریف شاخص، پنج‌مارک و مقایسه آن‌ها است. در این مقاله ضمن مروری کوتاه بر شاخص‌های عملکردی آب بدون درآمد، محاسبه شاخص‌ها و تعیین سطح اقتصادی نشت در استان اصفهان انجام می‌شود. با توجه به بررسی انجام شده، محاسبه سطح اقتصادی نشت در ایران یا انجام نشده و یا در حد محدود و تئوریک بوده و نتایج آن منتشر نشده است. لذا به‌منظور توسعه آن در سطح کشور، در این مقاله نمونه عملی انجام شده در آبفای اصفهان، روش انجام و نتایج حاصل از آن ارائه می‌شود.

۱-۱- شاخص‌های عملکردی آب بدون درآمد

اولین شاخص‌های عملکردی سیستم‌های آبرسانی که شامل ۱۳۳ شاخص برای محدوده وسیعی از اقدامات سیستم‌های آبرسانی می‌شد توسط Alegre و همکاران ارائه شده بود به‌وسیله IWA در سال ۲۰۰۰ منتشر شد. در این میان مجموعه کوچکی از شاخص‌های عملکردی NRW و هدررفت که در سال ۱۹۹۹ توسط Lambert توسعه داده شده بود در میان این شاخص‌ها قرار گرفت (Lambert et al., 2014). بعد از آنکه IWA شاخص‌های ویرایش اول را در ۷۰ کشور داوطلب

جدول ۱- شاخص‌های عملکردی NRW طبق ویرایش دوم IWA (Lambert et al., 2014)

شاخص	گروه شاخص	واحد	توضیحات
NRW	مالی و اقتصادی	% درصدی از حجم ورودی سیستم	آسان‌ترین و متداول‌ترین راه برای ارزیابی NRW از نقطه نظر مالی و اقتصادی
NRW	مالی و اقتصادی	% درصدی از هزینه	یک شاخص نوآورانه که البته محاسبه آن برای ارزیابی زیرسیستم‌ها و DMAها سخت است.
هدرفت آب	بهره‌برداری	M ³ /con/year	کمتر از شاخص‌های هدررفت واقعی و هدررفت ظاهری به کار برده می‌شود.
هدرفت ظاهری	بهره‌برداری	% درصدی از آب توزیع شده	برای سیستم توزیع مناسب است. در ویرایش اول با واحد M ³ /con/year ارائه شده بود.
هدرفت ظاهری	بهره‌برداری	% درصدی از آب ورودی به سیستم	برای کنتورهای حجمی ورودی به سیستم مناسب است. در ویرایش اول با واحد M ³ /con/year ارائه شده بود.
هدرفت واقعی	بهره‌برداری	Lit/con/day	یک شاخص عملکردی که بسیار مناسب‌تر از شاخص درصد است. تراکم انشعابات یک عامل مهم تأثیرگذار در حجم نشت است.
هدرفت واقعی	بهره‌برداری	Lit/km/day	برای سیستم‌هایی که تراکم انشعاب بسیار کم است و طول شبکه یک عامل مهم و غالب است.
شاخص زیربنایی نشت ILI	بهره‌برداری	نسبت بین هدررفت واقعی موجود و برآورد حداقل هدررفت واقعی که از نظر فنی می‌تواند قابل دسترس باشد که به فشار شبکه، طول انشعاب و تراکم انشعابات بستگی دارد.	این شاخص کمک می‌کند که بتوان عواملی که به شرایط فیزیکی شبکه مرتبط نیستند که بر میزان نشت تأثیر قابل توجهی داشته باشند را حذف نمود. حداقل هدررفت واقعی که قابل دسترس باشد UARL (هدرفت اجتناب ناپذیر) نامیده می‌شود.
عدم کارایی استفاده از منابع آبی	منابع آبی	درصدی از آبی که وارد سیستم می‌شود و قبل از رسیدن به کنتور مشترکین از طریق نشت و سرریز هدر می‌رود.	شاخص زیست محیطی از هدررفت‌های آب. اما برای ارزیابی شرایط زیرساخت‌ها و هدررفت‌های اقتصادی آب مناسب نیست.

جدول ۲- موارد استفاده از شاخص درصد NRW از حجم آب ورودی به سیستم (Lambert et al., 2014)

نوع استفاده	کاربرد
نامناسب	مدیریت توزیع
	مدیریت هدررفت
مناسب	مالی
	اقتصادی
	مدیریت منابع آب

خود (تراکم انشعاب، طول انشعاب و فشار شبکه) را دارند. به عنوان مثال شاخص نشت زیربنایی ILI.

۱-۳- سطح اقتصادی نشت

از بین چهار فعالیت کاهش هدررفت واقعی، مدیریت دارایی و لوله‌ها که اغلب به صورت جایگزینی و تعویض لوله‌ها انجام می‌شود یک فعالیت دیربازده و پرهزینه (نیاز به سرمایه‌گذاری)

است. بنابراین به عنوان اقدام بلندمدت (long-run) شناخته شده و در عوض سه فعالیت مدیریت فشار، نشتیابی فعال و سرعت و کیفیت حوادث اقدامات زودبازده هستند که به عنوان اقدامات کوتاهمدت (short-run) لحاظ می‌شوند (Fantozzi and Lambert, 2008). به همین ترتیب محاسبات سطح اقتصادی نشت نیز در دو مرحله بلندمدت و کوتاهمدت انجام می‌پذیرد.

مدیریت فشار به عنوان یک اقدام بسیار سودمند و اثربخش است که تأثیر مستقیم بر روی کاهش نشت، کاهش هدررفت و کاهش مصرف دارد. از نظر اقتصادی تأثیر مدیریت فشار بر کاهش حوادث و میزان نشت به عنوان سود (کاهش هزینه) و تأثیر آن در کاهش مصرف به عنوان کاهش سود (کاهش درآمد) لحاظ می‌شود که باید در محاسبه سطح اقتصادی نشت مربوط به این فعالیت در کنار هزینه انجام این فعالیت لحاظ شود.

۲- مواد و روش‌ها

در سال ۲۰۰۵ مؤسسه بانک جهانی برای ارزیابی عملکرد مدیریت هدررفت آب، جدولی ارائه کرد که در آن برای کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته، ILI را در چهار محدوده طبقه‌بندی نموده که در هر محدوده وضعیت کلی زیرساخت ارائه شده است. این طبقه‌بندی در جدول ۳ ارائه شده است. این مؤسسه جدول ۴ را نیز ارائه نمود که اقداماتی را برای هر محدوده پیشنهاد کرده است (Lambert et al., 2014; Lambert and Taylor, 2010).

به طور کلی اقدامات کاهش هدررفت واقعی در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: مدیریت فشار، نشتیابی فعال، سرعت و کیفیت رفع حوادث و مدیریت دارایی و لوله‌ها شامل تعویض و اصلاح خطوط لوله. شکل ۱ تصویری نمادین از این فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. برای هر کدام از این اقدامات چهارگانه یک سطح اقتصادی وجود دارد که در فاصله بین UARL (هدررفت واقعی اجتناب‌ناپذیر) و CARL (هدررفت واقعی موجود) قرار دارد (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰).

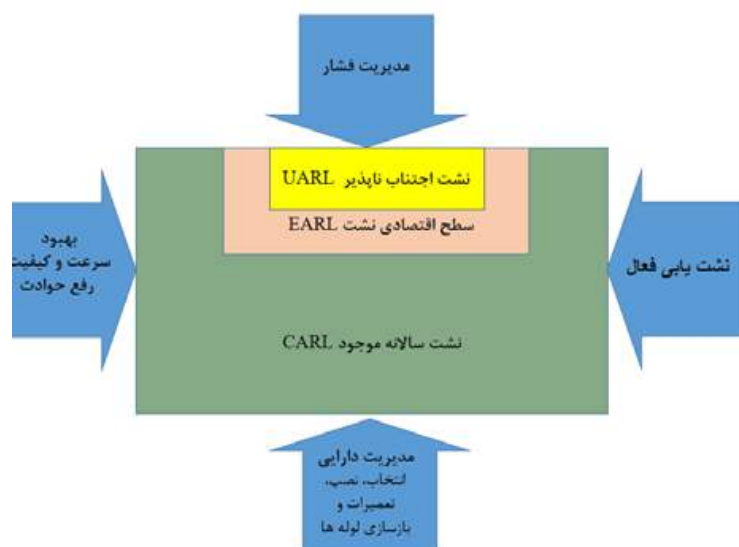
آنچه که در گام بعدی برای تمامی شهرها و از جمله شهرهای محدوده A باید انجام شود تعیین سطح اقتصادی نشت است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در هر شبکه آبرسانی، سطحی از مقدار هدررفت واقعی آب وجود دارد که کاهش هدررفت آب به پایین‌تر از این سطح به هیچ عنوان توجیه اقتصادی ندارد. هدف‌گذاری شرکت‌ها باید رسیدن به سطح اقتصادی نشت قرارگیرد. در محاسبه سطح اقتصادی نشتیابی فعال که به عنوان یک فعالیت تأثیرگذار کوتاهمدت در کاهش هدررفت واقعی محسوب می‌شود، کاهش میزان نشت به عنوان سود در کنار هزینه اجرای این فعالیت لحاظ می‌شود. نشتیابی فعال شامل دو فعالیت اصلی اندازه‌گیری جریان شبانه و عملیات نشتیابی است. شکل ۲ تصویری شماتیک از این فرایند نشتیابی فعال را نشان می‌دهد (Fantozzi and Lambert, 2008). بدین ترتیب که پس از انجام عملیات نشتیابی شبکه، با پایش پیوسته (و در صورت عدم امکان به صورت دوره‌ای) جریان شبانه اندازه‌گیری می‌شود. به طور

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص ILI توسط مؤسسه بانک جهانی (2005) (Lambert et al., 2014; Lambert and Taylor, 2010)

کشورهای در حال توسعه	کشورهای توسعه یافته	محدوده	نمای کلی مدیریت هدررفت واقعی
محدوده ILI	محدوده ILI		
< 4	< 2	A	کاهش بیشتر هدررفت ممکن است غیراقتصادی باشد، مگر در وضعیت کمبود آب. تحلیل دقیق‌تری برای بررسی اقتصادی لازم است.
4-8	2-4	B	امکان بهبود قابل توجه وجود دارد. مدیریت فشار، عملیات بهتر نشتیابی فعال و نگهداری شبکه انجام شود.
8-16	4-8	C	گزارشات ضعیفی از نشت وجود دارد. تنها اگر آب فراوان و ارزان بود قابل قبول است و گرنه تحلیل وضعیت نشت و تلاش‌های بیشتر برای کاهش نشت انجام شود.
16<	8<	D	استفاده ناکارآمد از منابع آب وجود دارد. برنامه‌های کاهش نشت امری ضروری و اولویت دار است.

جدول ۴- توصیه‌های موسسه بانک جهانی برای محدوده‌های تعریف شده ILI (2005)
(Lambert et al., 2014; Lambert and Taylor, 2010)

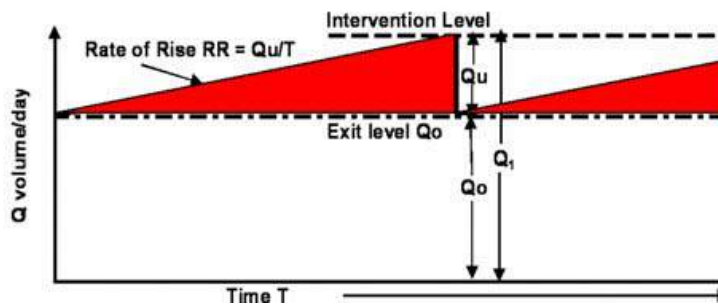
D	C	B	A	توصیه‌های بانک جهانی برای محدوده‌ها
	*	*	*	گزینه‌های مختلف مدیریت فشار بررسی شود
	*	*	*	سرعت و کیفیت تعمیرات بررسی شود
		*	*	فاصله زمانی اقتصادی عملیات نشت‌یابی بررسی شود
	*	*		کنترل فعال نشت انجام شود/بهبود داده شود
	*	*		گزینه‌های مختلف بهبود نگهداری شناسایی شود
		*	*	سطح اقتصادی نشت ارزیابی شود
	*	*		فاصله زمانی حوادث بازنگری شود
*	*	*		سیاست مدیریت دارایی بازنگری شود
*	*			ناکارایی نیروی انسانی، آموزش و ارتباطات رفع شود
*	*			برای رسیدن به محدوده قبلی برنامه‌ریزی ۵ ساله انجام شود
*				بازبینی اساسی کلیه فعالیت‌ها انجام شود



شکل ۱- اقدامات چهارگانه کاهش هدررفت واقعی (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰)

براساس نشت‌یابی فعال ارائه می‌شود فرض بر آن است که مدیریت فشار قبلاً انجام شده است. IWA در سال ۲۰۰۵ روابطی را ارائه نمود (روابط ۱ تا ۴) که با استفاده از آن‌ها می‌توان سطح اقتصادی نشت را محاسبه کرد (Lambert and Lalonde, 2005; Lambert and Fantozzi, 2005; Fanner and Lambert, 2009). اساس این روابط بر فاصله زمانی مداخله (عملیات نشت‌یابی) است که در آن هزینه

طبیعی در هر شبکه با گذشت زمان نشتی‌های کوچک و نامرئی ایجاد می‌شود که به تدریج باعث افزایش جریان شبانه می‌شود. جریان شبانه که به یک حدی رسید زمان آن است که باید مجدداً عملیات نشت‌یابی انجام شود. بنابراین نرخ افزایش جریان شبانه، هزینه عملیات نشت‌یابی و ارزش ریالی آب هدر رفته از جمله عواملی هستند که در محاسبه سطح اقتصادی نشت لحاظ می‌شوند. در محاسبات سطح اقتصادی نشت که



شکل ۲- تصویر شماتیک از افزایش نشت های گزارش نشده با گذشت زمان (Fantozzi and Lambert, 2008)

برای کلیه ۹۳ شهر تحت پوشش آبفا اصفهان آغاز شد. محاسبه این شاخص با استفاده از رابطه (۵) صورت گرفت (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰).

$$UARL = \left(18 \times \frac{L_m}{N_c} + 0.8 + 25 \times \frac{L_p}{N_c} \right) \times P \quad (5)$$

که L_m : طول شبکه (کیلومتر)، N_c : تعداد انشعابات، L_p : طول متوسط لوله انشعابات (متر) و P : فشار متوسط آب در شبکه (متر) هستند.

اگرچه محاسبات UARL با تخمین پارامترهای مختلف سیستم قابل انجام بود لیکن تلاش شد که تمامی پارامترها مقادیر واقعی و مستند باشند و این منجر شد که تنها برای ۴۹ شهر استان این شاخص محاسبه شود. فشار متوسط شبکه از سامانه فشارسنجی، طول متوسط انشعاب از نرم افزار نصب انشعاب و GIS و طول شبکه و تعداد انشعابات از سامانه های MIS و GIS استخراج شد. مواردی که باعث شد که امکان محاسبه شاخص UARL برای برخی از شهرها وجود نداشته باشد فقدان یا عدم قطعیت یکی از پارامترهای فشار متوسط شبکه، طول متوسط انشعاب یا طول کل شبکه بود. حتی در برخی از شهرها با وجود اطلاعات فشار شبکه، از آنجایی که محل نصب فشارسنجی در نقطه میانگین ناحیه (AZP) نبود، اطلاعات فشارسنجی قابل استناد و کاربرد برای محاسبه هدررفت واقعی سالانه اجتناب ناپذیر نبود.

محاسبه شاخص زیربنایی نشت (ILI) در ادامه پنج مارکینگ انجام گرفت که طبق رابطه (۶) قابل محاسبه است (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰):

$$ILI = CARL/UARL \quad (6)$$

نهایی نشت یابی فعال و ارزش آب هدر رفته با یکدیگر برابر باشد.

$$EIF = \sqrt{\left(0.798 \times \frac{CI}{CV \times RR} \right)} \quad (1)$$

که EIF: فاصله زمانی اقتصادی بین عملیات نشت یابی، RR: نرخ افزایش نشت (مترمکعب / روز در سال)، CI: هزینه نشت یابی (ریال) و CV: هزینه نهایی آب (ریال / مترمکعب) هستند.

$$EP (\%) = 100 \times \frac{12}{EIF} \quad (2)$$

که EP: مقدار درصد اقتصادی از سیستم آبرسانی است که باید سالانه پایش شود و EIF: فاصله زمانی اقتصادی بین عملیات نشت یابی است.

$$ABI (\text{ریال}) = EP (\%) \times CI \quad (3)$$

که ABI: بودجه سالانه برای عملیات نشت یابی (بدون هزینه های تعمیر)، EP: مقدار درصد اقتصادی از سیستم آبرسانی که باید سالانه پایش شود و CI: هزینه نشت یابی (ریال) هستند.

$$EURL (m^3) = ABI / CV \quad (4)$$

که EURL: سطح اقتصادی هدررفت واقعی گزارش نشده، ABI: بودجه سالانه برای عملیات نشت یابی و CV: هزینه نهایی آب (ریال) هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پنج مارکینگ آب بدون درآمد در آبفای استان اصفهان

در استان اصفهان پنج مارکینگ با تعیین شاخص های هدررفت واقعی اجتناب ناپذیر (UARL) و شاخص نشت زیربنایی (ILI)

که *CARL*: مقدار سالانه هدررفت واقعی است. این پارامتر در محاسبه شاخص *ILI* از جدول بالانس سالانه هرکدام از شهرها استخراج شد. در شکل ۳ شاخص *ILI* برای ۴۹ شهر استان اصفهان ارائه شده است.

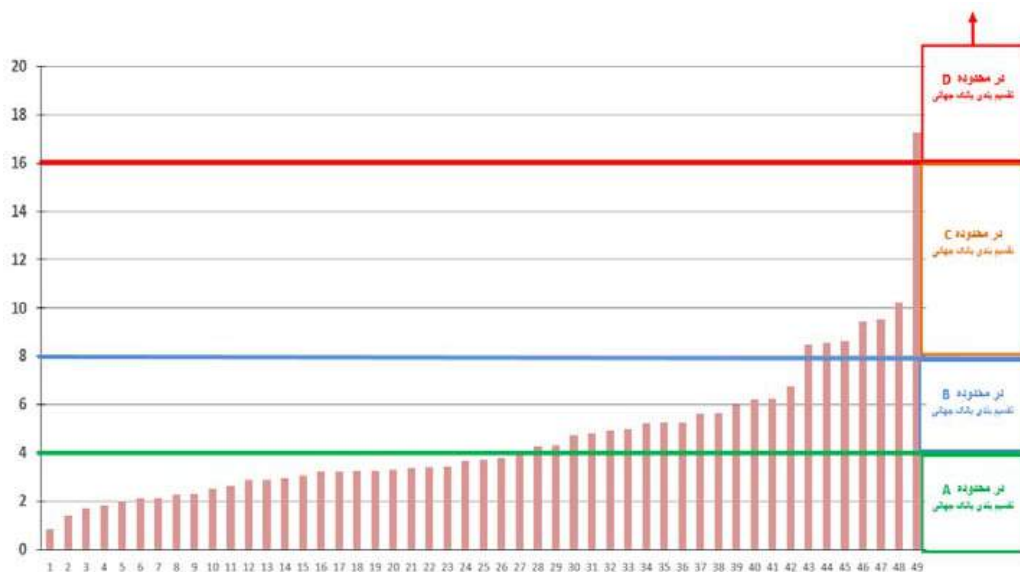
همان‌طور که قبلاً ذکر شد طبق توصیه *IWA* در بررسی فنی آب بدون درآمد از شاخص درصد نباید به هیچ عنوان استفاده کرد. زیرا میزان آب بدون درآمد وابستگی بسیار زیادی به شرایط فیزیکی شبکه دارد. در آبفای اصفهان برای ۴۹ شهری که شاخص *ILI* برای آن‌ها محاسبه شده بود بررسی اجمالی بین شاخص *ILI* و درصد *NRW* انجام گرفت که در نمودار شکل ۴ این مقایسه برای تعدادی از شهرهای مذکور ارائه شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که شاخص *ILI* و درصد *NRW* از یکدیگر تبعیت نمی‌کنند، اگرچه در تعداد محدودی از شهرها تا حدی این تبعیت به چشم می‌آید ولی در شهری که درصد *NRW* حدود ۳۰ درصد و تصور می‌شود که آب بدون درآمد بالایی دارد، مقدار *ILI* برابر ۲/۱ (محدوده A) محاسبه شده که طبق دسته‌بندی بانک جهانی شرایط نسبی خوبی دارد. عکس این قضیه هم وجود دارد. در شهری که آب بدون درآمد ۲۰ درصد بوده و به‌نظر می‌رسد که شرایط نسبتاً خوبی دارد، مقدار *ILI* برابر ۱۷/۲ (محدوده D) محاسبه شده که طبق جدول ۳ در شرایط اولویت‌دار برای اقدامات کاهش آب بدون درآمد باید قرار می‌گیرد.

همان‌طور که گفته شد پنج‌مارکینگ آب بدون درآمد در

آبفای اصفهان با محاسبه شاخص‌ها آغاز شد. *UARL* محاسبه شده برای شهرها نشان داد که بخشی از هدررفت که به شرایط فیزیکی شبکه بستگی دارد غیرقابل اجتناب است، لیکن همین میزان هدررفت با مدیریت فشار و کاهش فشارهای بالا در شبکه قابل کاهش است. از طرف دیگر، با محاسبه *ILI* امکان مقایسه وضعیت نشت با معیارهای ارائه شده توسط بانک جهانی ایجاد شد. طبق الگوی ارائه شده توسط بانک جهانی بیش از نیمی از شهرهای بررسی شده در وضعیتی قرار دارند که اقدامات کاهش هدررفت ممکن است اقتصادی به‌نظر نیاید (محدوده A جدول ۳)، لیکن با توجه به شرایط بحران آب لازم است با برآورد اقتصادی، بازه زمانی اقدامات کاهش هدررفت (به‌عنوان مثال نشت‌یابی) انجام پذیرد. به‌همین ترتیب شهرهایی که در محدوده‌های B و C قرار گرفته‌اند نیاز به توجه بیشتر و اقدامات وسیع‌تر دارند. لیکن شهری که در محدوده D واقع شده باید در اولویت استان قرار گیرد و تمامی فعالیت‌های کاهش هدررفت به‌طور جدی و پیوسته در آن شهر صورت پذیرد.

۳-۲- سطح اقتصادی نشت

در ادامه پنج‌مارکینگ در آبفای استان اصفهان، نشت‌یابی فعال به‌عنوان یک اقدام کاهش هدررفت واقعی آغاز شده است، اگرچه با توجه به گستردگی استان و تعدد شهرهای تحت پوشش، این اقدام به‌کندی انجام می‌گیرد و در حال حاضر تنها برای تعداد بسیار محدودی از شهرها انجام پذیرفته است.



شکل ۳- شاخص *ILI* شبکه توزیع آب تعدادی از شهرهای استان اصفهان در سال ۱۳۹۵

بدین منظور محاسبه سطح اقتصادی نشت نیز در دست انجام است. با توجه به نوپا بودن این مطالعات، برخی از موارد لازم برای محاسبات در طی زمان و با مانیتورینگ پیوسته و اقدامات مداخله‌ای باید استحصال شود. در ادامه این مقاله به محاسبات سطح اقتصادی نشتیابی فعال که در آبفای استان اصفهان در دست انجام است پرداخته می‌شود.

برای محاسبه سطح اقتصادی نشت باید اقدامات زیر صورت پذیرد:

- انجام عملیات نشتیابی شهر یا زون به‌طور کامل
- اندازه‌گیری جریان شبانه بلافاصله بعد از اتمام عملیات نشتیابی
- رصد کردن جریان شبانه به‌طور مداوم و یا حداقل در بازه‌های زمانی خاص
- محاسبه نرخ افزایش نشت‌های گزارش نشده (افزایش جریان شبانه)

- محاسبه سطح اقتصادی هدررفت واقعی

گام‌های فوق برای یکی از شهرهای استان اصفهان انجام گرفت. بعد از عملیات نشتیابی کل شهر برفانبار، واقع در منطقه فریدون‌شهر، که در طی آن چندین فقره نشتی روی خطوط شبکه و انشعاب شناسایی و تعمیر شد، اندازه‌گیری جریان شبانه انجام شد. از آنجا که این فرایند تازه آغاز شده است و برای محاسبه نرخ افزایش نشت (RR) نیاز به گذشت

یک بازه زمانی حداقل یک‌ساله و اندازه‌گیری مجدد جریان شبانه است، این پارامتر به‌صورت تخمینی لحاظ شد. برای تخمین این پارامتر از آمار نشتی‌های شناسایی شده در طی عملیات نشتیابی استفاده و فرض می‌شود که نیمی از این نشتی‌ها مجدداً در طی بازه زمانی مورد نظر رخ خواهند داد. با احتساب هزینه نشتیابی (CI) در این شهر برابر ۱۹۲۶۰۰۰۰۰ ریال و هزینه تمام شده آب (CV) برابر ۱۳۴۰۵ ریال برای هر مترمکعب آب، محاسبات مقدار اقتصادی هدررفت واقعی، طبق روابط ۱ تا ۴، به ترتیب زیر انجام گرفت:

$$EIF = \sqrt{\left(0.798 \times \frac{192600000}{13405 \times 116.6}\right)} = 9.9 \cong 10 \text{ ماه}$$

$$EP = 100 \times 12/10 = 120 \%$$

$$ABI = 1.2 \times 192600000 = 231120000 \text{ ریال}$$

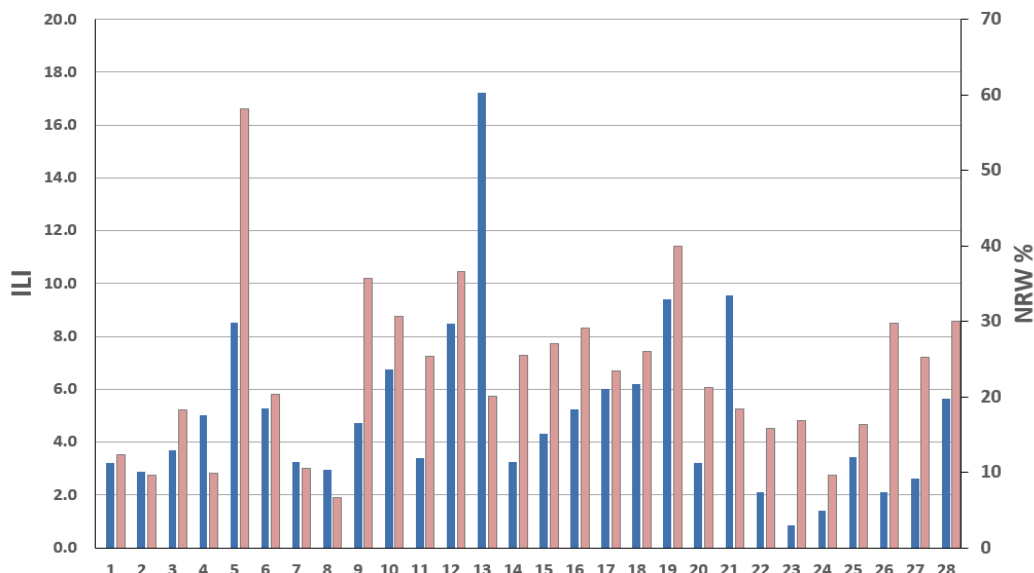
$$EURL (m^3) = 231120000 / 13405 = 17241 m^3$$

$$m^3/h = 20/14 \text{ = جریان شبانه اندازه‌گیری شده بعد از عملیات نشتیابی}$$

$$m^3/h = 25 \text{ = جریان شبانه تخمین زده شده (بر اساس نشتی‌های رفع شده) بعد از یک سال}$$

$$(m^3/day) = 116/6 \text{ = افزایش جریان شبانه}$$

$$(RR) = 116/6 (m^3/day/year) \text{ نرخ افزایش نشت}$$

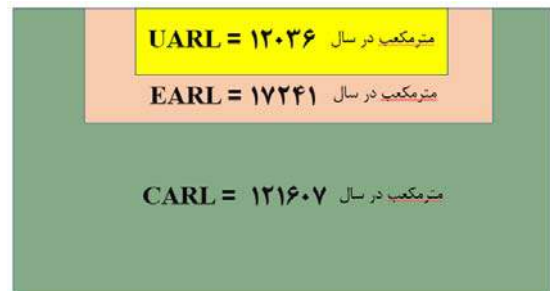


شکل ۴- مقایسه وضعیت شاخص ILI و درصد NRW شبکه توزیع آب تعدادی از شهرهای استان اصفهان در سال ۱۳۹۵

با توجه به محاسبات فوق مقدار اقتصادی هدررفت واقعی در شهر مذکور و با متوسط فشار موجود برابر ۱۷۲۴۱ مترمکعب است که می‌تواند به‌عنوان هدف در این شهر در نظر گرفته داده شود. مقادیر هدررفت اجتناب‌ناپذیر، هدررفت اقتصادی و هدررفت موجود در این شهر به‌صورت شماتیک در شکل ۵ مشاهده می‌شود. مقدار هدررفت واقعی این شهر در سال هفتم برابر مقدار هدررفت واقعی اقتصادی بوده است و با وجود شاخص ILI برابر ۱۰ این شهر طبق جدول طبقه‌بندی ارائه شده از سوی بانک جهانی، لازم است که اقدامات کاهش هدررفت واقعی در این شهر توسعه یابد. ضمن آن‌که عملیات نشت‌یابی باید در فاصله‌های ۱۰ ماهه انجام پذیرد، اقدامات دیگر همچون مدیریت فشار، بهبود وضعیت و کاهش زمان رفع حوادث، اصلاح لوله‌های شبکه، بررسی وضعیت نشت و سرریز مخازن در دستور کار قرار می‌گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

بنچ‌مارکینگ آب بدون درآمد برای کلیه ۹۳ شهر تحت پوشش آبفا اصفهان با محاسبه شاخص ILI آغاز شده و تلاش شد که تمامی پارامترها مقادیر واقعی و مستند باشند. لیکن فقدان یا عدم قطعیت یکی از پارامترهای فشار متوسط شبکه، طول



شکل ۵- مقادیر نشت اجتناب‌ناپذیر، سطح اقتصادی نشت و مقدار نشت سالانه موجود در شهر برف‌انبار در منطقه فریدون‌شهر استان اصفهان در سال ۱۳۹۵

متوسط انشعاب، طول کل شبکه و یا عدم انتخاب نقطه میانگین ناحیه (AZP) به‌عنوان محل نصب فشارسنجی، سبب شد که تنها برای ۴۹ شهر استان این شاخص محاسبه شود. بررسی اجمالی بین شاخص ILI و درصد NRW نشان داد که شاخص ILI و درصد NRW از یکدیگر تبعیت نمی‌کنند و طبق توصیه

IWA، در بررسی فنی آب بدون درآمد از شاخص درصد به هیچ عنوان نباید استفاده شود، زیرا میزان آب بدون درآمد وابستگی بسیار زیادی به شرایط فیزیکی شبکه دارد.

طبق الگوی ارائه شده توسط بانک جهانی بیش از نیمی از شهرهای بررسی شده در وضعیتی قرار دارند که اقدامات کاهش هدررفت ممکن است اقتصادی به‌نظر نرسد (محدوده A جدول ۳)، لیکن با توجه به شرایط بحران آب لازم است با برآورد اقتصادی، اقدامات کاهش هدررفت (به‌عنوان مثال محاسبه بازه زمانی نشت‌یابی فعال) انجام پذیرد. به‌همین ترتیب شهرهایی که در محدوده‌های B و C قرار گرفته‌اند نیاز به توجه بیشتر و اقدامات وسیع‌تر دارند. لیکن شهری که در محدوده D واقع شده باید در اولویت استان قرار گیرد و تمامی فعالیت‌های کاهش هدر رفت به‌طور جدی و پیوسته در آن شهر صورت پذیرد.

در ادامه بنچ‌مارکینگ در آبفای استان اصفهان، نشت‌یابی فعال به‌عنوان یک اقدام کاهش هدررفت واقعی آغاز شده است لیکن آنچه که برای تمامی شهرها و از جمله شهرهای محدوده A باید انجام شود تعیین سطح اقتصادی نشت است که برای یکی از شهرهای تحت پوشش آبفا استان اصفهان انجام شد. بعد از عملیات نشت‌یابی کل شهر برف‌انبار، واقع در منطقه فریدون‌شهر، که در طی آن چندین فقره نشتی روی خطوط شبکه و انشعاب شناسایی و تعمیر شد، اندازه‌گیری جریان شبانه انجام و سپس با استفاده از روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ مقدار اقتصادی نشت برابر ۱۷۲۴۱ مترمکعب در سال و فاصله زمانی بین دو نشت‌یابی فعال در این شهر ۱۰ ماه محاسبه شد. طبق جدول طبقه‌بندی ارائه شده از سوی بانک جهانی، با وجود شاخص ILI برابر ۱۰ در این شهر، لازم است که اقدامات کاهش هدررفت واقعی در این شهر توسعه یابد. ضمن آن‌که عملیات نشت‌یابی باید در فاصله‌های ۱۰ ماهه انجام پذیرد، اقدامات دیگر همچون مدیریت فشار، بهبود وضعیت و کاهش زمان رفع حوادث، اصلاح لوله‌های شبکه، بررسی وضعیت نشت و سرریز مخازن باید در دستور کار قرار گیرد.

۵- مراجع

معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۰)، "راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و

راهکارهای کاهش آن»، نشریه ۵۵۶ (نشریه ۳۰۸-الف، طرح استانداردهای وزارت نیرو).

- Fanner, P., and Lambert, A., (2009), "Calculating SRELL with pressure management, active leakage control and leak run-time options, with confidence limits", *IWA International Conference, Water Loss 2009*, Rethymno, London, 373-380.
- Fantozzi, M., and Lambert, A., (2008), "Recent developments in predicting the benefits and payback periods of introducing different pressure management options into a zone or small distribution system", *Second International Conference on Water Loss Management, Telemetry and SCADA in Water Distribution Systems*, Ohrid, Macedonia.
- Kanakoudis, V. and Gonelas, K., (2016), "Analysis and calculation of the short and long run economic leakage level in a water distribution system", *Journal of Water Utility*, 12, 57-66.
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., and Galea St John, S., (2014), "14 years experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe", *Water Loss 2014 Symposium*, Vienna, Austria, 30 March - 2 April.
- Lambert, A., and Taylor, R., (2010), *Water loss guidelines*, Water New Zealand, New Zealand Water and Wastewater Association, Vienna, Austria.
- Lambert, A., and Lalonde, A., (2005), "Using practical predictions of economic intervention frequency to calculate short-run economic leakage level, with or without pressure management", *Leakage 2005 Conference*, Halifax, Canada.
- Lambert, A., and Fantozzi, M., (2005), "Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels", *IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance*, Rethymno, Greece, 8-10 July.

Estimation the Marginal Cost of Production of Drinking Water in Tehran

Fateme Molaei^{1*} and Morteza Tahamipour²

1- M.A. in Economic Systems Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Faculty of Economics and Political Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author, Email: fa.molaei67@gmail.com

Received: 16/4/2018

Revised: 24/7/2018

Accepted: 18/8/2018

برآورد هزینه نهایی تولید آب شرب شهر تهران

فاطمه مولائی^{۱*} و مرتضی تهامی پور^۲

۱- کارشناسی ارشد رشته برنامه ریزی سیستم های اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: fa.molaei67@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۷

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۷

Abstract

The main objective of this paper is to determine the cost structure of the companies in charge of water production and distribution and to estimate the marginal cost of production of drinking water in Tehran. For this purpose, the Translog cost function is used to estimate the cost of production, transmission and distribution of water in Tehran Water and Wastewater Company. Analysis framework is based on a seemingly unrelated regression system. Time series data for the period of 1997-2012 has been used in this study. The results indicated that the labor, raw materials and other services inputs are substitute sand labor and capital inputs are complements. Results also showed that product cost elasticity is greater than unit and a diminishing returns to scale exists in Tehran Water and Wastewater Company. Finally, by using the calculated parameters and objective of minimizing the total cost of production, transmission and distribution of drinking water, the optimal production capacity in drinking water is calculated for Tehran. The results showed that, the optimal production capacity in Tehran drinking water is 376.15 MCM per year.

Keywords: Drinking water, Optimal production capacity, Return to scale, Stretching the production cost of the product, Time series data, Translog cost function.

چکیده

هدف اصلی این مقاله تعیین ظرفیت تولید بهینه آب در مصارف شرب شهر تهران است. به این منظور از فرم تابع هزینه ترانسلوگ برای برآورد تابع هزینه تولید، انتقال و توزیع آب در شرکت آب و فاضلاب استان تهران استفاده شده است. چارچوب تجزیه و تحلیل بر مبنای سیستم معادلات به ظاهر نامرتبط است و از داده های سری زمانی مربوط به دوره ۱۳۷۶-۱۳۹۳ استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق، نشان دهنده جانشین بودن نهاده های نیروی کار، مواد اولیه و سایر خدمات و مکمل بودن نهاده های نیروی کار و سرمایه است. نتایج محاسبه کشش هزینه تولید نسبت به محصول و شاخص بازدهی نسبت به مقیاس، نشان دهنده این است که کشش هزینه تولید نسبت به محصول بزرگ تر از یک بوده و بازدهی نزولی نسبت به مقیاس در شرکت آب و فاضلاب استان تهران وجود دارد. نهایتاً با بهره گیری از پارامترهای محاسبه شده و شرط حداقل سازی هزینه کل تولید، انتقال و توزیع آب شرب، ظرفیت تولید بهینه آب در مصارف شرب شهر تهران محاسبه شده است. نتایج نشان داد که ظرفیت تولید بهینه آب شرب شهر تهران ۳۷۶/۱۵ میلیون مترمکعب در سال می باشد.

واژه های کلیدی: ظرفیت تولید بهینه، تابع هزینه ترانسلوگ، داده های سری زمانی، آب شرب، کشش هزینه تولید نسبت به محصول، بازدهی نسبت به مقیاس.

کشورهای کم‌درآمد فشار فزاینده‌ای بر روی شبکه‌های عرضه آب وجود دارد و بنگاه‌های متولی عرضه و تأمین آب تحت نظارت مستقیم دولت هستند. بنابراین، مدیریت صحیح این شبکه‌ها از اهمیت حیاتی برخوردار است (خداپرست مشهدی و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از راهکارهای موثر برای مدیریت صحیح شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع آب تعیین ظرفیت بهینه تولید آب در این شبکه‌ها است. با این امر هزینه‌های تولید، انتقال و توزیع آب شرب حداقل شده و بنگاه‌ها از ضرر و زیان‌های گزافی که ممکن است به دلیل وجود شرایط انحصار طبیعی، بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس تولید، تأسیسات و شبکه‌های فرسوده و مستهلک موجود و ... به آن‌ها تحمیل شود، مصون می‌مانند. خداپرست مشهدی و همکاران (۱۳۹۳) ساختار هزینه بنگاه دو محصولی در استان مرکزی با استفاده از داده‌های مربوط به دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۰ و به‌کارگیری تابع ترانسلوگ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نیروی کار و سرمایه در فرآیند عرضه آب جانشین بوده و صرفه‌های ناشی از مقیاس در بخش غیرخانگی در شهرهای صنعتی استان مرکزی وجود دارد. در مطالعه میزبان و کریمی (۱۳۹۱)، ساختار هزینه فرآیند عرضه آب شرکت آب و فاضلاب شیراز با استفاده از داده‌های سری زمانی فصلی ۱۳۷۸-۱۳۸۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس در شرکت مذکور وجود دارد. همچنین شاخص پیشرفت تکنولوژی حاکی از کاهش هزینه در نتیجه پیشرفت تکنولوژی و شاخص رشد بهره‌وری نشان‌دهنده وجود رشد بهره‌وری در طول دوره مورد مطالعه است. Kim (1987) در مطالعه‌ای، به بررسی یک تابع هزینه چندمحصولی، با استفاده از داده‌های تابلویی ۶۰ شرکت تسهیلات آب آمریکا و تابع هزینه ترانسلوگ پرداخت. نتایج نشان داد در بیشتر مقادیر تولید، بازدهی صعودی نسبت به مقیاس وجود دارد. Fara (2005) تابع تولید کاب داگلاس شرکت‌های دولتی و خصوصی عرضه آب در برزیل را با روش حداکثر راست‌نمایی برآورد نمود. نتایج نشان داد که شرکت‌های خصوصی عرضه آب نسبت به شرکت‌های دولتی از کارایی بیشتری برخوردارند. (Martinz Fortunato and Coelho (2006 فرم تابعی درجه سوم تابع هزینه آب و فاضلاب در کشور پرتغال در سه سطح، تولید متوسط صنعت، تولید حداقل مقیاس کارا و تولید در مقیاس بزرگ را با روش حداقل مربعات معمولی برآورد کردند. نتایج نشان داد که برای تولید

استان تهران با وسعتی حدود ۱۳۶۹۲ کیلومتر مربع (۰/۸۸ درصد مساحت کشور) دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک است. این استان با حجم منابع آب تجدیدشونده حدود ۳/۴ درصد کشور، بیش از ۱۸/۶ درصد از جمعیت کشور را در خود جای داده است (گزارش سیمای آب شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۲). میزان بارش استان تهران در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۲۴۳ میلیمتر بوده است که نسبت به سال آبی پیش از آن ۱۴ درصد کاهش داشته است. همچنین آمار نمایان‌گر بیش از ۳۰ درصد کاهش در مقایسه با دوره متوسط بلندمدت ۴۷ ساله است (شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۳). آلودگی قابل توجه منابع محدود آب، راندمان پائین تأسیسات توزیع و انتقال آب در بخش شرب و کشاورزی، افت کمی و کیفی آبخوان‌های استان به جهت تشدید میزان برداشت بی‌رویه، عدم تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، بروز پدیده فرونشست زمین و شرایط نامطلوب استان از منظر شاخص بهره‌مندی جمعیت از تأسیسات جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و غیره نشان‌دهنده شرایط پرمخاطره و بحرانی استان است و موجب تمرکز دولت‌مردان و عوامل مربوطه بر روی مدیریت تقاضا و عرضه منابع آبی می‌شود. (Awad (2012 معتقد است که باید با آب به‌عنوان یک منبع اقتصادی برخورد شود و این امر برای ارتقای کارایی اقتصادی استفاده از آب الزامی است. بنابراین لازم است سیاست‌هایی اتخاذ شود تا هم نیازهای شرب، بهداشت و ... کلیه افراد جامعه تأمین شده و هم به منابع آبی فشار وارد نشود. یکی از این سیاست‌ها، سیاست قیمت‌گذاری است. در حال حاضر نظام تعرفه در کشور، نظام بلوکی فزاینده است و مشترکین آب شرب به دو بخش خانگی و غیرخانگی تفکیک و مشترکین خانگی در ده طبقه مصرف دسته‌بندی می‌شوند. قیمت تمام شده هر مترمکعب آب شرب در سال ۱۳۹۳ (۷۹۸۱ ریال) با متوسط وزنی تعرفه پرداختی کلیه طبقات مصرف (۲۸۸۵ ریال) فاصله زیادی دارد (شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۱۳۹۳). بنابراین هزینه‌های تولید و توزیع آب توسط درآمد حاصل از فروش آب پوشش داده نمی‌شود و باید تعرفه‌های جاری آب در طبقات مختلف مصرف اصلاح شود تا به تعرفه‌های بهینه نزدیک و رفاه اقتصادی حداکثر شود. دانستن ساختار هزینه‌های عرضه آب از آن جهت ضروری است که در

در مقیاس متوسط صنعت و تولید در مقیاس بزرگ، هزینه نهایی عرضه آب از هزینه نهایی جمع‌آوری فاضلاب بزرگ‌تر است. درحالی که در سطح تولید در حداقل مقیاس کارا عکس حالت مذکور اتفاق می‌افتد. (Nauges and Berg (2007) به‌منظور بررسی صرفه‌های ناشی از تراکم و صرفه‌های ناشی از مقیاس در صنعت آب در برزیل، مولدوا، کلمبیا و ویتنام تابع هزینه ترانسلوگ را به‌همراه معادلات سهم نهاده‌های تولید به‌روش رگرسیون‌های به‌ظاهر نامرتب‌تکراری (SUR) برای هر کشور برآورد نمودند. نتایج نشان داد که در مولدوا، کلمبیا و ویتنام صرفه‌های ناشی از مقیاس وجود دارد که دلیلی بر انحصار طبیعی است. Wang and Wu (2011) عرضه آب شهری با مشارکت بخش خصوصی برای اجرای صنعتی شدن آب شهری با استفاده از داده‌های تابلویی برای ۳۵ شهر طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۹۸ را در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مشارکت بخش خصوصی به‌صورت قابل ملاحظه‌ای با بهبود ظرفیت تولید و نرخ پوشش آب در ارتباط است. (Nnaji and Eluwa (2013 در مطالعه‌ای در خصوص بررسی وضعیت عرضه و مصرف آب در شهر نسوکا نشان دادند که اکثر مردم برای مصرف آب بطری را ترجیح می‌دهند، اما به‌دلیل گران بودن قیمت آن، حدود ۵۵ درصد از مردم برای مصارف داخلی در فصل‌های بارانی از آب باران و در فصول کم باران ۷۲ درصد مردم برای مصرف از آب‌های تانکر استفاده می‌کنند. در مطالعات انجام شده صرفاً به برآورد تابع هزینه تولید آب، محاسبه کشش‌های خودی و جانشینی و بررسی شاخص‌های صرفه‌های ناشی از مقیاس و بهره‌وری و ... پرداخته شده است. بنابراین خلاء مطالعاتی محاسبه ظرفیت بهینه تولید آب در کشور وجود دارد که در این مطالعه به آن پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش برآورد تابع هزینه کل

تابع هزینه کل شامل قیمت نهاده‌های تولید و مقدار تولید است. به‌طور مثال تابع هزینه آب خانگی شهری را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$C = C(Q, PK, PL, PM, PS, T) \quad (1)$$

که C : کل هزینه تولید، انتقال و توزیع، Q : مقدار آب عرضه شده، P_K : قیمت سرمایه، P_L : قیمت نیروی کار، P_M : قیمت

مواد اولیه، P_S : قیمت سایر خدمات و T : متغیر روند است و به صورت ذیل تعریف می‌شود:

هزینه سرمایه: هزینه استهلاک و هزینه تعمیر و نگهداری ماشین آلات و تجهیزات.

هزینه نیروی کار: کلیه پرداختی به نیروی کار اعم از حقوق ثابت، اضافه‌کاری، نوبت کاری، پاداش، فوق‌العاده‌ها، مزایای پایان خدمت و سایر مزایا.

هزینه سایر خدمات: هزینه حمل و اجاره ماشین آلات، اجاره محل، بنزین، گازوئیل و روغن وسایط حمل و نقل و سایر هزینه‌ها.

هزینه مواد اولیه: هزینه آب خام و حق‌النظاره، مواد مصرفی و برق مصرفی.

هزینه‌های آب خام: هزینه‌هایی که برای استخراج آب از چاه پرداخت می‌شود و حق‌النظاره مربوط به هزینه آب خریداری شده از چاه‌ها و سدها که به شرکت آب منطقه‌ای تهران پرداخت می‌شود.

P_L : **قیمت نیروی کار (ریال):** متوسط حقوق و مزایای پرداخت شده به کارکنان به ازای هر مترمکعب آب تولیدی.

P_K : **قیمت سرمایه (ریال):** متوسط هزینه استهلاک و هزینه تعمیر و نگهداری ماشین آلات و تجهیزات به ازای هر مترمکعب آب تولیدی.

P_M : **قیمت سایر خدمات (ریال):** متوسط هزینه سایر خدمات تعدیل شده به‌ازای هر مترمکعب آب تولیدی.

P_S : **قیمت مواد اولیه (ریال):** متوسط هزینه مواد اولیه به‌ازای هر مترمکعب آب تولیدی.

Q : حجم تولید (میلیون مترمکعب در سال).

همچنین شکل ترانسلوگ تابع هزینه را می‌توان با به‌کارگیری بسط ناقص سری دوم تیلور به‌فرم زیر استخراج نمود:

$$\begin{aligned} \ln C(P, Q, T) = & \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q + \frac{1}{2} \alpha_{QQ} (\ln Q)^2 \\ & + \sum_{i=1}^4 \beta_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \\ & + \sum_{i=1}^4 \delta_{iQ} \ln P_i \ln Q + \sum_{i=1}^4 \beta_{Ti} \ln P_i T \\ & + \theta_t T + \frac{1}{2} \theta_{tt} T^2 + \sum_{i,j=L,K,M,S} \alpha_{tQ} T \ln Q \end{aligned} \quad (2)$$

معادله سهم سرمایه:

$$S_k = \beta_k + \beta_{lk} \ln p_l + \beta_{kk} \ln p_k + \beta_{km} \ln p_m + \beta_{ks} \ln p_s + \beta_{kq} \ln Q \quad (5)$$

معادله سهم مواد اولیه:

$$S_s = \beta_s + \beta_{ls} \ln p_l + \beta_{sk} \ln p_k + \beta_{sm} \ln p_m + \beta_{ss} \ln p_s + \beta_{sq} \ln Q \quad (6)$$

استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ منوط به برقراری شرایطی تحت عنوان قیود خوش رفتاری است که عبارتند از:

- فرض همگنی

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1 \quad (7)$$

$$\beta_L + \beta_K + \beta_S + \beta_M = 1 \quad (8)$$

این فرض بیانگر این است که باید مجموع ضرایب لگاریتم قیمت‌های نهاده‌ها برابر با یک باشد.

$$\sum_{i=1}^n \beta_{ij} = \sum_{j=1}^n \beta_{ji} = \sum_{i=1}^n \delta_{iQ} = 0 \quad (9)$$

این فرض بیانگر این است که باید مجموع ضرایب حاصل ضرب لگاریتم قیمت‌های نهاده‌ها برابر با صفر باشد.

$$\beta_{LL} + \beta_{KL} + \beta_{SL} + \beta_{ML} = 0 \quad (10)$$

$$\beta_{LK} + \beta_{KK} + \beta_{SK} + \beta_{MK} = 0 \quad (11)$$

$$\beta_{LS} + \beta_{KS} + \beta_{SS} + \beta_{MS} = 0 \quad (12)$$

$$\beta_{LM} + \beta_{KM} + \beta_{SM} + \beta_{MM} = 0 \quad (13)$$

$$\beta_{LQ} + \beta_{KQ} + \beta_{SQ} + \beta_{MQ} = 0 \quad (14)$$

- فرض تقارن

$$\beta_{ij} = \beta_{ji} \quad i \neq j \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

$$\beta_{LK} = \beta_{KL}, i, j = L, K, M, S \quad (16)$$

$$\beta_{SM} = \beta_{MS} \quad (17)$$

- یکنوا بودن نسبت به قیمت نهاده‌ها: این شرط به مفهوم همسو بودن جهت تغییرات قیمت نهاده‌ها و هزینه‌ها بوده و مستلزم این است که سهم برآورد شده هر نهاده از کل هزینه تولید به‌ازای تمام مشاهدات رقمی بزرگتر از صفر باشد. به این منظور، معادلات سهم هزینه با استفاده از Shephard lemma که قضیه‌ای برای استخراج تابع تقاضای جبرانی از تابع مخارج

برای تخمین تابع هزینه از نرم‌افزار Shazam استفاده شده است. این نرم‌افزار یکی از مشهورترین نرم‌افزارهای اقتصادی است. این نرم‌افزار در ایران در میان دانشجویان اقتصاد کشاورزی شهرت و محبوبیت بیشتری دارد اما کاربردهای این نرم‌افزار به این رشته محدود نبوده و طیف وسیعی از روش‌های اقتصادسنجی را پوشش می‌دهد. تحلیل داده‌ها، رگرسیون و تحلیل‌های سری زمانی، برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی، آزمون فرضیه و برآورد فاصله اطمینان، تحلیل مولفه‌های اساسی و تحلیل عاملی، روش‌های پارامتریک و غیرپارامتریک، مدل‌سازی تک‌متغیره و چندمتغیره، مدل‌سازی مقطعی، برنامه‌نویسی آماری، برنامه‌نویسی ماتریسی، پیش‌بینی ایستا و پویا، شبیه‌سازی مونت کارلو و ... موارد فوق، مواردی هستند که این نرم‌افزار پوشش می‌دهد (امینی راد و مهرگان، ۱۳۹۴). در تخمین تابع هزینه متغیر از حالت لگاریتمی کلیه متغیرها استفاده شده است. لازم به ذکر است که به‌منظور جلوگیری از صفر شدن دترمینان ماتریس واریانس-کوواریانس اجزای اخلال، باید یکی از معادلات سهم حذف شود. در این قسمت، قیمت سایر خدمات (PM) (با توجه به حصول بهترین برآورد) حذف شده و فرم تابع هزینه تولید، توزیع و انتقال آب در بخش خانگی، به صورت ذیل بازنویسی می‌شود:

$$\begin{aligned} \frac{LTC}{LP_M} = & B_0 + B_1 \left(\frac{LP_L}{LP_M} \right) + B_2 \left(\frac{LP_K}{LP_M} \right) + B_3 \left(\frac{LP_S}{LP_M} \right) + \\ & B_4 \left(\frac{LP_Q}{LP_M} \right) + \frac{1}{2} B_{11} \left(\frac{LP_L}{LP_M} \right)^2 + B_{12} \left(\frac{LP_L}{LP_M} \right) \left(\frac{LP_K}{LP_M} \right) + \\ & B_{13} \left(\frac{LP_L}{LP_M} \right) \left(\frac{LP_S}{LP_M} \right) + B_{14} \left(\frac{LP_L}{LP_M} \right) \left(\frac{LP_Q}{LP_M} \right) + \\ & B_{22} \left(\frac{LP_K}{LP_M} \right)^2 + B_{23} \left(\frac{LP_K}{LP_M} \right) \left(\frac{LP_S}{LP_M} \right) + \\ & B_{24} \left(\frac{LP_K}{LP_M} \right) \left(\frac{LP_Q}{LP_M} \right) + B_{33} \left(\frac{LP_S}{LP_M} \right)^2 + \\ & B_{34} \left(\frac{LP_S}{LP_M} \right) \left(\frac{LP_Q}{LP_M} \right) + B_{44} \left(\frac{LP_Q}{LP_M} \right)^2 + \\ & B_{1Q} \left(\frac{LP_L}{LP_M} \right) LQ + B_{2Q} \left(\frac{LP_K}{LP_M} \right) LQ + \\ & B_{3Q} \left(\frac{LP_S}{LP_M} \right) LQ + B_{4Q} \left(\frac{LP_Q}{LP_M} \right) LQ \end{aligned} \quad (3)$$

نکته قابل ذکر دیگر این است که معادلات تقاضای نهاده‌ها یا معادلات سهم همزمان با تابع هزینه متغیر تولید آب برآورد می‌شود و به‌صورت زیر است:

معادله سهم نیروی کار:

$$S_L = \beta_L + \beta_{ll} \ln p_l + \beta_{lk} \ln p_k + \beta_{lm} \ln p_m + \beta_{ls} \ln p_s + \beta_{lq} \ln Q \quad (4)$$

است (Shephard, 1953)، به صورت زیر استخراج می شود:

$$S_i = \partial \ln C(P, Q, T) / \partial p_i \geq 0 \quad (18)$$

که S_i : معادله سهم، C : کل هزینه تولید، انتقال و توزیع و Q : مقدار آب عرضه شده هستند و $i = L, K, M, S$

$$S_i = \beta_i + \sum_{j=1}^4 \beta_j \ln p_j + \delta_{iq} \ln Q + \beta_{it} T \geq 0 \quad (19)$$

$$S_L = \beta_L + \beta_{LL} \ln p_L + \beta_{LK} \ln p_K + \beta_{LM} \ln p_M + \beta_{LS} \ln p_S + \beta_{Lq} \ln Q \geq 0 \quad (20)$$

$$S_S = \beta_S + \beta_{SL} \ln p_L + \beta_{SK} \ln p_K + \beta_{SM} \ln p_M + \beta_{SS} \ln p_S + \beta_{Sq} \ln Q \geq 0 \quad (21)$$

- مقعر بودن تابع هزینه نسبت به قیمت: برای تأمین این شرط باید مشتقات درجه دوم تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها یک ماتریس نیمه معین منفی باشد. یعنی شیب تابع تقاضای نهاده‌ها نسبت به قیمت نهاده‌ها منفی باشد. چنانچه کشش‌های قیمتی خودی کمتر از صفر باشد این شرط برقرار است (Blackorby et al., 1977). روابط کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع تقاضای نهاده‌ها در تابع هزینه ترانسلوگ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\gamma_{ii}}{s_i} + (s_i - 1) \quad (22)$$

$$\varepsilon_{il} = \frac{\beta_{il}}{s_l} + (s_l - 1) \quad (23)$$

$$\varepsilon_{mm} = \frac{\beta_{mm}}{s_m} + (s_m - 1) \quad (24)$$

کشش‌های قیمتی خودی تقاضای نهاده‌ها:

$$\varepsilon_{ij} = (\gamma_{ij} + (s_i \cdot s_j)) / s_i \quad i \neq j \quad (25)$$

$$\varepsilon_{lk} = (\beta_{lk} + (s_l \cdot s_k)) / s_l \quad (26)$$

$$\varepsilon_{kl} = (\beta_{lk} + (s_l \cdot s_k)) / s_k \quad (27)$$

$$\varepsilon_{ms} = (\beta_{ms} + (s_m \cdot s_s)) / s_m \quad (28)$$

$$\varepsilon_{sm} = (\beta_{ms} + (s_m \cdot s_s)) / s_s \quad (29)$$

کشش‌های متقاطع تقاضای نهاده‌ها:

در مورد کشش‌های قیمتی خودی تقاضای نهاده‌ها انتظار بر این است که علامت این کشش‌ها منفی باشد. چرا که تقاضای هر کالا به جز کالای جیفن (wikipedia)، با قیمت آن رابطه عکس دارد. در خصوص کشش قیمتی متقاطع تقاضا، چنانچه

این کشش مثبت باشد، دو کالا یا نهاده جانشین‌اند یا در غیر این صورت مکمل هستند. برای تخمین مدل از روش ISUR استفاده شده است.

ISUR یا رگرسیون به ظاهر نامرتب در مواردی که با معادلات ساختاری روبرو هستیم کاربرد دارد. در این سیستم هریک از معادلات متغیر وابسته مخصوص به خود را داشته و به صورت بالقوه می‌تواند مجموعه متفاوتی از متغیرهای توضیحی را در برداشته باشند. هر معادله به نوبه خود یک رگرسیون خطی بوده که می‌تواند به صورت مجزا تخمین زده شود و به همین دلیل این مجموعه از معادلات را به ظاهر نامرتب می‌گویند. به عبارت دیگر منظور از سیستم معادلات، گروهی از معادلات هستند که شامل پارامترهای مجهول هستند. معادلات در سیستم می‌توانند، خطی، غیرخطی و شامل جزء اتورگرسیو باشند. نرم افزار Eviews برای برآورد سیستم معادلات روش‌های مختلفی را در بر دارد که یکی از آن‌ها رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب (SUR) است. این روش پارامترهای معادلات را با در نظر گرفتن وجود ناهمسانی و خودهمبستگی خطاها بین معادلات برآورد می‌کند (آموزش تخصصی اقتصادسنجی Eviews-Stata-SAS).

در این روش به منظور افزایش کارایی پارامترهای تخمین زده شده، معادلات تابع هزینه با معادلات سهم تقاضا هم‌زمان تخمین زده می‌شود، زیرا اولاً معادلات سهم تقاضا دارای پارامترهای یکسان هستند، ثانیاً معادلات سهم از معادلات هزینه به دست آمده‌اند و ممکن است جزء اخلال آن‌ها با هم ارتباط داشته باشد، بنابراین بهتر است با هم تخمین زده شوند (Arkila, 1990). از طرفی چون مجموع سهم هزینه‌ها برابر واحد است ($\sum_{i=1}^n S_i = 1$) بنابراین به منظور جلوگیری از صفر شدن دترمینان ماتریس واریانس-کوواریانس اجزاء اخلال، باید یکی از معادلات سهم حذف شود. معمولاً در کارهای تجربی معادله‌ای حذف می‌شود که بهترین برآورد ممکن را به دست بدهد. پس از تخمین تابع هزینه و به دست آوردن مقدار عددی هزینه نهائی، می‌توان شاخص‌های ناشی از مقیاس و بازدهی نسبت به مقیاس را محاسبه و مورد بررسی قرار داد. از تحقیقات صورت گرفته در این مورد می‌توان به مرزبان و کریمی (۱۳۹۱) اشاره کرد. نتایج مویید وجود بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس در این شرکت بود. برخی از شاخص‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود.

۲-۲- کشش هزینه نسبت به محصول

کشش هزینه نسبت به محصول نشان می‌دهد که اگر سطح تولید یک درصد تغییر کند، هزینه تولید، انتقال و توزیع آب در بخش خانگی، چند درصد تغییر می‌کند.

$$\varepsilon_{cq} = \partial \ln TC / \partial \ln Q \quad (30)$$

۲-۳- بازدهی نسبت به اندازه

بازدهی نسبت به مقیاس، نسبت تغییر در محصول وقتی همه عوامل تولید به یک نسبت تغییر می‌کند را نشان می‌دهد. این شاخص از معکوس کردن کشش هزینه نسبت به محصول حاصل می‌شود.

$$RTS = [\partial \ln TC / \partial \ln Q]^{-1} = 1 / \varepsilon_{cq} \quad (31)$$

اگر کشش هزینه برابر، بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از واحد باشد، بازدهی نسبت به اندازه به ترتیب ثابت، کاهنده یا فزاینده خواهد بود. به عبارت دیگر اگر کشش هزینه نسبت به محصول کوچک‌تر از واحد باشد، صرفه اقتصادی وجود دارد و کشش هزینه نسبت به محصول بزرگ‌تر از واحد، نشان‌دهنده عدم صرفه اقتصادی است (میزبان و دیگران، ۱۳۹۰). در این مطالعه

از متغیرهایی استفاده شده است که از منابع مختلفی مانند شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، شرکت مهندسی آب و فاضلاب استان تهران، داده‌های بانک مرکزی و نیز داده‌های مرکز آمار ایران جمع‌آوری شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

همان‌طور که گفته شد تابع موردنظر برای برآورد تابع هزینه متغیر، تابع ترانسلوگ بوده و از آن‌جایی که مجموع سهم‌ها برابر یک است، برای جلوگیری از صفر شدن دترمینان ماتریس واریانس-کوواریانس جملات پسماند (ایجاد ماتریس منفرد) یکی از سهم‌های هزینه‌ای باید حذف شود. با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده و تخمین حالات مختلف توابع هزینه، حذف سهم هزینه نهاده سایر خدمات (sm) بهترین برآورد را به‌دست داد، بنابراین سهم مذکور حذف شد. ضرایب برآورد شده تابع هزینه مذکور با استفاده از نرم افزار Shazam به‌صورت جدول ۱ است.

مقادیر عددی آماره R-Squared برای تابع هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم هزینه نیروی کار، سهم هزینه سرمایه و سهم

جدول ۱- نتایج برآورد تابع هزینه کل تولید آب شرب در شهر تهران در دوره زمانی ۱۳۷۶-۱۳۹۳

متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	آماره t
B	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۶
۱B	۰/۰۹	۰/۰۶	۱/۵۹
۲B	۰/۱۸	۰/۰۶	۲/۰۴
۳B	۰/۳۶	۰/۰۵	۷/۱۸
BQ	۱/۳۷	۰/۰۹	۱۴/۴۷
BQQ	-۰/۰۵	۰/۰۱	-۳/۹۹
۱۲B	-۰/۰۹	۰/۰۰۳	-۲۹/۶۷
۱۳B	-۰/۰۳	۰/۰۰۵	-۶/۵۷
۲۳B	-۰/۰۴	۰/۰۰۳	-۱۲/۵۲
۱۱B	۰/۲۰	۰/۰۰۵	۴۱/۵۹
۲۲B	۰/۲۰	۰/۰۰۵	۴۲/۴۰
۳۳B	۰/۱۲	۰/۰۰۷	۱۷/۶۹
Q۱B	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۲/۸۲
Q۲B	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۱/۲۸
Q۳B	-۰/۰۲	۰/۰۰۸	-۲/۵۵

*معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد یا آماره t با مقدار عددی ۱/۵

هزینه مواد اولیه به ترتیب برابر است با ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۱/۰۰ و ۰/۹۸ و مقدار عددی آماره D.W برای توابع و معادلات فوق به ترتیب برابر با ۲/۴۱، ۱/۶۴، ۱/۸۱ و ۱/۹۰ هستند. با توجه به نتایج تخمین فوق و مقدار عددی آماره t کلیه ضرایب به جز ضریب مربوط به عرض از مبدأ و نسبت قیمت سرمایه به قیمت سایر خدمات در حجم تولید (به علت کوچک تر از ۱/۵ بودن آماره t) معنادار هستند. همچنین مقادیر R-Squared و D.W نشانگر برازش مناسب تابع هزینه و معادلات سهم است. برای اطمینان از قابل اتکا بودن نتایج باید آزمون‌هایی روی جمله اخلاص انجام شود که به شرح جدول ۲ است.

- آزمون پایایی جملات اخلاص: برای بررسی پایایی جملات اخلاص تابع هزینه کل و همچنین معادلات سهم تقاضا از آزمون دیکی فولر استفاده شد. نتایج نشان داد که پایایی جملات اخلاص را در سطح معناداری ۰/۱۰ نمی‌توان رد کرد.

- آزمون نرمال بودن جملات اخلاص: آزمون نرمال بودن جمله اخلاص برای تابع هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم انجام شد. با توجه به نتایج به دست آمده در خصوص آماره جاک-برا، مقدار احتمالات مربوطه، مقدار کشیدگی و چولگی، فرض نرمال بودن جملات خطا را در مورد معادلات مذکور در سطح معناداری ۱۰/۰ نمی‌توان رد کرد.

- بررسی پایداری ضرایب: تابع هزینه کل و معادلات سهم تقاضا

چند بار در نرم افزار شازم برآورد شد. نتایج برآورد نشان دهنده ثبات ضرایب در تخمین‌های متوالی است.

با توجه به آزمون‌های مذکور، نتایج مدل قابل اتکا بوده و می‌توان هزینه نهائی تولید آب بخش خانگی به صورت زیر محاسبه کرد:

$$6719 MC = \delta tc / \delta q = \text{ریال}$$

۳-۱- برقراری شروط خوش رفتاری تابع هزینه

- اعمال شروط همگنی و تقارن: این فرض‌ها در تابع اعمال شده است.

- یکنوا بودن تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها: همان‌طور که گفته شد فرم کلی معادلات سهم به صورت زیر است:

$$S_L = 0/17, S_K = 0/24, S_S = 0/28, S_M = 0/31$$

آن‌طور که معادلات سهم هزینه فوق نشان می‌دهد، هریک از سهم‌ها بزرگ‌تر از صفر بوده و مجموع سهم‌ها یک می‌شود. بنابراین شرط یکنوا بودن تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها برقرار است.

مقرر بودن تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها: همان‌طور که گفته شد برای برقراری این شرط کافی است کشش‌های قیمتی خودی تقاضای نهاده‌ها دارای علامت منفی باشد. کلیه کشش‌های محاسباتی به شرح جدول ۳ است.

جدول ۲- آزمون ریشه واحد دیکی-فولر گسترش یافته جملات اخلاص در تابع هزینه کل آب شرب در شهر تهران در دوره زمانی ۱۳۷۶-۱۳۹۳

وضعیت	آزمون ریشه واحد		متغیر	متغیر
	آماره آزمون	مقدار بحرانی*		
پایا	-۵/۷۰	-۱/۶۱	جمله اخلاص تابع ترانسلوگ	۱U
پایا	-۴/۶۵	-۱/۶۱	جمله اخلاص معادله سهم نیروی کار	۲U
پایا	-۵/۱۱	-۱/۶۱	جمله اخلاص معادله سهم سرمایه	۳U
پایا	-۵/۱۱	-۱/۶۱	جمله اخلاص معادله سهم مواد اولیه	۴U

*معنی داری در سطح ۱۰ درصد

جدول ۳- کشش‌های قیمتی خودی و جانشینی نهاده‌ها در تابع هزینه کل آب شرب در شهر تهران در دوره زمانی ۱۳۷۶-۱۳۹۳

نهادها	نیروی کار	سرمایه	مواد اولیه	سایر خدمات
نیروی کار	-۰/۳۶	-۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۲
سرمایه	-۰/۰۸	-۰/۴۲	۰/۲۱	۰/۲
مواد اولیه	۰/۱۴	۰/۱۸	-۰/۵۷	۰/۲۸
سایر خدمات	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۲۶	-۰/۴۵

$$\frac{\partial \ln AC}{\partial \ln q} = \frac{\partial AC}{\partial q} \cdot \frac{q}{AC} \longrightarrow \frac{\partial AC}{\partial q} = \frac{\partial \ln AC}{\partial \ln q} \cdot \frac{AC}{q} \longrightarrow$$

$$q = 376/15 \quad \text{میلیون مترمکعب}$$

داده‌های مربوط به تولید آب شرب در سال ۱۳۹۳، بیانگر تولید ۱۳۸۹ میلیون مترمکعب آب در این سال بوده و متوسط تولید آب شرب در دوره زمانی مربوط به سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۹۳ برابر با ۱۱۸۹ میلیون مترمکعب است. همچنین تولید بهینه آب شربی که هزینه متوسط را حداقل می‌کند، به میزان ۱۵/۳۷۶ میلیون مترمکعب است. بنابراین این ارقام نشان‌دهنده آن است که باید در قیمت‌گذاری آب شرب به این موضوع توجه شود که در صورتی که بخواهیم با قیمت‌های کنونی، شرکت‌های آب و فاضلاب زیان‌ده نباشند، لازم است تولید آن‌ها به شدت کاهش یابد (به میزان ۸۱۳ میلیون مترمکعب). اما از آن‌جا که کاهش این حجم تولید با توجه به نیاز مشترکین در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نیست، لازم است تا تعرفه‌های آب اصلاح شود تا هزینه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب را به صورت کامل پوشش دهد.

۴- نتیجه‌گیری

براساس محاسبات، شرکت آب و فاضلاب استان تهران فاقد صرفه‌های ناشی از مقیاس است. به عبارت دیگر بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس در این شرکت وجود دارد و این می‌تواند به دلیل وجود تأسیسات و شبکه‌های فرسوده و مستهلک تولید، توزیع و انتقال آب باشد. در نتیجه به کارگیری تجهیزات جدید و بازسازی خطوط آبرسانی (در راستای کاهش هدررفت شبکه) می‌تواند اثر قابل توجهی در کاهش هزینه تولید هر مترمکعب آب در بخش خانگی داشته باشد. در حال حاضر، از آنجایی که بنگاه در قسمت صعودی تابع هزینه متوسط بلندمدت تولید می‌کند، باید تولید کاهش یابد تا در نقطه حداقل هزینه متوسط بلندمدت قرار گیرد. همان‌طور که تولید بهینه محاسبه شده نشان می‌دهد برای این که بنگاه تولید، انتقال و توزیع آب شرب با هزینه متوسط حداقل مواجه باشد؛ لازم است تولید در سطح ۳۷۶/۱۵ میلیون مترمکعب صورت گیرد. در صورتی که تولید بنگاه بیشتر یا کمتر از عدد مذکور باشد؛ هزینه متوسط تولید انتقال و توزیع آب در سطح حداقل نخواهد بود. مقدار تولید

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است تمامی کشش‌های قیمتی خودی تقاضای نهاده‌ها دارای علامت منفی بوده که به معنای تقعر تابع هزینه تولید آب بخش خانگی نسبت به قیمت نهاده‌ها است. همچنین کلیه کشش‌های خودی و متقاطع تقاضای نهاده‌ها کوچک‌تر از یک است که موید کم‌کشش بودن تقاضای هر نهاده نسبت به قیمت همان نهاده و سایر نهاده‌ها است. با توجه به جدول ۳ تمامی کشش‌های قیمتی متقاطع تقاضای نهاده‌ها (به استثنای کشش متقاطع تقاضای نهاده نیروی کار نسبت به قیمت سرمایه و کشش متقاطع تقاضای نهاده سرمایه نسبت به قیمت نیروی کار) دارای علامت مثبت هستند که نشان‌دهنده مکمل بودن نهاده نیروی کار و سرمایه و جانشین بودن سایر نهاده‌ها است.

• کشش هزینه نسبت به محصول: $\varepsilon_{Cq} = 3/28$

• بازدهی نسبت به مقیاس: $RTS = 0/30$

انتخاب اندازه مناسب بنگاه‌های جدید یا توسعه بنگاه‌های موجود در یک صنعت می‌تواند با توجه به امتیازات مقیاس صورت گیرد. از آنجایی که هزینه بنگاه‌ها در مقیاس‌های مختلف تولید متفاوت است، انتخاب مناسب مقیاس و ظرفیت در اقتصادی بودن تولید مهم است. طبق نتایج به دست آمده کشش هزینه نسبت به تولید در سطح میانگین برابر ۳/۲۸ و شاخص بازدهی نسبت به مقیاس برابر ۰/۳۰ است. نتایج حاصل از محاسبات انجام شده بیان‌کننده این مطلب است که بنگاه موردنظر با زیان‌های ناشی از مقیاس مواجه است. به عبارتی منحنی هزینه در ناحیه صعودی متوسط عمل می‌کند و با افزایش سطح تولید، هزینه متوسط افزایش می‌یابد. در نتیجه این شرکت دارای بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس تولید است که این برخلاف شرط وجودی انحصار طبیعی است. وجود بازدهی کاهنده نسبت به مقیاس به دلیل وجود تأسیسات و شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع آب مستهلک و فرسوده، منطقی است.

۳-۲- محاسبه ظرفیت بهینه تولید آب شرب در شهر تهران

تولید بهینه در ناحیه دو اتفاق می‌افتد و حداقل هزینه متوسط (حداکثر تولید متوسط) نقطه آغازین این ناحیه است. بنابراین برای محاسبه تولید بهینه باید هزینه متوسط تولید حداقل شود. لذا:

- ingness-to-pay to investigate economic efficiency and equity of domestic water services in the West Bank", *Journal of Socio-Economics*, 41(5), 485-494.
- Blackorby, C., Primont, D., and Russel, R.R., (1977), "On testing separability restrictions with flexible functional forms", *Journal of Econometrics*, 5(2), 195-209.
- Coelho Faria, R., Da Silva Souza, G., and Belchior Moreira, T., (2005), "Public versus private water utilities: Empirical evidence for Brazilian companies", *Journal of Economics Bulletin*, 8, 1-7.
<http://eghtesadilam.blogfa.com>
<https://fa.wikipedia.org>
- Kim, H.Y. (1987), "Economies of scale in multi-product firms: An empirical analysis, *Economica*", *New Series*, 54(214), 185-206.
- Martins, R., Fortunato, A., and Coelho, F., (2006), "Cost structure of the Portuguese water industry: A cubic cost function application", < [http:// gemf. Fe. Uc. Pt](http://gemf.Fe.Uc.Pt) (July 8, 2008).
- Nauges, C., and Van den Berg, C., (2007), "How natural are natural monopolies in the water supply and sewerage sector? Case studies from development and transition economics", <<http://econ.worldbank.org>> (Dec. 18, 2007).
- Nnaji, C.C., Eluwa, C., and Nwoji, C., (2013), "Dynamics of domestic water supply and consumption in a semi-urban Nigerian city", *Habitat International*, 40, 127-135.
- Shephard, R. (1953), *Theory of cost and production functions*, Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Wang, H., Wu, W., and Zheng, S., (2011), "An econometric analysis of private sector participation in China's urban water supply", *Utilities Policy*, 19(3), 134-141.

بهینه محاسبه شده در مقایسه با مقدار آب مورد نیاز برای مصرف شرب جمعیت شهر تهران (۹۵۱ میلیون مترمکعب) (شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۴)، عدد کوچکی است و تولید آب در سطح تولید بهینه موجب می‌شود نیازهای اساسی شرب، بهداشت و ... تأمین نشود. نکته قابل توجه دیگر این است که براساس محاسبات، کشش‌های متقاطع تقاضای نهاده‌ها موید جانشین بودن نهاده‌های نیروی کار، سرمایه، مواد اولیه و سایر خدمات (به‌استثنای نهاده نیروی کار و سرمایه که مکمل همدیگر هستند) است. با توجه پایین بودن کشش متقاطع تقاضا بین نهاده‌ها (بالاترین مربوط به کشش جانشینی مواد اولیه به جای سایر خدمات با رقم ۰/۲۸ درصد است) اعمال تغییرات قیمت تأثیر چندانی بر تغییر تقاضای یک نهاده نخواهد داشت. به عبارت دیگر استفاده از ابزار قیمت در راستای اجرای سیاست‌های کاهش یا افزایش مصرف نهاده جانشین چندان کارآمد نخواهد بود.

۵- مراجع

- خداپرست مشهدی، م.، فطرس، م.ح.، و فتحی، ب.، (۱۳۹۴)، «بررسی ساختار تابع هزینه بنگاه دو محصولی (مطالعه موردی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی)»، فصلنامه علمی-پژوهشی *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۴(۱۴)، ۱۹۳-۲۱۷.
- شرکت آب منطقه‌ای تهران، (۱۳۹۳)، *ماهنامه داخلی پیام آب*. فلاحی، ع.، سهیلی، ک.، و واحدی، م.، (۱۳۹۱)، «قیمت‌گذاری اقتصادی آب در بخش کشاورزی به روش رمزی»، فصلنامه پژوهش‌های *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲(۲۶)، ۱۳۴-۱۴۰.
- فلاحی، م.ع.، انصاری، ح.، داوری، ک.، و صالح‌نیا، ن.، (۱۳۸۸)، «قیمت‌گذاری آب شرب شهری براساس الگوی رمزی (مطالعه موردی شهر نیشابور)»، فصلنامه پژوهش‌های *اقتصادی ایران*، ۱۳(۳۸)، ۲۱۷-۲۴۲.
- لطفعلی‌پور، م.ر.، و غمخوار، ق.، (۱۳۸۸)، «قیمت‌گذاری بهینه گاز طبیعی در شرکت خراسان بزرگ با استفاده از روش رمزی»، *مجله دانش و توسعه*، ۱۶(۲۷)، ۲۳-۴۹.
- مرزبان، ح.، و کریمی، ل.، (۱۳۹۱)، «بررسی ساختار هزینه فرآیند عرضه آب (مطالعه موردی شرکت آب و فاضلاب شیراز)»، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۳(۳)، ۶۸-۷۷.
- مهرگان، ن.، و امینی‌راد، م.، (۱۳۹۴)، *کاربرد نرم‌افزار شازم در اقتصادسنجی و اقتصاد مالی*، انتشارات نور علم.
- Awad, I., (2012), "Using econometric analysis of will-

Studying the Effect of Factors Influencing the Change in Hazen-Williams Roughness Coefficient of Cast Iron Pipes during Operation Period

Mohammad Kazemi Soochelmaei¹ and Massoud Tabesh^{2*}

1- M.Sc. Student, Civil-Environmental Engineering, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Professor, Center of Excellence for Engineering and Management of Civil Infrastructures, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

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

Received: 10/5/2018

Revised: 29/9/2018

Accepted: 29/9/2018

Abstract

Considering the importance of sufficient pressure in supplying demand in water distribution networks, it is necessary to study the factors affecting pressure variation, that the roughness of pipes directly affects the pressure of nodes. Therefore, the study of factors affecting the change in roughness coefficient (Hazen-Williams) in water distribution networks is important. Pipes diameter, age and corrosion are among factors affecting the change in the roughness coefficient of pipes that are evaluated in this paper. The roughness coefficients were plotted against each of the above mentioned factors, and the approximate relations of the roughness coefficient was obtained by fitting to the obtained graphs. Finally, by combining the relations obtained, a general relation is obtained for the roughness coefficient. Also, in this paper, the cast iron pipes, for which laboratory data is available, were used to obtain a mathematical relationship. Then again, instead of using the roughness coefficient of new pipes in analysis and design, the roughness coefficient for the end of the design period was used, taking into account the effective factors mentioned. To evaluate the results of the proposed method, a two-loop network was investigated in two common and real situations. The results showed that if the roughness coefficient of new pipes at the end of design period is used for designing, there will be a save of about 50% in cost of pipes, but then the network pressure at the end of design period will be reduced by more than 25%. Therefore, in order to ensure that there is sufficient pressure and demand satisfaction throughout the design period, it is necessary to accept an increase in the cost of network implementation at the beginning of the project.

Keywords: Consumption, Corrosion, Hazen-Williams roughness coefficient, Pipe age, Pipe diameter, Pressure.

بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر تغییر ضریب زبری هیزن-ویلیامز لوله‌های چدنی در طول دوره بهره‌برداری

محمد کاظمی سوچلمایی^۱ و مسعود تابش^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استاد و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

چکیده

با توجه به اهمیت فشار کافی در تأمین تقاضای مصرف‌کنندگان در شبکه‌های توزیع آب، بررسی عوامل مؤثر بر تغییر فشار ضرورت می‌یابد که زبری لوله‌ها به‌صورت مستقیم بر روی فشار گره‌ها تأثیرگذارند. بنابراین بررسی عوامل مؤثر بر تغییر ضریب زبری (ضریب هیزن-ویلیامز) در شبکه‌های آب اهمیت پیدا می‌کند. قطر لوله‌ها، عمر لوله‌ها و خوردگی آب از جمله عوامل مؤثر در تغییر ضریب زبری لوله‌ها هستند که در این مقاله مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. تغییرات ضریب زبری با هر کدام از عوامل مذکور رسم می‌شود و با برازش نمودارهای حاصله می‌توان روابط تقریبی ضریب زبری را به‌دست آورد. در نهایت با ترکیب روابط به‌دست آمده، یک رابطه کلی برای ضریب زبری حاصل می‌شود. همچنین در این مقاله از لوله‌های چدنی که داده‌های آزمایشگاهی آن در اختیار است، برای به‌دست آوردن رابطه ریاضی استفاده می‌شود. با وجود این، به جای استفاده از ضریب زبری لوله‌های نو در تحلیل و طراحی از ضریب زبری در انتهای دوره طرح با در نظر گرفتن عوامل مؤثر مذکور استفاده خواهد شد. برای ارزیابی نتایج روش ارائه‌شده، شبکه دوحلقه‌ای در دو حالت معمول و واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد اگر برای طراحی از ضریب زبری لوله‌های نو استفاده شود، فشار شبکه در انتهای دوره طرح بیش از ۲۵ درصد کاهش می‌یابد ولی در هزینه لوله‌ها در ابتدای دوره طرح حدود ۵۰ درصد صرفه‌جویی می‌شود. بنابراین برای تضمین وجود فشار کافی و ارضای تقاضا در انتهای دوره طرح باید افزایش هزینه اجرای شبکه در ابتدای دوره طرح را پذیرفت.

کلمات کلیدی: ضریب زبری هیزن - ویلیامز، قطر لوله، عمر لوله، خوردگی آب، مصرف، فشار.

شبکه های توزیع آب شهری یکی از زیرساخت های پیچیده، ضروری و در عین حال پرهزینه در مدیریت شهری محسوب می شوند که برای تأمین مقدار تقاضای مورد نیاز مصرف کنندگان با فشار کافی و کیفیت مطلوب در شرایط مختلف در تمامی نقاط مصرف، طراحی و اجرا می شوند. به دلیل افزایش نیاز آبی، این هدف، دغدغه مدیران و بهره برداران شده است. با این وجود مهم ترین خصوصیتی در شبکه ها که در تماس مستقیم با مصرف کننده است، فشار آبی است که در محل مصرف وجود دارد. بنابراین بررسی عواملی که باعث تغییر در فشار آب می شوند، دارای اهمیت ویژه ای است. زبری لوله ها به صورت مستقیم روی فشار گره های متصل به لوله ها تأثیر گذارند، بنابراین زبری لوله ها به تبع ارتباط مستقیم مصرف کننده با فشار گرهی، به طور مستقیم با مصرف کننده در ارتباط بوده و باید مورد توجه بیشتری قرار گیرند. با این وجود برای تأثیر زبری لوله ها بر فشار و در واقع بر افت فشار لوله ها از طریق روابط مختلف، زبری را با ضرایب مختلف نمایش می دهند.

در شبکه های مرتبط با آب از سه رابطه افت معروف دارسی-وایسباخ، هیزن-ویلیامز و مانینگ (با توجه به شرایط مختلف) استفاده می شود و در این روابط به ترتیب سه ضریب f ، C_{HW} و n به عنوان ضریب زبری لوله ها به کار می روند.

با توجه به استفاده بیشتر از رابطه هیزن-ویلیامز در طراحی های مهندسی، ضریب هیزن-ویلیامز (C_{HW}) بیشتر مورد توجه مهندسان قرار گرفته است. همچنین در طراحی شبکه های توزیع آب به خصوص در نرم افزارها از این ضریب به عنوان مشخصه اصلی لوله ها استفاده می شود. بنابراین تغییر در این ضریب می تواند باعث تغییر در طراحی شبکه و به تبع، تغییر در مصارف و فشار گره ها شود، یعنی در نتایج شبیه سازی شبکه تغییر ایجاد می شود. بدین جهت در کالیبراسیون شبکه، برای نزدیک کردن محاسبات به مشاهدات از تنظیم و اصلاح ضریب زبری هیزن-ویلیامز در لوله ها استفاده می شود. در این مقاله عوامل مؤثر در ضریب زبری لوله ها و تخمین دقیق تر ضریب هیزن-ویلیامز بررسی می شود تا بتوان تغییر ضریب زبری را در طول طراحی و بهره برداری شبکه تشخیص داد و با اعمال این تغییر، اهداف طراحی را بهتر برآورده کرد.

$$V = 0.849 C_{HW} R_H^{0.63} S^{0.54} \quad (1)$$

که C_{HW} : ضریب هیزن-ویلیامز (بدون بعد)، R_H : شعاع هیدرولیکی لوله، S : شیب طولی لوله و V : سرعت آب در لوله هستند. این فرمول در ابتدا برای شیب ۰/۰۰۱ و شعاع هی درولیکی ۰/۳ متر به دست آمد. بنابراین ضریب هیزن-ویلیامز به مقادیر R_H و S و نیز شرایط جریان بستگی دارد. با توجه به اینکه مهندسان طراح از این فرمول برای محدوده وسیعی از قطر و شیب خط انرژی استفاده می کنند، Jain et al. (1978) پس از مقایسه این فرمول با فرمول استدلالی دارسی-وایسباخ، فرمول هیزن-ویلیامز را به صورت رابطه (۲) اصلاح کردند.

$$V = 143.5 C_R R_H^{0.6575} S^{0.5525} \quad (2)$$

$$C_R = \frac{-2(2)^{0.5}}{3.83 \text{Re}^{0.105}} \log\left(\frac{e}{3.7D} + \frac{1.78}{\text{Re}}\right)$$

این رابطه با فرض دمای ۲۰ درجه سلسیوس آب و لزجت سینماتیکی $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ به دست آمده است. همچنین در این رابطه C_R : ضریب هیزن-ویلیامز اصلاح شده، Re : عدد رینولدز، e : زبری معادل لوله و D : قطر لوله هستند.

Travis and Mays (2007) در تحقیق خود با اشاره به استفاده گسترده تر از ضریب زبری هیزن-ویلیامز به جای ضریب زبری کلبروک-وایت در معادله دارسی-وایسباخ، دلیل آن را گستردگی پایگاه داده های ضریب هیزن-ویلیامز (C_{HW}) در مقایسه با پایگاه داده های نسبتاً کوچک زبری ماسه معادل (K_s) دانستند که این ضریب در معادله دارسی-وایسباخ مورد نیاز است. آن ها در این تحقیق برای تخمین دقیق تر ضریب هیزن-ویلیامز، رابطه ای بین معادلات افت هد هیزن-ویلیامز و دارسی-وایسباخ مطرح کردند. در این رابطه برای تعیین C_{HW} لازم است که عدد رینولدز و قطر لوله به طور هم زمان معلوم باشند. بنابراین با ارائه یک راه حل ضمنی و ارتباط بین ضریب اصطکاک معادل هیزن-ویلیامز (f) و ضریب اصطکاک معادل کلبروک-وایت (f_k)، مطابق روابط (۳) و (۴) مقدار C_{HW} به

صورت تقریبی با درصد خطای ۴٪ تخمین زده می‌شود.

$$\frac{1}{\sqrt{f_k}} = \frac{2}{\ln(10)} \ln\left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f_k}}\right) \quad (3)$$

$$f_c = 1016.61 \times C_{HW}^{-1.85} \times D^{-0.0185} \times \text{Re}^{-0.148} \quad (4)$$

که f_k : ضریب اصطکاک معادل کلبروک-وایت، f_c : ضریب اصطکاک معادل هیزن-ویلیامز، C_{HW} : ضریب هیزن-ویلیامز، K_s : زبری ماسه معادل، Re : عدد رینولدز و D : قطر لوله مورد آزمایش است. در صورتی که یک لوله با قطر مشخص D_i تحت جریانی با عدد رینولدز متناظر R_i مورد آزمایش قرار گیرد، با برابر قرار دادن دو رابطه (۳) و (۴)، مقدار C_{HW} با فرض‌های مختلف قابل تعیین است.

محققان بیشتری در این زمینه با مقایسه معادلات هیزن-ویلیامز و دارسی-وایسباخ، روابط تخمینی دیگری را ارائه دادند. از جمله این افراد می‌توان به (Locher 2000) اشاره نمود که رابطه (۵) را برای ضریب دارسی-وایسباخ ارائه نموده است.

$$f = \frac{0.201(100 / C_{HW})^{1.85}}{\text{Re}^{0.148} D^{0.0185}} \quad (5)$$

در آزمایشات و تحقیقات زیادی که روی ضریب هیزن-ویلیامز انجام شد، ارتباط قوی بین این ضریب با قطر لوله تا حدودی به اثبات رسیده است. (Valiantzas 2005) در تحقیق خود با در نظر گرفتن این ارتباط، روابط اصلاحی را برای ضریب هیزن-ویلیامز خود ارائه کرد. همچنین او با مقایسه دو معادله هیزن-ویلیامز (HW) و دارسی-وایسباخ (DW-CW)، در محدوده سرعت بین ۰/۳ و ۳ متر بر ثانیه، قطر بین ۳۰ و ۹۰۰ میلی‌متر و زبری معادل بین ۰/۰۰۰۱ و ۱/۶ میلی‌متر روابطی را برای ضریب هیزن-ویلیامز اصلاح‌شده که تابعی از قطر لوله است، ارائه داد. با مقادیر معمول زبری معادل و ضریب هیزن-ویلیامز یعنی $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$ ، $C_{HW} = 135$ رابطه (۶) ارائه شد.

$$C_D = C_{\max} + 13 \log\left(\frac{D}{D_0}\right) ; \text{if } D < D_0 \quad (D_0 = 300 \text{ mm})$$

$$C_D = C_{\max} ; \text{if } D \geq D_0 \quad (C_{\max} = 135) \quad (6)$$

همچنین در حالت کلی، زمانی که تمامی متغیرها تغییر کنند، رابطه (۷) ارائه شد.

$$C_D = C_{\max} + 13 \left(\frac{C_{\max}}{135}\right)^{1.5} \log\left(\frac{C_{\max} D}{135 D_0}\right) ; \text{if } D < D_0 \frac{135}{C_{\max}}$$

$$C_D = C_{\max} ; \text{if } D \geq D_0 \frac{135}{C_{\max}} \quad (7)$$

$$C_{\max} = 103 + 52.4 \exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)\right] ; (\varepsilon_0 = 0.284 \text{ mm})$$

که C_D : ضریب هیزن-ویلیامز اصلاح‌شده، $C_{\max}$: ضریب هیزن-ویلیامز معمول، D : قطر لوله، D_0 : قطر معمول لوله‌ها، ε : زبری معادل لوله و ε_0 : زبری معادل معمول لوله‌ها هستند.

(Moghazi 1998) در آزمایش‌های خود روی لوله‌های کوچک پلی اتیلن (PE) که در آبیاری و کشاورزی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند، ضریب هیزن-ویلیامز را تخمین زد. همچنین اشاره کرد که ضریب هیزن-ویلیامز بدون در نظر گرفتن قطر آن‌ها معمولاً برای لوله‌های پلی اتیلن بین ۱۳۰ تا ۱۴۰ فرض می‌شود. در این آزمایش‌ها در قطرهای مختلف، میزان افت هد را برای دبی‌های مختلف جریان اندازه‌گیری نمود. سپس با افت هد‌های محاسباتی با ضرایب هیزن-ویلیامز مختلف، مقایسه نموداری صورت گرفته و بهترین ضریب انتخاب شد. براساس نتیجه این آزمایش‌ها، ضریب هیزن-ویلیامز برای قطرهای ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۲ میلی‌متر، به ترتیب ۱۲۹، ۱۳۶، ۱۴۴ و ۱۴۸ به‌دست آمد.

(Yildirim and Ozger 2008) برای محاسبه افت هد ناشی از زبری لوله‌های پلی اتیلن به‌کار گرفته شده در کاربرد آبیاری و کشاورزی، از رابطه تجربی هیزن-ویلیامز به‌دلیل سادگی کار با آن استفاده کردند. آن‌ها با توجه به در دسترس نبودن داده‌های کافی، واضح و مشخص، از روش سیستم‌های فازی استفاده کردند. در این تحقیق با استفاده از روش نوروفازی، نرخ جریان و قطر لوله‌ها به‌عنوان متغیرهای ورودی و افت هد اصطکاکی و ضریب هیزن-ویلیامز به‌عنوان متغیرهای خروجی به‌هم مرتبط شدند. همچنین از لوله‌های با قطر ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۲ میلی‌متر استفاده شد و بهترین ضرایب برای آن‌ها تخمین زده شد.

(Dini and Tabesh 2014) با توجه به تغییر ضریب زبری در شبکه‌های توزیع آب شهری، کالیبراسیون هم‌زمان ضرایب الگوی تقاضا و هیزن-ویلیامز را انجام دادند. ضرایب هیزن-ویلیامز با توجه به تأثیری که در افت فشار و به‌تبع، روی فشار گرهی دارند، موجب تغییر مصارف گرهی می‌شوند. در

این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان (ACO) و شبیه‌ساز هیدرولیکی EPANET2.0 استفاده شده و ضرایب تقاضا و هیزن-ویلیامز به عنوان پارامترهای کالیبراسیون و جریان لوله‌ها و فشار گرهی به عنوان داده‌های اندازه‌گیری در نظر گرفته شدند. تابع هدف در این مدل نیز کاهش تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در نظر گرفته شد. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که مدل کالیبراسیون جدید می‌تواند ضرایب تقاضا و هیزن-ویلیامز را با دقت بالا کالیبره کند.

همچنین (Sherri et al. (2017) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌ساز WaterGEMS به کالیبراسیون هم‌زمان تقاضای گرهی و ضریب هیزن-ویلیامز پرداختند. در این تحقیق لوله‌ها و گره‌ها بر حسب مشخصه‌های فیزیکی مثل سن لوله‌ها، جنس لوله‌ها و وضعیت جغرافیایی شبکه توزیع آب دسته‌بندی شده‌اند که این طبقه‌بندی باعث کوچک شدن فضای جواب و آسان‌تر پیدا کردن جواب نهایی در زمان کمتری شده است.

Lamont (1969, 1981) برای لوله‌های معمولی و سرعت جریان ۰/۹ متر بر ثانیه، مقادیر ضریب هیزن-ویلیامز را پس از بررسی ۳۷۲ آزمون، مطابق جدول ۱ توصیه نمود. سپس با اعمال ضرایبی مقادیر ضریب در سرعت‌های غیر از ۰/۹ متر بر ثانیه تصحیح شد.

از طرفی با توجه به این‌که با گذشت زمان، زبری داخلی لوله‌ها افزایش می‌یابد، بنابراین ظرفیت هیدرولیکی لوله‌ها کاهش می‌یابد. در این راستا (Lamont (1969, 1981 اثر عمر لوله‌ها را روی ضریب هیزن-ویلیامز ۶۰ لوله چدنی پوشش‌دار بررسی نمود که نتایج آن مطابق جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به تحقیقات و آزمایش‌هایی که تا به این‌جا انجام شد، مشاهدات مختلف محققان گویای این مطلب است که تخمین صحیح مقدار ضریب زبری برای لوله‌های کهنه، کار بسیار دشواری است و نتایج دقیق‌تر با مشاهدات و آزمایشات بیشتر امکان‌پذیر است.

همچنین (Lamont (1981 با آزمایشی که روی ۶۰ لوله کهنه چدنی پوشش‌دار انجام داد، برای این‌که این تغییر ملموس‌تر باشد، رابطه‌ای بین آهنگ رشد سالانه زبری (α) و شاخص اشباع لانتزلی را که خود وابسته به pH قلیاییت و میزان کلسیم آب است، پیشنهاد نمود. در همین راستا Colebrook and White (1937) برای رشد سالانه زبری لوله‌های چدنی فرمولی را مطابق رابطه (۸) بر حسب pH آب پیشنهاد نمودند.

$$2 \log \alpha = 6.61 - pH \quad (8)$$

که α : آهنگ رشد سالانه زبری (بدون بعد) است و برای pH های مختلف، ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر ضریب هیزن-ویلیامز برای لوله‌های نو با قطرهای مختلف در سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه

جنس لوله	قطر لوله‌های نو (میلی‌متر)				
	۷۵	۱۵۰	۳۰۰	۶۰۰	۱۲۰۰
چدن بدون پوشش	۱۲۱	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۲	۱۳۴
چدن با پوشش	۱۲۹	۱۳۳	۱۳۸	۱۴۰	۱۴۱
فولاد بدون پوشش	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۷	۱۵۰	۱۵۰
فولاد با پوشش	۱۳۷	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۸	۱۴۸
آهن نرم	۱۳۷	۱۴۲	-	-	-
آهن گالوانیزه	۱۲۹	۱۳۳	-	-	-
آهن ریخته‌گری با پوشش	۱۳۷	۱۴۲	۱۴۷	۱۴۸	۱۴۸
آزبست-سیمان بدون پوشش	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۷	۱۵۰	-
آزبست-سیمان با پوشش	۱۴۷	۱۴۹	۱۵۰	۱۵۲	-
بتن	۱۲۹-۶۹	۱۳۳-۷۹	۱۳۸-۸۴	۱۴۰-۹۰	۱۴۱-۹۵
بتن پیش تنیده	-	-	۱۴۷	۱۵۰	۱۵۰
پی وی سی، برنج، سرب، مس	۱۴۷	۱۴۹	۱۵۰	۱۵۲	۱۵۳
لوله‌های تمیز شده توسط ساییدن	۱۰۹	۱۱۶	۱۲۱	۱۲۵	۱۲۷

جدول ۲- اثر عمر و خورندگی روی ضریب هیزن-ویلیامز
لوله‌های چدنی پوشش‌دار

درجه خورندگی آب	قطر لوله‌ها (میلی‌متر)				
	۱۲۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۷۵
۳۰ سال عمر					
جزیی	۱۲۰	۱۱۷	۱۱۲	۱۰۶	۱۰۰
متوسط	۱۰۷	۱۰۲	۹۷	۹۰	۸۳
قابل ملاحظه	۸۹	۸۳	۷۸	۷۰	۵۹
زیاد	۷۳	۶۶	۵۸	۵۰	۴۱
۶۰ سال عمر					
جزیی	۱۱۲	۱۰۷	۱۰۲	۹۷	۹۰
متوسط	۹۶	۹۲	۸۵	۷۹	۶۹
قابل ملاحظه	۷۸	۷۲	۶۶	۵۸	۴۹
زیاد	۶۲	۵۶	۴۸	۳۹	۳۰
۱۰۰ سال عمر					
جزیی	۱۰۴	۱۰۰	۹۵	۸۹	۸۱
متوسط	۸۹	۸۳	۷۸	۷۰	۶۱
قابل ملاحظه	۷۱	۶۴	۵۷	۴۹	۴۰
زیاد	۵۴	۴۸	۳۹	۳۰	۲۱

و همچنین درجه خورندگی آب، ضریب زبری هیزن-ویلیامز تغییر می‌کند. بنابراین در حالات مختلف، تغییرات مربوط به ضریب هیزن-ویلیامز تحلیل و بررسی می‌شود.

۳-۱- بررسی تغییر قطر لوله

(Lamont 1981) برای قطرهای مختلف لوله‌های چدنی، آزمایش‌هایی را با شرایط درجه خورندگی جزئی آب انجام داد و برای این که این تغییرات در زمان‌های مختلف نیز اثبات شود، برای عمرهای مختلف لوله‌ها هم این آزمایش‌ها را تکرار کرد. در جدول ۴ تغییرات ضریب زبری با افزایش قطر لوله‌ها در عمرهای مختلف ارائه شده و شکل ۱ روند این تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۴ و شکل ۱، نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱. با افزایش قطر لوله‌ها، ضریب هیزن-ویلیامز افزایش و به تبع آن، زبری لوله‌ها کاهش می‌یابد.
۲. با توجه به روند مشابه افزایش ضریب زبری با قطر در تمامی زمان‌ها، می‌توان گفت که قطرهای فارغ از دیگر عوامل، مستقلاً روی زبری لوله‌ها تأثیر خواهند داشت.
۳. با افزایش قطر، شیب افزایش ضریب زبری کاهش می‌یابد و این یعنی در قطرهای خیلی بالا، قطر عامل تأثیرگذاری نخواهد بود و با هر چه بزرگتر شدن قطر لوله‌ها، تأثیر قطر روی زبری لوله‌ها کاهش می‌یابد.
۴. برای کمی‌سازی تأثیر قطر لوله‌ها روی ضریب زبری، باتوجه به روند ثابت تغییر ضریب با قطر در تمام زمان‌ها و البته تغییر نامنظم آن‌ها می‌توان گفت در تمام زمان‌ها، بعد از قطر ۶۰۰ میلی‌متر، ضریب زبری را می‌توان همان مقدار ثابت برای لوله در هر زمان فرض کرد.

۳-۲- بررسی عمر لوله

(Lamont 1981) برای سن‌های مختلف لوله‌های چدنی، آزمایش‌هایی را با شرایط درجه خورندگی جزئی آب انجام داد و برای این که این تغییرات در قطرهای مختلف نیز اثبات شود، برای قطرهای مختلف لوله‌ها هم این آزمایش‌ها را تکرار کرد. جدول ۵ تغییرات ضریب زبری را با افزایش سن لوله‌ها در قطرهای مختلف و شکل ۲ روند این تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد.

(Lamont 1981) نیز برای درجات خورندگی مختلف، مقادیر متوسط رشد سالانه زبری را ارائه کرد. بنابراین درجات خورندگی به راحتی به مقادیر مشخصی از pH آب کمی می‌شوند که جدول ۳ این اعداد را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به مطالعات و آزمایشاتی که در این راستا صورت گرفته است، عوامل اصلی مؤثر در ضریب زبری شامل عمر لوله، قطر لوله، خورندگی و pH آب می‌شوند.

۳- تحلیل روابط و عوامل مؤثر بر ضریب زبری

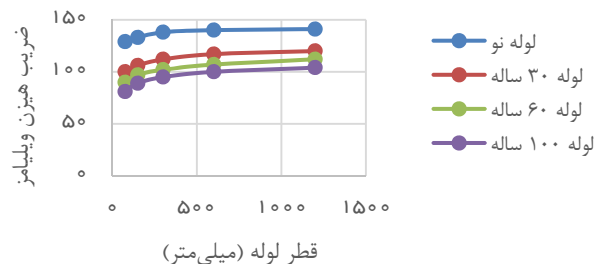
با توجه به اعدادی که (Lamont 1981) بعد از آزمایشات متعدد ارائه داد، می‌توان تحلیل نمود که با تغییر قطر و عمر لوله‌ها

جدول ۳- رابطه بین درجه خورندگی آب و pH

pH	رشد سالانه زبری	درجه خورندگی
۹٫۸	۰٫۰۲۵	جزیی
۸٫۸	۰٫۰۷۶	متوسط
۷٫۸	۰٫۲۵	قابل ملاحظه
۶٫۸	۰٫۷۶	زیاد

جدول ۴- تغییر ضریب زبری با تغییر قطر لوله‌ها در شرایط خوردنگی جزئی

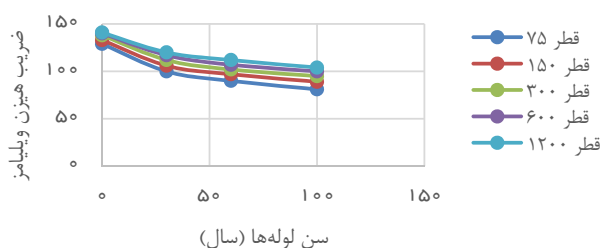
قطر (mm)	سن (سال)			
	نو	۳۰	۶۰	۱۰۰
۷۵	۱۲۹	۱۰۰	۹۰	۸۱
۱۵۰	۱۳۳	۱۰۶	۹۷	۸۹
۳۰۰	۱۳۸	۱۱۲	۱۰۲	۹۵
۶۰۰	۱۴۰	۱۱۷	۱۰۷	۱۰۰
۱۲۰۰	۱۴۱	۱۲۰	۱۱۲	۱۰۴



شکل ۱- تأثیر قطر لوله‌ها روی ضریب زبری

جدول ۵- تغییر ضریب زبری با تغییر سن لوله‌ها در شرایط خوردنگی جزئی

سن (سال)	قطر (میلی‌متر)				
	۷۵	۱۵۰	۳۰۰	۶۰۰	۱۲۰۰
۰	۱۲۹	۱۳۳	۱۳۸	۱۴۰	۱۴۱
۳۰	۱۰۰	۱۰۶	۱۱۲	۱۱۷	۱۲۰
۶۰	۹۰	۹۷	۱۰۲	۱۰۷	۱۱۲
۱۰۰	۸۱	۸۹	۹۵	۱۰۰	۱۰۴



شکل ۲- تأثیر سن لوله‌ها روی ضریب زبری

۳-۳- بررسی خوردنگی آب

با توجه به این‌که مقادیر قبلی در درجه خوردنگی جزئی تحلیل شده بودند، ضروری است که مشخص شود، ضریب زبری یک لوله در یک قطر و سن مشخص با خوردنگی آب چگونه تغییر می‌کند. از طرفی با توجه به درجه‌بندی کیفی خوردنگی آب به صورت جزئی، متوسط، قابل‌ملاحظه و زیاد، مطابق جدول ۳، درجات خوردنگی به وسیله pH معادل‌سازی کمی شده است.

(Lamont 1981) مقادیر ضریب زبری را برای درجات خوردنگی مختلف آب بررسی نمود و برای این‌که این تغییرات در زمان‌های مختلف نیز اثبات شود، برای سن‌های مختلف لوله‌ها هم این آزمایش‌ها را انجام داد. در نهایت برای این‌که بتوان رابطه‌ای کمی برای تأثیر خوردنگی آب روی ضریب زبری به دست آورد، برای یک لوله با قطر مشخص مثل قطر ۱۵۰ میلی‌متری تحلیل صورت می‌گیرد. جدول ۶ مقادیر ضریب زبری را برای درجات خوردنگی و سن‌های مختلف و شکل ۳ روند این تغییرات را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۶ و شکل ۳، نتایج زیر حاصل می‌شود:
۱. با افزایش خوردنگی آب (کاهش pH معادل)، ضریب هیزن-

با توجه به جدول ۵ و شکل ۲، نتایج زیر حاصل می‌شود:
۱. با افزایش سن لوله‌ها، ضریب هیزن-ویلیامز کاهش و به تبع آن، زبری لوله‌ها افزایش می‌یابد.
۲. با توجه به روند مشابه کاهش ضریب زبری با قطر در تمامی زمان‌ها، می‌توان گفت که سن لوله‌ها فارغ از دیگر عوامل، مستقلاً روی زبری لوله‌ها تأثیر خواهند داشت.
۳. با افزایش سن، شیب افزایش ضریب زبری کاهش می‌یابد و این یعنی در سن‌های بالا، سن لوله تأثیرگذاری کمتری خواهد داشت.

۴. برای کمی‌سازی تأثیر سن لوله‌ها روی ضریب زبری، با توجه به روند ثابت تغییر ضریب با قطر در تمام زمان‌ها، می‌توان رابطه درجه دوم را برای این تأثیر اختصاص داد. رابطه (۹) با توجه به برازش نمودار تمام قطر‌ها در طول عمر آن‌ها با ضریب همبستگی ۰/۹ به دست آمده است.

$$C_{HW(t)} = 0.005 \times t^2 - 0.9 \times t + C_{HW(0)} \quad (9)$$

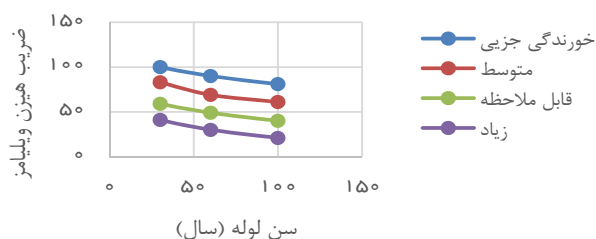
که $C_{HW(t)}$: مقدار ضریب هیزن-ویلیامز در عمر t (سال) از لوله و $C_{HW(0)}$: مقدار ضریب هیزن-ویلیامز در ابتدای عمر لوله در درجه خوردنگی جزئی آب است.

۳-۴- بررسی توأمان تغییر قطر، عمر و خوردگی

با توجه به این که مقادیر ضریب زبری برای قطر و سن های مختلف لوله ها و همچنین درجات خوردگی متفاوت آب، تغییرات قابل توجهی داشته است، بنابراین با در نظر گرفتن هر سه عامل در کنار هم، می توان تحلیل دقیق تری نسبت به تغییرات ضریب زبری داشت. جداول ۷ تا ۱۱ تغییرات ضریب زبری را با سه عامل مذکور نشان می دهد و شکل های ۴ تا ۸ نیز روند این تغییرات را نمایش می دهد.

جدول ۷- تغییر ضریب زبری با تغییر سن لوله و درجه خوردگی آب در قطر ۷۵ میلی متری

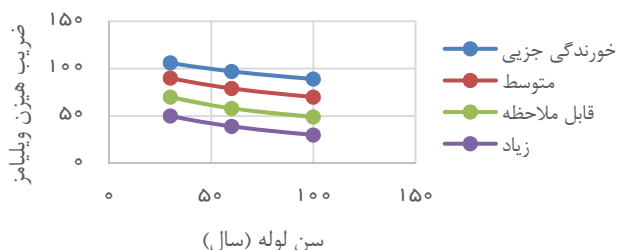
سن (سال)	خوردگی			
	جزیی	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد
۳۰	۱۰۰	۸۳	۵۹	۴۱
۶۰	۹۰	۶۹	۴۹	۳۰
۱۰۰	۸۱	۶۱	۴۰	۲۱



شکل ۴- تأثیر سن لوله و خوردگی آب در قطر ۷۵ میلی متری روی ضریب زبری

جدول ۸- تغییر ضریب زبری با تغییر سن لوله و درجه خوردگی آب در قطر ۱۵۰ میلی متری

سن (سال)	خوردگی			
	جزیی	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد
۳۰	۱۰۶	۹۰	۷۰	۵۰
۶۰	۹۷	۷۹	۵۸	۳۹
۱۰۰	۸۹	۷۰	۴۹	۳۰

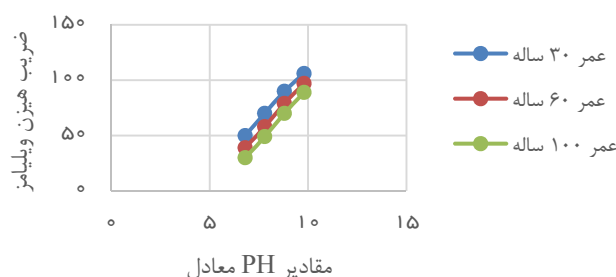


شکل ۵- تأثیر سن لوله و خوردگی آب در قطر ۱۵۰ میلی متری روی ضریب زبری

ویلیامز کاهش و به تبع آن، زبری لوله ها افزایش می یابد.
۲. با توجه به روند مشابه کاهش ضریب زبری با خوردگی در تمامی زمان ها، می توان گفت که خوردگی آب فارغ از دیگر عوامل، مستقلاً روی زبری لوله ها تأثیر خواهند داشت.
۳. با افزایش خوردگی، ضریب زبری نیز به صورت ثابت کاهش می یابد و این به منزله رابطه خطی بین خوردگی آب و ضریب زبری خواهد بود.
۴. برای کمی سازی تأثیر خوردگی آب روی ضریب زبری، با توجه به روند ثابت تغییر ضریب با خوردگی در تمام زمان ها، می توان رابطه درجه اول را برای این تأثیر اختصاص داد. رابطه (۱۰) با توجه به برازش نمودار تمام عمرها در طول خوردگی های مختلف آب با ضریب همبستگی ۰/۹۹ به دست آمده است.

جدول ۶- تغییر ضریب زبری با تغییر درجه خوردگی آب در قطر ۱۵۰ میلی متری

سن (سال)			pH
۱۰۰	۶۰	۳۰	
۸۹	۹۷	۱۰۶	۹/۸
۷۰	۷۹	۹۰	۸/۸
۴۹	۵۸	۷۰	۷/۸
۳۰	۳۹	۵۰	۶/۸



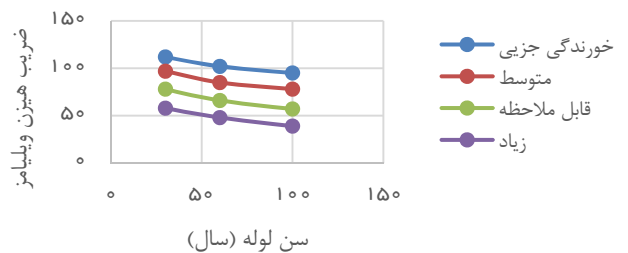
شکل ۳- تأثیر خوردگی آب روی ضریب زبری

$$C_{HW(t,pH)} = 19.5 \times pH + C_{HW(t)} - 190 \quad (10)$$

که $C_{HW(t)}$: ضریب هیزن ویلیامز در سن t در درجه خوردگی جزئی، $C_{HW(t,pH)}$: ضریب هیزن ویلیامز در سن t در درجه خوردگی مدنظر و pH: مقدار معادل درجه خوردگی مدنظر خواهد بود.

جدول ۹- تغییر ضریب زبری با تغییر سن لوله و درجه خوردندگی آب در قطر ۳۰۰ میلی متری

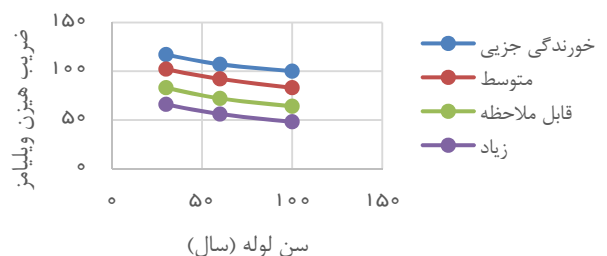
سن (سال)	خوردندگی			
	جزیی	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد
۳۰	۱۱۲	۹۷	۷۸	۵۸
۶۰	۱۰۲	۸۵	۶۶	۴۸
۱۰۰	۹۵	۷۸	۵۷	۳۹



شکل ۶- تأثیر سن لوله و خوردندگی آب در قطر ۳۰۰ میلی متری روی ضریب زبری

جدول ۱۰- تغییر ضریب زبری با تغییر سن لوله و درجه خوردندگی آب در قطر ۶۰۰ میلی متری

سن (سال)	خوردندگی			
	جزیی	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد
۳۰	۱۱۷	۱۰۲	۸۳	۶۶
۶۰	۱۰۷	۹۲	۷۲	۵۶
۱۰۰	۱۰۰	۸۳	۶۴	۴۸



شکل ۷- تأثیر سن لوله و خوردندگی آب در قطر ۶۰۰ میلی متری روی ضریب زبری

با توجه به جداول ۷ تا ۱۱ و شکل های ۴ تا ۸، نتایج زیر حاصل می شود:

- وقتی در یک قطر مشخص بررسی صورت می گیرد، مشاهده می شود که با افزایش سن، ضریب زبری کاهش می یابد. با توجه به تأثیر خوردندگی در این مورد، با افزایش درجه خوردندگی آب

نیز ضریب زبری کاهش می یابد.

- وقتی در یک قطر مشخص بررسی صورت می گیرد، با افزایش درجه خوردندگی، کاهش ضریب زبری به طور یکنواخت رخ می دهد. یعنی در نمودار، با افزایش خوردندگی آب، فاصله بین نمودارها با هم برابر است. این نوع تغییر یعنی خوردندگی و ضریب زبری به صورت خطی با هم تغییر می کنند.

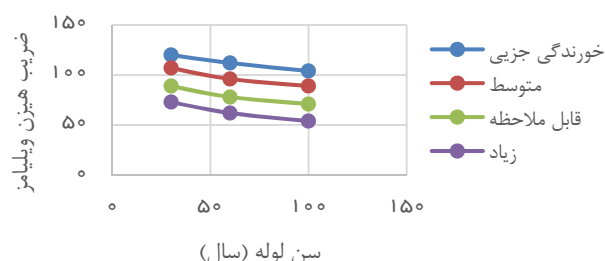
- وقتی همه نمودارها با هم مقایسه می شوند، مشاهده می شود که شکل نمودارها کاملاً یکسان هستند و تنها فرق این نمودارها، مقادیر ضرایب آن ها است که به دلیل تغییر قطر لوله ها، این اتفاق افتاده است. این تشابه به این دلیل است که رابطه بین سن و خوردندگی در تمام قطرها با هم یکسان است. - در نهایت این گونه تحلیل می شود که این سه عامل به صورت مستقل روی ضریب زبری با روابط خاص خود تأثیر گذارند و اصلاً رابطه طولی با یکدیگر نخواهند داشت.

۴- رابطه کمی ضریب زبری هیزن-ویلیامز در شرایط مختلف

با توجه به قطرهای مختلف مطابق جدول ۱ مقادیر مختلفی تحت عنوان $C_{HW(0)}$ به دست می آید که قطر لوله، در این قسمت تأثیر می گذارد. سپس با توجه به تغییر ضریب در طول

جدول ۱۱- تغییر ضریب زبری با تغییر سن لوله و درجه خوردندگی آب در قطر ۱۲۰۰ میلی متری

سن (سال)	خوردندگی			
	جزیی	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد
۳۰	۱۲۰	۱۰۷	۸۹	۷۳
۶۰	۱۱۲	۹۶	۷۸	۶۲
۱۰۰	۱۰۴	۸۹	۷۱	۵۴



شکل ۸- تأثیر سن لوله و خوردندگی آب در قطر ۱۲۰۰ میلی متری روی ضریب زبری

طول آن‌ها در جدول ۱۲ و مصارف و ارتفاع گره‌ها در جدول ۱۳ آورده شده است.

در واقعیت اگر دوره طرح شبکه مورد نظر، ۲۵ سال و درجه خوردنگی آب درون شبکه، به‌طور متوسط ($pH=8/8$) فرض شود، با توجه به ضریب هیزن-ویلیامز اولیه متوسط ۱۳۰ برای لوله‌ها در شبکه، ضریب هیزن-ویلیامز واقعی متوسط حدوداً برابر ۹۰ خواهد شد. با این تغییر، مجدداً شبکه مورد نظر، به‌طور واقعی طراحی می‌شود و نتایج طراحی شبکه در دو حالت (معمول و واقعی)، مطابق جدول ۱۴ مقایسه می‌شوند. منظور از حالت معمول، همین حالتی است که ضریب هیزن-ویلیامز را بدون در نظر گرفتن عوامل مؤثر و در ابتدای دوره طرح اعمال می‌کنند و حالت واقعی حالتی است که ضریب هیزن-ویلیامز با در نظر گرفتن عوامل مؤثر و در انتهای دوره طرح اعمال می‌شود. لازم به ذکر است که طراحی‌های صورت گرفته در دو حالت با توجه به سرعت‌های حداقل و حداکثر ۰/۳ و ۲ متر بر ثانیه و فشارهای حداقل و حداکثر ۳۰ و ۶۰ متر آب و همچنین تحلیل مبتنی بر تقاضا (DDSM) بوده است.

همان‌طور که از مقایسه دو حالت برمی‌آید، قطر لوله‌ها در حالت واقعی به‌طور کلی افزایش داشته و به‌همین دلیل افزایش قیمت در اجرای لوله‌ها مشاهده می‌شود. اما اگر از قطرهای

جدول ۱۲- اندازه و هزینه لوله‌های قابل انتخاب برای شبکه مرجع

ردیف	قطر لوله (mm)	هزینه بر واحد طول (\$/m)
۱	۲۵۴	۲
۲	۵۰۸	۵
۳	۷۶۲	۸
۴	۱۰۱۶	۱۱
۵	۱۵۲۴	۱۶
۶	۲۰۳۲	۲۳
۷	۲۵۴	۳۲
۸	۳۰۴۸	۵۰
۹	۳۵۵۶	۶۰
۱۰	۴۰۶۴	۹۰
۱۱	۴۵۷۲	۱۳۰
۱۲	۵۰۸	۱۷۰
۱۳	۵۵۸۸	۳۰۰
۱۴	۶۰۹۶	۵۵۰

زمان، عمر لوله خود را در رابطه (۹) تحت عنوان $C_{HW(t)}$ نشان می‌دهد و در نهایت با تغییر درجه خوردنگی آب، ضریب واقعی مطابق رابطه (۱۰) تحت عنوان $C'_{HW(t)}$ تغییر می‌کند. بنابراین با تلفیق این سه تأثیر، می‌توان یک رابطه جامع به‌صورت رابطه (۱۱) برای ضریب هیزن-ویلیامز لوله‌های چدنی تعریف کرد.

$$C'_{HW(t)} = C_{HW(0)} + 19.5 \times pH + 0.005 \times t^2 - 0.9 \times t - 190 \quad (11)$$

که $C_{HW(0)}$: مقدار ضریب هیزن-ویلیامز در ابتدای عمر لوله در درجه خوردنگی جزئی، $C'_{HW(t)}$: ضریب هیزن ویلیامز در سن t در درجه خوردنگی مدنظر و pH : مقدار معادل درجه خوردنگی مدنظر خواهد بود.

همچنین برای این که بتوان صحت حدودی رابطه را مشخص نمود، یک مثال با مقادیر آزمایشگاهی (Lamont 1981) مقایسه می‌شود. برای مقایسه، ضریب زبری یک لوله ۱۵۰ میلی متری را در سن ۶۰ سال با درجه خوردنگی متوسط آب در نظر بگیرید که اطلاعات آن به شکل زیر است:

$$\begin{aligned} pH &= 8.8 \\ C_{HW(0)} &= 133 \\ t &= 60 \text{ (years)} \\ C'_{HW(60)} &= 133 + 19.5 \times 8.8 + 0.005 \times 60^2 - 0.9 \times 60 - 190 = 78.6 \end{aligned}$$

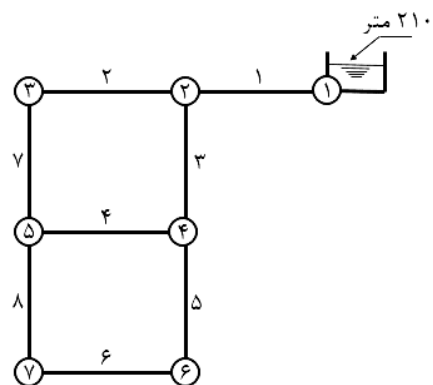
با توجه به مقادیر جدول ۲ که مقادیر ضریب زبری را برای تمامی حالات ارائه کرده است، مقدار ضریب زبری برابر ۷۹ در نظر گرفته شده است که دقت این رابطه را در تخمین ضریب هیزن ویلیامز نشان می‌دهد.

۵- مطالعه موردی

در نهایت برای این که تأثیر عوامل مؤثر در طراحی و تحلیل شبکه توزیع آب روشن شود، یک شبکه مرجع دو حلقه‌ای مطابق شکل ۹ مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شبکه برای اولین بار توسط Alperovits and Shamir (1977) معرفی شد که از ۷ گره و ۸ لوله تشکیل شده است و از یک مخزن با هد ثابت ۲۱۰ متر تغذیه می‌شود. طول تمامی لوله‌ها ۱۰۰۰ متر و ضریب هیزن-ویلیامز آن‌ها برابر ۱۳۰ است. ۱۴ قطر تجاری برای طراحی شبکه معرفی شده‌اند که به‌همراه هزینه واحد

جدول ۱۳- مشخصات گره‌ها در شبکه مرجع

شماره گره	ارتفاع (m)	مصرف (m ³ /h)
۱ (مخزن)	۲۱۰	-۱۱۲۰
۲	۱۵۰	۱۰۰
۳	۱۶۰	۱۰۰
۴	۱۵۵	۱۲۰
۵	۱۵۰	۲۷۰
۶	۱۶۵	۳۳۰
۷	۱۶۰	۲۰۰



شکل ۹- شبکه توزیع آب دوحلقه‌ای (Alperovits and Shamir, 1977)

محاسباتی در حالت معمول به دلیل هزینه کمتر استفاده شود، با توجه به تغییر ضریب هیزن-ویلیامز در طول عمر شبکه، میزان فشار در گره‌ها تغییر یافته و در انتهای دوره طرح قاعدتاً کاهش فشار در شبکه رخ می‌دهد. جدول ۱۵ مقایسه میزان

فشار گرهی را (با به کارگیری قطرهای محاسباتی در حالت معمول) در دو حالت نشان می‌دهد. نتایج حاصله از طراحی و تحلیل شبکه دوحلقه‌ای نشان می‌دهد:

۱. اگر عوامل مؤثر در تغییر ضریب هیزن-ویلیامز (قطر لوله، عمر لوله و درجه خوردگی آب) در طراحی اولیه شبکه در نظر گرفته شود، قطر لوله‌ها به طور کلی افزایش می‌یابد و این افزایش در قطر لوله‌ها، افزایش حدود ۵۰ درصدی در هزینه‌های لوله‌گذاری را به همراه دارد. بنابراین از نگاه مجریان طرح، استفاده از قطرهای محاسباتی در حالت معمول مطلوب خواهد بود.

۲. در طرف مقابل با در نظر گرفتن عوامل مذکور و اعمال تغییر در تحلیل شبکه معمول، فشار متوسط شبکه حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابد؛ یعنی اگر قطرهای معمول استفاده شود، در انتهای دوره طرح، فشار شبکه ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین از نگاه مهندسان طرح، استفاده از قطرهای محاسباتی در حالت واقعی مطلوب خواهد بود. بنابراین با توجه به تقابل دو هدف (کاهش قیمت و فشار مناسب) در طراحی و تحلیل این شبکه، با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده و اهمیت و وزن هر کدام از دو هدف مذکور، استفاده از قطرهای واقعی یا معمول توجیه‌پذیر خواهد بود. از دیدگاه نویسندگان به دو دلیل استفاده از قطرهای واقعی توصیه می‌شود:

الف) افزایش هزینه تنها در ابتدای دوره طرح تحمیل می‌شود و با سرمایه‌گذاری بیشتر کارفرما و بهینه‌سازی دیگر اجزای شبکه قابل جبران خواهد بود، اما کاهش فشار در طول عمر شبکه،

جدول ۱۴- نتایج طراحی شبکه مرجع در دو حالت معمول و واقعی

شماره لوله	قطر طراحی شده در حالت معمول (mm)	هزینه لوله در حالت معمول (هزار دلار)	قطر طراحی شده در حالت واقعی (mm)	هزینه لوله در حالت واقعی (هزار دلار)
۱	۴۵۷٫۲	۱۳۰	۵۵۸٫۸	۳۰۰
۲	۳۰۴٫۸	۵۰	۴۵۷٫۲	۱۳۰
۳	۴۰۶٫۴	۹۰	۴۰۶٫۴	۹۰
۴	۱۵۲٫۴	۱۶	۱۰۱٫۶	۱۱
۵	۳۵۵٫۶	۶۰	۳۵۵٫۶	۶۰
۶	۲۰۳٫۲	۲۳	۷۶٫۲	۸
۷	۳۵۵٫۶	۶۰	۳۵۵٫۶	۶۰
۸	۲۵۴	۳۲	۳۵۵٫۶	۶۰
کل شبکه	هزینه کل	۴۶۱	-	۷۱۹

جدول ۱۵- میزان فشار گرهی (با به کارگیری قطرهای به دست آمده) در دو حالت معمول و واقعی

شماره گره	فشار در حالت معمول (متر آب)	فشار در حالت واقعی (متر آب)
۲	۵۳	۴۸
۳	۳۴	۲۵
۴	۴۳	۳۷
۵	۴۲	۳۱
۶	۲۹	۲۰
۷	۳۰	۱۸
فشار متوسط شبکه	۳۶٫۴	۲۷

لوله در انتهای دوره طرح انتخاب می شود. ولی در عمل ضریب زبری لوله های نو وارد می شود و این نیز در طراحی و تحلیل خطا ایجاد می کند. افزایش حدودی قطر لوله ها و به تبع آن، افزایش ۵۰ درصدی در هزینه اجرای شبکه در ابتدای دوره طرح و کاهش بیش از ۲۵ درصدی در فشار شبکه در انتهای دوره طرح، از جمله خطاهای ایجاد شده در شبکه مرجع مطالعه شده است.

۴. با توجه به این که ضریب زبری جزء خصوصیات ظاهری و ملموس لوله ها نیست، به همین دلیل به عنوان یک پارامتر کم تأثیر به آن نگاه می شود و اهمیت قطر لوله ها و دیگر متغیرها، مانع در نظر گرفتن تغییرات زبری لوله ها می شود. به این دلیل است که مطالعات کمتری در این زمینه نسبت به بقیه مشخصات شبکه انجام شده است. بنابراین لازم است مطالعات گسترده آزمایشگاهی و میدانی بر روی کلیه عوامل مؤثر بر زبری لوله ها برای انواع جنس های مختلف لوله ها انجام شود.

۷- مراجع

- معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"، نشریه ۱۱۷-۳ (بازنگری اول)، (نشریه ۳۸۰-الف، طرح استانداردهای وزارت نیرو).
- Alperovits, E., and Shamir, U., (1977), "Design of optimal water distribution systems", *Water Resources Research*, 13(6), 885-900.
- Colebrook, C.F., and White, C.M., (1937), "The reduction of carrying capacity of pipes with age", *Journal Institute of Civil Engineering*, 7(1), 99-118.
- Dini, M., and Tabesh, M., (2014), "A new method for simultaneous calibration of demand pattern and

مصرف کنندگان را دچار مشکل خواهد کرد.

ب) از دیدگاه اهمیت موضوع، میزان رضایت مصرف کنندگان نسبت به فاکتورهای دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است و چه بسا در طول عمر شبکه احتمال بازسازی و نوسازی شبکه در جهت افزایش فشار شبکه، هزینه های بیشتری را به کارفرما تحمیل نماید.

۶- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و بررسی های دقیق تری که انجام شد، نتایج مفیدی به دست آمده است که به اختصار به آن ها اشاره می شود:

۱. ضریب زبری نمایانگر زبری لوله ها است و به این دلیل تأثیر مستقیم بر روی مصرف بابت تأثیر آن روی فشار شبکه خواهد داشت، بنابراین تغییر در ضریب زبری باعث تغییر در مصارف و اهداف طراحی خواهد شد.

۲. در نرم افزارهایی مثل WaterGEMS با توجه به جنس لوله، ضریب زبری داده می شود و سپس تحلیل و طراحی صورت می گیرد. این کار از یک جهت صحیح است ولی از این جهت که برای قطرهای مختلف، مقادیر ضریب زبری متفاوت خواهد بود، از همان ابتدا، خطای بزرگی به صورت ناخواسته در شبکه ایجاد می شود.

۳. در نرم افزارهایی مثل WaterGEMS در آخر دوره طرح مثلاً ۲۵ سال از ابتدای بهره برداری، طراحی و تحلیل صورت می گیرد. بنابراین ضرایب زبری باید با توجه به عمر ۲۵ ساله لوله ها در طراحی لحاظ شود. همچنین در بازنگری اول نشریه ۱۱۷-۳ (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲)، به این مسئله اشاره شده است که با توجه به تأثیر عوامل مختلف روی زبری لوله ها، ضریب زبری لوله ها با در نظر گرفتن وضعیت

- Hazen-Williams coefficients in water distribution systems”, *Water Resources Management*, 28(7), 2021-2034.
- Jain, A.K., Mohan, D.M., and Khanna, P., (1978), “Modified Hazen-Williams formula”, *Journal of the Environmental Engineering Division*, 104(1), 137-146.
- Lamont, P.A., (1969), “The choice of pipe flow laws for practical use”, *Water and Water Engineering*, 73(875), 9-17.
- Lamont, P.A., (1981), “Common pipe flow formulas compared with the theory of roughness”, *Journal of American Water Works Association*, 73(5), 274-280.
- Locher, F.A., (2000), “Discussion of Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(2), 167-169.
- Moghazi, H.M., (1998), “Estimating Hazen-Williams coefficient for polyethylene pipes”, *Journal of Transportation Engineering*, 124(2), 197-199.
- Sherri, F., Mahvi, A.H., Yoloee Eshlaghy, A., and Hassani, A.H., (2017), “A new approach in simultaneous calibration of Hazen-Williams coefficients and demand of nodes in water distribution systems”, *Desalination and Water Treatment*, 74(1), 137-148.
- Travis, Q.B., and Mays, L.W., (2007), “Relationship between Hazen-William and Colebrook-White roughness values”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(11), 1270-1273.
- Valiantzas, J.D., (2005), “Modified Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equations for friction and local head losses along irrigation laterals”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(4), 342-350.
- Yildirim, G., and Ozger, M., (2009), “Neuro-fuzzy approach in estimating Hazen-Williams friction coefficient for small-diameter polyethylene pipes”, *Advances in Engineering Software*, 40(8), 593

Optimization of Water Distribution Systems by Maximizing the Profit (Case Study: Homashahr)

Saeed Khalifeh^{1*}, Kazem Esmaili² and Hamid Khalifeh³

1- Ph.D. of Science in Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Water Science and Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- M.Sc. in Mechanics Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

* Corresponding Author, Email: khalife_saeed@yahoo.com

Received: 28/4/2018

Revised: 25/10/2018

Accepted: 27/10/2018

Abstract

Human societies nowadays undergo huge expenses to meet the water requirements aiming at maximizing the benefits and minimizing the costs. The goal of reduced costs can substantially be met by reduction in the cost of network pipes while satisfying the minimum pressure at nodes; i.e. 14 meters. This study is a multi-objective optimization function that will be constructed in a part of the water distribution network of the Homashahr city in Kerman province. In optimization of water distribution network, in addition to financial problems, other aspects should also be noted such as pressure and velocity of water in pipes which play key role in network design. In this study, the pressure was considered as a second objective function and the velocity was set as a boundary condition. When the objective function is defined only on the basis of cost, the network can face inadequate pressure in consumers' connections. In this study "WaterGems" software is used for hydraulic simulation and also optimization process based on genetic algorithm. Based on the two objective functions defined in terms of cost reduction and improved network pressure, a scenario with suitable condition was derived. This scenario caused 15% reduction in total costs of the project.

Keywords: Genetic Algorithm, Homashahr, Optimization, Water Distribution Network, WaterGEMS.

بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با رویکرد بیشینه‌سازی سود (مطالعه موردی: هماشهر استان کرمان)

سعید خلیفه^{۱*}، کاظم اسماعیلی^۲ و حمید خلیفه^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب گرایش سازه آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار، دانشکده علوم و مهندسی آب، گروه سازه آبی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: khalife_saeed@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵

چکیده

امروزه جوامع بشری هزینه‌های بسیاری را برای تأمین نیاز آبی خود با هدف به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه صرف می‌کنند. اگر هدف کاهش هزینه باشد، با کاهش هزینه لوله‌های مورد استفاده در شبکه به‌طوری‌که فشار آب در گره‌ها از حد پایین خود یعنی ۱۴ متر آب کمتر نباشد، بخش عمده‌ای از این هدف تأمین خواهد شد. در این پژوهش بهینه‌سازی براساس تابع هدف دومنظوره بخشی از شبکه توزیع آب هماشهر واقع در استان کرمان مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به اقلیم خاص منطقه حایز اهمیت است. در بهینه‌سازی یک شبکه توزیع آب علاوه بر بعد مالی مسئله، باید به ابعاد دیگری همچون فشار، سرعت آب در لوله‌ها که در طراحی شبکه نقش اساسی دارد توجه کرد. در این تحقیق بعد فشار به عنوان تابع هدف دوم و اعمال سرعت به عنوان قید محدودیت در نظر گرفته شده است. اگر در این شبکه تابع هدف تنها بر اساس هزینه در نظر گرفته شود شبکه از لحاظ تأمین فشار مناسب در محل‌های مصرف با مشکل مواجه خواهد شد. بدین منظور در این مطالعه شبکه توزیع توسط مدل Water-GEMS تحلیل هیدرولیکی شده و بعد با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی انجام گرفته است. در پایان بهینه‌سازی از بین چند سناریو براساس تابع دو هدفه انجام و سناریویی که از نظر کاهش هزینه و بهبود فشار شبکه در وضعیت مطلوبی قرار داشت انتخاب شد که بعد از بهینه‌سازی، در حدود ۱۵ درصد از هزینه کل پروژه صرفه‌جویی صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، WaterGEMS، مسائل هیدرولیکی، لوله، الگوریتم ژنتیک.

نمایان گر عملکرد بهتر این روش نسبت به روش الگوریتم ساده و روش‌های قبلی بود.

Alperovits and Shamir (1977) از یک برنامه‌ریزی خطی^۱ (LPG) در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب استفاده کردند. در این طرح طول و قطر لوله‌ها به عنوان متغیرهای طراحی به کار گرفته شد. برنامه‌ریزی خطی، یا همان بهینه‌سازی خطی، روشی در ریاضیات است که به پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه از یک تابع خطی روی یک چندضلعی محدب می‌پردازد. این چندضلعی محدب در حقیقت نمایش نموداری تعدادی محدودیت از نوع نامعاده روی متغیرهای تابع است. به بیان ساده‌تر به وسیله برنامه‌ریزی خطی می‌توان بهترین نتیجه (مثلاً بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط و با محدودیت‌های خاص به دست آورد.

Kapelan et al. (2003), Tolson et al. (2004) و Babayan et al. (2005) روش‌های بهینه‌سازی چندمنظوره شبکه‌های توزیع آب را با استفاده از الگوریتم ژنتیک را ارائه نمودند. بهزادیان و اردشیر (۱۳۸۷)، طرح نمونه‌گیری چندمنظوره برای کالیبراسیون شبکه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی را ارائه کردند. Korkana et al. (2016) الگوریتم بهینه‌سازی را برای ایجاد مناطق اندازه‌گیری مجزا^۲ (DMA) در یک سیستم توزیع آب را در نظر گرفتند.

معین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۵)، بهینه‌سازی قطر لوله‌های شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شبتاب در مدل Relopt را ارائه دادند. Celi et al. (2017)، بهینه‌سازی انرژی ایستگاه‌های پمپاژ چندگانه در شبکه‌های توزیع آب را انجام دادند. Lima et al. (2018) طراحی مطلوب شبکه‌های آبرسانی با استفاده از یک روش بهبود انرژی را مورد مطالعه قرار دادند. باتوجه به تحقیقات صورت گرفته و با توجه به راحتی کار با عملگر Darwin Designer که برای حل مساله از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار WaterGEMS نوشته شده، این روش مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهر هماشهر استان کرمان در شرایط واقعی براساس هزینه کل سیستم با مدل مذکور صورت گرفته است. بهینه‌سازی با هدف برقراری تعادل بین دو پارامتر سود و هزینه انجام شده است.

یک شبکه توزیع آب سیستمی است که شامل لوله، مخزن آب، پمپ، شیرها با انواع مختلف که به هم متصل هستند تا آب را برای مصرف‌کننده فراهم کنند. این مسئله برای مصرف‌کننده و مجریان طرح حائز اهمیت است که طرح از نظر اقتصادی دارای کمترین هزینه و بیشترین سود باشد. اهمیت بهینه‌سازی شبکه توزیع آب باتوجه به افزایش روبه‌رشد جمعیت و در نتیجه افزایش نیاز جامعه به آب و محدودیت منابع آبی، نیاز به توضیح ندارد. در سال‌های اخیر در ایران اجرای طرح‌های انتقال آب به صورت جدی‌تری آغاز شده است. معمولاً پس از تعیین مشخصات هر طرح از قبیل طول مسیرها، جمعیت مربوطه، مصرف سرانه، توپوگرافی منطقه و با رعایت ضوابط و معیارها، شبکه توزیع آب طراحی می‌شود. چنین طرحی معمولاً سلیقه‌ای است و کسی نمی‌تواند ادعا کند که این طرح بهینه است، اگرچه طرحی قابل تایید و تصویب باشد. طرح بهینه سیستم‌های توزیع آب به عنوان مسئله‌ای که در آن حداقل هزینه مدنظر است، نگریسته می‌شود و قطر لوله‌ها به عنوان پارامتر اصلی بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

گرچه استفاده از تکنیک‌های پیشرفته‌ای که در علوم مختلف از جمله هیدرولیک و علوم مرتبط به آن پدید آمده است، طراحی سازه‌های هیدرولیکی را پیچیده‌تر می‌نماید، اما می‌توان ادعان نمود با پیشرفت علم هیدرولیک و علوم وابسته به آن و هم‌زمان با مشخص شدن این نوع مسائل، کاربرد ریاضیات و نیز استفاده از رایانه به عنوان یک ابزار قوی در حل بسیار دقیق پدیده‌های هیدرولیکی به سرعت گسترش یافته است. در این پژوهش با تکیه بر مدل الگوریتم ژنتیک و تحلیل شبکه با نرم افزار WaterGEMS، از آن برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهر هماشهر استفاده شده است.

با مروری بر مطالعات گذشته Dandy et al. (1996) روشی را ارائه نمودند که در آن از الگوریتم ژنتیک به صورت تکامل‌یافته‌تری استفاده شد. آن‌ها در این روش از کدگذاری خاکستری استفاده کردند و عملگر جهش الگوریتم ژنتیک را به صورت تابع گوسی در نظر گرفتند. برای نشان دادن مزایای این روش نسبت به روش‌های قبلی، شبکه توزیع آب شهر نیویورک مورد بهینه‌سازی قرار گرفت، نتایج محاسبات

۲- مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی در این پژوهش، همایش یکی از شهرستان‌های استان کرمان است که در جنوب غربی استان کرمان واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مطالعاتی همایش (نقشه سایت google)

همایش یکی از شهرهای تازه تاسیس است که در فاصله ۲۳ کیلومتری شهرستان سیرجان در محور کرمان - سیرجان واقع شده است. این شهر از به هم پیوستن روستاهای سعادت‌آباد، یحیی‌آباد، دهنو، دولت‌آباد و حسین‌آباد تشکیل شده و حدود ۲۸۰۰ نفر جمعیت دارد. موقعیت جغرافیایی همایش از شمال به بخش پاریز و شهرستان رفسنجان و از جنوب به بخش بلورد و از شرق به شهرستان بردسیر و از غرب به شهرستان سیرجان منتهی می‌شود. این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ دارای جمعیتی برابر با ۳۱۹۵ نفر بوده و در سال ۱۳۹۰ جمعیت این شهر به ۲۸۰۰ نفر رسیده است. درصد نرخ رشد سالانه جمعیت همایش در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۰ برابر ۶/۲- درصد بوده است. تأسیسات موجود آب مشروب همایش از یک حلقه چاه عمیق تجهیز شده، یک دستگاه مخزن موجود زمینی سنگی- سیمانی به ظرفیت ۵۰۰ مترمکعب و یک دستگاه مخزن پیشنهادی برای ذخیره آب استحصالی از چاه، خط انتقالی به طول تقریبی ۷ کیلومتر و حدود ۲۸ کیلومتر شبکه توزیع تشکیل شده است (شکل ۲).

لوله‌های شبکه توزیع از جنس پلی‌اتیلن از قطرهای ۶۳ الی ۲۵۰ میلی‌متر تشکیل شده که این لوله‌ها به صورت حلقه‌ای و شاخه‌ای اتصال داده شده است. طراحی شبکه توزیع آب

براساس مبانی زیر صورت می‌پذیرد:

- ۱- جمعیت شهر و چگونگی توزیع و تراکم جمعیت ۲- مصرف سرانه آب و نوسانات آن ۳- فشار مجاز مورد نیاز شبکه ۴- سرعت آب در لوله‌ها ۵- تناسب طرح با ویژگی‌های محل ۶- اطمینان از کارکرد دائمی.

با توجه به جمعیت همایش در سال‌های طرح در نهایت میزان کل آب مصرفی با توجه به مصارف به دست آمده در طی سال‌های دوره طرح به شرح جدول ۱ برآورد می‌شود. نتایج به دست آمده از جدول ۱ نشان می‌دهد که حداکثر مصرف ساعتی در سال افق طرح (۱۴۲۰) با توجه به آمار اخذ شده و با توجه به متوسط مقدار نشریه ۱۱۷-۳ بازنگری اول (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲) حدود ۴۸ لیتر بر ثانیه است. همچنین با توجه به ساختار روستاگونه شهر تعداد متوسط طبقات برابر یک در نظر گرفته شده است.

۳- هیدرولیک خطوط انتقال و شبکه توزیع

اصولاً بین سه مشخصه مهم هیدرولیکی لوله‌ها شامل سرعت، قطر و افت اصطکاک، رابطه (۱) برقرار است:

$$h = f(d, v) \quad (1)$$

که h : ارتفاع نظیر افت، d : قطر لوله و v : سرعت جریان هستند. هنگامی که انرژی پتانسیل سیال در ابتدای لوله بیش از انتهای آن باشد سیال در لوله به جریان خواهد افتاد. اختلاف انرژی پتانسیل لازم جهت حرکت سیال را می‌توان به روش‌های گوناگون محاسبه نمود. این روش‌ها بر پایه رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$Q = KS^a R^b \quad (2)$$

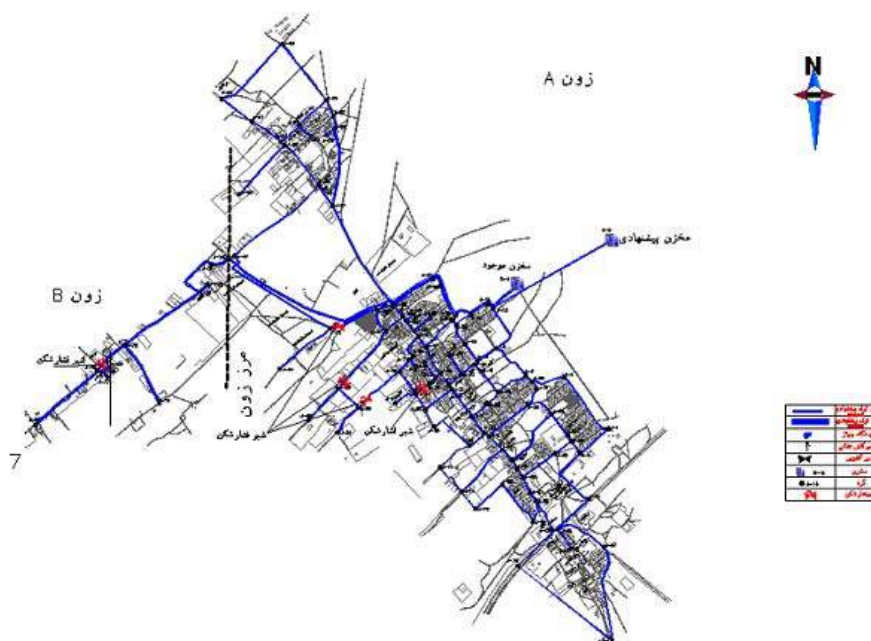
که K : ضریبی است که به جنس لوله بستگی دارد. S : شیب و R : شعاع هیدرولیکی هستند. a و b : ضرایب ثابتی هستند که در شرایط خاص سیال قابل محاسبه‌اند (منزوی، ۱۳۹۰). برای محاسبه افت هدد از فرمول هیزن ویلیامز (رابطه (۳)) استفاده شده است.

$$h_l = \frac{6.78V^{1.85}}{1.165CD} \quad (3)$$

که h_l : افت فشار نظیر ارتفاع در واحد طول بر حسب متر، V : سرعت جریان سیال بر حسب متر در ثانیه، D : قطر خط لوله بر حسب متر و C : ضریب هیزن ویلیامز هستند. با تغییر قطر و جنس لوله این ضریب تغییر می‌کند (تائی و چمنی، ۱۳۹۱).

جدول ۱- نیاز آبی همایشهر در طی سالهای دوره طرح

نام شهر	سال	جمعیت (نفر)	ضریب حداکثر مصرف ساعتی	نیاز آبی حداکثر مصرف ساعتی (L/s)	
				بدون تلفات و دام	با تلفات و دام و طیور
همایشهر	۱۳۹۵	۴۵۰۰	۲/۵	۴۳/۴	۴۶/۸
	۱۴۰۰	۵۲۴۹	۲/۴	۳۳	۳۶/۳
	۱۴۰۵	۵۸۷۵	۲/۳	۳۸	۴۰/۷
	۱۴۱۰	۶۵۰۰	۲/۲	۳۸	۴۰/۲
	۱۴۱۵	۷۱۳۴	۲/۱	۴۳/۶	۴۶/۱
	۱۴۲۰	۷۷۴۹	۲	۴۵/۱	۴۸



شکل ۲- شبکه توزیع آب شهری همایشهر (مطالعات مرحله اول شرکت هلیل آب، ۱۳۹۵)

۳-۱- مقدار ضریب C پیشنهادی در طرح

میزان ضریب هیزن ویلیامز در طول زمان بهره‌برداری از خطوط لوله، تغییر می‌کند و به‌طور کلی رابطه‌ای که بتواند بیان‌گر این تغییرات باشد در حال حاضر وجود ندارد و دانستن وضعیت تغییرات را در هر مورد باید توسط آزمایش‌های متعدد مشخص نمود. تغییرات ضریب C در رابطه هیزن ویلیامز به کیفیت آب مورد انتقال و شرایط هیدرولیکی جریان و جنس لوله‌ها و پوشش داخلی لوله و نوع آن بستگی دارد. از عوامل مؤثر در تغییر ضریب، پوشش داخلی لوله و نوع آن است که از اهمیت خاص برخوردار است، بدین‌معنی که کیفیت انجام پوشش و نوع آن می‌تواند تقریباً این ضریب را در طول زمان ثابت نگهدارد و تنها سبب ایجاد افت و خیزهای نسبتاً جزئی

شود. بنابراین، عدد مشخصی تاکنون برای این ضریب تعیین نشده است. با توجه به منابع مختلف از جمله نشریه ۱۱۷-۳ بازنگری اول (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲)، ضریب C برای لوله‌های پلی‌اتیلن با توجه به صافی لوله ۱۴۰ منظور شده است. طراحی هیدرولیکی شبکه توزیع موجود همایشهر (سال ۱۳۹۵) مطابق جدول ۲ بیان شده است. استفاده از مدل‌سازی در WaterGEMS و بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک علاوه بر تحلیل هیدرولیکی، شبکه توزیع آب را به صورت دوهدفه بهینه‌سازی کرده و علاوه بر این که زمان برای رسیدن به جواب بهینه را کاهش داده، از لحاظ دقت نیز عملکرد بالایی دارد. هدف از بهینه‌سازی سیستم، بالابردن سود و پایین آوردن هزینه‌ها است. در مدل مذکور فقط عامل سود

جدول ۲- مشخصات لوله‌های شبکه توزیع آب همایشهر قبل از بهینه‌سازی

قطر لوله (میلیمتر)	طول لوله (متر)	قیمت هر متر (ریال)	قیمت کل (ریال)
۶۳	۱۰۴۴۰	۱۱۴۰۰۰	۱۱۹۰۱۶۰۰۰۰
۹۰	۵۹۹۳	۱۱۹۵۰۰	۷۱۶۱۶۳۵۰۰
۱۱۰	۷۹۴۵	۱۲۸۰۰۰	۱۰۱۶۹۶۰۰۰۰
۱۶۰	۴۲۳۲	۱۶۶۵۰۰	۷۰۴۶۲۸۰۰۰
۲۰۰	۴۳۴۸	۱۷۳۵۰۰	۷۵۴۳۷۸۰۰۰
۲۵۰	۶۵۴	۲۰۷۰۰۰	۱۳۵۳۷۸۰۰۰
۳۱۵	۱۶۱۴	۲۵۶۵۰۰	۴۱۳۹۹۱۰۰۰
جمع			۴۹۳۱۶۵۸۵۰۰

می‌کند که باید پاسخگوی شرایط مصرف باشد.

۴-۲-۱- اندازه لوله‌ها

قطر لوله از بین قطرهای تجاری موجود بین ۶۳ تا ۳۰۰ میلیمتر در بازار انتخاب می‌شود.

$$D_i^{\min} \leq d_i \leq D_i^{\max}, \forall_i \quad (5)$$

۴-۲-۲- فشار در گره‌ها

فشار در هر گره معمولاً باید برای فراهم کردن آب مورد نیاز، بزرگ‌تر از حد فشار حداقل که ۱/۴ بار است نگه‌داشته شود و همچنین کمتر از مقدار حداکثر که ۵ بار است باشد تا نشت آب را در سیستم کاهش دهد. قیود فشار در گره‌ها به‌صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود.

$$H_{i,j}^{\min} \leq H_{i,j} \leq H_{i,j}^{\max}, \forall t, i=1, \dots, NJ; j=1, \dots, NDM \quad (6)$$

۴-۲-۳- میزان دبی جریان در لوله‌ها

میزان دبی جریان در لوله‌ها به سرعت آب در آن‌ها و همچنین گرادیان هیدرولیکی وابسته هستند.

$$V_{i,j} \leq V_{i,j}^{\max}, i=1, 2, \dots, NP, j=1, 2, \dots, NDM \quad (7)$$

$$HG_{i,j} \leq HG_{i,j}^{\max}, i=1, 2, \dots, NP, j=1, 2, \dots, NDM \quad (8)$$

که $V_{i,j}$: سرعت جریان در لوله i برای مقدار مصرف j ، $V_{i,j}^{\max}$: سرعت مجاز ماکزیمم، NP : تعداد لوله‌های مفید در سیستم، $HG_{i,j}$: گرادیان هیدرولیکی (شیب) لوله i برای مقدار مصرف j و $HG_{i,j}^{\max}$: گرادیان مجاز هیدرولیکی ماکزیمم هستند.

فشار در بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. سود فشار به‌وسیله تغییر فشار گره در طراحی اندازه‌گیری می‌شود. اگر فشار یک گره کم باشد، ظرفیت سیستم بالا رفته و در نتیجه سود نیز بالا می‌رود.

۴- مدل‌سازی مسئله

۴-۱- انواع سود فشار گره

سود فشار بدون بعد: در این حالت تغییر فشار به‌عنوان نسبتی از تفاوت فشار واقعی و فشار تعریف شده مطرح می‌شود. در این قسمت سود کل طرح به مصرف گره (JQ) وابسته است (نظری و میسمی، ۱۳۸۷).

$$HYbenefit = \sum_{i=1}^{ND} \left\{ a \sum_{k=1}^{NJ} \left(\frac{JQ_{i,k}}{JQ_{total}} \right) \left[\frac{P_{i,k} - P_{i,k}^{ref}}{P_{i,k}^{ref}} \right]^b \right\} \quad (4)$$

که NJ : تعداد گره‌های سود فشار، ND : تعداد حالات طراحی برای سود فشار مورد نظر، $JQ_{i,k}$: مصرف گره i در دوره تناوب JQ_{total} : مصرف گره کل در دوره تناوب $P_{i,k}$: فشار ایجاد شده گره i در دوره تناوب $P_{i,k}^{ref}$: فشار حداقل که توسط طرح برای هر گره تعریف می‌شود، a و b : فاکتورهایی که فشار را به‌عنوان یک پارامتر هیدرولیکی که در بهینه‌کردن شبکه مؤثر است تعریف می‌کنند (a پارامتری خطی و b پارامتری است که باید کمتر از ۱ باشد (حدوداً ۰/۰۵)) و K : شمارنده تعداد حالات طراحی هستند.

۴-۲- قیود طراحی

هر فرآیند طراحی از تعدادی شبیه‌ساز هیدرولیکی استفاده

۴-۲-۴- هزینه‌ها

هزینه کل طراحی یک شبکه شامل مجموع هزینه لوله‌های جدید (C_{new}) و هزینه لوله‌های بازسازی شده (C_{rehab}) است.

$$C_{total} = C_{new} + C_{rehab} \quad (9)$$

۴-۲-۵- هزینه لوله جدید

هزینه لوله جدید تابع طول لوله است (رابطه (۱۰)).

$$C_{new} = \sum_{k=1}^{D_p} c_k(d_k) L_k \quad (10)$$

که D_p : تعداد کل لوله‌های طراحی، $C_k(d_k)$: هزینه به ازای هر واحد طول لوله و L_k : طول لوله k ام است.

۴-۲-۶- هزینه لوله بازسازی شده

هزینه لوله بازسازی شده به قطر لوله و هدف از بازسازی وابسته است (رابطه (۱۱)).

$$C_{rehab} = \sum_{k=1}^{R_p} c_k(d_k, e_k) L_k \quad (11)$$

که R_p : تعداد لوله‌های ایجاد شده و e_k : پارامتری است و به وسیله هدف طراح از بازسازی تعریف می‌شود.

۵- نتایج و بحث

در این پژوهش بهینه‌سازی شبکه توزیع آب همایش مطابق

تحلیل صورت گرفته شامل ۷۶ لوله و ۷۳ گره در شرایط واقعی براساس هزینه کل سیستم با نرم افزار WaterGEMS و استفاده از ابزار Darwin Designer که بر مبنای الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند انجام شد. بهینه‌سازی توسط این ابزار با هدف برقراری تعادل بین دو پارامتر سود و هزینه انجام گرفت. بدین منظور یک بهینه‌سازی چندهدفه انجام و برای اعمال محدودیت‌های فیزیکی و طبیعی، قیود موجود به تابع هدف افزوده شده‌اند.

اشاره به این نکته ضروری است که الگوریتم ژنتیک زمانی صحیح عمل می‌کند که پارامترهای آن به طور صحیح انتخاب شوند. پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در عملکرد ژنتیک دوهدفه دارند عبارت‌اند از مقدار عددی حداکثر نقطه شروع و اندازه جمعیت که با افزایش آن‌ها تعداد جواب‌های حاصله بیشتر خواهد بود و فاکتور جریمه.

درمورد پارامتر مقدار عددی حداکثر نقطه شروع بهتر است اول از اعداد ۱ و ۲ شروع کرده و در هر تکرار با توجه به اندازه جمعیت، مقدار آن افزایش داده شود. در پارامتر اندازه جمعیت نیز ابتدا از اعداد کمتر مانند ۱۵۰ شروع کرده و در تکرارهای بعدی مقدار آن را افزایش داده می‌شود تا تعداد جواب‌های به دست آمده افزایش یابد. جدول ۳ به این پارامترها و عملکرد آنها اشاره می‌کند. هر قدر عدد اختصاص داده شده به پارامتر جریمه بزرگ‌تر باشد، الگوریتم ژنتیک بر روی جواب‌های عملی که از محدودیت‌های تعیین شده تجاوز پیدا نمی‌کنند، تمرکز خواهد داشت و اگر این مقدار کمتر باشد (۵۰۰۰۰ یا کمتر)، جواب‌ها در مرز عملی و غیرعملی خواهند بود. منظور از جواب

جدول ۳- دامنه پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

پارامتر	اصطلاح انگلیسی	حد پایین	حد بالا
مقدار عددی حداکثر نقطه شروع	Maximum Era Number	۱	۱۰
مقدار عددی نسل اول	Era Generation Number	۱	متناسب با دیگر معیارهای عددی بزرگتر از ۱
اندازه جمعیت	Population Size	۵۰	۱۵۰
احتمال قطع شدن	Cut Probability	٪۱	٪۱۰
احتمال اتصال	Splice Probability	٪۵۰	٪۹۰
احتمال جهش	Mutation Probability	٪۱	٪۱۰
كاوش تصادفی	Random Seed	۰	۱
فاکتور جریمه	Penalty Factor	۱۰۰۰	با بزرگتر شدن این معیار محدودیت‌ها تاثیر بیشتری خواهند داشت

عملی، جوابی است که منطقاً قابل اجرا باشد. توابع هدف الگوریتم ژنتیک از لحاظ همگرایی آزموده شدند. نتایج نشان داد که هر دو تابع هدف در نهایت به همگرایی رسیدند و نتیجه آزمون مثبت بود.

جدول ۴ تحلیل اقتصادی طراحی بعد از بهینه‌سازی در ۸ گزینه را نشان می‌دهد. در پایان بعد از تحلیل گزینه‌ها براساس تابع هدف دوهدفه، بهترین گزینه در بین ۸ گزینه انتخاب می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به بهینه‌سازی، تعداد ۸ گزینه برای بهینه‌کردن شبکه در نظر گرفته شد که شامل قطرهای جدید برای لوله‌های شبکه است. با انتقال داده‌ها به سناریو، نرم افزار قادر است تأثیر این تغییرات قطر را بر روی شبکه اعمال کند. براین اساس

جدول ۴- آنالیز اقتصادی طراحی بعد از بهینه سازی در ۸ گزینه

قطر لوله میلی متر	طول لوله (متر)	قیمت کل (ریال)
گزینه اول	۲۷۸۱۳	۴۵۸۱۳۵۱۹۵۳
گزینه دوم	۲۷۸۴۰	۴۵۳۶۰۶۳۹۳۹
گزینه سوم	۲۸۵۰۹	۴۷۴۹۵۶۹۶۴۳
گزینه چهارم	۲۷۲۷۳	۴۴۸۳۵۲۱۹۰۱
گزینه پنجم	۲۶۹۵۸	۴۲۶۲۵۲۴۳۸۵
گزینه ششم	۲۶۷۵۴	۴۳۲۳۶۵۲۶۳۸
گزینه هفتم	۲۷۲۹۳	۴۴۴۰۹۹۲۷۵۰۰
گزینه هشتم	۲۶۹۵۸	۴۲۲۱۸۱۸۱۸۹

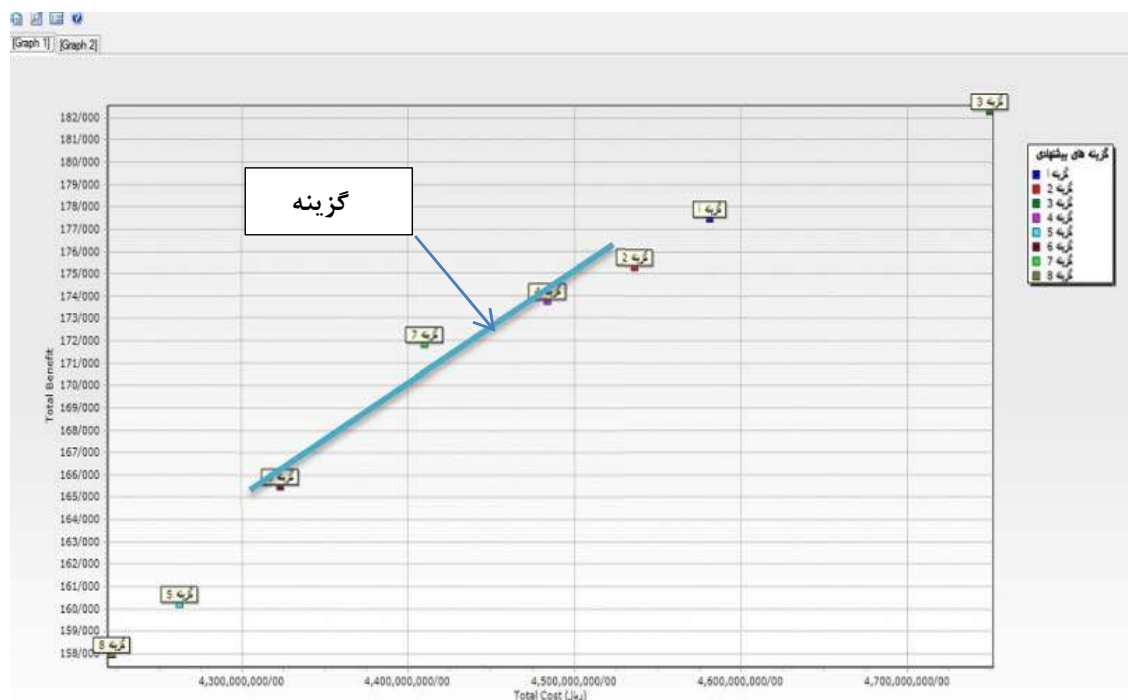
جدول ۵- هشت گزینه پیشنهادی جهت بهینه‌سازی همراه با هزینه اجرای آن‌ها

گزینه‌های بهینه‌سازی	برازش	مجموع سود	مجموع کل هزینه (ریال)
گزینه اول	۱/۱۶۴	۱۷۷/۴۸۴	۴۵۸۱۳۵۱۹۳۶
گزینه دوم	۱/۲۵۰	۱۷۵/۳۵۰	۴۵۳۶۰۶۴۰۰۰
گزینه سوم	۱/۰۰۲	۱۸۲/۳۱۶	۴۷۴۹۵۶۹۵۳۶
گزینه چهارم	۱/۲۹۹	۱۷۳/۸۱۵	۴۴۸۳۵۲۲۰۴۸
گزینه پنجم	۱/۱۷۶	۱۶۰/۲۵۵	۴۲۶۲۵۲۴۴۱۶
گزینه ششم	۱/۳۳۳	۱۶۵/۵۳۹	۴۳۲۳۶۵۲۶۰۸
گزینه هفتم	۱/۲۸۹	۱۷۱/۸۸۲	۴۴۰۹۹۲۷۶۸۰
گزینه هشتم	۱/۰۵۶	۱۵۷/۹۸۵	۴۲۲۱۸۱۸۱۱۲

تحلیل اقتصادی برای انتخاب روش بهینه، در ۸ گزینه صورت می‌پذیرد (شکل ۳). براساس جدول ۵ و قیمت اولیه طرح قبل از بهینه‌سازی، می‌توان به این نتیجه رسید که مبلغ کل طرح پس از بهینه‌سازی به میزان ۱۴ تا ۱۶ درصد کاهش یافته است. اما از بین ۸ گزینه محاسبه شده، گزینه پنجم به دلیل برقراری تعادل بین دو پارامتر سود و فشار، به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

در مطالعه حاضر پس از انجام بهینه‌سازی طرح مذکور از میان تحلیل‌های انجام شده توسط نرم‌افزار، تعداد چهار گزینه با توجه به درصد کاهش قیمت بیشتر نسبت به دیگر گزینه‌ها انتخاب شد. با توجه به چندهدفه بودن بهینه‌سازی صورت گرفته و این‌که علاوه بر کاهش قیمت به عنوان یکی از اهداف، وضعیت بهبود فشار در شبکه به‌عنوان تابع هدف دوم مطرح است، بنابراین به‌منظور انتخاب گزینه بهینه از منحنی سود-هزینه استفاده شده است.

با توجه به شکل ۳ و استفاده از منحنی (سود - هزینه)، گزینه شماره هفت به دلیل این‌که از نظر کاهش هزینه و بهبود فشار شبکه در وضعیت مطلوبی است به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب شد. پس از اعمال این گزینه در نرم‌افزار و تحلیل هیدرولیکی طرح مشاهده می‌شود که سرعت در تمامی لوله‌ها کمتر از ماکزیمم سرعت مجاز در طراحی (۲ متر بر ثانیه) است. همچنین فشار در گره‌های شبکه بین ۱۴ تا ۵۰ متر است که نشان‌دهنده ارضا شدن طرح از لحاظ هیدرولیکی است.



شکل ۳- بهترین گزینه پیشنهادی منحنی سود- هزینه مطالعه حاضر

۷- پی نوشت ها

نشریه ۱۱۷-۳ (بازنگری اول)، (نشریه ۳۸۰-الف، طرح استانداردهای وزارت نیرو).
منزوی، م.ت.، (۱۳۸۸)، آبرسانی شهری، انتشارات دانشگاه تهران.
نظری، ع.، و میسمی، ح.، (۱۳۸۷)، آموزش کاربردی نرم افزار WaterGEMS، انتشارات مرکز ملی مقاوم سازی ایران، چاپ اول.

- Alperovits, E., and Shamir, U., (1977), "Design of optimal water distribution systems", *Journal of Water Resources Research*, 13(6), 885-900.
- Babayan, A., Kapelan, Z., Savic, D., and Walters, G., (2005), "Least-cost design of water distribution networks under demand uncertainty", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(5), 375-382.
- Celi, C.F.L., Iglesias-Rey, P.L., and Solano, F.J.M., (2017), "Energy optimization of supplied flows from multiple pumping stations in water distributions networks", *Procedia Engineering*, 186, 93-100.
- Dandy, G.C., Simpson, A.R., and Murphy, L.J., (1996), "An improved Genetic Algorithm for pipe network optimization", *Journal of Water Resources Research*, 32(2), 449-458.
- Kapelan, Z., Savic, D., and Walters, G.A., (2003), "Robust least cost design of water distribution systems using Gas", *Proceedings of Computer Control for Water Industry (CCWI)*, London (UK), 147-155.

- 1- Linear Programming Gradient
- 2- District Metered Areas

۸- مراجع

بهزادیان، ک.، و اردشیر، ع.، (۱۳۸۷)، "طراحی نمونه برداری چندهدفه برای واسنجی مدل شبکه توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۱۹(۱)، ۲۲-۱۳.

تائبی، ا.، و چمنی، م. (۱۳۸۴)، *شبکه های توزیع آب شهری*، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

خلیفه، س.، (۱۳۹۵)، *مطالعات مرحله اول و دوم پروژه شبکه توزیع آب شهر همدان*، مهندسین مشاور هلیل آب کرمان.

معین الدینی، ا.، محمدرضایپور، ا.ا.، و زینعلی، م.ج.، (۱۳۹۵)، "بهینه سازی قطر لوله های شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شبتاب در مدل Relopt، مطالعه موردی: شهرک شهرداری کرمان"، *مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۴)، ۶۴-۴۵.

معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"،

- Korkana, P., Kanakoudis, V., Makrysopoulos, A., Patelis, M., and Gonelas, K., (2016), "Developing an optimization algorithm to form district metered areas in a water distribution system", *Procedia Engineering*, 162, 530-536.
- Lima, G.M., Brentan, B.M., and Luvizotto Jr, E., (2018), "Optimal design of water supply networks using an energy recovery approach", *Renewable Energy*, 117, 404-413.
- Tolson, B.A., Maier, H.R., Simpson, A.R., and Lence, B.J., (2004). "Genetic Algorithms for reliability-based optimization of water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 63-72.

A Review on Natural Adsorbents/ Nano-adsorbents Based on Chitosan for Removal of Metal Contaminants from Water

Mohammad Hossein Noori Shamsi, Mostafa Jafari*
and Mohammad Shahin

Iranian Academic Center for Education, Culture and
Research (ACECR), Nano Technology Research
Group, Fars Branch, Shiraz, Iran.

*Corresponding Author, Email: m.jafari@acecr.ac.ir

Received: 12/5/2018

Revised: 31/10/2018

Accepted: 1/11/2018

Abstract

Water contamination is one of the most important challenges involved in the human health and environment. In particular and due to the high growth of industry, the contamination by heavy metals is very worrying and of much concern. Heavy metals can provide the incidence of many dangerous diseases especially different types of cancers. During the recent years, chitosan and chitosan nanoparticles and their derivations have attracted many researches on adsorption of contaminants especially heavy metals, due to their content of OH and NH_2 groups, non-toxicity, low cost and availability. In this review paper, preparation of chitosan, chitosan nanoparticles and kinds of modified chitosan have been investigated and their applications in heavy metals adsorption process from aqueous solutions have been briefly outlined. The effect of significant parameters on the adsorption process such as chitosan crystallization, the concentration of adsorbent, the initial concentration of heavy metals, process time, solution pH, and temperature as well as isotherm and adsorption kinetics have been investigated. Then the response surface methodology (RSM) has been explained and common methods for optimizing the adsorption process parameters for heavy metals have been examined. Finally, recycling and reuse of chitosan-based adsorbents in the absorption process have been evaluated.

Keywords: Chitosan, Chitosan Nanoparticles, Heavy Metals, Isotherms and Adsorption Kinetics, Response Surface Methodology.

مروری بر جاذب‌ها و نانوجاذب‌های طبیعی کیتوسان مورد استفاده در حذف آلاینده‌های فلزی آب

محمد حسین نوری شمسی، مصطفی جعفری* و محمد شاهین
کارشناس ارشد، گروه نانوتکنولوژی، معاونت پژوهشی جهاد
دانشگاهی فارس، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: m.jafari@acecr.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۲

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۰

چکیده

آلودگی آب از مهم‌ترین چالش‌های پیشرو بر سلامتی انسان و محیط زیست است. در این بین آلودگی ناشی از فلزات سنگین به سبب رشد روزافزون صنایع بسیار نگران‌کننده بوده و مورد توجه قرار دارد. فلزات سنگین می‌توانند زمینه بروز بسیاری از بیماری‌های خطرناک به‌ویژه انواع سرطان‌ها را فراهم سازند. کیتوسان، نانوذرات کیتوسان و مشتقات آنها به‌علت دارا بودن گروه‌های OH و NH_2 ، غیرسمی بودن، قیمت پایین و در دسترس بودن در طی سال‌های اخیر برای جذب سطحی آلاینده‌ها مخصوصاً فلزات سنگین، توجه بسیاری از محققین را به‌خود جلب کرده‌اند. در این مقاله مروری، آماده‌سازی کیتوسان، نانوذرات کیتوسان و انواع کیتوسان اصلاح‌شده بررسی شده و کاربردهای آن در فرایند جذب فلزات سنگین از محلول‌های آبی به‌طور خلاصه آورده شده است. تأثیر پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند جذب نظیر بلوری شدن کیتوسان، میزان غلظت جاذب، غلظت اولیه فلزات سنگین، زمان فرایند، pH محلول و دما و همچنین ایزوترم و سینتیک جذب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه روش پاسخ سطح توضیح داده شده و روش‌های متداول برای بهینه‌یابی پارامترهای فرایندی جذب سطحی برای فلزات سنگین استفاده شده است. در نهایت بازیابی جاذب‌های بر پایه کیتوسان و استفاده مجدد از آنها در فرایند جذب نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: کیتوسان، نانوذرات کیتوسان، فلزات سنگین، ایزوترم و سینتیک جذب، روش پاسخ سطح.

به طور کلی جاذب ایده‌آل برای حذف یون‌های فلزات سنگین باید دارای ویژگی‌هایی نظیر سطح ویژه بزرگ، ظرفیت جذب بالا، حجم و اندازه ذرات بالا، ثبات مکانیکی، سازگاری، دسترسی آسان، سهولت بازسازی، کم‌هزینه بودن، سازگاری با محیط‌زیست و انتخاب‌پذیری بالا باشد (Marković et al., 2015). اغلب جاذب‌های رایج، ظرفیت جذب و میزان جداسازی پایین و قابلیت انتخاب پذیری کمی دارند. بنابراین ساخت جاذب‌های با ظرفیت جذب بالا امری بسیار ضروری است.

کیتوسان یکی از این جاذب‌های طبیعی و زیست‌سازگار با کارایی بالا و مؤثر برای جذب فلزات سنگین است. مطالعات بسیاری در زمینه به‌کارگیری کیتوسان در حذف یون‌های فلزی از پساب‌های صنعتی منتشر شده است. کیتوسان نه تنها موجب حذف یون‌های سمی Pb و Cd از آب می‌شود، بلکه قادر به حذف ایزوتوپ‌های رادیواکتیو مانند کبالت- 60 از فاضلاب‌های هسته‌ای نیز هست. همچنین کیتوسان می‌تواند سبب کاهش یون‌های فلزی نامطلوب، هر چند بی‌ضرر، نظیر $Fe(II)$ از آب آشامیدنی شود که سبب ایجاد خواص نامطلوب ارگانولپتیکی در آب می‌شود (Muzzarelli et al., 1989).

Gamage and Shahidi (2007) به بررسی حذف یون‌های فلزی ($Hg(II)$, $Fe(II)$, $Ni(II)$, $Pb(II)$, $Cu(II)$ و $Zn(II)$) از فاضلاب معدن روی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که pH ۷ بیشترین قابلیت کیلیت‌سازی یون‌ها را در مقایسه با pH ۵ و ۶ فراهم می‌کند که به‌دلیل دسترسی بیشتر گروه‌های آمینی در pH ‌های بالاتر است.

Liu et al. (2010) با استفاده از سیستم کیتوسان / نانو آهن صفر به مطالعه حذف کروم (IV) موجود در فاضلاب پرداختند. مکانیسم حذف شامل جذب فیزیکی کروم (IV) در سطح یا درون دانه‌های کیتوسان به‌دلیل حضور گروه‌های آزاد آمینی و هیدروکسیل است و متعاقباً واکنش بین کروم (IV) و نانوذرات آهن صفر که موجب کاهش کروم (IV) به کروم (III) می‌شود. نرخ کاهش با افزایش دما و مقدار نانو آهن صفر افزایش می‌یابد. در حالی که، افزایش مقدار اولیه کروم (IV) و pH موجب کاهش آن می‌شود.

Rorrer et al. (1993) حداکثر ظرفیت جذب Cd^{2+} توسط کیتوسان مغناطیسی متخلخل با قطر دانه‌های ۱ mm و ۳ mm

در سال‌های اخیر، آلودگی آب به یک مشکل فراگیر و نگرانی عمیق تبدیل شده است که با افزایش روز افزون جمعیت و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی مختلف میزان آلودگی آب‌ها به صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است (Fan et al., 2017). اغلب صنایع با توجه به مشکلات اقتصادی و فرهنگی، بدون رعایت ملاحظات زیست‌محیطی با تخلیه پساب سمی و شیمیایی حاوی فلزات سنگین در چاه جاذب یا داخل کانال‌های آب سطحی باعث آلودگی شدید سفره‌های آب زیرزمینی و سطحی شده و مسائل و مشکلات عدیده‌ای را برای شهروندان مناطق ایجاد نموده است (Igberase et al., 2017; Reddy and Lee, 2013). یکی از خطرناک‌ترین صنایع دارای فلزات سنگین، صنایع آب‌کاری است. این فلزات به‌طور گسترده در این صنایع وجود داشته و غلظت‌های کم آن باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع و ... و در غلظت‌های بالاتر می‌تواند باعث بروز سرطان‌های ریه، مجاری تنفسی و استخوان و ... شود (Nuhoglu et al., 2002; Al Othman et al., 2011).

حذف آلودگی‌های فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های در حال حاضر برای انسان‌ها است. فلزات سنگین از قبیل نیکل، آرسنیک و کروم و ... می‌توانند بسیار سمی و سرطان‌زا باشند. آن‌ها با محیط‌زیست سازگار نبوده و در موجودات زنده انباشته می‌شوند. بنابراین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های آب به‌شمار می‌آیند.

فرآیند جذب از بهترین روش‌ها برای حذف فلزات سنگین به‌شمار می‌رود که دارای مزیت‌هایی از جمله کاربرد ساده و مؤثر، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده، عدم تولید لجن، امکان احیاء ماده جاذب و هزینه کم (در صورت استفاده از جاذب‌های طبیعی و ارزان) نسبت به سایر روش‌های تصفیه است (Nithya et al., 2016; Rahimi et al., 2015). امروزه از جذب به‌طور گسترده‌ای در فرآیندهای صنعتی برای تصفیه فاضلاب‌های مختلف استفاده می‌شود. از جمله کاربردهای صنعتی جذب می‌توان به جداسازی آلاینده‌های نفتی از آب، جداسازی مخلوط سیال‌ها از هم، خنثی‌سازی گازهای ناشی از مواد زائد و ... اشاره کرد. پدیده جذب برای جداسازی مواد سمی، موادی که توسط دیگر فرایندهای تصفیه به سختی جداسازی می‌شوند و یا موادی که غلظت کمی در پساب دارند، بسیار مورد توجه

همراه پارامترهای تأثیرگذار روی فرایند جذب آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- کیتوسان

۲-۱- معرفی و کاربردها

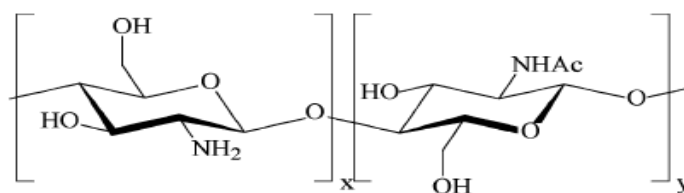
کیتوسان یک ماده تجدیدپذیر بوده که توسط N-دی استیلیشن کیتین (دومین پلیمر فراوان در طبیعت) تهیه می‌شود و بیشترین قابلیت کیلیت‌سازی را در بین پلیمرهای طبیعی حاصل شده از فرآوری غذاهای دریایی دارد (Becker et al., 2000). این ماده دارای خواص ویژه‌ای در جذب فلزات سنگین است که از گروه‌های آمینو و هیدروکسیل برخوردار بوده و سمیت کمی دارد (Igberase et al., 2017; Saber-Samandari et al., 2014). کیتوسان از حلالیت کمی در محیط‌های آبی (در شرایط خنثی و قلیایی) و بسیاری از حلال‌های آلی برخوردار است. در حال حاضر کیتوسان به دلیل مجموعه‌ای از خواص شامل سمیت بسیار کم، هزینه فرآوری پایین، زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری و خواص آنتی باکتریال کاربردهای وسیعی در زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی، داروسازی، فرایندهای جذب سطحی و غیره دارد (Saber-Samandari et al., 2014). در شکل ۱ ساختار شیمیایی کیتوسان نشان داده شده است.

۲-۲- انواع جاذب‌های بر پایه کیتوسان

همانطور که اشاره شد کیتوسان می‌تواند به عنوان جاذب در حذف فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرد. این جاذب‌ها می‌توانند به شکل مواد ترکیبی برپایه کیتوسان نظیر کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌های کیتوسان، کیتوسان‌های اصلاح شده با عوامل شیمیایی و ذرات مغناطیسی به کار برده شوند. در جدول ۱ چند مورد از مطالعات اخیر انجام شده روی جاذب‌های پایه کیتوسان مشاهده می‌شود.

را به ترتیب ۵۱۸ mg/g و ۱۸۸ mg/g گزارش کردند. با کاهش قطر ذرات، فاصله توزیع یون‌های کادمیم در ماتریس متخلخل کاهش می‌یابد. در نتیجه حجم داخلی بیشتری در دسترس یون‌های کادمیم قرار می‌گیرد. به طور مشابه در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که تعداد سایت‌های فعال جذب در کیتوسان با کاهش اندازه ذرات، افزایش می‌یابد (Huang et al., 1996).

(Luo et al., 2015) با ساخت میکروکره‌های هیبریدی کیتوسان- سلولز- نانو ذرات Fe_2O_3 متخلخل نشان دادند که در محلول‌های آبی چند فلزی دارای سرب (II)، کادمیم (II) و مس (II)، یون Pb^{2+} دارای بیشترین انتخاب‌پذیری و یون Cu^{2+} دارای کمترین انتخاب‌پذیری است. در مطالعه‌ای دیگر، Li و همکارانش با ساخت یک کامپوزیت چندعاملی کیتوسان- اکسید گرافن- سولفیدریل، سیستم جدیدی برای حذف یون‌های سرب (II)، کادمیم (II) و مس (II) از محلول‌های چند فلزی پیشنهاد دادند. سیستم آن‌ها شامل گروه‌های عاملی -OH، -COOH، -SH و $-NH_2$ است که موجب تغییر ظرفیت جذب در جاذب می‌شود. گروه‌های آمینی موجب افزایش ظرفیت جذب یون‌های سرب (II) و مس (II) می‌شود. گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل برای جذب یون‌های سرب (II)، روی (II) و مس (II) موثرند و گروه‌های سولفیدریل نیز به منظور افزایش توانایی جذب سرب (II)، کادمیم (II) و مس (II) مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهشگران دریافتند که حداکثر ظرفیت جذب در محلول سه‌تایی مربوط به یون Cd^{2+} و کمترین ظرفیت جذب مربوط به یون Pb^{2+} است. در حقیقت، میزان جذب تحت تأثیر پارامترهای متعددی از قبیل خواص فیزیکوشیمیایی جاذب، اثرات الکترواستاتیکی، دسترسی سایت‌های فعال در محلول، ساختار متخلخل و ثابت پایداری جهت برهم‌کنش با سطح جاذب است (Li et al., 2015). در این مطالعه انواع جاذب‌های بر پایه کیتوسان به



شکل ۱- ساختار شیمیایی کیتوسان (Bodnar et al., 2005)

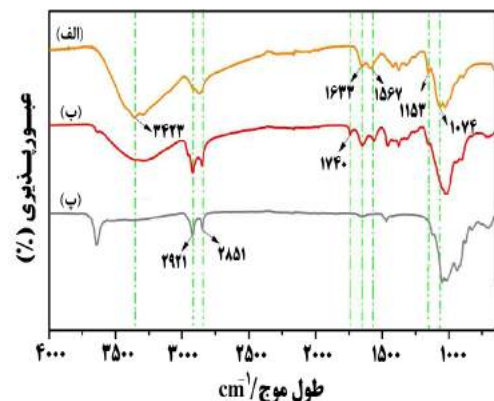
جدول ۱- مطالعات انجام شده برای جذب سطحی فلزات سنگین توسط جاذب‌های بر پایه کیتوسان

نام جاذب	مشخصه‌یابی	آلاینده	مدل سینتیکی	ایزوترم جذب	مرجع
نانوکامپوزیت کیتوسان/ نانو خاک رس	SEM, XRD, TEM, FT-IR	As(V)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم	لانگمویر، فرن‌دلیچ	Gogoi et al. (2016)
کیتوسان پیوند داده شده با گلوکارآلدئید	XRD, TGA, FT-IR	Cr(VI)	-	-	Igberase et al. (2017)
نانوکامپوزیت کیتوسان/ سیلیکاژل	FT-IR, XRD, SEM	Cr(VI)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم و نفوذ بین‌ذره‌ای	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Nithya et al. (2016)
نانوکامپوزیت کیتوسان/ FeOOH	SEM, FT-IR	Pb(II)	-	-	Rahimi et al. (2015)
نانوکامپوزیت کیتوسان/ آهن-هیدروکسی آپاتیت	SEM, FT-IR	Pb(II)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم، الویج و نفوذ بین‌ذره‌ای	لانگمویر، فرن‌دلیچ و تمکین	Saber-Samandari et al. (2014)
نانوکامپوزیت اکسید گرافن/ کیتوسان/ FeOOH	FT-IR, XRD, SEM	Pb(II)	-	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Sheshmani et al. (2015)
نانوکامپوزیت مس- کیتوسان/ آلومینا	SEM, XRD, FT-IR, BET	As(III)	شبه درجه اول و شبه درجه دوم	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Zavareh et al. (2015)
مشتقات کیتوسان	-	Ni(II), Zn(II), Cd(II)	-	-	Becker et al. (2000)
کیتوسان	-	V(IV)	نفوذ بین‌ذره‌ای و نفوذ خارجی	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Jansson-Charrier et al. (1996)
مشتقات کیتوسان	FT-IR	Cu(II), Cr(VI)	نفوذ بین‌ذره‌ای	-	Kyzas et al. (2009)
نانوکامپوزیت کیتوسان	ESEM, AFM, XRD, FT-IR	Pb(II)	-	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Qi and Xu (2004)
نانوکامپوزیت مغناطیسی کیتوسان/ EDTA/TiO ₂	FE-SEM, FT-IR, XRD, EDX	Cd(II)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم و لانگمویر-هینشلوود	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Alizadeh et al. (2018)
تترا اتیل پنتامین اصلاح شده با کیتوسان/ CoFe ₂ O ₄	SEM, XRD, FT-IR	Pb(II), Cu(II)	-	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Fan et al. (2017)
نانوکامپوزیت الجینات/ کیتوسان	XRD, FT-IR, SEM, DSC	Cr(VI)	شبه درجه اول و شبه درجه دوم	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Gokila et al. (2017)
کیتوسان عامل‌دار شده با اکسید گرافن	XRD, TEM, TGA, FT-IR, SEM, EDX, XPS	As(III), As(V)	شبه درجه اول و شبه درجه دوم	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Kumar and Jiang (2016)
کامپوزیت کیتوسان مغناطیسی	SEM, BET, XRD, FT-IR, TGA, VSM	Cu(II)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم و الویج	لانگمویر، فرن‌دلیچ و تمکین	Li et al. (2017)
کیتوسان پیوند داده شده با اسید پلی متاکریلیک و نانولوله‌های کربنی	SEM, EDX, XRD, NMR, FT-IR, TGA	Pb(II), Cd(II)	-	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Maity and Ray (2018)
کیتوسان پیوند داده شده با پلی وینیل پیرولیدون	FT-IR, NMR, SEM, BET, EDX	Cu(II)	-	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Sutirman et al. (2018)
کیتوسان پوشش داده شده با اکسید گرافن	SEM, FT-IR, XRD	Pb(II)	شبه درجه اول و شبه درجه دوم	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Wang et al. (2016)
کامپوزیت کیتوسان/ OREC-Fe ₃ O ₄	XRD, SEM, TEM, FT-IR, TGA, XPS	Cu(II), Cd(II)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم و نفوذ بین‌ذره‌ای	لانگمویر، فرن‌دلیچ و تمکین	Xie et al. (2015)
کامپوزیت کیتوسان/ اکسید گرافن اصلاح شده	SEM, XRD, TEM, FT-IR	Cr(VI)	شبه درجه اول، شبه درجه دوم و نفوذ بین‌ذره‌ای	لانگمویر و فرن‌دلیچ	Zhang et al. (2016)

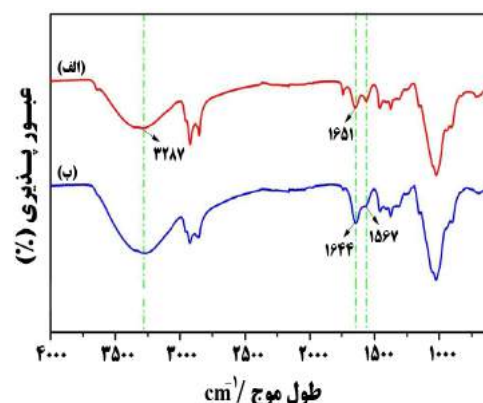
۳-۲- شناسایی کیتوسان

۳-۲-۱- طیف سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه (FTIR)

(Xie et al., 2015) در کار خود از آزمون FTIR برای شناسایی جاذب کیتوسان/OREC-Fe₃O₄ استفاده کردند که OREC یک نوع خاک رس با قابلیت جذب بالا است. در طیف مربوط به کیتوسان خالص (شکل ۲)، وجود پیک پهن در ناحیه 3423 cm^{-1} هم‌پوشانی ارتعاش کششی O-H و N-H را نشان داده و پیک‌های جذبی در ناحیه‌های 1633 cm^{-1} و 1567 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی پیوندهای C=O و تغییرزاویه N-H هستند. دو پیوند پلی‌ساکارید در نواحی 1153 cm^{-1} و 1076 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی C-O است. برای OREC، پیوند کششی آب در 3644 cm^{-1} ، ارتعاش کششی Si-O در 1025 cm^{-1} و ارتعاش خمشی Si-O در 2921 cm^{-1} و 2851 cm^{-1} به ارتعاش مقارن و غیرمقارن CH₂ روی سطح OREC نسبت داده شده است. در



شکل ۲- طیف FTIR از (الف): کیتوسان، (ب): کیتوسان/OREC-Fe₃O₄ (Xie et al., 2015)



شکل ۳- طیف FTIR از کیتوسان/OREC-Fe₃O₄ (الف) قبل و (ب) بعد از جذب فلزات مس و کادمیم (Xie et al., 2015)

مورد کیتوسان/OREC-Fe₃O₄، مشاهده شده است که پس از فرایند اصلاح سطح، اکثر موقعیت پیوندها ثابت بوده (مشابه ساختار کریستالی کیتوسان و OREC) که نشان‌دهنده حفظ ساختار کریستالی پس از فرایند اصلاح سطح است.

شکل ۳ طیف FTIR، کیتوسان/OREC-Fe₃O₄ قبل و بعد از جذب مس (Cu) و کادمیم (Cd) را نشان می‌دهد. حضور پیک جذبی در ناحیه 1740 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوند C=N- بوده که در کیتوسان خالص مشاهده نشده است. بعد از جذب فلزات مس و کادمیم، ارتعاش پیوند آمینی در 1567 cm^{-1} به صورت ضعیف‌تری نمایان شده که نشان می‌دهد گروه‌های آمینی گروه‌های اصلی جذب هستند (Xie et al., 2015).

۳-۲-۲- طیف پراش اشعه ایکس (XRD)

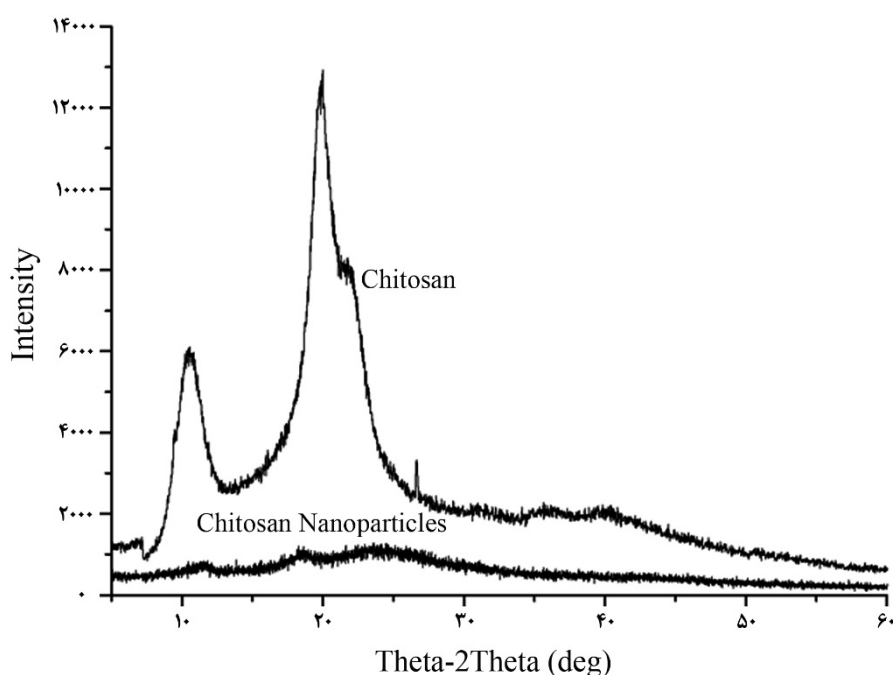
شکل ۴ طیف XRD کیتوسان و نانوکیتوسان تهیه شده توسط Qi and Xu (2004) را نشان می‌دهد. دو پیک قوی در 2θ ، 10.4° و 22° مربوط به شبکه بلوری کیتوسان است. پیک 22° حدود 22° مربوط به شکل تاندونی کیتوسان است. در مورد نانوذرات کیتوسان هیچ‌گونه پیک دیده نمی‌شود که نشان می‌دهد بلورهای کیتوسان این مطالعه در حالت نانو شکسته شده و تشکیل کیتوسان آمورف می‌دهد (Qi and Xu, 2004).

۳- پارامترهای تأثیرگذار بر میزان جذب فلزات سنگین توسط جاذب‌های بر پایه کیتوسان

پارامترهایی شامل ساختار بلوری کیتوسان، میزان جاذب، غلظت اولیه فلز سنگین، زمان فرایند، pH محلول و دما بر روی خصوصیات جذب سطحی جاذب‌های بر پایه کیتوسان تأثیرگذار هستند.

۳-۱- اثر ساختار بلوری کیتوسان

بلورینگی یک پارامتر کلیدی در دسترسی به سایت‌های داخلی جهت جذب آب و یون‌های فلزی به‌شمار می‌آید. بلورهای کیتوسان نقش محدود کننده‌ای در ظرفیت جذب فلزی دارند (Qi and Xu, 2004). (Piron and Domard 1998) در مطالعه خود بر روی سه نمونه کیتوسان با بلورینگی متفاوت مشاهده کردند که نمونه کیتوسان با مقدار بلورینگی کمتر، موجب افزایش سرعت جذب با حداکثر پایداری ظرفیت می‌شود. (Piron



شکل ۴- طیف XRD از کیتوسان و نانوکیتوسان (Qi and Xu, 2004)

کروم استفاده شد. در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش میزان نانوذره از ۱ گرم تا ۵ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول و مدت زمان ۶۰ دقیقه، میزان جداسازی کروم از ۶۱ تا ۷۵ درصد افزایش یافت. (Shankar et al., 2014) میزان جداسازی ۳ فلز سنگین نیکل، مس و کروم با استفاده از کیتوسان پیوند داده شده با آکریلونیتریت را مقایسه کردند. با افزایش میزان جاذب از ۱ گرم به ۶ گرم، میزان درصد جداسازی برای هر سه فلز افزایش یافت. بیشترین میزان درصد جداسازی برای کروم در میزان ۶ گرم جاذب برابر ۸۴٪ و برای نیکل و مس به ترتیب در میزان جاذب ۵ گرم و ۶ گرم، ۸۱٪ و ۸۶٪ به دست آمد. در مطالعات دیگری توسط سایر محققان، نتایج مشابهی به دست آمد (Cho et al., 2012; Kumar et al., 2009; Liu et al., 2015; Zhang et al., 2014). Zhou et al. (2009) در مطالعه جداسازی مس از محلول آبی با استفاده از کیتوسان اصلاح شدهی مغناطیسی با اسید ketoglutaric به نتایج جدیدی در مورد اثر میزان جاذب دست یافتند. آن‌ها در این مطالعه مشاهده کردند که با افزایش مقدار جاذب از صفر تا ۷ g/L، میزان جداسازی افزایش یافته و سپس با رسیدن به مقدار ۱۲ g/L، میزان جداسازی کاهش می‌یابد. دلیل این امر تجمع ذرات جاذب در غلظت‌های بالا گزارش شد. (Sheshmani et al., 2015) نیز در جداسازی سرب

et al. (1997) مشاهده کردند که روش خشک کردن انجمادی در تهیه کیتوسان میتواند میزان بلورینگی را محدود کند و ساختار غیرمترامی فراهم آورد. این پدیده موجب افزایش سرعت سینتیکی جذب فلز می‌شود. در ساخت نانوذرات کیتوسان مطالعه فوق، مقدار بلورینگی کاهش یافته که به دلیل استفاده از روش خشک کردن انجمادی است و افزایش میزان جذب فلزی را به همراه دارد.

۳-۲- اثر مقدار جاذب

دستیابی به مقدار بهینه جاذب جهت رسیدن به بیشترین میزان برهم‌کنش ممکن بین فلزات سنگین و سایت‌های موجود روی جاذب ضروری است. معمولاً با افزایش میزان جاذب، میزان سایت‌های در دسترس برای آلاینده (فلزات سنگین) افزایش می‌یابد. در این حالت، تعداد برخورد بیشتری بین جاذب و آلاینده اتفاق افتاده و در نتیجه میزان حذف افزایش می‌یابد. (Qi and Xu, 2004) در مطالعه خود بر روی جداسازی سرب از محلول آبی با استفاده از نانوذرات کیتوسان مشاهده کردند که با افزایش میزان جاذب از ۲۰ mg تا ۵۰ mg، میزان ظرفیت جذب و جداسازی افزایش می‌یابد. در پژوهشی توسط Sivakami et al. (2013) از نانوذره کیتوسان اصلاح شده برای جداسازی

شده است (Jansson-Charrier et al., 1996; Kumar et al., 2009; Liu et al., 2015; Saber-Samandari et al., 2014; Sivakami et al., 2013; Zhou et al., 2009).

۳-۴- اثر پارامتر زمان

زمان در ارزیابی اقتصادی فرایند جذب نقش مهمی را ایفا میکند. معمولاً در ابتدای زمان فرایند، درصد جداسازی افزایش و سپس با افزایش زمان به مقدار ثابتی می‌رسد. فرایند جذب سطحی معمولاً در دو مرحله اتفاق می‌افتد. در مرحله اول، جذب سطحی با سرعت قابل توجهی همراه بوده و سپس در مرحله دوم کاهش پیدا می‌کند. سرعت بالای مرحله اول به دلیل جذب فیزیکی و یا تبادل یون در سطح جاذب است. به عبارتی دیگر در جاذب‌ها تعداد مشخصی سایت فعال وجود دارد و هر سایت قادر به جذب تنها یک یون در سیستم تک‌لایه است. بنابراین جذب آلاینده توسط جاذب در ابتدا سریع است. از طرفی با گذشت زمان، دسترسی به این سایت‌ها کاهش یافته و سرعت جذب کم می‌شود. (Shankar et al., 2014)

مطالعه خود اثر زمان را برای ۳ فلز نیکل، کروم و مس بررسی و مشاهده کردند که با افزایش زمان تماس، میزان جداسازی افزایش می‌یابد. با افزایش زمان تماس میزان زمان در دسترس بودن این فلزات برای جاذب بیشتر شده و این فلزات بیشتر به سطح جاذب جذب خواهند شد تا واکنش جذب به تعادل برسد. نتایج این مطالعه نشان داد که برای نیکل با افزایش زمان از ۳۰ به ۳۰۰ دقیقه، میزان جداسازی از ۱۴٪ به ۶۲/۵٪ افزایش یافت و سپس با افزایش زمان تماس به ۳۶۰ دقیقه این میزان به ۶۳٪ رسید. بنابراین زمان تعادلی برای جداسازی نیکل ۳۰۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای کروم و مس، میزان جداسازی در زمان ۳۶۰ دقیقه به ترتیب برابر ۷۸/۵٪ و ۷۳٪ به دست آمد و این زمان به عنوان زمان تعادلی شناخته شد. محققان بسیاری در مطالعات خود، نتایج مشابهی از اثر پارامتر زمان بر میزان جذب به دست آوردند (Gogoi et al., 2016; Nithya et al., 2016; Saber-Samandari et al., 2014; Saha and Sarkar, 2016; Sheshmani et al., 2015; Zhou et al., 2009).

۳-۵- اثر دما

افزایش یا کاهش دما می‌تواند بر روی تعادل فرایند و سرعت واکنش اثر داشته باشد. مطالعات زیادی تأثیر دما را بر روی

از محلول‌های آبی با استفاده از نانو کامپوزیت اکسیدگرافن/ کیتوسان/FeOOH به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار جاذب از ۱۰ mg تا ۱۰۰ mg، میزان جداسازی به طور پیوسته افزایش می‌یابد. این میزان افزایش در غلظت‌های بالاتر چندان چشمگیر نبوده و به حالت ثابتی رسیده است.

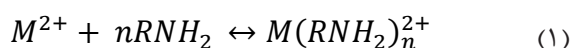
۳-۳- اثر غلظت اولیه آلاینده

میزان اولیه آلاینده یکی از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر روی فرایند جذب سطحی است. میزان غلظت فلزات سنگین در آب‌ها و فاضلاب‌های مختلف متغیر است و این باعث تغییر در میزان جداسازی فرایند جذب می‌شود. به طور کلی با افزایش غلظت اولیه آلاینده، درصد جذب کاهش می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند تأخیر در ایجاد تعادل بین جاذب و آلاینده باشد. چون میزان جاذب در فرایند ثابت بوده، بنابراین میزان سایت‌های فعال نیز ثابت است. در میزان سایت‌های فعال ثابت، با افزایش میزان آلاینده و با توجه به اشباع شدن این سایت‌ها، درصد جذب کاهش پیدا می‌کند (Gogoi et al., 2016). (Qi and Xu, 2004)

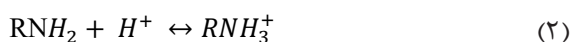
در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش غلظت اولیه سرب، زمان رسیدن به تعادل بیشتر شده و درصد جداسازی کمتر می‌شود. زمانی که غلظت‌های اولیه سرب ۳۵ mg/L و ۹۸ mg/L باشد، میزان جداسازی در ۱۰ دقیقه ابتدایی به ترتیب ۸۱/۶٪ و ۵۸٪ بوده و زمان‌های تعادل نیز ۲۰ و ۶۰ دقیقه هستند. (Nithya et al., 2016)

در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش غلظت اولیه کروم از ۶۲/۵ تا ۱۰۰۰ mg/L، درصد جداسازی از ۹۸٪ به ۵۴٪ کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای (Eser et al., 2012) تأثیر غلظت اولیه نیکل را در ظرفیت جذب با استفاده از جاذب‌های کیتوسان بررسی کردند. در بازه غلظت ۲۵ mg/L تا ۱۰۰۰ mg/L از غلظت اولیه نیکل، میزان ظرفیت جذب از ۲/۹۴ تا ۵۵/۶ mg/g افزایش یافت. آن‌ها دلیل این روند افزایشی را ۳ دلیل دانستند. اول این که غلظت بالاتر نیکل نسبت به غلظت پایین‌تر آن میزان اتصال بیشتری با سطح جاذب برقرار می‌کند. دوم این که با افزایش غلظت نیکل، نیروی حرکتی برای غلبه بر مقاومت انتقال جرم بین فاز آبی و فاز جامد به وجود آمده و تعداد برخوردها افزایش می‌یابد. دلیل دیگر این که با افزایش غلظت یون نیکل، تعامل شدیدتری بین یون‌های نیکل و جاذب به وجود می‌آید. این نتایج توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش

جذب اندکی کاهش یافته و در pH ۷ تا ۸ قابلیت جذب به طور چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. این پدیده ناشی از دو عامل تأثیرگذار است. اول این که کیتوسان غیرپروتون‌دار شده با داشتن جفت الکترون غیرپیوندی روی اتم نیتروژن قادر به ایجاد پیوند با نمک‌های فلزی غیراشباع است (مطابق با معادله (۱)).



دوم این که، گروه‌های آمینی کیتوسان می‌توانند با H^+ واکنش دهند (معادله (۲)).



با افزایش pH حالت کمپلکس فلز-کیتوسان تشکیل می‌شود که می‌تواند موجب افزایش جذب شود. با رسیدن به مقدار pH بالاتر، کیتوسان ممکن است در اثر فشرده شدن پروتونهای گروه‌های آمینی دچار تجمیع‌افتگی شود که این پدیده می‌تواند روی ترکیب با Pb^{2+} تأثیر داشته و ظرفیت جذب را کاهش دهد. از طرفی یون‌های نمک‌های فلزی ممکن است به صورت گونه‌های چند هسته‌ای در آب درآیند (به طور مثال هیدرولیز Pb^{2+} و تبدیل به $Pb_2(OH)^{3+}$ و $Pb_2(OH)^{4+}$ در pH بیش از ۷)، در این حالت هر دو فرایند هیدرولیز و پلیمریزه شدن یون‌های فلزی کاهش ظرفیت جذب را به همراه دارند (Liu et al., 2008).

در پژوهش دیگری (Karthik and Meenakshi, 2015) به بررسی میزان حذف یون‌های Pb^{2+} و Cd^{2+} توسط کیتوسان پیوند شده با پلی‌آنیلین در pH ۲ تا ۶ پرداختند. آن‌ها نشان دادند که جذب یون‌های فلزی وابسته به pH است و بیشترین جذب در pH ۶ گزارش شده است. در این pH سطح جذب باردار منفی می‌شود که موجب افزایش برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی بین کیتوسان و یون‌های فلزی از طریق تشکیل کمپلکس می‌شود. در مقابل، کاهش pH موجب افزایش غلظت یون‌های H^+ و پروتونه شدن گروه‌های آمینی شده که به نوبه خود سبب محدود شدن تعداد سایت‌های فعال در دسترس برای جذب یون‌های سرب (II) و کادمیم (II) می‌شود. آزمایش‌ها در pHهای بالاتر از ۶ به علت تشکیل هیدروکسیدهای سرب و کادمیم انجام نشده است.

کیتوسان اصلاح شده با EDTA قادر به جذب فلزات سنگین در pHهای نسبتاً پایین است. (Inoue et al., 1997) جذب مس توسط جاذب کیتوسان-EDTA را در pH صفر نشان دادند.

فرایند جذب فلزات سنگین به روی جاذب‌های کیتوسان بررسی کرده‌اند که در اکثر این مطالعات فرایند جذب به صورت گرماده بوده است (Bhatt et al., 2015; Dhanapal and Subramanian, 2015; Hu et al., 2011; Jiang et al., 2013; Monier et al., 2012; Ngah et al., 2013; Wang et al., 2010; Zhang et al., 2010; Zimmermann et al., 2010). با افزایش دما میزان تحرک فلزات سنگین بیشتر شده و بنابراین میزان واجذب آن‌ها از سطح جاذب افزایش می‌یابد. به طور مثال (Chang et al., 2006) در مطالعات خود مشاهده کردند با افزایش دما از $20^\circ C$ به $45^\circ C$ ، میزان جذب کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش واکنش‌های الکترواستاتیک بین کیتوسان (جاذب) و کبات (آلاینده) در دمای بالا است. مطالعات دیگری همین روند کاهش میزان جذب را گزارش کردند (He et al., 2014; Qi and Xu, 2004; Turan et al., 2014). چندین مطالعه نیز نشان داده که برخی از فرایندهای جذب فلزات سنگین به روی جاذب‌های کیتوسان گرماگیر هستند (Aliabadi et al., 2014; El-Reash et al., 2011; Gandhi and Meenakshi, 2013; Karthik and Meenakshi, 2015; Sarkar and Majumdar, Sheshmani, 2011; Yavuz et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر (Liu et al., 2015) به این نتیجه دست یافتند که با افزایش دما از $25^\circ C$ به $80^\circ C$ میزان جذب افزایش می‌یابد. با افزایش دما میزان تحرک سرب بیشتر شده و پروتون‌ها راحت‌تر جدا می‌شوند، در نتیجه میزان جذب سرب افزایش می‌یابد. در مطالعاتی دیگر نتایجی مشابه این مطالعه به دست آمد (Liu et al., 2012; Saber-Samandari et al., 2014).

۳-۶- اثر pH

pH محلول از جمله پارامترهای محیطی مؤثر بر جذب یون‌های فلزی سنگین توسط مواد بر پایه کیتوسان به شمار می‌رود. pH محلول بر پروتونه شدن سایت‌های فعال در سطح جاذب، شیمی محلول یون‌های فلزی (هیدرولیز، تشکیل کمپلکس با لیگاندهای آلی و یا معدنی)، واکنش‌های اکسایش-کاهش، رسوب‌گذاری و شکل‌گیری و دسترسی جذب یون‌های فلزی مؤثر است (Wang and Chen, 2006, 2009).

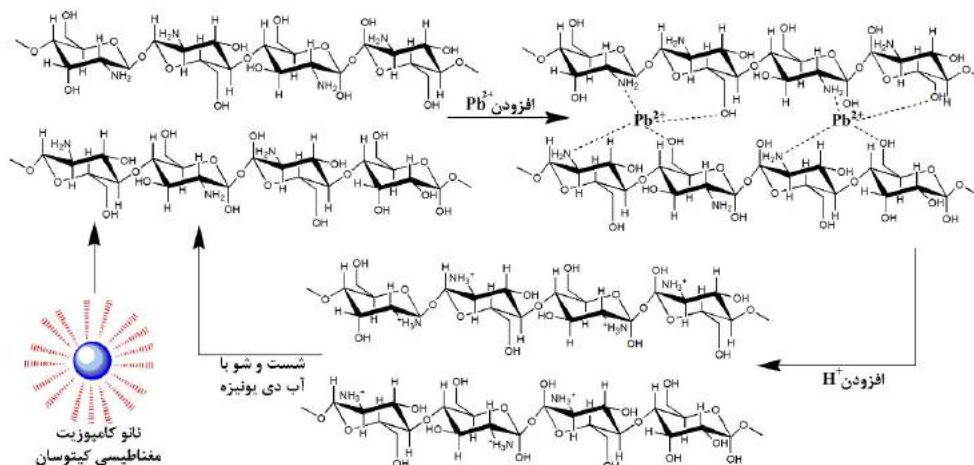
(Liu et al., 2008) در مطالعه خود گزارش کردند که در pH بین ۲ تا ۴ ظرفیت جداسازی Pb^{2+} از $36/8\%$ به $95/3\%$ افزایش نشان می‌دهد. با رسیدن مقدار pH از ۴ به ۶ میزان

پاسخ سطح است (Bezerra et al., 2008).

روش‌های پاسخ سطح مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری برای ارزیابی، بهبود و بهینه‌سازی فرایندها است که برای ارزیابی فاکتورهای تأثیرگذار حتی در سیستم‌های پیچیده نیز به کار می‌رود. هدف اصلی روش‌های پاسخ سطح به دست آوردن شرایط عملیاتی بهینه برای فرایند در ناحیه مورد بررسی پارامترهای مختلف است (Witek-Krowiak et al., 2014). برای بهینه‌یابی شرایط عملیاتی مختلف، محققان از روش‌های طراحی آزمایش مختلفی از جمله Central Composite Design (CCD)، D-Optimal Design، Box Behnken Design (BBD) و ... برای کاهش زمان انجام آزمایش‌ها، کاهش هزینه و تنوع برای خروجی فرایند استفاده می‌کنند. به‌طور مثال Igberase et al. (2017) از روش CCD (۵ پارامتر با ۵ سطح) برای ارزیابی ۵ پارامتر pH، دما، زمان، غلظت جاذب و غلظت اولیه آلاینده بر روی جداسازی کروم از محلول‌های آبی توسط جاذب کیتوسان استفاده کردند. ۵۰ آزمایش با تعداد تکرار ۸ عدد در نقطه مرکزی طراحی شد. (Igder et al., 2012) نیز از روش BBD تعداد ۲۷ آزمایش را برای ارزیابی فاکتورهای pH، زمان، دوز جاذب و غلظت اولیه آلاینده در جذب کادمیوم به‌وسیله نانو ذرات کربوکسی متیل کیتوسان استفاده کردند.

۵- ایزوترم های جذب

در مطالعات مربوط به جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های مختلف، تعیین ایزوترم‌های جذب و ظرفیت جاذب از مهم‌ترین مشخصه‌های بهینه سازی مقدار جاذب است. بدین‌صورت



شکل ۵- شماتیک مکانیسم جذب و واجذب یون سرب از جاذب کیتوسان (Liu et al., 2008)

همچنین در مطالعه دیگری گزارش شد که سیستم کیتوسان-EDTA قادر به حذف یون‌های کبالت (II) و نیکل (II) در pH ۲ است (Chang and Chen, 2005). (Tan et al., 2015). با بررسی اثر pH اولیه محلول بر جذب یون‌های Pb^{2+} توسط سیستم کیتوسان مغناطیسی-EDTA نشان دادند که توانایی حذف جاذب با افزایش pH از ۱ به ۲ به مقدار ۵۰٪ افزایش یافته و در مقادیر بالاتر از ۲ تا ۶، ثابت (Plateau) است که به‌علت خاصیت کیلیت‌سازی عالی گروه‌های EDTA با یون Pb^{2+} در pH های پایین است. در pH بالاتر از ۵/۵ احتمال تشکیل رسوبات هیدروکسید یون Pb^{2+} وجود دارد. همچنین روند مشابهی برای سیستم هیبریدی کیتوسان-سیلیکا-EDTA گزارش شده است (Repo et al., 2011).

۴- روش پاسخ سطح

بهینه‌سازی فرایندها می‌تواند با بررسی اثر یک پارامتر در زمان مشخص به روی پاسخ مشخص شود. زمانی که یک پارامتر تغییر کند بقیه پارامترها در مقدار ثابتی هستند. به‌این روش بهینه‌سازی، روش یک متغیر در یک زمان گویند. از معایب اصلی این روش این است که برهم کنش بین پارامترها و همچنین اثرات هم‌زمان پارامترها بر روی پاسخ خروجی را در نظر نمی‌گیرد. یکی دیگر از معایب این روش، افزایش تعداد آزمایش‌های لازم برای تحقیق است که منجر به افزایش زمان، هزینه و مواد مصرفی می‌شود. به‌منظور رفع این مشکلات، بهینه‌سازی روش‌های تحلیلی با استفاده از تکنیک‌های آمار چند متغیره انجام شده است. از مهم‌ترین تکنیک‌های چندمتغیره که در بهینه‌سازی تحلیلی استفاده می‌شود، روش

جدول ۲- ایزوترم‌های رایج جذب

نام ایزوترم	فرم غیرخطی	فرم خطی	نمودار
لانگمویر	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_e} + \frac{1}{K_L q_e}$	$\frac{C_e}{q_e}$ بر حسب C_e
فردنلیچ	$q_e = K_F C_e^{1/n}$	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	$\ln q_e$ بر حسب $\log C_e$
دوبین رادوشکویچ	$q_e = (q_s) \exp(-k_{ad} \varepsilon^2)$	$\ln(q_e) = \ln q_m - \beta \varepsilon^2$	$\ln(q_e)$ بر حسب ε^2
تمکین	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln a C_e$	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln K_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e$	q_e بر حسب C_e
هیل	$q_e = \frac{q_{SH} C_e^n H}{K_D + C_e^n H}$	$\text{Log}\left(\frac{q_e}{q_{SH} - q_e}\right) - n_H \log(C_e) - \log(k_D)$	$\text{Log}\left(\frac{q_e}{q_{SH} - q_e}\right)$ بر حسب $\log C_e$
ردلیچ-پترسون	$q_e = \frac{k_{RP} C_e}{1 + a_R C_e^{\beta_{RP}}}$	$\ln(k_{RP} \frac{C_e}{q_e} - 1) = \beta_{RP} \ln(C_e) + \ln(a_{RP})$	$\ln(k_{RP} \frac{C_e}{q_e} - 1)$ بر حسب $\ln(C_e)$
سیپس	$q_e = \frac{k_S C_e^{\beta_S}}{1 + a_S C_e^{\beta_S}}$	$\beta_S \ln(C_e) = -\ln\left(\frac{k_S}{q_e}\right) + \ln(a_S)$	$\ln\left(\frac{k_S}{q_e}\right)$ بر حسب $\ln(C_e)$
توس	$q_e = \frac{k_T C_e}{(a_T + C_e)^{1/t}}$	$\ln\left(\frac{q_e}{k_T}\right) = \ln(C_e) - \frac{1}{t} \ln(a_T + C_e)$	$\ln\left(\frac{q_e}{k_T}\right)$ بر حسب $\ln(C_e)$
کوبل-کوریجان	$q_e = \frac{AC_e^n}{1 + BC_e^n}$	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{AC_e^n} + \frac{B}{A}$	-

۷- ترمودینامیک جذب

میزان انرژی آزاد گیبس در فرآیند جذب به‌وسیله معادله وانت هوف مطابق با معادله (۳)، به‌دست می‌آید.

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (3)$$

بر اساس قوانین ترمودینامیک، میزان انرژی آزاد گیبس از آنتالپی و آنتروپی یک فرایند بر اساس معادله (۴) به‌دست می‌آید.

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \Delta S^0 \quad (4)$$

برای محاسبه مقادیر ترمودینامیکی جذب از پارامتر K_D برحسب میلی‌لیتر بر گرم استفاده می‌شود. در محاسبه این مقادیر، دما بسیار مهم است. در فرآیند جذب از معادلات (۵) تا (۷) به‌ترتیب برای محاسبه آنتالپی (ΔH)، آنتروپی (ΔS) و

که ایزوترم‌ها ماهیت تعامل بین ماده‌ی جذب‌شونده و جاذب را توصیف می‌کنند (Kizilkaya, 2012). در جدول ۲ چند ایزوترم جذب رایج مشاهده می‌شود.

۶- سینتیک‌های جذب

سینتیک جذب برای اهداف کاربردی حذف آلاینده‌ها به‌وسیله روش جذب بسیار مهم است و کمک می‌کند تا مکانیزم جذب و گام‌های محدودکننده سرعت جذب درک شود (Febrianto et al., 2009). در فرآیند جذب، رفتار جاذب توسط چندین مدل سینتیکی شناخته شده، آنالیز می‌شود. مدل‌های سینتیکی به منظور تعیین ثابت‌های سرعت، سرعت جذب اولیه و ظرفیت جذب ماده‌ی جاذب، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Du et al., 2017). در جدول ۳ چند نمونه از این مدل‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳- مدل‌های سینتیکی رایج

نام مدل سینتیکی	فرم غیرخطی	فرم خطی	نمودار
شبه درجه اول	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t$	$\ln(q_e - q_t)$ بر حسب t
شبه درجه دوم	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e} t + \frac{1}{k_2 q_e^2}$	$\frac{t}{q_t}$ بر حسب t
الویچ	$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t)$	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$	$\ln t$ بر حسب q_t
نفوذ بین‌ذره‌ای	$q_t = k_{di} t^{0.5} + B$	-	q_t بر حسب $t^{0.5}$
نفوذ فیلمی مایع	$\ln(1-F) = -k_f a t, F = \frac{q_t}{q_e}$	-	$\ln(1-F)$ بر حسب t

انرژی آزاد گیبس (ΔG) استفاده می‌شود.

$$K_D = \frac{q_e}{C_e} \quad (5)$$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_D \quad (6)$$

$$\ln K_D = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (7)$$

که R : ثابت گازها و برابر 8.314 J/mol K و T : دما بر حسب درجه کلوین می‌باشد.

با استفاده از معادله وانت هوف و رسم $\ln K_D$ بر حسب $1/T$ می‌توان مقادیر پارامترهای ترمودینامیکی را محاسبه نمود. مقدار مثبت و منفی آنتالپی به ترتیب نشان دهنده گرماگیر و گرماده بودن فرآیند جذب است. زمانی که میزان آنتروپی مثبت باشد، نشان از وابستگی شدید جذب و آلاینده برای جذب شدن دارد. همچنین میزان منفی بودن انرژی آزاد گیبس نشان‌دهنده خود به خودی بودن فرآیند جذب است (Chowdhury et al., 2011).

۸- واجذب

اکثر جاذب‌های برپایه کیتوسان میزان بالای بازیابی را نشان می‌دهند. در حال حاضر محلول‌های NaOH ، H_2SO_4 ، NaNO_3 ، EDTA و DPTA به‌طور گسترده برای بازیابی جاذب‌ها استفاده

می‌شوند. در جدول ۴ تعدادی از مطالعات واجذب انجام‌شده جاذب‌های بر پایه کیتوسان و در جدول ۵ تعدادی از مطالعات واجذب انجام شده بر روی سایر جاذب‌ها مشاهده می‌شود.

۹- بررسی اقتصادی جاذب‌های کیتوسان

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اصلی اقتصادی در فرایند جذب سطحی، میزان ظرفیت جذب در کنار هزینه آن است. محققان همواره به دنبال جاذبی کم‌هزینه و در دسترس برای جداسازی فلزات سنگین از آب بوده‌اند. برای بررسی اقتصادی هر جاذب باید قیمت آن جاذب و میزان ظرفیت جذب و کارایی آن را مورد بررسی قرار داد. امروزه مطالعات زیادی بر روی جاذب‌های کم‌هزینه شده است. ضایعات کشاورزی، ضایعات محصولات صنعتی و مواد طبیعی از جمله جاذب‌های ارزان‌قیمت و در دسترس به‌شمار می‌آیند. در ذیل تعدادی از مهم‌ترین این جاذب‌ها معرفی می‌شوند.

۱- کیتین: از لحاظ فراوانی دومین پلیمر طبیعی در بین پلیمرهای طبیعی است. یکی از مشتقات کیتین، کیتوسان بوده که ساختاری شبیه سلولز دارد و جاذب بسیار مناسبی برای فلزات سنگین است. تخمین زده می‌شود که کیتوسان می‌تواند از ماهی و اسیده‌های چرب با قیمت $15/4$ دلار به ازای

جدول ۴- تعدادی از مطالعات واجذب جاذب‌های بر پایه کیتوسان

نام جاذب	ماده شستشو دهنده	غلظت بهینه	آلاینده	واجذب (%)	مرجع
کیتوسان پوشش داده با نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده با اسید کتوگلوکاریک	Na_2EDTA	100 mmol/L	Cu(II)	$91/5$	Zhou et al. (2009)
نانوکامپوزیت کیتوسان/ نانو خاک رس	HCl	$0/1 \text{ M}$	As(V)	$97/07$	Gogoi et al. (2016)
نانوکامپوزیت کیتوسان/ آهن-هیدروکسی آپاتیت	HCl	$0/1 \text{ mol/L}$	Pb(II)	60	Saber-Samandari et al. (2014)
نانوکامپوزیت مغناطیسی کیتوسان/ EDTA/TiO_2	Na_2EDTA	$0/1 \text{ M}$	Cd(II)	100	Alizadeh et al. (2018)
کیتوسان عامل دار شده با اکسید گرافن	NaOH	1 mol/L	As(III) , As(V)	99	Kumar and Jiang (2016)
کامپوزیت کیتوسان مغناطیسی	Na_2EDTA	$0/1 \text{ M}$	Cu(II)	100	Li et al. (2017)
کیتوسان عامل دار شده با پلی اکریل آمید	H_2SO_4	$0/08 \text{ M}$	As(V)	100	Saha and Sarkar (2012)
کیتوسان/ PVA /آهن صفر ظرفیتی	NaOH	$0/1 \text{ M}$	As(III) , As(V)	95	Chauhan et al. (2014)
ذرات مغناطیسی کیتوسان/ مونتموریلونیت	NaOH	$0/1 \text{ M}$	Cr(VI)	$95/8$	Chen et al. (2013)
کیتوسان عامل دار شده با اکسید گرافن	NaOH	$0/05 \text{ M}$	Cr(VI)	90	Debnath et al. (2014)

جدول ۵- تعدادی از مطالعات واجذب جاذب‌های مختلف فلزات سنگین

نام جاذب	ماده شستشو دهنده	غلظت بهینه	آلاینده	واجذب (%)	مرجع
پوسته نارگیل	HCl	۰/۲ mmol/L	Cu(II) Pb(II) Hg(II)	۹۴/۵	Anirudhan and Sreekumari (2011)
کربن فعال پوست نارگیل	HNO ₃ .H ₂ O ₂	۰/۵ M	As(III)	۹۴	Manju et al. (1998)
ضایعات صنعتی آهن	NaOH	۰/۱ M	As(V)	۴۹	Namasivayam and Senthilkumar (1998)
پوست بادام زمینی	HCl	۰/۲۵ M	Ni(II)	۱۰۰	Periasamy and Namasivayam (1995)
آلومینیوم اصلاح شده با زئولیت	NaOH	۰/۲۵ M	As(V)	۹۹	Xu et al. (2000)
آلومینیوم اصلاح شده با زئولیت	HCl	۰/۱ M	As(V)	۹۸	Xu et al. (2002)
خاک رس	HCl	۰/۱ M	Cd(II)	۸۹	Zhu et al. (2007)

جذب کائولین برای جذب سرب و کادمیم به ترتیب برابر ۰/۱۲ و ۰/۳۲ میلی گرم بر گرم جاذب و میزان ظرفیت جاذب مونوموریلونیت برای جذب سرب و کادمیم برابر ۰/۶۸ و ۰/۷۲ میلی گرم بر گرم جاذب است (Babel and Kurniawan, 2003).
۵- خاکستر: مطالعاتی بر روی خاکستر نیروگاه حرارتی در هندوستان به عنوان جاذب انجام و مشخص شد میزان ظرفیت این جاذب برای جذب فلز مس برابر ۱/۳۹ میلی گرم بر گرم جاذب است. این جاذب قیمتی ندارد ولی میزان ظرفیت جذب کمی دارد و جاذب مناسبی برای همه‌ی فلزات سنگین نیست (Babel and Kurniawan, 2003).

با بررسی و مقایسه جاذب‌های عنوان شده می‌توان به این نتیجه دست یافت که کیتوسان می‌تواند بسیاری از فلزات را محلول‌های آبی جدا سازد به‌طوری‌که قابلیت جداسازی آن‌ها حتی از جاذب‌های تجارتي مانند کربن فعال نیز بیشتر است. اگرچه قیمت این جاذب نسبت به جاذب‌های طبیعی دیگر بالاتر است ولی با توجه به میزان ظرفیت بسیار بالاتر جذب آن‌ها نسبت به سایر جاذب‌های طبیعی ارزش اقتصادی بالاتری را به‌همراه خواهد داشت، زیرا این جاذب‌ها به‌دلیل برخورداری از ظرفیت بالای جذب، می‌توانند در مقادیر کمتر نسبت به دیگر جاذب‌های اشاره شده مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین می‌توان از این جاذب به‌عنوان جاذب با ارزش اقتصادی در جداسازی فلزات سنگین از محلول‌های آبی نام برد.

۱۰- نتیجه‌گیری

کیتوسان به‌عنوان جاذب مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. این جاذب با توجه به ویژگی‌های خاص خود از جمله هزینه کم، عملکرد جذب عالی، سازگاری با محیط‌زیست

هر کیلوگرم تهیه شود (Rorrer and Way, 2002). با بررسی صورت‌گرفته بر روی میزان جذب این دسته از جاذب‌ها مشاهده شده است که حداکثر میزان ظرفیت جاذب کیتوسان برای جذب فلزات Hg^{2+} ، Cu^{2+} ، Ni^{2+} و Zn^{2+} به ترتیب برابر ۸۱۵، ۲۲۲، ۱۶۴ و ۷۵ میلی گرم بر گرم جاذب بوده است (Mckay et al., 1989). در مطالعه دیگری نیز میزان جذب Hg^{2+} برابر ۴۳۰ میلی گرم بر گرم جاذب به‌دست آمده است (Peniche-Covas et al., 1992).

۲- کربن فعال: یکی از جاذب‌های تجارتي و پرکاربرد در تصفیه آب کربن فعال است که حدود ۲۰ تا ۲۲ دلار به‌ازای هر کیلوگرم قیمت دارد و نسبت به کیتوسان از ظرفیت جذب کمتری برای فلزات سنگین برخوردار است.

۳- زئولیت: در دهه ۱۹۷۰ زئولیت‌های طبیعی به‌دلیل قابلیت تبادل یونی خود به‌طور قابل‌توجهی برای حذف فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفتند. قیمت این زئولیت‌ها بسته به کیفیت از ۰/۰۳ تا ۰/۱۲ دلار به‌ازای هر کیلوگرم متغیر است. در پژوهشی میزان جذب فلز سرب و کادمیم با استفاده از جاذب زئولیت کلینوپتیولایت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد میزان ظرفیت این جاذب برای سرب و کادمیم به ترتیب برابر ۴/۱ و ۲/۱ میلی گرم بر گرم جاذب است (Malliou et al., 1994).

۴- خاک رس: یکی از جاذب‌های طبیعی شناخته شده خاک رس است. خاک رس نیز می‌تواند تبادل یونی خوبی با فلزات سنگین داشته باشد و قیمت تقریبی آن حدود ۰/۰۴ تا ۰/۱۲ دلار به ازای هر کیلوگرم است. ظرفیت جذب جاذب‌های کائولین و مونوموریلونیت برای فلزات سنگین سرب و کادمیم توسط محققین بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان ظرفیت

methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry", *Talanta*, 76(5), 965-977.

Bhatt, R., Sreedhar, B., and Padmaja, P., (2015), "Adsorption of chromium from aqueous solutions using crosslinked chitosan-diethylenetriaminepentaacetic acid", *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 458-466.

Bodnar, M., Hartmann, J.F., and Borbely, J., (2005), "Preparation and characterization of chitosan-based nanoparticles", *Biomacromolecules*, 6(5), 2521-2527.

Chang, Y.-C., Chang, S.-W., and Chen, D.-H., (2006), "Magnetic chitosan nanoparticles: Studies on chitosan binding and adsorption of Co (II) ions", *Reactive and Functional Polymers*, 66(3), 335-341.

Chang, Y.-C., and Chen, D.-H., (2005), "Preparation and adsorption properties of monodisperse chitosan-bound Fe₃O₄ magnetic nanoparticles for removal of Cu (II) ions", *Journal of Colloid and Interface Science*, 283(2), 446-451.

Chauhan, D., Dwivedi, J., and Sankararamakrishnan, N., (2014), "Novel chitosan/PVA/zerovalent iron biopolymeric nanofibers with enhanced arsenic removal applications", *Environmental Science and Pollution Research*, 21(15), 9430-9442.

Chen, D., Li, W., Wu, Y., Zhu, Q., Lu, Z., and Du, G., (2013), "Preparation and characterization of chitosan/montmorillonite magnetic microspheres and its application for the removal of Cr (VI)", *Chemical Engineering journal*, 221, 8-15.

Cho, D.-W., Jeon, B.-H., Chon, C.-M., Kim, Y., Schwartz, F.W., Lee, E.-S., and Song, H., (2012), "A novel chitosan/clay/magnetite composite for adsorption of Cu (II) and As (V)", *Chemical Engineering Journal*, 200, 654-662.

Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P., and Kushwaha, P., (2011), "Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk", *Desalination*, 265(1), 159-168.

Dąbrowski, A., (2001), "Adsorption: From theory to practice", *Advances in Colloid and Interface Science*, 93(1), 135-224.

Debnath, S., Maity, A., and Pillay, K., (2014), "Magnetic chitosan-GO nanocomposite: synthesis, characterization and batch adsorber design for Cr (VI) removal", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(2), 963-973.

Dhanapal, V., and Subramanian, K., (2015), "Modified chitosan for the collection of reactive blue 4, arsenic and mercury from aqueous media", *Carbohydrate Polymers*, 117, 123-132.

Du, J., Zhang, L., Gao, H., and Liao, Y., (2017),

و زیست‌سازگاری در حوزه تصفیه آب و فاضلاب بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. برای افزایش عملکرد این جاذب‌ها می‌توان آن‌ها را به‌صورت نانو جاذب به کار برد یا به‌وسیله روش‌های مختلف اصلاح کرد. جاذب‌های کیتوسان اصلاح شده دارای ویژگی‌های گسترده‌ای شامل بازیابی آسان، عدم ایجاد آلودگی ثانویه، قابلیت اتصال قوی با یون‌های فلزات سنگین و ظرفیت جذب بالا نسبت به سایر جاذب‌ها هستند. تجزیه و تحلیل مکانیزم جذب نشان می‌دهد که گروه‌های عاملی بر روی سطح کیتوسان‌های اصلاح شده عمدتاً مسئول پیوند یون‌های فلزات سنگین با نیروی الکترواستاتیک یا پیوندهای کووالانسی هستند. در این مطالعه، حذف فلزات سنگین توسط جاذب‌های بر پایه کیتوسان، اثرات متغیرهای فرآیند بر جذب سطحی و همچنین واجذب و بازیابی جاذب‌های کیتوسان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین روش‌های پاسخ سطح برای بهینه‌سازی متغیرهای فرایند و به حداکثر رساندن پاسخ خروجی به کار رفت.

۱۱- مراجع

Aliabadi, M., Irani, M., Ismaeili, J., and Najafzadeh, S., (2014), "Design and evaluation of chitosan/hydroxyapatite composite nanofiber membrane for the removal of heavy metal ions from aqueous solution", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(2), 518-526.

Alizadeh, B., Delnavaz, M., and Shakeri, A., (2018), "Removal of Cd (II) and phenol using novel cross-linked magnetic EDTA/chitosan/TiO₂ nanocomposite", *Carbohydrate Polymers*, 181, 675-683.

Anirudhan, T. S., and Sreekumari, S. S., (2011), "Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons", *Journal of Environmental Sciences*, 23(12), 1989-1998.

Babel, S., and Kurniawan, T.A., (2003), "Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review", *Journal of Hazardous Materials*, 97(1-3), 219-243.

Becker, T., Schlaak, M., and Strasdeit, H., (2000), "Adsorption of nickel (II), zinc (II) and cadmium (II) by new chitosan derivatives", *Reactive and Functional Polymers*, 44(3), 289-298.

Bezerra, M.A., Santelli, R.E., Oliveira, E.P., Villar, L.S., and Escaleira, L.A., (2008), "Response surface

- "Adsorption of Cu (II) and Ni (II) by pelletized biopolymer", *Journal of Hazardous Materials*, 45(2-3), 265-277.
- Igherese, E., Osifo, P., and Ofomaja, A., (2017), "Chromium (VI) ion adsorption by grafted cross-linked chitosan beads in aqueous solution: A mathematical and statistical modeling study", *Environmental Technology*, 38(24), 3156-3166.
- Igder, A., Rahmani, A.A., Fazlavi, A., Ahmadi, M.H., Azqhandi, A., Hossein, M., and Omidi, M.H., (2012), "Box-behnken design of experiments investigation for adsorption of Cd²⁺ onto carboxymethyl chitosan magnetic nanoparticles", *Journal of Mining and Environment*, 3(1), 51-59.
- Inoue, K., Ohto, K., Yoshizuka, K., Yamaguchi, T., and Tanaka, T., (1997), "Adsorption of lead (II) ion on complexane types of chemically modified chitosan", *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 70(10), 2443-2447.
- Jansson-Charrier, M., Guibal, E., Roussy, J., Delanghe, B., and Le Cloirec, P., (1996), "Vanadium (IV) sorption by chitosan: Kinetics and equilibrium", *Water Research*, 30(2), 465-475.
- Jiang, Y.-J., Yu, X.-Y., Luo, T., Jia, Y., Liu, J.-H., and Huang, X.-J., (2013), "γ-Fe₂O₃ nanoparticles encapsulated millimeter-sized magnetic chitosan beads for removal of Cr (VI) from water: Thermodynamics, kinetics, regeneration, and uptake mechanisms", *Journal of Chemical and Engineering Data*, 58(11), 3142-3149.
- Karthik, R., and Meenakshi, S., (2015), "Removal of Pb (II) and Cd (II) ions from aqueous solution using polyaniline grafted chitosan", *Chemical Engineering Journal*, 263, 168-177.
- Kizilkaya, B., (2012), "Usage of biogenic apatite (fish bones) on removal of basic fuchsin dye from aqueous solution", *Journal of Dispersion Science and Technology*, 33(11), 1596-1602.
- Kumar, A. S. K., and Jiang, S.-J., (2016), "Chitosan-functionalized graphene oxide: A novel adsorbent an efficient adsorption of arsenic from aqueous solution", *Journal of environmental chemical engineering*, 4(2), 1698-1713.
- Kumar, M., Tripathi, B.P., and Shahi, V.K., (2009), "Crosslinked chitosan/polyvinyl alcohol blend beads for removal and recovery of Cd (II) from wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3), 1041-1048.
- Kyzas, G.Z., Kostoglou, M., and Lazaridis, N.K., (2009), "Copper and chromium (VI) removal by chitosan derivatives, Equilibrium and kinetic studies", *Chemical Engineering Journal*, 152(2-3), 440-448.
- "Removal of methylene blue from aqueous solutions using Poly (AA-co-DVB)", *Journal of Dispersion Science and Technology*, 38(10), 1489-1494.
- El-Reash, Y.G.A., Otto, M., Kenawy, I.M., and Ouf, A.M., (2011), "Adsorption of Cr (VI) and As (V) ions by modified magnetic chitosan chelating resin", *International Journal of Biological Macromolecules*, 49(4), 513-522.
- Eser, A., Tirtom, V.N., Aydemir, T., Becerik, S., and Dinçer, A., (2012), "Removal of nickel (II) ions by histidine modified chitosan beads", *Chemical Engineering Journal*, 210, 590-596.
- Fan, C., Li, K., Li, J., Ying, D., Wang, Y., and Jia, J., (2017), "Comparative and competitive adsorption of Pb (II) and Cu (II) using tetraethylenepentamine modified chitosan/CoFe₂O₄ particles", *Journal of Hazardous Materials*, 326, 211-220.
- Febrianto, J., Kosasih, A.N., Sunarso, J., Ju, Y.-H., Indraswati, N., and Ismadji, S., (2009), "Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: a summary of recent studies", *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 616-645.
- Gamage, A., and Shahidi, F., (2007), "Use of chitosan for the removal of metal ion contaminants and proteins from water", *Food Chemistry*, 104(3), 989-996.
- Gandhi, M.R., and Meenakshi, S., (2013), "Preparation of amino terminated polyamidoamine functionalized chitosan beads and its Cr (VI) uptake studies", *Carbohydrate Polymers*, 91(2), 631-637.
- Gogoi, P., Thakur, A.J., Devi, R.R., Das, B., and Maji, T.K., (2016), "A comparative study on sorption of arsenate ions from water by crosslinked chitosan and crosslinked chitosan/MMT nanocomposite", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4248-4257.
- Gokila, S., Gomathi, T., Sudha, P.N., and Anil, S., (2017), "Removal of the heavy metal ion chromium (VI) using Chitosan and Alginate nanocomposites", *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1459-1468.
- He, J., Lu, Y., and Luo, G., (2014), "Ca (II) imprinted chitosan microspheres: An effective and green adsorbent for the removal of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) from aqueous solutions", *Chemical Engineering Journal*, 244, 202-208.
- Hu, X., Wang, J., Liu, Y., Li, X., Zeng, G., Bao, Z., Zeng, X., Chen, A., and Long, F., (2011), "Adsorption of chromium (VI) by ethylenediamine-modified cross-linked magnetic chitosan resin: isotherms, kinetics and thermodynamics", *Journal of Hazardous Materials*, 185(1), 306-314.
- Huang, C., Chung, Y.-C., and Liou, M.-R., (1996),

- onto chitosan", *Indian Journal of Chemistry Section A, Inorganic Bio-Inorganic Physical Theoretical and Analytical Chemistry*, 28(5), 356-360.
- Monier, M., Ayad, D.M., and Abdel-Latif, D.A., (2012), "Adsorption of Cu (II), Cd (II) and Ni (II) ions by cross-linked magnetic chitosan-2-aminopyridine glyoxal Schiff's base", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 94, 250-258.
- Muzzarelli, R.A.A., Weckx, M., Filippini, O., and Sigon, F., (1989), "Removal of trace metal ions from industrial waters, nuclear effluents and drinking water, with the aid of cross-linked N-carboxymethyl chitosan", *Carbohydrate polymers*, 11(4), 293-306.
- Namasivayam, C., and Senthilkumar, S., (1998), "Removal of arsenic (V) from aqueous solution using industrial solid waste: adsorption rates and equilibrium studies", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 37(12), 4816-4822.
- Ngah, W.S.W., Teong, L.C., Toh, R.H., and Hanafiah, M., (2013), "Comparative study on adsorption and desorption of Cu (II) ions by three types of chitosan-zeolite composites", *Chemical Engineering Journal*, 223, 231-238.
- Nithya, R., Gomathi, T., Sudha, P.N., Venkatesan, J., Anil, S., and Kim, S.-K., (2016), "Removal of Cr (VI) from aqueous solution using chitosan-g-poly (butyl acrylate)/silica gel nanocomposite", *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 545-554.
- Nuhoglu, Y., Malkoc, E., Gürses, A., and Canpolat, N., (2002), "The removal of Cu (II) from aqueous solutions by *Ulothrix zonata*", *Bioresource Technology*, 85(3), 331-333.
- Othman, Z.A., Hashem, A., and Habila, M.A., (2011), "Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of cadmium (II) adsorption by modified agricultural wastes", *Molecules*, 16(12), 10443-10456.
- Peniche-Covas, C., Alvarez, L.W., and Argüelles-Monal, W., (1992), "The adsorption of mercuric ions by chitosan", *Journal of Applied Polymer Science*, 46(7), 1147-1150.
- Periasamy, K., and Namasivayam, C., (1995), "Removal of nickel (II) from aqueous solution and nickel plating industry wastewater using an agricultural waste: peanut hulls", *Waste Management*, 15(1), 63-68.
- Piron, E., Accominotti, M., and Domard, A., (1997), "Interaction between chitosan and uranyl ions. Role of physical and physicochemical parameters on the kinetics of sorption", *Langmuir*, 13(6), 1653-1658.
- Piron, E., and Domard, A., (1998), "Interaction between chitosan and uranyl ions, Part 2: Mechanism of interaction", *International Journal of Biological*
- Li, J., Jiang, B., Liu, Y., Qiu, C., Hu, J., Qian, G., Guo, W., and Ngo, H.H., (2017), "Preparation and adsorption properties of magnetic chitosan composite adsorbent for Cu²⁺ removal", *Journal of Cleaner Production*, 158, 51-58.
- Li, X., Zhou, H., Wu, W., Wei, S., Xu, Y., and Kuang, Y., (2015), "Studies of heavy metal ion adsorption on Chitosan/Sulfhydryl-functionalized graphene oxide composites", *Journal of Colloid and Interface Science*, 448, 389-397.
- Liu, B., Lv, X., Wang, D., Xu, Y., Zhang, L., and Li, Y., (2012), "Adsorption behavior of As (III) onto chitosan resin with As (III) as template ions", *Journal of Applied Polymer Science*, 125(1), 246-253.
- Liu, Q., Yang, B., Zhang, L., and Huang, R., (2015), "Adsorptive removal of Cr (VI) from aqueous solutions by cross-linked chitosan/bentonite composite", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32(7), 1314-1322.
- Liu, T., Zhao, L., Sun, D., and Tan, X., (2010), "Entrapment of nanoscale zero-valent iron in chitosan beads for hexavalent chromium removal from wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 184(1-3), 724-730.
- Liu, X., Hu, Q., Fang, Z., Zhang, X., and Zhang, B., (2008), "Magnetic chitosan nanocomposites: A useful recyclable tool for heavy metal ion removal", *Langmuir*, 25(1), 3-8.
- Luo, X., Zeng, J., Liu, S., and Zhang, L., (2015), "An effective and recyclable adsorbent for the removal of heavy metal ions from aqueous system: magnetic chitosan/cellulose microspheres", *Bioresource Technology*, 194, 403-406.
- Maity, J., and Ray, S.K., (2018), "Chitosan based nano composite adsorbent: Synthesis, characterization and application for adsorption of binary mixtures of Pb (II) and Cd (II) from water", *Carbohydrate Polymers*, 182, 159-171.
- Malliou, E., Loizidou, M., and Spyrellis, N., (1994), "Uptake of lead and cadmium by clinoptilolite", *Science of the Total Environment*, 149(3), 139-144.
- Manju, G.N., Raji, C., and Anirudhan, T.S., (1998), "Evaluation of coconut husk carbon for the removal of arsenic from water", *Water Research*, 32(10), 3062-3070.
- Marković, S., Stanković, A., Lopičić, Z., Lazarević, S., Stojanović, M., and Uskoković, D., (2015), "Application of raw peach shell particles for removal of methylene blue", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 716-724.
- Mckay, G., Blair, H.S., and Findon, A., (1989), "Equilibrium studies for the sorption of metal-ions

- International Journal of Biological Macromolecules*, 80, 475-480.
- Sivakami, M.S., Gomathi, T., Venkatesan, J., Jeong, H.-S., Kim, S.-K., and Sudha, P.N., (2013), "Preparation and characterization of nano chitosan for treatment wastewaters", *International Journal of Biological Macromolecules*, 57, 204-212.
- Sutirman, Z.A., Sanagi, M.M., Karim, J.A., Naim, A.A., and Ibrahim, W.A.W., (2018), "New crosslinked-chitosan graft poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) for the removal of Cu (II) ions from aqueous solutions", *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 891-897.
- Tan, Z., Peng, H., Liu, H., Wang, L., Chen, J., and Lu, X., (2015), "Facile preparation of EDTA-functionalized chitosan magnetic adsorbent for removal of Pb (II)", *Journal of Applied Polymer Science*, 132(32), 1-10.
- Turan, D., Kocahakimoğlu, C., Boyacı, E., Sofuoğlu, S.C., and Eroğlu, A.E., (2014), "Chitosan-immobilized pumice for the removal of As (V) from waters", *Water, Air and Soil Pollution*, 225(5), 1931.
- Wang, J., and Chen, C., (2006), "Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review", *Biotechnology Advances*, 24(5), 427-451.
- Wang, J., and Chen, C., (2009), "Biosorbents for heavy metals removal and their future", *Biotechnology Advances*, 27(2), 195-226.
- Wang, L., Xing, R., Liu, S., Yu, H., Qin, Y., Li, K., Feng, J., Li, R., and Li, P., (2010), "Recovery of silver (I) using a thiourea-modified chitosan resin", *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3), 577-582.
- Wang, Y., Li, L., Luo, C., Wang, X., and Duan, H., (2016), "Removal of Pb²⁺ from water environment using a novel magnetic chitosan/graphene oxide imprinted Pb²⁺", *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 505-511.
- Witek-Krowiak, A., Chojnacka, K., Podstawczyk, D., Dawiec, A., and Pokomeda, K., (2014), "Application of response surface methodology and artificial neural network methods in modelling and optimization of biosorption process", *Bioresource Technology*, 160, 150-160.
- Xie, M., Zeng, L., Zhang, Q., Kang, Y., Xiao, H., Peng, Y., Chen, X., and Luo, J., (2015), "Synthesis and adsorption behavior of magnetic microspheres based on chitosan/organic rectorite for low-concentration heavy metal removal", *Journal of Alloys and Compounds*, 647, 892-905.
- Xu, Y., Nakajima, T., and Ohki, A., (2002), "Adsorption and removal of arsenic (V) from drinking water by aluminum-loaded Shirasu-zeolite", *Journal of Macromolecules*, 22(1), 33-40.
- Qi, L., and Xu, Z., (2004), "Lead sorption from aqueous solutions on chitosan nanoparticles", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 251(1-3), 183-190.
- Rahimi, S., Moattari, R.M., Rajabi, L., and Derakhshan, A.A., (2015), "Optimization of lead removal from aqueous solution using goethite/chitosan nanocomposite by response surface methodology", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 484, 216-225.
- Reddy, D.H.K., and Lee, S.-M., (2013), "Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions", *Advances in Colloid and Interface Science*, 201, 68-93.
- Repo, E., Warchoń, J.K., Bhatnagar, A., and Sillanpää, M., (2011), "Heavy metals adsorption by novel EDTA-modified chitosan-silica hybrid materials", *Journal of Colloid and Interface Science*, 358(1), 261-267.
- Rorrer, G.L., Hsien, T.Y., and Way, J.D., (1993), "Synthesis of porous-magnetic chitosan beads for removal of cadmium ions from wastewater", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 32(9), 2170-2178.
- Rorrer, G.L., and Way, J.D., (2002), "Chitosan beads to remove heavy metal from wastewater", *Dalwood-ChitoSan*, 5, 2170-2178.
- Saber-Samandari, S., Saber-Samandari, S., Nezafati, N., and Yahya, K., (2014), "Efficient removal of lead (II) ions and methylene blue from aqueous solution using chitosan/Fe-hydroxyapatite nanocomposite beads", *Journal of Environmental Management*, 146, 481-490.
- Saha, S., and Sarkar, P., (2012), "Arsenic remediation from drinking water by synthesized nano-alumina dispersed in chitosan-grafted polyacrylamide", *Journal of Hazardous Materials*, 227, 68-78.
- Sarkar, M., and Majumdar, P., (2011), "Application of response surface methodology for optimization of heavy metal biosorption using surfactant modified chitosan bead", *Chemical Engineering Journal*, 175, 376-387.
- Shankar, P., Gomathi, T., Vijayalakshmi, K., and Sudha, P.N., (2014), "Comparative studies on the removal of heavy metals ions onto cross linked chitosan-g-acrylonitrile copolymer", *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 180-188.
- Sheshmani, S., Nematzadeh, M.A., Shokrollahzadeh, S., and Ashori, A., (2015), "Preparation of graphene oxide/chitosan/FeOOH nanocomposite for the removal of Pb (II) from aqueous solution",

- Hazardous Materials*, 92(3), 275-287.
- Yavuz, A.G., Dincturk-Atalay, E., Uygun, A., Gode, F., and Aslan, E., (2011), "A comparison study of adsorption of Cr (VI) from aqueous solutions onto alkyl-substituted polyaniline/chitosan composites", *Desalination*, 279(1-3), 325-331.
- Zavareh, S., Zarei, M., Darvishi, F., and Azizi, H., (2015), "As (III) adsorption and antimicrobial properties of Cu-chitosan/alumina nanocomposite", *Chemical Engineering Journal*, 273, 610-621.
- Zhang, L., Luo, H., Liu, P., Fang, W., and Geng, J., (2016), "A novel modified graphene oxide/chitosan composite used as an adsorbent for Cr (VI) in aqueous solutions", *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 586-596.
- Zhang, L., Xia, W., Teng, B., Liu, X., and Zhang, W., (2013), "Zirconium cross-linked chitosan composite: Preparation, characterization and application in adsorption of Cr (VI)", *Chemical Engineering Journal*, 229, 1-8.
- Zhang, Y., Yan, T., Yan, L., Guo, X., Cui, L., Wei, Q., and Du, B., (2014), "Preparation of novel cobalt ferrite/chitosan grafted with graphene composite as effective adsorbents for mercury ions", *Journal of Molecular Liquids*, 198, 381-387.
- Zhou, Y.-T., Nie, H.-L., Branford-White, C., He, Z.-Y., and Zhu, L.-M., (2009), "Removal of Cu²⁺ from aqueous solution by chitosan-coated magnetic nanoparticles modified with α -ketoglutaric acid", *Journal of Colloid and Interface Science*, 330(1), 29-37.
- Zhu, C., Luan, Z., Wang, Y., and Shan, X., (2007), "Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption on granular red mud (GRM)", *Separation and Purification Technology*, 57(1), 161-169.
- Zimmermann, A.C., Mecabô, A., Fagundes, T., and Rodrigues, C.A., (2010), "Adsorption of Cr (VI) using Fe-crosslinked chitosan complex (Ch-Fe)", *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 192-196.

Effect of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties under Cotton Cultivation

Yahya Choopan^{1*}, Abbas Khashei Siuki² and Ali Shahidi²

1- Department of Water Engineering, University of Gorgan of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

* Corresponding Author: yahyachoopan68@gmail.com

Received: 10/4/2018

Revised: 4/11/2018

Accepted: 5/11/2018

Abstract

The reuse of urban wastewater treatment needs to be further explored due to some extent of potential hazards raised from the spread of various contagious diseases and the presence of toxic elements. At the same time and due to the presence of carbon and nitrogen, the treated wastewater can have beneficial effects on physical and chemical properties of agricultural soil. To assess the impacts of such irrigations, research has been made as farm pilots for depths of 0-40 cm in soil, in a completely randomized design with three replications of five treatments of irrigation. The study treatments were the well water T1, wastewater T2, combining 50% water and 50% wastewater T3, alternate irrigation water and wastewater T4, and the combination of 33% water and 66% wastewater (used by farmers) T5. The well water Chemical treatment were considered as control sample. analysis showed permissible changes in cations and anions in soil irrigated by treated urban wastewater in accordance to irrigation standards. Average amounts of Calcium, Potassium, Phosphorus, Nitrogen, Sulfate, Magnesium, Sodium and Chloride were measured as 22.80, 494.4, 7.87, 1.028, 9.34, 8.34, 39.2 and 25.7 mg/l, respectively. The amounts of average EC and pH were respectively equal to 3387 $\mu\text{m}/\text{m}$ and 8.7. In general, the results showed that using treated urban wastewater had no destructive effect on soil.

Keywords: Chemical Properties of Soil, Cotton Cultivation, Wastewater Treatment, Well Water.

ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه

یحیی چوپان^{۱*}، عباس خاشعی سیوکی^۲ و علی شهیدی^۲

۱- گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: yahyachoopan68@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۴

چکیده

استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری نیاز به بررسی بیشتری دارد، زیرا این مواد به دلیل پتانسیل انتشار انواع بیماری های واگیردار و حضور عناصر سمی تا حدودی می توانند خطر آفرین باشند. اما به دلیل دارا بودن کربن و نیتروژن میتوانند اثرات مفیدی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک داشته باشند. به منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک تحت کشت محصول پنبه در شهرستان تربت حیدریه، تحقیقی به صورت طرح کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار (R)، به صورت آزمایش های مزرعه ای برای عمق ۰-۴۰ سانتیمتری خاک انجام شد. تیمارهای این تحقیق پنج تیمار که شامل آب چاه T1، پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T2، ترکیب ۵۰٪ آب چاه و ۵۰٪ پساب فاضلاب تصفیه شده T3، آبیاری یک در میان آب و فاضلاب T4، ترکیب ۳۳٪ آب چاه و ۶۶٪ فاضلاب تصفیه شده (مورد استفاده کشاورزان منطقه) T5، هستند و تیمار آب چاه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل شیمیایی نشان داد پساب تصفیه شده شهری بر کاتیون ها و آنیون های خاک تغییراتی در حد مجاز استاندارد آبیاری و کشت گیاهان دارد. میانگین مقادیر یون های کلسیم، پتاسیم، فسفر، نیتروژن، سولفات، منیزیم، سدیم و کلراید، به ترتیب برابر با ۲۲/۸۰، ۴۹۴/۴، ۷/۸۷، ۱/۰۲۸، ۹/۳۴، ۸/۳۴، ۳۹/۲ و ۲۵/۷ میلیگرم بر لیتر و میانگین مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و میزان pH، به ترتیب ۳۳۸۷ میکرو زیمنس بر متر و ۸/۷ به دست آمد. در حالت کلی، نتایج نشان داد پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خاک اثر مخربی نداشته است.

واژه های کلیدی: آب چاه، خواص شیمیایی خاک، عناصر خاک، پساب تصفیه شده، کشت پنبه.

در آب آبیاری به حساب می آید (Hassanoghli, 2004; Alizadeh et al., 2001; Feigin et al., 1991).

تحقیقات صفری سنجانی و رسولپها (۱۳۸۰) نشان داد که آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری توانسته است خاک های شور و سدیمی را به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل کند و این کار موجب افزایش چشمگیر مواد آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در لایه صفر تا ۴۰ سانتیمتری خاک شده است. فیضی (۱۳۸۰) با مقایسه تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده شهری و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی (EC)، pH و نسبت جذب سدیم (SAR)، با هدایت الکتریکی (EC) آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. صابر (۱۹۸۶) با آزمایش خصوصیات خاک های شنی واقع در منطقه قاهره مصر نشان داد که با افزایش سال های آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، گنجایش نگهداری آب در خاک، کربن آلی، نیتروژن و فسفر، ظرفیت تبادل کاتیونی، عناصر سنگین مانند آهن، روی و مس در یک دوره صفر تا ۶۰ ساله افزایش و pH کاهش داشته است. Mahida (1981) با بررسی پساب فاضلاب تصفیه شده شهری مناطق مختلف هند نشان داد که برای بهره برداری از این آب ها در آبیاری کشتزارها نیازی به رقیق نمودن آن ها نیست. همچنین وی نتیجه گرفت آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، هدایت الکتریکی (EC) و pH خاک را بیشتر کاهش داده و ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر محلول و پتاسم کل خاک را افزایش داده است.

جمع بندی تجربیات جهانی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری و آب های نامتعارف نشان می دهد که با توجه به کمبود آب، استفاده از این منابع به عنوان یک منبع ارزشمند آب مطرح است. با این وجود پساب فاضلاب تصفیه شده شهری به دلیل دارا بودن کربن و نیتروژن می تواند اثرات مفیدی بر خصوصیات کمی و کیفی خاک داشته باشند (Zaman et al., 2004). Schacht and Marschner (2015) نتیجه گرفتند آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری در کشاورزی در مناطق مواجه با تنش و کمبود آب، باعث کاهش فشار بر منابع آب موجود شده و اجازه می دهد تا منابع آب با کیفیت، برای مصارف دیگر و توسعه زیر ساخت های امنیت و سلامت اختصاص یابد. Hasan et al. (2015) پی بردند که استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری برای آبیاری، یک استراتژی ارزشمند برای بالا بردن منابع آب در دسترس محسوب می شود. یزدانی و همکاران

خاک یکی از اجزای مهم منابع پایه است که به عنوان بستر اصلی کشت گیاه و نیز محیطی منحصربه فرد برای انواع حیات محسوب می شود. امروزه استفاده مجدد از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری به عنوان یکی از منابع پایدار در کشاورزی حائز اهمیت است (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۴). از نظر غذایی پساب فاضلاب تصفیه شده شهری حاوی سه عنصر ضروری نیتروژن، پتاسیم و فسفر است و علاوه بر آن عناصر ریزمغذی لازم برای رشد گیاهان نیز اغلب در پساب فاضلاب تصفیه شده شهری وجود دارد. وجود این عناصر از مزایای اصلی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری در کشاورزی تلقی می شود و صرفه جویی قابل توجهی در مصرف کودهای شیمیایی به دلیل استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری صورت می پذیرد. مقدار نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب فاضلاب تصفیه شده شهری اغلب نیاز گیاهان به این عناصر را طی دوره رشد برآورده می نماید، اما در بعضی مواقع، نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بیش از حد مورد نیاز گیاهان است و بنابراین موجب رشد بیش از حد، تأخیر در زمان رسیدن و کاهش کیفیت محصول می شود (Al-Salem, 1998; Asano and Levine, 1996; Papadopoulos and Stylianon, 1991, 1998).

به منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خصوصیات کیفی خاک و شستشوی نمک ها به آب زیرزمینی، تحقیقاتی توسط Jalali et al. (2008) بر روی دو نوع خاک شور سدیمی و شور دارای بافت سیلتی لوم انجام و مشاهده شد که در نتیجه کاربرد پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، تبادل سدیم با کاتیون های قابل تبادل خاک (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) به وقوع پیوست و میانگین درصد سدیم قابل تبادل خاک ها در مدت کاربرد پساب فاضلاب تصفیه شده شهری و آبشویی ستون های خاک افزایش یافت. هدایت الکتریکی (EC) خاک نیز در این شرایط افزایش یافته و مقادیر قابل توجهی از منیزیم و پتاسیم به همراه آب زهکشی شده از ستون های خاک خارج شد. نکته مهم این است که هدایت الکتریکی (EC)، به طور مستقیم با مجموع آنیون ها و کاتیون ها در ارتباط است و بنابراین، به عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی مقادیر کل نمک های موجود

(۱۳۹۳) نتیجه گرفتند که آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر چگالی ظاهری خاک تأثیرگذار بوده و مقدار آن را کاهش می‌دهد. همچنین با افزایش تعداد آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش می‌یابد. خدادادی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که آبیاری با پساب فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و صنعتی موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری و همچنین، باعث کاهش هدایت هیدرولیکی (EC) خاک، نفوذپذیری و دو کوهانه شدن منحنی رطوبتی خاک شده است. فرمانی فرد و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تأثیر آبیاری بلند مدت با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک، گزارش کردند که تحت تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، جرم مخصوص ظاهری لایه سطحی خاک کاهش و جرم مخصوص حقیقی آن افزایش یافت. چوپان و همکاران (۱۳۹۶) طی تحقیقی به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار آب آبیاری و سه تکرار به بررسی اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر عملکرد مورفولوژیک پنبه رقم ورامین اقدام نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، میانگین مربعات صفات، نوع آب آبیاری در صفات عملکرد چین اول، عملکرد چین دوم، عملکرد کل و وزن ۱۰ قوزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. چوپان و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی خصوصیات شیمیایی خاک زیر کشت جو تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده (پساب خام کارخانه قند تربت حیدریه) نشان دادند که آبیاری با پساب خام کارخانه قند در شرایط تنش آبی تا حدودی باعث بهبود شرایط شیمیایی خاک گردید و به دلیل اثرات مثبت آن، برای آبیاری مزارع جو منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده تا به امروز در مورد تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک تحت کشت پنبه در شهرستان تربت حیدریه تحقیقی انجام نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت استفاده از پساب‌های شهری و صنعتی و همچنین به دلیل کمبود آب، استفاده از پساب

فاضلاب تصفیه شده شهری توسط کشاورزان تربت حیدریه و رواج کشت پنبه در این منطقه، در این تحقیق به بررسی تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه رقم ورامین پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش بررسی (منطقه مورد مطالعه)

تحقیق حاضر در اراضی کشاورزی روستای سیوکی واقع در ۱۸ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تربت حیدریه انجام شده است. با توجه به وجود یک حلقه چاه، تانکر برای ذخیره سازی و تلفیق پساب فاضلاب تصفیه شده شهری (کشاورزان از آن برای آبیاری استفاده می‌کنند)، در هر زمان مورد نیاز آبیاری انجام می‌گرفت. شهرستان تربت حیدریه در جنوب غربی مشهد روی مدار 34° و 12° طول شرقی و 34° و 17° عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا قرار دارد. براساس اطلاعات اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، وضعیت اقلیمی این ایستگاه با استفاده از طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم خشک سرد و براساس طبقه‌بندی دکتر کریمی دارای اقلیم نیمه خشک است. متوسط بارش سالیانه ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۲۱ درجه است. براساس داده‌های هواشناسی آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی شهرستان تربت حیدریه، متوسط درجه حرارت روزانه در ایستگاه تربت حیدریه $14/2^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر دما به ترتیب برابر $24/6^{\circ}$ و $40/4^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی ۴۵٪، متوسط بارش سالانه ۲۵۳ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه $1143/13$ میلی‌متر است.

۲-۲- پیاده سازی طرح

قبل از پیاده کردن نقشه اجرایی طرح، ابتدا تعداد ۲۴ نقطه اصلی واقع در ابتدا، وسط و انتهای زمین و از عمق ۰-۴۰ سانتیمتری خاک برداشت شده و تحت انجام آزمایشات لازم در آزمایشگاه سایت فاضلاب که محل جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب است، برای تعیین پارامترهای شیمیایی خاک قرار گرفتند.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	نیتروژن کل (%)	هدایت الکتریکی (EC) (dS/m)	pH	آهک (%)	مواد آلی (%)
۱۷۵	۵/۳	۰/۰۱۱	۶/۳	۷/۶	۱۸/۷۵	۰/۰۸۱

نتایج به دست آمده در جدول ۱ (قبل از انجام آزمایش، چند نمونه خاک از محل برداشت شده مورد آنالیز قرار گرفت) ارائه شده است.

پارامترها به صورت زیر اندازه گیری شد:

(الف) pH با دستگاه پی اچ سنج مدل pH Moisture،

(ب) کلراید با روش موهر (نیترا ت نقره)،

(ج) هدایت الکتریکی پساب (EC) با استفاده از دستگاه هدایت سنج قلمی MIC تایوان مدل ۹۹۶۰۲،

(د) سولفات با روش کولوریمتری در طول موج ۴۲۰،

(ذ) کربن آلی با روش سوزاندن در کوره، فسفات با روش کولوریمتری با فسفومولیدات،

(و) کلسیم و منیزیم با روش کومپلکسومتری (تیتراسیون با EDTA)،

(ل) سدیم با روش اسپکتوفتومتری طول موج در ۵۸۹،

(ه) پتاسیم با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۷۶۶ و

(ی) نیترا ت با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۲۲۰ اندازه گیری شدند.

این تحقیق با طرح پایه کامل تصادفی با ۳ تکرار (R) اجرا شد. تیمارهای این آزمایش عبارتند از آب چاه T1، پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T2، ترکیب ۵۰٪ آب و ۵۰٪ پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T3، آبیاری یک در میان آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T4، ترکیب ۳۳٪ آب چاه و ۶۶٪ پساب فاضلاب تصفیه شده شهری (مورد استفاده کشاورزان منطقه) T5 و تیمار آب چاه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. میزان حجم آب مورد نیاز به وسیله نرم افزار NETWAT در هر مرحله از آبیاری با استفاده از کنتور حجمی نصب شده در مسیر لوله انتقال آب که آب را در اختیار تیمارهای آزمایشی مورد نظر قرار می داد و با دقت لیتر اندازه گیری شد. اطلاعات مورد بررسی از نتایج تحلیل خاک پس از جمع آوری با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نمودارها نیز ترسیم شده اند. در جداول ۲ و ۳ نتایج تحلیل شیمیایی آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری ارائه شده است.

۲-۳- روش نمودار ویلکاکس

در مصارف کشاورزی، آب با غلظت نسبت جذب سدیم کم

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی آب چاه

هدایت الکتریکی (dS/m) (EC)	pH	کاتیون های محلول (mg/L)				آنیون های محلول (mg/L)			SAR
		سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	کلراید	سولفات	کربنات و بیکربنات	
۲۵۰۰	۶/۸	۱۸/۴	۲/۸	۱/۲	-	۱۰/۵	۱۰/۸	۳/۴	۱۳/۰۴

توصیه می شود، زیرا به ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش کاتیون های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم به وسیله خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می شود. اما سدیم به تنهایی نمی تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و بهتر است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. بنابراین روش طبقه بندی ویلکاکس و استفاده از نمودار آن کاربردی ترین روش برای طبقه بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات آبشناسی است، زیرا در نمودار ویلکاکس، محور افقی به شوری آب (برحسب میکروزیمنس بر سانتی متر) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. در جدول ۴، طبقه بندی آب از نظر کشاورزی براساس معیار ویلکاکس ارائه شده است. از تلفیق این دو عامل

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی پساب فاضلاب تصفیه شده شهری

آزمایش	واحد اندازه گیری	نتایج آزمایش
pH	-	۷/۴
رنگ	TCU	۳
کدورت	NTU	۶/۵
کل جامدات محلول	mg/L	۱۰۴۴
کلسیم	mg/L	۵۲/۸
منیزیم	mg/L	۳۵/۵
سولفات	mg/L	۸۴/۹
کلراید	mg/L	۶۰۸
نیترا ت	mg/L	۱
فسفات	mg/L	۱/۵

(هدایت الکتریکی EC و نسبت جذب سدیم (SAR)، آبها به ۱۶ طبقه تقسیم می‌شوند که از $C_1 - S_1$ (عالی) شروع و به $C_4 - S_4$ (نامناسب) ختم می‌شوند (Engineers PC).

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- درصد مواد آلی

مواد آلی خاک نقش به‌سزایی در تولید محصولات و غنی سازی خاک دارند. نتایج نشان داد تیمارهای دارای پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری (T2, T3, T4, و T5)، همگی در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (جدول ۵). مواد آلی با تشکیل کمپلکس‌های پایدار با فلزات سنگین در خاک به نوعی می‌تواند باعث تثبیت آن‌ها در خاک می‌شود. ترکیبات آلی می‌توانند موجب توزیع دوباره فلزات سنگین و انتقال آن‌ها از فرم‌های محلول و تبدیلی به فرم‌های در ارتباط با مواد آلی، کربناته و باقیمانده شوند. همچنین اسلایمان و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده شهری و پساب خام در طی یک فصل زراعی بر خاک‌های زراعی شهرستان نجف آباد اصفهان، منجر به افزایش مواد آلی خاک به طور متوسط از ۱۷/۴ تا ۴۸/۸ درصد، بهبود ساختمان خاک و افزایش قابلیت نگه داشت آب خاک شد.

۴-۲- pH و هدایت الکتریکی پساب (EC)

براساس نتایج تحلیل شیمیایی خاک تحت تیمارهای تحقیق، pH در تیمارهای تحقیق تغییرات کمی داشته و در محدوده ۸/۴۴ تا ۸/۹۵ قرار گرفته و مشکلی برای کشاورزی گیاهان

جدول ۴ - طبقه بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکاکس

طبقه	حدود EC	طبقه	حدود SAR
۰-۲۵۰	عالی C1	۰-۱۰	عالی S1
۲۵۰-۷۵۰	خوب C2	۱۰-۱۸	خوب S2
۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط C3	۱۸-۲۶	متوسط S3
۲۲۵۰-۵۰۰۰	ضعیف C4	۲۶-۳۲	ضعیف S4

۳- یافته ها

نتایج تحلیل شیمیایی و آماری خاک تحت تیمارهای تحقیق در جدول ۵ آمده است. براساس نتایج به دست آمده پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خواص شیمیایی خاک اثر مخربی نداشته و کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک تغییراتی در حد نرمال و مجاز استاندارد آبیاری و کشت گیاهان دارند. به‌طوری که پارامترهای کلسیم، پتاسیم و فسفات در تیمارهای مختلف در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارهای تحقیق مشاهده نشده است (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین آنالیز شیمیایی خاک تحت تیمارهای آزمایشی

پارامتر تیمار	pH	کلسیم (mg/L)	هدایت الکتریکی (EC) (μS/cm)	کلراید (mg/L)	پتاسیم (mg/L)	سولفات (mg/L)	نیترات (mg/L)	منیزیم (mg/L)	فسفات (mg/L)	سدیم (mg/L)	مواد آلی (%)
T1	۸/۹۲a	۲۲/۴a	۳۲۲۵c	۳۷/۵۸a	۵۰۰a	۹/۲۶b	۱/۲۳a	۸/۱۶b	۷/۸۸a	۳۸/۴۶c	۰/۵۹a
T2	۸/۷ab	۲۲/۳a	۳۲۳۹c	۲۰/۱۷c	۴۸۶a	۹b	۱/۰۶b	۸/۲b	۷/۸۵a	۳۹/۱bc	۰/۵b
T3	۸/۴۴b	۲۳/۳a	۳۸۳۱a	۲۵/۷۹b	۴۹۳a	۱۰/۸a	۰/۹۴c	۸/۷a	۸a	۴۲/۱a	۰/۴۹b
T4	۸/۹۵a	۲۳a	۳۱۰۷d	۲۰c	۵۰۳a	۸/۱۸c	۰/۹۳c	۸/۵۶a	۷/۸۶a	۳۶/۴۳d	۰/۵b
T5	۸/۸۲a	۲۲/۴a	۳۵۳۴b	۲۵/۰۶b	۴۹۰a	۹/۴۸b	۰/۹۸c	۸/۳ab	۸/۰۳a	۳۹/۹۳ab	۰/۴۹b
حداقل	۸/۴	۲۲	۳۲۰۰	۲۰	۴۸۰	۸	۰/۹	۸	۷/۵	۳۶	۰/۴
حداکثر	۹	۲۳/۵۰	۳۶۰۰	۳۸	۵۰۰	۱۱	۱/۲۵	۸/۶	۸/۵	۴۴	۰/۶
انحراف معیار	۰/۲۱	۰/۷۵	۱۴/۱۴	۹	۱۰	۱/۱۱	۰/۲۴	۰/۶۷	۰/۵	۴	۰/۱

اعداد با ضرایب مشترک در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنادار آماری نشان ندادند.

و خاک تحت کشت ایجاد نمی‌کند. pH و هدایت الکتریکی (EC) خاک تحت تیمارهای تحقیق بین ۳۱۰۰ تا ۳۸۰۰ میکرو زیمنس بر متر به دست آمد و در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفتند. بیشترین مقدار pH و هدایت الکتریکی (EC) برای تیمار T3 با مقدار ۳۸۳۱ میکرو زیمنس بر متر و کمترین مقدار برای تیمار T4 با مقدار ۳۱۰۷ میکرو زیمنس بر متر مشاهده شد. هدایت الکتریکی (EC) خاک در این محدوده براساس جدول و نمودار ویلکاس مانعی برای کشاورزی ایجاد نمی‌کند (شکل ۱ و جدول ۴). همچنین تأثیر مواد آلی بر توزیع فرم‌های عناصر سنگین در خاک به pH وابسته است. در مطالعه بر روی خاک‌های با pH بالا، تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی می‌تواند باعث افزایش حلالیت این فلزات شود.

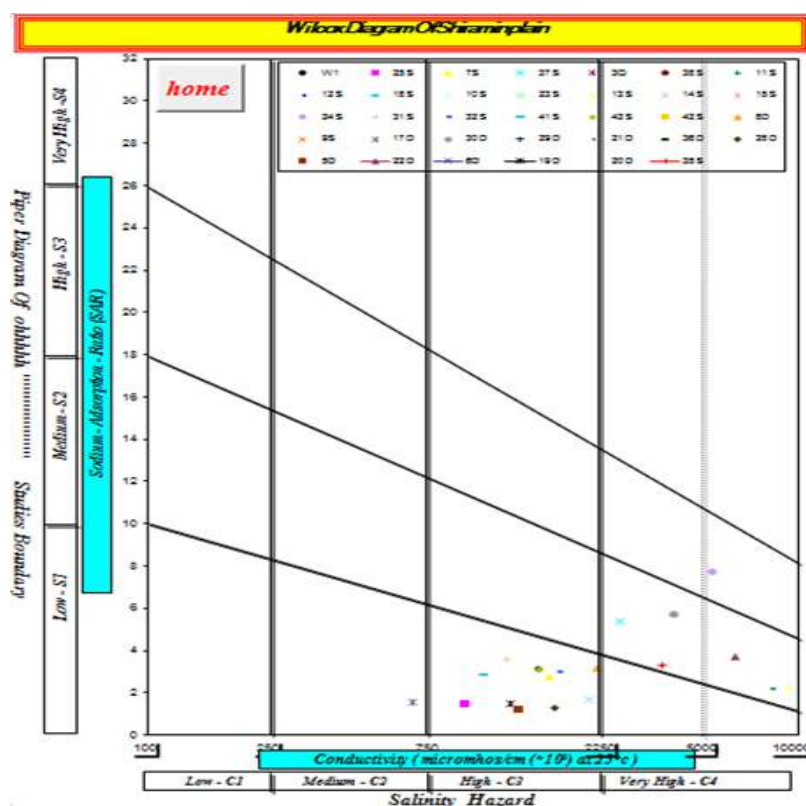
۳-۴- نیتروژن، سولفات، سدیم، منیزیم و کلراید

نتایج نشان داد عناصر سدیم، منیزیم، سولفات، کلراید و نیتروژن همگی در محدوده مجاز برای استفاده از خاک تحت تیمارهای تحقیق برای کشاورزی است و تأثیر نامطلوبی بر گیاه

نخواهد داشت. بیشترین مقدار یون کلراید در تیمار شاهد با مقدار ۳۷/۵۸ میلی اکوی والانته بر لیتر و کمترین مقدار یون کلراید برای تیمار T4 با مقدار ۲۰ میلی اکوی والانته بر لیتر مشاهده شد. بیشترین مقدار برای عناصر منیزیم، سولفات و سدیم در تیمار T3 به ترتیب برابر با ۸/۷، ۸/۸ و ۴۲/۱ به دست آمد. به طور کلی پایش مقدار آنیون‌ها در پساب فاضلاب تصفیه شده شهری ضروری است، زیرا مقادیر زیاد آن‌ها سبب کاهش کیفیت خاک و همچنین افت کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.

۴-۴- نتایج حاصل از تحلیل نمودار ویلکاس

مطابق این بررسی کیفیت شیمیایی منابع آب حوضه برای مصارف کشاورزی دارای تغییرات وسیعی بوده و در کلاس‌های مختلف قرار می‌گیرند. برای بررسی نسبی تغییرات کلاس منابع آب حوضه، درصد قرارگیری نمونه‌ها در هریک از کلاس‌های دیاگرام ویلکاس محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۶ و شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۶، اکثر نمونه‌ها در کلاس C_3S_1 و



شکل ۱- نمودار ویلکاس آنالیز شیمیایی منطقه تربت حیدریه

جدول ۶- درصد هریک از کلاسهای طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در محدوده مورد مطالعه

C4				C3				C2				C1			
S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1	S4	S3	S2	S1
۱۷/۶۵	۲۳/۵۳	۲۰/۵۹	۵/۸۸	۰	۰	۰	۲۹/۴۱	۰	۰	۰	۲/۹۴	۰	۰	۰	۰

روی خاک و گیاه در شمال اصفهان»، گزارش نهایی طرح، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

Alizadeh, A., Bazari, M.E., Velayati, S., Hasheminia, M., and Yaghmai, A., (2001), "Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn", *ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management*, September 19-20, Seoul, South Korea, 147-154.

Al-Salem, S., (1998), "Environmental consideration for wastewater reuse in agriculture", *Water Science Tach*, 33, 345-355.

Asano, T., and Levine, A.D., (1996), "Wastewater reclamation and reuse, Post, present and future", *Journal of Water Science Technology*, 33, 1-14.

Engineers PC., (2017), "Semi-detailed studies of groundwater resources in Semnan province", Regional Water Authority of Semnan, Semnan, Iran.

Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J., and Vander Zee, S.E.A.T.M., (2008), "Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils", *Agriculture and Water Management*, 95, 143-153.

Feigin, A., Ravina, I., and Shalhevet, J., (1991), *Irrigation with treated sewage effluent*, Springer- Verlag, Berlin.

Hasan, H.I., Anwar, M., Battikhi, M., and Qrunfleh, M., (2015), "Impacts of treated wastewater reuse on some soil properties and production of gladiolus communis", *Jordan Journal of Agriculture Science*, 11(4), 1103-1118.

Hassanoghli, A., (2004), "Use of raw and treated domestic wastewater for irrigation of agricultural crops", Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), 83/806, 231 pages.

Khodadadi, N., Ghorbani Dashtaki, Sh., and Kiani, Sh., (2015), "Effect of irrigation water quality on some physical properties of soil in rice cultivated land", *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 4(3), 15-28.

Mahida, U.N., (1981), *Water pollution and disposal of waste water on land*, Tata McGraw-hill publishing Co, Ltd, New Delhi.

Papadopoulos, L., and Stylianon, Y., (1991), "Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater", *Agriculture Water Management*, 19, 67-75.

در رده آب‌های متوسط قرار می‌گیرند. این بدان معناست که این نمونه‌ها برای مصارف کشاورزی مناسب هستند.

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که پساب فاضلاب تصفیه شده شهری علاوه بر کاهش شوری خاک به ۴۵٪ مقدار اولیه آن قبل از کشت، باعث افزایش نیتрат، سولفات، عناصر اصلی و همچنین افزایش درصد مواد آلی خاک شده که نتیجتاً بهبود وضعیت خاک را شامل می‌شود. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌های مورد بررسی در کلاس C_3S_1 قرار گرفتند و از نظر کیفی در طبقه شور و مناسب برای کشاورزی هستند. بنابراین می‌توان اظهار کرد که پساب فاضلاب تصفیه شده شهری اثر مؤثری بر خاک داشته است و براساس نتایج در صورت استفاده مشکلی برای کشاورزی محصولات ساقه دار به وجود نمی‌آورد.

۵- مراجع

پاشا زانوسی، س.، آیتی، ب. و گنجی دوست، ح.، (۱۳۸۹)، «بررسی پتانسیل کرم های توپرفکس در کاهش حجم و حجم تصفیه خانه های فاضلاب لجن در مقیاس آزمایشگاهی»، مجله آب و فاضلاب، ۲۴(۴)، ۵۹-۶۵

چوپان، ی.، امامی، س.، و حسام، م.، (۱۳۹۷)، «بررسی خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده (مطالعه موردی: تربت حیدریه)»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۴)، ۸۷۱-۸۶۲.

چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، و شهیدی، ع.، (۱۳۹۷)، «اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر عملکرد مرفولوژیک پنبه رقم ورامین»، نشریه علمی- پژوهشی پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲(۱)، ۶۷-۷۷.

صفری سنجانی، ع.، و حاج رسولیها، ش.، (۱۳۸۰)، «پیامد آبیاری با پساب پالایشگاه فاضلاب شمال اصفهان بر برخی از ویژگی های شیمیایی خاک های ناحیه برخوردار»، علوم کشاورزی ایران، ۳۲، ۷۹-۸۷.

عابدی کوپایی، م.، افیونی، ج.، موسوی، ف.، مصطفی زاده، ب.، و باقری، م.، (۱۳۸۴)، «تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با فاضلاب تصفیه شده بر شوری خاک»، مجله آب و فاضلاب، ۴۵، ۲-۱۲.

فیضی، م.، (۱۳۸۰)، «مقایسه تأثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر

- Saber, M.S.M., (1986), "Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions", *Water Sciences*, 18, 371-374.
- Schacht, K., and Marschner, B., (2015), "Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel", *Journal of Hydrology and Hydromechanic*, 63(1), 47-54.
- Yazdani, V., Ghahrwman, B., Davari, K., and Fazeli, E., (2014), "Effect of wastewater on physical and chemical properties of soil", *Environmental Science and Technology*, 16, 473-485.
- Zaman, M., Matsushima, M., Chang, S.X., Inubushi, K., Nguyen, L., Goto, S., Kaneko, F., and Yoneyama, T., (2004), "Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts", *Biology and Fertility of Soils*, 40, 101-109.



مهندس عباس پیراینده
مدیرعامل شرکت مهندسين مشاور
طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

پژوهشی با شرایط و ضوابط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری را یافته و از این طریق تاکنون خدمات ارزنده‌ای را به جامعه علمی مرتبط با صنعت آب و فاضلاب کشور ارائه نموده است.

این شرکت دارای رتبه‌هایی به این شرح می‌باشد:

- پایه ۱ و ۲ رشته مهندسی آب تخصص تأسیسات آب و فاضلاب

- پایه ۱ بهره‌برداری و نگهداری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

- پایه ۲ تخصص نقشه‌برداری زمینی

- پایه ۳ تخصص شبکه‌های آبیاری و زهکشی

- پایه ۳ تخصص ایمنی و کاهش خطرات و پدافند غیرعامل

ضمناً اینجانب در سال ۱۳۶۹ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر مدرک مهندسی عمران و در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مدرک فوق لیسانس سازه اخذ نمودم. آغاز فعالیت اینجانب در حوزه آب و فاضلاب در بخش پیمانکاری از سال ۱۳۷۴ با اجرای شبکه‌های آب و فاضلاب و ساخت مخازن در استان‌های لرستان و سیستان و بلوچستان بوده، سپس در سمت معاونت مهندسی و مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب کاشان انجام وظیفه نمودم و هم اکنون مدیرعامل مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب اصفهان هستم.

🌀 وجه تمایز شرکت شما با دیگر شرکت‌های مشاور در چیست؟

اختصاص بخشی از درآمد شرکت به امر پژوهش‌های آب و فاضلاب از شاخصه‌های مهم این شرکت است. در این راستا تاکنون پروژه‌های پژوهشی متعددی در این شرکت انجام شده است و همچنین انتشار پیوسته مجله علمی- پژوهشی آب و فاضلاب از سال ۱۳۶۸ تاکنون، اقدام منحصر به فرد این شرکت

🌀 لطفاً ضمن معرفی مختصر شرکت مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، یک معرفی اجمالی از سوابق خود ارائه فرمایید.

شرکت مهندسين مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب که در سال ۱۳۵۹ پایه‌گذاری شده، یکی از شرکت‌های پیشرو در صنعت آب و فاضلاب کشور است که همواره نقش مؤثری در پیاده‌سازی، توسعه و تحول در سیاست‌های کلی صنعت آب و فاضلاب کشور ایفا نموده است. انجام بیش از ۳۵۰ پروژه در زمینه‌های مختلف مطالعاتی، طراحی، نظارت، ساخت و اجرا و سرمایه‌گذاری به‌همراه انتشار چندین جلد کتاب تخصصی و مشارکت در تدوین آئین‌نامه‌ها و فهارس بها و انتشار مجله علمی و پژوهشی آب و فاضلاب نشان از توانمندی‌ها و تجارب ارزنده این مشاور دارد و این امر صرفاً با اتکا بر کادر علمی و فنی متبحر که با حضور اساتید برجسته کشور در هیئت تحریریه مجله علمی- پژوهشی آب و فاضلاب، بنیه علمی منحصر به فردی یافته میسر شده است.

این مشاور همواره با درک نیازهای واقعی مشتریان با به‌کارگیری سیستم‌های کنترل و تضمین کیفیت و روزآمد نمودن دانش و آگاهی کارشناسان، همواره تلاش نموده خدمات مهندسی خود را به گونه‌ای ارائه نماید که ضمن جلب رضایت مشتریان، پروژه‌های آب و فاضلاب را به نحوی تدوین و پایه‌ریزی نماید که حفظ محیط زیست و منابع طبیعی و توسعه پایدار منطقه در چارچوب اجرای این پروژه‌ها به عنوان اولویت اصلی مد نظر قرار گیرد.

همچنین این مشاور تنها شرکت خصوصی در سطح کشور است که با توجه به دارا بودن توانمندی علمی در سطح دانشگاه‌های طراز اول ایران، امکان نشر یک مجله علمی-

است که در ایران سابقه و همانند ندارد. همان‌طور که می‌دانید در حال حاضر این مجله دارای اعتبار علمی- پژوهشی از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است و در پایگاه‌های معتبر داخلی و خارجی نمایه می‌شود و از ضریب تأثیر مناسبی بین نشریات علمی کشور برخوردار است.

❁ با چه هدفی شرکت شما اقدام به انتشار مجله علمی- پژوهشی آب و فاضلاب کرد؟

انتشار این مجله با هدف توسعه و گسترش علوم آب و فاضلاب در راستای حرکت در جهت توسعه پایدار کشور آغاز شد. ایجاد ارتباط مؤثر بین صنعت و دانشگاه به عنوان گامی ضروری برای برخورداری از دانش روز دنیا در زمینه طراحی و نظارت بر اجرای طرح‌های آب و فاضلاب رسالتی است که در بیش از سه دهه از انتشار مجله بر عهده گرفته‌ایم.

❁ آیا در مدت ۲۸ سالی که از انتشار مجله آب و فاضلاب می‌گذرد این مجله به اهداف خود رسیده است؟ مواردی را که به نظر شما محقق نشده است توضیح دهید.

در مدت زمان انتشار، این مجله توفیق یافته است که در ترویج و گسترش دانش بین بسیاری از کارشناسان متخصص و مسئولان طراز اول کشور و همچنین بسط و گسترش دانش مورد نیاز در صنعت گام‌های مؤثری بر دارد. از سوی دیگر انتشار نتایج پژوهش‌های اصیل دانشگاه‌ها در بین پژوهشگران، به توانمندسازی جویندگان علم در این حوزه یاری رسانده است. در مجموع می‌توان گفت این مجله به جایگاه مهمی در صنعت آب و فاضلاب کشور دست یافته و بخشی از نیازهای علمی گسترده این صنعت را برآورده کرده است و ارتباط خوبی نیز با دانشگاه‌ها و سایر بخش‌های علمی این صنعت دارد. بر همین اساس نتیجه می‌گیریم که این مجله به بخش مهمی از اهداف خود نائل شده است. در زمینه‌های ترویجی نیز امیدواریم مجله بتواند با ارتباط‌گیری بهتر و بیشتر با مجریان و بهره‌برداران پروژه‌های آب و فاضلاب نقش مؤثرتری ایفا نماید و فاصله بین صنعت و دانشگاه‌ها را کمتر کند.

❁ لطفاً وضعیت آب و فاضلاب کشور در حال حاضر را تشریح کرده و چشم‌انداز آتی آن را بیان کنید.

در چند دهه اخیر به لطف درآمدهای نفتی و همزمان با تشکیل

شرکت‌های آب و فاضلاب، تلاش‌های قابل توجهی در جهت مرتفع نمودن نیاز عمومی به آب صورت گرفته و مشکلات فاضلاب در بسیاری از شهرهای مسئله‌دار کشور حل شده است. این امر با انجام پروژه‌های متعدد و عمدتاً سازه محور میسر شده و نتیجه همین اقدامات است که باعث شده علی‌رغم اقلیم خشک و کم آب و خشکسالی‌های پی در پی در حال حاضر شرایط نسبتاً پایداری را در بخش آب و فاضلاب کشور شاهد باشیم. لیکن به دلیل تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آبی و همچنین شرایط مالی و اقتصادی کشور، این وضع نمی‌تواند تداوم یابد و می‌بایست با تمرکز بر موضوعات مدیریت مصرف و فرهنگ‌سازی مصرف، راه‌های حداکثر بهره‌وری از امکانات و زیر ساخت‌های ایجاد شده در این چند دهه فراهم شود.

به عبارت دیگر قابل پیش‌بینی است که محدودیت‌های موجود، مدیران را به سمت برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری در صنعت آب و فاضلاب و مدیریت مصرف هدایت خواهد نمود. بنابراین چشم‌انداز آتی صنعت آب و فاضلاب کشور حرکت به سوی سازگاری با اقلیم خشک و در نتیجه افزایش بهره‌وری و مدیریت مصرف آب با تأکید بر ساز و کارهای اجرایی منطقه‌ای خواهند بود. در نتیجه این مهم، طرح‌های سازه‌محور بزرگ انتقال آب کاهش می‌یابند. بدیهی است این طرح‌ها و اقدامات در صورتی مثمر ثمر خواهند بود که هماهنگ و مرتبط با سایر مصرف‌کنندگان عمده آب به‌ویژه در بخش کشاورزی و صنعت صورت پذیرند.

❁ لطفاً دیدگاه خود در مورد آسیب‌شناسی وجودی و عملکردی شرکت‌های آبفا بعد از ۲۵ سال را بیان کنید.

شرکت‌های آب و فاضلاب در ساماندهی خدمات آب و فاضلاب موفق‌تر از نهادهای قبلی عمل کرده‌اند. لیکن در برخی از بخش‌ها به توفیق لازم دست نیافته‌اند؛ یکی از این بخش‌ها، رویکرد خودگردان بودن شرکت‌های آبفا بوده است که به نظر می‌رسد با توجه به تعرفه‌های پایین‌تر از قیمت واقعی که به دلیل کنترل قیمت‌ها از طریق قوانین مختلف ایجاد شده است، باعث شده است که این شرکت‌ها عملاً به غیر از بخش حقوق و دستمزد پرسنل در سایر بخش‌ها عمدتاً به‌صورت دولتی اداره شوند. این امر باعث افزایش مصرف مشترکین و کاهش بهره‌وری در شرکت‌های آب و فاضلاب شده است. بر همین اساس به نظر می‌رسد اجرای دقیق قانون تشکیل شرکت‌ها باید مورد توجه

مجدد مسئولان قرار گیرد و با اعمال تعرفه‌های واقعی، این شرکت‌ها به صورت خود گردان مدیریت شوند و مشترکین به سمت مدیریت مصرف هدایت شوند.

علت ضعف وضعیت آموزش و پژوهش در مهندسان مشاور و ارتباط ضعیف با دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی را در چه می‌دانید و برای رفع این ضعف‌ها چه اقداماتی باید انجام شود؟ شرکت شما که پسوند تحقیقات دارد آیا توانسته است بخشی از این خلا را پر کند؟

نظام اجرایی پروژه‌های عمرانی در کشور از قدیم به صورت سه عاملی بوده و هم اکنون نیز عموماً به این شکل است. مشکلات زیادی در این روش وجود دارد که باعث افت بهره‌وری می‌شود و عملاً انگیزه‌های جدی برای افزایش بهره‌وری ایجاد نمی‌کند. در صورت انجام پژوهش‌های مورد نیاز عملاً هزینه مربوطه برای مشاور می‌ماند و منفعتی ایجاد نمی‌شود. چنانچه نظام اجرایی کشور با جدیت به سمت انجام پروژه‌ها با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی برود و ریسک‌های این کار با ایجاد تعرفه‌های واقعی کم شود، قطعاً سرمایه‌گذاری در پژوهش و آموزش توجیه اقتصادی خواهد داشت و سرمایه‌گذاران به این سمت خواهند رفت.

در شرایط فعلی با توجه به مقررات موجود، علی‌رغم این که شرکت‌های آب و فاضلاب به این موضوع توجه سازمانی دارند و کارهایی انجام می‌شود، ولی تا شرایط مطلوب فاصله زیادی وجود دارد. با وجود شرایط فعلی نیز چنانچه نگاه بهتری به بخش مطالعات و پژوهش صورت گیرد، می‌توان کارهای مطلوب‌تری انجام داد. تا زمانی که عموم کارهای مطالعاتی به صورت مناقصه و با قیمت بسیار پایین‌تر از تعرفه انجام می‌شود، آیا یک شرکت توانمند می‌تواند نسبت به حفظ سرمایه انسانی خود موفق باشد؟ آیا یک شرکت می‌تواند در کنار مطالعات نسبت به کار پژوهشی اقدام نماید؟ خیر، در وضعیت فعلی کشور رقابت بین یک شرکت با تجربه و با پتانسیل نیروی انسانی خوب با شرکت‌های خانوادگی و تازه تأسیس و بی‌ریشه انجام می‌شود و امکان ارتقاء دانش فنی و مطالعات پروژه‌های عمرانی عملاً وجود ندارد. با این حال شرکت مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب با توجه به اساسنامه خود و عنایت ویژه سهامداران در این راستا پروژه‌های خوبی انجام داده است که می‌تواند در سطح ملی اثر گذار باشد.

شرکت شما به عنوان یک شرکت مهندسان مشاور چه ارتباط ارگانیک با دانشگاه داشته است؟ چقدر توانسته برای دانشگاه مسئله تعریف کند و چقدر از پژوهش‌های دانشگاهی را برای رفع مشکلات خود به کار گرفته است؟ در پاسخ به این سؤال، باید گفت ریشه این کار نیز به نظام اجرایی پروژه‌های عمرانی کشور بر می‌گردد و چنانچه مطابق پاسخ قبلی شرایط آماده شود، قطعاً به منظور افزایش بهره‌وری، صنعت الزاماً ارتباط کاملتری با دانشگاه‌ها برقرار می‌نماید. با این حال شرکت مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب به لطف انتشار مجله آب و فاضلاب از نتایج تحقیقات و پژوهش‌های در حال انجام در دانشگاه‌های کشور مطلع و تأثیرگذار بوده است؛ لیکن تا زمانی که اراده کلی در سطح کشور در جهت به کارگیری آن‌ها وجود نداشته باشد این مشاور نیز به تنهایی قادر به اقدام مؤثری در این راستا نخواهد بود.

چه مقدار از پروژه‌های طراحی شده توسط آن شرکت براساس مبانی طراحی کار می‌کنند؟ آیا اصلاً برنامه‌ای برای پایش عملکرد طرح‌های اجرا شده وجود دارد؟ در مواردی که طرح‌ها درست کار نمی‌کنند اشکال اصلی در کجاست (اشکال در مبانی طراحی یا نحوه اجرا)؟ چه تلاشی برای جمع‌بندی و مستندسازی و انتشار دستاوردهای علمی طراحی‌های خود انجام داده‌اید؟ چه پیشنهادی برای نحوه آموزش دانشجویان در دانشگاه‌ها دارید تا برخی از مشکلات فعلی رفع شود.

در مورد موضوع عملکرد پروژه‌ها براساس مبانی طراحی باید گفت اطلاع دقیقی در دست نیست، چرا که کارفرمایان اهتمام چندانی به موضوع بهره‌برداری و به ویژه اندازه‌گیری‌ها و پایش‌های دقیق پارامترهای کمی و کیفی نداشته و ندارند و به همین علت اصولاً آمار دقیق و قابل بررسی از عملکرد پروژه‌ها در دسترس نیست؛ مشاوران نیز با اتمام عملیات اجرایی از پروژه‌ها خارج می‌شوند و به همین علت پایش طرح‌ها برای آنها مشکل و هزینه‌بر است. با این حال مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب اعتقاد راسخ دارد که در صورت انجام دقیق این پایش‌ها می‌توان تحول اساسی در طراحی‌ها به ویژه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به وجود آورد چرا که در حال حاضر مبانی طراحی برگرفته از مراجع خارجی و بین‌المللی است و در صورت وجود آمار دقیق از تصفیه‌خانه‌های فعلی کشور می‌توان

پارامترهای طراحی را بومی‌سازی کرد و حداکثر بهره‌وری را در طرح‌ها به وجود آورد.

این مهندسين مشاور در مورد مستندسازی و انتشار دستاوردهای علمی طراحی‌های خود تلاش‌های نسبتاً خوبی به عمل آورده و از جمله با انتشار چندین جلد کتاب همانند طراحی و اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و ارائه مقاله‌های متعدد در کنفرانس‌ها و سمینارهای ملی و بین‌المللی تلاش نموده است تجارب خود را در اختیار سایر پژوهشگران و متخصصان کشور قرار دهد.

در مورد نحوه آموزش دانشجویان نیز بدیهی است در صورتی که آموزش‌ها در راستای نیازها و مسائل مرتبط با صنعت آب و فاضلاب باشد و فارغ‌التحصیلان در هنگام ورود به بازار کار، شناخت کافی از نیازهای صنعت داشته باشند، آموزش با حداقل هزینه و با حداکثر بهره‌وری برای صنعت و دانشگاه صورت می‌گیرد؛ لیکن در حال حاضر افراد در بدو ورود به بازار کار بسیاری از دانش‌های مورد نیاز برای انجام کار را در محیط دانشگاه تحصیل ننموده‌اند و این امر زمان و هزینه بالایی را برای آموزش این افراد به همراه دارد؛ این آموزش‌ها نمی‌تواند از کیفیتی که در یک محیط آکادمیک صورت می‌پذیرد برخوردار باشد.

❁ مهمترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه آب و فاضلاب در کشور را چه می‌دانید؟

خشکسالی و تغییر اقلیم، بهره‌وری پایین به ویژه در بخش کشاورزی، رفتار غلط مصرف کنندگان، تعرفه‌های بسیار ناچیز خدمات آب و فاضلاب، عدم مدیریت منابع آب، عدم تمرکز کافی و سرمایه‌گذاری جدی بر روی استفاده مجدد از آب، از چالش‌های اصلی صنعت آب و فاضلاب کشور می‌باشند.

❁ دلیل عقب‌افتادگی وضعیت شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب چیست و چه برنامه‌ای برای جبران این عقب‌افتادگی وجود دارد.

کشور ما پتانسیل خوبی برای امور مهندسی و همچنین تولید کالاهای مورد نیاز صنعت آب و فاضلاب دارد. دلیل اصلی عقب‌افتادگی اشاره شده، کمبود اعتبارات و عدم برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی پروژه‌های عمرانی است. به دلایل فوق، دوره ساخت پروژه‌های عمرانی گاهی به حدود ۱۵ سال نیز رسیده

است. این به این معنی است که در بخشی هم که می‌توانیم از اعتبارات موجود هزینه کنیم، به‌خاطر بی‌برنامه‌گی در تخصیص اعتبارات، بخش قابل توجهی از عمر پروژه (حدود $\frac{1}{4}$ آن) و سرمایه‌گذاری انجام شده در دوره ساخت آن به هدر رفته و مستهلک می‌شوند. از طرف دیگر، بخش زیادی از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده امکان استفاده نخواهند داشت در حالی که کشور به این سرمایه‌ها نیاز فراوانی دارد.

❁ وضعیت موجود کیفیت آب و راهکارهای اندیشیده شده برای حفظ کیفیت آب در آینده را ذکر کنید.

با توجه به کارهای انجام شده و نتایج پایش‌ها، وضعیت کیفی آب در دسترس عموم مردم مشکل خاصی ندارد. مشکل اصلی کشور در کمبود منابع آب به دلیل خشکسالی و تغییر اقلیم از یکطرف و عدم فرهنگ‌سازی و مدیریت مصرف (در سطح کلان و عموم) از طرف دیگر است.

❁ ناظرین شرکت شما در اجرای پروژه‌های طراحی شده تا چه حد بر سر اصول ایستادگی می‌کنند؟

با توجه به حساسیت در استخدام و کنترل‌های مختلفی که شرکت به روش‌های گوناگون انجام می‌دهد، از این لحاظ شرایط خوبی داریم و عموم کارفرمایان با توجه به نظر سنجی‌های انجام یافته رضایت‌مندی خوبی دارند.

❁ ضعف بهره‌برداران از شبکه‌ها و تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب را در چه مواردی می‌دانید؟

تا آنجا که به سرمایه‌گذاری دولت بر می‌گردد، پروژه‌ها با کیفیت ساخته می‌شوند، ولی پس از تحویل پروژه به بخش بهره‌برداری، به علت مشکلات مالی که به خاطر تعرفه‌های ناچیز، برای این شرکت‌ها ایجاد شده است، امکان بهره‌برداری درست از طرح‌ها گرفته می‌شود و باعث می‌شوند که سرمایه‌گذاری‌های خوب انجام شده به اهداف اصلی خود نائل نشوند.

میزگرد چالش‌های تلفات ظاهری و راه‌کارهای کاهش آن برگزار شده در اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (آذر ۱۳۹۶)



اعضای میزگرد:

- دکتر تابش: استاد دانشگاه تهران و رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (مدیر میزگرد)
- مهندس شریفیان: از اداره کل برنامه‌ریزی حوزه معاونت فنی و عمرانی، شهرداری تهران
- مهندس سیدزاده: مدیر دفتر مدیریت مصرف و نظارت بر کاهش آب بدون درآمد، شرکت مهندسی آب و مهندسی فاضلاب کشور
- مهندس فخرایی: فعال بخش خصوصی و مدیرعامل سابق شرکت‌های آب و فاضلاب مشهد و استان اصفهان
- دکتر رجب زاده: مدیرکل حقوقی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
- دکتر نجفی: از قوه قضاییه

سال پیش این موضوع، آیتم اول در مصارف غیرمجاز بود، در حال حاضر اوضاع بهتر شده ولی بازهم گزارشات درمورد استفاده از آب شرب برای آبیاری فضای سبز دریافت می‌شود) و دیگری بحث حاشیه‌نشینی در اطراف شهرهای بزرگ است که به دلیل محدودیت‌های قوانین شهری جزو محدوده‌های مجاز شهرداری محسوب نمی‌شوند و به ناچار برای گذران زندگی از شبکه‌ها به صورت غیرمجاز برداشت می‌کنند. طبق آمار مطرح شده در جلسه با مهندس پاکروح، حدود ۳۰۰،۰۰۰ مشترک غیرمجاز موجود در کشور گزارش شده که شناسایی و رفع این محاسبات جدول بالانس و تامین بخشی از هزینه‌های ازدست رفته ناشی از تلفات ظاهری محسوب می‌شود. از آقای مهندس سیدزاده دعوت می‌کنم آماری کلی از وضعیت هدررفت ظاهری در کشور بدهند و بقیه دوستان نیز با توجه به موقعیت سازمانی خود در حد ۵ دقیقه دیدگاه‌های خود را درمورد هدررفت ظاهری بیان کنند.

دکتر تابش: به نام خدا و با عرض سلام خدمت اعضای محترم میزگرد و حضار محترم. در این میزگرد ابتدا در دور اول، هریک از اعضای میزگرد دیدگاه‌های خود را در موضوع هدررفت ظاهری بیان می‌کنند و سپس در دور دوم، به سوالات مطرح شده پاسخ می‌دهند. همان گونه که می‌دانید هدررفت ظاهری به بخشی از آب بدون درآمد اطلاق می‌شود که در آن آب توسط گروهی از مردم مصرف شده ولی به دلیل عدم شناسایی آن‌ها، بهای آن توسط شرکت‌های آب و فاضلاب دریافت نمی‌شود. تلفات ظاهری، ناشی از انشعابات یا مصارف غیرمجاز و خطاها است. خطاها نیز خود به چند دسته تقسیم می‌شوند: ۱. خطاهای مدیریتی و بهره برداری؛ ۲. خطای پرسنلی (کنتورخوان‌ها و اپراتورها) و ۳. ابزار اندازه‌گیری و کنتورها.

طبق تجربه و آمار، خطای کنتورها و مشکلات ناشی از دقت کنتورها، بخش عمده است. در قسمت مصارف غیرمجاز نیز دو مشکل عمده در بعضی شهرها داریم؛ یکی استفاده از آب شبکه برای فضای سبز توسط شهرداری (در ۱۰-۱۵



مهندس شریفیان: با عرض سلام، موضوع خدمات در کلان شهرها از جمله تهران، مسئله پیچیده‌ای است. یکی از مهم‌ترین شبکه‌های خدمت‌رسانی، شبکه آب شرب تهران است. بیش از ۹۵ درصد استفاده شهرداری تهران از منابع آب، برای آبیاری فضای سبز است. ۵۳ هزار هکتار فضای سبز در تهران وجود دارد، شامل پارک‌ها، فضای سبز جنگلی، محلی، منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای که نیاز به آبیاری روزانه و فصلی دارند. طبق برآوردها در سال، ۱۸۰ میلیون مترمکعب میزان مصرف آب خام برای آبیاری فضای سبز تهران است. منابع مصرفی بیشتر چاه‌هایی است که به صورت مجاز در اختیار شهرداری هستند. قنوت موجود در شهر تهران و بقیه منابع آب مصرفی به صورت انشعابات مشخص مصرف می‌شود. هزینه انشعاب آب خام مصرفی که شهرداری به آبفا پرداخت می‌کند ۵ برابر هزینه انشعاب آب شرب در شهر تهران است. برای مدیریت هزینه‌ها و منابع، دنبال بهینه‌سازی مصرف آب هستیم. برای این موضوع، طرح جامع آب خام در دست بررسی است.



مهندس فخرایی: با عرض سلام، مصارف غیرمجاز و تاریخچه کنتور به‌زمانی برمی‌گردد که آئین نامه نصب کنتور توسط شرکت‌های آب و فاضلاب تدوین شد و براساس این آئین‌نامه کنتورها باید دارای استانداردهایی باشند که بسیاری از شرکت‌ها این استانداردها را رعایت کردند و بسیاری نیز به لحاظ بار مالی استانداردها، صرفاً نصب کنتور داشتند و استنادی از جانب آن‌ها رعایت نشد. کنتور به‌منزله ترازوی شرکت آب و فاضلاب



مهندس سیدزاده: با عرض سلام ابتدا به ارائه آماری در بخش آب بدون درآمد و تلفات ظاهری می‌پردازم. براساس آخرین جدول بالانسی که در سطح کشور در بخش شهری داریم (جدول بالانس سال ۱۳۹۵)، از مجموع ۶ میلیارد مترمکعب آب ورودی به شبکه‌های توزیع، ۱ میلیارد و ۴۳۳ میلیون مترمکعب مربوط به هدررفت آب است که خود به دو بخش ظاهری و واقعی تقسیم می‌شود. هدررفت ظاهری ۱۰/۴ درصد و هدررفت واقعی ۱۳/۴ درصد، مصارف مجاز بدون درآمد ۹۹ میلیون مترمکعب یا ۱/۷ درصد، مصارف مجاز با درآمد ۴/۵ میلیارد مترمکعب (۷۴/۵٪) و میزان حجم آب بدون درآمد برابر ۲۵/۵ درصد از ۶ میلیارد مترمکعب (معادل ۱/۵ میلیارد مترمکعب) است.

بخشی از این حجم آب بدون درآمد، مربوط به هدررفت واقعی و بخش مورد بحث این جلسه یعنی هدررفت ظاهری برابر ۱۰/۴ درصد با حجمی معادل ۶۳۰ میلیون مترمکعب آب در سال است. مقدار اجزای مختلف هدررفت ظاهری به ترتیب اهمیت شامل موارد زیر است:

۱. عدم دقت تجهیزات اندازه‌گیری عددی، معادل ۴/۷ درصد و حجمی معادل ۲۸۲ میلیون مترمکعب در سال.
- عدم کیفیت کنتورها چه در بخش مکانیزم و چه در بخش مواد سازنده آن از عوامل خطای کنتورها هستند. این خطاها بیشتر مرتبط با ابزار دقیق کنتورها است که وظیفه اندازه‌گیری جریان آب را به‌عهده دارند. از این جهت، بسته به نوع کنتور و برند تولیدکننده آن، خطاها متغیر و متفاوت است.
۲. مصارف غیرمجاز، معادل ۳/۹ درصد از میزان تولید با حجم ۲۳۶ میلیون مترمکعب در سال. تعداد انشعابات غیرمجاز شناسایی شده در سال به ۲۵۰ تا ۳۰۰ هزار مورد می‌رسد.
۳. خطای مدیریت داده‌ها و سیستم، ۱/۸ درصد با حجمی معادل ۱۱۱ میلیون مترمکعب در سال.

است و هیچ فروشنده‌ای اگر ترازویش درست کار نکند جنسی را نمی‌فروشد. بعد از آن متأسفانه مشکلاتی از نظر مسائل مالی و تامین بودجه برای برخی از شرکت‌ها پیش آمد و شرکت‌ها برای این که قضیه را حل کنند مشترک را به سمت فروشنده‌ها سوق دادند که کنتور و لوازم نصب را مستقیماً از فروشنده خریداری کرده و نصب کنند.

در بحث اقتصاد آب که در جلسه صبح ارائه شد دوستان مطرح کردند که ما باید حتماً نگرش اقتصادی داشته باشیم. من می‌گویم بله، شاید به لحاظ مسائل سیاسی و اجتماعی محدودیت وجود داشته باشد که مانع از این می‌شود که هزینه‌های واقعی و تمام شده آب را از مشترکین بگیریم. ولی در مورد ارائه خدمات جانبی به این صورت نیست و براساس آئین نامه موجود می‌توانیم هزینه لوازم جانبی مورد نصب را از مشترکین بگیریم. پس می‌توان لوازم نصب و انشعابات با کیفیت و کنتوری که خطاهای ظاهری و وجود منابع انسانی را برای قرائت به حداقل برساند، تهیه کرد. کنتورهای هوشمند هم خطاهای انسانی را از بین می‌برند، هم خطاهای ظاهری را کم می‌کنند و هم چنین دقت بالاتری دارند. ما الان می‌توانیم بهترین کنتورها را بخریم و نصب کنیم و هزینه اش را هم از مشترک بگیریم. هزینه این امر زیاد نیست. حداقل قیمت یک خانه، چند صد میلیون است که چندصد هزار تومان قیمت یک کنتور هوشمند در مقابل آن خیلی کم است. چه اشکالی دارد که از اول بنا را درست بگذاریم و کنتورهایی را که در ابتدا نصب می‌کنیم هدررفت ظاهری را به حداقل برسانند. در حالت قرائت از دور، خطای انسانی را صفر می‌کند و دقت را هم بالا می‌برد. در موقع تعویض کنتور نیز باید دقت کنتور جایگزین بالاتر برود.

تعویض کنتور نباید صرفاً در جهت آمار دادن به شرکت مهندسی انجام شود. کنتورهایی که قدمت بالا دارند خطایی بسیار بیشتر از کنتورهای خراب دارند، چرا که برای کنتورهای خراب یک مصرف مشابه قرار می‌دهیم که تقریباً مساوی مصرف خانگی است. ولی در کنتورهای با قدمت بالا به‌طور مثال مصرف ۵ تا ۱۰ متر مکعب است؛ در حالی که مصرف واقعی به‌مراتب بیشتر از این‌ها است و این مسئله باید حتماً مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان مدیریت تلفات ظاهری را دقیق‌تر انجام داد. من در زمان مدیرعاملی دیدگاه دولتی داشتم ولی الان که در بخش خصوصی هستم نگاهم فرق کرده و نگاه اقتصادی دارم. این نگاه اقتصادی باید به بدنه شرکت‌های آب و فاضلاب تزریق

شود. به‌عنوان مثال شما درآمدهای نهفته‌ای دارید که سراغ آن نمی‌روید و آن بخشی از همان هدررفت ظاهری است. شما پولی را که امروز می‌توانید از مشترک بگیرید اگر به چند سال بعد موکول کنید در آن موقع ارزش پول پایین آمده و همه اجناسی که در آینده می‌خواهید بخرید افزایش قیمت دارد، در حالی که پول شما ثابت مانده است. دیدگاه بخش خصوصی آن است که با دید اقتصادی وارد حوزه مشترکین بشوید. اگر بتوان منافع مشترکی بین بخش دولتی و بخش خصوصی ایجاد کرد که هیچ یک نخواهد از دیگری سود ببرد، من در چندین پروژه این کار را کرده‌ام و بسیار هم موفق بوده است.

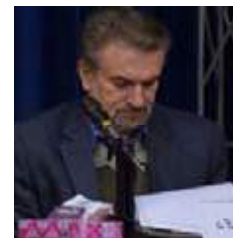


دکتر رجبزاده: وظیفه محوری شرکت‌های آب و فاضلاب در کشور؛ ارائه آب شرب سالم و بهداشتی و جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه و بازچرخانی آن برای اهداف موردنظر است. قوانین متعددی برای انجام این وظایف به‌صورت بهینه برعهده شرکت‌های آبفا است وجود دارد از جمله: قوانین اختصاصی که شامل قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب سال ۱۳۴۷، قانون توزیع عادلانه آب، قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب، قانون مجازات اخلاص کنندگان در تاسیسات آب و برق، لایحه قانونی جلوگیری از هرگونه تصرف و تجاوز به حریم‌ها و تاسیسات، لایحه قانونی رفع قانونی تجاوز به تاسیسات آب و برق و تعقیب اشخاصی که بدون مجوز قانونی به‌منظور بهره‌گیری از آب و برق اقدام کنند.

در قوانین جزایی نیز قانون مجازات سال ۱۳۵۲، قانون مجازات اسلامی سال ۱۳۶۲، قانون مجازات اسلامی سال ۱۳۷۵ و قانون مجازات اسلامی سال ۱۳۹۲، پیش‌بینی‌هایی در این راستا داشته است. قانون مجازات استفاده‌کنندگان غیرمجاز از آب و برق و تلفن، فاضلاب و گاز در ۹۶/۴/۱۷ به‌منظور اجرا ابلاغ شده است که قانون محوری در رابطه با موضوع بحث است. در این قانون چهار محور است که شرکت‌های آب و فاضلاب و سایر دستگاه‌های خدمات‌رسان نام برده شده موظف هستند وظایف

مرتبط با اجرایی کردن این قوانین را انجام دهند.

محور اول، درخصوص تصفیه حساب و بهروز نمودن بدهی انشعابات غیرمجازی که افرادی در گذشته انجام داده اند و این افراد برای این که بتوانند از خدمات آبرسانی استفاده کنند باید حسابشان را بهروز کنند. محور بعدی، ارائه خدمات در قالب انشعاب موقت است؛ یعنی پس از بهروز کردن حسابشان، قانون پیش‌بینی کرده که به این افراد انشعاب موقت داده شود. محور سوم، برای جلوگیری از احداث یا امکان غیرقانونی که در آن این افراد برای استفاده از آب به‌عنوان انشعاب غیرمجاز اقدام کردند یا در چارچوب انشعابات با مقدار مشخص تعریف شده، مصرف بیشتر داشتند و از آن حد تجاوز کردند، دستگاه متولی موظف است ظرف ۳ سال نسبت به تعیین تکلیف این اماکن اقدام کند. بعد از ۳ سال اگر دستگاه نسبت به قلع و قمع این اماکن غیرمجاز اقدام کرد، قانون پیش‌بینی کرده است که انشعابات موقت را از برمی‌داریم و هزینه انشعابی که پرداخت کردند به آن‌ها مسترد می‌شود. اما در صورتی که این اماکن مجاز شدند، انشعاب موقت به دائمی تبدیل می‌شود. این قانون لازم الاجرا است ولی متأسفانه در برخی استان‌ها با چالش‌هایی روبرو شده است. مکاتبات متعددی شده و یک بخشنامه وزیر هم پیوست آن شده که شرکت‌های آبفا در چارچوب قانون اقدام کنند و اگر ابهامی دارند باید با دفتر حقوقی و قراردادهای شرکت مهندسی مکاتبه کنند. لازمه اجرای این قانون، تعامل فشرده با دستگاه‌های قضایی است که خوشبختانه سیستم قضایی در اجرای قوانین، همراه است و تعاملات بسیار خوبی با معاونت‌های قوه قضاییه در این زمینه وجود دارد. در حوزه معاونت پیشگیری تعامل هست و استان‌ها باید ارتباط بیشتری با دستگاه قضایی داشته باشند. با اظهار خوشوقتی از حضور آقای دکتر نجفی فرصت است دیدگاه‌های ایشان را در مورد ساینز زوایای بحث بشنویم.



دکتر نجفی: با سلام، من قاضی دادگاه تجدیدنظر هستم و خوشحالم که در خدمت شما هستم و در رابطه با جلوگیری از سرقت آب و مصرف بهینه آب و جنبه‌های کیفری و قضایی که مقنن در قانون جدید درنظر گرفته است نظرات خود را عرض

می‌کنم. از جنبه حقوقی مقنن به‌جهت اهمیت قضیه آب و مهم بودن بحث آب در ادوار مختلف، با تدوین قوانین مختلف حاکمیت را وادار به حفاظت از آب کردند تا در راستای ایفای وظایف، حافظ آب باشد تا آب و سرمایه ملی بهینه مصرف شده و از هدررفت آن جلوگیری شود. جرم‌انگاری که مقنن در رابطه با داشته است را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. جرایمی در رابطه با آب است که مقنن آن را امنیتی قرار داده است. آب با جان همه آحاد مملکت سروکار دارد و بحث‌های تروریستی در رابطه با آب جنبه امنیتی دارد و حتی مجازات اعدام دارد، مثل جرم سابوتاژ و خرابکاری. طبق قانون این جرم در حکم محاربه است و ۴ نوع مجازات دارد. خرابکاری‌های غیر امنیتی ۳ تا ۱۰ سال حبس دارد. تهدید علیه بهداشت عمومی هم تا ۱ سال حبس دارد. قانون مدنظر جلسه، جرم‌انگاری در مصرف آب و شبکه فاضلاب کشور است (قانون مجازات استفاده کنندگان غیر مجاز سال ۱۳۹۶). چند جرم در این قانون درنظر گرفته شده است که عبارتند از: ۱- استفاده بدون دریافت انشعاب قانونی؛ ۲- استفاده غیرمجاز با وجود داشتن انشعاب قانونی و ۳- تصرف یا تغییر در وضعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری آب (دستکاری کنتور) که منجر به اخلاف در کارکرد صحیح ثبت ارقام کنتور می‌شود و مجازات‌های مختلفی برای آن درنظر گرفته شده است که در نوبت بعد ارائه می‌کنم.

دکتر تابش: ضمن تشکر از اعضای محترم میزگرد، دور دوم را با مطرح کردن سوال از اعضای محترم دنبال می‌کنیم. از آقای مهندس شریفیان خواهشمند است لطفاً شفاف‌سازی فرمایید که چرا هنوز شاهد هستیم که شهرداری به‌دلایلی از آب شبکه برداشت می‌کند و چه تمهیداتی در سیستم شهرداری اندیشیده شده که این کار به سمت صفر میل کند؟ در نشریه ۱۱۷-۳ بازنگری اول که در سال ۱۳۹۲ ابلاغ شده است، اعلام شد که از سال ۱۳۹۵ هرگونه استفاده از آب شرب برای مصارف فضای سبز عمومی مطلقاً ممنوع است. این مشکل هم از فضای سبز است و هم از صنعت. این که در بعضی جاها این موضوع رعایت نمی‌شود و این مصارف به صفر نرسیده است. دلایل چیست؟

مهندس شریفیان: واضح است که فضای سبز گسترده تهران نیاز به آبیاری دارد. شهرداری تهران باید دنبال راهکارهای جایگزین می‌رفت. در سال‌های اخیر شهرداری نسبت به ایجاد بیش از ۱۰۰۰ مخزن برای انباشت آب خام با حجم ذخیره‌سازی



انجام می‌شود و پیمانکاران طرف قرارداد نیز تخلفات مختلفی انجام می‌دهند. ولی دستگاه مربوطه پس از اعتراض مردم یا دستگاه نظارتی، مسئولیت را به‌عهده نمی‌گیرد و همه را به‌دوش پیمانکاران می‌اندازد. این امر باعث شده که متأسفانه اعتماد عمومی به دستگاه‌های اجرایی کم شود و این ارگان‌ها باید با نظارت دقیق و برخورد محکم با تخلف پیمانکاران خود، اعتماد عمومی را جلب کنند.

در بحث کنتورها قسمت عمده خطا مربوط به دبی شروع بوده است. پروژه‌هایی که برای تعویض کنتور در کشور شروع شده، یکی به‌دلیل افزایش سن کنتور بیش از حد استاندارد بوده و دیگری به‌منظور عوض شدن کلاس کنتور هنگام تعویض، برای این‌که دقت دبی شروع آن بهتر شود. پروژه‌ای که در تهران انجام شد حدود ۱۰-۱۲ درصد میزان تلفات را کاهش داد. در این پروژه کلاس کنتورها از B به C تغییر کرد. از آقای مهندس سیدزاده می‌خواهم توضیحاتی در رابطه با آزمایش‌های دوره‌ای کنتورها در برنامه کشوری که دقت و میزان خطا به‌صورت مستمر به‌دست می‌آید، داده شود. آیا در تمامی شهرها تعویض کنتور همراه با تعویض کلاس کنتور است؟

مهندس سیدزاده: با توجه به آمار ذکرشده، بخش عمده خطا یعنی ۴/۷ درصد از ۱۰/۴ درصد تلفات ظاهری مربوط به عدم دقت تجهیزات اندازه‌گیری است که قسمتی از آن با دبی شروع و مکانیزم داخلی کنتورهای داخلی که نمی‌توانند دبی شروع را اندازه بگیرند، مرتبط می‌شود. یکی از طرح‌های اساسی ما در شرکت مهندسی، بحث انتقال تکنولوژی و همکاری مشترک کنتورسازان داخلی با خارجی است. طی بازدیدهای

۹ میلیون مترمکعب اقدام و حدود ۱۳۰۰۰ کیلومتر لوله‌گذاری برای انتقال و ایجاد شبکه آب خام در شهر تهران صورت گرفته است. پس زیرساخت آماده است و به تمامی واحدها هم ابلاغیه داده شده که به‌هیچ وجه اجازه استفاده از آب شرب برای مصارف آبیاری را ندارند (سندش هم در سایت شهرداری قابل رویت است). اما به‌دلیل وسعت شهر و پیمانکاران زیاد شهرداری، قطعاً جاهایی هست که بدون هماهنگی از آب شرب استفاده شود که ما پس از آگاهی جلوگیری می‌کنیم. دوستان آبفا هم وقتی گزارش می‌دهند جریمه‌اش را برای ما حساب می‌کنند. پس ما این موضوع را انکار نمی‌کنیم. اما حجم آن بسیار پایین آمده است. در شهر تهران هم شبکه لوله‌کشی کار می‌کند و هم بخش‌هایی از شهر با تانکر آبیاری می‌شود.

اما من یک سوال دارم. ما تا چه وقت می‌خواهیم در شهر تهران آب را با کیفیت بالا تصفیه کنیم و حتی نیترات آن را هم کنترل کنیم ولی با این آب در خانه‌ها حیاط و ماشین و لباس بشوییم و حمام کنیم. هر منطقه‌ای از شهرداری یک ردیف اعتباری در سال برای توسعه شبکه توزیع آب خام دارد. در کنارش طرح جامع آب خام نیز تدوین شده است که در شورای شهر قبل فرصت تصویب نیافت ولی از طرفی در مشاور و سازمان پارک‌های شهرداری، این موضوع تدوین شده است. از طرفی پیمانکاران هم اجازه ندارند در هیچ جا از آب شرب استفاده کنند، ولی ممکن است تخلفاتی باشد که باید رسیدگی شود که البته مقدار آن پایین است. ما باید قوانین را رعایت کنیم و با تخلفات هم برخورد کنیم.

دکتر تابش: توضیحی که لازم است این‌جا داده شود این است که در بسیاری از دستگاه‌ها بحث برون سپاری خدمات

انجام شده، دیده شده مکانیزم کنترهای داخلی چینی است و فقط بدنه در داخل تولید می‌شود. این مکانیزم چینی قاعدتا خطاهایی دارد و ما در مورد نظارت بر تولید این بخش در چین مشکل داریم که مطابق با استانداردهای ما هست یا نه. اگرچه در این حوزه رشد خوبی در کشور داشته ایم ولی این که تولیدات داخلی توانسته باشند خطای دبی شروع را کم کرده باشد این طور نیست و مقایسه‌ای که که بین کنترهای داخلی و خارجی انجام شده (از جمله در بیرجند) نشان می‌دهد که کنترهای خارجی چندین برابر دقت بالاتری دارند. لذا لازم است کنترسازان ما با همکاری مشترک با کنترسازان خارجی و ارتقای تکنولوژی کنورها، کیفیت محصولات خود را ارتقا دهند.

سیاست ما در تعویض کنورها بر مبنای مطالعات، آزمایش خوشه‌ای کنورها و محاسبه دقیق خطاها است. دستورالعمل‌های مرتبط که چه‌طور کنتر مشترکین را آزمایش کنند، نمونه آماری را چه‌طور انتخاب کنند، آزمایش خوشه‌ای را چه‌طور انجام دهند و چه آزمایش‌هایی را برای سنجش عملکرد کنتر انجام دهند، همه به شرکت‌های آب و فاضلاب ابلاغ شده و باید براساس برنامه‌ای مشخص تعویض کنورها انجام شود. کارگروهی در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور اخیرا تشکیل شده که فعالیتش در زمینه تدوین مشخصات فنی کنترهای خانگی براساس استاندارد مورد تایید ما است. کنترهای حجیم و الکترومغناطیس و اولتراسونیک در مبادی ورودی، چالش جدی در صنعت آب و فاضلاب هستند. بیش از ۹۰ درصد از کنترهای داخلی حجیم نارضایتی دارند که با برنامه‌ریزی‌ها امیدواریم بتوانیم مکانیزم دقیق کنترسازی را از طریق سازندگان خارجی وارد کشور کرده و تولید ملی داشته باشیم. شرکت‌های آب و فاضلاب باید بتوانند از دقیق‌ترین مکانیزم‌ها برای اندازه‌گیری آب استفاده کنند.

دکتر تابش: به چالشی اشاره می‌کنم که مدیران حین تصمیم‌گیری درباره تعویض کنتر با آن مواجه هستند. طبق نشریه ۵۵۶ باید قبل از تصمیم‌گیری، تحلیل اقتصادی انجام شود که اصلا این تعویض صرف می‌کند یا خیر. چالش اول این که به دلیل قیمت پایین تعرفه‌های آب در خیلی از موارد به این نتیجه می‌رسیم که استاندارد که تعویض را ۵ ساله اعلام می‌کند در کشور ما پاسخگو نیست. حتی در مورد ۱۰

سال هم می‌شود گفت این مشکل وجود دارد و پروژه جنبه اقتصادی ندارد.

هنگام تعویض کنورها با چالش دوم مواجه هستیم. مسئله اول هزینه‌هایی است که صرف تعویض می‌شود که گفته شد طبق قانون می‌توان این هزینه‌ها را از مشترکین دریافت کرد. مسئله دوم این که کنترهایی با دقت قابل قبول در تولیدات داخلی کمتر داریم و موانعی هم برای استفاده از کنترهای خارجی وجود دارد، هم از جنبه مالی و هم از نظر دسترسی به آن‌ها. از آقای مهندس فخرایی خواهش می‌کنم با توجه به تجربه خود توضیحاتی درباره چگونگی برخورد با این مسئله و حل کردن این معادله چند مجهولی بدهند.

مهندس فخرایی: در ادامه بحث کنورها که مهندس سیدزاده فرمودند نکته قابل توجه این است که خستگی کنورها ما را دچار مشکل کرده، یعنی کنتر در طولانی مدت دقتش را از دست می‌دهد. انجام آزمایش خستگی هم برای خود شرکت‌ها سخت است. بنابراین هنگام خرید کنتر از سازنده آزمایش خستگی را بخواهید تا بدانیم این کنتر چندسال می‌تواند با همین دقت برای ما کار کند.

این دغدغه خود من هم هست که آیا توجیه اقتصادی در مورد کنورها وجود دارد که بتواند بخش خصوصی را وارد کار کند؟ هم بله و هم نه. برای کنترهایی که اندازه آن‌ها ۰/۷۵ اینچ به بالا است، یعنی مشترکین خاص، توجیه اقتصادی دارد؛ طوری که شرکت و بخش خصوصی هم حاضر است این را با سرمایه خودش انجام دهد. ولی متأسفانه برای عمده مشترکین که خانگی هستند با این تعرفه‌هایی که الان هست این جوابگو نیست و باید فکر اساسی کرد. برای همین تاکید می‌شود کنترهایی که خریداری می‌شود بهترین کنورها باشند.

مسئله دیگر این که وقتی لوازم نصب و انشعاب با کیفیت بالا می‌خرید، قیمت تمام شده آب پایین می‌آید. آمار موجود در شرکت‌های آبفا در شهرها نشان می‌دهد حدود ۸۰-۹۰ درصد اتفاقات روی انشعابات است که هزینه جاری دارد و این هزینه جاری روی قیمت تمام شده تاثیر می‌گذارد. بنابراین می‌توان دستگاههای نظارتی را قانع کرد که اگر کنتر با کیفیت بخریم می‌توانیم هزینه واقعی را از مشترک بگیریم و در کل، هزینه‌ها را کاهش دهیم و این به نفع مجموعه است. متأسفانه در شرایط فعلی شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی نصف قیمت

تمام شده را از مشترکین اخذ می کنند.

می شود و هیچ مبلغی به ازای آن دریافت نمی شود. آفت بزرگتر این که این دسته افراد بدون واهمه از آب استفاده می کنند چون هزینه ای بابت استفاده پرداخت نمی شود. رویکرد این است که روی بحث فرهنگی باید کار شود. تمامی دستگاه ها و وسایل ارتباط جمعی باید بسیج شوند تا این بحث نهادینه شود. شرکت مهندسی و وزارت نیرو هم این بحث را شروع کرده اند. در بحث قوانین، آخرین نتیجه ای که با تصمیم گیری و ارائه اطلاعات و تبیین ابعاد بحث به جمع بندی رسید، ابلاغ قانونی بود که در قبل اشاره شد.

دکتر تابش: در صورتی که در مورد انشعاب غیرمجاز جرم انگاری صورت بگیرد و تخلفات به قوه قضاییه برود، نحوه برخورد قضات، نوع دیدگاه حاکم در دستگاه قضا به این جرم و اهمیتی که نسبت به سایر جرم ها به این جرم خاص می دهند می تواند مهم باشد. از آقای دکتر نجفی درخواست می شود در این مورد که نتیجه قوانین چقدر می تواند بازدارندگی را در جهت کاهش بحث آب دزدی ایجاد کند، توضیحاتی داده شود.

دکتر نجفی: من به عنوان جرم شناس به علت ها کار دارم. وقتی آقای مهندس سیدزاده می گویند ۲۵٪ هدررفت داریم، من روی علت ها تمرکز می کنم. من عضو انجمن جرم شناسی هستم ولی کسی برای شناسایی علت ها به این انجمن مراجعه نمی کند. در ایران بحث جرم شناسی خیلی جا نیفتاده است. مثلاً اگر دوستان با موسسه جرم شناسی دانشگاه تهران قرارداد ببندند به راحتی آن ها می توانند کلیه علت ها را شناسایی و بیان کنند. جرم انگاری بازدارنده نیست. هر چیزی را نباید جرم انگاری کنیم. هر مشکلی را با شلاق و زندان و اعدام نمی توان حل کرد. قوه قضاییه کار خودش را بکند، در یک جاهایی هم دست شما را بگیرد. من پرونده ای داشتم که که مدیر یک شرکت آبفا

دکتر تابش: حال به بحث حقوقی مسئله می پردازیم. تحلیلی در دانشگاه تهران درباره پارامترهای موثر در استفاده غیرمجاز از آب انجام شد. اولین نکته ای که به ذهن می آید یکی فقر اقتصادی و یکی فقر فرهنگی است که پژوهش های ما نشان داد قضیه فقر اقتصادی با توجه به قیمت پایین آب خیلی موثر نیست.

یکی بحث عدم وجود آیین نامه ها و قوانین بازدارنده و یکی کامل نبودن هماهنگی ها بین بخش آبفا و شهرداری و دستگاه های اجرایی که بتوانند طوری روابط را هماهنگ کنند که این مشکل رو به کاهش برود. از آقای دکتر رجبزاده خواهش می کنم دیدگاهی که شرکت مهندسی در این بحث دارد توضیح داده شود.

دکتر رجبزاده: بحث فقر اقتصادی خیلی کم رنگ است. قیمت آب برای متوسطین جامعه قابل قبول است. بحث فرهنگی مهم است که در شرکت مهندسی آب و فاضلاب هم روی این بحث کار می شود. اصولاً مشکلات ناشی از کمبود آب و هدررفت آب و هم چنین این که ایران کشور خشکی است در کشور خیلی نهادینه نشده است. مقررات و قوانین در شکل های مختلف در طول مسیر وجود داشته، اما این که چرا این قوانین اجرا نمی شوند بعضاً به مسائل اجتماعی برمی گردد. عمده مشکلات درخصوص انشعابات غیرمجاز در شهرها مربوط به حاشیه نشین ها است. با قانون قبلی با این که مجازات زندان هم داشتیم ولی در عمل موفق نبودیم. شرکت های آبفا از انشعابات غیرمجاز اطلاع دارند و آمار هم دارند.

انشعابات غیرمجاز چند اثر منفی در جامعه دارد. یکی مشکلات بهداشتی است. از طرف دیگر بخشی از آب استفاده



تجهیزات بی کیفیت خریده و در زیر زمین دفن کرده و تبعات زیادی را ایجاد کرده بود. شرکت آب و فاضلاب باید فراتر از این مسئله، به قطعات و اتصالات فکر کند که از چه لوله‌هایی استفاده کند و باید خرید لوله‌های ارزان قیمت و بی کیفیت، چه برای مسئول خرید شرکت و چه برای مردم ممنوع شود. بسیاری از هدررفت آب بعد از کنتور به لوله‌ها و اتصالات نامناسب برمی گردد. چنانچه این موضوع در موسسه جرم‌شناسی بررسی شود تمامی این موارد تحلیل می‌شود و آماری به دست می‌دهد. علاوه بر کنتور باید به خریده‌ها و کالاهای خریداری شده هم فکر کرد. در بحث کالاهای مربوط به آب، موسسه استاندارد با شرکت آب و فاضلاب باید پروتکلی داشته باشند که بگوید کدام اجناس و اتصالات برای خرید ممنوع هستند. خلاصه، قوه قضاییه در صورتی که قانون جرم‌انگاری کرده باشد، موظف است رسیدگی کند. معاونت پیشگیری قوه قضاییه در تمامی استان‌ها آمادگی دارند با شرکت‌های آبفا پژوهش و علت‌یابی انجام بدهند، جلسات مشترک داشته باشند و به آن‌ها مشاوره دهند. همچنین در جهت ایجاد شعب ویژه برای رسیدگی به جرائم کمک کنند. درحالی که به نظر من نیاز به این شدت عمل هم نیست. من فکر می‌کنم به مواد و تجهیزات خریداری شده باید بیشتر دقت کرد.

بخش سوالات حضار محترم

مهندس شریفیان: سوال شده که چرا شهرداری برای کاهش مصرف آب به کاشت گیاهان کم آب اقدام نمی‌کند. در پاسخ باید بگویم این موضوع در دستور کار شهرداری تهران قرار دارد که مثلاً کشت چمن را که یک محصول پر آب‌بر است را متوقف کرده و به کاشت گونه‌های مقاوم‌تر و کم آب‌برتر اقدام کند. البته در این زمینه سعی و خطا صورت می‌گیرد. مثلاً در سال گذشته گونه‌هایی گیاه کم آب بر کاشته شد که متأسفانه باعث افزایش آفت‌ها از جمله پشه‌ها شد. در رابطه با مقابله با پیمانکاران متخلف هم باید بگویم که شرکت آب و فاضلاب به راحتی در صورت استفاده از آب شرب برای آبیاری، مورد را مشخص و به شهرداری اطلاع می‌دهد و ما هم براساس قراردادی که با پیمانکار داریم او را جریمه می‌کنیم. اما این که آیا طبق قوانین برای پیمانکار باید کیفر هم در نظر گرفته شود من اطلاع ندارم.

مهندس سیدزاده: من یک نکته را اضافه کنم از مجموع ۱۳/۴٪ هدررفت واقعی در کل کشور ۶/۳٪ مربوط به نشت از انشعابات مشترکین (معادل ۴۷٪) و ۵/۹٪ (معادل ۴۴٪) نشت از شبکه توزیع است. در نتیجه نشت از انشعابات مشترکین بیشترین سهم را دارد.

سوالی در مورد وظایف معاونین بهره‌برداری و مشترکین برای جلوگیری از انشعاب غیرمجاز پرسیده شده که باعث سردرگمی دفاتر آب بدون درآمد شده است. باید بگویم محاسبه آب بدون درآمد مربوط به دفاتر است ولی بحث انشعابات و نصب کنتور و شناسایی و رفع انشعابات غیرمجاز مربوط به معاونت مشترکین است که باید این‌ها با هم ارتباط و هماهنگی داشته باشند. امور مشترکین اطلاعات را باید به دفاتر بدهند تا آن‌ها محاسبات سهم و اجزای آب بدون درآمد را بتوانند درست انجام دهند. همچنین این‌دو باید با واحدهای حقوقی و حراست هم هماهنگی داشته باشند.

سوال شده چرا وقتی مشکلات کنتورهای داخلی را همه اذعان دارند و در تحقیقات اثبات شده است، در مورد استفاده از کنتورهای خارجی اقدام و تشویق نمی‌شود و در نمایشگاه، تولید خارجی معرفی نمی‌شود. در پاسخ باید بگویم ما یک قانون در رابطه با استفاده از تولیدات داخلی داریم که محصولاتی که در داخل تولید می‌شود مجوز خرید خارجی داده نمی‌شود. مذاکراتی شده با وزارت صنایع که وقتی ما یک تولید ملی به اسم آب داریم برای کنتورهای بزرگ خرید کنتور خارجی را مجاز کنند که موافقت نشده است. براساس نظرسنجی که از شرکت‌های آبفا شده است یکی از راه‌کارها که می‌توان روی آن کارکرد قرائت کنتورهای حجیم به وسیله بخش خصوصی است با این شرط که مشخصات فنی را ما بدهیم و آن‌ها می‌توانند بهترین کنتورها را نصب و قرائت کنند.

دکتر نجفی: در دادگاه مدت زمان استفاده فرد خاطی چگونه اثبات می‌شود؟ باید بگویم قاضی به این بحث جاهل هست و شما باید یک اشل داشته باشید و یک نظر کارشناسی بدهید که این فرد با توجه به بعد خانوار و سطح واحد و غیره چقدر آب مصرف کرده است. اگر مصرف کننده اعتراض داشت ما به کارشناس رسمی دادگستری می‌دهیم که معدل گیری می‌کند و در مرحله بعد در صورت اعتراض به هیئت سه نفره داده می‌شود. سوال بعد: پس از معرفی متخلفین به دستگاه قضایی آن‌ها

با طول زمان زیاد رسیدگی می‌کنند و مجازات‌ها هم بازدارنده نیست و در افراد خاطی هیچ بازدارندگی ایجاد نمی‌شود. جواب: در قانون توزیع عادلانه آب گفته شده دادگاه‌ها به‌صورت فوق‌العاده رسیدگی کنند. اگر در شهر شما به‌طور فوق‌العاده بررسی نمی‌شود رئیس آبفا باید با رئیس دادگستری جلسه و تعامل داشته باشد و حتی در صورتی که تعداد جرم زیاد باشد مثل اهواز، می‌توانند شعب ویژه‌ای برای این کار ایجاد کرد. ما مشکلی در این زمینه نداریم.

سوال دیگر: در خریده‌ها مناقصه برگزار می‌شود که نمی‌توان در آن برند خاصی را ذکر کرد و در مناقصه هم قیمت پایین برنده می‌شود که کیفیت آن پایین است. جواب: اگر این کار را بتوان به بخش خصوصی سپرد می‌توان مشکل را حل کرد. در مناقصه باید استاندارد کالاها رعایت شود و گرنه دستگاه قضایی می‌تواند برخورد کند.

دکتر رجب زاده: سوال شده آیا اول باید انشعاب غیر مجاز کشیده شود بعد ما برخورد کنیم؟ طبق قانون جدید باید بستری فراهم شود که کار به این‌جا کشیده نشود. ما می‌توانیم انشعاب موقت دهیم و ظرف ۳ سال وضعیت این‌ها بررسی و ساماندهی شود.

دکتر تابش: با تشکر از شما، دیگر اعضای میزگرد و حاضرین محترم، با توجه به اتمام وقت، این میزگرد در این‌جا به پایان می‌رسد و امیدواریم حضار محترم از بحث‌های انجام شده استفاده بکنند.

رتبه دوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۵ در مقطع دکترا
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



عنوان: تولید آب بهداشتی از فاضلاب های صنعتی در یک بیوراکتور یکپارچه نوین با ظرفیت حذف همزمان کربن و مواد

مغذی

نگارش: آذراسدی

استاد راهنما: دکتر علی اکبر زینتی زاده و پروفسور مارک ون لوسدرخت

محل: دانشگاه رازی، دانشکده شیمی، گروه شیمی کاربردی

رشته: شیمی، گرایش شیمی کاربردی

زمان دفاع: شهریورماه ۱۳۹۵

چکیده

به دست آمده، بیوراکتور Air lift توانایی بیشتری برای حذف نیتروژن نسبت به بیوراکتور اختلاط کامل در مدل های مختلف راهبری دارد و همچنین بیشترین راندمان حذف نیتروژن در Air lift با مدل راهبری شبه پیوسته به دست آمده است. همچنین، ترکیبات فسفری به طور موثری در بیوراکتور Air lift با مدل راهبری شبه پیوسته حذف می شوند (۵۴٪)، در صورتی که بیوراکتور Air lift با مدل های راهبری منقطع و پیوسته و بیوراکتور اختلاط کامل در کلیه مدل های راهبری توانایی حذف فسفر را ندارند.

در مرحله بعدی، مکانیسم حذف نیتروژن در بیوراکتور Air lift مورد بررسی قرار گرفت. دو مکانیسم عمده برای حذف نیتروژن نیتریفیکاسیون-دنیتریفیکاسیون همزمان (SND) و اکسیداسیون بی هوازی آمونیوم (ANAMMOX) است که فراهم کردن شرایط رخ دادن هر دو مکانیسم به صورت همزمان در یک بیوراکتور منفرد برای حذف مقادیر بالای نیتروژن از فاضلاب از لحاظ حجم مورد نیاز، راندمان حذف و هزینه های راهبری مقرون به صرفه است. شرایط مورد نیاز که برای رخ دادن هر دو مکانیسم در این بیوراکتور فراهم شده است از طریق شکل هندسی ویژه بیوراکتور به همراه رژیم هیدرولیکی به کار گرفته شده است.

در مرحله بعد، آب بهداشتی از فاضلاب نوشابه سازی با ترکیب بیوراکتور Air lift و ست آپ غشایی تولید شده است. غشای اولترافیلتراسیون پلی آکریلونیتریل با روش لایه به لایه اصلاح

به کارگیری مناطق مختلف هوازی، بی هوازی و آنوکسیک در یک بیوراکتور منفرد یکی از روش های نوین برای حذف همزمان کربن و مواد مغذی است. بیوراکتور Air lift اخیراً به عنوان سیستمی مورد توجه قرار گرفته است که توانایی تامین نواحی مختلف از نظر پتانسیل اکسیداسیون-احیا را دارد. در این پایان نامه، عملکرد یک بیوراکتور Air lift نوین با ورودی پیوسته و خروجی منقطع برای حذف نیتروژن و فسفر از فاضلاب نوشابه سازی و صنایع شیر مورد بررسی قرار گرفته است. فاضلاب های نوشابه سازی و صنایع شیر از نظر نسبت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی به اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (BOD5/COD) متفاوت هستند. براساس داده های به دست آمده، سه منطقه متفاوت بی هوازی، آنوکسیک و هوازی در این بیوراکتور تحت شرایط هوادهی ممتد تامین شده اند. فاضلاب با نسبت بالای (نوشابه سازی) راندمان بهتری برای حذف COD و فسفر را ایجاد می کند، در صورتی که فاضلاب صنایع شیر سرعت حذف نیتروژن بالاتری را ارائه می دهد. همچنین، بررسی سینتیکی فرآیندهای تصفیه فاضلاب های نوشابه سازی و صنایع شیر در این بیوراکتور با استفاده از نتایج به دست آمده انجام شده است.

علاوه بر آن، عملکرد بیوراکتور Air lift با بیوراکتور اختلاط کامل از نظر حذف همزمان کربن و مواد مغذی از فاضلاب صنایع شیر تحت ۳ مدل راهبری مختلف (منقطع، پیوسته و شبه پیوسته) مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به نتایج

کلمات کلیدی: آب بهداشتی، فاضلاب صنعتی، بیوراکتور
غشایی داخلی، حذف هم‌زمان کربن و مواد مغذی

شده است. به‌طور کلی، این روش اصلاح سطحی عملکرد غشای اولترافیلتراسیون پلی‌آکریلونیتریل را از نظر خواص گرفتگی و نسبت بازیافت فلاکس عبوری افزایش داده است. به‌عنوان نتیجه، ترکیب این بیوراکتور جدید که دارای فرآیند ته‌نشینی داخلی است و مدول غشایی اولترافیلتراسیون با خاصیت ضد گرفتگی بالا به‌عنوان یک بیوراکتور غشایی داخلی نوین برای تولید پیوسته و مقرون به‌صرفه آب بهداشتی از فاضلاب می‌تواند در نظر گرفته شود.

رتبه سوم مسابقه پایان‌نامه برتر سال ۱۳۹۶ در مقطع کارشناسی ارشد (برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



عنوان: بررسی تاثیر تبلیغات تلویزیونی بر میزان صرفه‌جویی آب درمیان شهروندان مناطق سه‌گانه آبفای ارومیه

نگارش: توحید پوربابایی قلچاچی

استاد راهنما: دکتر رامین بشیر خداپرستی

محل: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ارومیه، دانشکده علوم انسانی، گروه مدیریت

رشته: مدیریت اجرایی، گرایش: بازاریابی و صادرات

زمان دفاع: تابستان ۱۳۹۶

چکیده

به‌منظور تحقق این هدف یک فرضیه اصلی و چهار فرضیه فرعی برای آزمون در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که مدت زمان پخش آگهی از لحاظ اثرگذاری بر متغیر صرفه‌جویی آب، در رتبه اول قرار دارد، کم شدن میزان باورهای مذهبی مخاطبان از لحاظ اثرگذاری بر متغیر میزان صرفه‌جویی آب، در رتبه چهارم قرار دارد.

واژگان کلیدی: میزان باورهای مذهبی، صرفه‌جویی، تبلیغات تلویزیونی

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر تبلیغات تلویزیونی بر میزان صرفه‌جویی آب درمیان شهروندان مناطق سه‌گانه آبفای ارومیه به اجرا در آمد. تحقیق حاضر به‌لحاظ هدف کاربردی و روش بررسی آن توصیفی پیمایشی است، جامعه آماری پژوهش، شامل کلیه مشترکین مناطق سه‌گانه ارومیه است که از این تعداد با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده تعداد ۵۱۷ مشترک با استفاده از فرمول کوکران انتخاب شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی روابط بین متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون و روش مدل‌یابی معادلات ساختاری استفاده شد.

M24 Planning for the Distribution of Reclaimed Water, Third Edition

M24 برنامه‌ریزی برای توزیع آب بازیافت شده، ویرایش سوم

ISBN: 9781583217269

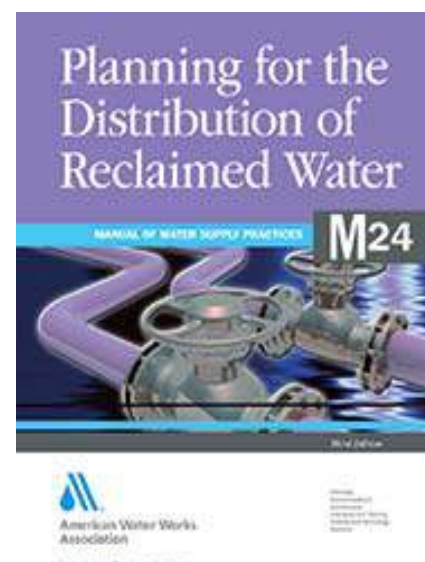
Publisher: American Water Works Association

Publication date: 2009

AWWA catalog no: 30024

Media Type: Softbound

Number of pages: 122

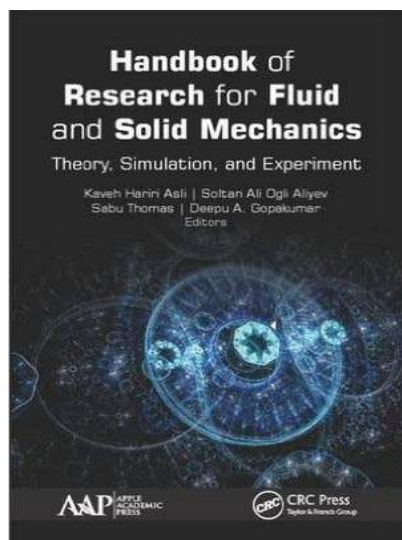


از سال ۱۹۸۳، زمانی که اولین نسخه دستورالعمل انجمن کارهای آبی آمریکا (AWWA) چاپ شد، بسیاری از امکانات آب و فاضلاب، انجمن‌ها، مسئولین ایالت و کشورها سیستم‌های دوگانه توزیع آب را به کار گرفته‌اند. این سیستم‌ها همراه با تصفیه فاضلاب برای تامین حداکثری ذخایر آب موجود استفاده شده است. انجمن بین‌المللی آب (IWA) در لندن علاوه بر آمریکا، استرالیا و بریتانیا، ۱۳ کشور دیگر که برنامه‌های مشخص در زمینه سیستم‌های دوگانه توزیع آب و تصفیه آب دارند را معرفی کرده است. آن چیزی که تقریباً در تمام دنیا ارزش دارد، این است که تصفیه فاضلاب و سیستم‌های دوگانه توزیع آب برای انجمن‌هایی که تحقیقات خود را در زمینه منابع آب گسترش داده‌اند، مورد توجه قرار گیرد.

این کتاب راهنمای جامعی برای برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های توزیع آب‌های تصفیه و بازیافت شده، ارائه می‌دهد. توزیع آب تصفیه شده از طریق استفاده از سیستم‌های آب دوگانه انجام می‌شود؛ (یکی برای آب قابل حمل و دیگری آب غیرقابل حمل) که در آمریکای شمالی و در سرتاسر جهان توسعه یافته، پذیرفته شده است. مدیران سیستم‌های آب و مهندسان طراح به‌طور فزاینده‌ای به استفاده از آب بازیافت شده روی آورده‌اند. این تمایل به دلیل کمک به ارائه خدمات بهتر برای استفاده‌هایی که در آن‌ها به آب قابل شرب با هزینه بالا نیاز نیست، می‌باشد. به عنوان مثال برای آبیاری پارک‌های عمومی، قبرستان‌ها، زمین‌های گلف و بسیاری از فرایندهای صنعتی و آتش‌نشانی. این کتاب درباره برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، مقررات قانونی و مدیریت سیستم‌های دوگانه توزیع آب صحبت می‌کند که شامل سیستم‌های مجزا برای توزیع آب شرب و غیرقابل شرب به دست آمده از منابع فاضلاب تصفیه شده، می‌باشد.

Handbook of Research for fluid and Solid Mechanics Theory, Simulation and Experiment

راهنمای پژوهش برای مکانیک سیالات و جامدات



نویسنده مسئول: کاوه حریری اصلی

ناشر: گروه انتشارات دانشگاهی ایل، گروه تیلور و فرانسیس؛

تاریخ نشر: ژانویه ۲۰۱۸

شماره ثبت کتاب: ISBN: 978-1-77188-501-0

شماره نسخه الکترونیک: ISBN: 978-1-315-36570-1

این کتاب برای دوره‌های تخصصی در ارتباط با تجربیات پژوهشی در نظر گرفته شده است. در این راستا در متن کتاب به‌طور وسیع به علم مکانیک سیالات توجه شده است. نویسندگان در پانزده فصل مباحث تخصصی و کاربردی را در قالب روش‌های عددی و محاسباتی دینامیک سیال (CFD) در شرایط متقارن و غیرمتقارن، لزج و غیر لزج، پایدار و ناپایدار برای دانش‌جویان مهندسی گسترش داده‌اند. مطالب به‌طور ساده و روان و نوشتار متمرکز بر مدل‌های عملی و واقع‌گرایانه و شامل برنامه‌های طراحی جدید و ابزارهای جدید برای حل مشکلات جاری در کار مهندسی است که در طول دوره‌های مختلف تجدید می‌شوند.

در این کتاب ارائه مفاهیم جدید در پروژه‌های طراحی در هر فصل اجازه می‌دهد تا کارشناسان و دانش‌جویان برای تنظیم اندازه و پارامترها و رسیدن به طراحی ایده‌آل، با بیشتر از یک رویکرد جدید به این کتاب به‌عنوان کتاب راهنمای پژوهش برای مکانیک سیالات و جامدات توجه خاص نمایند. کارشناسان برای حل معادلات کاربردی پدیده‌های مهندسی مکانیک سیالات در سراسر کتاب تجربه‌های نویسندگان را مشاهده می‌کنند. ابزار بسیار جذاب برای حل معادلات دیفرانسیل و تحلیل پارامترهای چگالی، لزجت، آنتالپی، آنتروپی و غیره و روش رگرسیون خطی و غیر خطی به‌منظور حل مشکلات کاربردی و پیچیده فرمت شده است. از روش‌های محاسباتی متعددی برای حل مسائل مهندسی مکانیک استفاده شده و چالش‌ها و روش‌های پیشنهادی برای به‌کارگیری دستگاه‌ها و مدل‌های مقیاس، امکانات زیادی را در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد تا بتوانند به انواع تجهیزات عیب‌یابی مسلط شوند.

در بخشی از این کتاب، فناوری‌ها و روش‌های جدید محاسباتی و عملیاتی مرتبط با حوزه آب بدون درآمد Non-Revenue Water و تلفات آب Water Loss ارائه شده است. از جمله در فصل ۴، مدل‌سازی عددی برای جریان همگن و طبقه‌بندی شده؛ از تئوری تا عمل؛ در فصل ۵، آب بدون درآمد با ارائه برخی از نکات عملی؛ در فصل ۶، انتقال حرارت سه بعدی و مدل‌سازی جریان آب؛ در فصل ۷، مدل‌سازی غیرخطی برای آب بدون درآمد؛ در فصل ۸، اتلاف آب در سیستم‌های آبی با ارائه برخی از جنبه‌های محاسباتی و در فصل ۹، تجزیه و تحلیل شبکه توزیع آب؛ از تئوری تا عمل آورده شده است.

فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه دوم سال ۱۳۹۷ به شرح زیر است:

- ✿ برگزاری هشتمین جلسه کمیته تخصصی «تلفات آب» انجمن روز چهارشنبه ۱۳ تیر در حضور آقای مهندس پاکروح معاونت محترم راهبری و نظارت بر بهره برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
- ✿ برگزاری یازدهمین جلسه شورای سیاستگزاری دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران روز یکشنبه ۱۸ تیر
- ✿ برگزاری بیست و دومین جلسه هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران روز چهارشنبه ۲۰ تیر
- ✿ دریافت کاپ طلای جهان توسط عضو انجمن آب و فاضلاب ایران در جشنواره بین المللی زنان مخترع ۲۰۱۸ (سرکار خانم دکتر باغبان و سرکار خانم دکتر هوشمند)
- ✿ انتشار چهارمین شماره در سال دوم نشریه علمی - ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب با مدیرعامل آبفای اصفهان
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران با مدیرکل مدیریت بحران استانداری اصفهان
- ✿ برگزاری دوازدهمین جلسه شورای سیاستگزاری دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب با مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب کشور
- ✿ عضویت انجمن آب و فاضلاب ایران در کمیته ملی آب و فاضلاب (کمیته ایرانی IWA) و شرکت در جلسه این کمیته.
- ✿ برگزاری سیزدهمین جلسه شورای سیاستگزاری دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران روز سه شنبه ۳۰ مرداد
- ✿ فراخوان سومین دوره انتخاب پایان نامه برتر
- ✿ برگزاری دهمین جلسه کمیته تلفات آب انجمن آب و فاضلاب ایران در حضور خانم دکتر زهرایی مدیرکل محترم دفتر مدیریت مصرف و بهره وری آب و آبفای وزارت نیرو روز یکشنبه ۴ شهریور
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران با آقای دکتر فاضلی مشاور محترم وزیر نیرو
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران با رئیس هیئت مدیره فدراسیون صنعت آب
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران با دبیر انجمن سازندگان تجهیزات صنعتی ایران "ستصا"
- ✿ برگزاری چهاردهمین جلسه شورای سیاستگزاری دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران روز چهارشنبه ۲۱ شهریور
- ✿ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران با آقای مهندس حاج رسولی‌ها مدیرعامل شرکت مدیریت منابع آب روز سه شنبه ۲۷ شهریور
- ✿ انتشار سه شماره خبرنامه انجمن به صورت ماهانه



نخستین آب و فاضلاب ایران

IIWA

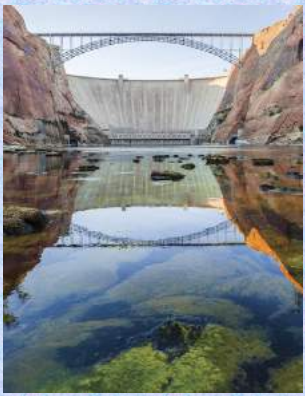
International Irrigation Waterway Association

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IIWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال سوم - شماره پنجم- مرداد ماه ۱۳۹۷

<http://www.iiwa.ir>



مطلب این شماره:

- اخبار انجمن
- رویدادهای پیشرو
- اخبار صنعت
- وضعیت سددهای مهم کشور

همکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف

دکتر مسعود نباش

مهندس سید احمدرضا شاهنشیان

پروش تاش

سخن اول:

مجله شماره ۲۹

در نظر شما در طراحی این روزهای این کتاب یک از

مؤلفان زیر رجوع است:

۱- در نظر گرفتن دوره بازگشتابی پایین از فرایند کردن

۲- امکان بازگشت سریع سیستم

۳- در نظر گرفتن انشور برای مواجهه با چهره برای

تربواریان در دوره دوره بازگشتابی با توجه محدود

۴- استفاده از گزیده منابع منتخب خود را در امور اسمبل

۵- در دسترس لایزال شلش مسئله را دارد کنید. در

پایان هر ماه در نظر گرفته به ایده فرقه خدمه ای امضا

میراث

در مهندسی زیر ساختهای آبی همواره سعی بر آن بوده است که با ارتقای اطمینان پذیری سیستمها حتی امکان از وقوع شرایط نامطلوب جلوگیری شود و اصطلاحاً سعی بر مقایسه سازی این سیستم ها بوده است. اما تجربیات سالی های اخیر در کشورهای مختلف مشخص نموده که به سبب قطعیتها و تغییرات شرایط محیطی به شدت متواند این رویکردها را به چالش کشیده و اسپهائی جدی را متوجه سیستم نمایند. مانند این که سیستم مدیریت سبائی برای دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله طراحی شده و با ناکاه با سبائی فراتر از آن مواجه می شود و با شکست چنین سیستمی خسارات بسیار فراتر از آن است که بتوان به بازسازی سیستم در زمانی معقول پرداخت. لذا به نظر می رسد ساخت زیرساختهایی با تاب آوری و استفاده پذیری بالا از اولویت بیشتری برخوردار است که هر چند ممکن است به صورت متناوب خساراتی را متوجه سیستم کنند اما از خسارات بسیار گسترده و عظیم به شدت خواهد گذشت.



۷۸

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
The Water & Wastewater Association

IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال سوم - شماره چهارم - تیر ماه ۱۳۹۷

اطلاعات تماس:
info@iwwa.ir
۰۲۱-۸۸۲۹۱۳۹۰

نشانی پستی:
تهران، خیابان طالقانی، بین خیابان، قدس و وصال، پلاک ۴۴۹، ۴۴۸، ۴۴۷



مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- رویدادهای پیشرو
- اخبار صنعت
- وضعیت سد های مهم کشور

نشانی تلگرام:
<https://telegram.me/iwwa54>

linkedin نشانی
<https://www.linkedin.com/in/iwwa-iwwa-098451117>

همکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف

دکتر سمود تابش

مهندس سید احمد رضا شاهنریان

سروش تابش

سخن اول:

مباحثه شماره ۱۶

به نظر شما بهترین فضای مشارکت بخش خصوصی در صنعت آب و فاضلاب کشور چیست؟

- ۱- ساخت شبکه های تریج آب
- ۲- توسعه شبکه های فاضلاب
- ۳- ساخت و بهره برداری از تصفیه خانه های آب و فاضلاب
- ۴- توسعه و مدیریت منابع آب تبیین

لطفا شماره گزینه منتخب خود را به ادرس ایمیل comp.iwwa@gmail.com یا در سامانه subject.iwwa.ir شماره مسافه فرمایید. در قسمت ایمیل شماره گزینه ای را وارد کنید. در پایان هر ماه به نفر برگزیده به قید قرعه هدیهایی ارایه می‌گردد.

این روزها بحث کمبود آب و لزوم استفاده صحیح از آب بسیار داغ است و مزید بر گرمای شدید روزهای تابستان شده است. در کنار اینکه وظیفه تک تک ما سعی در کاهش میزان مصرف است این سوال پیش می آید که آیا می توان بهره وری آب تا بین شده را بیش از پیش افزایش داد؟ آیا امکان دارد از حساب های تولیدی در برخی مصارف در یک مجموعه مسکونی و یا اداری و تجاری در همان جا استفاده نمود؟ تجربیات پیاپی سازی شده در کشورهای مختلف نشان میدهد که با تغییراتی در سیستم لوله کشی و دقت نظر در انتخاب مصارف این امر شدنی و بسیار مفید خواهد بود. پیاده سازی این امر در کشور به نظر میرسد دیر یا زود به گرسنه ای غیرقابل انکار تبدیل خواهد شد که لازم است از امروز برای آن تمهیدات لازم در نظر گرفته شود.



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWVA
Iran Water & Wastewater Association

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWVA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال سوم - شماره ششم - شهریور ماه ۱۳۹۷

اطلاعات تماس:
info@iwva.ir
۰۲۱-۸۸۲۹۱۳۹۰

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

نشانی تلگرام:
<https://telegram.me/IWVA94>

نشانی linkedin:
<https://www.linkedin.com/company/iwva-iran/>
098454117



مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- رویدادهای پیشرو
- اخبار صنعت
- وضعیت سدسازی مهم کشور

سابقه شماره ۲۸

اگر هدف این باشد که گفتات آب موجود در سیستم توزیع آب با استفاده از روشهای مختلف کاهش داده نشود، کدام یک از معاینات زیر صحیح است:

الف) افزایش رانندگی
ب) افزایش بهره وری
ج) صرفه جویی
د) ارتقای مدیریت مصرف

لطفاً شماره گزینه منتخب خود را در ابرس ایمیل 28-comp.iwva@gmail.com ارسال فرمایید. در قسمت subject، ایمیل، شماره سابقه و ژانر ذکر کنید. در پایان هر ماه به نفر برگزیده به دیدار هیئته ای اعطا می‌شود.

سخن اول:

صرفه جویی، بهره وری، رانندگی، استفاده بهینه، مدیریت تقاضا و مصرف و ... همه ما کم و بیش با این عبارات و اصطلاحات در ارتباط با آب برخورد داشته ایم و برای ما آشنا هستند. ولی تا به حال از خود سوال کرده اید که هریک از این عبارات چه مفاهیم و کاربردی دارند و کاربرد آنها چه پیامدهایی می‌تواند داشته باشد؟ در شرایط کم آبی فعلی به منظور کاهش تبعات نامطلوب ناشی از آن، کدام یک از این موارد و در چه شرایطی باید به کار برده شوند؟ به نظر می‌رسد شاید این چیزی که تلاشها را برای حصول نتایج مطلوب در مواجهه با شرایط کم آبی ناکام گذاشته است، این است که اصول و راهکارهای مناسب در زمان و مکان مناسب به کار برده نمی‌شوند. باید چشمها را شست، جور دیگر باید دید.

سخنرانی‌های برگزار شده توسط اعضای انجمن در سال ۱۳۹۶

مطابق اطلاعات جمع آوری شده از اعضای انجمن آب و فاضلاب ایران، سخنرانی‌های ارائه شده توسط اعضای انجمن در سال ۱۳۹۶ به شرح زیر است:

نام و نام خانوادگی	عنوان و محل سخنرانی
آقای دکتر تابش	اولین جشنواره آب مشهد
آقای دکتر تابش	همایش راه کارهای افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب
آقای مهندس قانع	نهمین همایش مدیران آب و فاضلاب شهرها و شهرستان‌های کشور، "مدیریت دینامیک طرح‌های آب و فاضلاب با رویکرد آسیب‌ها، تنگناها و وجوه تقویت شرکت‌های آب و فاضلاب"
آقای دکتر ضرغامی	اولین جشنواره آب مشهد
آقای دکتر ناصر طالب بیدختی (سخنران کلیدی)	دومین همایش توسعه پایدار در مهندسی عمران
آقای دکتر عالی	دانشگاه‌های نسل سوم مبتنی بر بسته‌های تحول و نوآوری در آموزش علوم پزشکی، دانشکده علوم پزشکی خوی
آقای دکتر صفوی	مدیریت بحران‌های طبیعی، استانداری اصفهان
آقای دکتر صفوی	چالش‌ها و فرصت‌های مدیریت منابع آب در فلات مرکزی ایران، دانشگاه کاشان
آقای دکتر صفوی	مدیریت منابع آب در حوضه زاینده‌رود، دانشکده هنر اصفهان
آقای دکتر صفوی	توسعه پایدار شهری و مدیریت منابع آب، شهرداری اصفهان
آقای دکتر کاوه حریری اصلی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
آقای دکتر کاوه حریری اصلی	سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گیلان
آقای دکتر کاوه حریری اصلی	سومین جلسه گروه کارشناسی کاربران نقشه و اطلاعات مکانی استان گیلان در سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان
آقای دکتر جلیلی قاضی زاده	اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدر رفت آب، دانشگاه شهید بهشتی
آقای مهندس اردوان نیکنام	بسته‌های سیاستی جهت اصلاح وضعیت آب کشور در هم‌اندیشی متخصصین آب و محیط زیست کشور
خانم دکتر آرمیس معتمدی و آقای دکتر مجید گلوی	ضرورت توسعه بهره‌برداری از پساب در قالب مدیریت سبز در هم‌اندیشی متخصصین آب و محیط زیست کشور، تهران
آقای دکتر تابش	افتتاحیه اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب، دانشگاه شهید بهشتی

کنفرانس های داخلی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
اولین دوره همایش ملی مدل سازی و فناوری های جدید در مدیریت آب	بیرجند، دانشگاه بیرجند	۱۹ و ۲۰ مهرماه	https://conf.birjand.ac.ir/MIWM/post.aspx?id=725
هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران	یزد، دانشگاه یزد	۲ و ۳ آبان ماه ۱۳۹۷	http://www.7wrmc.ir/fa/
دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران	اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان	۲۲ تا ۲۴ آبان ماه ۱۳۹۷	http://iwwa-conf.ir/

کنفرانس های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
16th International Conference of the IWA Specialist Group on Wetland Systems for Water Pollution Control	Valencia, Spain	30 September - 4 October 2018	http://icws2018.webs.upv.es/
iwater – International Integrated Water Cycle Show – Supported	Barcelona, Spain	13 - 15 October 2018	http://www.iwaterbarcelona.com/en/home
Water IDEAS 2018 International Conference on Efficient Management of Water Loss, Energy and Demand and on Smart Water Distribution Systems – Supported	Bologna, Italy	17 - 19 October 2018	http://water-ideas.com/2018/en/
XIII Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion (DAALXIII)	Medellin, Colombia	21 - 24 October 2018	http://ingenieria.udea.edu.co/daal13eng/
IWA Regional Conference on Opportunities for Water Reuse in Southeast Asia	Phuket Province, Thailand	31 October - 2 November 2018	http://iwareusethailand2018.org/
1st Latin American and Caribbean Young Water Professionals Conference	Querétaro, Mexico	5 - 8 November 2018	http://www.lac-ywpconference.org/
2nd Water Energy NEXUS International Conference – Supported	Salerno, Italy	14 - 17 November 2018	http://waterenergynexus.org/
Nutrient Removal and Recovery Conference 2018 – Closing the Loop	Brisbane, Australia	18 - 21 November 2018	http://www.nrr2018.org/
3rd Regional IWA Diffuse Pollution Conference	Chiang Mai, Thailand	19 - 22 November 2018	http://www.iwadp2018.nu.ac.th/
Pretreatment Industrial Water – Supported	Frankfurt am Main, Germany	27 - 30 November 2018	http://dechema.de/en/industrialwater.html
IWA 6th Regional Membrane Technology Conference	Vadodara, Gujarat State, India	10 - 12 December 2018	http://www.iwa-rmtc2018.in/
Efficient 2019 – The 10th IWA Specialist Conference on Efficient Urban Water Management	Manila, Philippines	13 - 16 January 2019	https://efficient2019.org/

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
8th International Conference on Swimming Pool & Spa – Supported	Marseille, France	19 - 22 March 2019	https://8thswimpoolspa.sciencesconf.org/
Wasser Berlin International 2019 – Supported	Berlin, Germany	26 - 28 March 2019	http://www.wasser-berlin.de/en/About/
12th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse	Berlin, Germany	16 - 20 June 2019	http://iwareuse2019.org/
10th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries	Rhodes, Greece	19 - 21 June 2019	http://agro2019.itu.edu.tr/
9th IWA Specialised Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	Toulouse, France	23 - 27 June 2019	https://mtc2019.sciencesconf.org/
International Young Water Professionals Conference	Toronto, Canada	23 - 27 June 2019	http://iwa-youngwaterprofessionals.org/
16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion	Delft, Netherlands	23 - 27 June 2019	https://www.ad16conference.com/
IWA Conference on Algal Technologies and Stabilisation Ponds for Wastewater Treatment and Resource Recovery	Valladolid, Spain	1 - 2 July 2019	http://eventos.uva.es/23274/detail/iwalgae-2019.html
The 11th International Symposium on Water Supply Technology – Supported	Yokohama, Japan	9 - 11 July 2019	http://www.iwa-network.org/events/the-11th-international-symposium-on-water-supply-technology-supported/
9th International Conference on Sewer Processes and Networks	Aalborg, Denmark	27 - 30 August 2019	http://www.spn9.dk/
3rd IWA Resource Recovery Conference	Venice, Italy	8 - 12 September 2019	http://www.iwarr2019.org/
20th International Symposium on Health Related Water Microbiology	Vienna, Austria	15 - 20 September 2019	http://www.iwa-network.org/events/20th-international-symposium-on-health-related-water-microbiology/

شرکت پادیاب تجهیز شرکت پادیاب تجهیز از سال ۱۳۷۶ با هدف معرفی و انتقال دانش و فناوری پیشرفته جهان در پروژه‌های مرتبط با مطالعات و سیستم‌های اندازه‌گیری آب و محیط زیست، هواشناسی، هیدرولوژی، اقیانوس‌شناسی، مهندسی رودخانه، آب و فاضلاب و هیدروژئولوژی مشغول به فعالیت است. خط مشی این شرکت تلفیق مشاوره مهندسی و خدمات نرم‌افزاری همراه با استفاده کاربردی و عملی از جدیدترین سیستم‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری مطابق با نیازها و شرایط و نصب و راه‌اندازی سیستم‌های مناسب تله‌متری است. اجرای پروژه‌های آموزشی در زمینه مهندسی آب و محیط زیست، ارائه سخت‌افزار، نرم‌افزار و تجهیزات پیشرفته مدل‌سازی فیزیکی همراه با خدمات مربوطه از جمله فعالیت‌های بخش آب و محیط زیست شرکت پادیاب تجهیز است.	 پادیاب تجهیز
---	---

شرکت مهندسين مشاور پرشیا ارس جنوب شرکت مهندسين مشاور پرشیا ارس جنوب با تکیه بر تجربه و نیروی جوان و تحصیل کرده، در سال ۱۳۹۰ در زمینه مطالعه، طراحی و نظارت پروژه‌های تاسیسات آب و فاضلاب و تاسیسات و تجهیزات نفت و پالایشگاه‌ها و پتروشیمی تاسیس شد. این شرکت به‌عنوان یک مجموعه دانش‌بنیان، حاصل تلاش مداوم نیروهای مجربی است که برآیند آن سابقه درخشان در زمینه‌های مدیریتی، فنی و تخصصی بوده و امروز به صورت یک شرکت سهامی خاص و با تجربه اجرای چندین پروژه مطالعاتی، طراحی و نظارت، به‌عنوان یکی از شرکت‌های مشاور شناخته شده در سطح کشور می‌باشد.	 PERSIA ARAS JONOUB Co.
---	--

شرکت توسعه خط لوله هامون (هپیکو) شرکت توسعه خط لوله هامون (هپیکو) در سال ۱۳۸۵ با هدف انجام امور مهندسی، طراحی، اجرا، نظارت و مدیریت پروژه‌های گوناگون عمرانی و صنعتی، به‌ویژه در زمینه خطوط لوله (آب و فاضلاب، نفت و گاز) و صنایع وابسته به آن فعالیت خود را آغاز نموده است. این شرکت با بهره‌مندی از سهامدارانی همچون شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران (بزرگ‌ترین تولیدکننده لوله‌های چدن داکتیل در کشور) و نیز اشخاص حقیقی دارای اعتبارات سرمایه‌ای و همچنین با پشتوانه تفاهم‌نامه‌های منعقد شده با تامین‌کنندگان سایر جنس لوله‌ها و همچنین شیرآلات و اتصالات و به‌کارگیری مهندسين مشاور معتبر، کلیه ابزارهای لازم برای عملیاتی نمودن طرح و پیشبرد اصولی پروژه را در قالب یک ستاد واحد و متمرکز فراهم نموده است. این شرکت همچنین توانایی اجرای طرح‌ها را در قالب انواع روش‌های سرمایه‌گذاری و به صورت‌های EPCF, EPC, PC و ... را دارا می‌باشد.	 هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company Hapico
---	--

	 ما راهی را پیدا می‌کنیم	 مهندسین مشاور آبخوان منابع آب - تأسیسات شهری - سدهای - کشاورزی، منابع طبیعی و دامپروری - جنگل‌ها و مهندسی رودخانه - محیط زیست
 هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company		 PERSIA ARAS JONOUB Co.
 سنجش افزار آسیا (با مسئولیت محدود)	 سپید یاس فراز (سهامی خاص)	 شرکت مهندسی تحلیل آب پایدار
 ثبت: ۱۵۲۲	 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	 MAHAB GHODSS CONSULTING ENGINEERING CO.
 مهندسین مشاور آبران	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	 شرکت آب و فاضلاب استان تهران

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 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 نمایند. مراحل پرداخت حق عضویت و اعطای کارت پس از ارسال ایمیل تأییدیه از سوی انجمن، شروع خواهد شد.

تذکر مهم:

با توجه به برگزاری مجمع عمومی و انتخابات انجمن در سال ۱۳۹۷، براساس ضوابط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تنها اعضای حقیقی که حق عضویت خود را پرداخت نموده باشند حق رأی خواهند داشت.

حق عضویت اعضای حقوقی

نوع شرکت	حق عضویت سالانه (ریال)
کوچک	۳۰۰۰۰۰
متوسط	۶۰۰۰۰۰
بزرگ	۱۰۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت سال ۱۳۹۷	۵۰۰۰۰۰
حق عضویت با تخفیف سال ۱۳۹۸	۴۵۰۰۰۰
حق عضویت با تخفیف ۳ ساله ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹	۱۲۰۰۰۰۰
هزینه صدور و ارسال کارت عضویت	۲۰۰۰۰۰

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۰۱۲-۶۲۵۶

بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) به نام انجمن آب و

فاضلاب ایران

لطفاً اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir)

ارسال فرمایید.

* هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۲۵۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۲۵۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی	۵۰۰۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی	۸۰۰۰۰۰۰

شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

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

- فایل Word مقاله بدون نام نویسندگان، که محل شکل‌ها و جدول‌ها را در متن مشخص کرده است اما شکل‌ها و جدول‌ها در انتهای متن ارائه شده‌اند.

- فایل pdf مقاله بدون نام نویسندگان که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی شده‌اند.

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

🌀 **نرم‌افزار حروف چینی:** نرم‌افزار Microsoft Word 2013

🌀 **عنوان:** کوتاه اما معرف محتوای مقاله است و از ۱۵ واژه تجاوز نمی‌کند.

🌀 **نام نویسنده(گان):** به همان ترتیبی که در مقاله چاپ می‌شود، در یک فایل جداگانه به طور کامل آورده می‌شود. عناوین دانشگاهی نویسنده(گان) به ترتیب نویسنده: مرتبه علمی، گروه، دانشکده، دانشگاه، شهر، کشور نشان داده می‌شود. 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 می‌شود، لذا تاکید می‌شود که فایل‌های ارسالی به مجله فاقد نام نویسنده(گان) باشد. در غیر این صورت تا اصلاح شدن فایل، ارسال مقاله برای داوران متوقف می‌شود.

🌀 **نام مؤسسه:** نام مؤسسه در بخش فارسی و انگلیسی منطبق بر نام مصوب و رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات، دانشگاه‌ها، سازمانها و ...).

🌀 **چکیده فارسی:** شامل مقدمه، مواد و روش‌ها (روش 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

نویسندگان محترم پس از آماده‌سازی مقاله مطابق راهنمای تدوین مقالات، از طریق ثبت نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب به آدرس jwwse.ir می‌توانند وارد صفحه شخصی خود شده و با تکمیل بخش‌های 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 می‌شود.

- نویسنده‌ای که برای بار چندم اقدام به ارسال مقاله می‌نماید، 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 می‌شوند 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 فایل‌ها 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 می‌نمایند. در غیر این صورت مقاله در روند داوری قرار نخواهد گرفت.

- فایل‌هایی که نویسنده در مرحله اولیه ارسال می‌کنند شامل فایل word مقاله بدون نام نویسندگان، فایل Pdf بدون نام نویسندگان، فایل مشخصات کامل نویسندگان و فایل اصلی شکل‌ها در محیط نرم‌افزاری مربوطه است.

🌀 دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات

مجله علمی- ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب به زبان فارسی و با چکیده انگلیسی چاپ می‌شود. 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.

🌀 **نویسنده مسئول مقاله به هنگام ثبت مقاله، فایل‌های زیر را برای دفتر مجله از طریق سامانه ارسال می‌نماید:**

تحقیق، بیشتر پیرامون آنها است.

🌀 **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 تصفیه خانه 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 صورتی که 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 صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که 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 Ganjoudous T.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 نویسند:

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, Collage of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

🌀 سایت اینترنتی:

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 3, No. 2, Summer 2018

Ministry of Science, Research and Technology of Iran has granted the Science and Promotion (Elmi-Tarviji) credit to JWWSE according to the letter No. 3/18/290129 at 6 March 2017.

Concessionaire

Iran Water and Wastewater Association (IWWA)

Director-in-Charge

Tabesh, M. (PhD)

Editor-in-Chief

Safavi, H.R. (PhD)

Editorial Board

Azimi, A.A. (PhD): Assistant Professor, University of Tehran and Islamic Azad University (Ahar Branch)

Bina, B. (PhD): Professor, Isfahan University of Medical Science

Ghanadi, M. (MSc): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water & Wastewater Engineering Company

Naseri, S. (PhD): Professor, Tehran University of Medical Sciences

Nazif, S. (PhD): Assistant Professor, University of Tehran

Safavi, H.R. (PhD): Professor, Isfahan University of Technology

Sajadifar, S.H. (PhD): Assistant Professor, Islamic Azad University, Shahriar Branch and Advisor of Deputy of Planning and Economical Issues, Iran National Water & Wastewater Engineering Company

Sarrafzadeh, M.H. (PhD): Associate Professor, University of Tehran

Tabesh, M. (PhD): Professor, University of Tehran

Takdastan, A. (PhD): Associate Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Sciences

Taleb Beydokhti, N. (PhD): Professor, Shiraz University

Torabian, A. (PhD): Professor, University of Tehran

Vosoghi, M. (PhD): Professor, Sharif University of Technology



Industrial Water and Wastewater Policy Council

Ghane, A.A. (MSc): Adviser of Managing Director, Iran National Water And Wastewater Engineering Company

Sayahi, A. (PhD): Director General of the Office of Research, Technology Development and Industry Relations, Iran Water and Wastewater Engineering Company

Hajhariri, A. (MSc): Former Deputy of Supervision of Operation, Tehran Water and Wastewater Company

Editorial Staff:

**Graphic Designer
and Page Setting:**

English Editor:

Publisher:

No. Prints:

Address:

Tel and Fax:

Online ISSN:

E-Mail:

Akhtari, N.

Mahdi Esfahani, N.

Ostadrahimi, A.

Iran Water and Wastewater Association (IWWA)

1000

No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran.

+98 21 88956097, +98 21 88391390

2588-395X

info@jwwse.ir



ISSN 2588-3941

Journal of Water & Wastewater Science and Engineering

Volume 3, No. 2, Summer 2018

Preface	2
Technical Papers	
Benchmarking Non-Revenue Water and Calculating Economic Leakage Level, Case Study: Isfahan Water and Wastewater Company Asieh Sadat Mollabashi, Hashem Amini and Hasan Gholami	4
Estimation the Marginal Cost of Production of Drinking Water in Tehran Fateme Molaei and Morteza Tahamipour	14
Studying the Effect of Factors Influencing the Change in Hazen-Williams Roughness Coefficient of Cast Iron Pipes during Operation Period Mohammad Kazemi Soochelmaei and Massoud Tabesh	23
Optimization of Water Distribution Systems by Maximizing the Profit (Case Study: Homashahr) Saeed Khalifeh, Kazem Esmaili and Hamid Khalifeh	35
A Review on Natural Adsorbents/ Nano-adsorbents Based on Chitosan for Removal of Metal Contaminants from Water Mohammad Hossein Noori Shamsi, Mostafa Jafari and Mohammad Shahin	44
Effect of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties under Cotton Cultivation Yahya Choopan, Abbas Khashei Siuki and Ali Shahidi	61
General Section	
Interview	69
Roundtable	73
Best Thesis	82
Book Presentation	85
IWWA News	87