



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ششم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ششم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

۲

مقالات علمی

۴

راهبردها و سیاست‌های توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب در ایران
سیدمحمد هادی مشکاتی، نازنین هم‌نبرد، علیرضا ولی‌پور و عباس اکبرزاده

۱۵

بررسی کارایی کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا به همراه پلی آلومینیوم کلراید
در حذف کدورت و باکتری‌های کلیفرم از آب رودخانه کارون
امید استرش، عبد الکاظم نیسی، افشین تكدستان و مهسا ولی‌پور

۲۳

کارایی حذف کدورت و برخی از فلزات سنگین آب توسط منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید
در حضور کمک منعقدکننده‌های بنتونیت و پلی الکترولیت (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی اصفهان)
فهیمة مهرانفر

۳۲

بهینه‌سازی فشار-انرژی در شبکه توزیع آب (مطالعه موردی: شهر بهارستان اصفهان)
حسین نصراللهی، رضا صفایی بروجنی و سید محمدحسین صالح

۴۵

ارزیابی نشست زمین ناشی از افت سطح ایستابی در دشت کاشان
محمد فتحی و مجید نوریان بیدگلی

۵۸

اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز شبکه اصلی جمع‌آوری سیلاب حوضه آبریز شهر تهران
برای انجام فعالیت‌های بهسازی
محمد شاه‌سوندی، جعفر یزدی، حسین زنگویی و معین آصفی

مطالب عمومی

۷۱

مصاحبه

۷۴

میزگرد

۹۱

پایان‌نامه برتر

۹۳

معرفی کتاب

۹۶

گزارش فعالیت‌های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

این نشریه دارای مجوز کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، به شماره ۱۲۹/۳۱۸/۲۹۰ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ و مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ۸۶۰۹۲ مورخ ۱۳۹۸/۱۰/۳۰ است.

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر تیکو تانیمبو: دانشیار، دانشگاه ویت واتر سراند، ژوهانسبورگ، آفریقای جنوبی

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

دکتر افشین تكدستان: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاپور اهواز

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

دکتر عبدالله رشیدی مهرآبادی: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

دکتر دراگان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن

دکتر سید حسین سجادی فر: شرکت آب و فاضلاب تهران و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی

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

بازیافت آب

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

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

دکتر راضیه فرمانی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

دکتر اورازیو گیوستولیسی: استاد، دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

مهندس علیرضا طباطبایی: مدیرکل دفتر نظارت بر بهره برداری آب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس علی اصغر قانع: مشاور مدیر عامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس مجید قنادی: مشاور معاونت مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس حمیدرضا هنری: عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه علوم پزشکی تهران

ناهید اختری

ناهید اختری، مهندس سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

فرشیوه

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه



شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

چاپ:

پیشگفتار..... ۲

مقالات علمی

راهبردها و سیاست‌های توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب در ایران..... ۴
سیدمحمدهادی مشکاتی، نازنین هم‌نبرد، علیرضا ولی‌پور و عباس اکبرزاده

بررسی کارایی کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا به همراه پلی آلومینیوم کلراید..... ۱۵
در حذف کدورت و باکتری‌های کلیفرم از آب رودخانه کارون
امید استرش، عبد الکاظم نیسی، افشین تکدستان و مهسا ولی‌پور

کارایی حذف کدورت و برخی از فلزات سنگین آب توسط منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید..... ۲۳
در حضور کمک منعقدکننده‌های بنتونیت و پلی الکترولیت (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی اصفهان)
فهیمة مهرانفر

بهینه‌سازی فشار-انرژی در شبکه توزیع آب (مطالعه موردی: شهر بهارستان اصفهان)..... ۳۲
حسین نصراللهی، رضا صفایی بروجنی و سید محمدحسین صالح

ارزیابی نشست زمین ناشی از افت سطح ایستابی در دشت کاشان..... ۴۵
محمد فتحی و مجید نوریان بیدگلی

اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز شبکه اصلی جمع‌آوری سیلاب حوضه آبریز شهر تهران..... ۵۸
برای انجام فعالیت‌های بهسازی
محمد شاه‌سوندی، جعفر یزدی، حسین زنگویی و معین آصفی

مطالب عمومی

مصاحبه..... ۷۱

میزگرد..... ۷۴

پایان‌نامه برتر..... ۹۱

معرفی کتاب..... ۹۳

گزارش فعالیت‌های انجمن..... ۹۶



مطمئن تامین آب آشامیدنی و جایگزین تصفیه‌خانه‌های آسیب دیده هستند.

به رغم چنین کارکردهای مهمی، آب‌های زیرزمینی، ناپیدا و از دید و ذهن ما دور هستند و به‌رغم پیشرفت در دانش و مهارت متخصصان، آب‌های زیرزمینی هم‌چنان برای بیش‌تر مردم و حتی اغلب مهندسان و مدیران، چندان شناخته شده نیست. فعالیت‌های انسانی (از جمله افزایش جمعیت و رفاه) و تغییرات اقلیمی، فشار بر آب‌های زیرزمینی را افزایش داده و در بسیاری از نقاط جهان منجر به آلودگی و یا افت سطح آبخوان‌ها و بروز مشکلاتی در استحصال آن‌ها، شده است. ساختار زمین، الگو و طول جریان آب در لایه‌های زمین، زمان ماند آب و پوشش گیاهی منطقه نیز بر کیفیت این منابع اثرگذار است. پساب‌های کشاورزی، فاضلاب‌های انسانی و صنعتی، دفن زباله، ترافیک و حمل و نقل و مانند آن، همگی آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کنند. به این نکته نیز باید توجه داشت که آب‌های زیرزمینی، تابع مرزهای قراردادی نیستند و برداشت از آن‌ها در یک منطقه، بر کمیت و حتی کیفیت این آب‌ها در مناطق دیگر، تاثیرگذار است. این نکته هنگامی پیچیده‌تر می‌شود که بدانیم بیش‌تر آبخوان‌های بزرگ جهان، فرامرزی هستند و به الزام باید در یک فرآیند مسئولیت مشترک و با شفافیت و مشارکت در تولید و رایاه اطلاعات و با حاکمیت قانون اداره شوند.

صرف‌نظر از اهمیت آب‌های زیرزمینی و تهدیدهای آشکار و پنهان آن‌ها، هنوز اطلاعات جهانی جامعی پیرامون وضعیت و روندهای فعلی این منابع وجود ندارد. درک ارتباط آب‌های زیرزمینی با سلامت، مهاجرت، گردشگری، تنوع زیستی و بسیاری از بخش‌های حیاتی دیگر زندگی ما، کمک می‌کند تا آب‌های زیرزمینی، از منابعی ناپیدا، به ثروتهایی گران بها بدل شوند و شاید کمی بیش‌تر در ذهن و نگاه ما آشکار شوند.

در کشور ما، منابع آب زیرزمینی به دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند. گروه نخست ذخایر استاتیکی راهبردی هستند که در طول سال‌ها و قرن‌های گذشته تشکیل شده‌اند. برداشت از این ذخایر، بسیار خطرناک است و سبب ساقط شدن آبدهی آن‌ها می‌شود و تنها برداشت بخشی از این ذخایر، فقط در شرایط اضطراری توصیه شده است. گروه دوم، ذخایر دینامیکی قابل بهره‌برداری است که به دو طریق اصلی زیر تشکیل می‌شوند:

- نفوذ از ارتفاعات (حجم آب زیرزمینی ایجاد شده از این روش، ۳۶/۶۶ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است).
- نفوذ در دشت‌ها (حجم آب زیرزمینی ایجاد شده از این روش، ۷/۵۴ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است).

به این ترتیب حجم ذخایر دینامیکی مطمئن منابع آب زیرزمینی کشور که برای استفاده از آن می‌توان برنامه‌ریزی کرد، حدود ۴۴/۲ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است. باید توجه داشت که با

آب‌های زیرزمینی، پیدای ناپیدا



مهندس مجید قنادی

کارشناس ارشد شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
و عضو شورای سیاست‌گذاری نشریه

عمده ذخایر مایع آب شیرین کره زمین، در آب‌های زیرزمینی قرار دارد. حجم این منابع ناپیدا، حدود ۱۰ میلیارد میلیون (۱۰^{۱۶}) مترمکعب و صد برابر بیش‌تر از حجم آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها در یک لحظه معین، برآورد شده است. آب‌های زیرزمینی را کد نیستند و به آهستگی بسیار جریان دارند و حرکت آن‌ها، نقش تعیین کننده در چرخه طبیعی آب دارد. حدود یک سوم آبدهی آب‌های جاری زمین، با برآورد حجمی در حدود ۱۲ هزار میلیارد مترمکعب در سال، در مسیرهای کم و بیش بلند زیرزمینی در گردش است.

در مقیاس جهانی، آب‌های زیرزمینی به تقریب نیمی از آب آشامیدنی، حدود ۴۰ درصد آب کشاورزی آبی و حدود یک سوم آب مورد نیاز صنعت را تامین می‌کنند. این منابع ارزشمند، دور از چشم ما و در زیر پای ما، گنج‌های پنهانی هستند که از اکوسیستم‌ها محافظت، جریان پایه رودخانه‌ها را حفظ و از فرونشست زمین جلوگیری کرده و به این ترتیب نقش بی‌بدیل خود را در حفظ و تداوم حیات در کره زمین ایفا می‌کنند. در دوران ما که پیامدهای متاثر از تغییر اقلیم، یکی از مشکلات اصلی پیش روی جوامع انسانی است، مدیریت مطلوب آب‌های زیرزمینی با ظرفیت ذخیره قابل توجه، بخشی از ساز و کارهای سازگاری با تغییر اقلیم است چراکه اغلب منبع اصلی و شاید تنها گزینه تامین آب در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌روند. در رخداد بلایای طبیعی و درگیری‌ها و مناقشه‌ها نیز که تاسیسات آبرسانی تخریب و یا آسیب می‌بینند، سفره‌های زیرزمینی، منبع

لحاظ تداوم خشکسالی و تقلیل نزولات آسمانی در سال‌های اخیر، حجم واقعی ذخایر دینامیکی منابع آب زیرزمینی کشور، کمتر از ۴۴/۲ میلیارد مترمکعب در سال است. این درحالی است که به‌عنوان مثال در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵، افزون بر ۱۷۳ هزار چشمه با تخلیه سالانه ۱۰/۶ میلیارد مترمکعب، ۴۱ هزار رشته قنات با تخلیه سالانه ۴/۵ میلیارد مترمکعب و ۸۰۵ هزار حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق با تخلیه‌ی سالانه‌ی حدود ۴۵/۵ میلیارد مترمکعب، در مجموع سالانه ۶۰/۶ میلیارد مترمکعب آب از منابع زیرزمینی کشور برداشت کرده‌اند. این روند که با اندک تغییری در آمارها، در سال‌های گذشته و پیش روی هم‌چنان تداوم دارد، کشور ما را در جایگاه نخست بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در کشورهای منطقه جنوب غرب آسیا و شمال آفریقا (منطقه منا) قرار داده است.

در سه دهه اخیر میزان منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر کشور، متأثر از کاهش نزولات آسمانی، با ۱۰/۵ درصد کاهش، از ۴۶/۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۷۳ به کمتر از ۴۱/۶ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۹ تقلیل یافته است. برداشت بیش از توان بازیابی این منابع سبب شده است که طی پنجاه و پنج سال، تراز آبخوان‌های زیرزمینی کشور، با میانگین سالانه ۵۵ سانتی‌متر و متوسط تجمعی ۲۵ متر در طی پنجاه سال کاهش یابد و طی دوره ۹۹-۱۳۴۴، ظرفیت آن‌ها با کسری تجمعی بیش از ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال مواجه شود. این رخداد نامیمون سبب شده است تا از مجموع ۶۰۹ محدوده مطالعاتی در دشت‌های کشور، ۴۱۰ محدوده (۶۷/۳ درصد) در وضعیت "ممنوعه" و "ممنوعه بحرانی" قرارگیرند. پیامد تخلیه آبخوان در دشت‌های ممنوعه، ایجاد فرو چاله‌ها و فرو نشست زمین است که نمونه‌های آن به فراوانی مشاهده و گزارش می‌شود.

گزارش‌های جهانی حکایت از آن دارد که میزان برداشت از چاه‌های آب، از ۵/۵ مترمکعب در روز در چاه‌های خصوصی تا بیش از ۲۷ هزار مترمکعب در روز در چاه‌های آب کشاورزی، شرب و صنعتی در نوسان است و در صورتی که بهره‌برداری آن‌ها، به درستی طراحی و مدیریت نشود، حسب شرایط محلی، پیامدهایی هم‌چون تخلیه آبخوان، تجاوز به حبابه دیگر کاربران، نفوذ القایی (Induced infiltration) (مکش آب‌های سطحی مجاور و نزدیک به درون سفره)، پیشروی آب‌های شور، فرو نشست و در مواردی بالا آمدن پوسته زمین (Crustal uplift) را به‌همراه خواهد داشت.

Review Paper

مقاله مروری

**Strategies and Policies for the Development
of Wastewater Treatment Technologies in
Iran**

**راهبردها و سیاست‌های توسعه فناوری‌های
تصفیه فاضلاب در ایران**

Seyyed Mohammad Hadi Meshkati^{1*}, Nazanin Hamnabard², Alireza Valipour³ and Abbas Akbarzadeh⁴

1- Assistant professor, Department of Hydraulic Engineering and Hydro-Environment, Water Research Institute, Tehran, Iran.

2- Research Expert, Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.

3- Ph.D., Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.

4- Assistant professor, Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: h_meshkati@yahoo.com

سیدمحمدهادی مشکاتی^{۱*}، نازنین هم‌نبرد^۲، علیرضا ولی‌پور^۳ و عباس اکبرزاده^۴

۱- استادیار، پژوهشکده مهندسی هیدرولیک و محیط‌های آبی، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

۲- کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

۳- دکتری تخصصی، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

۴- استادیار، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: h_meshkati@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Received: 20/02/2021

Revised: 07/07/2021

Accepted: 31/07/2021

© IWWA

Abstract

چکیده

Designing and promoting innovative methods with up-to-date and localized technical solutions can be helpful in efficient management of the wastewater treatment industry and achievement of sustainable development. Despite this, prevailing laws and policies are sometimes ineffective or do not support the desired results. Therefore, the preparation of an upstream strategic document by taking into account the opportunities and challenges, particularly in the field of wastewater treatment technology development, can identify gaps and take measures to resolve them in order to refer the necessary measures to the relevant agencies. In this research, in addition to the future studies on the development of wastewater treatment technologies, vision and quantitative indicators for the next twenty years were determined. Accordingly, the opinions of 58 managers of the country's water and wastewater department, industry experts and university professors were used through the meetings of the technical and steering committee. The basis for formulating the actions and policies required in this research is the Technological Innovation System (TIS) based on components for the development, dissemination and exploitation of technology. In this research, while enumerating the challenges of the development of wastewater technology in the country, the relevant policies have been explained.

طراحی و ترویج روش‌های نوین و برخوردار از راه‌کارهای علمی و فناورانه، به‌روز و بومی شده می‌تواند در مدیریت کارآمد صنعت تصفیه فاضلاب و نیز دستیابی به توسعه پایدار مؤثر واقع شود. در این راستا قوانین و سیاست‌های کنونی، بعضاً کارایی لازم را نداشته و یا منتهی به نتایج مطلوب نشده است. از این‌رو تهیه یک سند راهبردی بالادستی، به‌ویژه در حوزه تخصصی توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب، با در نظر گرفتن کلیه فرصت‌ها و چالش‌های موجود می‌تواند خلأها را شناسایی نموده و برای مرتفع نمودن آن‌ها، ترتیبی اتخاذ نماید تا اقدامات لازم‌الاجرا به دستگاه‌های ذیربط ارجاع شود. در این تحقیق ضمن آینده‌پژوهی در خصوص توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب به چشم‌اندازپردازی و تعیین شاخص‌های کمی تا ۲۰ سال آینده با استفاده از نظرات ۵۸ نفر از مدیران بخش آب و فاضلاب کشور، خبرگان صنعت و اساتید دانشگاه ذیل جلسات کمیته فنی و راهبری پرداخته شد. مبنای تدوین اقدامات و سیاست‌های موردنیاز در این پژوهش، نظام نوآوری فن‌آورانه مبتنی بر مولفه‌هایی برای توسعه، انتشار و بهره‌برداری از فن‌آوری بوده است. در این تحقیق ضمن احصای چالش‌های توسعه فناوری فاضلاب در کشور به تبیین سیاست‌های مربوطه پرداخته شده است.

Keywords: Technology development, Wastewater treatment, Strategic plan

کلمات کلیدی: توسعه فناوری، تصفیه فاضلاب، سند راهبردی

جمع‌آوری شده حدود ۵/۷ میلیون مترمکعب در شبانه‌روز بوده که با شبکه‌ای به طول ۶۴ هزار کیلومتر جمع‌آوری شده و در حدود ۵/۳ میلیون مترمکعب از آن تصفیه می‌شود (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۸).

در روستاهای کشور نیز تا پایان سال ۱۳۹۸ و براساس آمار مذکور حدود ۱۰۰ هزار نفر تحت پوشش شبکه جمع‌آوری فاضلاب هستند که به حدود ۲۲ هزار مشترک اختصاص داشته و کمتر از ۰/۵ درصد جمعیت را پوشش می‌دهد. همچنین تعداد تصفیه‌خانه‌های روستایی ۳۷ عدد با ظرفیت بهره‌برداری حدود ۱۱ هزار مترمکعب در روز بوده و طول شبکه جمع‌آوری فاضلاب ۱۱۲۵ کیلومتر است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۸).

با عنایت به دامنه گسترده تصفیه فاضلاب در کشور و همچنین آینده آن؛ توسعه فن‌آوری‌های مربوطه با در نظر داشتن تنوع اقلیمی و همچنین شرایط و زیرساخت‌های موجود در هر منطقه مانند پتانسیل‌ها و محدودیت‌های فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی به برنامه‌ای مدون و راهبردی نیاز دارد. با توجه به اهمیت موضوع و همچنین به منظور پیاده‌سازی اسناد بالادستی همچون نقشه جامع علمی کشور و برنامه‌های راهبردی وزارت نیرو در حوزه آب و فاضلاب در چشم‌انداز ۱۴۰۴، تحقیق حاضر در خصوص تدوین نقشه راه فناوری‌های نوین تصفیه فاضلاب تعریف شد. در این تحقیق ضمن آینده‌پژوهی در این زمینه و تبیین چشم‌انداز و اهداف و شاخص‌های دستیابی به آن‌ها و همچنین تبیین چالش‌های و سیاست‌های حوزه، نقشه راه توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب ترسیم شده است. با توجه به گستردگی نتایج سند راهبردی و نقشه راه و افزایش اثربخشی آن، در کلیه مراحل تحقیق حاضر از نقطه‌نظرات مدیران و کارشناسان شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و منتخبی از شرکت‌های تابعه، شرکت‌های مهندسی مشاور در حوزه صنعت تصفیه فاضلاب و اساتید دانشگاه‌ها و خبرگان در قالب برگزاری مصاحبه و جلسات کمیته‌های فنی، کمیته راهبری و کمیته تلفیق بهره‌گیری و استفاده شده است.

۲- آینده‌پژوهی در تصفیه فاضلاب

آب پاک و سالم یکی از اساسی‌ترین منابع انسان‌ها برای زندگی بر روی کره زمین است. به دلیل کمبود آب در دنیا در سال‌های اخیر، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از پساب اهمیت زیادی پیدا کرده است. از سوی دیگر صنعت تصفیه فاضلاب در طول حیات

تصفیه فاضلاب و توسعه پایدار از همبستگی بالایی برخوردار هستند و همین امر موجب شده است که برای حفظ سلامت اکوسیستم‌ها و انسان بسیار مهم تلقی شوند. لذا در سطح جهانی «دسترسی به آب تمیز و بهداشت عمومی برای همه» به عنوان یکی از اهداف توسعه پایدار بیان می‌شود و صرف‌نظر از همه تلاش‌های قابل‌توجه سازمان ملل، تقریباً ۳۲٪ از جمعیت جهانی از امکانات تصفیه فاضلاب برخوردار نیستند. دلیل این محدودیت در کشورهای در حال توسعه و پیشرفته متفاوت است. در کشورهای در حال توسعه کمبود افراد متخصص و هزینه زیاد، مهم‌ترین چالش برای نصب و بهره‌برداری از فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب به‌شمار می‌رود در حالی که کشورهای پیشرفته به واسطه رعایت دقیق مقررات محیط‌زیستی نیازمند فناوری‌های نوین تصفیه فاضلاب هستند (Ullah et al., 2020).

کشور ایران در منطقه نیمه‌خشک دنیا قرار گرفته است و کاهش سرانه آب تجدیدپذیر و ذخیره آب‌های زیرزمینی کشور از یک سو و توسعه شهرنشینی، صنعت و کشاورزی از سوی دیگر، تأمین آب موردنیاز در کشور را دچار مشکلات جدی نموده است. همچنین با توجه به افزایش پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی و آلوده شدن منابع آب، نیاز به برنامه‌ریزی در این بخش را حساس‌تر می‌نماید. از آنجایی که امکان افزایش منابع آب تجدیدشونده با توجه به شرایط موجود تقریباً امری غیرممکن است، تأمین نیازهای آبی از طریق منابع آب غیرمتعارف و مخصوصاً تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از پساب تولیدی به عنوان یک منبع پایدار در این خصوص خواهد بود.

امروزه با گذشت زمان، کشورهای مختلف با توجه به امکانات و محدودیت‌های خود، روش‌های مختلف و متنوعی را برای تصفیه فاضلاب و با رویکرد افزایش کارایی و بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها اجرایی نموده‌اند. در این روش‌ها، تجهیزات و ابزارهای جدید و پیشرفته نیز نقش مهمی را در تحول این حوزه به دنبال داشته‌اند. در کشور ایران، پس از تصویب و ابلاغ قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب در دی ماه ۱۳۶۹، توجه جدی و اهتمام ویژه‌ای به موضوع جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شده است. مطابق آمار و اطلاعات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در پایان سال ۱۳۹۸، ۵۲/۴ درصد از جمعیت شهرها (حدود ۳۳ میلیون نفر) تحت پوشش تأسیسات فاضلاب شهری در ۲۳۷ تصفیه‌خانه بوده که شامل حدود ۷ میلیون مشترک فاضلاب خانگی و حدود ۷۰۰ هزار مشترک فاضلاب غیرخانگی است. حجم کل فاضلاب

به‌عنوان مثال در برخی مناطق، نیاز به استفاده مجدد باعث ساخت تصفیه‌خانه‌های غیرمتمرکز می‌شود و محدودیت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز بر انتخاب فن‌آوری‌های تصفیه به‌ویژه برای مدیریت لجن تأثیرگذار خواهد گذاشت.

- **تعامل جامعه:** روند فعلی برای افزایش مشارکت ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری‌های مربوط به ابزارهای اقتصادی که بر تأسیسات فاضلاب یا هزینه خدمات تأثیر می‌گذارد باید ادامه یابد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود عوامل متعددی بر آینده حوزه تصفیه فاضلاب تأثیرگذار هستند و لذا نقشه راه توسعه این حوزه باید انعطاف‌پذیری لازم برای پاسخگویی به این عوامل تأثیرگذار در آینده را داشته باشد. هم‌چنین نقشه راه باید به امکانات موجود، نقاط قوت و ضعف اساسی و مهم‌ترین نیازها و فرصت‌های تغییر توجه نماید. لذا برای احصای سیاست‌ها و تدوین نقشه راه مناسب در تحقیق حاضر، به نکات فوق‌الذکر توجه ویژه‌ای شده است.

۳- تبیین چشم‌انداز و اهداف

چشم‌انداز یک سازمان یا یک نهاد حقوقی بیانگر افق و جایگاه مطلوب، آرمانی و رقابتی برای آن سازمان یا نهاد است. در حقیقت، پس از تدوین مأموریت، باید مقصد نهایی در یک افق زمانی مشخص با فرض انجام کامل مأموریت خود، مشخص و تعیین شود. با تهیه چنین تصویری از آینده، فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیران ارشد، میانی و حتی کارکنان یک سازمان دارای یک هدف واحد و زمان رسیدن به چشم‌انداز تعیین شده می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های چشم‌انداز می‌توان به مواردی هم‌چون قابلیت دستیابی در زمان مورد نظر و کمیت‌پذیری، برآیند آثار ناشی از مزیت‌ها، رافع چالش‌ها، جامع، تحول‌گرا، آینده‌نگر و پویا، دارای افق زمانی معین، بلندپروازانه و در عین حال منحصر به فرد اشاره نمود.

برخی از مهم‌ترین روش‌های تدوین و خلق چشم‌انداز روش‌هایی هم‌چون روش پنج چرا، استوارت، کیگلی، برت‌نی‌نوس و لاتام است. در این تحقیق با بهره‌گیری از ترکیب روش‌های کیگلی و لاتام، چشم‌انداز نهایی نقشه‌راه توسعه فناوری تصفیه فاضلاب بدین صورت تصویر شد که در افق زمانی ۱۴۲۰ «ایران کشوری توانمند در مدیریت فاضلاب با فن‌آوری‌های سازگار و هم‌افزا با محیط‌زیست» خواهد بود.

در خصوص تعیین اهداف کلان نیز مدل‌هایی همچون مدل کارت امتیازی متوازن، مدل پیرس و رابینسون، مدل ترکیبی فیلیپس و مدل اعرابی متدوال هستند. همچنین از منظر رویکرد،

خود همواره با مشکلات مختلفی روبرو بوده است که مهم‌ترین آن‌ها شامل مواردی هم‌چون بازچرخانی فاضلاب و فاکتورهای بهینه‌سازی، اتوماسیون پایش، آنالیز فاضلاب، کاهش آلودگی فلزات سنگین، تغییرات الگوی مصرف انسان، سیستم مدیریتی و زیرساخت‌ها است. بر همین اساس همواره لازم است فن‌آوری‌های مورد استفاده در تصفیه فاضلاب، به‌روزرسانی و ارتقا یابند. پیش‌رو بودن در فن‌آوری امری مهم است و باید در طول زمان کسب شود. بررسی‌ها و مطالعات آینده‌پژوهی صورت‌گرفته در این تحقیق از مجموعه‌ای از کشورهای مختلف نشان داد که عموماً فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب در جستجو و تحول در خصوص پنج روند اساسی شامل موارد ذیل می‌شود (Reardon et al., 2013; Roeleveld et al., 2010; Zhang et al., 2016; Tong and Elimelech, 2016; Neczaj and Grosser, 2018).

- **حذف و بازیابی مواد مغذی:** حذف مواد مغذی برای کاهش نیتروژن و فسفر از دهه ۱۹۸۰ در مرکز تصفیه فلوریدا آغاز شد. با گذر زمان، تقریباً تمام مراکز تصفیه روش‌های حذف و بازیابی مواد مغذی را به‌کار گرفتند. با این‌حال، بازیابی و استفاده مجدد از مواد، به‌خصوص فسفر، به احتمال زیاد در طول زمان در مراکز بزرگتر اجباری می‌شود. بنابراین استفاده از یک رویکرد مشخص برای حذف و بازیابی مواد مغذی بهترین روش در درازمدت خواهد بود.
- **حذف ترکیبات آلی:** نگرانی‌های عمومی نسبت به وجود مواد شیمیایی آلی در آب باعث سرعت‌گرفتن استفاده از فن‌آوری‌های پیشرفته تصفیه برای حذف این ترکیبات از فاضلاب شده است. اگرچه توافق عمومی نسبت به نیاز به حذف ترکیبات آلی وجود دارد؛ اما نظرات در مورد ترکیباتی که باید حذف شوند و فن‌آوری‌های موردنیاز، هم‌چنان و تا حدودی متفاوت است.
- **تولید انرژی:** افزایش هزینه‌های انرژی همراه با محدودیت‌های اعمالی بر گازهای گلخانه‌ای، انگیزه‌ای برای مدیریت مؤثرتر و ایجاد استراتژی‌های جایگزین در زمینه انرژی فراهم آورده است. این روندها تأسیسات تصفیه فاضلاب را به سمت خنثی‌بودن در مصرف انرژی یا مثبت بودن در تولید انرژی پیش می‌برد. در نتیجه انرژی فقط مدیریت نمی‌شود بلکه در عوض بازیابی و استفاده مجدد می‌شود. ابتکارات فعلی برای افزایش تولید بیوگاز، مدیریت تقاضای اکسیژن و تجهیزات کنترل کارآمد برای استفاده از انرژی، صنعت را در جهت صحیح هدایت خواهد نمود.
- **پایداری:** مدیریت بهتر سرمایه‌های طبیعی، انسانی، اجتماعی و فکری برای حفظ شرایط پایدار در آینده ضروری است.

(سطح ۲) و آرمانی (سطح ۳) به همراه موقعیت فعلی استانداردهای ایران و کشورهای یادشده در جدول ۱ مقایسه شده است. سلولهای خاکستری رنگ در این جدول به حداقل مقادیر پارامترهای کیفی پساب در سه سطح مذکور اشاره دارد. لازم به ذکر است در کشور چین با توجه به نوع مصارف پساب، سه سطح و درجه کیفی برای پارامترها تعریف شده که G1-A مربوط به استفاده مجدد، G1-B و G2 به تخلیه پساب به آب سطحی اشاره دارد. همچنین عدم نمایش کشورها در یک پارامتر (همچون کلیفرم و چربی و روغن) به معنای عدم وجود استاندارد مشخص در آن کشور برای آن پارامتر است (سازمان حفاظت از محیط زیست، ۱۳۷۳؛ Arslan-Alaton et al., 2007; Act EP, 2002; Margane and Steinel, 2011; Dalahmeh and Baresel, 2014; Angelakis and Snyder, 2015; Lu et al., 2016; Zhou et al., 2018)

با توجه به بررسی وضعیت فعلی استانداردهای کشور و از آنجا که موقعیت ایران در تمامی پارامترها (به جز COD و آمونیوم) در مرحله بنیادی است و همچنین با نظر خبرگان و بخش آب و فاضلاب کشور و ظرفیتهای موجود، مقادیر استانداردهای مهم کیفی پساب برای ۵ پارامتر اصلی در افق نقشه راه، به شرح جدول ۲ تعیین شده است. به عنوان مثال تا سال ۱۴۲۰، با توجه به پیشرفت علمی و اقتصادی، لازم است تا پایین ترین پله سطح پیشرفته (۲۵ برای BOD، ۲ برای TP) برسد اما برای مقدار COD با توجه به شرایط کنونی رسیدن به بالاترین مرحله در سطح پیشرفته منظور شد. همچنین با توجه به این مطالعه، پیش بینی شده است مقدار E.Coli نیز به پایین ترین سطح مرحله پیشرفته با مقدار ۲۰۰ برسد چرا که موقعیت ایران در حال حاضر در کمترین پله از استاندارد بنیادی برای این کمیت قرار دارد. لازم به ذکر است شاخصهای پارامترهای اصلی پساب باید برای مصارف مختلف تفکیک شود. لیکن با توجه به محدودیتها و ظرفیتهای موجود در شرایط کنونی کشور، ارائه شاخصهای تفکیک شده برای کشور نیازمند مطالعات مربوطه و تدوین استانداردهای پیش نیاز است. لذا در این گام صرفا به ارائه یک حد مجاز برای کیفیت پساب مطابق جدول ذیل بسنده شده و البته در این خصوص، مواردی در بسته های سیاستی پیشنهادی منظور شده است.

همچنین براساس برنامه ششم توسعه کشور و سایر اسناد بالادستی، سایر شاخصهای کمی و مرتبط با اهداف کلان برای توسعه فن آوریهای تصفیه فاضلاب به شرح جدول ۳، پیشنهاد شد. لازم به ذکر است مقادیر اولیه این شاخصها براساس سالنامه آماری شرکت آبفای کشور معین شده و مقادیر آنها در افق نقشه

دو روش بالا به پایین و پایین به بالا مرسوم است. در تحقیق حاضر با استفاده از رویکرد بالا به پایین، اهداف کلان استخراج شد. در ادامه ضمن تبیین شاخصهای مدنظر برای این اهداف، با رویکرد یادشده به استخراج چالشها و سیاستهای لازم برای دستیابی به این اهداف پرداخته شد.

۴- شاخصهای توسعه فناوری تصفیه فاضلاب

یکی از مهم ترین نکات در نقشه راه توسعه فناوری، تدوین شاخصهایی برای دستیابی به اهداف کلان سند بوده تا از این طریق، قابل ارزیابی باشند. به کمک این شاخصها و در کنار اهداف، تصویر آینده کشور در افق طرح ترسیم می شود. در تحقیق حاضر ضمن مرور اسناد بالادستی شاخصهای کیفی ذیل برای توسعه فن آوریهای تصفیه فاضلاب تعیین شده است.

- واقعی شدن قیمت آب و تخصیص درآمد برای توسعه فن آوریهای اولویت دار در این حوزه؛
- مدیریت یکپارچه آب و پساب از طریق بازتخصیص پساب به بخش کشاورزی، صنعت و فضای سبز؛
- تقویت سرمایه گذاری داخلی و خارجی با خرید تضمینی پساب تصفیه شده؛
- بومی سازی تأسیسات و فن آوریهای اولویت دار تصفیه فاضلاب؛
- توسعه سیستمهای تصفیه با تمرکز بر استحصال انرژی، تولید مواد ارزشمند و افزایش بهره وری؛
- ارتقای سیستمهای تصفیه فاضلاب با هدف کاهش لجن تولیدی و انرژی مصرفی؛
- ارتقای کیفیت پساب و افزایش بهره وری سیستم با توجه به نحوه مصرف آن در کشور؛
- توسعه فن آوریهای تصفیه فاضلاب با بهره گیری از مزایای انرژیهای تجدیدپذیر.

از سوی دیگر در این تحقیق با بهره گیری از تجارب سایر کشورها و وضعیت موجود کشور سعی شده شاخصهای کمی اهداف نیز استخراج شود. بر همین اساس استانداردهای تخلیه پساب به آبهای سطحی کشورهای پیشرفته (مجمع جهانی اروپا، امریکا و کشور چین) و همچنین چند کشور منتخب (ترکیه و اردن) که در متون علمی مورد استناد قرار گرفته بود بررسی و استخراج شد. مقادیر مجاز و استاندارد برای پارامترهای مهم به منظور تخلیه پساب به آب سطحی در سه رده بنیادی (سطح ۱: وضعیتی که باید در سال ۲۰۲۰ حاصل شده باشد)، پیشرفته

ناظرین محترم پروژه، این مقادیر با توجه به مراجع موجود در این زمینه برای افق نقشه راه تعیین شده‌اند (Nayeb et al., 2019).

۵- چالش‌ها و سیاست‌ها

مبنای تدوین اقدامات و سیاست‌های موردنیاز در این تحقیق، نظام نوآوری فن‌آورانه بوده است. نظام نوآورانه فن‌آورانه عبارت از شبکه‌ای پویا از عاملان است که در یک ناحیه اقتصادی و صنعتی تحت زیرساخت‌های نهادی خاص با یکدیگر در تعامل بوده و در تولید، انتشار و بهره‌برداری از فن‌آوری سهمیم هستند. هدف تحلیل‌های نظام نوآوری فن‌آورانه، ارزیابی روند توسعه یک نوآوری فن‌آورانه از نگاه ساختار و فرآیندهایی است که به پشتیبانی و یا ممانعت از آن می‌پردازد (Negro et al., 2008).

راه، ابتدا با توجه به فرض توزیع نرمال روند رشد اهداف، تعیین و سپس با نظر خبرگان تدقیق شد (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۸). افزایش جمعیت در این جدول با در نظر گرفتن رشد ۱/۵ درصد سالانه جمعیت شهری نسبت به آخرین سال آماری با اطلاعات در دسترس در مرکز آمار ایران، محاسبه شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹). افزایش جمعیت تحت پوشش با توجه به برنامه‌های راهبردی وزارت نیرو (افق ۱۴۰۴) و افزایش راندمان انرژی با توجه به اهداف برنامه ششم توسعه (ارتقای ۳۰ درصد بهره‌وری) و برون‌یابی تا سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی شده است (برنامه تفصیلی بخش آب و آبفا، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است اگرچه در حال حاضر تخمین دقیقی از میزان تاثیرگذاری حوزه تصفیه فاضلاب بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور وجود ندارد. لیکن با توجه به مراجع و توصیه‌های ارائه‌شده در این خصوص و توصیه

جدول ۱- موقعیت استاندارد کشورهای منتخب و ایران با توجه به سه سطح تعریف شده

نام پارامتر		بنیادی (سطح ۱)			پیشرفته (سطح ۲)			آرمانی (سطح ۳)		
BOD	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
COD	۱۷۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۱۰	۹۰	۸۰	۴۰
TP	۱۰	۶	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۰/۱
TN	۷۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۷	۵	۴	۳	۲
NH4	۲۰	۱۰	۵	۲/۵	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۰/۱
T. Coliform in 100 ml	۱۰۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۴	۳
TSS	۶۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۷	۵	۴	۳
چربی و روغن	۱۰	۵	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۰/۱
ترکیه										
ایران										
اروپا										
Act, EP										
چین G1-B										
چین G2										
اردن										

جدول ۲- شاخص‌های پارامترهای اصلی پساب برای توسعه فن‌آوری تصفیه فاضلاب در افق نقشه راه

عنوان شاخص	واحد	مقدار شاخص در حال حاضر	مقدار شاخص در سال ۱۴۲۰
BOD	mg/l	۵۰	۲۵
COD	mg/l	۱۰۰	۵۰
TP	mg/l	۶	۲
TN	mg/l	-	۳۰
Total Coliform	MPN/100 ml	۱۰۰۰	کوچک‌تر از ۴۰۰

جدول ۳- شاخص‌های پارامترهای توصیفی برای توسعه فن آوری تصفیه فاضلاب در افق نقشه راه

مقدار شاخص		عنوان شاخص		ابعاد چشم‌انداز
سال ۱۴۲۰	سال ۱۳۹۸			
۹۰	۵۲/۴	افزایش جمعیت تحت پوشش شبکه فاضلاب شهری (%)		توانمندی در مدیریت فاضلاب
۱۵	۰/۴۹	افزایش جمعیت روستایی برخوردار از سیستم مدرن فاضلاب (%)		
۱	۲	رتبه در تولید علم در زمینه تصفیه فاضلاب در منطقه خاورمیانه		توسعه فن‌آوری‌های نوین
۱۰۰	۸/۷	افزایش راندمان انرژی در تصفیه‌خانه آب و فاضلاب (ارتقای ۳۰٪ بهره‌وری) برحسب درصد		سازگار و هم‌افزا با محیط‌زیست
۷۲	-	N ₂ O	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (%)	
۶۰	-	CH ₄		
۳۷	-	CO ₂ T		

لازم است از زمان شروع، دائماً پیگیری شوند به انتهای افق طرح (سال ۱۴۲۰) متصل شده‌اند. هم‌چنین سیاست‌هایی که پیش‌نیاز یک سیاست در کارکرد دیگر بوده‌اند با تفکیک رنگ در همان کارکرد جمع شده‌اند. در این شکل‌ها رنگ‌های سبز، آبی، بنفش، نارنجی، زرد و قرمز به ترتیب به کارکردهای شش‌گانه توسعه و انتشار دانش، کارآفرینی، تأمین منابع، شکل‌دهی بازار، مشروعیت‌بخشی و جهت‌دهی به سیستم اشاره دارد.

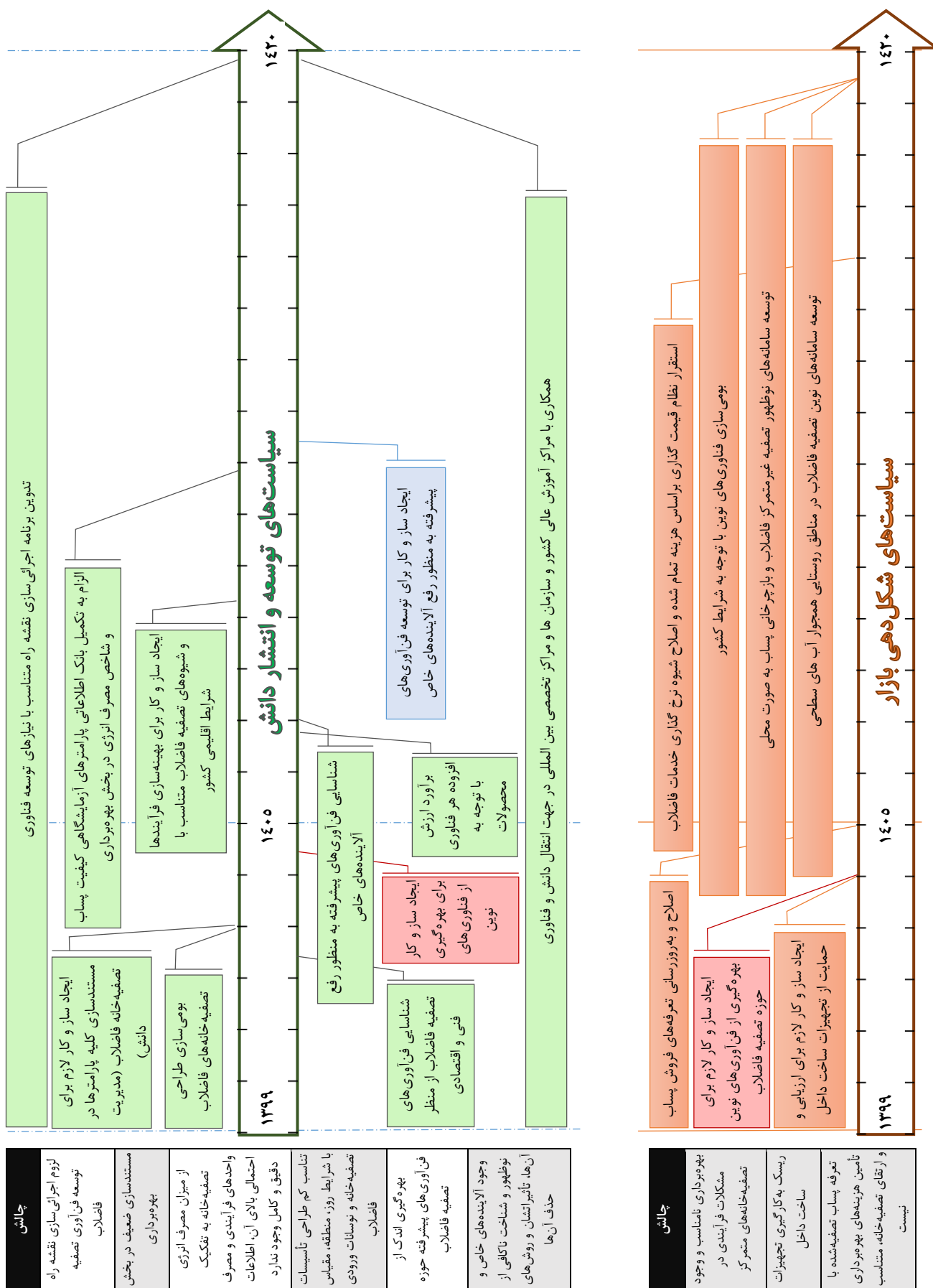
۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با روش نظام نوآوری فناورانه نسبت به استخراج چالش‌های توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب و بسته‌های سیاستی در راستای رفع آنها اقدام شد. بر این اساس ضمن برگزاری ۱۵ جلسه کمیته فنی و راهبردی و هم‌چنین ۸ جلسه مصاحبه با خبرگان بخش آبفا، بهره‌برداران و جامعه دانشگاهی، چشم‌انداز، اهداف و شاخص‌های ارزیابی نقشه راه تدوین شد. مهم‌ترین چالش‌ها و سیاست‌های توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب بصورت ذیل احصاء شده است.

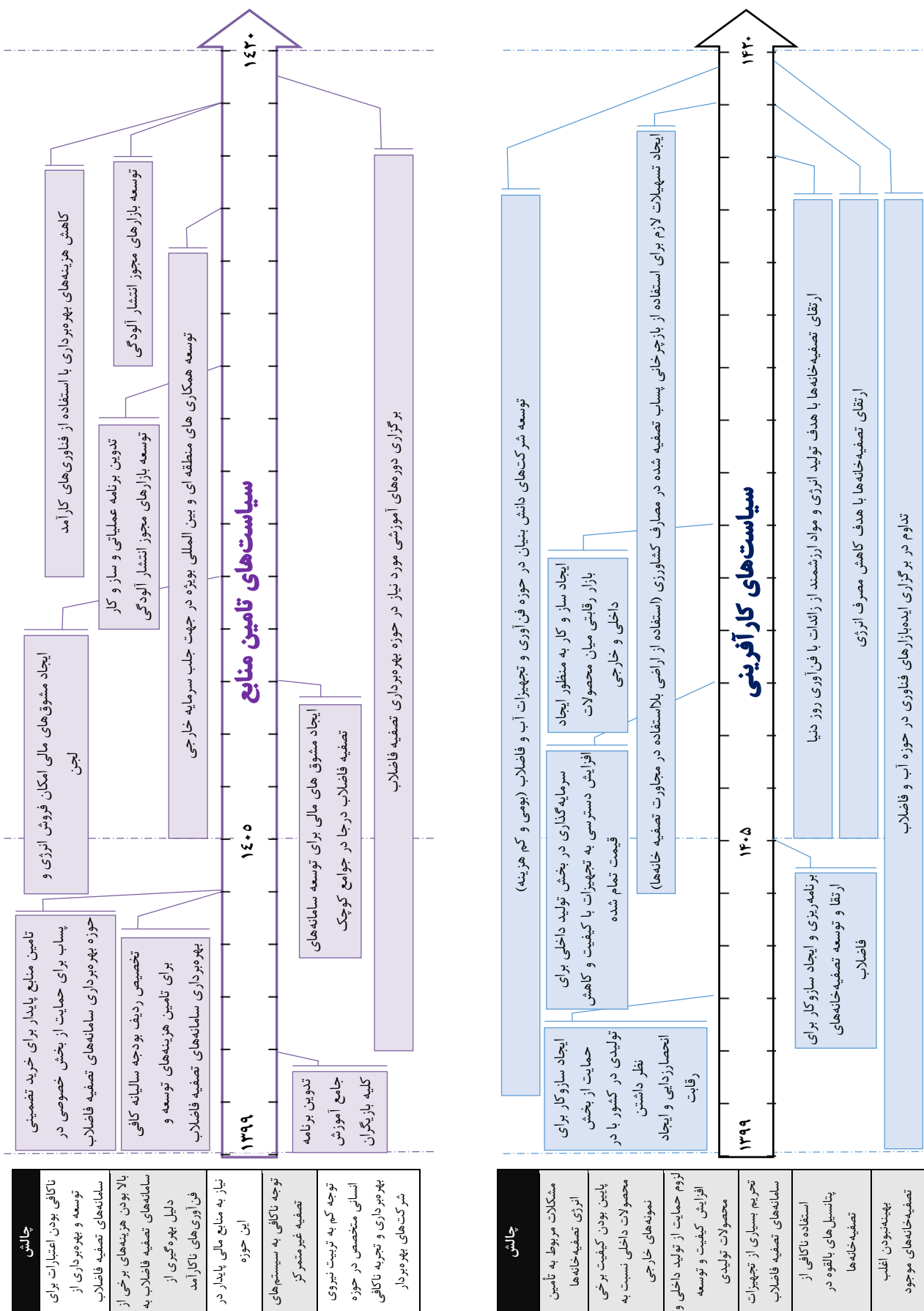
۱) اگرچه توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به مدیریت جامع منابع، گریزناپذیر است، لیکن نقش جهت‌دهی به سیستم در راستای بهره‌برداری از فناوری‌های کارآمد، مسئله مهمی در این راستا است. ایجاد پنجره واحد برای احداث و راه‌اندازی سامانه‌های تصفیه به‌عنوان گام آغازین تأمین زیرساخت‌ها بسیار حائز اهمیت است. هم‌چنین تدوین و اجرای استانداردهای لازم از جمله کیفیت پساب به تفکیک مناطق و مصارف و کنترل و نظارت کافی در کنار الزام به رعایت استانداردها و بهره‌گیری مجدد از پساب، نقش حیاتی در سیاست‌گذاری توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب دارند.

در این تحقیق از شش کارکرد این نظام شامل فعالیت‌های توسعه و انتشار دانش، کارآفرینی، تأمین و تخصیص منابع، شکل‌دهی بازار، مشروعیت‌بخشی و جهت‌دهی استفاده و چالش‌ها و سیاست‌ها در قالب این فعالیت‌ها احصاء شد (Hekkert and Negro, 2009). برای این منظور ضمن شناسایی وضعیت موجود توسعه فن‌آوری در کشور، موتور محرک توسعه فن‌آوری شناسایی شد و با توجه به آن، کارکردهای با اولویت برای تحقق وضعیت مطلوب توسعه فن‌آوری مشخص شد. با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده و مشخصه‌های ساختاری نظام توسعه فن‌آوری و هم‌چنین مشخصات وضعیت موجود، فناوری‌های تصفیه فاضلاب در کشور از مرحله پیش‌توسعه عبور نموده و در مرحله توسعه قرار گرفته است. در این مرحله بازیگران اصلی، شرکت‌های دانش‌بنیان در کنار شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های سرمایه‌گذار و هم‌چنین دولت در نقش سیاست‌گذاری سیاست‌های اولیه لازم برای توسعه هستند (Suurs et al., 2010; Rotmans et al., 2001).

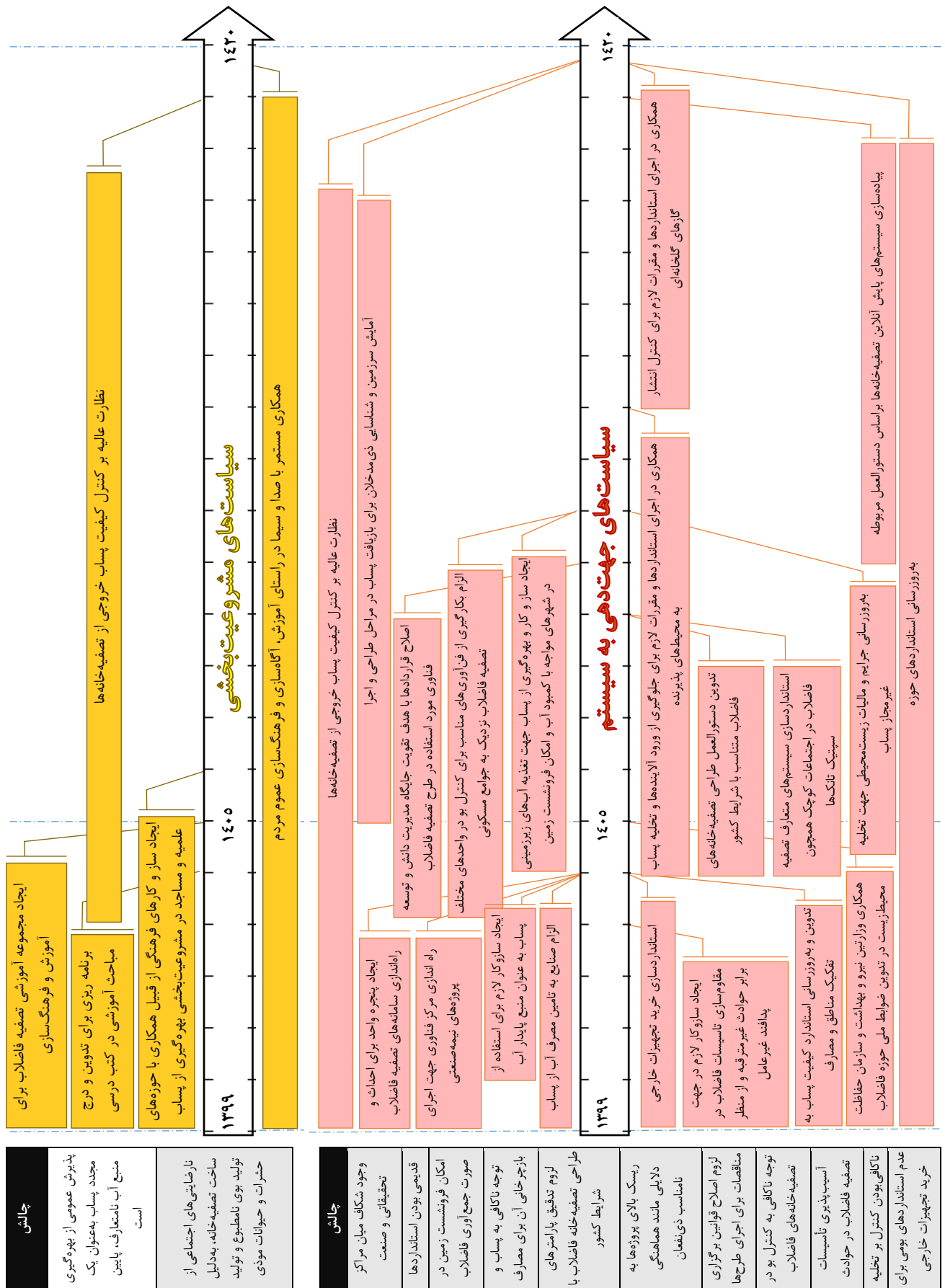
در مرحله بعد، موانع موجود مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری در کارکردهای با اولویت از طریق برگزاری جلسات و مصاحبه با متخصصان و خبرگان آشنا با حوزه تصفیه فاضلاب شامل مدیران و کارشناسان شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و برخی شرکت‌های تابعه، شرکت‌های مهندسی مشاور و اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها، تعیین و چالش‌های شناسایی شده پالایش و جمع‌بندی شد. در مرحله آخر نیز سیاست‌های پیشنهادی برای رفع چالش‌ها و موانع توسعه فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب ارائه شد. در ادامه، چالش‌ها و سیاست‌های احصاء شده به تفکیک کارکردهای نظام نوآوری فناورانه طی شکل‌های ۱ تا ۶ ارائه شده است. این شکل‌ها، چالش‌های هر کارکرد (در ستون سمت چپ) و سیاست‌های مربوطه (با رنگ تفکیک‌شده) را نشان می‌دهد. هم‌چنین محور افقی، زمان اجرای سیاست‌ها بوده و زمان شروع و پایان هر بسته سیاستی در آن مشخص شده و سیاست‌هایی که



شکل ۱- بسته‌های سیاستی و چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش (چپ) و کارکرد شکل‌دهی بازار (راست)



شکل ۲- بسته‌های سیاستی و چالش‌های کارکرد تامین منابع (چپ) و کارکرد کارآفرینی (راست)



صدا و سیما و فرهنگ سازی از طریق مساجد از جمله این سطوح آموزشی است.

۷- تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه موسسه تحقیقات آب با عنوان «تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری های تصفیه فاضلاب» استخراج شده است. در این راستا از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور که حمایت مالی پروژه را برعهده داشته اند سپاسگزاری می شود. همچنین از مدیرکل دفتر تحقیقات، توسعه فن آوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و کارشناسان این دفتر که نظارت و راهبری طرح را برعهده داشته اند تشکر می شود.

۸- مراجع

- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۸)، *سالنامه آماری سال ۱۳۹۸ صنعت آب و فاضلاب - بخش شهری*، دفتر برنامه ریزی و بودجه معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی، Viewed 3 Jan 2022, <https://www.nww.ir/statistics-and-information>.
- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۸)، *سالنامه آماری سال ۱۳۹۸ صنعت آب و فاضلاب - بخش روستایی*، دفتر برنامه ریزی و بودجه معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی، Viewed 3 Jan 2022, <https://www.nww.ir/statistics-and-information>.
- سازمان حفاظت از محیط زیست، (۱۳۷۳)، *استانداردهای خروجی فاضلاب به استناد ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب*، Viewed 3 Jan 2022, <https://wsm.doe.ir/portal/home/?114886/%D9%81%D8%A7%D8%B6%D9%84%D8%A7%D8%A8>
- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۷)، *برنامه تفصیلی بخش آب و آبفا جهت ارائه به کمیسیون عمران مجلس شورای اسلامی*، Viewed 3 Jan 2022, https://www.moe.gov.ir/Rules_and_Regulations_Issue/Water_and_Wastewater?page=3
- مرکز آمار ایران، (۱۳۹۹)، *ویژگی های جمعیتی، اجتماعی و اقتصادی کلان شهرها براساس سرشماری سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵*، انتشارات مرکز آمار ایران، ۱۴۲ صفحه.
- Act, Environmental Protection, (2002). *Standards for effluent discharge regulations*, General Notice No. 44 of 2003.
- Angelakis, A.N., and Snyder, S.A., (2015), "Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future", *Water* 7(9), 4887-4895.
- Arslan-Alaton, I., Tanik, A., Ovez, S., Iskender, G.,

(۲) نقش شکل دهی به بازار در راستای توسعه فناوری های کارآمد و بهره برداری از آنها، مسئله مهمی در این خصوص است. برای این منظور باید با ایجاد ساز و کارهای ارزیابی و حمایت از تجهیزات داخلی، به توسعه سامانه های نوظهور، نوین و بومی سازی آنها پرداخت. این امر با استقرار نظام قیمت گذاری و به روزرسانی تعرفه ها و الزامات حاکمیتی درخصوص پیوست فناوری در حین عقد قراردادها (حتی قراردادهای BOO) میسر می شود.

(۳) منابع مالی و انسانی از مهم ترین ارکان حوزه آب و فاضلاب بوده که ناکافی بودن اعتبارات، بالابودن هزینه ها و دانش ناکافی بهره برداران از چالش های این کارکرد محسوب می شوند. در این راستا لازم است ضمن تأمین منابع پایدار و بودجه سالانه، با استفاده از کاهش هزینه ها، جلب سرمایه گذاران بین المللی و مشوق های مالی (همچون بهره گیری از بازارهای تجارتي)، تصفیه خانه ها را به مرور به واحدهای خودکفا و درآمدزا تبدیل نمود. از سوی دیگر آموزش جامع برنامه ریزی شده در سطوح مختلف (مدیران، کارشناسان، بهره برداران و غیره) باید پیاده سازی شود.

(۴) مهم ترین چالش در راستای کارآفرینی، لزوم ارتقای کیفی محصولات داخلی در کنار حمایت از آنها در قیاس با محصولات خارجی بوده که لازم است با توسعه شرکت های دانش بنیان و تداوم برگزاری ایده بازارهای فناوری مدیریت شود. همچنین ایجاد ساز و کار رقابتی میان محصولات داخل و خارج در کنار ارائه تسهیلات (به مواردی هم چون بازخرانی پساب) توصیه می شود.

(۵) از دیگر چالش های اولیه در بخش آب و فاضلاب، ضعف مدیریت دانش و عدم دسترسی به مستندات کافی درخصوص پارامترهای تصفیه خانه های حاضر و یا فقدان آنها بوده که باید با الزام به مستندسازی آنها و تهیه پایگاه جامع اطلاعات در این خصوص اقدام نمود. همچنین شناسایی فناوری های نوظهور (از جمله فناوری های مرتبط با آلاینده های خاص) و توسعه دانش مربوطه و ایجاد ساز و کار برای بهره برداری از آنها به ارزش افزوده شایسته ای منتج خواهد شد.

(۶) یکی دیگر از چالش های حوزه تصفیه فاضلاب و توسعه فناوری های مربوطه به عدم پذیرش عمومی از بهره گیری مجدد پساب (به عنوان منبع پایدار مالی حاصل از فروش آن) مربوط بوده که لازم است با آموزش، اطلاع رسانی و فرهنگ سازی در سطوح مختلف مرتفع شود. آموزش دانش آموزان از طریق کتب درسی، آموزش عمومی از طریق

technologies", *Science of The Total Environment*, 731, 139158.

Zhang, Q.H., Yang, W.N., Ngo, H.H., Guo, W.S., Jin, P.K., Mawuli Dzakpasu, S.J. Yang, Qian Wang, X.C. Wang, and Dong Ao., (2016), "Current status of urban wastewater treatment plants in China", *Environment International*, 92, 11-22.

Zhou, Y., Duan, N., Wu, X., and Fang, H., (2018), "COD discharge limits for urban wastewater treatment plants in China based on statistical methods", *Water*, 10(6), 777.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Gurel, M., and Orhon, D., (2007), "Reuse potential of urban wastewater treatment plant effluents in Turkey: A case study on selected plants", *Desalination*, 215(1-3), 159-165.

Dalahmeh, S., and Baresel, Ch., (2014), *Reclaimed wastewater use alternatives and quality standards*, From Global to Country Perspective: Spain Versus Abu Dhabi Emirate, IVL Rapport C 24, Swedish Environmental Research Institute, pp. 11-29.

Hekkert, M.P., and Negro, S.O., (2009), "Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims", *Technological Forecasting and Social Change*, 76(4), 584-594.

Lu, X., Zhou, B., Vogt, R.D., Seip, H. M., Xin, Z., and Ekengren, Ö., (2016), "Rethinking China's water policy: The worst water quality despite the most stringent standards", *Water International*, 41(7), 1044-1048.

Margane, A., and Steinel, A., (2011), *Special Report No. 4: Proposed national standard for treated domestic wastewater reuse for irrigation*, German-Lebanese Technical Cooperation Project Protection of Jeita Spring.

Nayeb, H., Mirabi, M., Motiee, H., Alighardashi, A., and Khoshgard, A., (2019), "Estimating greenhouse gas emissions from Iran's domestic wastewater sector and modeling the emission scenarios by 2030", *Journal of Cleaner Production*, 236(1), 117673.

Neczaj, E., and Grosser, A., (2018), "Circular economy in wastewater treatment plant: Challenges and barriers", *Proceedings*, 2(11), 614.

Negro, S.O., Suurs, R.A., and Hekkert, M.P., (2008), "The bumpy road of biomass gasification in the Netherlands: Explaining the rise and fall of an emerging innovation system", *Technological Forecasting and Social Change*, 75(1), 57-77.

Reardon, R., Davel, J., Baune, D., McDonald, S., Appleton, R., and Gillette, R., (2013), "Wastewater treatment plants of the future: Current trends shape future plans", *Florida Water Resources Journal*, 1(5), 8-14.

Roeleveld, P., Roorda, J., and Schaafsma, M., (2010), *NEWs, the Dutch roadmap for the WWTP of 2030*, Publisher: Amersfoort: STOWA.

Rotmans, J., Kemp, R., and Van Asselt, M., (2001), "More evolution than revolution: transition management in public policy", *Foresight*, 3(1), 15-31.

Suurs, R.A., Hekkert, M.P., Kieboom, S., and Smits, R.E., (2010), "Understanding the formative stage of technological innovation system development: The case of natural gas as an automotive fuel", *Energy Policy*, 38(1), 419-431.

Tong, T., and Elimelech, M., (2016), "The global rise of zero liquid discharge for wastewater management: Drivers, technologies, and future directions", *Environmental Science and Technology*, 50(13), 6846-6855.

Ullah, A., Hussain, S., Wasim, A., and Jahanzaib, M., (2020), "Development of a decision support system for the selection of wastewater treatment

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Investigating the Efficiency of Natural
Coagulant Aid (Tragacanth) with PAC in
Removal of Turbidity and Coliform Bacteria
from Karoon River Water**

Omid Esteresh^{1*}, Abdolkazem Neisi², Afshin Takdastan³ and Mahsa Valipour⁴

1- M.Sc. in Environmental Engineering, Ilam Province Water and Wastewater Company, Ilam, Iran,

2- Associate Professor of Environmental Health Engineering, Environmental Technologies Research Centre, Ahwaz Jondishapour University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran.

3- Associate Professor of Environmental Health Eng., Environmental Technologies Research Centre Ahwaz Jondishapour University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran.

4- PhD of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ilam University, Ilam, Iran.

*Corresponding Author, Email:
Omid.Esteresh@yahoo.com

Received: 19/02/2021

Revised: 11/06/2021

Accepted: 28/06/2021

© IWWA

Abstract

Conventional water treatment processes include screening, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection. Many coagulants are widely used in conventional water treatment processes. These materials can be classified into inorganic and organic coagulants. Many researches on natural coagulants were carried out in recent years. This study evaluates Tragacanth as natural coagulants aids with poly aluminum chloride (PAC) for the removal of turbidity and coliform bacteria from water Karoon River. Tragacanth is a gum that extracted from astragalus. According to results of this study, adding tragacanth as a coagulant aid improved performance of the process and experimental observations showed that by applying tragacanth as coagulant aid in optimal conditions, larger flocks are formed compared to PAC applications and the sedimentation rate was higher. In total, this study showed that dose of 0.06 mg/l of tragacanth as a coagulants aid with 15 mg/l of PAC coagulant in high turbidity (480-500 NTU) has the best performance in reducing turbidity and total coliform.

Keywords: Coagulation, Poly Aluminum Chloride, Tragacanth, Turbidity, Coliform

**بررسی کارایی کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا به همراه
پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت و باکتری‌های
کلیرم از آب رودخانه کارون**

امید استرش^{۱*}، عبد الکاظم نیسی^۲، افشین تکدستان^۳ و مهسا
ولی پور^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست-آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران.

۴- دکتری شیمی تجزیه، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: Omid.Esteresh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

فرآیندهای متداول تصفیه آب شامل آشغال‌گیری، انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صاف‌سازی و گندزدایی است. بسیاری از منعقدکننده‌ها به‌طور گسترده‌ای در فرآیندهای تصفیه آب متداول استفاده می‌شوند. این مواد را می‌توان به منعقدکننده‌های غیرآلی و آلی طبقه‌بندی کرد. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد منعقدکننده‌های طبیعی انجام شده است. در این مطالعه کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده طبیعی به‌همراه پلی آلومینیوم کلراید (PAC) برای حذف کدورت و باکتری‌های کلیرم از آب رودخانه کارون مورد ارزیابی قرار گرفت. کتیرا صمغی است که از گون استخراج می‌شود. طبق نتایج این مطالعه، افزودن کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده روند عملکرد را بهبود بخشید و مشاهدات نشان داد که استفاده از کتیرا به‌همراه PAC موجب تشکیل ذرات بزرگتر و افزایش نرخ ته‌نشینی می‌شود. در مجموع این مطالعه نشان داد که دوز ۰/۰۶ میلی گرم در لیتر کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده به‌همراه ۱۵ میلی گرم در لیتر ماده منعقدکننده PAC در کدورت بالا (۴۸۰-۵۰۰ NTU) بهترین عملکرد را در کاهش کدورت و کلیرم کل دارد.

کلمات کلیدی: انعقاد و لخته‌سازی، پلی آلومینیوم کلراید، کتیرا، کدورت، کلیرم، رودخانه کارون

این رابطه از کاربرد کیتوزان می‌توان نام برد (عروجی و همکاران، ۱۳۹۱).

در این پژوهش از کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده طبیعی استفاده شده است. کتیرا نوعی ماده صمغی است که در تجارت به نام‌های Tragacanth Gum یا Tragacanth مشهور است. این ماده از ساقه گون گرفته می‌شود (زرگران و همکاران، ۱۳۸۷). از نظر نوع محصول دو نوع کتیرا قابل تشخیص است که به نام‌های مفتولی و خرمنی معروفند. گونه‌های نوع مفتولی از گونه‌های پایه کوتاه بوده و مقدار محصول آن نیز فوق‌العاده کم ولی جنس آن مرغوبیت زیادی دارد و کتیرای خرمنی از گونه‌هایی که رشد بیشتری دارند یا بلند است به‌دست می‌آید. در مغز ساقه این گیاهان مواد صمغی فراهم شده که خود به‌خود یا در اثر شکاف به خارج ترشح می‌شود که به کتیرا معروف است (Trease, 1971). این مواد پس از سه تا چهار روز خشک شده و قابل جمع‌آوری است و هر چه هوا گرم و خشک باشد کتیرا سفیدتر شده و زودتر سخت می‌شود. البته در هوای مرطوب و سرد دیرتر سخت شده و محصول تیره‌تر است. مناطق کتیرا خیز ایران شامل استان‌های اصفهان، کردستان، همدان، کرمانشاه، فارس، بوشهر و هرمزگان است. همچنین در عراق، ارمنستان، سوریه و روسیه و نواحی مختلف آسیای صغیر یافت می‌شود (صمصام شریعت و معطر، ۱۳۸۳).

نوع مرغوب کتیرای ایران ۲/۵ سانتی‌متر طول و ۱/۲ سانتی‌متر عرض دارد. رنگ آن سفید متمایل به زرد و کمی شفاف و شاخی شکل بوده و بدون بو و دارای مزه بسیار جزئی است. از موارد استفاده از کتیرا می‌توان به صنعت داروسازی، تولید مواد آرایشی، پارچه بافی، کارخانجات شامپوسازی و تهیه رنگ مو اشاره کرد. اگر مخلوط کتیرا با داروهای مناسب خورده شود برای تقویت روده، تسکین درد کلیه، مثانه و زخم مثانه مفید است. در محصولات غذایی به‌عنوان یک ماده مطمئن و پرکننده قرص‌ها و امولسیون‌ها در سطح صنعتی استفاده می‌شود. مقدار خوراک آن به‌صورت تنها و یا با داروهای مختلف به‌میزان ۵-۲۵ گرم بوده و تاکنون گزارشی از عوارض جانبی کتیرا اعلام نشده است (صالحی‌سورمقی، ۱۳۸۵).

کتیرا توسط قلیا تجزیه و توسط الکل غلیظ‌تر از ۳۵ درصد ته‌نشین می‌شود و غلظت و نیز ویسکوزیته آن با تغییر pH به حالت‌های اسیدی و قلیائی کم می‌شود. همچنین توسط محلول نیترات بیسموت ته‌نشین می‌شود (زرگران و همکاران، ۱۳۸۷). پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده به‌همراه منعقدکننده پلی آلومینیم کلراید در حذف

منابع آبی که به‌صورت طبیعی یا توسط انسان آلوده شده است برای دستیابی به استانداردهای آب شرب باید فرآیندهای لازم تصفیه را طی نماید. آب با قابلیت شرب آبی است که عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی آن در حدی باشد که آشامیدن آن در کوتاه‌مدت یا درازمدت عارضه سوئی در انسان ایجاد نکند. فرآیندهای متداول تصفیه آب شامل آشغال‌گیری، انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صافی‌سازی و گندزدایی است. انعقاد فرآیندی است که طی آن ذرات ریز با سرعت ته‌نشینی خیلی کم که اصطلاحاً کلوئید نامیده می‌شوند و عامل مهمی در بروز کدورت هستند با یکدیگر جمع شده و ذرات درشت‌تر با سرعت ته‌نشینی بیشتر را تشکیل می‌دهند (ذهب صنیعی، ۱۳۷۰).

لخته‌سازی فرآیندی است که در آن فلوک‌ها به یکدیگر چسبیده و فلوک‌های درشت‌تری ایجاد می‌کنند که در مراحل بعدی تصفیه به‌راحتی از آب جدا می‌شوند (Environmental Protection Agency, 1999). اگر اجازه داده شود که ذرات به‌طور طبیعی ته‌نشین شوند ممکن است که چندین ماه و حتی یک سال ته‌نشینی به‌طول انجامد، به‌طور مثال اگر اندازه ذرات ۰/۰۰۱ میلی‌متر باشد (ذرات کلوییدی) ۷۵۵ روز برای ته‌نشینی فرصت لازم است و باید توجه داشت که از نظر مهندسی زمان بیش از چند ساعت برای جداسازی قابل‌قبول نیست (چالکش امیری، ۱۳۹۵). لذا فرآیند تصفیه (زال‌سازی) آب بدون استفاده از موادی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلوئیدی را افزایش دهند غیرممکن به‌نظر می‌رسد (ذهب صنیعی، ۱۳۷۰).

در فرآیند انعقاد از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده استفاده می‌شود. مواد منعقدکننده شامل موادی هستند که برای ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آن‌ها به یکدیگر استفاده می‌شوند، در حالی که استفاده از مواد کمک منعقدکننده موجب افزایش دانسیته و به‌هم چسبیدن ذرات و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر است (علی‌پور و بذرافشان، ۱۳۸۳). نمک‌های آلومینیم و آهن متداول‌ترین منعقدکننده‌هایی هستند که تاکنون برای تصفیه آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Okuda et al. 1999; Shi et al. 2007). مشکلاتی در اثر کاربرد نمک‌های معدنی به‌دلیل باقیماندن در آب، تولید حجم زیاد لجن و نحوه دفع در محیط زیست به‌وجود آمده است (Ndabigengesere and Narasiah, 1998). به‌همین منظور برای رفع مشکلات مربوط به منعقدکننده‌های شیمیایی، تحقیقات زیادی در خصوص منعقدکننده‌های طبیعی در سال‌های اخیر صورت گرفته است (Ravikumar and Sheeja, 2012). در

کدورت و باکتری‌های کلیفرم آب رودخانه کارون مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه آب با کدورت مصنوعی

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست شش خانه‌ای بر روی نمونه‌های آب مصنوعی در تصفیه‌خانه آب اهواز انجام پذیرفت. از آنجایی که میانگین کدورت آب برداشتی در طول دوره آزمایشات در محدوده کدورت پایین (۴۰-۵۰ NTU) بود، لذا برای بررسی کارایی مواد منعقدکننده مورد استفاده در سطوح کدورت بالاتر، اقدام به کدورت‌سازی به صورت مصنوعی شد. سه سطح کدورت مورد آزمایش شامل کدورت پایین (۴۰-۵۰ NTU)، کدورت متوسط (۱۰۰-۱۱۵ NTU) و کدورت بالا (۴۸۰-۵۰۰ NTU) بود، در تهیه آب با کدورت مصنوعی از ترکیب خاک ساحل رودخانه کارون با آب خام رودخانه استفاده شد. پس از برداشت نمونه خاک فرصت داده شد تا خاک کاملاً خشک شود. سپس آن را از الک آزمایشگاهی با مش ۳۰ گذرانده و پودر نرم با درجه یکنواختی بیشتر حاصل شد.

در مرحله بعد به مقدار چند گرم از خاک حاصله در ظروف ۲۰ لیتری ذخیره آب خام اضافه و به مدت چند دقیقه هم‌زده شد. سیکل هم‌زدن چندبار و با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه صورت گرفت. سپس مخلوط حاصل به مدت ۱ ساعت در حالت سکون قرار گرفت تا ذرات درشت ته‌نشین شوند. آن‌گاه از مایع رویی چند لیتر (حدود ۳-۴ لیتر) برداشت و به عنوان سوسپانسیون مادر نگهداری شد. از این سوسپانسیون برای تهیه آب مصنوعی با کدورت‌های مختلف در مطالعات آزمایشگاهی استفاده شده است. در این تحقیق، دستگاه کدورت‌سنج مدل ۲۱۰۰ N (HACH)، pH متر مدل ۳۳۰ (WTW) و دستگاه جارتست مدل JLT6 (VELP) مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش آزمایشگاهی

در ابتدا نمونه‌های آب خام تهیه شده از نظر میزان کدورت، pH، دما و کلیفرم کل، مورد آزمایش قرار گرفتند و برای انجام جارتست در هر مورد آزمایش از بشرهای ۱ لیتری استاندارد حاوی ۱۰۰۰ mL نمونه آب مورد نظر استفاده شد. مقادیر pH مورد آزمایش در این تحقیق در شش سطح شامل، pHهای ۸، ۷/۵، ۷، ۶، ۵ و ۹ بود. به منظور تنظیم pH از اسید سولفوریک و

هیدروکسید سدیم با غلظت ۰/۰۲ نرمال استفاده شد. به منظور تعیین pH بهینه ماده منعقدکننده PAC، آزمایش‌های جار با نمونه‌های آب با pHهای مختلف صورت گرفت. پس از تعیین pH بهینه برای هریک از سطوح کدورت مورد آزمایش، به منظور تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده PAC، در هر مرتبه غلظت‌های مختلفی از PAC اضافه شد. بعد از تعیین شرایط بهینه PAC در سطوح کدورت مورد آزمایش، غلظت‌های مختلف کمک منعقدکننده کتیرا به همراه غلظت بهینه PAC به مرحله اختلاط سریع دستگاه جار اضافه شد.

نحوه آزمون جارتست به این صورت بود که مرحله اختلاط سریع به مدت یک دقیقه و با سرعت ۱۲۰ rpm، پس از آن مرحله لخته‌ساز در دور کند و با سرعت ۴۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه و مدت زمان ته‌نشینی طبق توصیه مراجع معتبر به‌ویژه EPA، ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از پایان یافتن آزمایشات نمونه‌برداری برای تعیین کدورت باقی‌مانده و کلی‌فرم کل، از ۵ سانتی‌متری زیر سطح آب توسط پی‌پت انجام گرفت.

به طور کلی آزمایشات جارتست با هدف مقایسه و کاربرد پلی آلومینیوم کلراید به تنهایی و به همراه کاربرد کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا انجام گرفته است. کلیه آزمایش‌ها براساس روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت. به علاوه به منظور اثبات تکرارپذیری روش آنالیز، آزمایش‌ها سه مرتبه تکرار و در پایان نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel تهیه و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS آنالیز شده‌اند.

۲-۳- آماده سازی محلول پلی آلومینیوم کلراید (PAC)

در این تحقیق از PAC جامد با درجه خلوص ۲۸ درصد استفاده شد. برای تهیه محلول، در ابتدا به مقدار یک گرم از PAC در کمی آب مقطر حل و توسط آب مقطر حجم آن به یک لیتر افزایش داده شده و محلول یک در هزار PAC تهیه شد.

۲-۴- آماده سازی محلول کتیرا

در این آزمایش از کتیرای جامد استفاده شده است. روش تهیه محلول به این صورت بود که در ابتدا فلس‌های کتیرا توسط هاون چینی به صورت پودر نرم درآورده شد. سپس برای جدا نمودن ذرات درشت، الک آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد به مقدار یک گرم از پودر تهیه شده کتیرا در مقدار کمی آب مقطر حل و توسط آب مقطر حجم آن به یک لیتر افزایش داده می‌شد. برای ایجاد سوسپانسیون یکنواخت، مخلوط حاصل روی یک هم‌زن مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفته و هم‌زده

باقی‌مانده در آب تعیین pH بهینه است (Letterman and Driscoll, 1988).

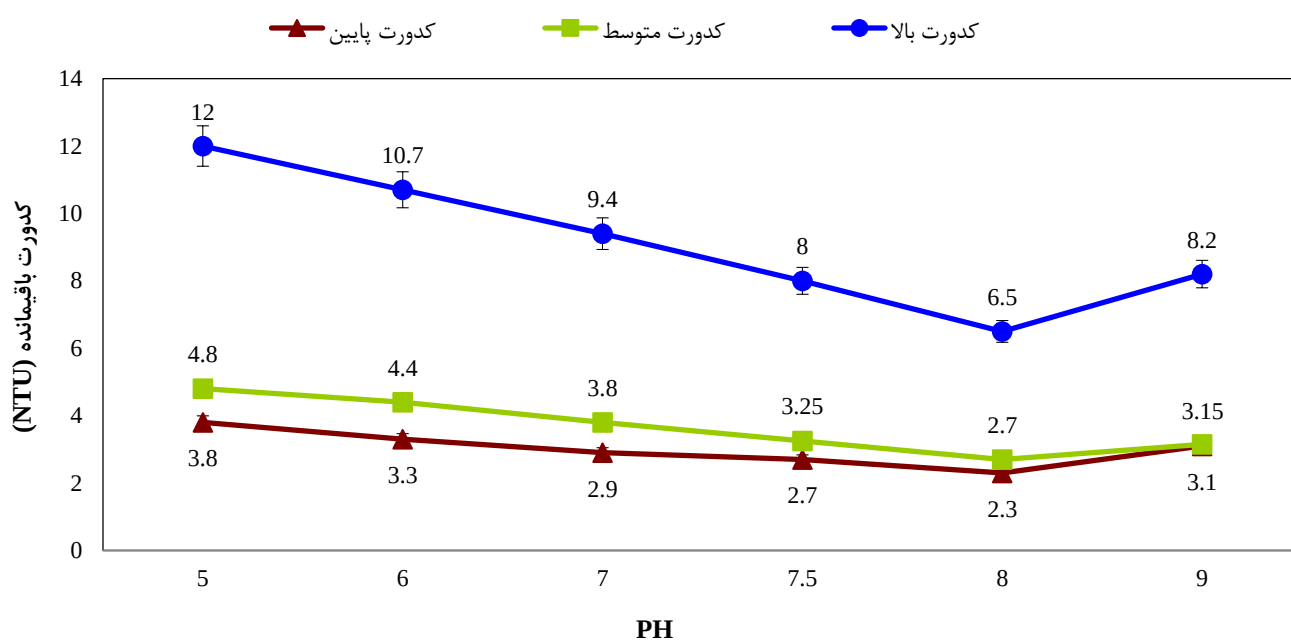
در شکل ۱، تأثیر pH بر میزان حذف کدورت توسط PAC نشان داده شده است. تعیین pH بهینه با دوز ثابت ۱۰ میلی گرم بر لیتر برای PAC صورت گرفت. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود در pH برابر با ۸ بالاترین راندمان حذف کدورت در کدورت‌های مختلف به دست آمده است. میزان حذف کدورت در این pH بدون فیلتراسیون، در کدورت‌های پایین، متوسط و بالا به ترتیب با فاصله اطمینان ۹۵٪ برابر با ۹۴/۹، ۹۷/۵ و ۹۸/۷ درصد بوده و کدورت‌های باقی‌مانده به ترتیب به ۲/۳ NTU، ۲/۷ NTU و ۶/۵ NTU رسیده است. به عبارت دیگر در این محدوده از pH، رسوب تشکیل شده در طی فرآیند و یا همان محصولات هیدرولیز PAC، دارای کمترین حلالیت هستند. همچنین نتایج آنالیز واریانس با (P < ۰/۰۵) تفاوت معناداری را بین pH و درصد حذف کدورت نشان داده است.

می‌شد. در مرحله پایانی برای جدانمودن مواد معلق در سوسپانسیون موجود، از صافی با قطر ۰/۴۵ میکرومتر استفاده شده است. از این محلول صاف شده به عنوان کمک منعقدکننده در آزمایش‌ها استفاده شد. لازم به ذکر است که به علت احتمال کاهش اثر منعقدکنندگی، استوک منعقدکننده‌ها به صورت روزانه، هنگام آزمایش تهیه می‌شد.

۳- نتایج و داده‌ها

۳-۱- تعیین pH بهینه PAC در کدورت‌های مورد آزمایش

pH عامل بسیار مؤثری در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی است. هر ماده منعقدکننده دارای pH بهینه‌ای است، به طوری که در pH بهینه، بیشترین کارایی را در انعقاد دارد (Sanghi et al. 2006). مطالعات انجام شده توسط محققان نشان می‌دهد که غلظت‌های بالای آلومینیوم باقی‌مانده در آب تصفیه‌شده ناشی از عدم ایجاد شرایط بهینه pH است. بهترین روش برای کاهش آلومینیوم



شکل ۱- روند تغییرات کدورت باقیمانده نسبت به تغییرات pH برای منعقدکننده PAC

لیتر PAC، کدورت باقی‌مانده معادل ۲/۴ NTU بوده و با توجه به این که ماده منعقدکننده PAC در این غلظت قادر به کاهش کدورت تا میزان استاندارد مجاز کدورت در آب‌های تصفیه شده (۵ NTU) است به عنوان غلظت بهینه در این سطح کدورت انتخاب می‌شود. به همین دلیل، با توجه به نمودار یاد شده، غلظت بهینه PAC برای حذف کدورت، ۱۰ ppm به دست آمده است. همچنین باتوجه به استدلال فوق‌الذکر در کدورت‌های متوسط

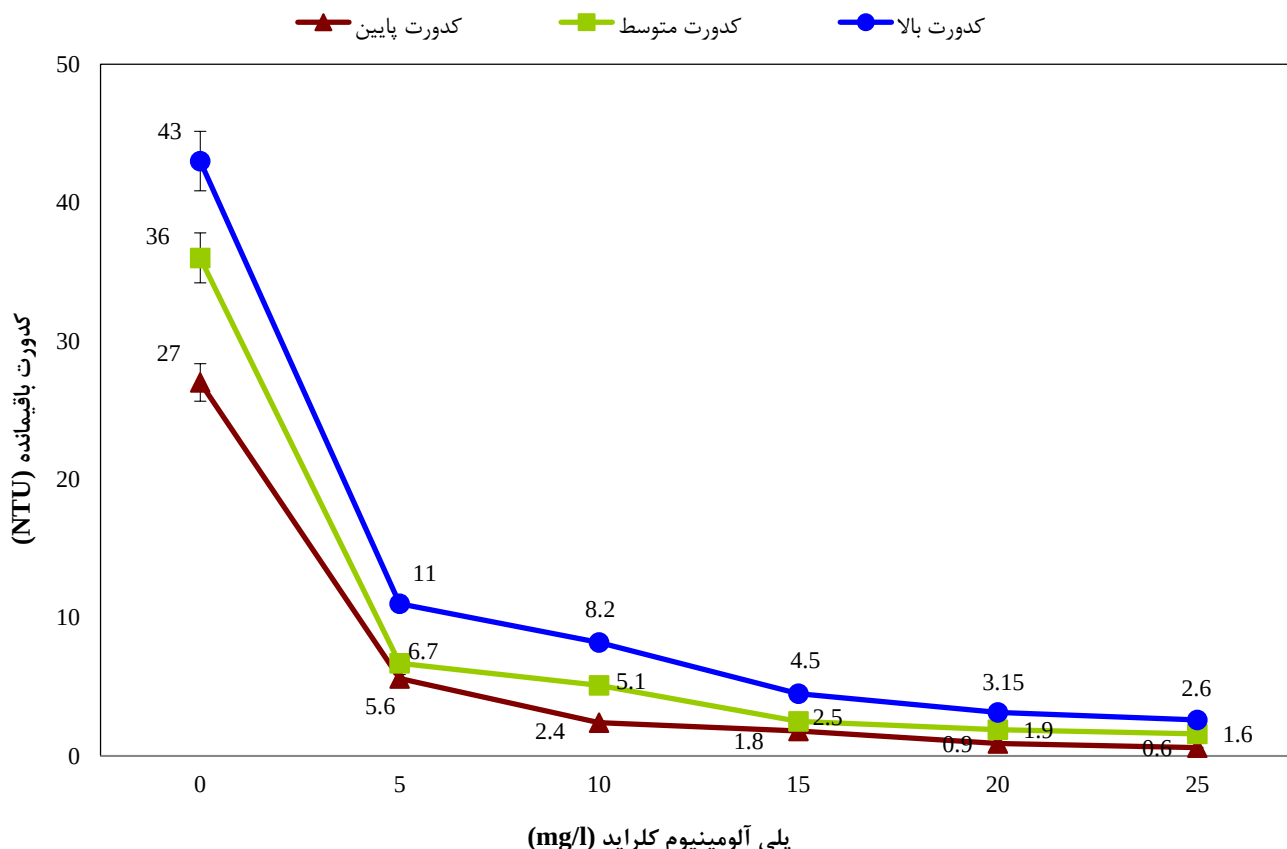
۳-۲- تعیین غلظت بهینه PAC در کدورت‌های مورد

آزمایش

در شکل ۲، تأثیر غلظت ماده منعقدکننده PAC در سطوح کدورت مورد آزمایش بر میزان حذف کدورت در pH بهینه نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به طور کلی با افزایش غلظت PAC، میزان حذف کدورت نیز افزایش یافته است. مطابق نمودار در کدورت پایین با مقدار ۱۰ میلی گرم در

به ترتیب برابر با ۰/۹۴۲، ۰/۹۹۵، ۰/۹۵۸ حاصل شد. همچنین نتایج آزمون ANOVA با سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معناداری بین میزان PAC تزریقی و درصد حذف کدورت در کدورت‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد. در این شرایط مکانیسم‌های غالب برای حذف کدورت از نوع جذبی یا جاروبی و یا ترکیبی از دو مکانیسم ذکر شده است.

و بالا، غلظت بهینه ۱۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد. در نهایت راندمان حذف کدورت در کدورت‌های پایین، متوسط و بالا به ترتیب برابر با ۹۴/۶، ۹۷/۶ و ۹۹/۱ درصد و کدورت‌های باقی مانده به ترتیب به ۲ NTU، ۲/۵ NTU و ۴/۵ NTU رسیده است. آنالیز واریانس با ($P < 0.05$) در کدورت‌های مورد آزمایش نشان داد تأثیر عامل PAC روی درصد حذف کدورت معنی دار بوده و ضریب تعیین مدل (R^2) برای کدورت‌های پایین، متوسط و بالا



شکل ۲- روند تغییرات کدورت باقی مانده نسبت به تغییرات دوز منعقدکننده PAC

مطابق شکل ۳، غلظت بهینه کتیرا در کدورت‌های پایین و متوسط برابر با ۰/۰۴ و در کدورت بالا برابر با ۰/۰۶ میلی گرم در لیتر به دست آمد که در آن کدورت‌های باقی مانده به ترتیب برابر با ۰/۶۱ NTU، ۰/۸ NTU و ۱/۶ NTU و راندمان حذف کدورت به ترتیب برابر با ۹۸/۶، ۹۹/۳ و ۹۹/۷ درصد هستند. همچنین نتایج آزمون آنالیز واریانس با ($P < 0.05$) در کدورت‌های مورد آزمایش نشان داد که عامل PAC به همراه کتیرا روی درصد حذف کدورت معنی دار است و ضریب تعیین مدل (R^2) برای کدورت‌های پایین، متوسط و بالا به ترتیب برابر با ۰/۹۹۴، ۰/۹۸۸ و ۰/۹۹۴ به دست آمده است.

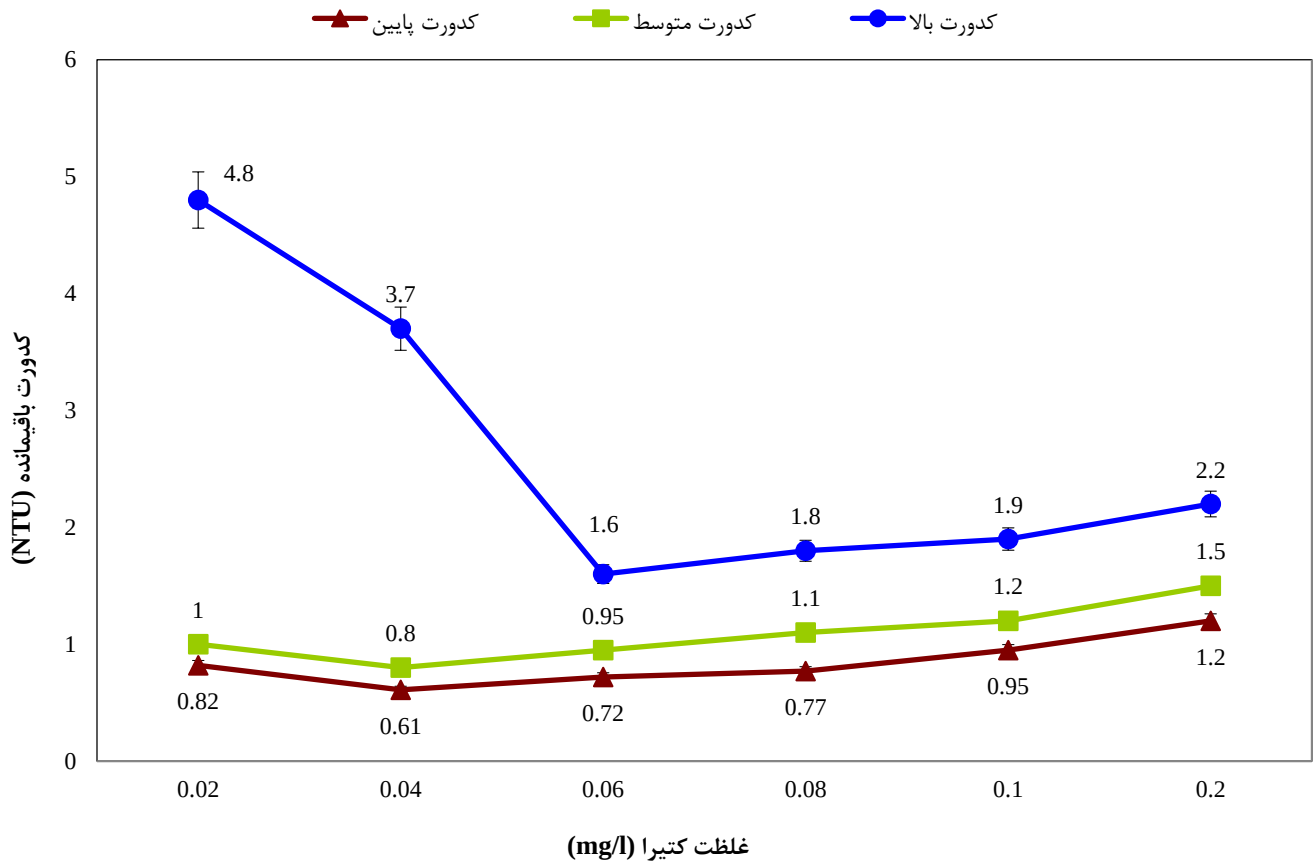
برای تعیین دوز بهینه کتیرا مطابق استانداردهای داخلی،

۳-۳- تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کتیرا در کدورت‌های مورد آزمایش

تحت شرایط بهینه حاصل از مراحل قبل، آزمایش‌های با دوزهای مختلفی از کتیرا به همراه دوز بهینه PAC در سطوح کدورت مورد آزمایش صورت گرفت. در آزمایش‌های اولیه با افزایش دوز مصرفی کتیرا، کدورت افزایش پیدا نمود و پایداری مجدد کلوئیدها صورت گرفت. زیرا با افزودن بیش از حد کمک منعقدکننده، سطح کلوئیدها اشباع و در مکانیسم پل سازی بین ذرات اختلال به وجود می‌آید، که منجر به پایداری مجدد کلوئیدها شده است. در نتیجه در ادامه آزمایش‌ها با کاهش دوز مصرفی کتیرا، مقادیر بهینه کتیرا برای هر سطح کدورت به دست آمد.

به طوری که با غلظت های بسیار کم از کتیرا، کدورت باقیمانده در کدورت های پایین و متوسط به کمتر از ۱ NTU (حد مطلوب آب شرب) قبل از فیلتراسیون رسیده است. همچنین با افزایش کدورت اولیه راندمان حذف کدورت بالاتر است.

کاهش کدورت به مقدار کمتر از ۱ NTU (حد مطلوب آب شرب) عمل شد (سازمان استاندارد ایران، ۱۳۸۹). نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان دهنده کارایی بالای کتیرا به عنوان یک کمک منعقدکننده مناسب و طبیعی در کاهش کدورت آب بود،



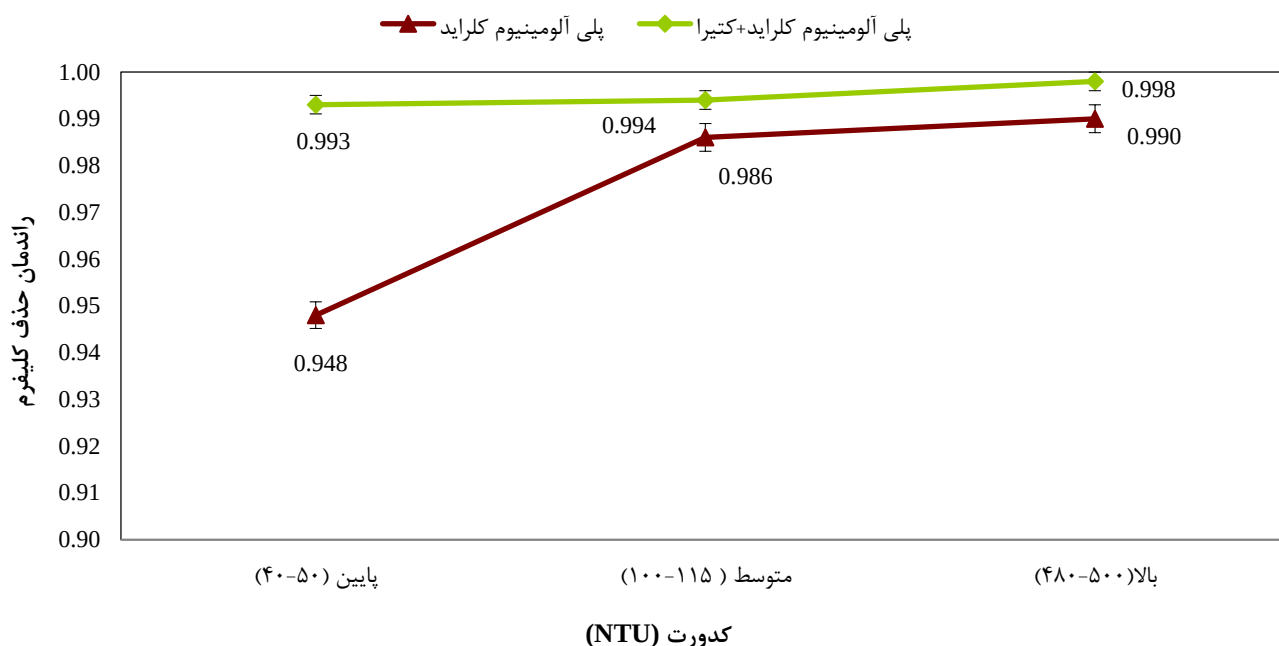
شکل ۳- روند تغییرات کدورت باقی مانده نسبت به تغییرات دوز کمک منعقدکننده کتیرا

مطابق نمودار با افزایش کدورت اولیه راندمان حذف کلیفرم کل در غلظت بهینه مواد منعقدکننده افزایش می یابد، به طوری که راندمان حذف کلیفرم به ترتیب در کدورت های پایین، متوسط و بالا با کاربرد PAC به تنهایی برابر با ۹۴/۸، ۹۸/۶ و ۹۹ درصد، در کاربرد PAC به همراه کتیرا به ترتیب برابر با ۹۹/۳، ۹۹/۴ و ۹۹/۸ درصد حاصل شده است. همچنین بعد از ۲۴ ساعت هیچ گونه رشد مجددی از باکتری ها در نمونه های آب تصفیه شده مشاهده نشد. آزمون آنالیز واریانس با ($P < 0.05$) نشان داد مواد منعقدکننده روی درصد حذف کلیفرم معنی دار بوده و ضریب تعیین مدل (R^2) برای PAC برابر با ۰/۹۹۲ و کاربرد PAC با کتیرا برابر با ۰/۹۷۴ است، همچنین مطابق نتایج آزمون ANOVA با سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معناداری بین مقادیر مواد منعقدکننده بهینه و درصد حذف کلیفرم کل وجود دارد.

۳-۴- میزان حذف کلیفرم کل در کدورت های مورد آزمایش

حضور باکتری های کلیفرم در آب شاخص مفیدی برای مشخص کردن آلودگی های مدفوعی است که به تازگی در آب ایجاد شده اند و منبع اصلی بسیاری از بیماری های روده ای قابل انتقال از طریق آب نیز هستند. غلظت باکتری های شاخص معیاری از درجه آلودگی و بنابراین کیفیت بهداشتی بوده و با واحد MPN نشان داده می شود. در آب شرب MPN باید برابر با صفر باشد (Environmental Protection Agency, 1999). میانگین کلیفرم آب خام در طول دوره آزمایش ها در کدورت های پایین، متوسط و بالا به ترتیب برابر با ۲۱۰۰۰، ۱۵۰۰۰ و ۴۶۰۰۰ (MPN/100 ml) بود.

نتایج حاصل از آزمایش های میکروبی در شکل ۴ آمده است،



شکل ۴- روند تغییرات درصد حذف کلیفرم کل نسبت به تغییرات دوز مواد منعقدکننده در کدورت‌های مورد آزمایش

۴- بحث

۵- نتیجه گیری

در مجموع بررسی‌ها نشان داد که غلظت ۰/۰۶ میلی گرم در لیتر کمک منعقدکننده کتیرا به همراه ۱۵ میلی گرم در لیتر منعقدکننده PAC در کدورت بالا (۴۸۰-۵۰۰ NTU) بهترین عملکرد را در کاهش کدورت و کلیفرم دارد. به طوری که در مقادیر بهینه فوق راندمان حذف کدورت برابر با ۹۹/۷ درصد و راندمان حذف کلیفرم کل، برابر با ۹۹/۸ درصد به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا قادر است کدورت و کلیفرم آب را به طور موثری کاهش دهد.

در این تحقیق pH عامل بسیار مؤثری بر میزان حذف کدورت بود و تنظیم آن برای استفاده بهینه از ماده منعقدکننده ضروری است. pH بهینه برای حذف کدورت توسط PAC برابر با ۸ بود و با افزایش غلظت PAC میزان حذف کدورت نیز افزایش یافت. براساس این مطالعه، غلظت بهینه PAC برای حذف کدورت در کدورت پایین (۴۰-۵۰ NTU)، برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر و در کدورت‌های متوسط (۱۰۰-۱۱۵ NTU) و بالا (۴۸۰-۵۰۰ NTU) برابر با ۱۵ میلی گرم بر لیتر به دست آمد و افزودن کتیرا به عنوان کمک منعقدکننده، بازدهی فرآیند را افزایش داد.

۶- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری صمیمانه مسئولین شرکت آب و فاضلاب اهواز و به ویژه کارکنان آزمایشگاه تصفیه خانه شماره ۲ و اساتید بزرگوارم آقایان دکتر عبدالکاسم نبیسی و دکتر افشین تكدستان سپاسگزاری می شود.

۷- مراجع

چالکش امیری، م.، (۱۳۹۵)، /اصول تصفیه آب، انتشارات ارکان دانش.

در این مطالعه نرخ حذف کدورت در pHهای اسیدی کاهش یافت. بنابراین نمی توان گفت که خنثی سازی ذرات تنها مکانیسم انعقاد است. در pH بهینه عمده ذرات در رسوبات به دام می افتند و فرآیند جاروب لخته ای صورت می گیرد. به نظر می رسد که در pH بهینه بخشی از ذرات در زنجیره انعقادی پلیمر به دام افتاده اند و مکانیسم انعقاد جاروبی و به دام افتادن ذرات موثر بوده است. در این فرایند نقش کمک منعقدکننده کتیرا نیز بسیار مهم است، به این دلیل که می تواند ذرات را جذب کرده و آن ها را از آب خارج کند. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که لخته های حاصل از کاربرد کتیرا به عنوان کمک منعقدکننده در شرایط بهینه نسبت به زمانی که از PAC به تنهایی استفاده شد، بسیار درشت تر و سرعت ته نشینی بالاتر بود.

Trease, G.E., (1971), *Pharmacognosy*, Bailliere Tindal, London, pp. 448-544.
WHO, (2007), *Guidelines for drinking water quality*, V.2, 2th Edition, World Health Organ, Geneva.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

ذهب صنیعی، ا.، (۱۳۷۰)، *روش‌های تصفیه آب*، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان. اصفهان، ایران.
زرگران، ع.، محمدی‌فر، م.، و بلاغی، س.، (۱۳۸۷)، "مقایسه برخی ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های رئولوژیک صمغ کتیرای ایرانی تراویده از دو گونه گون *A. floccosus* و *A. rahensis*"، *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۴، ۹-۱۷.
سازمان استاندارد ایران (۱۳۸۹)، *خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب شرب*، تهران، ایران.
صالحی‌سورمقی، م.، (۱۳۸۵)، *گیاهان دارویی و گیاه‌درمانی*، انتشارات دنیای تغذیه، تهران، ایران.
صمصام‌شریعت، ه.، و معطر، ف.، (۱۳۸۳)، *گیاهان و داروهای طبیعی*، انتشارات روزبهان، اصفهان، ایران.
عروجی، ن.، تکدستان، ا.، کارگری، ع.، و رئیسی، غ.، (۱۳۹۱)، "کارایی کیتوزان به‌همراه پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب ورودی به تصفیه‌خانه آب اهواز"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۳(۴)، ۷۰-۷۷.
علی‌پور، و بذرافشان، ا.، (۱۳۸۳)، *تصفیه آب: اصول نظری و عملی بهره‌برداری از تاسیسات آب شرب*، انتشارات دانش نما، اصفهان، ایران.

EPA, (1999), *Turbidity through the treatment process*, Guidance Manual Turbidity Provisions, United States Environmental Protection Agency.
Ravikumar, K., and Sheeja, A.K., (2012), "Water clarification using Moringa oleifera seed coagulant", *International Conference on Green Technologies (ICGT)*, Trivandrum, India, pp. 64-70.
Letterman. R.D., and Driscoll, C.T., (1988), "Survey of residual aluminum in filtered water", *Journal of the American Water Works Association*, 80(4).154-158.
Montgomery, J.M., (2012), *Water treatment principals and desing*, 3th Edition, John Wiley, USA.
Ndabigengesere, A., Narasiah. K.S., (1998), "Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds". *Water Research*, 32(3), 781-791.
Nonod, J., and Brault, J.L., (2014), *Water treatment handbook*, 7th Edition, Degremont, USA.
Okuda, T., Baes, A.U., Nishijima, W., and Okada, M., (1999), "Improvement of extraction method of coagulation active components from moringa oleifera seed", *Water Research*, 33(15), 3373-3378.
Sanghi. R., Bhattacharya, B., Dixit, A., and Singh, V., (2006), "Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions", *Journal of Environmental Management*, 81(1), 36-41.
Shi, B., Li., G., Wang, D., Feng, C., and Tang, H., (2007), "Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species", *Journal of Hazardous Materials*, 143(1-2), 567-574.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Turbidity and Some Heavy Metals Removal Efficacy by Poly Aluminium Chloride (PAC) Coagulant in the Presence of Bentonite and Polyelectrolyte Coagulant Aid (Case Study: Isfahan Babashikhali Water Treatment Plant)

کارایی حذف کدورت و برخی از فلزات سنگین آب توسط منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در حضور کمک منعقدکننده‌های بنتونیت و پلی الکترولیت (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی اصفهان)

Fahimeh Mehranfar

Ph.D. in Physical Chemistry, Quality Control Expert of Water and Wastewater Quality Monitoring and Supervision Center, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: fmehr_63@yahoo.com

فهیمه مهرانفر

دکترای شیمی فیزیک، کارشناس کنترل کیفیت مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: fmehr_63@yahoo.com

Received: 22/02/2021

Revised: 28/04/2021

Accepted: 14/06/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

One of the important steps in the process of removing water turbidity is the use of coagulants. Amongst the most applied materials is poly aluminum chloride (PAC) which is used to precipitate colloidal particles. The use of this compound, which contains Aluminum, in the coagulation causes some residual aluminum in the water. Natural and synthetic coagulants aid can be used to reduce the effects of overuse of poly aluminum chloride. In this study, the effect of bentonite and polyelectrolyte coagulant aid in the turbidity removal process of Babasheikhali water treatment plant is investigated. The results showed that optimum pH for turbidity removal was 8 and the optimal concentration of poly aluminum chloride at the optimum pH was 10 mg/L. In the presence of bentonite, the optimal PAC concentration decreased to 4mg/L and the turbidity removal efficiency increased to 92%. The results also showed that the combination of PAC and polyelectrolyte together can be used to reduce the concentration of heavy metals in the incoming water. Therefore, bentonite and polyelectrolyte coagulants aid can be used as a suitable option along with poly aluminum chloride to remove turbidity from the water treatment plant.

یکی از مراحل مهم در فرآیند حذف کدورت آب، استفاده از مواد منعقدکننده است. یکی از موادی که کاربرد مهمی دارد، پلی آلومینیوم کلراید (PAC) است که به منظور ته نشینی ذرات کلوئیدی از آن استفاده می شود. استفاده از این ترکیب در فرآیند انعقاد به دلیل داشتن آلومینیوم، باعث باقی ماندن مقداری آلومینیوم در آب می شود. برای کاهش اثرات استفاده بیش از حد مجاز از پلی آلومینیوم کلراید می توان از کمک منعقدکننده های طبیعی و مصنوعی کمک گرفت. در این مطالعه، اثر کمک منعقدکننده های بنتونیت و پلی الکترولیت در حذف کدورت تصفیه خانه آب باباشیخعلی مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج نشان داد که pH بهینه برای حذف کدورت ۸ و مقدار غلظت بهینه PAC در pH بهینه برابر ۱۰ mg/L به دست آمد و در حضور بنتونیت و پلی الکترولیت، غلظت بهینه PAC به ۴ mg/L کاهش یافته و راندمان حذف کدورت به ۹۲٪ افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که از ترکیب PAC و پلی الکترولیت در کنار هم می توان برای کاهش غلظت فلزات سنگین آب ورودی استفاده کرد. بنابراین، مواد کمک منعقدکننده بنتونیت و پلی الکترولیت می توانند به عنوان گزینه مناسبی در کنار پلی آلومینیوم کلراید برای حذف کدورت آب تصفیه خانه مورد استفاده قرار بگیرند.

Keywords: Babasheikhali water treatment, Poly aluminum chloride, Bentonite, Polyelectrolyte, Turbidity

کلمات کلیدی: تصفیه خانه آب باباشیخعلی، پلی آلومینیوم کلراید، بنتونیت، پلی الکترولیت، کدورت

محلول آبی تشکیل کمپلکس چندهسته‌ای داده که همین امر توانایی منحصر به فرد این ترکیب را برای انعقاد نشان می‌دهد (عروجی و همکاران، ۱۳۹۱). مقدار مناسب استفاده از این ترکیب در تصفیه آب یکی از فاکتورهای مهمی است که باید به آن توجه شود. به دلیل این که استفاده زیاد و نادرست از این ترکیب باعث افزایش آلومینیوم در آب می‌شود، مقادیر زیاد آلومینیوم اثرات خطرناکی در انسان نظیر آنتی میکروستنتیک، پوکی استخوان، آلزایمر و نارسایی کلیه در بیماران دیالیزی ایجاد می‌کند. برای به حداقل رساندن هر گونه خطر ناشی از افزایش آلومینیوم باقی‌مانده در آب تصفیه‌شده‌ای که از منعقدکننده آلومینیومی استفاده می‌شود، فرایندهای تصفیه آبی باید به‌منظور کاهش میزان آلومینیوم باقی‌مانده تا حد ممکن بهینه شوند. یکی از روش‌های بهینه کردن، استفاده از کمک منعقدکننده‌های طبیعی و مصنوعی است (Takdastan, 2012).

در تحقیقات گذشته اثر پلی‌آلومینیوم کلراید و مواد کمک منعقدکننده در تصفیه آب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج یکی از این تحقیقات نشان داد که بازده حذف کدورت توسط PAC بین ۹۳/۸٪ تا ۹۹/۶٪ است. هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد که کمک منعقدکننده Lime (5mg/L) می‌تواند در کنار PAC باعث توسعه فرایند لخته‌سازی و کاهش کدورت شود (Daryabeigi Zand and Hoveidi, 2015). در مطالعه دیگری اثر مقدار مصرفی مواد منعقدکننده پلیمری و شرایط انعقاد در کاهش کدورت و هم‌چنین اثر بنتونیت به‌عنوان کمک منعقدکننده در آب‌های با کدورت پایین مورد بررسی قرار گرفته است (Shen, 2005). تحقیقات اخیر نشان داده است که پلی‌آلومینیوم کلراید سولفات به‌عنوان منعقدکننده می‌تواند برای حذف اسیدهیومیک با کارایی انعقاد بالا استفاده شود (Wu, 2020).

تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی یکی از بزرگ‌ترین تصفیه‌خانه‌های آب ایران به‌شمار می‌رود که در کیلومتر ۴۵ جاده اصفهان-شهرکرد و در جوار شهر زاینده‌رود واقع شده است. آب مورد نیاز بیشتر شهرهای استان اصفهان از تصفیه‌خانه باباشیخعلی تأمین می‌شود و مستقیماً از مسیر انحراف رودخانه زاینده‌رود در بالادست اصفهان آب دریافت می‌کند. آب خام ورودی این تصفیه‌خانه از سد چم آسمان که در محل چم آسمان در فاصله ۸ کیلومتری تصفیه‌خانه بر روی رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته تأمین می‌شود. آب خام پس از طی مراحل آشغال‌گیری، ماسه‌گیری، ته‌نشینی مقدماتی و کلرزنی در سد چم آسمان توسط تونلی به طول ۷۷۷۹ متر و قطر ۳۰۰۰ میلی‌متر به تصفیه‌خانه انتقال یافته و از ضلع شمال غربی با روش ثقلی وارد و به تصفیه‌خانه تحویل

بدون شک آب حیاتی‌ترین عنصر در بین منابع طبیعی است. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه دسترسی به آب تمیز و سالم یک مسئله مهم است. آب موجود در منابع مختلف قبل از مصرف باید تصفیه شود. روش‌های مختلفی وجود دارد تا آب سالم و مناسبی به‌دست مصرف‌کننده برسد. یکی از مشکلات مهم تصفیه‌خانه‌های آب، تغییرات فصلی در میزان کدورت آب است (Asrafuzzaman et al., 2011).

وجود کدورت در آب می‌تواند مانع ضدعفونی کردن مناسب آب و حذف پاتوژن‌ها (میکروب‌های بیماری‌زا) شود. قسمت عمده کدورت در آب‌های سطحی ناشی از فرسایش مواد کلوئیدی نظیر خرده‌سنگ‌ها، خاک رس، اکسیدهای فلزی ناشی از فرسایش خاک و مجاورت منابع آب با فعالیت‌های صنعتی است. بر همین اساس کدورت را به‌عنوان یک عامل غیر مستقیم آلودگی آب می‌شناسند. براساس استاندارد آب آشامیدنی ایران (۱۰۵۳)، حداکثر مقدار مجاز کدورت ۵ NTU و حد مطلوب آن کمتر یا مساوی ۱ NTU است (تربایان و شاهوی، ۱۳۹۶).

روش‌های مختلفی برای حذف یا کاهش کدورت آب وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها استفاده از مواد منعقدکننده است. دو گروه اصلی از مواد مورد استفاده در فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی عبارتند از: منعقدکننده‌های آلی و معدنی (غیرآلی) (Kaggwa, 2001). منعقدکننده‌های آلی خود شامل پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی و آنیونی و پلیمرهای غیریونی هستند.

طی فرایند انعقاد، ذرات غیرقابل ته‌نشینی که اصطلاحاً کلوئید نامیده می‌شوند و عامل مهمی در بروز کدورت هستند؛ به یکدیگر چسبیده و ذرات درشت و قابل ته‌نشینی را تشکیل می‌دهند (شایسته و همکاران، ۱۳۹۱). در فرایند تصفیه آب از منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌های مختلفی استفاده می‌شود. از منعقدکننده‌های اصلی برای ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آن‌ها به یکدیگر و از کمک منعقدکننده‌ها برای افزایش دانسیته ذرات به‌هم چسبیده و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر آن‌ها استفاده می‌شود. تاریخچه استفاده از منعقدکننده‌ها طولانی است. از پلیمرهای آلی طبیعی بیشتر از ۲۰۰۰ سال استفاده شده است. در هند، آفریقا و چین سال‌ها است که از منعقدکننده‌ها و کمک‌منعقدکننده‌ها در حذف کدورت آب استفاده شده است (Kawamura, 1991).

پلی‌آلومینیوم کلراید^۱ یک ماکرومولکول معدنی است که پلیمر آن یک کمپلکس دوهسته‌ای از آلومینیوم است. این ترکیب در

دستورالعمل ذکر شده در کتاب استاندارد متد ویرایش ۲۰۱۷ (SM 2130 B) انجام شد. در این روش، ابتدا دستگاه کدورت‌سنج با استفاده از ست کالیبراسیون دستگاه (محلول CRM کدورت) کالیبره شده و سپس کدورت محلول‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل 220FS ساخت شرکت Varian استفاده شد. از اسیدنیتریک ۱:۱ برای تثبیت نمونه‌ها استفاده شد. برای اندازه‌گیری مس (Cu, $\lambda=324.7$ nm) و روی (Zn, $\lambda=213.9$ nm) از روش مستقیم شعله استفاده شد. اندازه‌گیری سرب (Pb, $\lambda=283.3$ nm)، کروم (Cr, $\lambda=357.9$ nm)، کادمیم (Cd, $\lambda=228.8$ nm) و نیکل (Ni, $\lambda=352.5$ nm) با استفاده از کوره گرافیتی انجام شد. آرسنیک (As, $\lambda=193.7$ nm) هم به روش VGA مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- انتخاب pH بهینه

به منظور تعیین pH بهینه از ماده PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L استفاده شد. بدین ترتیب ۵ بشر آماده شده حاوی نمونه و PAC به ترتیب در pHهای مختلف (۵، ۶، ۷، ۸، ۹) تنظیم شدند. به منظور تنظیم pH از اسیدسولفوریک و هیدروکسیدسدیم ۰/۰۲ نرمال استفاده شد.

۲-۳- انتخاب غلظت بهینه PAC مورد استفاده

به منظور تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده، آزمایش جار در ۵ بشر حاوی یک لیتر نمونه در pH بهینه ۸ انجام شد. محلول در غلظت‌های مورد نظر (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ mg/L) ساخته و به ترتیب به هر یک از بشرها اضافه شد. با افزودن PAC، ابتدا فرآیند اختلاط سریع با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه و زمان ۱ دقیقه انجام گرفت. سپس به منظور اختلاط کند، سرعت اختلاط به ۴۰ دور بر دقیقه کاهش یافت. این مرحله ۲۰ دقیقه به طول انجامید. بعد از این که فرآیند اختلاط کامل شد، نمونه‌ها از زیر دستگاه خارج شدند تا لخته‌های تشکیل شده فرصت ته‌نشین شدن پیدا کنند. پس از پایان یافتن آزمایش، با استفاده از پیپت از عمق ۵ سانتی‌متری زیر سطح محلول، نمونه‌برداری انجام شد تا کدورت محلول، pH و آلومینیوم باقی‌مانده و در نهایت غلظت بهینه PAC اندازه‌گیری شود.

۲-۴- انتخاب غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت

در این بخش دو سری آزمایش طراحی شد. در بخش اول از خاک بنتونیت با درصد خلوص ۶۰ و غلظت ۲۰ mg/L به عنوان کمک منعقدکننده استفاده شد. آزمایش جار بر روی نمونه‌های

داده می‌شود. آب صاف در مخازن داخل تصفیه‌خانه ذخیره و سپس به شبکه آبرسانی انتقال می‌یابد که علاوه بر شهر اصفهان بیش از ۴۰ شهر و ۴۰۰ روستا و نیز تعداد زیادی از صنایع بزرگ و کوچک را تحت پوشش قرار می‌دهد.

برای حذف ذرات کلوییدی آب در این تصفیه‌خانه از منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید استفاده می‌شود. همان‌طور که ذکر شد، استفاده از این مواد شیمیایی در فرآیندهای تصفیه آب باعث بروز خطراتی برای سلامتی می‌شود. اکثر پلیمرهای مصنوعی و معدنی زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و ممکن است تا سال‌ها در طبیعت یا داخل بدن باقی بمانند. بنابراین، برای بهینه کردن مصرف این پلیمرها در فرآیند تصفیه آب به تحقیقات بیشتری نیاز است. همان‌طور که ذکر شد، یکی از روش‌های بهینه کردن فرآیند تصفیه‌خانه استفاده از مواد کمک منعقدکننده است. در این تحقیق اثر کمک منعقدکننده‌های طبیعی بنتونیت^۲ و مصنوعی پلی‌الکترولیت^۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد که در صورت عملکرد مثبت آن‌ها در کنار PAC در تصفیه‌خانه استفاده شود. بنابراین اهداف مطالعه حاضر عبارتند از:

- ۱- استفاده از کمک منعقدکننده‌ها در کنار PAC برای کاهش کدورت و آلاینده‌های حاصل از آب؛
- ۲- تسهیل فرآیند تصفیه آب در مواقع بحرانی با استفاده از پلی‌الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده و در نتیجه کاهش مصرف PAC به عنوان عامل زیست‌تخریب‌ناپذیر.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده

آزمایش جارتست براساس روش استاندارد ASTM ۲۰۳۵ انجام شده است. آزمایش جار در واقع مدلی کوچک از واحدهای اختلاط سریع، انعقاد، لخته‌ساز و ته‌نشینی است. بر این اساس از بشرهای ۱ لیتری استاندارد به عنوان ظروف آزمایش استفاده شد. نمونه‌ها براساس برنامه آزمایش ابتدا به مدت یک دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه و پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰ دور بر دقیقه مخلوط شده، سپس ظروف از زیر دستگاه آزمایش جار خارج شده و مدت ۲۰ دقیقه برای ته‌نشینی ساکن نگه‌داشته شدند. پس از پایان مرحله ته‌نشینی، میزان مورد نیاز نمونه از حدود ۵ سانتی‌متر سطح ظرف توسط پیپت برداشته شده و برای انجام آزمایش کدورت مورد استفاده قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری کدورت از دستگاه کدورت‌سنج رومیزی مدل 2100 N ساخت شرکت Hach استفاده شد. این آنالیز مطابق با

۲-۷- اثر PAC و کمک منعقدکننده در میزان حذف بعضی

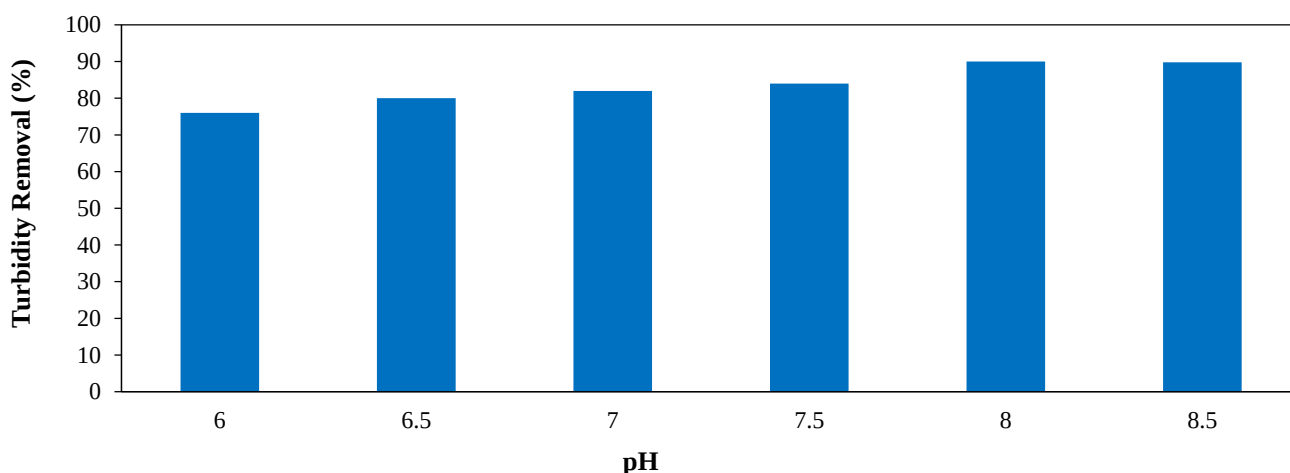
از فلزات سنگین ورودی تصفیه‌خانه

در این مرحله میانگین کدورت ورودی ۵ NTU در نظر گرفته شد و اثر PAC و پلی‌الکترولیت بر روی حذف فلزات سنگین آب ورودی تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. در این بخش، ابتدا غلظت فلزات سنگین موردنظر (مس، روی، سرب، کروم، کادمیم، نیکل و آرسنیک) قبل از اضافه کردن ماده منعقدکننده اندازه‌گیری شد. برای حذف فلزات سنگین آب ورودی، از محلول PAC با غلظت‌های ۱۰ mg/L و ۲۰ mg/L استفاده شد. نتایج این مرحله نشان داد که در حضور PAC، غلظت فلزات سنگین آب ورودی تا حدودی کاهش یافته است. غلظت بهینه PAC در این مرحله ۱۰ mg/L در نظر گرفته شد. در مرحله آخر، در حضور PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L، محلول پلی‌الکترولیت با غلظت ۰/۰۲ mg/L اضافه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین pH بهینه

تعیین pH بهینه در فرآیند انعقاد نقش مهمی دارد که به نوع و غلظت ماده منعقدکننده وابسته است. در pH بهینه، فرآیند لخته‌سازی در زمان کوتاه‌تر انجام شده، بنابراین بازدهی حذف ذرات معلق افزایش می‌یابد. تحقیقات گذشته نشان داد که بهترین روش برای تعیین pH بهینه روش آزمون و خطا است (Sanghi et al., 2006). در این مرحله و در حضور PAC میانگین کدورت ورودی ۵ NTU و میانگین کدورت خروجی ۰/۵ NTU به دست آمد. شکل ۱ pH بهینه در آزمایش جار برای کاهش کدورت محلول را نشان می‌دهد. معیار تعیین پارامتر بهینه در تمام مراحل این تحقیق راندمان حذف کدورت است.



شکل ۱- تعیین pH بهینه پس از اضافه کردن PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L

آب خام در حضور بنتونیت (۲۰ mg/L) و غلظت‌های مختلف PAC (۲ mg/L تا ۱۰ mg/L) به این صورت انجام شد: ۵ بشر هر کدام حاوی یک لیتر نمونه از ورودی تصفیه‌خانه با میانگین کدورت ۵ NTU در نظر گرفته شد. آزمایش ۱ دقیقه با دور تند و در حضور PAC با غلظت‌های مختلف در pH بهینه ۸ شروع شد. در لحظات پایانی دور تند، خاک بنتونیت با غلظت ثابت (۲۰ mg/L) به ترتیب به هر یک از بشرها اضافه شد. سرعت آزمایش در این مرحله به ۴۰ دور بر دقیقه کاهش یافت و به مدت ۲۰ دقیقه اختلاط کند در حضور بنتونیت انجام شد. در پایان این مرحله، به نمونه‌ها ۲۰ دقیقه فرصت داده شد تا فلوک‌های تشکیل شده ته‌نشین شوند.

۲-۵- انتخاب غلظت بهینه پلی‌الکترولیت به‌عنوان

کمک‌منعقدکننده

در این بخش از تحقیق، میانگین کدورت ورودی ۲۰۰ NTU و میانگین کدورت خروجی ۰/۵-۲ NTU به دست آمد. در این مرحله، غلظت ماده منعقدکننده ۱۰ mg/L (غلظت بهینه) و از پلی‌الکترولیت به‌عنوان کمک منعقدکننده در غلظت‌های مختلف تا ۱ mg/L استفاده شد.

۲-۶- انتخاب غلظت بهینه PAC در ترکیب با

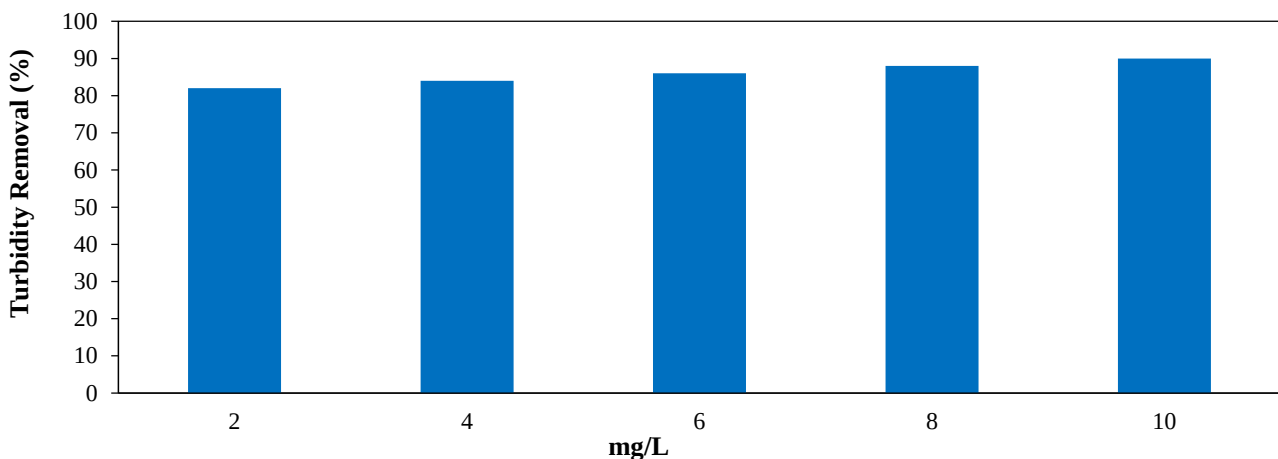
کمک‌منعقدکننده

در این مرحله میانگین کدورت ورودی ۲۰۰ NTU در نظر گرفته شد. برای تعیین غلظت بهینه PAC در حضور پلی‌الکترولیت، ابتدا غلظت‌های مختلف آن (۱ mg/L تا ۲۰ mg/L) ساخته شده و به ترتیب به هر یک از بشرها اضافه شد. سپس در لحظات پایانی دور تند، محلول پلی‌الکترولیت با غلظت ثابت ۰/۰۲ mg/L به همه بشرها اضافه شد.

۳-۲- تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید

در این بخش میانگین کدورت ورودی تصفیه خانه بین ۴ تا ۵ NTU و میانگین کدورت خروجی حدود ۰/۹ NTU به دست آمد. شکل ۲ اثر ماده منعقدکننده PAC را بر میزان حذف کدورت ($pH=8$) نشان می دهد. همان طور که از شکل مشخص است، با افزایش غلظت PAC میزان حذف کدورت افزایش پیدا کرده است. در حضور PAC ذرات معلق باردار به هم متصل شده و تشکیل فلوک می دهد که ته نشین می شوند و بدین ترتیب کدورت کاهش می یابد. در تعیین غلظت ماده منعقدکننده، قیمت آن و عوامل محیط زیستی تأثیر دارد. با توجه به این شرایط، غلظت ۱۰ mg/L با راندمان حذف ۹۰٪ به عنوان غلظت بهینه PAC در نظر گرفته شد.

همان طور که شکل ۱ نشان می دهد، در حضور PAC و با افزایش pH، میزان کدورت کاهش یافته تا این که بالاترین راندمان حذف در pH ۸ اتفاق می افتد. نتایج این بخش نشان می دهد که در این pH، رسوب تشکیل شده ناشی از حضور PAC دارای کمترین میزان حلالیت است. همچنین نتایج نشان داد که اندازه لخته های تشکیل شده در این pH، بزرگتر بودند. از طرفی همان طور که از شکل ۱ مشخص است با افزایش pH، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است. دلیل این امر آن است که تشکیل لخته ها صرفاً به دلیل فرآیند خنثی سازی بار اتفاق نمی افتد. بلکه بیشتر از طریق به دام افتادن ذرات معلق در زنجیره های پلیمری ماده منعقدکننده انجام شده است که مکانیسم انعقاد جاروبی و به دام افتادن ذرات در رسوب نام دارد (بینا و همکاران، ۱۳۸۶).

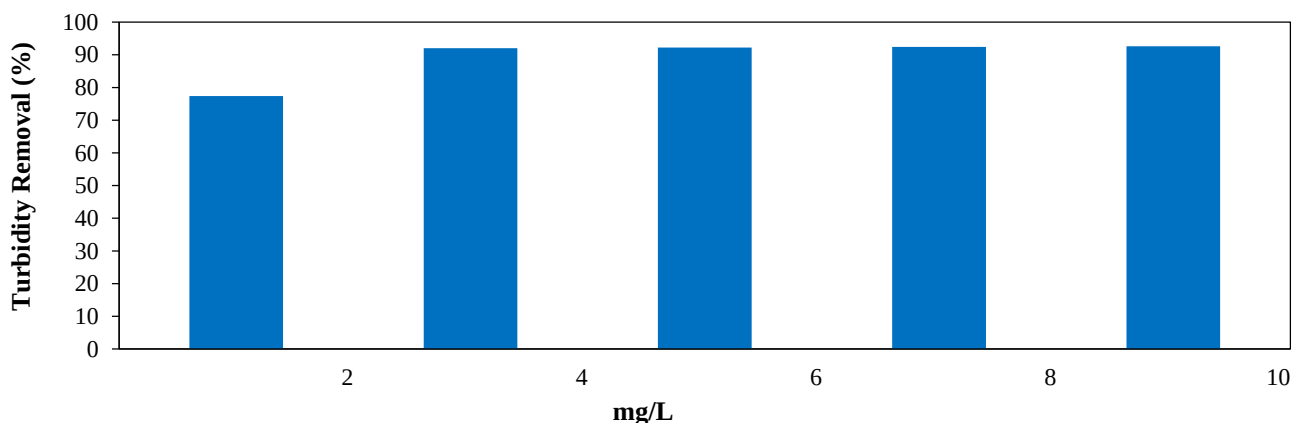


شکل ۲- تعیین غلظت بهینه PAC در $pH=8$

بدین ترتیب ابتدا غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت با انجام آزمایش تعیین شد. نتایج این بخش از تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳-۳- تعیین غلظت بهینه PAC در حضور کمک منعقدکننده بنتونیت

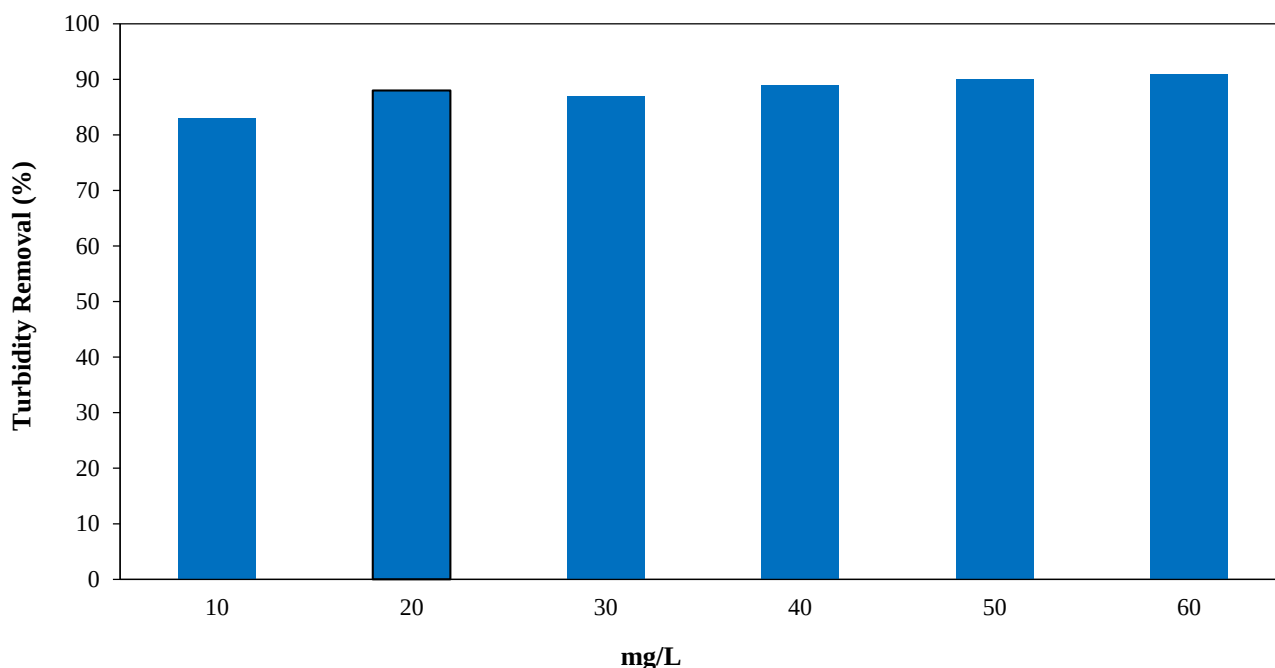
در این مرحله از کمک منعقدکننده بنتونیت استفاده شد.



شکل ۳- تعیین غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت با غلظت ثابت ۲۰ mg/L

بنتونیت به عنوان کمک منعقدکننده طبیعی در حذف مواد معلق موجود در آب و کاهش کدورت استفاده کرد. براساس این نتایج در بخش دوم تحقیق، اثر خاک بنتونیت در فرآیند حذف کدورت در غلظت‌های بالاتر بررسی شد. بر این اساس، کدورت اولیه ورودی تصفیه‌خانه ۵ NTU در نظر گرفته شد. با افزودن بنتونیت در غلظت‌های مختلف ابتدا کدورت ورودی افزایش یافت. آزمایش جار بر روی نمونه با کدورت بالاتر و در حضور غلظت بهینه PAC (۴ mg/L) انجام شد. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد در حضور بنتونیت، کدورت از ۵ به ۰/۴ NTU کاهش یافت. می‌توان نتیجه گرفت که بنتونیت به عنوان کمک منعقدکننده کدورت محلول را به‌طرز قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. حضور بنتونیت در محلول باعث می‌شود تا فلوک‌های تشکیل شده در حضور PAC، به یکدیگر بچسبند و تشکیل لخته‌های درشت‌تر دهند که راحت‌تر و سریع‌تر ته‌نشین شوند. با توجه به این شرایط و با توجه به شکل ۳، غلظت ۴ mg/L با راندمان حذف ۹۲٪ به عنوان غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت در نظر گرفته شد. بنابراین می‌توان از خاک



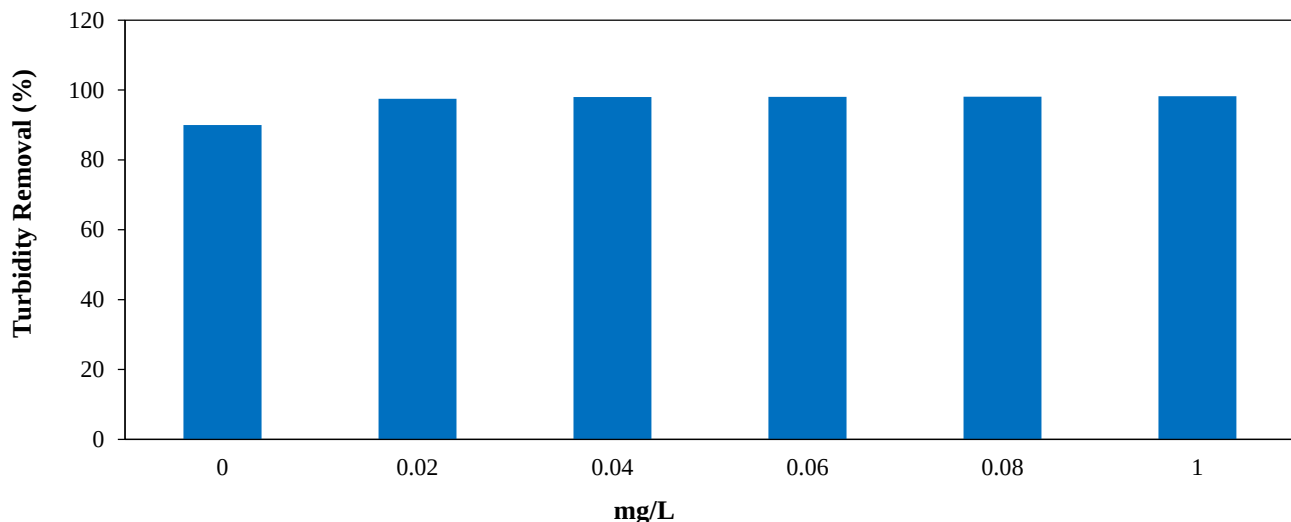
شکل ۴- تعیین غلظت بهینه بنتونیت در حضور PAC با غلظت ثابت ۴ mg/L

نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد افزایش پلی‌الکترولیت اثر زیادی در حذف کدورت داشته است. در بهترین حالت، وقتی که غلظت ماده منعقدکننده ۱۰ mg/L و غلظت کمک منعقدکننده ۰/۰۲ mg/L باشد، بالاترین درصد حذف ذرات معلق و کاهش کدورت اتفاق می‌افتد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت پلی‌الکترولیت از ۰/۰۲ تا ۱ mg/L میزان حذف ذرات معلق موجود در آب به ۹۸٪ می‌رسید. دلیل این رفتار این است که ماده کمک منعقدکننده دارای بار مثبت بوده و ذرات کلوییدی با بار منفی را جذب کرده و در نهایت تشکیل فلوک با بار خنثی می‌دهد. این فلوک‌های تشکیل شده درشت‌تر بوده و با سرعت بالاتری ته‌نشین می‌شوند. افزایش بیشتر کمک منعقدکننده در غلظت بالاتر از ۱ mg/L باعث بار مثبت اضافی محلول شده و در نتیجه کدورت محلول افزایش می‌یابد.

همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، با افزایش غلظت بنتونیت راندمان حذف کدورت افزایش یافته است ولی با توجه به نزدیکی مقادیر راندمان از غلظت ۲۰ mg/L به بعد و با در نظر گرفتن کاهش هزینه، غلظت بهینه بنتونیت ۲۰ mg/L در نظر گرفته شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که افزایش بنتونیت در محیط قلیایی (pH=۸) باعث هیدرولیز آن شده و مواد حاصل از هیدرولیز در حضور PAC باعث تشکیل فلوک‌های بزرگ‌تر و با سرعت ته‌نشینی بالاتر می‌شود.

۴-۳- تعیین غلظت بهینه پلی‌الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده

در این مرحله از تحقیق، در حضور PAC از کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت به منظور کاهش کدورت آب ورودی استفاده شد.

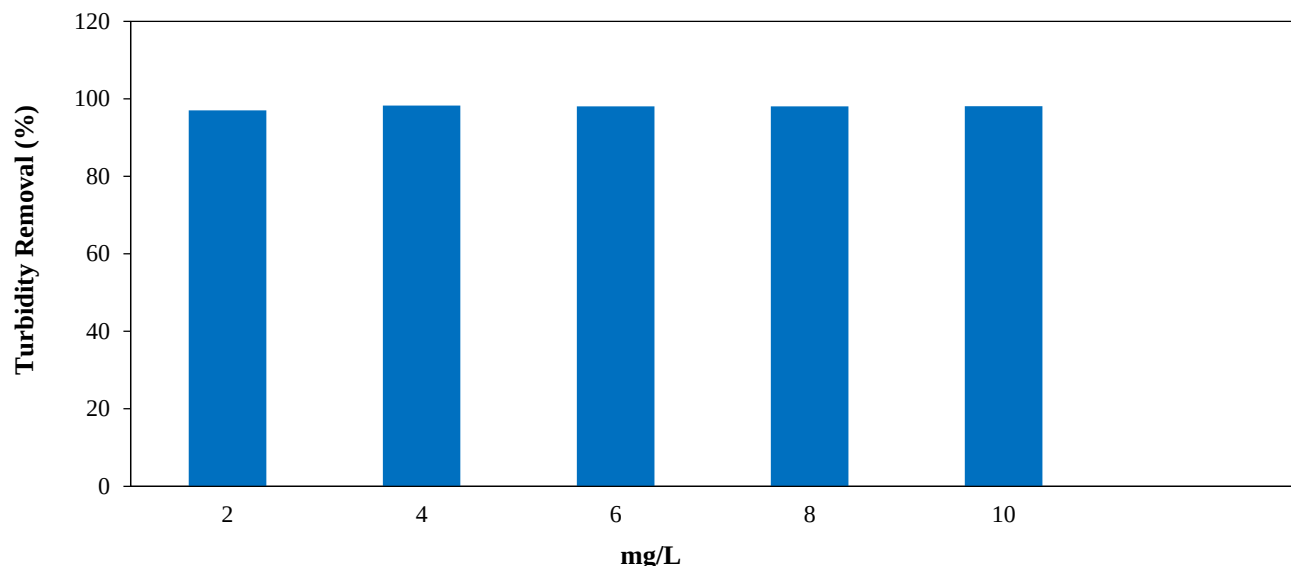


شکل ۵- تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت در حضور PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L

کمک منعقدکننده ۴ mg/L در نظر گرفته شد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که پلی‌الکترولیت می‌تواند اثر مهمی در حذف کدورت داشته باشد. دلیل این امر آن است که بار مثبت پلی‌الکترولیت باعث خنثی‌سازی محلول شده و ایجاد فلوک‌های درشت‌تر کرده که سریع‌تر ته‌نشین می‌شوند. بنابراین، در مواقع بحرانی می‌توان از پلی‌الکترولیت در کنار PAC استفاده کرد. در این صورت، هم در کاهش هزینه استفاده از PAC و هم اثرات جانبی آن نقش مهمی دارد.

۳-۵- تعیین غلظت بهینه PAC در ترکیب با کمک‌منعقدکننده پلی‌الکترولیت

در این مرحله، تعیین غلظت بهینه PAC در حضور پلی‌الکترولیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد با افزایش غلظت PAC تا ۴ mg/l راندمان حذف کدورت افزایش یافته و با افزایش مقدار بیشتری از PAC تأثیر زیادی در کاهش کدورت آب ورودی نداشت. بنابراین غلظت بهینه PAC در این مرحله و در حضور

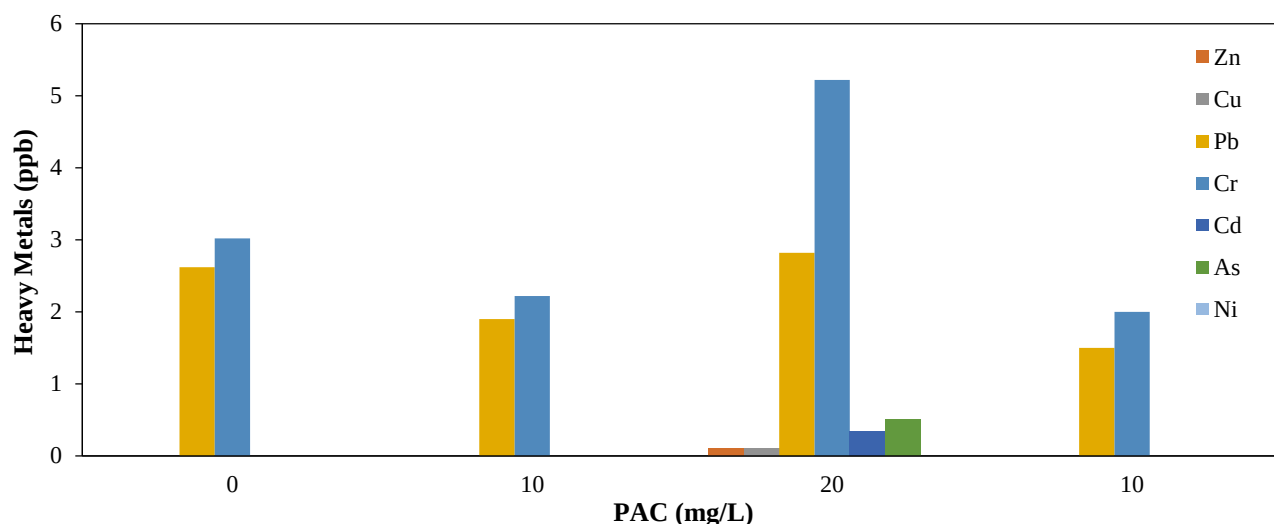


شکل ۶- تعیین غلظت بهینه PAC در ترکیب با پلی‌الکترولیت به‌عنوان کمک منعقدکننده

سنگین ورودی تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش از تحقیق در شکل ۷ نمایش داده شده است.

۳-۶- اثر PAC و کمک منعقدکننده در میزان حذف بعضی از فلزات سنگین ورودی تصفیه‌خانه

در این مرحله، اثر PAC و کمک منعقدکننده در حذف فلزات



شکل ۷- غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده قبل و بعد از اضافه کردن PAC و پلی‌الکترولیت

آب ورودی اضافه شد. نتایج نشان داد که در این مرحله غلظت فلزات سنگین به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافت. بنابراین از پلی‌الکترولیت در حد خیلی کم می‌توان برای کاهش غلظت فلزات سنگین آب ورودی استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود که برای برآورد کردن غلظت بهینه پلی‌الکترولیت و حتی بنتونیت تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود. در جدول ۲ حد مجاز فلزات سنگین مورد استفاده با توجه به استاندارد آب آشامیدنی ایران (۱۵۳) نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که در مرحله اول با شروع اضافه کردن PAC تا حدی، غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه کاهش یافت ولی پس از اضافه کردن بیشتر PAC، تأثیر زیادی در حذف فلزات وجود نداشت. با توجه به این که PAC از فلزات سنگین تشکیل شده است، بنابراین تا حد معینی، می‌تواند در کاهش غلظت فلزات آب ورودی موثر باشد. بنابراین غلظت بهینه برای PAC، ۱۰ mg/L، در نظر گرفته شد. در بخش بعدی تحقیق، در حضور PAC با غلظت بهینه ۱۰ mg/L، پلی‌الکترولیت با غلظت ۰/۰۲ mg/L به

جدول ۱- نتایج غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده قبل و بعد از اضافه کردن PAC و پلی‌الکترولیت بر حسب (mg/L)

ارسنیک	نیکل	کادمیم	کرم	سرب	مس	روی	[PAC]، [پلی‌الکترولیت]
< LOD	< LOD	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۶	< LOD	< LOD	۰، ۰
< LOD	< LOD	< LOD	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۹	< LOD	< LOD	۰، ۱۰
۰/۵	۰/۳۴	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۲۸	۰/۱	۰/۱	۰، ۲۰
< LOD	< LOD	< LOD	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۵	< LOD	< LOD	۰/۰۲، ۱۰

۴- نتیجه‌گیری

پلی‌آلومینیوم‌کلراید با غلظت ۱۰ mg/L به‌عنوان منعقدکننده مناسب در آب‌های با کدورت پایین می‌تواند استفاده شود. با افزایش کدورت آب ورودی، مواد کمک منعقدکننده بنتونیت با غلظت ۲۰ mg/L و پلی‌الکترولیت با غلظت ۰/۰۲ mg/L می‌توانند هر کدام به‌عنوان گزینه مناسب برای حذف ذرات معلق و کاهش کدورت آب ورودی تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار بگیرند. با استفاده از این مواد، مقدار PAC کمتری مورد استفاده قرار گرفته، بنابراین اثرات جانبی استفاده PAC کمتر شده و از طرفی در کاهش هزینه بسیار موثر است. نیاز است که در مورد کاربرد

یادآوری می‌شود که در جدول ۱، حد تشخیص^۴ هر پارامتر اندازه‌گیری شده با LOD نشان داده شده است.

جدول ۲- حد مجاز فلزات سنگین مورد استفاده در استاندارد ۱۵۳

نام فلز	حد مجاز (mg/L)
روی	----
مس	۲
سرب	۰/۰۱
کرم	۰/۰۵
کادمیم	۰/۰۰۳
نیکل	۰/۰۷
ارسنیک	۰/۰۱

- turbid water", *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 16(11), 82-88.
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., and Singh, V., (2006), "Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions", *Journal of Environmental Management*, 81(1), 36-41.
- Shen, Y.H., (2005), "Treatment of low turbidity water by sweep coagulation using bentonite", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology: International Research in Process, Environmental and Clean Technology*, 80(5), 581-586.
- Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Hormozi Nejad, M., and Ahmadi Moghadam, M., (2012), "Comparison of lime and bentonite efficiency in orthophosphate removal from influent of secondary clarifier in west wastewater treatment plant of Ahvaz", *Journal of Health*, 4(1), 68-76.
- Wu, Z., Zhang, X., Pang, J., Li, J., Li, J., and Zhang, P., (2020), "High-poly-aluminum chloride sulfate coagulants and their coagulation performances for removal of humic acid", *Royal Society of Chemistry Advances*, 12(10), 7155-7162.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

غلظت‌های مختلف PAC و بنتونیت و پلی‌الکترولیت در آب‌های با کدورت متفاوت تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Poly Aluminium Chloride (PAC)
- 2- Bentonite
- 3- Polyelectrolyte
- 4- Limit of Detection (LOD)

۶- مراجع

- بینا، ب.، شاهسونی، ع.، عسگری، غ.، و حسن زاده، ع.، (۱۳۸۶)، "مقایسه کارایی عصاره دانه مورینگا اولیفر و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۱۸(۱)، ۲۴-۳۳.
- ترابیان، ع.، و شاهوی، ش.، (۱۳۹۶)، "بررسی و مقایسه استانداردهای کیفی آب شرب ایران و استانداردهای معتبر جهانی"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران*، ۲(۲)، ۳-۱۳.
- شایسته، ک.، کوهی، ب.، حسونند، ح.، و یاری، و.، (۱۳۹۱)، "بررسی تأثیر پارامترهای موثر بر فرآیند انعقاد"، *چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران*، تهران، ایران.
- عروجی، ن.، تکدستان، ا.، کارگری، ع.، و رئیسی، غ.، (۱۳۹۱)، "کارایی کیتوزان به همراه پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب ورودی به تصفیه‌خانه اهواز"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۳(۴)، ۷۰-۷۷.
- Asrafuzzaman, M.D., Fakhruddin, A.N.M., and Alamgir, H., (2011), "Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants", *International Scholarly Research Network*, Vol. 2011, Article ID. 632189, 6.
- Daryabeigi Zand, A., and Hoveidi, H., (2015), "Comparing Aluminium Sulfate and Poly-Aluminium Chloride (PAC) performance in turbidity removal from synthetic water", *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 2(3), 287-292.
- Kaggwa, R.C., Mulalelo, C.I., Denny, P., and Okurut, T.O., (2001), "The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda", *Water Research*, 35(3), 795-807.
- Kawamura, S., (1991), "Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment", *Journal of the American Water Works Association*, 83(10), 88-91.
- Mehdinejad, M.H., Alimohammadi, N., Arbabmojeni, N., Soltani, A., and Amanbaei, A., (1393), "Residual Aluminum from application of Alum and Polyaluminum Chloride in removal of turbidity from

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Pressure-Energy Optimization in Water
Distribution Network
(Case Study of Baharestan City in Isfahan)**

Hossein Nasrollahi¹, Reza Safaei^{2*} and Seyed
Mohamad Hossein Saleh³

1- Master student of Mechanical Engineering, KNT
University, Tehran, Iran.

2- Water Loss and Balance Analysis Expert, Non-
Revenue Water Reduction Group, Isfahan Water and
Sewerage Company, Isfahan, Iran.

3- Director of the Operation and Development of the
Water Distribution Network and Reduction of Non-
Revenue Water Office, Isfahan Water and Sewerage
Company, Isfahan, Iran.

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

Received: 25/04/2021

Revised: 23/08/2021

Accepted: 09/09/2021

© IWWA

Abstract

Pressure management can reduce leakage and water loss in water distribution networks. Therefore, pressure management is considered as one of the most important ways to reduce costs related to the operation and maintenance of water distribution networks, especially in worn-out networks. Therefore, the pressure of water supplied to consumers should be as low as possible. This approach to reducing pressure in the distribution network by water and wastewater companies has led to an increase in the need for domestic water pressure boosting systems (using pumps and tanks), which in turn increases energy consumption. This discrepancy in the interests of water and wastewater companies and energy consumers highlights the perspective of the water-energy relationship. The aim of this study is to find a solution to optimize the pressure in water distribution networks through the use of domestic water pressure boosting systems while simultaneously minimize the total cost of leakage, pipe burst repairs and energy consumption. In this research, EPANET software is used for hydraulic analysis of the network as well as the use of pressure-based analysis to model as close as possible to the actual operating conditions. The research method has been implemented as a pilot for Baharestan city in Isfahan, and the results show that the optimal pressure is about 48 meters of water column and at a pressure of 41 meters, the costs of water and energy are equal.

Keywords: Water distribution network, Optimization, Pressure-based hydraulic analysis, Water and energy nexus, Pressure management

**بهینه‌سازی فشار-انرژی در شبکه توزیع آب
(مطالعه موردی: شهر بهارستان اصفهان)**

حسین نصراللهی^۱، رضا صفایی بروجنی^{۲*} و سید محمدحسین
صالح^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه
نصیرالدین طوسی تهران.

۲- کارشناس تحلیل هدررفت و بالانس گروه کاهش آب بدون درآمد،
شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان.

۳- مدیر دفتر بهره‌برداری و توسعه شبکه توزیع آب و کاهش آب بدون
درآمد، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

کنترل فشار در شبکه‌های توزیع آب می‌تواند منجر به کاهش نشتی و هدررفت آب شود. از این رو، مدیریت فشار یکی از مهم‌ترین راه‌کارها برای کاهش هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های توزیع آب و به‌خصوص در شبکه‌های فرسوده تلقی می‌شود. بنابراین فشار آب تأمین شده برای مصرف‌کنندگان باید تا حد ممکن پایین باشد. رویکرد کاهش فشار در شبکه توزیع توسط شرکت‌های آب و فاضلاب، منجر به افزایش نیاز به سیستم‌های تقویت‌کننده فشار آب خانگی (استفاده از پمپ و مخزن) شده که این امر افزایش مصرف انرژی را با خود به همراه دارد. این تناقض در منافع شرکت‌های آب و فاضلاب و مصرف‌کنندگان انرژی، چشم‌انداز رابطه آب و انرژی را برجسته می‌کند. هدف این تحقیق یافتن راه‌حلی برای بهینه‌سازی فشار در شبکه‌های توزیع آب از طریق استفاده از سیستم‌های تقویت‌کننده فشار آب خانگی برای به حداقل رساندن هم‌زمان هزینه کل رفع نشتی، تعمیرات ترکیدگی لوله‌ها و مصرف انرژی است. در این تحقیق از نرم‌افزار EPANET برای تحلیل هیدرولیکی شبکه و همچنین استفاده از تحلیل مبتنی بر فشار برای مدل‌سازی هرچه نزدیک‌تر به شرایط واقعی بهره‌برداری استفاده می‌شود. روش تحقیق به‌صورت پایلوت برای شهر بهارستان اصفهان پیاده‌سازی شده، و نتایج نشان می‌دهد فشار بهینه در حدود ۴۸ متر ستون آب بوده و در فشار ۴۱ متر هزینه‌های بخش آب و انرژی با هم برابر می‌شود.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، بهینه‌سازی، تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار، پیوند آب و انرژی، مدیریت فشار

استراتژی‌های نشت‌یابی فعال و کاهش فشار در شبکه‌های توزیع، نشت را کاهش دهند (Puust et al., 2010). در ایران میزان متوسط نشت در شبکه‌های توزیع شهری در حدود ۱۴ درصد گزارش شده است (یوسفی خوش قلب، ۱۴۰۰). روش‌های نوین نشت‌یابی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است (عطاری و فغفور مغربی، ۱۳۹۷).

بسیاری از مقالات به تجزیه و تحلیل اقتصادی هزینه‌های عملیاتی و نگهداری مرتبط با شبکه‌های توزیع پرداخته‌اند. به عنوان مثال، (Kanakoudis et al., 2001) مدلی برای محاسبه زمان تعویض بهینه لوله‌ها در شبکه توزیع آب، براساس هزینه‌های ترمیم خرابی و نشتی لوله ارائه دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بهترین زمان تعویض برای شهر آتنا ۶۹ سال پس از نصب است. مدل فنی و اقتصادی آن‌ها انواع مختلفی از هزینه‌های مربوط به تعمیر و تعویض اجزای مشکل‌ساز شبکه را در نظر گرفته است. (Creaco and Walski, 2017) یک تحلیل اقتصادی ارائه داده‌اند که تأثیرات کاهش فشار را با استفاده از شیرهای فشارشکن با کنترل زمان لحظه‌ای (Real Time Control, RTC) بر روی نشت و تعداد شکستگی‌ها ارزیابی می‌کند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تا زمانی که هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری پایین است، نیازی به استفاده از شیرهای فشارشکن نیست. وقتی هزینه‌ها افزایش می‌یابد، اولین گزینه باید مدیریت فشار با استفاده از شیرهای فشارشکن باشد. تحلیل اقتصادی مدیریت فشار و پارامترهای تأثیرگذار بر آن نیز به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۹).

مصرف انرژی در سیستم‌های تأمین آب بسیاری از محققان را بر آن داشته تا به دنبال رویکردهای یکپارچه‌تری در مورد آب و انرژی باشند. در یک مطالعه، مصرف انرژی در شبکه‌های توزیع آب از طریق تجزیه و تحلیل چرخه حیات شبکه آب در سه مرحله (ساخت، استفاده و دفع) ارزیابی شد و نتیجه‌گیری شد که تعویض لوله با دوره ۵۰ سال منجر به کم‌ترین مقدار مصرف انرژی می‌شود (Filion et al., 2004). Hashemi et al. (2014) با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه عملکرد پمپ با سرعت متغیر را بهینه‌سازی کردند. با استفاده از این سیستم، آن‌ها انعطاف‌پذیری ایستگاه پمپاژ را با توجه به تغییرات تقاضای آب در طول روز افزایش دادند و برنامه پمپاژ را به دست آوردند که هزینه‌های انرژی را بهینه می‌کند.

از آنجایی که سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی یکی از بزرگترین اجزای مصرف‌کننده انرژی در ساختمان‌ها بوده و فشار تأمین شده توسط شرکت‌های آب و فاضلاب به میزان قابل توجهی

تأمین انرژی و آب آشامیدنی یکی از جنبه‌های اساسی توسعه پایدار شهرها و جوامع است که خود وابسته به طیف وسیعی از عوامل مختلف و برهمکنش آن‌ها است. تغییرات آب و هوایی و روند افزایش دمای کره زمین و وقوع خشکسالی‌های درازمدت دستیابی به منابع تأمین آب پایدار و توانایی تأمین آب آشامیدنی را محدود کرده و نگرانی در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای علاقه جهانی به بهبود بهره‌وری انرژی را بیش از پیش نمایان ساخته است. همچنین، رشد جمعیت نیاز به آب و انرژی را در بخش‌های مختلف از جمله بخش خانگی افزایش می‌دهد. بنابراین به دلیل جایگاه تقابلی و تکاملی مباحث آب و انرژی، امکان هم‌افزایی بین این دو وجود داشته و پیوند بین دو بخش و اهمیت برنامه‌ریزی تلفیقی آب و انرژی از موضوعات برجسته تحقیقاتی است.

اهمیت بررسی پیوند آب و انرژی در شبکه‌های توزیع آب که نقش اصلی در توزیع و تحویل آب به مصرف‌کنندگان را دارد، هنگامی به چشم می‌آید که کمبود فشار در شبکه مصرف‌کنندگان را ملزم به نصب و به کارگیری پمپ در منازل می‌نماید. مطالعات بسیاری طراحی شبکه‌های توزیع آب را با رویکرد و ابزار مختلف از جمله به حداقل رساندن هزینه (Jung and Kim, 2018)، کنترل آلودگی (Fan et al., 2019)، بازیابی انرژی (Lima et al., 2018) و استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه (Marques et al., 2018) (Monsef et al., 2019) بررسی کرده‌اند. عوامل مرتبط با هزینه مانند نشت شبکه، نسبت شکست لوله، اصلاح و بازسازی شبکه آب، انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب به شبکه به طور کلی توسط تمامی شرکت‌های آب و فاضلاب مورد توجه قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل چنین عواملی نقش قابل توجه مدیریت فشار را در شبکه‌های توزیع آب نشان داده است (Zhang et al., 2020; Lambert, 2001). فشار یک پارامتر قابل تنظیم بوده که در صورت مدیریت صحیح، می‌تواند هزینه‌های نگهداری شرکت‌های آب و فاضلاب را کاهش دهد.

مدیریت نشت به مجموعه‌ای از اقدامات و استراتژی‌هایی گفته می‌شود که توسط شرکت‌های آب و فاضلاب اتخاذ شده تا سطح نشت را به سطح اقتصادی آن نزدیک کنند (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۸). نشت در شبکه‌های توزیع آب، رابطه بین فشار و نشت و روش‌های تشخیص نشت به طور گسترده‌ای مورد تحقیق قرار گرفته است (Fabbiano et al., 2020). از آنجا که نشت شبکه از اجزای اصلی اتلاف آب و افزایش آب بدون درآمد بوده، شرکت‌های آب و فاضلاب سعی کرده‌اند با اصلاح لوله‌های شبکه، اجرای

هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها در قبال دستیابی به بهینه‌ترین فشار تعریف می‌شود. این مدل برای محاسبه فشارهای بهینه شده روزانه و ساعتی و کل هزینه‌های بهینه شده برای شهر بهارستان استفاده می‌شود.

۲-۱- شبیه‌سازی مصرف انرژی برای سیستم‌های تقویت‌کننده فشار آب خانگی

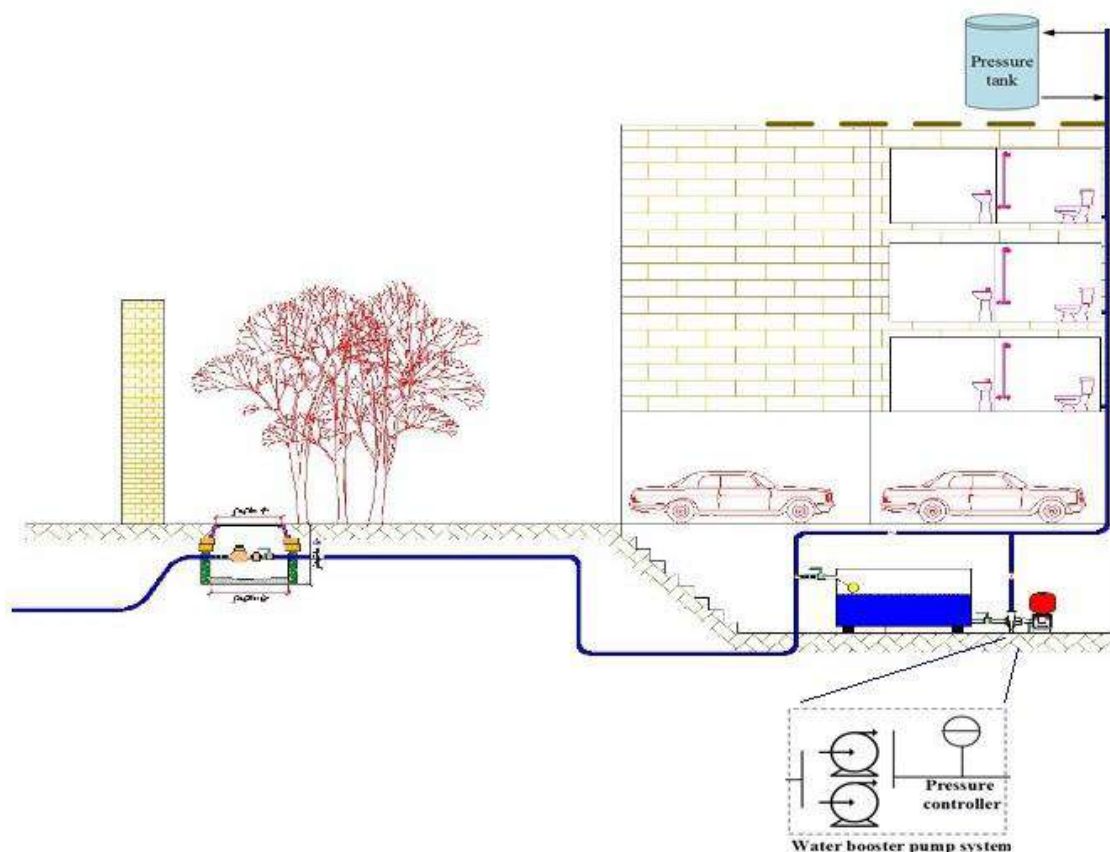
سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی در هر کجا که نیاز به افزایش فشار باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و وظیفه تأمین و حفظ فشار آب در خطوط لوله یک ساختمان را دارند. سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی به‌طور گسترده‌ای در خانه‌ها و آپارتمان‌ها نصب می‌شوند تا فشار آب را افزایش دهد و جریان مورد نیاز مصرف‌کنندگان را (که شرکت آب و فاضلاب قادر به تأمین آن نیست) در طبقه‌های مختلف در طول روز تأمین کند. براساس قوانین و استانداردهای مختلف، طرح‌های مختلف سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی برای سیستم‌های آبرسانی خانگی ارائه شده است. در شکل ۱ طراحی یک سیستم آبرسانی خانگی معمولی ارائه شده توسط شرکت‌های تولیدکننده پمپ تقویت‌کننده ارائه شده است.

بر میزان انرژی مصرفی آن‌ها تأثیر می‌گذارد، رابطه بین فشار شبکه توزیع آب و انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی (استفاده از پمپ و مخزن) برای تأمین آب و حفظ حداقل فشار در یک ساختمان با توجه به ارتفاع آن و تعداد مصرف‌کنندگان باید ارزیابی شود.

دستیابی به بهینه‌ترین مقدار فشار تأمین شده در شبکه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های انرژی مصرفی چه در بخش خانگی و چه در بخش نگهداری شبکه‌های توزیع موضوعی است که تا به حال به آن پرداخته نشده است و در این تحقیق به‌عنوان هدف اصلی مطالعه انتخاب شده است.

۲- روش تحقیق

در این مقاله، شبکه با استفاده از نرم‌افزار EPANET مدل می‌شود و به‌منظور شبیه‌سازی هرچه نزدیکتر به واقعیت با استفاده از تحلیل مبتنی بر فشار فشار هر گره محاسبه می‌شود. روابط نشت و تعدد شکستگی با فشار در مدل برای محاسبه تغییرات عملکرد و هزینه‌های نگهداری پیاده‌سازی شده است. پس از تعیین مصرف انرژی توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی، تابع هدف با



شکل ۱- سیستم تأمین آب خانگی

تأمین شده توسط شرکت آب در نظر گرفت که برابر با H_j است و محاسبه آن در بخش ۲-۲ نشان داده شد.

بازده پمپ η را می‌توان با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کرد.

$$\eta = \frac{\text{Water Energy}}{\text{Electric Energy}} \quad (3)$$

هنگامی که هد پمپاژ h منفی باشد، فشار تأمین شده توسط شرکت آب برای مصرف‌کنندگان ساختمان کافی است. در این حالت دیگر نیازی به سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی نیست و انرژی اضافی نیز مصرف نمی‌شود. بازده انرژی با توجه به شرایط مختلف نصب می‌تواند متفاوت باشد. چندین استراتژی، مانند کنترل سرعت سیستم پمپاژ با استفاده از درایوهای فرکانس متغیر، نصب سیستم‌های پمپاژ موازی، افزایش قطر سیستم لوله‌کشی و انتخاب یک سیستم پمپاژ مناسب با به حداقل رساندن قدرت اسب بخار، پیشنهاد شده است.

طراحان ساختمان سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی را بر مبنای برآورد کل نیازهای جریان مصرف‌کنندگان انتخاب می‌کنند، در حالی که h_{loss} ، h_{elv} ، h_{sup} با توجه به سیستم لوله‌کشی ساختمان حداکثر مقادیر موجود را دارند و h_{avl} حداقل مقدار را دارد. هرگونه تغییر در پارامترها بر روی نقطه عملکرد مطلوب تأثیر می‌گذارد و کارایی سیستم را کاهش می‌دهد. نصب پمپ‌های موازی می‌تواند این مشکل را در برخی ساختمان‌ها کاهش دهد.

۲-۲- شبیه‌سازی شبکه توزیع

منظور از تحلیل هیدرولیکی این است که با داشتن مشخصات شبکه و اجزای آن بتوان دبی و سرعت در لوله‌ها و هد درگره‌ها را محاسبه نمود. برای تحلیل هیدرولیکی یک شبکه باید مجموعه معادلات پیوستگی و انرژی به‌طور هم‌زمان حل شوند. معادله پیوستگی در هر گره به این مفهوم است که میزان دبی ورودی به یک گره با میزان دبی خروجی از آن برابر است. معادله انرژی در هر لوله میزان افت هد انرژی دو سر لوله را به‌صورت تابعی از خواص سیال عبوری از لوله، خواص لوله، خواص جریان (دبی یا سرعت) بیان می‌کند. برای افت هد انرژی در یک لوله معمولاً از یکی از روابط هیزن ویلیامز، دارسی وایسباخ ومانینگ استفاده می‌شود. معمولاً برای سادگی کار و از آن‌جا که فرمول هیزن ویلیامز جواب‌های نسبتاً خوبی مطابق با واقعیت می‌دهد، در عمل از معادله هیزن-ویلیامز برای تحلیل شبکه‌های آب استفاده می‌شود. هم‌چنین برای حل معادلات شبکه یکی از بهترین روش‌ها، روش گرادیان است.

برای تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آب نرم‌افزارهای زیادی

در بیشتر طراحی‌ها، مخزن ذخیره آب در طبقه همکف قرار دارد. می‌توان آب را در این مخازن در ساعات کم‌مصرف ذخیره کرد، در این مدت آب تأمین شده توسط شرکت‌های آب و فاضلاب بیش از سطح مصرف است. آب ذخیره شده را می‌توان در ساعات اوج مصرف برای تأمین نیازهای مصرف‌کنندگان با استفاده از سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی استفاده کرد. سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی، فشار آب ذخیره شده در مخزن را از طریق یک مجرا افزایش می‌دهد و شامل یک یا چند پمپ است که با توجه به ارتفاع ساختمان، کنترل‌کننده پمپ، تقویت‌کننده و یک سنسور فشار که در سمت خروجی قرار دارد، طراحی و انتخاب می‌شوند. تقویت‌کننده پمپ متصل به دستگاه کنترل، پمپ را هنگامی که به حد فشار بالایی از پیش تعیین شده می‌رسند خاموش کرده و با رسیدن به فشار پایین روشن می‌کند. مخزن فشار را می‌توان بر روی سقف نصب کرد تا نیازهای فشاری سیستم را برآورده کند. بدون مخزن فشار، تقویت‌کننده با کوچک‌ترین نیاز به جریان دوباره شروع به کار می‌کند. یک استراتژی معمولی برای صرفه‌جویی در انرژی، نصب اتصال کنارگذر برای استفاده از فشاری است که توسط شرکت آب و فاضلاب برای سیستم آبرسانی خانگی ایجاد می‌شود و نیاز به راه‌اندازی سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی را کاهش می‌دهد. هرچه میزان تأمین آب تحت فشار از شرکت‌های آب بیشتر باشد، مصرف انرژی سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی نیز کمتر خواهد بود. در تحقیق حاضر با فرض وجود مسیر کنارگذر، بررسی میزان مصرف انرژی این سیستم‌ها انجام می‌شود.

نیروی مورد نیاز پمپ برای بلند کردن مایع تا یک ارتفاع خاص، قدرت هیدرولیک نامیده می‌شود و طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$P = \begin{cases} 0 & h \leq 0 \\ \frac{\rho g h Q}{\eta} & h > 0 \end{cases} \quad (1)$$

که P : مصرف برق، p : تراکم آب، g : شتاب جاذبه، Q : دبی آب، η : بازده پمپ، و h : هد پمپاژ است که طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$h = h_{sup} + h_{elv} + h_{loss} - h_{avl} \quad (2)$$

که h_{sup} : هدی است که توسط پمپ به شیر آب می‌رسد، h_{elv} : ارتفاع شیر آب نسبت به پمپ است، h_{loss} : تلفات اصطکاک لوله کشی و h_{avl} : فشار مکش است. فشار مکش را می‌توان فشار آب

پیشنهاد شده توسط (Shirzad and Tabesh, 2012) که در تحقیق خود با مطالعه آزمایشگاهی مقادیر توان و ضرایب مناسب برای استفاده در رابطه اریفیس برای شیرهای مختلف و میزان بازشدگی متفاوت را ارائه کرده‌اند، به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$n = 2.08 \text{ و } H_j^{max} = 100 \text{ m}, H_j^{des} = 30 \text{ m}, H_j^{min} = 0$$

$$Q_j^{avl} = \begin{cases} 0 & ; \text{if } H_j \leq 0 \\ 0.176(Q_j^{req} \times H_j^{0.48}) & ; \text{if } 0 < H_j \leq 30 \\ Q_j^{req}(0.5 + 0.0882 \times H_j^{0.48}) & ; \text{if } 30 < H_j \leq 100 \\ 1.424Q_j^{req} & ; \text{if } H_j > 100 \end{cases} \quad (5)$$

در تحقیق حاضر، به منظور تجزیه و تحلیل اثرات فشار متوسط شبکه توزیع آب بر هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و هزینه انرژی مصرفی سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی، ارتفاع مخزن تغییر می‌یابد. به این معنی که به منظور دستیابی به میزان فشار بهینه که هدف اصلی این مطالعه است، در مدل ارتفاع مخزن تغییر داده می‌شود. البته در عمل با نصب شیرفشار شکن در ورودی شبکه توزیع و تنظیم نمودن آن، کنترل لازم را می‌توان اعمال کرد.

۲-۳- شبیه‌سازی نشت آب

یکی از نتایج اصلی مدیریت فشار متوسط شبکه کاهش نشت است. نشت دلیل اصلی هدررفت واقعی و کاهش آن پتانسیلی را برای شرکت‌های آب و فاضلاب در کاهش هزینه‌های خود و صرفه‌جویی در مصرف آب به‌ویژه در موارد کمبود آب آشامیدنی ایجاد می‌کند. روش‌های زیادی برای بررسی اثرات تغییر فشار بر نشت پیشنهاد شده است. معادله FAVAD از مشهورترین روش‌ها است و مدل بهتری در مورد رفتار واقعی شبکه‌ها ارائه می‌دهد (Deyi et al., 2014).

$$\frac{L_I}{L_0} = \left(\frac{H_I}{H_0} \right)^{N_I} \quad (6)$$

که L_I : نشت آب پس از کاهش فشار (متر مکعب)، L_0 : نشت آب قبل از کاهش فشار (متر مکعب)، H_0 : فشار قبل از کاهش (m H_2O). H_I : فشار پس از کاهش (m H_2O) و N_I : توان نشت است و به نوع خرابی‌ها و مواد لوله بستگی دارد. طبق مطالعات تجربی، مقدار N_I بین ۰/۵ تا ۲/۵ برآورد می‌شود. شکل ۲ رابطه بین فشار و نشت را برای مقادیر مختلف N_I نشان می‌دهد.

توسعه داده شده‌اند. مشهورترین و پرکاربردترین آن، EPANET 2.0 است. از آنجا که این نرم‌افزار متن باز بوده و ابزار جانبی فراوانی برای آن تهیه کردند و قابلیت اتصال به محیط برنامه‌نویسی MATLAB را دارد، در این تحقیق به عنوان شبیه‌ساز انتخاب شده است. EPANET هم‌چنین این مزیت را دارد که برای تحلیل از روش گرادیان استفاده می‌کند.

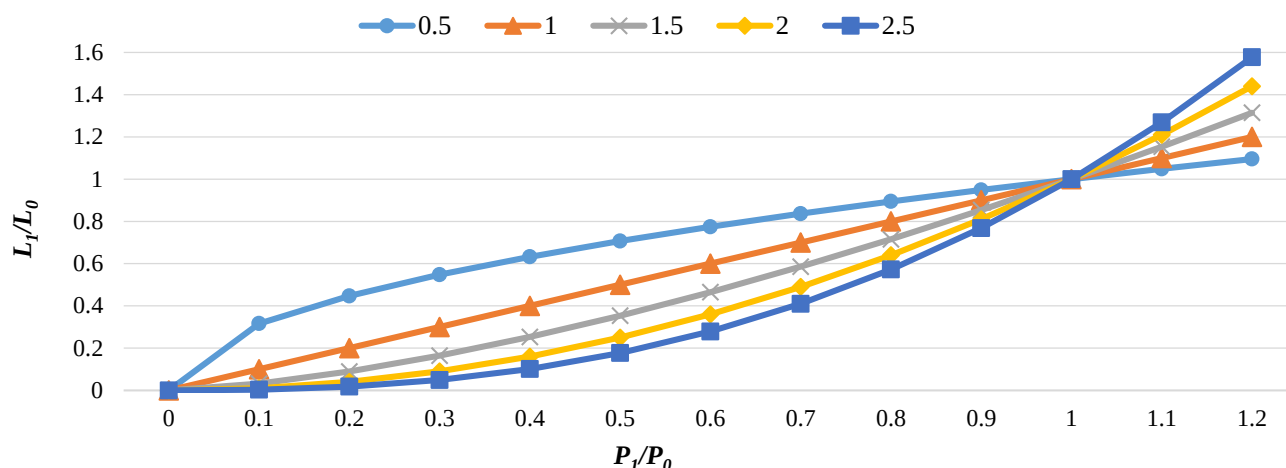
به منظور تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار، باید دبی خروجی از گره را به جای ثابت فرض کردن (Q_{req})، متناسب با فشار موجود در گره محاسبه کرد (Q_{avl}). رابطه مورد استفاده در این تحقیق براساس بررسی و نتیجه‌گیری از روابطی که تاکنون ارائه شده‌اند، رابطه (۴) است (Tabesh et al., 2014):

$$Q_j^{avl} = \begin{cases} 0 & ; \text{if } H_j \leq H_j^{min} \\ Q_j^{req} \left(\frac{H_j - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} & ; \text{if } H_j^{min} < H_j \leq H_j^{des} \\ Q_a + Q_b \left(\frac{H_j - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} & ; \text{if } H_j^{des} < H_j \leq H_j^{max} \\ Q_a + Q_b \left(\frac{H_j^{max} - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} & ; \text{if } H_j > H_j^{max} \end{cases} \quad (4)$$

که H_j : هد موجود در گره j ، H_j^{min} : حداقل حد مطلق گره‌ای، H_j^{des} : حداقل حد مطلوب گره‌ای، Q_j^{avl} و Q_j^{req} : دبی موجود و دبی مورد تقاضا گره j ، H_j^{max} : هد حداکثر است که برای هدهای بیشتر از آن دبی خروجی با فشار تغییر نکرده و ثابت باقی می‌ماند، Q_a : دبی حجمی، Q_b : دبی وابسته به فشار در گره j و n : ضریبی که معمولاً بین ۱/۵ تا ۲ در نظر گرفته می‌شود (Tabesh et al., 2014).

مقدار H_j^{max} با توجه به فشار ترکیدگی لوله باید انتخاب شود که این مقدار با توجه به انواع لوله‌ها از لحاظ جنس و عمر می‌تواند متفاوت باشد. مقدار پیشنهاد شده برای H_j^{max} دو برابر H_j^{des} است. برای تعیین مقادیر مصرف حجمی، با توجه به این که سهم عمده‌ای از مصارف را بخش حجمی در خود جا داده، لذا مقدار Q_a را برابر ۵۰٪ و در نتیجه مقدار Q_b هم ۵۰٪ مقدار مصرف مورد نیاز می‌توان در نظر گرفت.

در تحقیق حاضر با توجه به ماهیت شبکه و نحوه بهره‌برداری با فرض در نظر گرفتن مشخصات شیرهای خروجی به صورت ۰/۵ اینچ و به صورت کاملاً باز می‌توان رابطه (۱) را با اعمال مقادیر



شکل ۲- رابطه بین فشار و نشت را برای مقادیر مختلف N_I

فشار خانگی را در پی دارد. این منافع متناقض بین شرکت‌های آب و مصرف‌کنندگان آب نیاز به یک رویکرد یکپارچه آب و انرژی برای تسهیل تصمیمات بهینه در مورد فشار متوسط شبکه توزیع در هر منطقه از شهر بر اساس شرایط محلی دارد. برای انجام این کار، هزینه‌های بخش آب و بخش انرژی مربوط به تغییر فشار متوسط باید تجزیه و تحلیل شود.

طبق بخش ۲-۱ هزینه انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی با استفاده از رابطه (۸) قابل محاسبه است:

$$C_E = c_E \times P \quad (8)$$

که C_E : هزینه عملیاتی سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی، P : مصرف برق و c_E : قیمت انرژی است.

همچنین، هزینه بهره‌برداری و نگهداری شبکه، که تحت تأثیر تغییر فشار موجود قرار دارد، می‌تواند با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شود:

$$C_W = (c_B \times BF_I) + (c_W \times L_I) \quad (9)$$

که C_W : هزینه بهره‌برداری و نگهداری شبکه، c_B : هزینه رفع شکستگی لوله و c_W : قیمت آب است. در آخر، نقطه فشار بهینه برای فشار موجود (h_{avl}) با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize: } OF &= \left(\sum_{i=1}^j \sum_{h=0}^{23} C_E(i, h) \right) + \left(\sum_{h=0}^{23} C_W(h) \right) \\ \text{S.t:} \\ 10 \text{ m H}_2\text{O} &< (h_{avl})_j < H_j^{max} \end{aligned} \quad (10)$$

در این تابع هدف، i و h : شمارنده، j : تعداد گره‌های شبکه، h_{avl} : متغیر تصمیم‌گیری است که در عمل با نصب شیر فشارشکن هد

۲-۴- شبیه‌سازی تعداد و دوره شکستگی‌های شبکه

کاهش تعداد شکستگی‌ها می‌تواند هزینه‌های عملیاتی و نگهداری را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. هزینه‌های ترمیم ترکیدگی‌ها شامل لوله‌ها و کوپلینگ‌های مورد استفاده برای تعمیر، پرسنل، تجهیزات و ماشین‌آلات است که شرکت‌های آب و فاضلاب را متمایل به کاهش فشار متوسط شبکه می‌کنند. وقوع شکستگی‌ها معمولاً به سن لوله، مواد لوله، بار خارجی، شرایط آب‌وهوایی و تأثیرات مدیریت فشار بر این پارامترها بستگی دارد. مدل‌های مختلفی برای بررسی این وابستگی ایجاد شده است. (Lambert et al. (2013 معادله (۷) را ارائه داده‌اند:

$$(BF_0 - BF_I) = (BF_0 - BF_{npd}) \times \left(1 - \left(\frac{H_I}{H_0} \right)^{N_2} \right) \quad (7)$$

که BF_0 : تعداد شکستگی‌ها قبل از مدیریت فشار، BF_I : تعداد شکستگی‌ها بعد از مدیریت فشار، BF_{npd} : شکستگی‌های مستقل از فشار، H_I : فشار پس از مدیریت فشار، H_0 : فشار قبل مدیریت فشار است با توجه به شبکه مورد مطالعه، و N_2 : توان رابطه فشار-شکستگی است که به صورت تجربی محاسبه شده است.

۲-۵- روش بهینه‌سازی

شرکت‌های آب و فاضلاب با نصب شیرهای فشار شکن یا ایستگاه‌های پمپاژ می‌توانند فشار کل شبکه توزیع یک شهر یا یک منطقه خاص را تغییر دهند. کاهش فشار هزینه‌های عملیاتی و نگهداری شبکه توزیع را کاهش می‌دهد و از طرفی برای هر گره کاهش فشار منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی می‌شود. از طرف دیگر، افزایش فشار باعث افزایش هزینه‌های عملیاتی و نگهداری شبکه توزیع شده و در مقابل کاهش هزینه‌های عملیاتی سیستم‌های تقویت‌کننده

دو شبکه متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

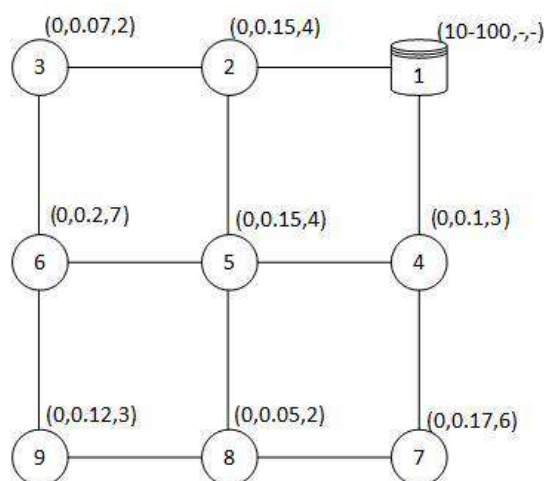
۳-۱- شبکه ۴ حلقه‌ای

در این مطالعه یک شبکه ۴ حلقه‌ای در نظر گرفته شده است که دارای ۱۲ لوله و ۸ مصرف‌کننده است و در شکل ۳ نمایش داده شده است. طول لوله‌ها برابر ۱۲ کیلومتر و ضریب هیزن ویلیامز برای همه لوله‌ها ۱۳۰ است. گره شماره ۱ مخزن شبکه آب است که ارتفاع آن از ۱۰ الی ۱۰۰ متر تغییر می‌کند، تا بدین وسیله بتوان اثرات تغییر متوسط فشار آب در شبکه آب را بر روی هزینه‌ها مربوط به مصرف انرژی در پمپ‌های خانگی و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه آب مشاهده نمود.

آن قابل تغییر است. فشار حداقل برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شده که توسط شرکت‌های آب و فاضلاب تأمین می‌شود. از آن‌جا که نیاز آب و قیمت انرژی در طول روز متفاوت است، معادله بهینه‌سازی هزینه ساعتی آب و انرژی را در طول ۲۴ ساعت محاسبه می‌کند و با استفاده از جمع هزینه‌های حوزه آب و انرژی، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی خطی، نقطه کمینه این تابع را به‌عنوان جواب بهینه در نظر می‌گیرد.

۳- مطالعه موردی

در این بخش برای بررسی مدل توسعه داده شده، عملکرد آن در



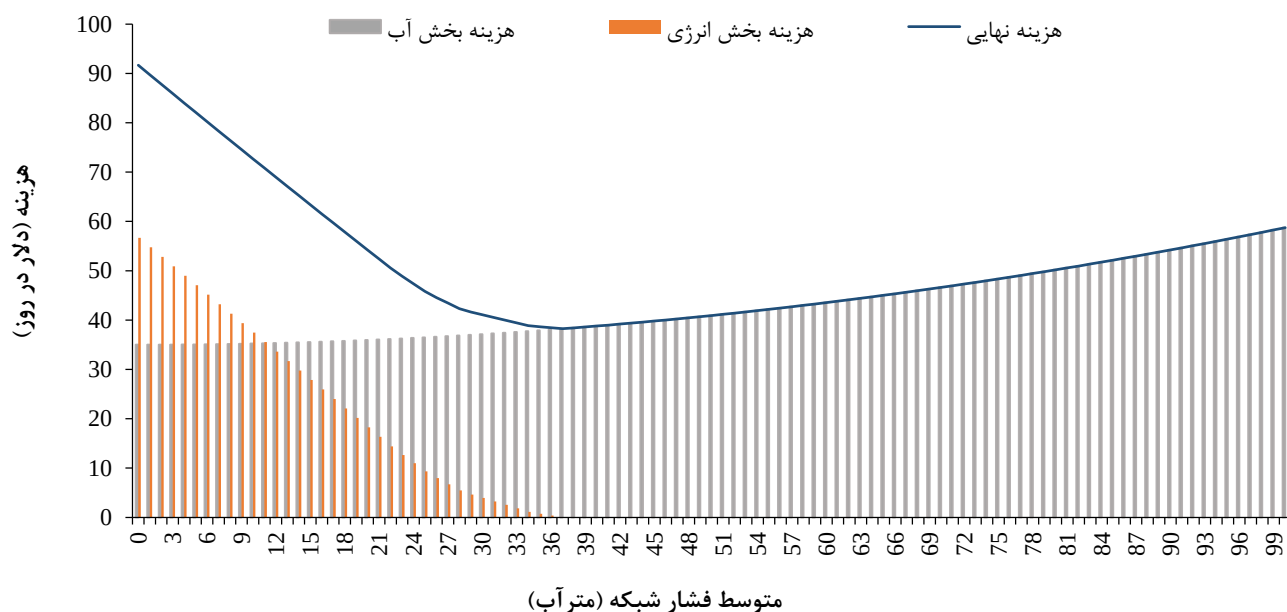
شکل ۳- شماتیک شبکه ۴ حلقه‌ای شامل ارتفاع گره بر حسب متر، تقاضای آب برای هر گره بر حسب مترمکعب بر ساعت و تعداد طبقات هر واحد موجود در هر گره

نتیجه این بررسی در شکل ۴ نمایش داده شده است. براساس این نمودار با افزایش متوسط فشار آب در شبکه توزیع آب مورد بررسی، مشاهده می‌شود که مصرف انرژی پمپ‌های خانگی کاهش خواهد یافت و هنگامی که متوسط فشار به مقدار ۳۸ متر می‌رسد این مقدار برابر با صفر خواهد شد. از سوی دیگر با افزایش متوسط فشار آب در شبکه توزیع هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و نگهداری افزایش خواهد یافت. نقطه بهینه فشار برای این مورد در متوسط فشار ۳۸ متر محقق خواهد شد. در این فشار مجموع هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از شبکه توزیع و همچنین هزینه مصرف انرژی برابر با ۳۸ دلار در هر روز خواهد بود.

برای شبکه مذکور موارد مندرج در جدول ۱ به‌عنوان پیش‌فرض در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- داده‌های پایه مورد نیاز برای شبکه ۴ حلقه‌ای

بخش	پارامتر	قیمت
آب	قیمت آب	0.5 \$/m ³
	N_1	۱
	شکستگی مشاهده شده	۱ عدد در روز
	شکستگی مشاهده نشده	۱ عدد در روز
	N_2	۳
	هزینه رفع هر شکستگی	۳۵\$
	میزان نشت روزانه	۴۰۰ لیتر
انرژی	هزینه انرژی	۰/۲ دلار برای هر کیلو وات ساعت
	ارتفاع هر طبقه	۳/۲ متر



شکل ۴- نمودار بهینه‌سازی فشار آب در شبکه

گره‌ها و لوله‌ها به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. با توجه به پلی‌اتیلن بودن جنس لوله‌ها ضریب هیزن-ویلیامز برای هر لوله ۱۳۰ در نظر گرفته شده است. شماتیک شبکه در شکل ۵ ارائه شده است.

۳-۲- شبکه شهر بهارستان

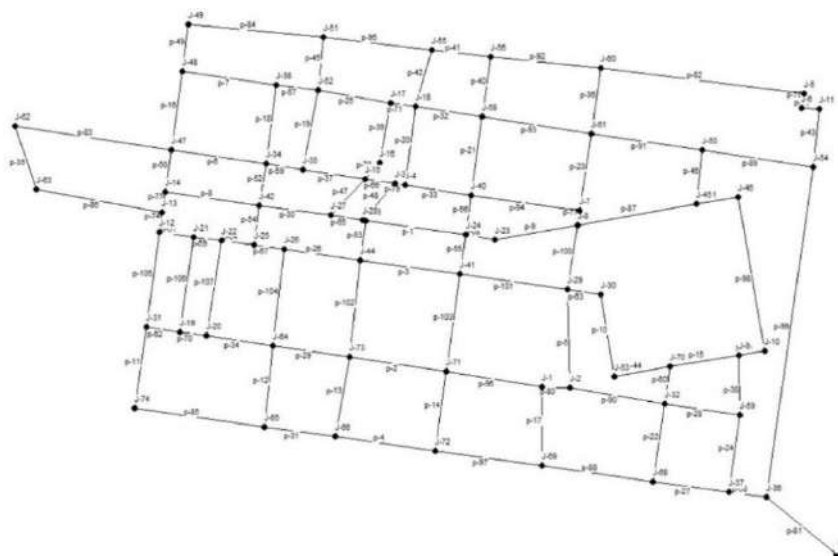
مدل توسعه داده شده در تحقیق حاضر بر روی شبکه شهر بهارستان، واقع در استان اصفهان، مورد بررسی قرار گرفته است. این شبکه از ۷۱ گره، ۱۰۷ لوله، یک مخزن و یک شیر فشارشکن برای تغییر فشار متوسط شبکه تشکیل شده است. مشخصات

جدول ۲- مشخصات گره‌های شبکه توزیع شهر بهارستان

گره	ارتفاع (متر)	تقاضا (لیتر بر ثانیه)	گره	ارتفاع (متر)	تقاضا (لیتر بر ثانیه)	گره	ارتفاع (متر)	تقاضا (لیتر بر ثانیه)
1	1592	8	25	1551	8	49	1565	4
2	1575	3	26	1556	16	50	1571	2
3	1583	8	27	1566	15	51	1573	2
4	1572	7	28	1570	6	52	1585	4
5	1585	1	29	1569	8	53	1586	2
6	1585	8	30	1566	13	54	1556	4
7	1592	7	31	1563	10	55	1555	4
8	1588	7	32	1566	5	56	1559	4
9	1588	7	33	1565	5	57	1559	3
10	1584	5	34	1562	9	58	1571	4
11	1569	7	35	1554	10	59	1573	1
12	1568	12	36	1596	4	60	1576	4
13	1562	12	37	1598	4	61	1557	1
14	1553	13	38	1561	3	62	1586	5
15	1590	2	39	1563	4	63	1586	4
16	1559	3	40	1589	4	64	1567	4
17	1552	7	41	1586	1	65	1567	5
18	1550	4	42	1574	9	66	1556	2
19	1552	7	43	1572	9	67	1554	1
20	1566	4	44	1563	3	68	1561	6
21	1584	8	45	1563	10	69	1561	2
22	1554	8	46	1568	5	70	1579	2
23	1551	12	47	1569	2	71	1579	4
24	1565	5	48	1563	5			

جدول ۳- مشخصات لوله‌های شبکه توزیع شهر بهارستان

لوله	طول (متر)	قطر (میلی‌متر)	لوله	طول (متر)	قطر (میلی‌متر)	لوله	طول (متر)	قطر (میلی‌متر)
1	675	180	37	407	140	73	132	280
2	657	500	38	400	180	74	130	140
3	657	280	39	393	100	75	113	450
4	657	500	40	390	450	76	111	140
5	638	250	41	387	100	77	91	125
6	620	250	42	380	100	78	85	560
7	618	100	43	379	355	79	60	630
8	618	450	44	363	140	80	1	225
9	544	355	45	353	315	81	604	560
10	539	280	46	349	450	82	1324	500
11	534	250	47	321	630	83	1023	400
12	528	280	48	316	280	84	875	180
13	524	100	49	305	125	85	846	500
14	519	280	50	275	100	86	829	500
15	515	100	51	274	125	87	781	500
16	515	125	52	269	225	88	729	630
17	514	450	53	262	100	89	727	280
18	513	355	54	262	100	90	727	225
19	512	225	55	262	500	91	726	500
20	511	140	56	257	100	92	718	500
21	510	450	57	250	315	93	714	100
22	508	100	58	248	560	94	709	280
23	508	280	59	243	160	95	706	100
24	505	500	60	239	125	96	698	355
25	500	100	61	223	100	97	693	280
26	498	315	62	219	280	98	1010	140
27	496	400	63	216	125	99	2156	160
28	492	315	64	209	125	100	422	180
29	479	100	65	205	100	101	704	225
30	470	560	66	199	630	102	629	160
31	464	450	67	195	225	103	633	140
32	438	180	68	191	500	104	625	125
33	438	630	69	185	125	105	619	100
34	435	100	70	177	200	106	620	180
35	432	500	71	161	100	107	622	280
36	429	140	72	143	125			



شکل ۵- شماتیک شبکه توزیع شهر بهارستان

مثال، نشت پایه، تعدد شکستگی پایه، توان نشت، توان شکستگی و تقاضای پایه هر گره و اطلاعات مربوط به آن از داده‌های

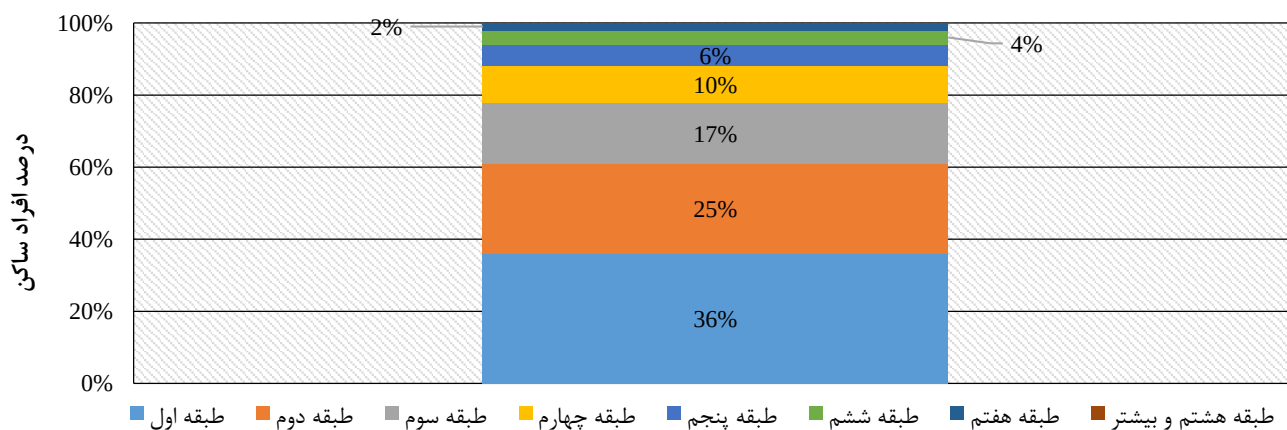
داده‌های مورد نیاز برای اجرای بخش آب و انرژی مدل جمع‌آوری شد (جدول ۴). مقادیر برخی از پارامترها (به‌عنوان

در هر طبقه بود. شکل ۶ سهم افرادی که در طبقات مختلف ساختمان‌های شهر بهارستان زندگی می‌کنند را نشان می‌دهد. اطلاعات جمع‌آوری شده از بررسی می‌دانی و سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه به‌دست‌آمده‌است.

سال‌های گذشته جمع‌آوری شده است. هنگام محاسبه مقدار انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی، چندین نوع اطلاعات توسط مدل فرض شده است. این اطلاعات شامل تعداد ساختمان‌ها، شماره طبقه مربوطه و تعداد افراد ساکن

جدول ۴- داده‌های پایه مورد نیاز مدل

داده‌های مورد نیاز نرم افزار EPANET		
مقدار تقاضای کل		۴۰۷ (لیتر بر ثانیه)
طول کل لوله های شبکه		۵۱۱ (کیلومتر)
داده‌های مورد نیاز برای محاسبه مبتنی بر فشار Q_j^{avl}		
هد حداقل	H_j^{min}	۰ (متر)
هد حداقل مورد نیاز	H_j^{des}	۳۰ (متر)
هد حداکثر	H_j^{max}	۱۰۰ (متر)
توان رابطه دبی- فشار	N	۲/۰۸
داده‌های مورد نیاز برای محاسبه هزینه نشت		
نشت پایه (فرض)	$L_0 (h_{avl,0} = 45m)$	$Q_j^{avl} \times 0.2$ (لیتر بر ثانیه)
توان نشت	N	۱/۲
قیمت آب	C_w	۱۵۰۰۰ (ریال به ازای هر مترمکعب)
داده‌های مورد نیاز برای محاسبه هزینه شکستگی‌ها		
تعداد شکستگی پایه	$BF_0 (h_{avl,0} = 45 m)$	۴ (تعداد در روز)
تعداد شکستگی مستقل از فشار	BF_{npd}	۱ (تعداد در روز)
توان شکستگی	N_2	۳ (تعداد در روز)
هزینه رفع شکستگی لوله	CB	۲۴۰۰۰۰۰ (ریال به ازای هر شکستگی)
داده‌های مورد نیاز برای محاسبه توان مصرف‌شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی		
جمعیت	۷۹۰۲۳	
تعداد خانوار	۲۵۱۱۸	
تعداد ساختمان‌ها	۱۱۰۸۱	
ارتفاع طبقات	۳/۱ (متر)	
راندمان عملکردی بوستر پمپ	٪۳۰	
داده‌های مورد نیاز برای محاسبه هزینه انرژی		
قیمت انرژی (CE)	ساعت ۱۱ شب الی ۸ صبح	۱۹۲۰ (ریال به ازای هر کیلووات)
	ساعت ۸ صبح الی ۴ بعد از ظهر	۲۴۰۰ (ریال به ازای هر کیلووات)
	ساعت ۴ بعد از ظهر الی ۱۱ شب	۳۱۲۰۰ (ریال به ازای هر کیلووات)



شکل ۶- سهم افراد ساکن در طبقات مختلف

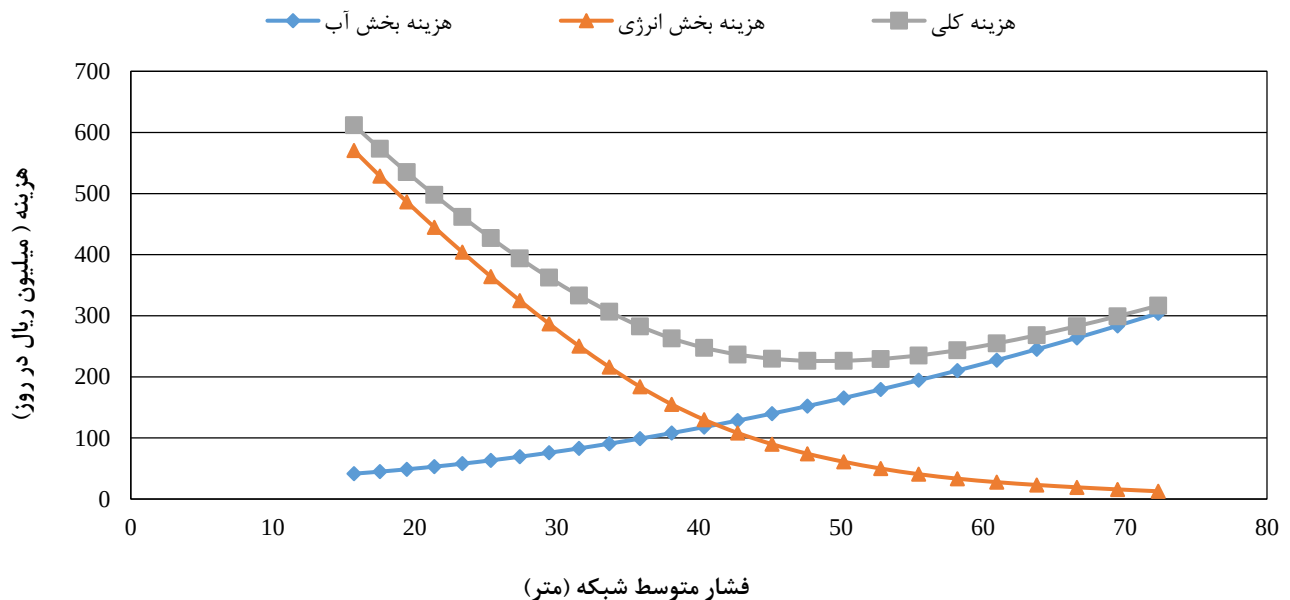
۴- نتایج و بحث

در این قسمت مدل بهینه‌سازی فشار توسعه داده شده در این مقاله که برای یک مثال واقعی مورد بررسی قرار گرفته، بررسی می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است با افزایش فشار متوسط شبکه، انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی کاهش می‌یابد، در حالی که میزان نشت و شکستگی هم افزایش می‌یابد. مطابق مدل توسعه داده شده، متوسط فشار بهینه آب در شهر بهارستان $47/6 \text{ m H}_2\text{O}$ است. با در نظر گرفتن این فشار، هزینه روزانه مصرف انرژی سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی، همراه با هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه، در مجموع در حدود ۲۲۴ میلیون ریال است. اگر فشار کمتر شود، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری کاهش می‌یابد، در حالی که انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

این موضوع اهمیت استفاده از یک رویکرد یکپارچه نسبت به آب و انرژی در مورد فشار متوسط شبکه آب را نشان می‌دهد. در این فشار بهینه هزینه‌های بخش انرژی برابر با ۷۲ میلیون ریال در روز و هزینه‌های بخش آب برابر با ۱۵۲ میلیون ریال در روز

خواهد بود. در حال حاضر با توجه به این که رویکرد یکپارچه‌ای که در این مقاله توسعه داده شده است در واقعیت مورد پیگیری قرار نگرفته است، متوسط فشار شبکه برابر با $21 \text{ m H}_2\text{O}$ است. این اقدام باعث شده است که هزینه‌های بخش آب برابر با ۷۰ میلیون ریال در روز و هزینه‌های بخش انرژی برابر با ۴۵۰ میلیون ریال در روز شود. هرچند پایین‌تر قرار گرفتن فشار شبکه از مقدار بهینه باعث کاهش هزینه‌های بخش آب شده است. اما این موضوع هزینه‌های بخش انرژی را به شدت افزایش داده است، به طوری که مجموع هزینه هر دو بخش نسبت به زمانی که رویکرد یکپارچه توسعه داده شده در این مقاله در نظر گرفته شود به میزان ۲۹۶ میلیون ریال در روز افزایش خواهد یافت.

سطح فشار مطلوب تعیین شده بستگی زیادی به شرایط محلی دارد. کنترل فشار آب با افزایش سن لوله‌ها اهمیت فزاینده‌ای پیدا می‌کند. علاوه بر این، با گذشت زمان، محله‌های با بافت فرسوده موجود با ساختمان‌های چند طبقه جایگزین می‌شوند که باعث افزایش متوسط فشار مطلوب می‌شوند. بدیهی است که تأثیر پیچیده هرگونه تغییر در شرایط محلی بر قیمت آب و انرژی و فشار مطلوب، سیاستگذاران را به استفاده از رویکردی پویا برای مواجهه با این چالش‌ها ترغیب می‌کند.



شکل ۷- نتایج مدل برای محاسبه فشار متوسط شبکه

نشت، بیشترین تأثیر را در هزینه بهینه دارد. به بیان دیگر هزینه بهینه نسبت به توان نشت بیشترین حساسیت را دارد. این موضوع درحالی است که فشار بهینه حساسیت چندانی نسبت به این پارامتر ندارد. تغییر پارامتر توان فشار از ۶ الی $4/2$ باعث افت

افزایش هم‌زمان قیمت آب و انرژی هرچند باعث افزایش هزینه بهینه می‌شود، اما فشار بهینه ثابت باقی می‌ماند. به‌عنوان مثال افزایش هم‌زمان قیمت آب و انرژی به میزان ۴۰ درصد باعث افزایش ۲۹ درصدی در هزینه بهینه خواهد شد. پارامتر توان

میزان هزینه بهینه از مقدار ۱۶۵۰ به ۶۷۰ دلار در روز می‌شود. بازدهی پمپ‌های خانگی پارامتری است که می‌توان با ارائه آموزش‌ها و قوانین لازم در زمینه انتخاب پمپ مناسب نسبت به کاهش هزینه بهینه شده اقدام نمود. در صورتی که بتوان بازدهی این پمپ‌ها را به مقدار ۴۰ درصد رساند هزینه بهینه شده برابر با ۸۹۰ دلار در روز و فشار بهینه برابر با ۴۰ m H₂O می‌شود. تأثیر پارامتر هدررفت واقعی در فشار بهینه موضوعی است که بررسی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. در صورتی که میزان هدررفت واقعی به مقدار ۴ درصد کاهش یابد فشار و هزینه بهینه به ترتیب برابر با ۵۶ m H₂O و ۵۶۰ دلار در روز خواهد شد. همچنین در صورتی که این پارامتر برابر با ۳۶ درصد در نظر گرفته شود، فشار و هزینه بهینه برابر با ۴۳ m H₂O و ۱۳۶۰ دلار در روز خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش تعداد ساختمان‌های چند طبقه در شهرها، انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی (پمپ و مخزن) در سال‌های اخیر افزایش یافته است و شرکت‌های آب و فاضلاب علاقه زیادی به کاهش فشار متوسط شبکه برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و نگهداری خود دارند. با این حساب، این مطالعه یک روش اقتصادی مبتنی بر هزینه‌های بخش انرژی و بخش آب توسعه داده است که فشار شبکه را بر اساس شرایط محلی بهینه می‌کند. برخی از نتایج تحقیق حاضر عبارتند از:

- بدون رویکرد یکپارچه به بخش‌های آب و انرژی، انتخاب فشار بهینه برای هر شبکه می‌تواند از میزان بهینه آن فاصله داشته باشد.
- فشار مطلوب به چندین متغیر مربوط به بخش آب بستگی دارد (به‌عنوان مثال، نیاز و افزایش تقاضای هر گره، وضعیت هیدرولیکی شبکه، اتلاف واقعی آب از شبکه، تعداد شکستگی‌ها و قیمت آب)، و همچنین برخی متغیرهای مربوط به بخش انرژی (به‌عنوان مثال ارتفاع ساختمان، شرایط سیستم‌های تقویت‌کننده فشار خانگی و قیمت انرژی).
- در حال حاضر با توجه به این که فشار متوسط شبکه در حدود ۲ بار است، علی‌رغم پایین بودن هزینه‌های نگهداری از شبکه و بخش آب شبکه آبرسانی شهر، هزینه‌های بخش انرژی بسیار بالا بوده و در مجموع هزینه‌های یکپارچه آب و انرژی سیستم در حدود ۸۰۰ دلار بیشتر از مقدار بهینه است که باید با بهینه‌سازی فشار متوسط شبکه، به سمت کاهش

- هزینه‌ها حرکت کرد.
- فشار بهینه شبکه آب براساس اندازه‌گیری‌های روزانه در این تحقیق ۴۷/۶ mH₂O (کل هزینه روزانه = ۲۲۴ میلیون ریال) به‌دست‌آمد. برای فشار ۴۱ mH₂O هزینه‌های بخش انرژی و آب باهم برابر می‌شود.
- فشار مطلوب را می‌توان روزانه یا ساعتی محاسبه کرد. به‌دلیل حساسیت مدل به الگوی مصرف ساعتی آب و قیمت‌های انرژی، پیشنهاد می‌شود متوسط فشار در بازه‌های ساعتی هم محاسبه و بررسی شود.
- برای بررسی حساسیت مدل به پارامترهای تأثیرگذار در آن با آنالیز حساسیت انجام شده، تأثیرات تغییر در هرکدام از آیتم‌های هزینه‌های بخش آب و انرژی، توان نشت، بازدهی پمپ و هدررفت واقعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد توان نشت بیشترین تأثیر در هزینه بهینه دارد، درحالی‌که افزایش هم‌زمان قیمت آب و انرژی در میزان فشار بهینه تغییری ایجاد نمی‌کند. افزایش راندمان پمپ‌ها باعث کاهش هزینه بهینه و همچنین کاهش فشار بهینه می‌شود. همچنین تأثیر میزان هدررفت واقعی قابل‌ملاحظه بوده به‌طوری‌که کاهش ۴ درصدی این پارامتر باعث افزایش حدود ۱۰ متر فشار بهینه و کاهش هزینه بهینه می‌شود.

۵- مراجع

- عطاری، م.، و فغفور مغربی، م.، (۱۳۹۷)، "روش نوین نشت‌یابی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۹(۱)، ۱۴-۲۶.
- مصلحی، ا.، جلیلی قاضی زاده، م.، و یوسفی خوش قلب، ا.، (۱۳۹۸)، "تعیین سطح اقتصادی نشت در شبکه‌های توزیع آب"، *تحقیقات منابع آب/ایران*، ۱۵(۴)، ۳۵-۵۴.
- مصلحی، ا.، جلیلی قاضی زاده، م.، و یوسفی خوش قلب، ا.، (۱۳۹۹)، "تحلیل اقتصادی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۲)، ۱۱۷-۱۱۰.
- یوسفی خوش قلب، ا.، مصلحی، ا.، جلیلی قاضی زاده، م.، و غمخوار، ه.، (۱۴۰۰)، "مروری بر روش‌های تحلیل اقتصادی نشت در شبکه‌های توزیع آب"، *تحقیقات منابع آب/ایران*، ۱۷(۱)، ۶۸-۱۰۱.
- Creaco, E., and Walski, T., (2017), "Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(12), 04017074.
- Deyi, M., Van Zyl, J., and Shepherd, M., (2014),

water distribution networks”, *Control Engineering Practice*, 95, 104232.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

- “Applying the FAVAD concept and leakage number to real networks: A case study in Kwadabeka, South Africa”, *Procedia Engineering*, 89, 1537-44.
- Fabbiano, L., Vacca, G., and Dinardo, G., (2020), “Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks”, *Measurement*, 151, 107260.
- Fan, X-Y., Klemeš, J.J., Jia, X., and Liu, Z-Y., (2019), “An iterative method for design of total water networks with multiple contaminants”, *Journal of Cleaner Production*, 240, 118098.
- Filion, Y.R., MacLean, H.L., and Karney, B.W., (2004), “Life-cycle energy analysis of a water distribution system”, *Journal of Infrastructure Systems*, 10(3), 120-30.
- Hashemi, S.S., Tabesh, M., and Ataekia, B., (2014), “Ant-colony optimization of pumping schedule to minimize the energy cost using variable-speed pumps in water distribution networks”, *Urban Water Journal*, 11(5), 335-347.
- Jung, D., and Kim, J.H., (2018), “Water distribution system design to minimize costs and maximize topological and hydraulic reliability”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(9), 06018005.
- Kanakoudis, V., and Tolikas, D., (2001), “The role of leaks and breaks in water networks: Technical and economical solutions”, *Journal of Water Supply: Research and Technology AQUA*, 50 (5), 301-311.
- Lambert, A., (2001), “What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems”, *Systems Approach to Leakage Control and Water Distribution System Management*, IWA Conference, Brno, Czech Republic.
- 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.
- Marques, J., Cunha, M., and Savić, D., (2018), “Many-objective optimization model for the flexible design of water distribution networks”, *Journal of environmental management*, 226, 308-319.
- Monsef, H., Naghashzadegan, M., Jamali, A., and Farmani, R., (2019), “Comparison of evolutionary multi objective optimization algorithms in optimum design of water distribution network”, *Ain Shams Engineering Journal*, 10(1), 103-111.
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., and Koppel, T., (2010), “A review of methods for leakage management in pipe networks”, *Urban Water Journal*, 7 (1), 25-45.
- Shirzad, A., Tabesh, M., (2012), “Study of pressure-discharge relations in water distribution networks using field measurements”, *IWA World Water Congress and Exhibition*, Busan, S. Korea.
- Tabesh, M., Shirzad, A., Arefkhani, V., and Mani, A., (2014), “A comparative study between the modified and available demand driven based models for head driven analysis of water distribution networks”, *Urban Water Journal*, 11 (3), 221-230.
- Zhang, Y., Li, S., Zheng, Y., and Zou, Y., (2020), “Multi-model based pressure optimization for large-scale

Research Paper

مقاله پژوهشی

Evaluation of Land Subsidence Due to Water-Level Decline in Kashan Plain

ارزیابی نشست زمین ناشی از افت سطح ایستابی در دشت کاشان

Mohammad Fathi¹ and Majid Noorian-Bidgoli^{2*}

محمد فتحی^۱ و مجید نوریان بیدگلی^{۲*}

1- M.Sc. Graduate of Mining Engineering, Division of Mining Engineering, Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

2- Assistant Professor, Division of Mining Engineering, Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran.

۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

*Corresponding Author, Email: noriyan@kashanu.ac.ir

* نویسنده مسئول، ایمیل: noriyan@kashanu.ac.ir

Received: 10/04/2021

Revised: 21/08/2021

Accepted: 09/09/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Land subsidence, as one of the most dangerous environmental phenomena, can occur for a number of reasons, including the over-extraction of the aquifer and the decline of groundwater level. Subsidence begins with vertical displacements and often causes trough, sinkhole, or deep cracks in the ground surface. The occurrence of this phenomenon in most cases causes damages that are often irreversible and costly. Therefore, for the sustainable development of the region, it is very important to accurately predict the occurrence of subsidence and control it prior to its occurrence. In recent decades, the drought and excessive extraction of groundwater resources, and as a result, the water-level decline, especially in dry and low rainfall regions, has been the main cause of this phenomenon in the plains of Iran. The aim of this study was to calculate the amount of subsidence due to the water table decline in Kashan plain. For this purpose, by collecting the required data, the groundwater has been modeled using GMS software, and based on that, the amount of subsidence during the last years has been determined. The results of this study showed that the land subsidence in the study area is increasing both in terms of quantity (from a few millimeters to several centimeters) and in terms of extent. The maximum subsidence was obtained as 5.95 cm. Therefore, it is very necessary that in addition to planned management and exact control on the exploitation of groundwater of region, academic studies, and quick actions be applied to provide the drinking and agriculture water required by other methods such as the water transfer from other areas.

نشست زمین به عنوان یکی از پرمخاطره‌ترین پدیده‌های زیست محیطی می‌تواند به دلایل متعددی از جمله خالی شدن سفره آب و افت سطح آب‌های زیرزمینی رخ دهد. نشست با جابجایی‌های قائم زمین شروع شده و اغلب باعث ایجاد گودی، گودال یا شکاف‌های عمیق در سطح زمین می‌شود. وقوع این پدیده در اکثر موارد باعث ایجاد خساراتی می‌شود که عمدتاً برگشت‌ناپذیر و پرهزینه‌اند. لذا بسیار مهم است که به منظور توسعه پایدار منطقه، قبل از وقوع نشست آن را بتوان به‌نحوی دقیق پیش‌بینی و کنترل نمود. در چند دهه اخیر، خشکسالی و برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی و در نتیجه افت سطح ایستابی، به‌ویژه در مناطق خشک و کم باران، علت اصلی این پدیده در اغلب دشت‌های ایران بوده است. هدف از انجام این تحقیق محاسبه میزان نشست زمین ناشی از افت سطح ایستابی در دشت کاشان بوده است. بدین منظور با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مدل‌سازی آب زیرزمینی به کمک نرم‌افزار GMS انجام شده و در نهایت میزان نشست طی ۱۵ سال اخیر تعیین شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نشست در منطقه مورد مطالعه، هم از نظر مقدار (از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) و هم از نظر وسعت روند افزایشی دارد. حداکثر میزان نشست برابر با ۵/۹۵ سانتی‌متر به‌دست آمده است. لذا بسیار ضروری است با مدیریت صحیح و نظارت بیشتر در خصوص برداشت آب‌های زیرزمینی منطقه، مطالعات علمی و اقدامات سریع به منظور تامین آب شرب و کشاورزی مورد نیاز از سایر روش‌های نظیر انتقال آب از دیگر مناطق انجام گیرد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی آب زیرزمینی، افت سطح ایستابی، نشست سطح زمین، نرم‌افزار GMS، دشت کاشان

Keywords: Groundwater modeling, Water-level decline, Land subsidence, GMS software, Kashan plain

زمان و مکان بستگی دارد. لذا برای مطالعه نشست لازم است وضعیت زمین‌شناسی مهندسی و آب‌شناسی (هیدرولوژی) هر منطقه بررسی و روش حل مناسبی در نظر گرفته شود.

در خصوص نشست زمین ناشی از افت آب زیرزمینی مطالعات متعددی انجام شده است. به عنوان مثال، Ortega-Guerrero et al. (1999) به بررسی نشست طولانی مدت زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی شهر مکزیک از طریق مدل‌سازی و برداشت‌های صحرایی پرداختند. هم‌چنین Kasmarek et al. (2004) ضمن مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی، میزان نشست سطح زمین در ساحل شمالی تگزاس را بررسی نمودند. در تحقیقی دیگر Lin et al. (2016) میزان نشست زمین ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی در یونلین تایوان را ارزیابی کردند. در ادامه نیز et al. (2018) Qin به منظور کنترل نشست زمین در دشت پکن چین، بهینه‌سازی پمپاژ آب زیرزمینی را انجام دادند.

در ایران نیز رهنما و کاظمی آذر (۱۳۸۵) به مطالعه نشست زمین ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان کرمان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح زمین در نقاط مورد مطالعه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۳ بین ۰/۳۷ تا ۰/۵۱ متر نشست کرده است. هم‌چنین Mahmoudpour et al. (2013) نشست زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای در تهران را بررسی کردند. در مطالعه دیگری که توسط Parhizkar et al. (2015) انجام شده، پیش‌بینی کاهش سطح آب زیرزمینی و ارزیابی نشست زمین در آبخوان دامغان با استفاده از مدل‌های GMS و GEP تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح آب در منطقه مورد مطالعه همچنان کاهش می‌یابد و فروپاشی زمین تشدید می‌شود، بنابراین نیاز به کاهش پمپاژ آب‌های زیرزمینی در مناطق پرخطر است.

رجبی و خوش اخلاق (۱۳۹۴) میزان فرونشست زمین در دشت قم در اثر بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی را بررسی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ متوسط افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه برابر ۲۶/۳۴۵ متر و میزان نشست زمین متناظر با این افت بین صفر تا ۷۶ سانتی‌متر برای نقاط مختلف دشت بوده است. در تحقیق دیگری Ghazifard et al. (2016) با استفاده از تکنیک InSAR به بررسی تأثیر برداشت آب‌های زیرزمینی بر نشست زمین در بخش‌هایی از دشت کاشان که شکاف‌های عمیقی ایجاد شده پرداختند. در مطالعه انجام شده، حداکثر نرخ نشست سالانه در مناطق مورد بررسی ۳/۵ سانتیمتر تعیین شد. طی انجام تحقیق دیگری توسط جاودانیان و احمدی دارانی (۱۳۹۵)، نشست ناشی

نشست یا فرونشست زمین به عنوان یک پدیده‌ای مخرب در نواحی شهری و غیر شهری محسوب می‌شود که می‌تواند به دلایل طبیعی (زمین شناختی) یا غیرطبیعی (فعالیت‌های انسانی)، در منطقه‌ای با وسعت کم به صورت ریزش آبی طبقات زمین و یا با وسعت زیاد به صورت جابجایی قائم تدریجی رخ دهد. عموماً پدیده‌های طبیعی نظیر، حرکات پوسته زمین، جریان و خروج گدازه از پوسته جامد زمین یا برخی فعالیت‌های مهندسی نظیر، معدن‌کاری و استخراج و برداشت انواع منابع زیرزمینی نظیر، آب، نفت و گاز می‌تواند باعث ایجاد نشست زمین شود. در بین عوامل مذکور، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت منابع آب، عامل اصلی ایجاد نشست زمین در مناطق مختلفی از جهان گزارش شده است. آن‌چه مسلم است رشد جمعیت و توسعه گسترده صنایع و کشاورزی باعث افزایش روزافزون نیاز آبی جوامع می‌شود. در این شرایط برداشت بیش از حد منابع آبی باعث کاهش تراز سطح آب زیرزمینی می‌شود. افت سطح ایستابی نیز موجب کاهش فشار آب (هیدرواستاتیک) در سفره‌های آب زیرزمینی شده و در نتیجه بخش جامد زمین (خاک یا سنگ) متراکم می‌شود. از طرفی به دلیل فشار بارسنگ (لیتواستاتیک) ناشی از تنش‌های برجای منطقه، تغییر شکل و جابجایی قائم به صورت نشست سطح زمین اتفاق می‌افتد. بنابراین مطالعه نشست زمین ناشی از افت سطح آب زیرزمینی، به خصوص در مناطق خشک و کم‌آب، مسئله‌ای با اهمیت در راستای توسعه پایدار شهری است که باید با روش‌های علمی و دقیق انجام گیرد. نشست زمین علاوه بر تغییر شکل سطح زمین به واسطه ایجاد گودال، ترک‌های کوچک و شکاف‌های بزرگ، باعث تأثیر روی مقدار و الگوی جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی، سیل و زلزله‌خیزی می‌شود. لذا مطالعه نشست زمین و تخمین مقدار و میزان گسترش آن بسیار مهم و ضروری است.

اگر چه مطالعات نشان داده که رابطه مستقیمی بین نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد ولی به دلیل عدم قطعیتی که معمولاً در زمین وجود دارد، نمی‌توان مقدار نشست را برای تمام مناطق یکسان در نظر گرفت و روش واحدی را برای تخمین آن ارائه نمود. بخش عمده‌ای از این عدم قطعیت ناشی از خصوصیات متفاوت و متنوع ژئوتکنیکی و ژئومکانیکی خاک و سنگ در مناطق مختلف است که باعث می‌شود برای پیش‌بینی و محاسبه دقیق نشست، مطالعات ویژه‌ای در هر منطقه انجام گیرد. از طرفی نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی متغیری است که به

تخمین زده شد.

به طور کلی این تحقیقات نشان می‌دهد که خشکسالی، کمبود آب، عدم مدیریت و نظارت صحیح در بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی و استخراج روزافزون، غیراصولی و غیرمجاز آب، مدت‌ها است که اغلب دشت‌های کشور، نظیر دشت کرمان، مشهد را با پدیده نشست و مخاطرات ناشی از آن مواجه کرده است. مشاهدات میدانی و مطالعات مقدماتی نشان داده دشت کاشان نیز از وجود این مشکل و معضل محیط‌زیستی مستثنی نیست. یکی از چالش‌های مهم موجود در این دشت، خشکسالی و کاهش منابع آبی و در نتیجه افت سطح تراز آب زیرزمینی است که پتانسیل بالقوه‌ای را برای وقوع پدیده نشست زمین فراهم نموده است. لذا در این تحقیق با جمع‌آوری اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری طی سال‌های اخیر، با مدل‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان به کمک نرم‌افزار GMS، نوسانات تراز آب زیرزمینی (سطح ایستابی) در منطقه تعیین می‌شود. در نهایت با مشخص شدن میزان افت سطح آب زیرزمینی در منطقه، تحلیل نشست زمین با هدف تعیین مقدار و محل وقوع نشست زمین طی یک دوره زمانی ۱۵ ساله در دشت کاشان انجام می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند علاوه بر بهبود مدیریت منابع آب زیرزمینی و استفاده بهینه آن، به شناسایی مناطق مستعد نشست در دشت کاشان کمک کند. همچنین یافته‌های این نوع مطالعات کمک خواهد نمود تا با برنامه‌ریزی صحیح و طراحی و اجرای اقدامات پیشگیرانه، از خسارات سازه‌های زیربنایی، مسکونی و صنعتی سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه جلوگیری نمود. مسلماً این گام‌ها می‌تواند علاوه بر مدیریت بحران باعث کاهش هزینه‌های احتمالی و بهبود توسعه پایدار در منطقه شود.

۲- معرفی دشت کاشان

دشت کاشان در دامنه رشته کوه‌های کرکس و در حاشیه کویر مرکزی ایران، در ۲۴۰ کیلومتری جنوب تهران، بین طول‌های جغرافیائی ۵۱/۵۴ و ۵۱/۰۵ و عرض‌های ۳۳/۴۵ و ۳۴/۲۳ قرار دارد. این منطقه، به مساحت ۱۴۷۴ کیلومترمربع، شهرستان‌های کاشان و شهرآران و بیدگل و همه بخش‌های آن‌ها و اراضی کشاورزی واقع در دشت را شامل می‌شود. تقریباً تمام بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی دشت کاشان در همین محدوده صورت می‌گیرد. دشت کاشان تقریباً به صورت یک دره باریک که دارای امتداد شمال غربی-جنوب شرقی است. عرض این دره حدوداً ۲۰ کیلومتر بوده که از شمال به دشت قم، از جنوب به ارتفاعات مجاور

از برداشت منابع آب زیرزمینی شهر دامنه اصفهان تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در بازه سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ به طور متوسط به میزان ۲۰ متر افت داشته است.

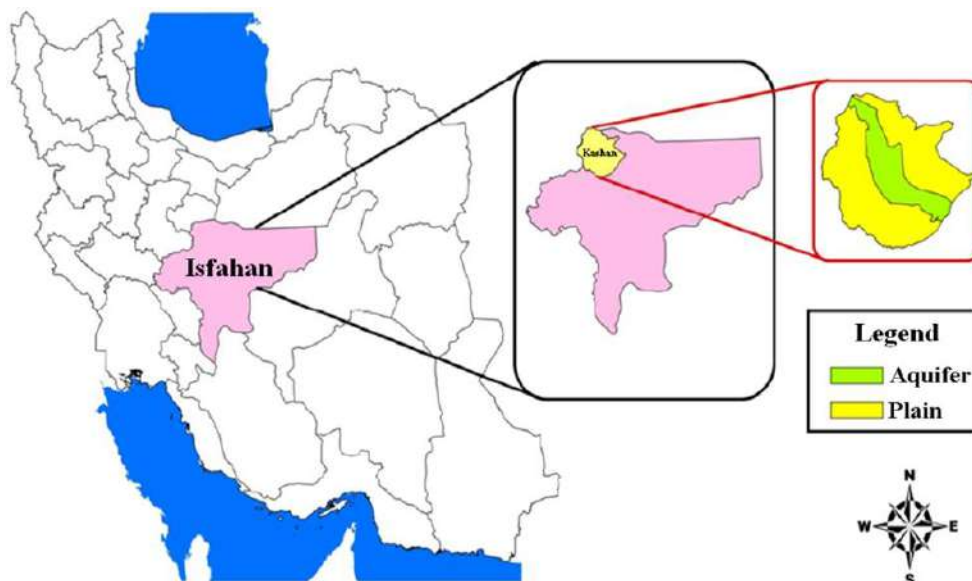
Jafari et al. (2016) با مدل‌سازی عددی جریان آب زیرزمینی و استفاده از تکنیک InSAR، نشست سطح زمین حوضه ساوه را به دست آوردند. Mahmoudpour et al. (2016) در ادامه تحقیقات قبلی خود با مدل‌سازی عددی نشست زمین در اثر استخراج آب‌های زیرزمینی دشت جنوب غربی تهران را پیش‌بینی کردند. همچنین خورسندی آقایی و دیبایی (۱۳۹۶) میزان نشست زمین در بخشی از دشت تهران را به کمک مدل‌سازی تعیین نمودند. طی انجام دو تحقیق توسط Arjomandi et al. (2018)، پیش‌بینی نرخ نشست زمین در منطقه ۱۹ تهران با برآورد متغیرهای هیدرولیکی آبخوان به دست آمده از داده‌های آزمون پمپاژ و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نرم‌افزار MODFLOW و تکنیک InSAR انجام شد. نتایج این تحقیقات نشان داد که میزان نشست در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۴۱۷ برابر با ۰/۵۲ متر خواهد بود. همچنین ندیری و همکاران (۱۳۹۷)، چارچوبی را برای تخمین پتانسیل نشست آبخوان با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک ارائه نمودند. در ادامه نیز Panahi et al. (2018) شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت زنجان را برای یک دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ انجام دادند.

مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان تهران در حالت سه بعدی توسط Karimi et al. (2019) انجام شد. در ادامه نیز توسلی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی عوامل مؤثر بر پدیده فرونشست دشت جنوب شرقی تهران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تغییرات سطح آب بر میزان نشست زمین مؤثر بوده، به طوری که با افزایش درصد تغییرات برداشت آب، میزان فرونشست در حدود ۴۰٪ بیشتر شده است. در این خصوص، مقصودی و همکاران (۱۳۹۸) نیز با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنشگرهای دائمی، نشست زمین در منطقه غرب تهران را طی دو سال متوالی بررسی نمودند. در تحقیق دیگری که توسط جانباز فوتمی و همکاران (۱۳۹۹) انجام شد، با استفاده از روش تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، میزان نشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستابی در استان قزوین، طی سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ محاسبه شده است. براساس این مطالعه، میانگین سالانه نشست طی این مدت زمان برابر با ۳۹/۹ میلی‌متر در محدوده آبخوان قزوین

جوي فاقد رودخانه‌هاي بزرگ و دائمي است. اين منطقه از ۱۲ حوزه آبريز و حدود ۷۰ آبراهه و رودخانه‌هاي خيلي کوچک تشکيل شده است. جريان‌هاي سطحي از چندين رودخانه فصلي که حوزه آبريز آن‌ها در بخش جنوب‌غربي و غرب منطقه واقع شده، تشکيل شده که پس از عبور از دشت به مناطق کويري منتهي مي‌شود. به‌رحال اين منطقه در غرب ايران مرکزي واقع شده است. واحد ايران مرکزي جزء بزرگ‌ترين و پيچيده‌ترين واحد زمين‌شناسي به‌شمار مي‌رود که در آن قديمي‌ترين سنگ‌هاي دگرگون شده (پركامبرين) تا آتشفشان فعال و نيمه فعال امروزي وجود دارد. شکل ۲ نقشه زمين‌شناسي دشت کاشان را نشان مي‌دهد. مصرف بي‌رويه و مديريت نشده منابع آب سطحي و زيرزميني، کاهش نزولات جوي، تمرکز مصرف در برخي نقاط (عدم تعادل بين تقاضا و پتانسيل تامين آب)، الگوي کشت نامناسب و عدم آبياري صحيح، حفر چاه‌هاي متعدد و بهره‌برداري بدون مجوز آن‌ها در چند دهه گذشته باعث بحراني شدن وضعيت منابع آب زيرزميني در اکثر دشت‌هاي کشور شده است. به‌رحال پديده نشست زمين امروزه تبديل به يک معضل فراگير در اکثر دشت‌هاي ايران شده است. دشت کاشان هم از جمله مناطقي است که به‌علت کاهش سطح تراز آب زيرزميني ناشي از برداشت آب زيرزميني و البته خشکسالي، طي سال‌هاي اخير گزارش‌هاي متعددي مبني بر وقوع نشست سطح زمين منتشر شده است. مطالعات ميداني نشان داده است که در برخي از مناطق دشت کاشان شکاف‌هاي کوچک و بزرگي در سطح زمين ايجاد شده که دليل آن مي‌تواند نشست سطح زمين باشد (شکل ۳). لذا اين تحقيق در راستاي رفع نياز به انجام مطالعات گسترده با هدف بررسي ميزان نشست ناشي از افت سطح ايستابي در منطقه است.

منطقه نطنز، از غرب به ارتفاعات موته و از شرق به محدوده درياچه نمک مشرف است. حداکثر ارتفاع دشت کاشان از سطح دريا ۱۲۰۰ متر در قسمت حاشيه غربي دشت و حداقل ارتفاع آن ۸۰۰ متر در حاشيه کوير است. در شکل ۱ موقعيت جغرافيايي دشت و آبخوان کاشان در ايران و استان اصفهان نشان داده شده است. آبخوان دشت کاشان عمده‌تاً شامل رسوبات کواترنري و از نوع آزاد است.

حوزه آبريز کاشان بخشي از کوه‌هاي مرکزي ايران بوده و از نظر زمين‌شناسي به دو قسمت مجزا تقسيم مي‌شود. قسمت اول ارتفاعات و بيرون زدگي‌هاي نواحي غرب، جنوب و جنوب غربي شهرستان کاشان را در برمي‌گيرد و شامل رشته‌کوه‌هاي قهرود و بخشي از کمربند آتشفشاني ايران مرکزي است که به موازات زون سندانج-سيرجان و تراس بزرگ زاگرس قرار دارد. منطقه کوهستاني از نظر ليتولوژي منحصرأً شامل تشکيلات دوران سوم زمين‌شناسي است که عبارتند از: تشکيلات پالئوسن، تشکيلات ائوسن، تشکيلات اليگوسن، تشکيلات ميوسن (مياني-فوقاني)، تشکيلات پليوسن و هم‌چنين شامل تشکيلات دوران چهارم زمين‌شناسي (کواترنر) نيز هست. قسمت دوم شامل دشتي معروف به دشت کاشان است و از آبرفت‌هاي جوان‌تر تشکيل شده است. اين آبرفت‌ها در دامنه کوه‌هاي جنوبي و غربي دشت از نوع C و داراي دانه‌بندي درشت بوده و در نتيجه داراي قابليت نفوذ زيادي از نظر تغذيه آب‌هاي زيرزميني هستند. در نواحي کويري دانه‌ها فوق‌العاده ريز و ضخامت لايه رس بسيار زياد مي‌شود. ضمناً به‌علت تبخير زياد از حد و شوري فوق‌العاده آب در نواحي کوير خاک آن براي کشاورزي قابل استفاده نيست. دشت کاشان به‌علت آب‌وهوای خشک و کمبود ريزش‌هاي

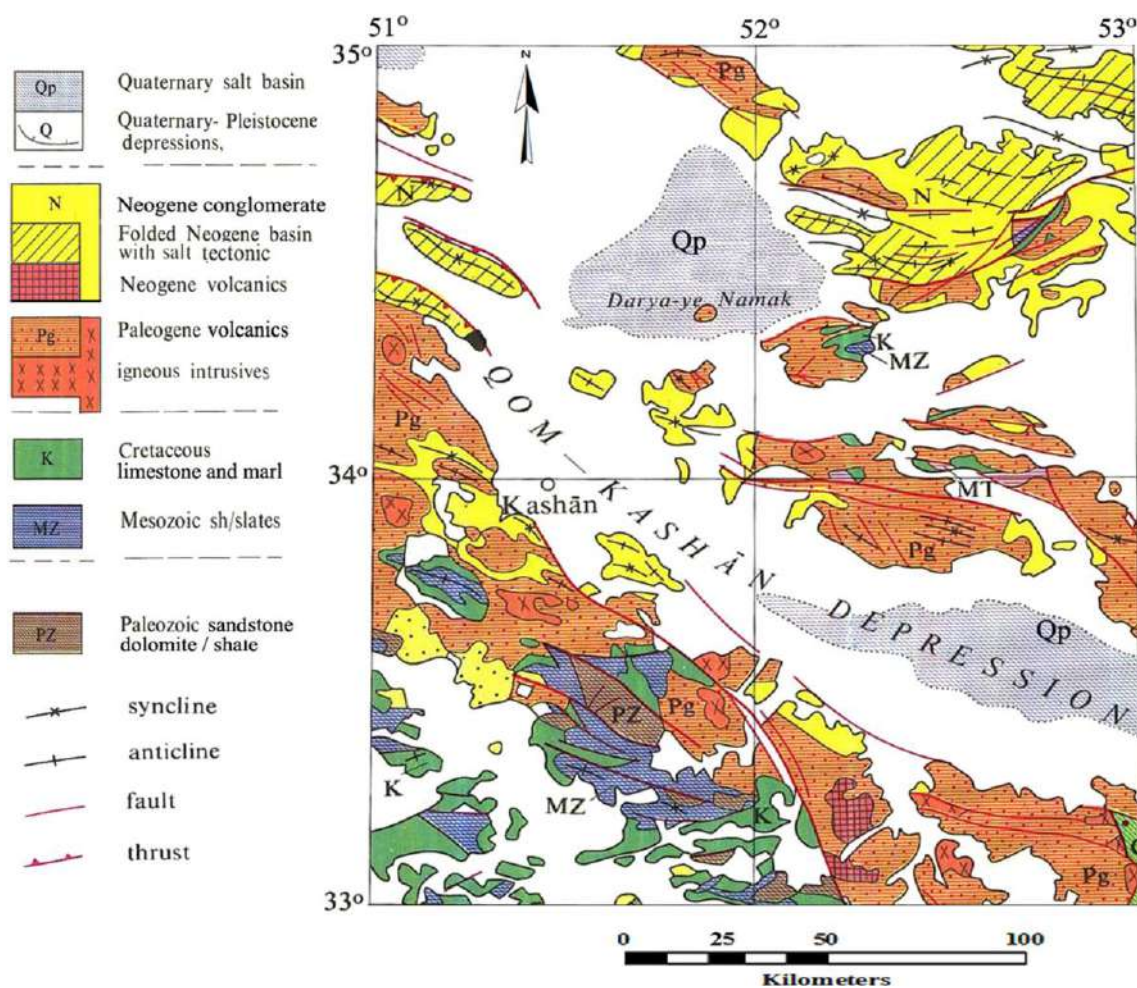


شکل ۱- موقعيت جغرافيايي دشت و آبخوان کاشان

۳- مطالعه نشست زمین در دشت کاشان

GMS یا سیستم مدل سازی آب زیرزمینی نرم افزار بسیار توانمند و جامعی برای شبیه سازی آب های زیرزمینی است که در حال حاضر توسط هزاران نفر در بخش های دولتی و خصوصی در اغلب کشور جهان استفاده می شود. این نرم افزار شامل تعداد زیادی مدل آب زیرزمینی بر پایه روش های عددی است که توسط آن ها می توان با مدل سازی، ارزیابی کمی و کیفی آب های زیرزمینی را انجام داد.

در این تحقیق پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز و با انتخاب نرم افزار GMS (نسخه ۱۰)، در اولین مرحله وضعیت موجود آب زیرزمینی منطقه کاشان توسط مدل MODFLOW شبیه سازی شده و در مرحله بعد نشست سطح زمین ناشی از افت سطح ایستابی توسط بسته MODFLOW SUB تعیین شده است.



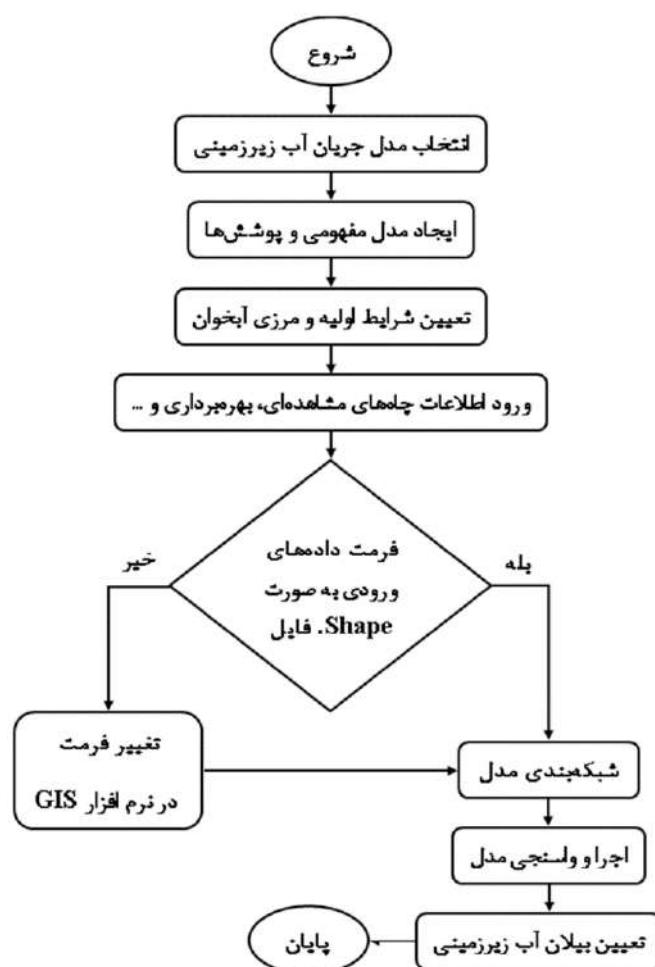
شکل ۲- نقشه زمین شناسی دشت کاشان (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران)



شکل ۳- شکاف های ایجاد شده در سطح زمین در برخی از مناطق دشت کاشان

۳-۱- مدل سازی آب های زیرزمینی

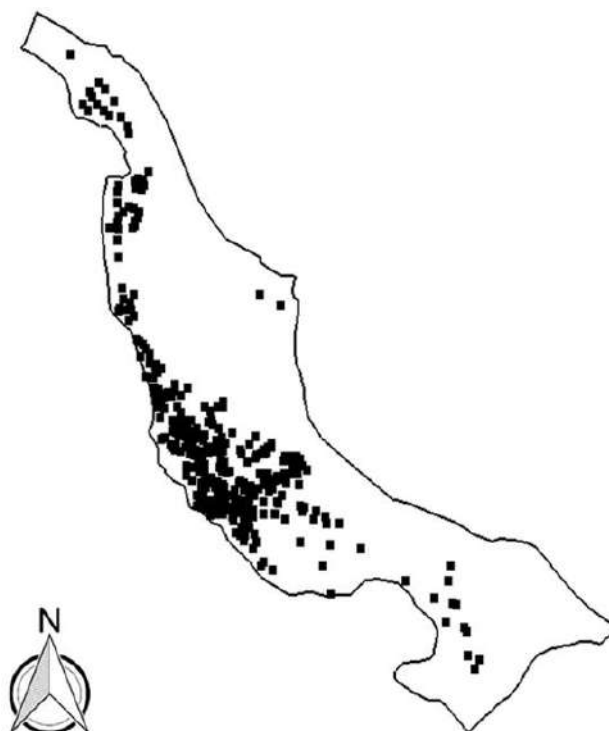
در شکل ۴، فلوچارت مراحل اصلی انجام مدل سازی وضعیت آب های زیرزمینی منطقه کاشان به کمک نرم افزار GMS در این تحقیق را نشان می دهد. در این تحقیق از MODFLOW، به عنوان یک مدل ریاضی رایج و پرکاربرد که براساس قانون پیوستگی و بقای جرم استوار است، به منظور حل معادلات دیفرانسیل به روش تفاضل محدود برای مدل سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان کاشان استفاده شده است. روش کار به این صورت است که



شکل ۴- فلوچارت مراحل مدل سازی آب زیرزمینی دشت کاشان توسط نرم افزار GMS

در اختیار بود. لذا چاه های غیرمجاز و متروکه ای که اطلاعات آن ها در دسترس نبود، در نظر گرفته نشده است. در این تحقیق تمام لایه ها و پوشش ها مورد نیاز مدل مفهومی توسط GIS تهیه و سپس در محیط نرم افزار GMS برای ساخت مدل استفاده شده اند. شکل ۵ موقعیت قرارگیری چاه های بهره برداری مجاز (با علامت مربع توپر) در محدوده آبخوان کاشان (خطوط)، که توسط نرم افزار GIS تهیه شده را نشان می دهد.

آنچه که مسلم است هرچه اطلاعات مورد نیاز برای مدل سازی دقیق تر باشد، مدل واقعی تر بوده و واسنجی آن توسط نرم افزار ساده تر خواهد بود. لذا در این تحقیق با همکاری شرکت آب منطقه ای کاشان، اطلاعات ورودی نظیر وضعیت مشخصات چاه های بهره برداری و مشاهده ای آب منطقه به درستی جمع آوری و وارد نرم افزار شد. بدین منظور اطلاعات ۳۳۳ چاه پمپاژ آب واقع در محدوده مورد مطالعه جمع آوری و انتخاب شد. این چاه ها در واقع چاه های مجاز بهره برداری آب هستند که اطلاعات کامل آن



شکل ۵- چاه‌های بهره‌برداری آب موجود در محدوده آبخوان کاشان

این تحقیق شبکه‌ای 100×100 متر منطبق بر مرز مدل ایجاد شد.

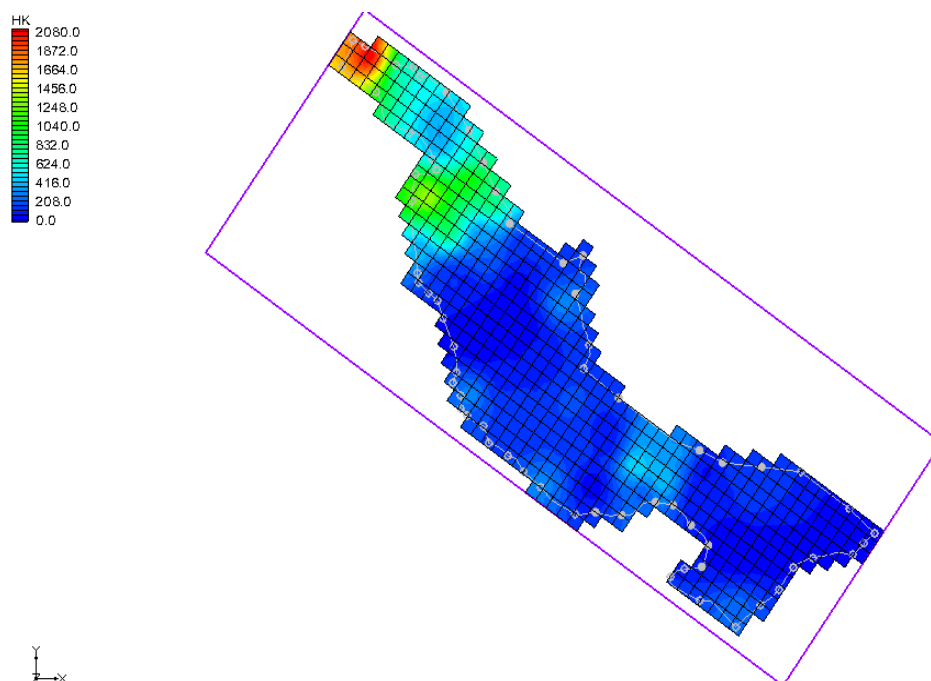
در این تحقیق با اجرای مدل در حالت پایدار، برای هر سال مقدار آب برداشت شده از چاه‌های بهره‌برداری و مقدار سطح آب چاه پیرومتری تعیین شد. سپس برای در هر سال پارامترهای هیدرودینامیکی با توجه به تراز چاه‌های مشاهده‌ای واسنجی شدند. برای واسنجی مدل از روش خودکار PEST، با هدف حداقل شدن مجموع مربعات انحراف بین مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده، استفاده شد. در GIS، میله رنگی (Colored bar) که مرکز آن منطبق بر مقادیر مشاهده‌ای بود، نشان‌دهنده خطای واسنجی است. بر این اساس اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گیرد، میله به رنگ سبز خواهد بود. لذا در مدل‌سازی با اجرای مدل و تکرارهای متوالی تا رسیدن به نتایج قابل قبول، محاسبات انجام می‌شود. لازم به ذکر است که بعد از پایان مرحله واسنجی، مدل برای سال‌های بعد از دوره واسنجی صحت‌سنجی شده است. در این حالت نتایج نشان داد که مدل توسعه داده شده در این تحقیق توانسته است با مقدار خطای قابل قبولی، مقادیر مشاهداتی تراز آب زیرزمینی را مدل‌سازی نماید. در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نحوه توزیع مقادیر بهینه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در محدوده آبخوان کاشان بعد از مرحله واسنجی نشان داده شده است. براساس این نتایج، در منطقه مورد مطالعه مقادیر هدایت هیدرولیکی بین 0.01 تا 20.80 متر در سال و آبدهی ویژه

برای تهیه مدل آبخوان نیاز است ابتدا داده‌های آبخوان شامل، مرز سفره آب زیرزمینی، تراز سنگ بستر، اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای در محیط GIS وارد شده و سپس وارد نرم‌افزار GMS شود. تراز سنگ بستر مورد استفاده در این تحقیق قبلاً توسط مدیریت منابع آب کاشان از تراز 100 تا 500 متر تعیین شده است. همچنین با توجه به وضعیت آبخوان، جنس مواد در برگیرنده و اطلاعات موجود، مقدار ضریب نفوذپذیری 10^{-6} ، ضریب تخلخل 0.3 و آبدهی ویژه 0.04 متر در سال در مدل اعمال شده است.

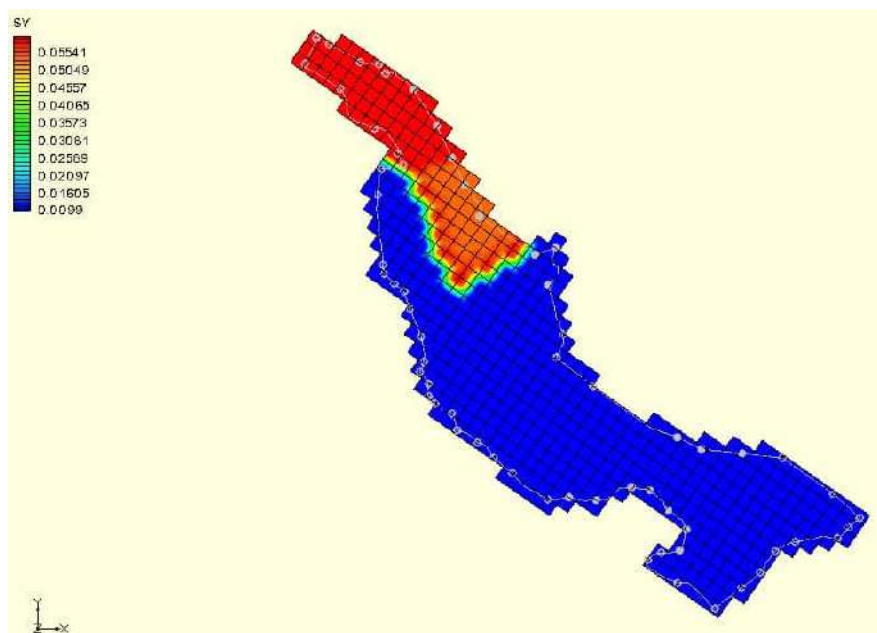
لازم به ذکر است از آن‌جا که داده‌های به فرمت رستری (شبکه‌ای) در نرم‌افزار قابل استفاده نیستند، لذا داده‌ها توسط GIS در قالب فرمت شیپ فایل (Shp) تهیه و پس از آن اطلاعات در نرم‌افزار GMS فراخوانی شدند. در ادامه مدل‌سازی و پس از ورود اطلاعات و تکمیل شدن مدل مفهومی، این مدل به یک مدل عددی (MODFLOW) تبدیل شده و براساس معادلات و شرایط حاکم بر مدل، پردازش و محاسبات لازم انجام می‌شود. در این مرحله کلیه پوشش‌های ساخته شده و اطلاعات درونیایی شده به مدل عددی وارد شده، سپس برای مدل‌سازی آبخوان مدل آماده اجرا می‌شود. یکی از مراحل که در روش‌های عددی برای حل معادلات دیفرانسیل لازم است انجام شود، تقسیم محیط مسئله به اجزای کوچک‌تر (المان یا سلول) است. در این حالت معمولاً محدوده مدل به تعدادی المان چندضلعی تقسیم می‌شود. لذا در

درشت است. صحت این موضوع با توجه به توزیع مقادیر آبدهی ویژه به‌دست آمده در منطقه (شکل ۷) مورد تایید است.

بین ۰/۰۰۹۹ تا ۰/۰۵۵ متغیر است. براساس این نتایج در مناطق شمالی آبخوان (مناطق قرمز رنگ در شکل ۶)، مقادیر هدایت هیدرولیکی بالا است، به‌عبارتی جنس سنگ بستر از مواد دانه



شکل ۶- تغییرات مقادیر هدایت هیدرولیکی (متر در سال) به‌دست آمده برای آبخوان کاشان



شکل ۷- تغییرات مقادیر آبدهی ویژه به‌دست آمده برای آبخوان کاشان

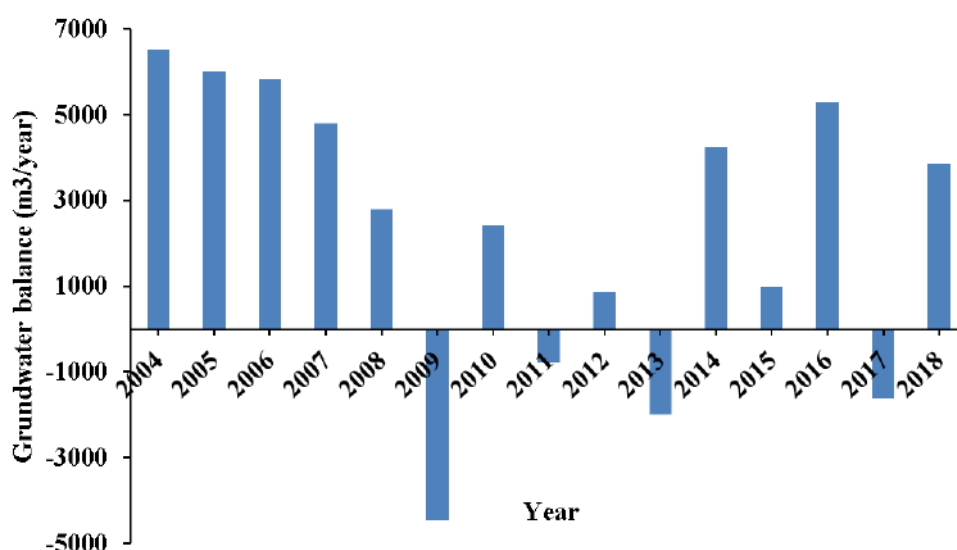
گذشته، یعنی از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ به‌دست آمده است. در شکل ۸، تغییرات مقادیر بیلان آب زیرزمینی محاسبه شده دشت کاشان طی این بازه زمانی نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است بیلان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه طی

یکی از نتایج مهم مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی تعیین بیلان سالانه آبخوان است که براساس آب‌های ورودی و خروجی به/از منبع ذخیره به‌دست آمده است. در این تحقیق با توجه به اطلاعات موجود، مقدار بیلان آب‌های زیرزمینی دشت کاشان طی ۱۵ سال

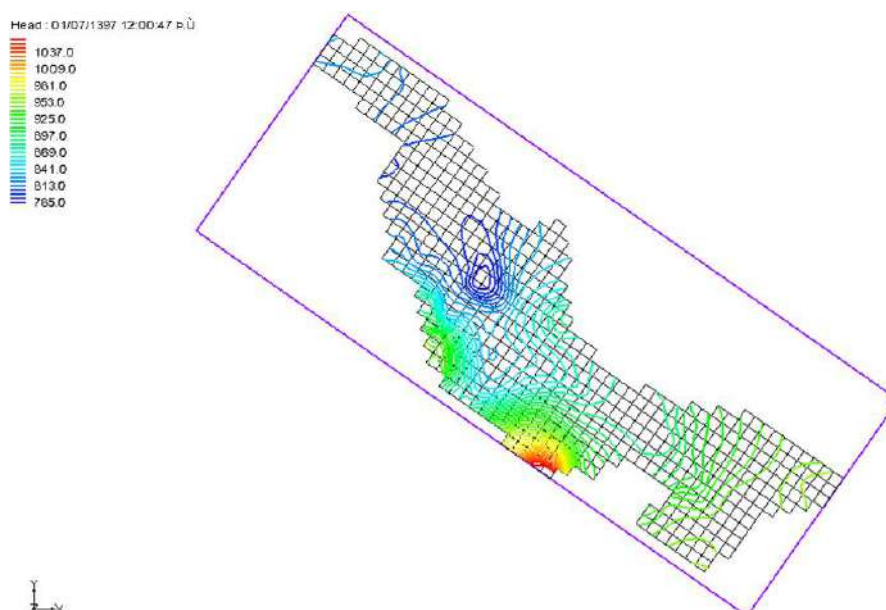
تراز آب (هد) هستند را به هم وصل می‌کند. این نوع منحنی‌ها در تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی طی دوره‌های زمانی مختلف استفاده می‌شود. به عنوان مثال، شکل ۹ خطوط تراز آب‌های زیرزمینی کاشان در سال ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، مدل‌سازی نشان می‌دهد که جریان آب‌های زیرزمینی تقریباً از سمت جنوب و جنوب-غربی (مناطق کوهستانی)، به عنوان محل ورودی آب یا تغذیه، به سمت شمال و شمال-شرقی (مناطق کویری)، به عنوان محل خروجی آب یا تخلیه، در دشت کاشان است که با شیب غالب منطقه مطابقت دارد.

این مدت زمان تغییرات زیادی دارد و روند آن کاملاً نزولی است. حتی در برخی از سال‌ها آبخوان با کسری ذخیره سالانه مواجه بوده و بیلان آب منفی است. دلایلی از قبیل وجود تبخیر زیاد در منطقه، خشکسالی‌های اخیر، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و میزان برداشت آب از چاه‌ها، مهم‌ترین دلیل این میزان افت است. به‌رحال روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه، بیانگر شدت این وضعیت در آینده است.

از دیگر نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، تعیین منحنی تراز آب زیرزمینی سالانه منطقه در بازه زمانی مورد بررسی است. به‌طور کلی منحنی میزان یا تراز آب زیرزمینی، شامل خطوط هم‌پتانسیلی است که تمام نقاطی که در منطقه دارای ارتفاع یکسان



شکل ۸- بیلان آب‌های زیرزمینی محاسبه شده دشت کاشان طی ۱۵ سال اخیر (از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷)

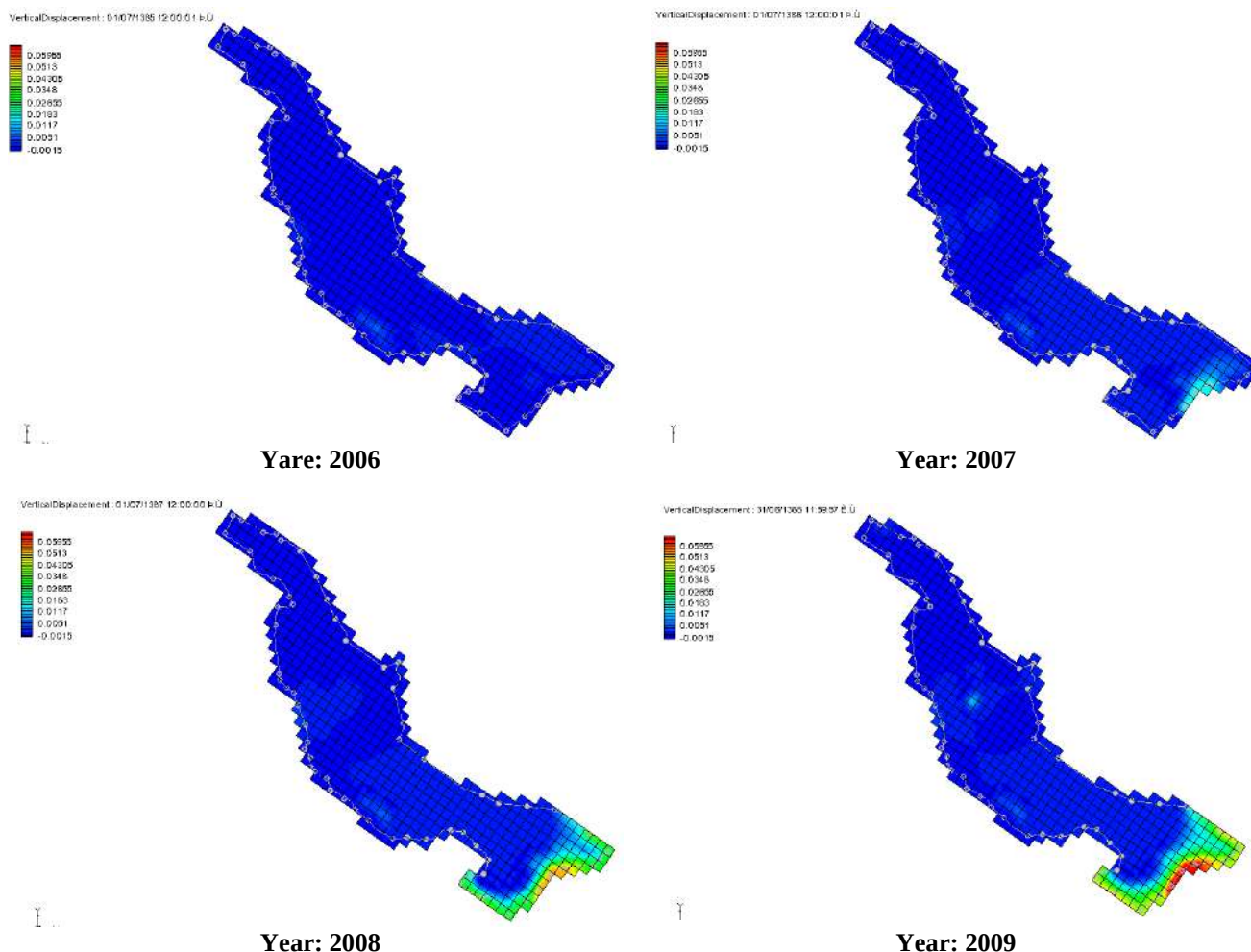


شکل ۹- خطوط تراز جریان آب‌های زیرزمینی به‌دست آمده برای دشت کاشان در سال ۱۳۹۷

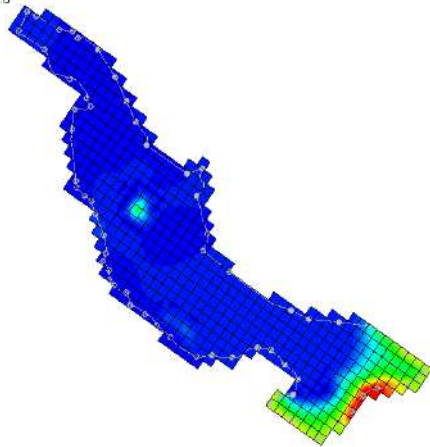
۳-۲- محاسبه نشست زمین

مرحله بعد مدل سازی آب های زیرزمینی آبخوان کاشان، محاسبه میزان نشست زمین است. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از میزان افت سطح ایستابی به دست آمده در مرحله قبل، میزان نشست و تغییرات آن طی سال های مورد بررسی، تعیین شد. در این مرحله برای تعیین نشست زمین از ابزار Modflow Subidence نرم افزار GMS استفاده شده است (Hoffmann et al., 2003). براساس این روش، میزان نشست زمین برابر با جابجایی قائم زمین (Vertical displacement) در نظر گرفته می شود. در شکل ۱۰ میزان نشست زمین (برحسب متر) طی سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ به صورت خطوط هم تراز (Contour Lines) جابجایی قائم در کل محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. مقایسه تغییرات نشست طی سال های مذکور نشان می دهد که میزان نشست روند صعودی داشته و سال به سال وسعت بیشتری از منطقه را در برمی گیرد. مقدار نشست هم در نقاط مختلف دشت از چند میلی متر (در مناطق آبی رنگ) تا چند سانتی متر (در مناطق قرمز رنگ) متغیر است. براساس این نتایج، حداکثر میزان نشست زمین در دشت کاشان برابر با ۵/۹۵

سانتی متر به دست آمده است. این مقدار در مطالعه دیگری که به روش تداخل سنجی راداری در دشت کاشان توسط Ghazifard et al. (2016)، طی سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ انجام شده، ۳/۵ سانتی متر بوده است. مقایسه بین این دو پژوهش نشان می دهد که طی سال های مورد مطالعه در این تحقیق (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸) این مقدار حدوداً ۲/۵ سانتی متر بیشتر شده است. براساس نقشه های مقدار نشست زمین ارائه شده در شکل ۱۰، با گذشت زمان طی این مدت زمان، حداکثر نشست زمین از مناطق جنوبی دشت شروع شده و به سمت مرکز و شمال دشت کاشان در حال گسترش است. البته براساس این نتایج گسترش نشست در کل دشت یکنواخت نبوده است. ولی در بعضی از نواحی، مانند مرکز دشت که با تراکم جمعیت مواجه است، دارای رشد بیشتری است. مقایسه این نقشه ها با نقشه تراز سطح ایستابی در سال های مورد مطالعه (به عنوان مثال، تراز آب زیرزمینی آبخوان در سال ۱۳۹۷ در شکل ۹) نشان دهنده ارتباط بین کاهش سطح ایستابی و نشست سطح زمین است. هم چنین مشاهدات میدانی نویسندگان از مناطق تحت تأثیر نشست زمین در دشت کاشان (به عنوان نمونه شکل ۳)، صحت نتایج به دست آمده را تأیید می نماید.

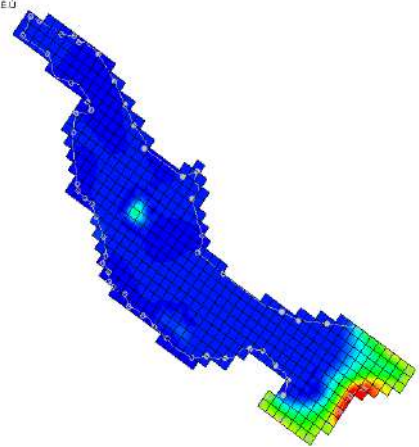
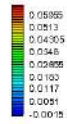


Vertical Displacement: 310561389 11:59:52 E.U



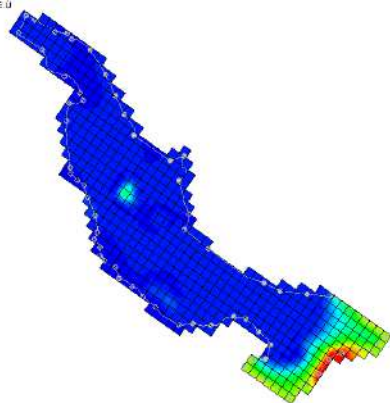
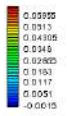
Year: 2010

Vertical Displacement: 310561390 11:59:47 E.U



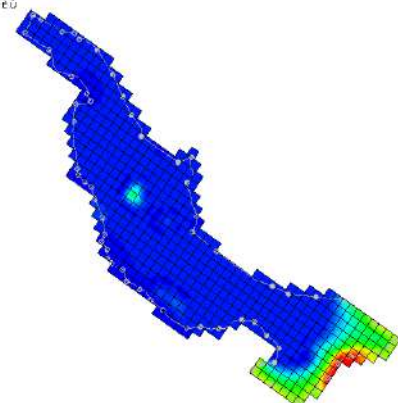
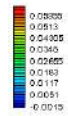
Year: 2011

Vertical Displacement: 310561391 11:59:42 E.U



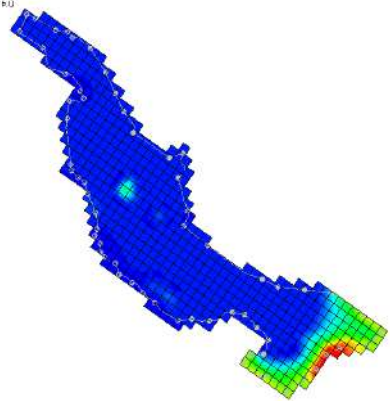
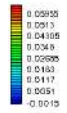
Year: 2012

Vertical Displacement: 310561392 11:59:39 E.U



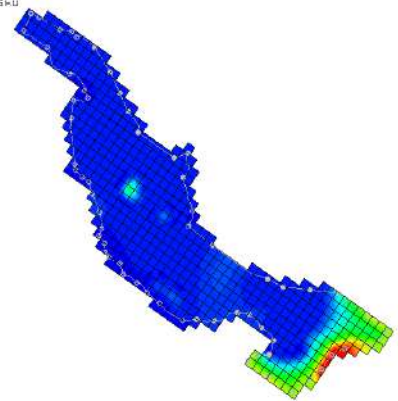
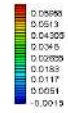
Year: 2013

Vertical Displacement: 01071399 12:00:09 E.U



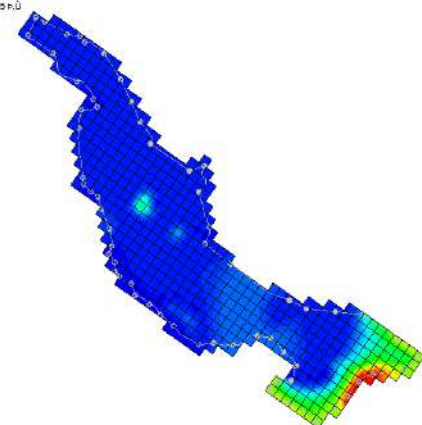
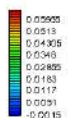
Year: 2014

Vertical Displacement: 01071394 12:56:15 E.U



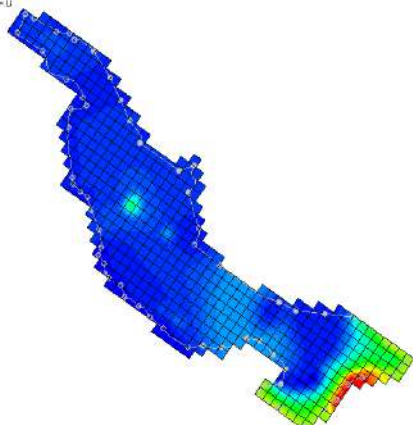
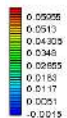
Year: 2015

Vertical Displacement: 01071398 12:00:25 E.U

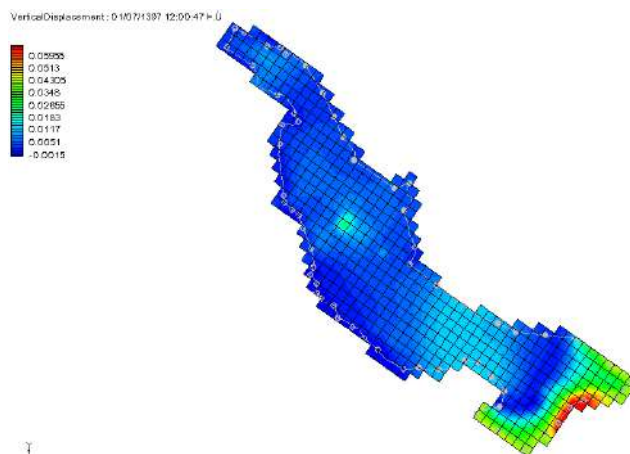


Year: 2016

Vertical Displacement: 01071396 12:00:37 E.U



Year: 2017



Year: 2018

شکل ۱۰- تغییرات مقدار نشست زمین (متر) در دشت کاشان طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷

۴- نتیجه‌گیری

یکی از دلایل مهم ایجاد نشست زمین، برداشت آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌ها بوده که نتیجه آن خالی شدن لایه‌های تحتانی زمین است. در چنین شرایطی وقتی حجم آب کاهش می‌یابد، منافذی در بین لایه‌های زمین ایجاد می‌شود. لذا به دلیل وزن لایه‌های بالایی به تدریج این منافذ پر می‌شود و به همان میزان جابه‌جایی قائم بین لایه‌های فوقانی به وجود می‌آید که به آن نشست گفته می‌شود. در این تحقیق ضمن مدل‌سازی عددی وضعیت آب زیرزمینی دشت کاشان از طریق مطالعات آبخوان به کمک نرم‌افزار GMS، تغییرات نشست زمین طی زمان براساس میزان افت سطح ایستابی تعیین شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیلان آب زیرزمینی آبخوان کاشان طی ۱۵ سال گذشته، نوسانات زیادی داشته و روند آن کاهشی است. همچنین طی این مدت زمان افت سطح ایستابی در اکثر مناطق دشت کاشان به وجود آمده است. منحنی‌های خطوط تراز آب زیرزمینی به دست آمده نشان می‌دهد که جریان آب در دشت کاشان از جنوب غربی به سمت شمال شرقی دشت بوده و طی دوره زمانی مطالعه شده دارای نوسانات زیادی است. همچنین مقایسه تغییرات نشست زمین محاسبه شده طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد که وسعت مناطق تحت تأثیر نشست زمین در دشت کاشان روند صعودی داشته است. مقدار نشست زمین در دشت کاشان بین چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر متغیر بوده و حداکثر مقدار آن برابر با ۵/۹۵ سانتی‌متر تعیین شده است.

با توجه به این که متوسط نرخ نشست زمین در جهان حدوداً ۴ میلی‌متر در سال است و در کشورهای پیشرفته این نرخ بحرانی قلمداد می‌شود، بنابراین وضعیت فعلی نشست دشت کاشان حالت بحرانی است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود مطالعات جامعی در

ادامه این تحقیق انجام گیرد. در این مطالعات لازم است اطلاعات ژئومکانیکی منطقه از طریق آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی تعیین شود. ضمن این که اطلاعات کاملی از منابع تغذیه و تخلیه آبخوان به طور سالانه تهیه و تنظیم شود. همچنین با توجه به این که عامل اصلی نشست زمین، افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه است، لذا اقداماتی برای کاهش مصرف آب به ویژه در بخش کشاورزی پیشنهاد می‌شود. در این خصوص لازم است واحدهای مسئول در سطح منطقه نظیر اداره جهاد کشاورزی، ضمن نظارت جدی بر نحوه کاشت محصولات با مصرف زیاد در راستای تشویق و حمایت استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری اقدام نمایند. همچنین با توجه به این که برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی و متعادل نبودن میزان آب ورودی و خروجی آبخوان، علت اصلی پدیده مخرب نشست است، پیشنهاد می‌شود کنترل دقیق‌تر و سخت‌گیرانه‌ای بر برداشت آب از روش‌های غیرمجاز در دشت کاشان انجام گیرد. مسلماً کمتر شدن برداشت آب، به تعادل رساندن حجم آب ورودی و خروجی به آبخوان و تغذیه مخازن با میزان آب‌های سطحی تنها راه نجات دشت کاشان از عواقب نشست زمین خواهد بود.

۵- مراجع

توسلی، ا.، کاربین، ح.، ترابی، م.، و عساکره، ع.، (۱۳۹۸)، "بررسی عوامل مؤثر بر فرونشست دشت جنوب شرقی تهران بر اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۴(۲)، ۵۸-۷۲.

جانباز فوتمی، م.، خلقی، م.، عبده کلاهی، ع.، و روستایی، م.، (۱۳۹۹)، "بررسی فرونشست زمین ناشی از تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی با استفاده از روش تداخل‌سنجی

- model user guide to the subsidence and aquifer-system compaction (SUB) package”, Open-File Report 03-233, Geological Survey, Washington DC.
- Jafari, F., Javadi, S., Golmohammadi, G., Karimi, N., and Mohammadi, K., (2016), “Numerical simulation of groundwater flow and aquifer-system compaction using simulation and InSAR technique: Saveh basin, Iran”, *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 833.
- Karimi, L., Motagh, M., and Entezam, I., (2019), “Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model”, *Groundwater for Sustainable Development*, 8(1), 439-449.
- Kasmarek, M.C., and Robinson, J.L., (2004), “Summary of hydrogeology and simulation of ground-water flow and land-surface subsidence in the northern part of the Gulf Coast aquifer system, Texas”, No. 2004-3076, US Geological Survey, Washington DC.
- Lin, C.W., Hwung, H.H., Hsiao, S.C., Yeh, C.L., and Hsu, J.T., (2016), “Land Subsidence Caused by Groundwater Exploitation in Yunlin, Taiwan”, In: *Proceedings of the 12th International Conference on Hydrosience and Engineering Hydro-Science and Engineering for Environmental Resilience*, Tainan, Taiwan.
- Mahmoudpour, M., Khamsehchiyan, M., Nikudel, M., and Gassemi, M., (2013), “Characterization of regional land subsidence induced by groundwater withdrawals in Tehran, Iran”, *Geopersia*, 3(2), 49-62.
- Mahmoudpour, M., Khamsehchiyan, M., Nikudel, M.R., and Ghassemi, M.R., (2016), “Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran”, *Engineering Geology*, 201(9), 6-28.
- Ortega-Guerrero, A., Rudolph, D.L., and Cherry, J.A., (1999), “Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigations and predictive modeling”, *Water Resources Research*, 35(11), 3327-3341.
- Panahi, M., Misagi, F., and Asgari, P., (2018), “Simulation and estimate of groundwater level fluctuations using GMS (case study: Zanjan plain)”, *Environmental Sciences*, 16(1), 1-14.
- Parhizkar, S., Ajdari, K., Kazemi, G.A., and Emamgholizadeh, S., (2015), “Predicting water level drawdown and assessment of land subsidence in Damghan aquifer by combining GMS and GEP models”, *Geopersia*, 5(1), 63-80.
- Qin, H., Andrews, C.B., Tian, F., Cao, G., Luo, Y., Liu, J., and Zheng, C., (2018), “Groundwater-pumping optimization for land-subsidence control in Beijing plain, China”, *Hydrogeology Journal*, 26(4), 1061-1081.
- تفاضلی راداری: مطالعه موردی استان قزوین، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۳)، ۱۳۳-۱۴۷.
- جاودانیان، ح.، و احمدی دارانی، م.، (۱۳۹۵)، “برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و نشست منطقه‌ای: مطالعه موردی شهر دامنه، اصفهان”، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۱(۱)، ۴۹-۶۰.
- خورسندی آقایی، ا.، و دیبایی، م.، (۱۳۹۶)، “مدل‌سازی فرونشست زمین، مطالعه موردی: مدل‌سازی فرونشست زمین بخشی از دشت تهران”. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی/ایران معاصر، تهران.
- رجبی، ع.م.، و خوش اخلاق، ا.، (۱۳۹۴)، “بررسی میزان فرونشست زمین در دشت قم در اثر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی”، کنفرانس مهندسی آب، تهران.
- رهنما، م.، و کاظمی آذر، ف.، (۱۳۸۵)، “فرونشست زمین در اثر سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان”، اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی کاشان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
<https://gsi.ir/fa/map?MapSearch%5BscaleId%5D=1>
 مقصودی، ی.، امانی، ر.، و احمدی، ح.، (۱۳۹۸)، “بررسی رفتار فرونشست زمین در منطقه غربی تهران با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و تکنیک تداخل‌سنجی راداری مبتنی بر پراکنش گرهای دائمی”، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱)، ۲۲۹-۳۱۳.
- ندیری، ع.، طاهری، ز.، برزگری، ق.، و دیدبان، خ.، (۱۳۹۷)، “ارائه چارچوبی برای تخمین پتانسیل فرونشست آبخوان با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک”، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۲)، ۱۷۴-۱۸۵.
- Arjomandi, M., Saremi, A., Sarraf, A.P., Sedghi, H., and Roustaei, M., (2018), “Predicting land subsidence rate by estimating aquifer hydraulic parameters, obtained from aquifer-test data and optimization algorithms in the district 19 of Tehran”, *Journal of Geosciences*, 27(107), 17-26.
- Arjomandi, M., Saremi, A., Sarraf, A.P., Sedghi, H., and Roustaei, M., (2018), “Predicting land subsidence rate due to groundwater exploitation in the district 19 of Tehran using MODFLOW and InSAR”, *Journal of Geosciences*, 27(106), 75-82.
- Ghazifard, A., Moslehi, A., Safaei, H., and Roustaei, M., (2016), “Effects of groundwater withdrawal on land subsidence in Kashan Plain, Iran”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(3), 1157-1168.
- Hoffmann, J., Leake, S.A., Galloway, D.L., and Wilson, A.M., (2003), “MODFLOW-2000 ground-water



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Prioritization of Bottlenecks in the Main
Stormwater Collection System for
Rehabilitation Measures, Case Study: Tehran
Catchment, Iran**

Mohammad Shahsavandi¹, Jafar Yazdi^{2*}, Hossein Zangoui³, Moein Assefi⁴ and Mohammad Ali Karimkhani⁵

1- Ph.D. Candidate, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3- Head of River Engineering Projects Division, Regional Water Company of Tehran, Iran.

4- Expert in River and Coastal Engineering Office, Regional Water Company of Tehran, Iran.

5- Deputy of Planning, Regional Water Company of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: j_yazdi@sbu.ac.ir

Received: 02/6/2021

Revised: 01/08/2021

Accepted: 31/08/2021

© IWWA

**اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز شبکه اصلی جمع‌آوری
سیلاب حوضه آبریز شهر تهران برای انجام فعالیت‌های
بهسازی**

محمد شاه‌سوندی^۱، جعفر یزدی^{۲*}، حسین زنگویی^۳، معین آصفی^۴
و محمدعلی کریمخانی^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- کارشناسی ارشد، رئیس گروه طرح‌های مهندسی رودخانه، شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، ایران.

۴- دکتری، کارشناس دفتر مهندسی رودخانه‌ها و سواحل، شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، ایران.

۵- معاونت برنامه‌ریزی، شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: j_yazdi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Urban drainage Systems are of the vital infrastructures, which are responsible for the safe transport of runoff. In recent decades, the increase in surface runoff has led to inadequate capacity in some parts of drainage network, which results in over-flowing. Land use and population density around these areas pose a high risk of loss of lives and injuries. Since in previous studies, vulnerability indicators were not considered in the assessment of bottleneck's risk, in this study, hazards and vulnerability indicators are combined together for calculating the risk index which is used for the prioritization of bottlenecks. In order to prioritize the bottlenecks of urban drainage system in Tehran catchment using the Simple Additive Weighting (SAW) method, the hydraulic modeling and Analytic Hierarchy Process (AHP) has been used for calculating the weight of indicators. For this purpose, five indicators have been defined which are population density around the bottlenecks, density of properties and diversity of land uses at these areas, average percentage of canal/main channel river filling, degree of bottleneck submergence, channel or river rank and flow velocity in canal/river. The results showed that the major critical bottlenecks are located in the eastern sub-basin of Tehran: in Abuzar, Maghsoudbeig and Bakhtar canals.

شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی یکی از زیرساخت‌های حیاتی هستند که وظیفه انتقال ایمن رواناب را برعهده دارند. در دهه‌های اخیر، افزایش حجم رواناب یا سیلاب موجب شده تا در برخی از قسمت‌های شبکه ظرفیت کافی برای عبور جریان وجود نداشته باشد. وجود کاربری اراضی و تراکم جمعیتی در اطراف این مناطق ریسک بالایی را برای انسان‌ها به همراه دارد. با توجه به این که در مطالعات پیشین شاخص‌های آسیب‌پذیری در بررسی نقاط حادثه‌خیز شبکه در نظر گرفته نشده است، در این پژوهش شاخص‌های خطر و شاخص‌های آسیب‌پذیری توأمان با یکدیگر در محاسبه شاخص ریسک استفاده شده و اولویت‌بندی گلوگاه‌ها بر اساس آن انجام شده است. به این ترتیب با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه، روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ و تعریف پنج شاخص: تمرکز جمعیتی در اطراف گلوگاه، تراکم و تنوع کاربری‌ها در حاشیه گلوگاه، متوسط درصد پرشدگی کانال/رودخانه در محل گلوگاه، درجه کانال سیلاب‌برو یا رودخانه و سرعت در کانال/رودخانه، وزن‌های شاخص‌ها به‌دست آمده و با استفاده از روش مجموع ساده وزنی^۲، گلوگاه‌های موجود در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران برای انجام عملیات بهسازی، اولویت‌بندی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عمده گلوگاه‌های بحرانی در زیرحوضه شرق تهران و در کانال‌های ابوزر، مقصودیگ و باختر قرار دارند.

Keywords: Urban drainage system, Bottlenecks, Risk index, Analytic Hierarchy Process

کلمات کلیدی: شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، گلوگاه‌های شبکه، شاخص ریسک، تحلیل سلسله‌مراتبی

آذری و تابش (۱۳۹۴) روشی برای تعیین میزان عملکرد هیدرولیکی کانال‌های روباز در سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی معرفی کردند. در این تحقیق با استفاده از استانداردها و تحقیقات پیشین انجام شده بر روی عملکرد هیدرولیکی کانال‌ها، منحنی جریمه سرعت جریان و ارتفاع آزاد آب در کانال‌ها تعریف شده است. برای هر یک از اجزای سیستم، شاخص عملکرد مشخص شده و سپس با روابط ارائه شده، قابلیت اطمینان کل سیستم نیز تعیین شد. این روش پیشنهادی بر روی بخشی از شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی تهران در منطقه سیل برگردان غرب اعمال شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم مورد مطالعه از نظر ارتفاع آزاد دارای کارایی بسیار خوبی است و کارایی هیدرولیکی سیستم از نظر سرعت نیز در سطح بالایی قرار دارد. رادمهر و عراقی‌نژاد (۱۳۹۵) نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شهر تهران را به منظور اتخاذ تصمیمات دقیق‌تر در مدیریت سیلاب شهری با استفاده از ترکیب روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی^۴ تهیه کردند. با توجه به نقشه نهایی خطرپذیری سیلاب، مناطق جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه درجه خطرپذیری بالایی دارند.

کریمی، غضنپور و علیمردادی‌پور (۱۳۹۷) با استفاده از مدل AHPFuzzy مبتنی بر تحلیل آماری، شاخص‌های جغرافیایی موثر بر کم‌وکیف آب‌گرفتگی معابر در مناطق چهارگانه شهر کرمان در طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ را شناسایی کردند. معیارهای در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارتند از عوامل جوی (مدت بارش، زمان بارش، شدت بارش و میزان بارش)، عوامل محیطی (شیب، توپوگرافی، نفوذپذیری خاک) و عوامل انسانی (شکل فیزیکی آبراهه‌ها، عرض خیابان‌ها، وجود یا نبود شبکه زهکش فرعی و پوشش اراضی شهری). سپس اطلاعات مربوط به نظر کارشناسان، با پرسشنامه جمع‌آوری شده و در نهایت با استفاده از ArcCN-Runof در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های خطر رواناب در مناطق چهارگانه شهر ترسیم شده است.

زندسلیمی و همکاران (۱۳۹۷) پهنه‌بندی سیل را برای محدوده سیل‌برگردان غرب و با استفاده از مدل هیدرولیکی MIKEFLOOD برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله ارائه دادند. از اطلاعات به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان در مشخص نمودن مناطق بحرانی که نیازمند اقدامات مدیریتی هستند استفاده نمود. رشید (۱۳۹۸) نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در منطقه سه، شهر تهران را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی تهیه کرده است. در این تحقیق از پارامترهای شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله

دستیابی به زیرساخت‌های مطمئن و کارآمد یکی از اهداف جوامع شهری است. از جمله این زیرساخت‌ها که چالش‌های زیادی را در دهه‌های اخیر به‌همراه داشته است، سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی است. هر ساله در برخی نقاط کشور بروز آبگرفتگی در معابر، خیابان‌ها و سطح شهر رخ می‌دهد که نشان از وجود ضعف در این سیستم است (پوریامهر، ۱۴۰۰؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی با توجه به مسئله تغییر اقلیم که در پی افزایش گازهای گلخانه‌ای ایجاد شده است و هم‌چنین کاهش سطح نفوذپذیر که به دنبال تغییر کاربری اراضی و توسعه شهرنشینی به‌وجود آمده است (آذری و تابش، ۱۳۹۴)، تواتر آبگرفتگی‌ها و خرابی‌های ناشی از سیل افزایش یافته است.

برای کاهش این مشکلات لازم است وضعیت فعلی شبکه ارزیابی شده تا براساس وضعیت موجود، تصمیم‌گیری برای اصلاح مجاری شبکه صورت پذیرد. در ایران، معمولاً عمده مشکلات ناشی از خروج رواناب از شبکه به‌واسطه سازه‌های عرضی (نظیر پل و کانال) است که به دلیل ایجاد تنگ‌شدگی در مسیر جریان ایجاد شده است. در این پژوهش به سازه‌های عرضی که در سیلاب‌های با دوره بازگشت بالای ۱۰ سال می‌توانند مشکل‌ساز شوند، گلوگاه اطلاق شده است. به این ترتیب اولویت‌بندی گلوگاه‌ها می‌تواند نقش موثری در تصمیم‌گیری‌ها (از قبیل تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی انجام اقدامات بهسازی) ایفا کند. چرا که معمولاً بودجه مورد نیاز برای اصلاح کلیه گلوگاه‌ها در دسترس نیست و لازم است تا ابتدا اولویت به گلوگاه‌های بحرانی‌تر داده شود. در این اولویت‌بندی لازم است تا هم معیارهای خطر (نظیر عمق و سرعت جریان) و هم معیارهای آسیب‌پذیری (نظیر تراکم جمعیت و تراکم و تنوع کاربری اراضی) در نظر گرفته شود. چرا که در دو گزینه با خطر یکسان، گلوگاهی که آسیب‌پذیری بیشتری داشته باشد در اولویت بالاتر قرار می‌گیرد. از این‌رو در پژوهش حاضر شاخص ریسک که در بردارنده هر دو مفهوم فوق است برای ارزیابی و اولویت‌بندی گلوگاه‌ها انتخاب شده است.

صالحی و همکاران (۱۳۹۲) رویکردی کارآمد را در ارزیابی خطر سیل تهران به‌کار گرفتند. در این تحقیق ۵ معیار فاصله از شبکه زهکشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع و اراضی ساخته شده و ساخته نشده در نظر گرفته شده و از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی^۳ برای تصمیم‌گیری استفاده شده است. نقشه نهایی تولید شده نشان می‌دهد که مناطق حریم آبراهه‌ها و نواحی تقریباً مرکزی تا جنوب شهر دارای بالاترین میزان خطرند.

از فضای سبز و کاربری اراضی در ارزیابی خطر سیلاب شهری استفاده شده است.

شریعت و همکاران (۱۳۹۸) روشی برای مدیریت ریسک شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی ارائه دادند. این روش با استفاده از مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Autodesk SSA انجام شده است. لایه‌های در نظر گرفته شده در وزن‌دهی شامل لایه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، اجتماعی، ترافیکی، زیست‌محیطی، سیمای شهری و سازه‌ای و زیرلایه‌های لازم است. استخراج وزن لایه‌ها با استفاده از نظرات متخصصان امور شهری و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP انجام شده است. در نهایت نیز نقشه ریسک آب‌گرفتگی در کانال‌ها با استفاده از قابلیت‌های GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و SAW به‌صورت مکانی تهیه شده است. اجرای روش ارائه شده در این پژوهش در مورد کانال‌های درجه ۳ و ۴ منطقه ۱۱ شهرداری تهران نشان‌دهنده ریسک آب‌گرفتگی زیاد و خیلی زیاد برای ۶ تا ۹ درصد طول کل کانال است.

Ouma and Tateishi (2014) روشی برای تهیه نقشه سیلاب مبتنی بر اظهارات مردم و همچنین برآورد خطرات سیل در مناطق در حال رشد شهری ارائه دادند. آن‌ها در این پژوهش برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مناطق در معرض خطر سیل، از روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شهرداری الدوریت در کنیا استفاده کردند. در این روش برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیل، از لایه‌های توزیع باران، ارتفاع، شیب، شبکه و تراکم زهکشی، کاربری اراضی/ پوشش زمین و نوع خاک استفاده شده است.

Siddayao et al. (2015) با ترکیب روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی با GIS ابزاری را برای ارزیابی خطرات سیل در مناطق مرکزی شهر توگوگاراو ارائه دادند. این ابزار پس از جمع‌آوری اطلاعات توپولوژیک در مورد شهر و همچنین ارزیابی معیارهای متخصصین در مورد خطرات سیل و سپس استفاده از تکنیک‌های منطق فازی مبتنی بر AHP در نرم‌افزار متن‌باز QGIS توسعه یافته است.

Garofalo et al. (2016) با استفاده از یک شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مجهز به حسگرها و یک سری دریچه متحرک الکترونیکی، یک سیستم غیرمتمرکز زمان-واقعی بر اساس یک الگوریتم مبتنی بر شایعات^۵ ارائه دادند که عملکرد سیستم جمع‌آوری رواناب و نرخ شکست را نشان می‌دهد. هدف از این طرح، بهره‌برداری موثر از ظرفیت ذخیره‌سازی شبکه سیلاب‌روی شهری به منظور کاهش سیلاب است.

Abou Rjeily et al. (2017) ابزاری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر NARX، برای هشدار سریع به مدیران سیستم زهکش شهری در برابر خطرات سیل توسعه دادند. به این منظور از داده‌های بارش در چند ایستگاه و مقادیر عمق جریان در منهول‌های بحرانی برای آموزش شبکه استفاده کردند. به منظور شناسایی منهول‌های بحرانی نیز از نرم‌افزار EPA-SWMM استفاده شد. کاربرد سیستم پیش‌بینی سیل در سیستم زه‌کشی محیط دانشگاه لیل نشان می‌دهد که شبکه عصبی آموزش دیده NARX هم در حوادث جزئی و هم در طوفان‌های شدید عملکرد خوبی داشته است.

Dash and Sar (2020) با تجزیه و تحلیل چند معیاره در منطقه الله‌آباد هند، مناطق احتمالی خطر سیل را شناسایی کردند. در این مطالعه برای تصمیم‌گیری در مورد روابط پیچیده از روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. به این ترتیب با هم‌پوشانی هشت معیار جریان تجمعی^۶، ظرفیت تخلیه^۷، ارتفاع، سطح آب زیرزمینی، کاربری اراضی، ضریب رواناب، شیب و زمین‌شناسی، شاخص خطر تهیه شده که با نقشه تاریخی پهنه سیل که از داده‌های سنجش از دور به‌دست آمده است مطابقت دارد.

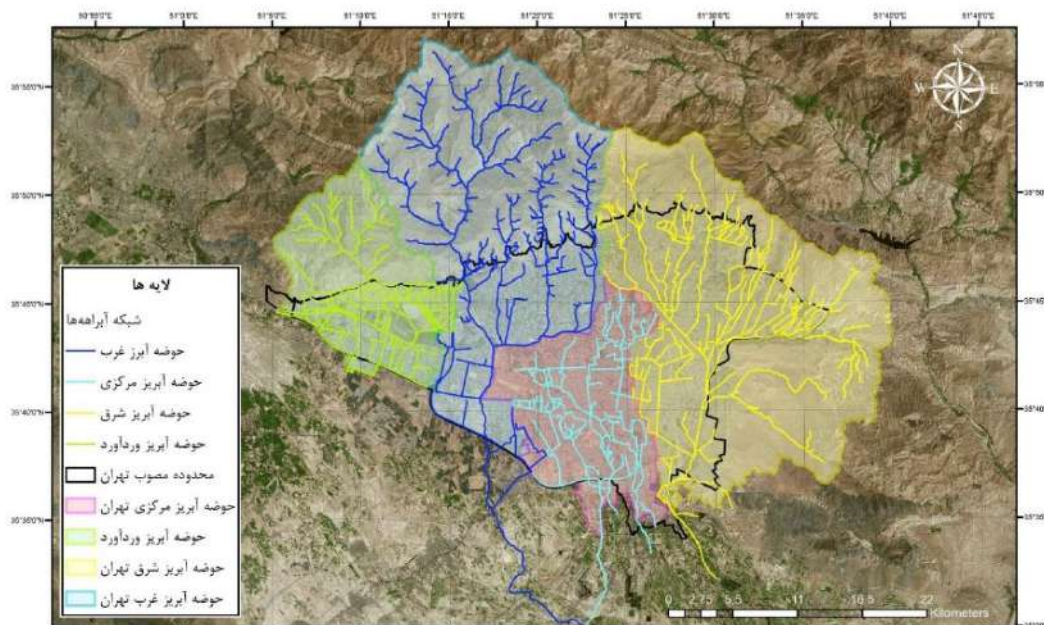
با بررسی مطالعات و پژوهش‌های پیشین، دیده می‌شود که ارزیابی وضعیت شبکه زه‌کش شهری عمدتاً براساس شاخص‌های خطر انجام شده است، حال آن‌که شاخص‌های آسیب‌پذیری نقش بسیار مهمی در تعیین اولویت‌های گلوگاهی از نظر خطر سیل و خطرات جانی دارند، چرا که در دو گلوگاه با شاخص خطر یکسان، گلوگاهی که آسیب‌پذیری بیشتری دارد در اولویت بالاتر قرار می‌گیرد. از این‌رو در پژوهش حاضر علاوه بر شاخص‌های خطر، شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی جدید تعریف و در مجموعه شاخص‌های رتبه‌بندی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، پژوهش‌های پیشین در شهر تهران در محدوده یک یا چند منطقه و در بردارنده شبکه فرعی سیلاب‌روها بوده است؛ در حالی که ریسک مخاطرات جانی سیلاب در مناطق شهری از سیلاب‌روهای اصلی ناشی می‌شود. لذا برای مطالعه وضعیت شبکه از نظر خطر سیل و بررسی ایمنی شهروندان در برابر سیلاب، مسیل‌ها و سیلاب‌روهای اصلی شهر باید ملاک عمل در نظر گرفته شود. پژوهش حاضر با توجه به آن‌که از یک رویکرد ثابت و بر مبنای مدل‌سازی هیدرولیکی یک‌پارچه کل سامانه برای اولویت‌بندی تمامی گلوگاه‌های شبکه اصلی هدایت سیلاب شهر تهران استفاده می‌کند، امکان قیاس گلوگاه‌ها در زیرحوضه‌های مختلف شهر را فراهم می‌آورد، موضوعی که به سادگی با تجمیع نتایج

پژوهش‌های جداگانه امکان‌پذیر نیست.

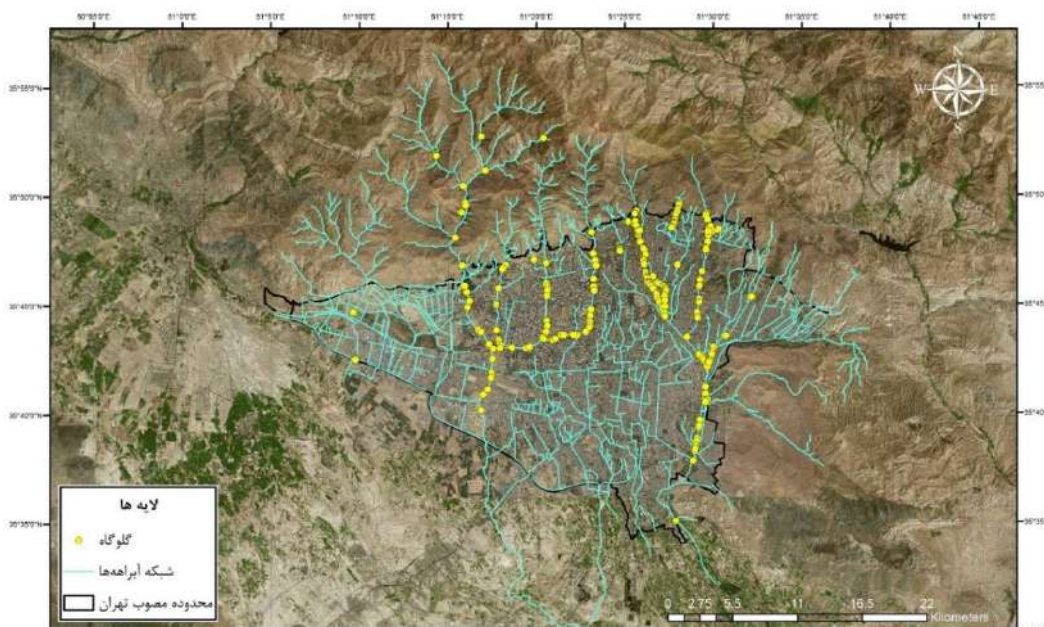
۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- مطالعه موردی

چهار حوضه آبریز مستقل شهر تهران در شکل نشان داده



شکل ۱- حوضه آبریز شهر تهران و چهار زیرحوضه اصلی آن



شکل ۲- موقعیت گلوگاه‌ها در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران

راستا، پنج شاخص (۱) تمرکز جمعیتی، (۲) تراکم و تنوع کاربری‌ها، (۳) متوسط درصد پرشدگی کانال / رودخانه (در سیلاب‌های مختلف) و (۴) درجه کانال سیلاب‌رو یا رودخانه (در روش هورتون)

به‌منظور ارزیابی و اولویت‌بندی نقاط آسیب‌پذیر و حادثه‌خیز در سرشاخه‌های کوهستانی و شهر تهران، تعریف معیارهایی برای تعیین اهمیت مناطق تحت تأثیر سیلاب، ضروری است. در این

نیست. از این‌رو افزایش یا کاهش این فاصله تفاوت معناداری در مقایسه گلوگاه‌ها از نظر شاخص مورد استفاده ایجاد نمی‌کند.

۲-۳- شاخص تراکم و تنوع کاربری‌ها

تراکم و تنوع بیشتر کاربری‌ها در اطراف گلوگاه، ریسک بالاتری را در شرایط سیلابی به دنبال دارد. به این ترتیب با محاسبه شاخص تراکم و تنوع کاربری‌ها می‌توان مناطق با ریسک بالاتر را شناسایی نمود. در واقع شاخص تراکم و تنوع کاربری میزان آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی را در اطراف هر گلوگاه نشان می‌دهد. هر چه این شاخص کمتر باشد به این معنی است که میزان آسیب‌پذیری (اجتماعی و اقتصادی) در این ناحیه کمتر است. برای محاسبه این شاخص به اطلاعات کاربری اراضی در حاشیه گلوگاه‌ها نیاز است. این اطلاعات از طریق مکاتبه و درخواست اطلاعات از مرکز آمار ایران دریافت شده است. این اطلاعات دربردارنده فایل نقطه‌ای موقعیت هر کاربری در سطح شهر است (این نقشه به همراه موقعیت گلوگاه‌های بحرانی در شکل ۵ نشان داده شده است). بدین ترتیب می‌توان تراکم کاربری‌ها در اطراف هر گلوگاه را با تعیین یک فاصله مشخص به‌دست آورد. از طرفی با توجه به درجات اهمیت متفاوت هر کاربری لازم است تا درجه اهمیت آن هم در محاسبه شاخص لحاظ شود. در "راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب" (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹) کاربری‌های مختلف با توجه به میزان حساسیت آن‌ها به آسیب‌پذیری طبقه‌بندی شده‌اند.

از این‌رو ابتدا برای هر نوع کاربری موجود، با توجه به راهنمای مذکور، یک درجه در نظر گرفته می‌شود (درجه‌های اهمیت مورد استفاده در این تحقیق مطابق جدول ۱ است). سپس مشابه شاخص قبل، یک دایره به شعاع ۱۰۰ متر به مرکزیت گلوگاه ایجاد شده و کاربری‌هایی که در این محدوده قرار می‌گیرند، انتخاب می‌شوند. در نهایت با جمع مقادیر درجه اهمیت هر کاربری برای تمامی عوارض قرار گرفته در محدوده ترسیمی و تقسیم آن‌ها به مقدار بیشینه، شاخص تراکم و تنوع کاربری‌ها محاسبه می‌شود. شکل ۶ توزیع مکانی این شاخص را برای گلوگاه‌های موجود نشان می‌دهد.

و ۵) سرعت در کانال/ رودخانه در نظر گرفته شد و شاخص ریسک هر گلوگاه با استفاده از روش مجموع ساده وزنی به‌دست آمده است. وزن هر شاخص نیز با استفاده از مقایسه زوجی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمده است. مراحل انجام پژوهش در روندنمای شکل نشان داده شده است.

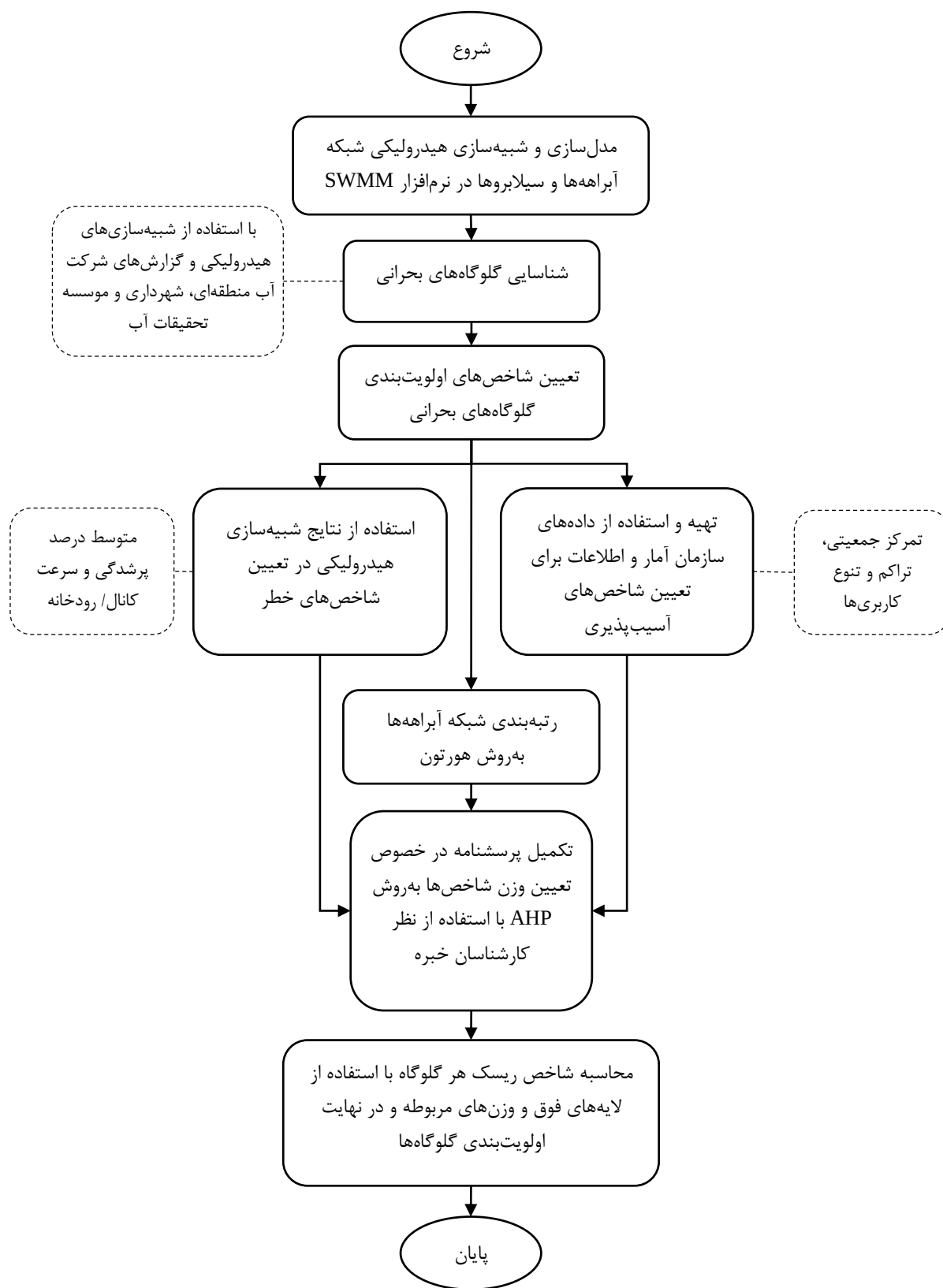
برای تعیین مقادیر شاخص‌های ارائه شده در بالا (برای هر گلوگاه) نیاز به دانستن مقادیر عمق و سرعت جریان در دوره بازگشت‌های مختلف، درجه رودخانه/ کانال در محل گلوگاه و اطلاعات جمعیتی و کاربری اراضی در حاشیه این گلوگاه‌ها است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی فوق در محیط GIS، براساس وزن‌های به‌دست آمده از روش AHP، لایه‌ها ترکیب شده تا اولویت‌بندی نقاط حساس و آسیب‌پذیر حوضه تعیین شود. لازم‌به ذکر است که تمامی شاخص‌های فوق پیش از استفاده در اولویت‌بندی براساس بزرگترین مقدار به‌دست آمده از بین نقاط آسیب مختلف استاندارد شده است.

۲-۲- شاخص تمرکز جمعیتی

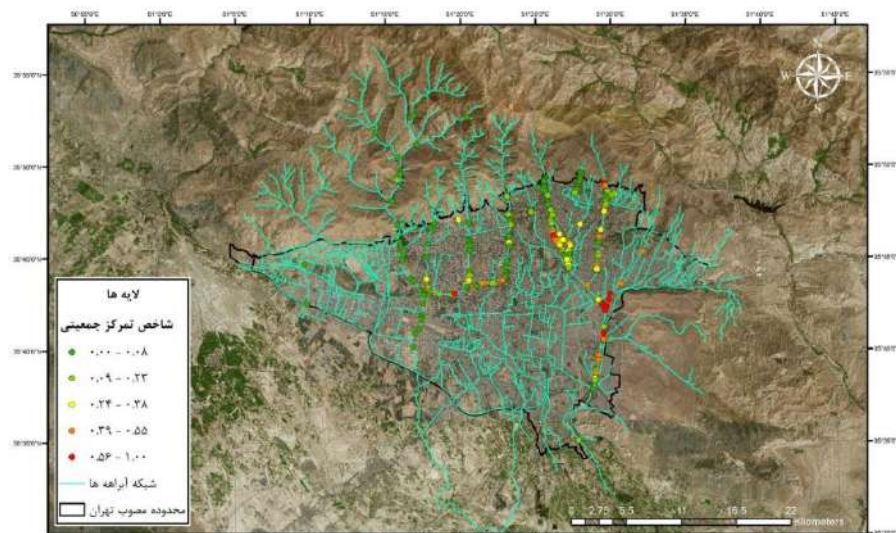
تمرکز جمعیت بیشتر در اطراف گلوگاه، ریسک بالاتری را در شرایط سیلابی به‌همراه دارد. از این‌رو شاخص تمرکز جمعیتی برای منعکس نمودن این موضوع انتخاب شده است. اطلاعات جمعیتی در نواحی اطراف گلوگاه‌ها و بازه‌های حساس شناسایی شده برای محاسبه این شاخص مورد نیاز است. در این پژوهش اطلاعات جمعیتی تهران در سال ۱۳۹۵ از طریق مکاتبه و درخواست اطلاعات از مرکز آمار ایران دریافت شده است. برای محاسبه شاخص تراکم جمعیتی، یک دایره به شعاع ۱۰۰ متر از هر گلوگاه ترسیم شده و تعداد جمعیت قرار گرفته در داخل آن محاسبه شده است (به‌صورت مجموع نسبت مساحت قطاع کاربری موجود در شعاع ۱۰۰ متری به مساحت کل کاربری ضرب در کل جمعیت کاربری)؛ در نهایت جمعیت قرارگرفته در حاشیه هر گلوگاه به بیشینه موجود تقسیم شده تا مقدار استاندارد برای هر کدام محاسبه شود. شکل ۴ این شاخص را برای ۲۴۳ گلوگاه موجود نشان می‌دهد. در رابطه با فاصله انتخاب شده در اطراف گلوگاه لازم‌به ذکر است که این فاصله برای مقایسه نسبی مقادیر شاخص‌ها در گلوگاه‌ها نسبت به یکدیگر است و شاخصی مطلق

جدول ۱- درجه اهمیت هر نوع کاربری (متناسب با جمعیت مستقر)

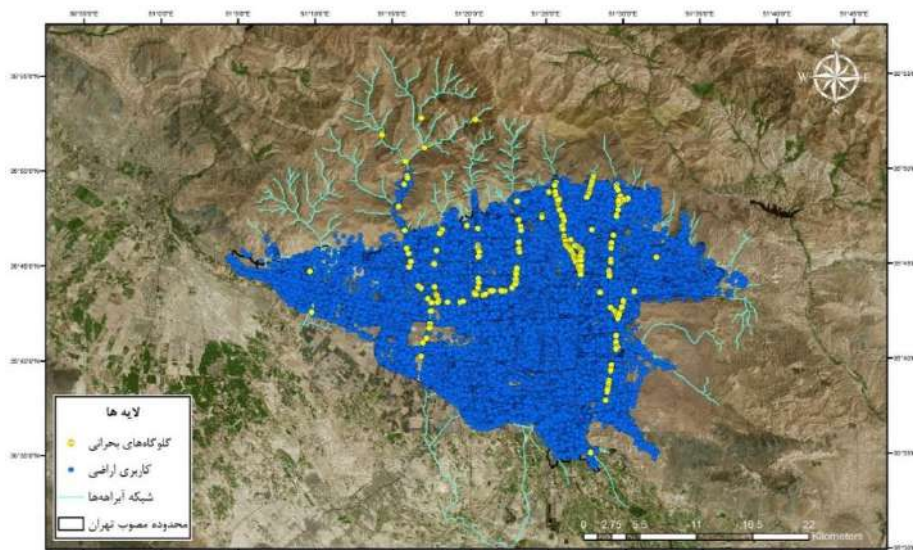
نوع کاربری	کانال	مسیر	رودخانه	آبپهنه	آب	آب‌انبار/بزرگراه	میدان	مسیر مترو	خیابان	بوار	مسیر	مکان	محل	منطقه	هستگاه	بازار	مدرسه	راه آبی	زمینگاه	تفریحی
درجه اهمیت	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۶	۶	۷	۷	۸	۸	۱۰



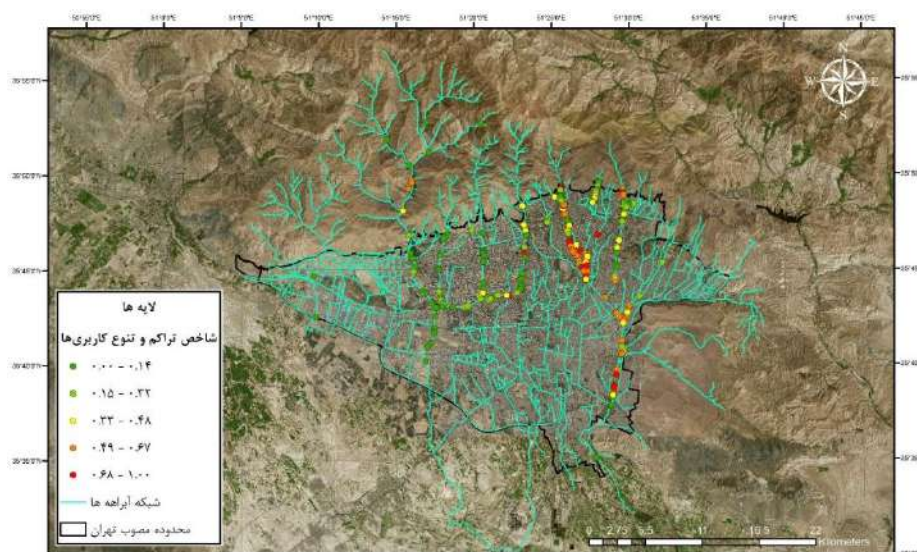
شکل ۳- روندنمای انجام پژوهش



شکل ۴- شاخص تمرکز جمعیتی برای گلوگاه‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران مطابق آمار سال ۱۳۹۵



شکل ۵- نقشه موقعیت کاربری اراضی و موقعیت گلوگاه‌های بحرانی



شکل ۶- شاخص تراکم و تنوع کاربری‌ها در حاشیه گلوگاه‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران مطابق آمار سال ۱۳۹۵

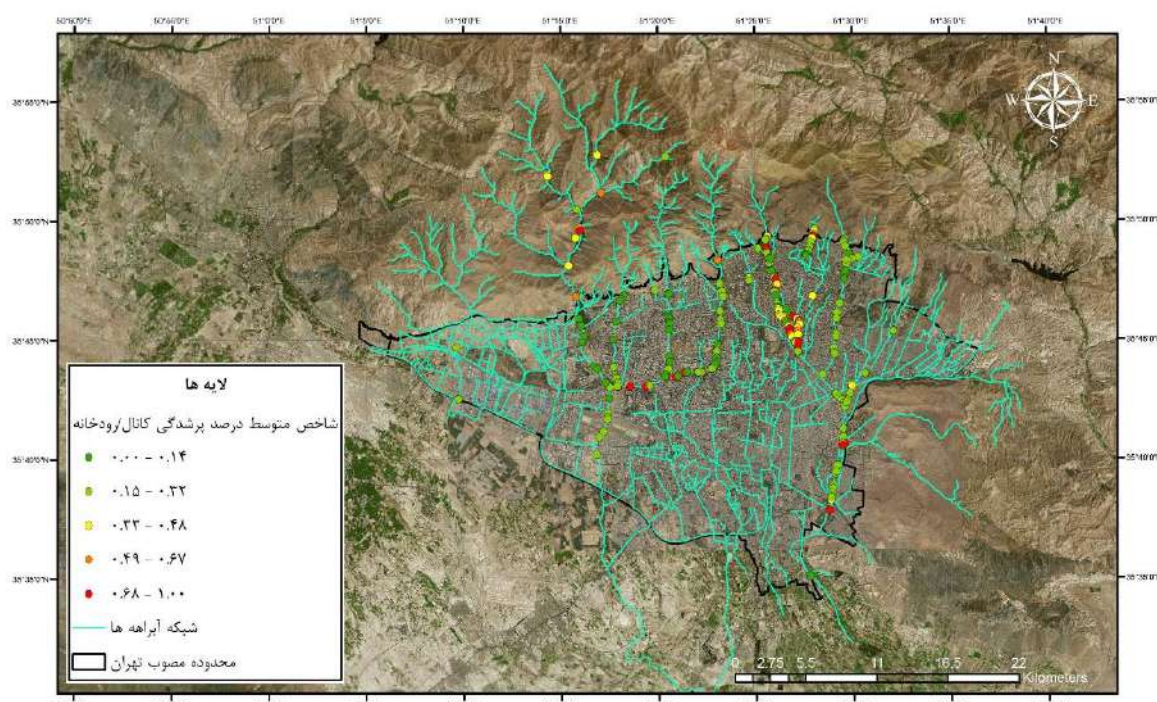
۲-۴- شاخص‌های متوسط درصد پرشدگی و سرعت در

کانال / رودخانه

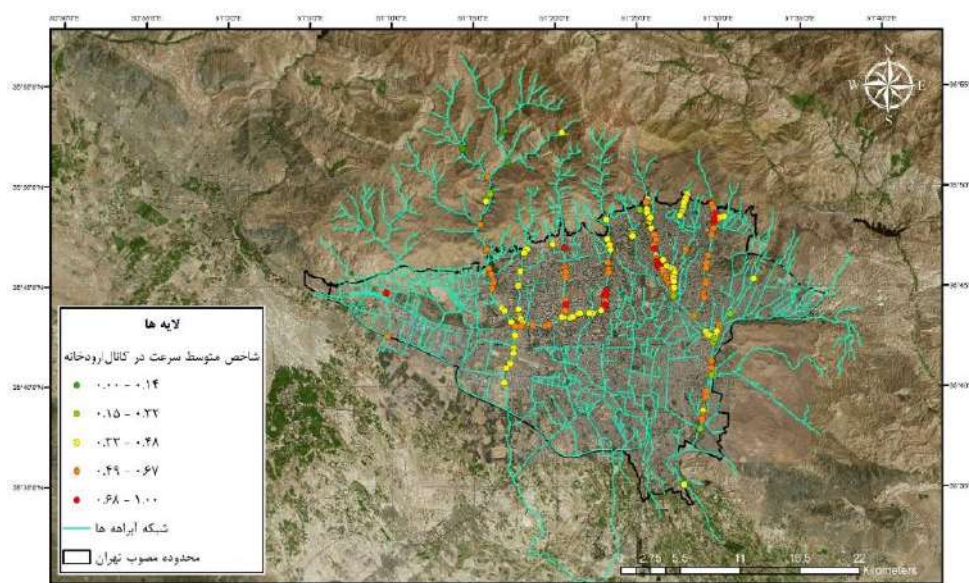
علاوه بر شاخص‌های آسیب‌پذیری مورد بحث در بالا به شاخص‌های خطر نیز برای محاسبه شاخص ریسک در هر گلوگاه نیاز است. در واقع هر چه این دو شاخص برای یک گلوگاه بیشتر باشد، معرف آن است که خطر بیشتری را در شرایط سیلابی به همراه دارد. درصد پرشدگی کانال / رودخانه و همچنین سرعت در کانال / رودخانه در سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف برای برخی نقاط بحرانی در گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای تهران، شهرداری تهران و موسسه تحقیقات آب موجود بود و استخراج شد. ولی برای برخی دیگر از نقاط حساس شناسایی شده این اطلاعات وجود نداشت. لذا مدل هیدرولیکی کل آبراهه‌ها و کانال‌های شهر تهران با استفاده از مدل EPA-SWMM ساخته شد و سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف (۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) مدل‌سازی شد تا اطلاعات لازم برای نقاط حساس باقیمانده استخراج شود. نقشه شاخص‌های متوسط درصد پرشدگی و سرعت در کانال / رودخانه که از متوسط وزنی درصد پرشدگی در چهار دوره بازگشت فوق به دست آمده است، در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. لازم به ذکر است که مقادیر بارش‌های ورودی هر زیرحوزه در این مدل با روش IDW از مقادیر داده‌های ایستگاه‌های اطراف در دوره بازگشت مشخص به دست آمده است. توضیح این‌که در مطالعات طرح جامع آب‌های سطحی شهر

تهران، پس از تحلیل فراوانی بارش‌های حدی ایستگاه‌های حوضه، یک رابطه کلی شدت-مدت فراوانی ارائه شده است. در این رابطه، شدت یا عمق بارش در هر نقطه مدنظر، تابعی از ارتفاع است. بنابراین براساس رابطه مذکور، برای هر یک از زیرحوضه‌های واقع در هر یک از حوضه‌های چهارگانه تهران، با توجه به ارتفاع مرکز ثقل آن زیرحوضه، بارش طراحی متناسب آن از رابطه مذکور به دست می‌آید. در کل تعداد ۱۸۲ زیرحوضه در مدل‌سازی هیدرولوژیکی/هیدرولیکی وجود داشته است که بزرگی بارش هر کدام با توجه به رابطه مذکور به دست آمده است و بدین ترتیب توزیع مکانی بارش در مدل‌سازی لحاظ شده است.

هم‌چنین لازم به ذکر است که در تحلیل حساسیت مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، پارامترهای عرض معادل، درصد نفوذناپذیری، ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر و مناطق نفوذپذیر، شماره منحنی، عمق ذخیره کاهش‌یافته در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره کاهش یافته در نظر گرفته شدند. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در زیرحوضه‌های غیرشهری پارامترهای شماره منحنی، ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذناپذیر و در زیرحوضه‌های شهری پارامترهای عرض معادل، درصد نفوذناپذیری، ضریب مانینگ مناطق نفوذناپذیر، عمق ذخیره کاهش یافته در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر مهم‌تر از سایر پارامترها بوده و بیشترین تأثیر را در خروجی داشتند و از این‌رو در کالیبراسیون مدل مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۷- شاخص متوسط درصد پرشدگی کانال / رودخانه در گلوگاه‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران

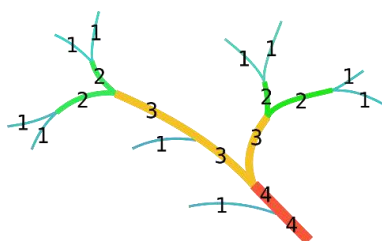


شکل ۸- شاخص متوسط در کانال / رودخانه در گلوگاه‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران

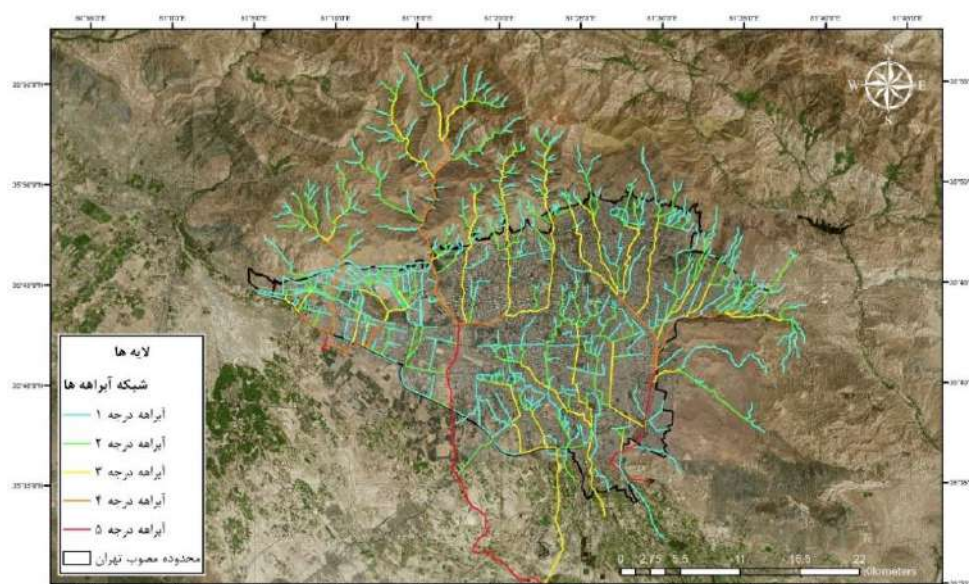
۲-۵- درجه کانال سیلابرو یا رودخانه

در دو کانال با سرعت جریان برابر، کانالی که عمق جریان بیشتری را دارا باشد، خطر بیشتری دارد. از طرفی شاخص درصدپیشدگی انتخاب شده تابعی از ابعاد کانال بوده و نمی‌تواند موضوع عمق جریان را به خوبی نشان دهد. ضمناً کانال‌های قرارگرفته در پایین‌دست، دبی جریان بیشتری را نسبت به سرشاخه‌ها از خود عبور می‌دهند و طبیعتاً عمق جریان بیشتری هم دارند. از این‌رو لایه درجه کانال سیلابرو یا رودخانه بر اساس روش هورتون در هیدرولوژی و در محیط GIS برای کل آبراهه‌های حوضه آبریز شهر تهران تهیه شده است. در این روش سرشاخه هر آبراهه رتبه یک را دارا است. از اتصال دو رودخانه درجه یک،

یک رودخانه درجه دو به‌وجود می‌آید. رودخانه درجه دو زمانی به رودخانه درجه سه تبدیل می‌شود که حداقل یک رودخانه با درجه دو به آن پیوندند و به‌همین ترتیب تا انتهای آبراهه‌های حوضه، رتبه‌بندی انجام می‌شود (مطابق شکل ۹). شکل ۱۰ نقشه رتبه‌بندی آبراهه‌های حوضه آبریز تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۹- نحوه درجه‌بندی رودخانه به‌روش هورتون



شکل ۱۰- درجه آبراهه‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران به‌روش هورتون

۲-۶- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

این روش اولین بار توسط ساعتی در دهه ۱۹۷۰ بیان شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است می‌تواند استفاده شود. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسه‌های زوجی است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد آغاز می‌کند. سپس یک سری مقایسه‌های زوجی انجام می‌شود. این مقایسه‌ها وزن هر یک از گزینه‌ها را در مقایسه با گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم، نشان می‌دهد. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسه‌های زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه به دست آید. این روش شامل چند مرحله است (Saaty, 1984):

- شناسایی گزینه‌های مختلف پیش روی تصمیم‌گیرنده؛
- تعیین معیارهایی برای اولویت‌بندی این گزینه‌ها یا عواملی که

بر میزان حساسیت اثرگذارند؛

- اولویت‌بندی معیارها (در صورتی که بیش از یکی باشد)، بدین صورت که هر یک از آن‌ها نسبت به هم مقایسه می‌شوند و اعداد مربوط به آن‌ها تخصیص می‌یابند؛
- با تشکیل ماتریس‌های مربوطه و با استفاده از روش تقریبی میانگین حسابی، این معیارها نسبت به هم اولویت‌بندی می‌شوند.

بعد از محاسبه میانگین حسابی و نرمال‌سازی نتایج به دست آمده، اعداد نهایی گرد شده و به صورت درصد به عنوان درصد وزنی هر معیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این تحقیق، اهمیت نسبی شاخص‌ها با استفاده از روش سلسله مراتبی تعیین شده است. هدف استفاده از این روش تعیین اهمیت نسبی هر یک از نقاط حساس در اطراف رودخانه‌ها و کانال‌های اصلی انتقال سیلاب حوضه آبریز شهر تهران و تعیین سطح خطرناکی برای نواحی در معرض خطر است. نمونه کاربرگ مورد بحث در اخذ نظرات کارشناسی در شکل ۱۱ ارائه شده است. اطلاعات و مشخصات کارشناسان در این نظرسنجی نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

	B	C	D	E	جمع	%
A	A: B:	A: C:	A: D:	A: E:	A	
B		B: C:	B: D:	B: E:	B	
C			C: D:	C: E:	C	
D				D: E:	D	
E					E	

جمع امتیازات هر مقایسه = ۱۰

مثال

A: 3
B: 7

شکل ۱۱- نمونه کاربرگ برای مقایسه زوجی شاخص‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

جدول ۲- مشخصات کارشناسان مورد استفاده در نظرسنجی

شماره	سمت	تعداد	سابقه کاری
۱	استاد دانشگاه	۳	بیش از ۱۵ سال
۲	کارشناس شهرداری (سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران)	۲	بیش از ۵ سال
۳	دانشجوی دکتری	۱	۴ سال
۴	ای استان تهران کارشناسان شرکت آب منطقه	۵	بیش از ۲۰ سال

۳- نتایج

شاخص تراکم جمعیتی اطراف گلوگاه، بیشترین وزن و درجه رودخانه/ کانال سیلابی کمترین مقدار را دارد. در رده دوم تا چهارم نیز با فاصله کمی به ترتیب تراکم و تنوع کاربری‌های اطراف نقاط گلوگاهی، متوسط درصد پرشدگی رودخانه/ کانال سیلابی و سرعت در کانال/ رودخانه قرار دارند.

بعد از اخذ نظرات کارشناسان مختلف در خصوص اهمیت نسبی معیارهای پنج‌گانه، اولویت‌بندی نقاط آسیب‌پذیر و اجماع این نظرات، وزن‌های نسبی شاخص‌ها مطابق جدول ۳ به دست آمده است. نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی گویای آن است که

جدول ۳- نتایج وزن شاخص‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

شاخص	میانگین
تراکم جمعیتی اطراف گلوگاه	۲۶/۲
تراکم و تنوع کاربری‌های اطراف نقاط گلوگاهی	۲۲/۶
متوسط درصد پرشدگی رودخانه/ کانال سیلابرو	۱۹/۲
درجه رودخانه/ کانال سیلابرو	۱۴/۶
سرعت در کانال/ رودخانه	۱۷/۴

است، می‌توان آن را در درون آسیب‌پذیری در نظر گرفت و به این ترتیب با در نظرگیری شاخص‌های خطر و آسیب‌پذیری مطابق تعریف فوق، شاخص ریسک را محاسبه نمود. در نهایت با ترکیب پنج لایه اطلاعاتی به‌دست آمده برای شاخص‌ها و وزن‌های فوق مطابق رابطه ۲، نقشه توزیع مکانی شاخص ریسک (R) به‌دست می‌آید که با استفاده از آن می‌توان نقاط آسیب‌پذیر و حادثه‌خیز در سرشاخه‌های کوهستانی و شهر تهران را اولویت‌بندی کرد.

$$R = W_1 \times I_1 + W_2 \times I_2 + W_3 \times I_3 + W_4 \times I_4 + W_5 \times I_5 \quad (2)$$

که W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 : به‌ترتیب وزن شاخص‌های I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 هستند که به‌روش تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمده‌اند. نقشه توزیع مکانی ریسک در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران مطابق شکل ۱۲ به‌دست آمده است. مشخصات ۲۰ گلوگاه بحرانی اولویت‌دار نیز به‌ترتیب در جدول ارائه شده است. شاخص ریسک محاسبه شده امکان مقایسه گلوگاه‌ها را از نظر میزان ریسک مورد انتظار نشان می‌دهد. در واقع هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد به این معنی است که آن گلوگاه از نظر شاخص‌های خطر و شاخص‌های آسیب‌پذیری مقدار بیشتری را داشته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عمده گلوگاه‌های بحرانی در زیرحوضه شرق تهران و در کانال‌های ابودر، مقصودبیک و باختر قرار دارند. در اولویت پایین‌تر تمرکز این گلوگاه‌ها در کانال سیل‌برگردان غرب و بعد از آن در زیرحوضه سولقان است. نتیجه این پژوهش می‌تواند در اولویت‌بندی طرح‌های توسعه منابع آب نقش به‌سزایی ایفا کند و با تخصیص صحیح‌تر منابع زمینه مدیریت بهتر را فراهم آورد.

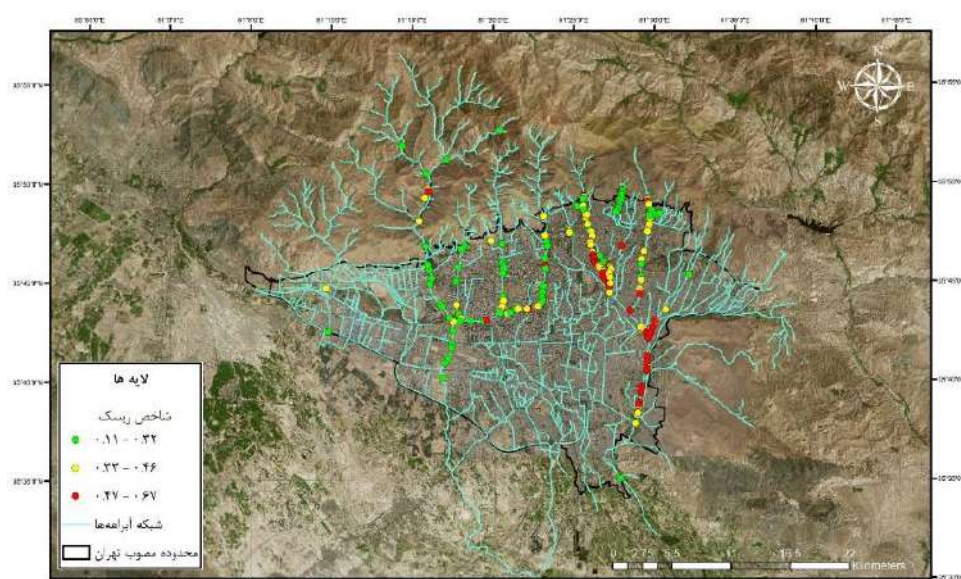
در یک تعریف عام، ریسک احتمال زیان است، و این احتمال به سه عنصر بستگی دارد: خطر، آسیب‌پذیری و در معرض بودن. اگر هر یک از این سه عنصر در ریسک کاهش یا افزایش یابند، ریسک نیز افزایش یا کاهش می‌یابد (Crichton, 1999). علاوه بر این، تعاریف زیر برای ریسک در فرهنگ لغت بین‌المللی Webster بیان شده است (Tung et al., 2006):

- ۱- احتمال از دست دادن، ضرر، آسیب‌دیدگی، تخریب و غیره؛
 - ۲- کسی یا چیزی که خطر یا احتمال نامطلوبی را ایجاد می‌کند: یک عنصر یا عامل خطرناک؛
 - ۳- تلفیق دارایی در معرض خطر و احتمال از دست دادن آن (تعریف سازمان ملل).
- محاسبه ریسک سیل در تعریف سوم به‌صورت زیر قابل انجام است:

$$Risk \text{ (خطرپذیری)} = Hazard \text{ (خطر)} \times Vulnerability \text{ (پذیری آسیب)} \quad (1)$$

(در معرض خطر قرار گرفتن) $\times$ Exposer

از آن‌جا که در معرض خطر بودن جزء ذاتی آسیب‌پذیری



شکل ۱۲- شاخص ریسک در گلوگاه‌های شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران

جدول ۴- مشخصات ۲۰ گلوگاه بحرانی اولویت‌دار بر روی رودخانه‌ها و کانال‌های واقع در حوضه آبریز شهر تهران

ردیف	موقعیت گلوگاه		شاخص درجه کانال سیلابرو یا رودخانه	شاخص کاربری‌ها در حاشیه گلوگاه	شاخص تراکم و تنوع گلوگاه	جمعیتی در محدوده گلوگاه	شاخص سرعت در اطراف گلوگاه	شاخص ریسک	رتبه
	Y	X							
1	3955754	540921	1.00	0.60	0.82	0.35	0.64	0.67	1
2	3948170	544440	1.00	1.00	0.53	0.47	0.41	0.65	2
3	3958635	539439	0.49	0.60	0.63	0.71	0.76	0.64	3
4	3948154.99	544407.68	1.00	1.00	0.57	0.52	0.22	0.64	4
5	3958120	539679	1.00	0.60	0.59	0.38	0.73	0.64	5
6	3958885	539360	0.93	0.60	0.56	0.44	0.76	0.64	6
7	3958549	539459	0.94	0.60	0.43	0.66	0.53	0.63	7
8	3958667	539429	0.49	0.60	0.52	0.71	0.76	0.62	8
9	3948282.96	544420.33	0.24	1.00	0.55	0.66	0.59	0.59	9
10	3946125	543888.03	0.25	1.00	0.74	0.44	0.58	0.58	10
11	3951298	544535	0.60	0.80	0.57	0.46	0.51	0.57	11
12	3963909	544471	0.25	0.20	1.00	0.59	0.62	0.57	12
13	3951702.26	544321.6	0.15	0.80	0.57	0.85	0.38	0.56	13
14	3959775	542052	0.70	0.60	0.74	0.30	0.53	0.56	14
15	3952836.92	545107.76	0.40	0.60	0.51	0.73	0.48	0.55	15
16	3949462	544431	0.95	0.80	0.55	0.14	0.53	0.55	16
17	3944845.28	543657.51	0.28	1.00	0.72	0.40	0.47	0.55	17
18	3948106.7	544389.51	0.21	1.00	0.52	0.60	0.49	0.55	18
19	3958955	539342	0.20	0.60	0.79	0.55	0.56	0.55	19
20	3958145	539644	0.44	0.60	0.58	0.44	0.73	0.54	20

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نظر کارشناسان خبره، شاخص‌های آسیب‌پذیری اولویت بالاتری نسبت به شاخص‌های خطر دارند. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تمرکز گلوگاه‌های بحرانی در زیرحوضه شرق تهران و در کانال‌های ابودر، مقصودبیک و باختر است. در اولویت بعدی تمرکز این گلوگاه‌ها در کانال سیل‌برگردان غرب و بعد از آن در زیرحوضه سولقان قرار دارد.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مادی و معنوی دفتر تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای تهران انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از خانم دکتر قائمی و آقای مهندس غفاری، مدیر دفتر مهندسی رودخانه و سواحل، شرکت آب منطقه‌ای تهران، که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 2- Simple Additive Weighting (SAW)
- 3- Fuzzy AHP

در این پژوهش مجموعه نقاط آسیب‌پذیر و حادثه‌خیز موجود بر روی شبکه اصلی جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران، از گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای تهران، شهرداری تهران و موسسه تحقیقات آب استخراج شده است. به‌منظور اولویت‌بندی این نقاط نسبت به سیلاب، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با در نظرگیری پنج شاخص: تمرکز جمعیتی در اطراف گلوگاه، تراکم و تنوع کاربری‌ها در حاشیه گلوگاه، متوسط درصد پرشدگی کانال/ رودخانه (در سیلاب‌های مختلف)، درجه کانال سیلابرو یا رودخانه و سرعت در کانال/ رودخانه، وزن‌های شاخص‌ها به‌دست آمده و با استفاده از روش مجموع ساده وزنی، گلوگاه‌های موجود در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران برای انجام عملیات بهسازی، اولویت‌بندی شده است. نتایج وزن شاخص‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که شاخص تراکم جمعیتی اطراف گلوگاه، بیشترین وزن و درجه رودخانه/ کانال سیلابرو کمترین مقدار را دارد. در رده دوم تا چهارم نیز با فاصله کمی به‌ترتیب تراکم و تنوع کاربری‌های اطراف نقاط گلوگاهی، متوسط درصد پرشدگی رودخانه/کانال سیلابرو و سرعت در کانال/رودخانه قرار دارند. این موضوع نشان می‌دهد که

- 4- Geographic Information System (GIS)
- 5- Gossip-based algorithm
- 6- Flow accumulation
- 7- Draining capability

۷- مراجع

شریعت، ر.، روزبهانی، ع.، و ابراهیمیان، ع.، (۱۳۹۸)، "تحلیل ریسک شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهری با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (مطالعه موردی: منطقه ۱۱ تهران)، مجله آب و فاضلاب، ۱۷-۱، (۱۳۰)، ۱۷-۱.

صالحی، ا.، رفیعی، ی.، فرزاد بهتاش، م.ر.، و آقابابایی، م.ت.، (۱۳۹۲)، "پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: تهران)"، نشریه محیط‌شناسی، ۳۹(۳)، ۱۷۹-۱۸۸.

کریمی، ص.، غضنفرپور، ح.، و علیمردادی‌پور، ن.، (۱۳۹۷)، مقایسه و تحلیل جغرافیایی خطر آب گرفتگی در معابر شهری (مورد مطالعه: معابر مناطق چهارگانه شهر کرمان)، مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۵(۱)، ۱۷-۳۴.

موسسه تحقیقات آب، (۱۳۹۰)، "گزارش هیدرولیک و پهنه‌بندی سیلاب"، مطالعات مدیریت جامع سیل (IFM)، حوضه آبریز رودخانه کن.

Abou Rjeily, Y., Abbas, O., Sadek, M., Shahrour, I., and Hage Chehade, F., (2017), "Flood forecasting within urban drainage systems using NARX neural network", *Water Science and Technology*, 76(9), 2401-2412.

Crichton, D., (1999), "The risk triangle", In: Ingleton, J., (ed.), *Natural Disaster Management*, Tudor Rose, London, 102-103.

Dash, P., and Sar, J., (2020), "Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index", *Journal of Flood Risk Management*, 13(3), e12620.

Garofalo, G., Giordano, A., Piro, P., Spezzano, G., and Vinci, A., (2017), "A distributed real-time approach for mitigating CSO and flooding in urban drainage systems", *Journal of Network and Computer Applications*, 78(C), 30-42.

Ouma, Y.O., and Tateishi, R., (2014), "Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment", *Water*, 6(6), 1515-1545.

Saaty, T.L., (1984), "The analytic hierarchy process: Decision making in complex environments", *Quantitative Assessment in Arms Control*, Springer, Boston, MA, 285-308.

Siddayao, G.P., Valdez, S. E., and Fernandez, P.L., (2015), "Modeling flood risk for an urban CBD using AHP and GIS", *International Journal of Information and Education Technology*, 5(10), 748-753.

Tung, Y.K., Yen, B.C., and Melching, C., (2006), *Hydrosystems engineering reliability assessment and risk analysis*, McGraw-Hill, New York.

آذری، ب.، و تابش، م.، (۱۳۹۴)، "تعیین شاخص عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های جمع‌آوری آب سطحی"، پنجمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری، اصفهان.

پوریامهر، ر.، (۱۴۰۰)، "آبگرفتگی (امکانات و راه‌کارها)"، دهمین همایش ملی جغرافیا و محیط‌زیست، شیروان.

رادمهر، ا.، و عراقی‌نژاد، ش.، (۱۳۹۰)، "اولویت‌بندی زیرحوضه‌های درون شهری واقع در حوضه آبریز شهری تهران به منظور مطالعات کنترل سیلاب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی فازی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران.

رادمهر، ا.، و عراقی‌نژاد، ش.، (۱۳۹۵)، "مدیریت بهینه رواناب شهری با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی"، نشریه مهندسی عمران/میرکبیر، ۴۸(۳)، ۲۲۷-۲۴۰.

رشید، ف.، (۱۳۹۸)، "پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در منطقه ۳ شهر تهران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی"، ششمین کنفرانس جامع مدیریت بحران و HSE، تهران، ایران.

زندسلیمی، ز.، صالحی‌نیشابوری، ع.ا. و یزدی، ج.، (۱۳۹۷)، "پهنه‌بندی سیلاب در محدوده شهری با استفاده از مدل MIKEFLOOD (منطقه مطالعاتی: سیل‌برگردان غرب تهران)"، دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، اصفهان، ایران.

سازمان برنامه و بودجه کشور، (۱۳۹۹)، "راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب"، ضابطه شماره ۸۲۱، دفتر استاندارد‌ها و طرح‌های آب و آبفا، وزارت نیرو، تهران، ایران.

سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، (۱۳۹۴)، "گزارش بررسی پتانسیل خطرزایی شبکه اصلی و تاسیسات جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی"، مطالعات عملیاتی کردن طرح جامع مدیریت آب‌های سطحی شهر تهران، حوضه آبریز شرق تهران.

شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، (۱۳۹۴)، "مطالعه و بررسی نقاط بحرانی سیل در رودخانه‌های شهر تهران"، معاونت حفاظت و بهره‌برداری، دفتر مهندسی رودخانه‌ها و سواحل.

شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، (۱۳۹۹)، "بررسی و ارزیابی روش‌های نوین پیش‌بینی و هشدار سیل و امکان‌سنجی آن در حوضه آبریز شهر تهران"، طرح تحقیقاتی، مجری: دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.



جناب آقای مهندس ستار محمودی
بازنشسته محترم وزارت نیرو
و پیشکسوت برگزیده سال ۱۴۰۰

* لطفاً یک معرفی اجمالی از سوابق علمی و کاری خود ارائه فرمایید.

- با سلام و تشکر. اجمالاً عرض می‌کنم که اینجانب از سال ۱۳۶۰ وارد عرصه فعالیت‌های اجرایی در عرصه آب و سپس آب و فاضلاب شدم. به‌عنوان اولین نسل مدیریتی بعد از پیروزی انقلاب اسلامی فعالیت‌های اجرایی خود را با کار در امور آب استان ایلام در سمت مدیر امور آب استان و هم‌زمان کارشناس منابع آب شروع کردم. متعاقباً در سمت‌های مدیرعامل و رئیس هیأت مدیره در شرکت‌های مختلفی از جمله شرکت آب منطقه‌ای غرب کشور، شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان بزرگ، شرکت آب و فاضلاب استان تهران (هلدینگ ۱۴ شرکتی) توفیق خدمت داشتم، همچنین در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور عضو تیم تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب و معاون بهره‌برداری بوده‌ام و در شرکت مدیریت منابع آب ایران به‌عنوان مدیرعامل و در وزارت نیرو در سمت‌های مشاور و مشاور عالی وزیر، قائم‌مقام وزیر و سرپرست وزارت نیرو توفیق خدمت داشتم. مقالات متعددی را در زمینه‌های آب و آب و فاضلاب نگارش و در مجامع تخصصی داخل و خارج کشور ارائه نموده‌ام.

* مهم‌ترین دستاورد یا فعالیت جنابعالی در حوزه آب و فاضلاب چه بوده است؟

- تشکیل و سازماندهی شرکت‌های آب و فاضلاب در دهه هفتاد به‌عنوان پدیده‌ای بزرگ و فراگیر و کاملاً موفق در کشور، دستاورد بسیار بزرگی بوده است که به‌سبب آن طی یک دهه دستگاه‌های ورشکسته و سنتی آب شهری به دستگاه‌های بالنده، مهندسی و پاسخگو تبدیل شدند و خدمات ابتدایی و غیرکیفی به خدماتی با کیفیت و مطابق با استانداردهای جهانی تبدیل شد. جذب، آموزش

و تربیت منابع انسانی مدیریتی و تخصصی، ترویج تحقیقات و ارتقای دانش فنی، اصلاح فرایندها و رواج مشترک‌مداری، ارتقای استانداردهای کیفی آب و رعایت مبانی محیط‌زیستی و ... از جمله مواردی است که اینجانب هم به‌سهم خود توفیق مشارکت، همکاری و نقش‌آفرینی در آن‌ها را داشته‌ام. در زمینه پایه‌گذاری ساختار علمی و نوین در: بهره‌برداری، مشترک‌مداری، سازماندهی نوین و علمی امداد و رفع حوادث آب و فاضلاب شهری، نشت‌سنجی مکانیزه و علمی شبکه‌های آب، اقدامات تله‌مترینگ و توسعه GIS، روش‌های مبتکرانه آموزش همگانی، مرافقه و ارتباط تنگاتنگ با مراکز علمی و تحقیقاتی کشور و خارج از کشور، استقرار نرم‌ها و استانداردهای کیفیت، کمک به توسعه صنایع پشتیبان، استقرار نظام اندازه‌گیری در بسیاری از اجزای آب شهری، توسعه کمی و کیفی آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب و آموزش بسیاری از نیروهای با استعداد در داخل و خارج از کشور و ... از دیگر مواردی است که در آن‌ها توفیق مشارکت و اقدام داشته‌ام.

* مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه آب و فاضلاب در کشور را در زمینه‌های کمی و کیفی چه می‌دانید؟

- چالش‌های مهم و متعددی پیش روی شرکت‌های آب و فاضلاب هست مانند چالش کمی و کیفی آب، مسایل دفع فاضلاب بهداشتی و اجرای پروژه‌های آن، چالش عدم سرمایه‌گذاری کافی در آب و فاضلاب، مشکلات بهره‌برداری، مدیریت مصرف، چالش ارتباطات اجتماعی علمی و جلب مشارکت مردم، عدم آموزش‌های مناسب مدیریتی و تخصصی، کم‌ترکی در عرصه تحقیقات و نوآوری و ارتباط با مراکز علمی و دانشگاهی داخل و خارج کشور و سازمان‌های مردم‌نهاد کشوری، چالش ساختار کارفرمایی سرمایه‌گذار که به ضرورت زمان باید به ساختار سرمایه تغییر یابد.

* نظر شما در مورد مهم‌ترین چالش‌های طرح‌های توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه فاضلاب چیست؟

- سرمایه‌گذاری از منابع عمومی دولت در بخش آب و فاضلاب خصوصاً در طرح‌های فاضلاب کم و اندک است. استفاده از منابع مالی سرمایه‌گذاران بخش خصوصی نیز به‌علت عدم وفای به‌عهد به‌موقع توسط دستگاه‌های طرف تعهد یعنی شرکت‌های آب و فاضلاب، جاذبه سرمایه‌گذاری را بسیار کم کرده است. رفتار شرکت‌های آب و فاضلاب با شرکای کاری مانند مهندسين مشاور، پیمانکاران و سازندگان تجهیزات نیز یک‌طرفه شده است و کارفرمایان به‌دلیل مشکلات مالی پاسخگوی مطالبات و درخواست‌های به‌حق آنان نیستند. جبران استهلاک تاسیسات و

نوسازی آن‌ها، کاهش کیفیت برخی تجهیزات، عدم بهره‌برداری علمی از برخی از تاسیسات و ... از چالش‌های مهم این بخش است.

*** چرا طرح‌های مربوط به بازیافت آب، بازچرخانی و استفاده مجدد علی‌رغم ضرورت‌های این رویکردها هنوز فراگیر نشده است؟**

- بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب‌ها بیش از آن‌که سخت‌افزاری باشد، از نوع باور و نرم‌افزاری است. معروف است که فرهنگ کار در موارد زیادی در کشور فرهنگ افتتاح و قطع نوارهای افتتاحیه است. مفهوم آن این است که همواره کارهای فیزیکی و سخت‌افزاری بیشتر به چشم می‌آیند و در کارنامه‌ها و معرفی‌ها بهتر دیده می‌شوند. لذا کارهای مهم نرم‌افزاری و غیرسازه‌ای که در واقع ارزش افزوده کار هستند کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. این نقیصه ضرورتاً باید اصلاح شود. بنابراین در پاسخ سوال می‌توان گفت که عدم باور بسیاری از مدیران، عدم عزم ملی از یک سو و عدم تامین نیازهای سرمایه‌گذاری از سوی دیگر موجب کندی در کار شده است، وگرنه خوشبختانه در این خصوص پایلوت‌های موفق و دانش کار در کشور وجود دارد.

*** به چه دلیل در موضوع مدیریت تقاضا آن‌چنان که باید موفق نبوده‌ایم و مسئولین بیشتر به طرح‌های تامین آب علاقه‌مند هستند؟**

- همان‌طور که در پاسخ سوال قبل عرض کردم مدیریت تقاضا هم از جنس نرم‌افزاری و زمان‌بر است. دستگاه‌های اجرایی معمولاً به کارهای فیزیکی و سخت‌افزاری علاقه نشان می‌دهند و آن‌چه که در معرض دید است را پیشرفت کاری می‌دانند. لذا چاره کار در گرو انتخاب مدیران با زمینه دانش و باور به امور مدیریت تقاضا و مصرف و آموزش مدیران و متولیان امر است. البته این موضوع به صورت اتفاقی و مقطعی راه به جایی نمی‌برد. بلکه با داشتن باور، برنامه، آموزش و استمرار در عمل نتیجه به دست می‌آید. در آن صورت و با انجام آموزش‌های همگانی، حمایت و همراهی مردم هم جلب خواهد شد.

*** به نظر شما آیا طرح‌های پرمزینه‌ای که این روزها در برنامه وزارت نیرو قرار گرفته ازجمله انتقال آب بین‌حوضه‌ای، شیرین‌سازی آب دریا و انتقال به فلات مرکزی و آب‌های ژرف، در اولویت‌های حوزه آب کشور هستند؟**

- انتقال آب جز در موارد خاص که راه کار دیگری نباشد یک راه کار

اجباری است. بنابراین به عنوان گزینه عادی اولویت ندارد. در مورد شوری‌زدایی از آب برای مناطق ساحلی و فواصل تا یکصد کیلومتر با در نظر گرفتن دیگر پارامترهای دخیل امری بایسته و ضروری است و با توجه به شرایط کشور عزیزمان منافع ملی را هم دربردارد. اما انتقال آب به فواصل دورتر به علت هزینه بالا برای مصارف شرب و کشاورزی اقتصادی نیست و اولویت ندارد. در مورد استفاده از آب‌های ژرف نیز ابعاد موضوع فقط در حد مطالعه و امکان‌سنجی قابل قبول است و هنوز هم ابعاد ناشناخته زیادی دارد. با این موضوع باید به دور از تبلیغات به صورت علمی برخورد شود.

*** باتوجه به سوابق کاری خود، وضعیت پژوهش در بخش‌های تحقیقاتی تابعه وزارت نیرو از جمله شرکت‌های آب و فاضلاب را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ برای رفع ضعف‌ها و خلاءهای موجود در این زمینه چه اقداماتی باید انجام شود؟**

- شتاب، تحرک و توسعه فعالیت‌های علمی و پژوهشی نسبت به گذشته تا حدودی کم شده است. بخشی از علل این امر به علت پیشی گرفتن مسایل جاری و افزایش هزینه‌های جاری دستگاه‌ها است. توسعه تحقیقات، آموزش، ارتباط با مراکز دانش و تجربه اعم از داخل و خارج کشور، باز کردن فضای مراودات علمی برای آینده شرکت‌های آب و فاضلاب یک باید است. علم همواره رهگشا است و دانش در همه‌جا پراکنده است.

*** به نظر شما دستگاه‌های اجرایی ازجمله شرکت‌های آب و فاضلاب چه ارتباط ارگانیکی با دانشگاه داشته‌اند؟ چه قدر توانسته‌اند برای دانشگاه مسئله تعریف کنند و چه قدر از تحقیقات دانشگاهی را برای رفع مشکلات خود به کار گرفته‌اند؟**

- شرکت‌های آب و فاضلاب به دلیل قدرت یادگیری و ساختار سازمانی پویا و یادگیرنده در این خصوص در نوع خود پیشتاز بوده‌اند. در برهه کنونی این شتاب و تحرک تا حدود زیادی کم شده است. زمان آن فرارسیده است که مجدداً این ظرفیت‌ها فعال شود. عرصه‌های مختلف ساختاری، مدیریتی، اجرایی، بهره‌برداری، توسعه آتی، ارتباطات اجتماعی، مسایل اقتصادی، بازتعریف مأموریت‌ها و ... نیاز به همکاری و پشتیبانی مراکز علمی دارد. لازمه این کار خروج شرکت‌ها از چنبره مشکلات جاری و مشکلات مالی روزمره است. خوشبختانه پتانسیل و استعداد زیادی برای حل مسایل متعدد صنعت و ارتقای دانش نیروهای تخصصی آب

و فاضلاب در کشور وجود دارد که اگر به کار گرفته شوند دوره رونق دوم را در صنعت آب و فاضلاب رقم خواهند زد.

*** چگونه می‌توان به کاربردی شدن نتایج تحقیقات دانشگاه‌ها کمک کرد؟ آیا زیرساخت‌های لازم مانند داده‌های واقعی برای توسعه تحقیقات کاربردی فراهم است؟**

- همکاری مشترک حوزه صنعت آب و فاضلاب و دانشگاه و مراکز علمی در زمینه‌های طراحی، اجرا و بهره‌برداری به کاربردی کردن تحقیقات و همکاری‌های مشترک منجر خواهد شد، الگویی که در دنیا انجام شده و موفق هم بوده است. ظرفیت‌های لازم در دانشگاه‌ها وجود دارد. پتانسیل و توان بسیار خوبی هم در صنعت آب و فاضلاب موجود است. لیکن حلقه مفقوده، خلاء ارتباطی موثر است که لاجرم با خواست و تحرک مدیران در عرصه آب و فاضلاب و استقبال مراکز علمی باید از حالت کنونی خارج شود.

*** نقش و جایگاه انجمن آب و فاضلاب ایران را در توسعه و رشد علوم و صنعت آب و فاضلاب کشور در چه حد می‌دانید؟**

- تغییر نگاه به سازمان‌های مردم‌نهاد و انجمن‌های علمی از یک گروه یا رسته مزاحم، به کانون‌های پویا، منتقد و همکار، زمینه مناسبی را برای بهره‌گیری از ظرفیت‌های دانش، تحرک، صراحت کلام و ادبیات نافذ آن‌ها خصوصا در هم‌کلامی با مردم و مراجع تخصصی و تصمیم‌گیران به وجود می‌آورد. انجمن آب و فاضلاب نیز به عنوان یک نهاد علمی تخصصی در عرصه تخصصی خود و به عنوان کانون تصمیم‌ساز، مسئولانه و رو به جلو حرکت کرده است. این انجمن با قبول نقش حامی علمی و در ارتباط با صنعت و دانشگاه می‌تواند در عرصه علوم کاربردی در حوزه آب و فاضلاب بیش از گذشته موثر واقع شود.

*** از آن‌جا که جنابعالی در همایش سال ۱۴۰۰ انجمن به عنوان پیشکسوت نمونه برگزیده و مورد تقدیر قرار گرفتید، لطفا تاثیر این‌گونه برنامه‌های انجمن در تقدیر از پیشکسوتان، پایان‌نامه‌های برتر، مقالات برتر و غیره را بیان فرمایید.**

- برنامه انجمن درخصوص اشاعه و ترویج دانش، تحرک و مشارکت فکری شرکت‌کنندگان، تشویق نیروهای با استعداد در جهت‌گیری برای حل مسایل عمومی و تخصصی در حوزه آب و فاضلاب که برگرفته از یک تفکر پیش‌رو است قابل تقدیر است.

درخصوص تکریم پیشکسوتان که با هدف کنکاش گذشته و برجسته نمودن نقش درس آموخته‌های ناشی از تجربه صورت گرفته است، اقدامی قابل تحسین است. تاثیر این برنامه از باب این‌که نوع کار و اقدامات پیشینیان مطرح می‌شود و برنامه‌های دوره مدیریت آنان، راه‌کارها و نوآوری‌های آنان در معرض دید قرار می‌گیرد که طبعا نقاط قوت و ضعف روش‌های کاری را بیان می‌کند و دارای بار یادگیری یا پندگیری است مفید است.

*** با توجه به توان علمی و تشکیلاتی انجمن چه توصیه‌ای برای وزارت نیرو و صنعت آب و فاضلاب برای بهره‌گیری از توان انجمن را دارید؟**

- بهره‌گیری از توان انجمن آب و فاضلاب به عنوان یک کانون علمی غیردولتی (NGO) در حوزه آب و فاضلاب، علاوه بر بهره‌گیری مستقیم از ظرفیت انجمن در زمینه‌های پژوهش، آموزش‌های تخصصی، case study و کمک به تعریف مسایل تخصصی آب و فاضلاب، درخصوص ایجاد ارتباطات علمی و اجرایی با مراکز علمی و ایجاد گفتمان مردمی می‌تواند به تحقق اهداف و پیشبرد برنامه‌های بخش آب و فاضلاب کمک کند.

*** برای تقویت نقش و اثربخشی انجمن آب و فاضلاب و گسترش فعالیت‌های آن چه پیشنهادی دارید؟**

- دستیابی به تازه‌های علمی و اجرایی، ارتباط مجدانه و مطالبه‌گرایانه با حوزه‌های آب و فاضلاب و پل ارتباطی با دانشگاه و صنعت، بازکردن عرصه برای مشارکت دانشجویان علاقمند و بهره‌گیری و تقویت شبکه ارتباطی متخصصین موثر است.

*** اگر موردی ناگفته مانده است لطفا بیان فرمائید.**
سپاسگزارم.



نشست تخصصی چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب (ویژه برنامه انجمن علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، به مناسبت روز ملی آب، ۱۳ اسفندماه ۱۳۹۹)

اعضای نشست:

مهندس کوشیار اعظم واقفی (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
دکتر مسعود تابش (استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران و مدیر جلسه)
دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده (دانشیار دانشکده مهندسی عمران آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی)
مهندس سلیمه رضائی‌نیا (دانشجوی دکترای بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد)
دکتر مسعود یونسین (استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران)



دکتر تابش:

به نام خدا. از حضار محترم که در برنامه امروز انجمن آب و فاضلاب ایران که به مناسبت روز ملی آب (سیزدهم اسفند) تشکیل شده حضور به هم رساندند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم و امیدواریم که با مجموعه برنامه‌هایی که به صورت‌های مختلف از جمله وبینارها، نشست‌های تخصصی، همایش‌ها، کنگره‌ها و همچنین مسابقات علمی و انتشاراتی که از طریق انجمن آب و فاضلاب ایران انجام می‌شود بتوانیم گام هرچند کوچکی در راستای ترویج علوم مرتبط با آب و فاضلاب و تقویت زیرساخت‌های این حوزه در بعد علمی انشالله برداشته باشیم و امیدوار هستیم که با کمک تک‌تک دوستان محترم که به این مباحث علاقه‌مند هستند بتوانیم در آینده هم گام‌های موثرتری را در این زمینه برداریم.

برنامه‌ای که امروز در خدمتان هستیم یک نشست تخصصی است که از طرف کمیته کیفیت آب انجمن برنامه‌ریزی و تدارک دیده شده است. البته این برنامه قرار بود در سیزده اسفند پارسال برگزار شود که متأسفانه با شیوع اپیدمی کرونا این برنامه امکان‌پذیر نشد و دوستان با توجه به اهمیت موضوع، قرار را بر این گذاشتند که امسال در روز ۱۳ اسفند بتوانیم در خدمت حضار محترم باشیم و این برنامه را ارائه دهیم.

برنامه‌ریزی که برای بحث امروز شده را بنده خدمتان عرض می‌کنم و انشالله سعی می‌کنیم که در مهلت مقرر برنامه‌هایی که تهیه شده را خدمت دوستان ارائه بدهیم.

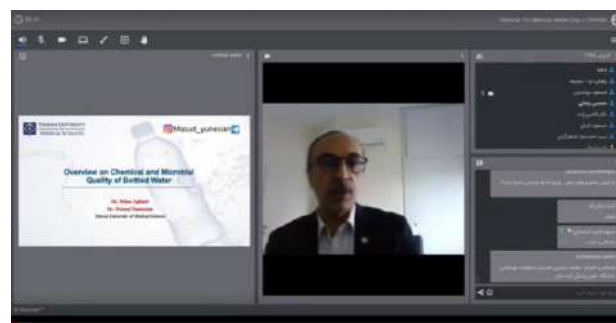
در رابطه با بحث کیفیت آب چالش‌های مهمی در کشور ما وجود دارد که کمیته کیفیت آب در دستور کار خود قرار داده است تا با توجه به توانمندی و حضور اساتید معظم دانشگاه و کارشناسان خبره صنعت در این کمیته بتواند به فراخور وسعش در زمان‌های مقتضی بعضی از این مباحث را مورد بحث و بررسی قرار دهد و با همت متخصصینی که در کشور هستند در این رابطه چاره‌اندیشی شود. موضوعاتی که امروز بحث می‌شود، در حقیقت در رابطه با سیستم‌های جایگزین برای تقویت و بهبود کیفیت آب شهری هست، به خصوص در بعد خانگی، همان‌طور که می‌دانید با مشاهده این که در بعضی از شهرهای کشور یا مناطقی از برخی از استان‌ها ممکن است مردم احساس کنند که کیفیت آب شرب به اندازه کافی و استاندارد براساس تصور آن‌ها قابل‌دسترس نیست به راه‌کارهای مختلفی روی بیاورند. از جمله یکی از این راه‌کارها استفاده از آب بطری برای شرب هست. یکی دیگر از این راه‌کارها استفاده از دستگاه تصفیه آب خانگی هست که این دو در بعد مشترکین و انتخاب خود آن‌ها انجام می‌شود. یک مورد دیگر هم ایجاد سیستم‌های دوشبکه‌ای است که توسط شرکت‌های آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته و امکان‌سنجی آن‌ها در کشور ما که آیا امکان چنین پدیده‌ای وجود دارد یا نه، در قالب برخی از طرح‌های مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است. بحثی که امروز خدمت دوستان محترم ارائه می‌شود در حقیقت به هرکدام از این سه موضوع می‌پردازد. در قسمت اول جناب آقای دکتر مسعود یونسین متخصص محترم اپیدمیولوژی و استاد دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و سرکار خانم دکتر مینا آقایی متخصص بهداشت محیط و محقق پست دکترای دانشکده بهداشت دانشگاه تهران پیرامون بحث مروری بر کیفیت میکروبی و شیمیایی آب‌های بطری شده در مقایسه با آب شرب شهری را خدمت حضار محترم ارائه می‌دهند. در قسمت دوم سرکار خانم مهندس رضائی‌نیا دانشجوی دکتری بهداشت محیط دانشگاه علوم

به جنبه‌های محیط‌زیستی خدمتتان مطالبی ارائه می‌دهیم. در نهایت این که بالاخره کدامیک از این دو منبع را استفاده کنیم. من فقط صرفاً به‌طور خلاصه این‌جا خدمت شما عرض می‌کنم که از نظر این که رنکینگ ما در جهان حدود ۷۰ است. فنلاند، ایسلند و هلند رتبه‌های اول را دارند و ما از امتیاز ۱ تا ۱۰۰ این‌جا امتیاز ۵۳/۶ را داریم و رتبه ۷۰ جهانی. اگر همین را در خاورمیانه در نظر بگیریم می‌بینیم که رتبه ما در خاورمیانه دهم است. این نکته کلی را من بگویم و بعد برگردم سراغ آب‌های بطری شده که انواع مختلفی هست که عوام همه به آن آب معدنی می‌گویند. ولی در عمل ممکن است آب چاه باشد، و یا ممکن است آب تقطیر شده باشد. آب‌های به‌واقع معدنی، آب‌های چشمه و یا اگر با یک تقسیم‌بندی دیگری بخواهیم نگاه کنیم، امریکا در واقع آب‌هایی را که تحت‌عنوان بطری شده می‌شناسد مثل آب‌های چشمه و معدنی و ... و آن‌هایی که به‌هر دلیلی کربنات اضافه نشده و گازدار است، تحت‌عنوان نوشابه‌های غیرالکلی طبقه‌بندی می‌کنند. ما بیشتر با آن قسمت اول که آب بطری شده باشد کار داریم. موسسه استاندارد ایران یک استاندارد برای آب‌های آشامیدنی بطری شده یا بسته‌بندی شده دارد. من به‌دلایلی که حالا خدمتتان عرض می‌کنم می‌روم و یک‌سری مستندات را از سازمان غذا و دارو آمریکا می‌آورم که این دو ارگان به‌دلیل این که بیشتر از ما مبتنی بر شواهد استانداردهایشان را ست کرده‌اند و این که دسترسی بیشتری در واقع به این دو ارگان وجود دارد. شاید مناسب‌تر باشد که من راجع به این‌ها صحبت بکنم. امیدوارم ما هم زمانی بتوانیم استانداردهایمان را کاملاً منطبق بر شواهد ارزیابی خطر ببینیم.

اگر استانداردها را نگاه کنیم یک‌سری آلاینده‌ها می‌بینید. یکی از موارد فلوراید و مس و سرب را که استانداردهای آب بطری شده سختگیرانه‌تر بودند ملاحظه می‌فرمایید که آب‌های شبکه استانداردهای سختگیرانه‌تری داشتند و آب‌های بطری شده اصطلاحاً استانداردهای ضعیف‌تری داشتند. به‌عبارتی دیگر FDA نسبت به EPA استانداردهای ضعیف‌تری دارد اگرچه که base هر دو در واقع یکی است. یک نگاه خیلی سریع کنیم به جنبه‌های میکروبی و جنبه‌های شیمیایی. همان‌طور که بهتر از من می‌دانید ما هم جنبه‌های ارگانیک مدنظرمان هست، هم جنبه‌های این‌ارگانیک. من می‌توانم به جنبه‌هایی در مورد بطری‌ها که بیشتر جای نگرانی دارد اشاره کنم مثل استون و غیره و البته لیست بلند بالایی داریم در مورد آلاینده‌های معدنی به‌عنوان نمونه اشاره خواهم کرد. مطالعات متعددی نشان داده شده که در جدار بطری‌ها ترکیباتی تحت‌عنوان ترکیبات مختل کننده غدد

پزشکی شهید صدوقی یزد که جزو تیمی بودند که در رابطه با بحث آسیب‌شناسی و چالش‌هایی که سیستم‌های تصفیه خانگی بر کیفیت آب ایجاد می‌کند کار کرده بودند، گزارشی از تحقیق خودشان را تحت‌عنوان ارزیابی کارایی سیستم‌های تصفیه آب خانگی بر کیفیت آب آشامیدنی ارائه می‌کنند. در قسمت سوم جناب آقای دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده دانشیار محترم دانشکده مهندسی عمران آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی که روی موضوع بحث سیستم‌های دوگانه مطالعات خوب و مفیدی را انجام داده‌اند، موضوع چالش‌های استفاده از سیستم‌های دوگانه توزیع آب ساختمان‌ها را خدمت حضار محترم ارائه می‌فرمایند.

گرچه می‌دانیم در یک جلسه محدود امکان ندارد که همه زوایای بحث شکافته شود، ولی این را فتح بابی در نظر می‌گیریم و آمادگی این‌را داریم از طرف انجمن انشالله برای تک‌تک این موارد، جلسات مجزایی را در آینده برگزار کنیم و بتوانیم ابعاد مختلف مسائل را بشکافیم. از جناب آقای دکتر مسعود یونسین خواهش می‌کنم که بحث خودشان را شروع کنند.



دکتر مسعود یونسین

به نام خدا. وقت به‌خیر. من هم سلام دارم خدمت جناب آقای دکتر تابش و اعضای محترم انجمن آب و فاضلاب و متشکرم از فرصتی که در اختیار بنده قرار دادید و این که بتوانم مطالبی را که سرکار خانم دکتر آقایی در واقع زحمتشان را کشیدند ولی من خدمتتان ارائه می‌کنم و تشکر می‌کنم از ایشان بابت گردآوری اولیه مطالب. من علاوه‌بر موضوعاتی که ارائه شده یک چند جمله‌ای هم که درباره آسیب‌های محیط‌زیستی آب‌های بطری شده خدمتتان عرض خواهم کرد و به جمع‌بندی نهایی که کدامیک مناسب هست نمی‌رسم. اصولاً جمع‌بندی کار مدیران است که تصمیم‌گیری را شاید آسان‌تر کند.

در مقدمه‌ای که خدمت شما خواهیم گفت، اشاره‌ای به مقررات آب‌های بطری شده می‌کنیم، در مورد جنبه‌های دیگری هم از نظر شیمیایی و هم از نظر میکروبی بحث کوتاهی خواهیم داشت و در نهایت هم همان‌طور که عرض کردم یک مقدار راجع

درون ریز وجود دارند. حتی اگر اعلام شود که ما بطری‌هایمان عاری از این ترکیبات است، به نظر می‌رسد که خیلی نمی‌تواند عاری باشد. بحث دیگر میکرو پلاستیک‌ها هستند که طبق مطالعاتی که انجام شده به‌طور متوسط در هر لیتر آب می‌بینید که ۳۲۵ ذره از این میکروپلاستیک را دیده، اگرچه میکروپلاستیک‌ها را از ۵ میلی‌متر به پایین نمی‌بینیم ولی عمدتاً ذراتی که این‌جا مدنظر هست در حدود میکرومتر هستند و در حدود ۵-۶ میکرومتر هستند. شاید برایتان جالب باشد که یکی از محصولات تجاری شرکت نسله رتبه بالاتر را داشته در آن مطالعه که از ۶ تا ۱۰ هزار در لیتر باشد و باز یک محصول دیگر از این شرکت کمترین را داشته که از ۰ تا ۷۴ ذره میکروپلاستیک بوده در هر لیتر آب. این‌ها بالاخره از نگرانی‌ها هست. اگر به جنبه‌های غیر آلی توجه کنیم با پارادوکسی مواجه هستیم، از طرفی گزارش شده است که مقدار Antimony در غلظت‌های بین ۱۰۰-۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جدار بطری وجود دارد و اگر هر بطری را ۳۰ گرم در نظر بگیریم و اگر همه Antimony بخواهد آزاد شود ما ممکن است به لحاظ نظری حدود ۳-۹ میلی‌گرم Antimony در هر لیتر آب داشته باشیم و در واقع این تخیلاتی هست که کل این مقدار از جداره منتقل شود. در تحقیقات انجام شده از بین ۲۳ مطالعه، دو مورد از مقدار مجاز Antimony تجاوز کرده بوده است.

ما می‌دانیم آب‌های لوله‌کشی، آب بشکه، اگر از لوله‌های فولادی استفاده شده باشد و به‌خصوص اگر در واقع آن منزل مسکونی در انتهای شبکه قرار گرفته باشد و زمان ماند و تماس طولانی‌تری داشته باشد و درصد ناخالصی‌ها در لوله‌ها بالا باشد، به‌شکل پارادوکسیکال ممکن است که مس، سرب و ... سایر فلزات و فلزات سنگین در آب‌های شبکه باز بیشتر باشد که باید ببینیم بالاخره شبکه آیا از لوله‌های پلیکا استفاده کردند یا لوله‌های فولادی با چه درصد خلوصی و سایر عواملی که خدمتان عرض کردم. یک جمله این‌جا می‌بینید که تا به‌حال هیچ اپیدمی عمده‌ای در خصوص آب‌های بطری شده مشاهده نشده، گزارش نشده است. گزارش نشدن با وجود نداشتن متفاوت هست و من در انتها به این موضوع برمی‌گردم. در آمریکا یک مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ انجام دادند دیدند ۱۶ میلیون و ۴۰۰ هزار مورد می‌توان به شبکه منتسب کرد و مطالعه بعدی هم این عدد را بزرگتر کرده و گفته شاید ۲۰ میلیون case در سال هم رخ دهد. هزینه‌های بیمارستانی مدیریت این مقادیر را بیش از ۵۰۰ میلیون دلار در سال برآورده کردند. از نظر میکروبیال، همان‌طور که دیدید استانداردهای میکروبی آب‌های بطری شده ضعیف‌تر

بودند. در یک مطالعه‌ای که باز آمدند و از ۲۴ تا نمونه برند تصادفی در واقع نمونه‌برداری کردند، تقریباً می‌توان گفت که هیچ نمونه‌ای عاری از باکتری نبوده. الزاماً باکتری‌ها کلی‌فرم مدفوعی نبودند ولی ۱۲ درصد الی ۱۳ درصد نمونه‌ها از نظر باکتریولوژی safe تلقی می‌شدند. در مابقی، درجاتی از آلودگی براساس استانداردها مشاهده شده بود. این مطالعه کمی نگرانی جدیدی را در باب سلامت آب‌های بطری ایجاد کرد و آن در واقع خوش‌بینی بیش از حدی که تا حالا اپیدمی گفته مشاهده نکردیم را یک مقدار زیر سوال می‌برد. باز من به این موضوع برمی‌گردم که آیا این مقدار تری‌هالومتان‌ها مختص آب شبکه هستند یا آب‌های بطری شده ممکن است که همین مشکلات را داشته باشند که به آن برمی‌گردیم. نکته‌ای که خیلی مهم است که نظارت بر آب شبکه خیلی سهل‌الوصول‌تر هست، به‌خاطر این‌که در یک شبکه می‌شود با یک نمونه نسبت به حجم عظیمی از آب مصنوعی اظهارنظر کنیم، ولی درخصوص آب‌های بطری شده این کار به‌سادگی میسر نیست. از نظر استاتیک یا از نظر زیبایی‌شناسی یک مطالعه انجام شد. اگرچه مردم تصور می‌کنند که آب آشامیدنی بطری شده طعم مطبوع‌تری دارد، در جدول سمت راست پایین ملاحظه می‌کنید که ۲۹ نفر که به آنان آب‌هایی را در لیوان ریخته بودند که نمی‌دانستند source آن چیست گفته بودند که آب‌ها طعم یکسانی دارند. ۴۱ نفر آب بطری شده را گفته بودند طعم بهتری دارد و ۱۰۳ نفر که همه این‌ها blind بودند گفته بودند آب شیر از نظر مزه مطبوع‌تر است. من این‌جا یک درنگ کوتاهی می‌کنم. یک مقدار راجع به موضوعات محیط‌زیستی صحبت کنیم که همکاران ما در دانشکده بهداشت و در واقع در مورد بهداشت محیط، شاید یک مقدار این مسئله را کمتر به آن می‌پردازند. این موضوع کاملاً وابسته به فرهنگ بوده و اگرچه می‌بینید ۱ میلی‌گرم آرسنیک می‌تواند همان بلایی را سر ما بیاورد که در کانادا یا هند یا بنگلادش. اما وقتی می‌رویم سراغ آب بطری شده این به‌شدت وابسته به فرهنگ هست و ممکن است که موضوعی که در ژاپن یک معضلی محیط زیستی ایجاد نکند، در این‌جا ایجاد بکند. بنابراین نسخه‌هایی که ما می‌پیچیم به‌شدت باید وابسته به فرهنگ باشد. چند نگرانی وجود دارد. یکی این‌که این بطری‌ها تجزیه‌پذیر نیستند و خیلی طول می‌کشد تا این‌ها به‌طور کامل تجزیه بشوند. مسئله بعدی که اشاره خواهیم کرد درجات بالایی از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود، به‌خاطر این‌که این بطری‌ها در واقع تولید شود و حمل و نقل شوند و این‌که بالاخره فرآورده‌های تولید آب بطری شده، آلاینده‌هایی را در محیط آزاد می‌کند. در نهایت این‌که اکوسیستم، به‌خصوص

اکوسیستم آبی به شدت در معرض خطر بطری‌های دفع شده قرار می‌گیرد.

شاید جالب باشد که در امریکا مطالعه‌ای انجام دادند دیدند که سالانه حدود ۷۶ میلیون بشکه نفت یا چیزی معادل این از نظر مصرف سوخت‌های فسیلی برای تولید بطری، برای پرکردن بطری، برای ذخیره‌سازی و برای دفع بطری‌های مصرف شده، دارد انرژی مصرف می‌شود. این معادل ۳/۴ میلیون خودرو در سال هست. اگر بپذیریم که تهران یک چیزی حدود ۴ میلیون یا بیشتر خودرو دارد، انگار که تمام خودروهای شهر تهران به مدت یک سال با مقدار نفتی که برای تولید و توزیع بطری‌های آب در امریکا مصرف شده می‌تواند در واقع از سوختشان استفاده کنند. متأسفانه ۷۰ درصد بطری‌ها دفع می‌شوند و در واقع decompose نمی‌شوند و نه تنها decompose نمی‌شوند بلکه مشکل بعدی این که decompose نسبی هم که رخ می‌دهد و صدها سال طول می‌کشد و باز تازه منجر می‌شود به تولید میکروپلاستیک‌ها و یک گرفتاری دوم ایجاد می‌کند. بالاخره اگرچه به نظر می‌رسد که recycling بطری راه حل منطقی‌تری هست ولی باید در نظر بگیریم که باز این recycling خودش یک فرآیند انرژی‌بری هست. اگر light cycling نگاه بکنیم به نظر نمی‌رسد که یک راه حل خیلی مناسب و مقرون به صرفه‌ای باشد. از آن ۷۶ میلیون بشکه شاید جالب باشد که ۱۷ میلیون بشکه فقط صرف تولید این بطری‌ها می‌شود. یعنی حمل و نقل و خنک‌سازی و ... را در نظر بگیریم، فقط تولید این پلاستیک برای ایجاد این‌ها معادل ۱۷ میلیون بشکه نفت و ۵/۲ میلیون تن کربن دی‌اکسید مصرف می‌شود. تخمین زده شده که به ازای هریک لیتر آب بطری شده ما ۳ لیتر آب را به هدر می‌دهیم.

یک جمع‌بندی کنیم. عملاً بیش از نیمی از آب‌هایی که با عنوان آب بطری شده استفاده می‌کنیم دارد از هوباتر استفاده می‌کند. پس تمام آن مشکلاتی که به آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی منتسب کردیم ۵۰ درصد آب‌های بطری شده هم عاری از این نیستند. یعنی آب‌های بطری شده باید حواسمان باشد در سطح بین‌المللی، حدود نیمی از آن‌ها مشکلات آب‌های شبکه را دارند، به علاوه یک سری مهاجرت‌ها و یک سری مشکلات جدیدی که ناشی از حمل و نقل و جا به جایی ممکن است داشته باشند. این نکته خیلی مهمی است که باید در مقایسه به آن توجه داشته باشیم.

بحث دیگر قیمت است که در امریکا یک آب بطری شده از حدود ۲۰ سنت تا ۲ دلار قیمت دارد، در حالی که هر یک لیتر آب شبکه ۱ سنت است. می‌بینید که یک محدوده هزار برابری از

نظر هزینه دارد که این هم باز به شدت جامعه‌محور است. در یک کشور مرفه ممکن است این مسئله به شدت مدنظر واقع شود. از دوستم پرسیدم این بطری را چه کار کنیم؟ گفت: (تا کن، فشارش بده، هواشو خالی کن، رسیدی خونه بیندازش تو سطل آشغال. این‌جا هر کسی مسئول زباله تولیدی خودش و در مغازه هم شما نمیتونی بطریت را بندازی. هرکس برای زباله‌هایش هزینه می‌کند). این فرهنگ توکیو با فرهنگ ما خیلی متفاوت هست. پس اگر نسخه‌ای می‌خواهیم بیچیم به شدت باید به جنبه‌های فرهنگی دقت کنیم. شاید خرید بطری‌های قابل استفاده مجدد خیلی منطقی‌تر از خرید بطری‌های آب بطری شده باشد. به عنوان جمله پایانی از این قسمت می‌خواهم عرض کنم که ما در یک تحقیقی که انجام دادیم می‌خواستیم ببینیم که چرا در بین عوام، در شبکه‌های اجتماعی، حتی بعضاً در دستورالعمل‌های سازمان‌های غذا و دارو می‌گویند که از آب بطری شده دوباره استفاده نکنیم و یا در یخچال نگذارید که فریز شود. من به یکی از دانشجویان ارشد گفتم هر بلایی که می‌توانی بر سر آب‌های بطری شده بیاور که ببینیم آیا مهاجرت مواد چه تغییری می‌کند. آب را گرم نگه داشتیم، روی پشت بام دانشکده به مدت ۴ هفته زیر آفتاب گذاشتیم. فریزش کردیم، هفت بار فریز و دی‌فراز کردیم. جالب توجه این است که همان‌طور که انتظار داشتیم فقط دما و زمان ماند طولانی مهاجرت را افزایش داد و در آب‌های فریز و دی‌فراز شده کمترین میزان مهاجرت را داشتیم. لذا باید حواسمان باشد که تولیدکنندگان به خصوص تولیدکننده‌های غیررسمی، بازار را در واقع هدایت نکنند به این سمت که این‌ها غیر بهداشتی هستند. من مدرکی دال بر غیربهداشتی بودن استفاده مجدد از بطری‌ها به عنوان یک متخصص اپیدمیولوژی و بهداشت عمومی ندیدم. در نتیجه‌گیری می‌خواهم عرض کنم که انتخاب بین آب شیر و آب بطری شده یک انتخابی هست که اولاً مولفه‌های متعدد بهداشتی، اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و محیط‌زیستی دارد و ثانیاً باید افراد مختلفی از دیسپلین‌های مختلف برای هر جامعه‌ای تصمیم بگیرند و نسخه‌ای که در آمریکا، کانادا و یا سوئیس جواب داده است الزاماً در ایران جواب نخواهد داد.

خانم مهندس سلیمه رضائی نیا:

ارزیابی کارایی سیستم‌های تصفیه آب خانگی بر کیفیت آب آشامیدنی

همان‌طور که می‌دانید در واقع دسترسی به آب آشامیدنی سالم از ابعاد فیزیکی شیمیایی و بیولوژیک از نیازهای اساسی و اولیه بشر است و کیفیت آب آشامیدنی تأثیر به‌سزایی در سلامت مردم دارد.

به دلیل این که علاوه بر این که این آب در واقع تأمین کننده احتیاجات نوشیدنی انسان هست، حاوی یک سری املاح و مواد معدنی نیز هست که کم و زیاد شدن هر یک از این عناصر و املاح می تواند بر سلامت انسان ها تأثیر به سزایی داشته باشد. از طرفی می دانید که ما در واقع در یک دوره ای هستیم که به خصوص در کشور ما با چالش های آب آشامیدنی روبرو هستیم. چالش هایی مثل افزایش جمعیت، تقاضا برای آب با کیفیت، بدتر شدن وضعیت منابع و کمبود منابع آبی که در دسترس ما وجود دارد. آلاینده هایی که به هر طریقی می توانند وارد سیستم آب آشامیدنی ما بشوند، چه از طریق تصفیه خانه و چه بعد از تصفیه. اقلیم و خشکسالی ها که مزید علت شده و این در واقع چالش ها را برای ما زیاد کرده و سایر موارد نظیر سیل و ... این ها مزید بر علت می شوند که دسترسی ما به آن آبی که سالم هست و مورد نیاز ما هست کاهش پیدا کند. بنابراین در ارتباط با سیستم های تصفیه آب خانگی یک سری دلایل وجود دارد که باعث می شود مردم به سمت این سیستم ها گرایش پیدا کنند. از دلایل آن افزایش نگرانی ها و آگاهی ها که بین استفاده کنندگان به وجود آمده، پیامدهای بهداشتی کیفیت آب آشامیدنی و تقاضای مداوم برای آب با کیفیت بالا و مهم تر از همه تبلیغاتی که این فروشندگان سیستم های تصفیه آب خانگی مبنی بر آلودگی های مختلف آب شهری دارند که یک سری ها به جا هست و یک سری ها هم بزرگ نمایی کردن و در واقع غیر قابل قبول هست.

در دنیا معیار سلامت آب شرب، دو نوع استاندارد است: استاندارد اولیه و استاندارد ثانویه. استاندارد اولیه که لازم الاجرا است و تمام کشورها لازم است که برای آب آشامیدنی این استانداردها را تأمین کنند و استانداردهای ثانویه که مربوط به خصوصیات زیبایی شناختی است. اگر ما نتوانیم این استانداردهای اولیه را که در واقع ضروری هستند، برطرف کنیم به یک سری جایگزین ها برای تأمین آب آشامیدنی خودمان نیاز داریم. در مورد کیفیت آب آشامیدنی یک سری پارامترها وجود دارد، که باید در کیفیت آب آشامیدنی ما رعایت شده باشند و با استانداردهای سازمان های مرتبط مثل WHO و EPA و سازمان استاندارد کشور خودمان تطبیق داشته باشند.

در ارتباط با آب خروجی سیستم های تصفیه ما، هیچ استاندارد وجود ندارد که بخواهد به صورت مدون تعیین شده باشد وجود ندارد و ما مجبور هستیم که از استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی استفاده کنیم برای ارزیابی این سیستم ها. بنابراین باتوجه به استفاده روزافزون از این سیستم های تصفیه آب خانگی، پایین بودن سطح اطلاعات عمومی مردم در خصوص جزئیات

کیفیت آب آشامیدنی، عدم آگاهی از عملکرد واقعی سیستم ها، انتخاب ناصحیح سیستم در صورتی که نیاز باشد ما از این سیستم استفاده کنیم، ایجاد آلودگی های میکروبی که یکی از مهم ترین معایب این سیستم ها هستند، باعث می شود که ما در واقع یک ارزیابی کلی از این سیستم ها انجام دهیم. اما سوالی که پیش می آید این است که ضرورت استفاده از سیستم های تصفیه آب خانگی چه موقع است؟ برای داشتن پاسخ این سوال باید سوالی مطرح کنیم که سیستم های تصفیه آب خانگی چه قابلیت بیشتری از تصفیه خانه های متداولی که در کشور ما وجود دارد، دارند. برای این که بدانیم قابلیت این سیستم ها چیست ابتدا باید آن ها را بشناسیم. من ابتدا به صورت خلاصه توضیح می دهم که سیستم های تصفیه خانگی به خصوص سیستم هایی که در کشور خودمان وجود دارند به چه شکل هستند. ما دو نوع از این سیستم ها داریم: سیستم های (POU) point of use یا در نقطه مصرف که رایج ترین این سیستم ها، همان هایی هستند که در زیر سینک نصب می شوند و سیستم های (POE) point of entry که کل آب آشامیدنی خانه را تصفیه می کنند. اما در تعریفی که کشورهای دنیا در ارتباط با این سیستم ها تعریف کرده اند، گفته اند سیستم های تصفیه آب خانگی برای کاهش آلاینده های خاص در آب آشامیدنی مثل فلزات سنگین، سموم دفع آفات، ذرات معلق و عوامل بیماری زا در نظر گرفته می شوند. یعنی این که سیستم ما، استانداردهای ثانویه ما را تأمین نمی کند، بلکه استانداردهای اولیه که لازم الاجرا هستند را تأمین می کنند. با توجه به این که این سیستم تصفیه در کشورهای پیشرفته مثل آمریکا و اروپا با ما متفاوت هست، دیدگاه و تفکرات استفاده از سیستم های تصفیه آب خانگی در آن کشورها نیز با ما خیلی متفاوت است. بنابراین به طور کلی سیستم های تصفیه آب خانگی را به دو دسته کلی point of use و point of entry (که در مسیر خط اصلی ورودی ساختمان قرار می گیرند) تقسیم می کنند.

از لحاظ فرآیندهایی که در این سیستم های تصفیه آب خانگی در حال حاضر استفاده می شود، تفکر ما در کشورمان از سیستم های تصفیه آب خانگی، سیستم هایی هستند که با استفاده از فیلتراسیون و اسمز معکوس و چند مرحله ای هستند، اما در خیلی از کشورهای در حال توسعه در واقع از یک سری فیلترهای سرامیکی نیز استفاده می کنند که شرایط خاص خودش را دارد. بنابراین با توجه به کلیاتی که وجود دارد، ما سه دسته از فرایندها را در سیستم های تصفیه آب خانگی استفاده می کنیم: فرآیندهایی ساده مثل جوشاندن، نور خورشید، استفاده از اشعه UV، انعقاد و لخته سازی، جذب و فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی مثل

فیلتراسیون که مهم‌ترین‌شان هستند. ادغام این چند فرآیند در واقع با هم‌دیگر چیزی است که ما به‌عنوان تصفیه خانگی در برندهای تجاری می‌بینیم. تکنولوژی‌های مهمی که در این سیستم استفاده می‌شوند، با توجه به نوع نیازی که وجود دارد، است. موضوعی که در این‌جا وجود دارد این است که این ضرورت ایجاد می‌کند که در واقع اکثر سیستم‌های تصفیه موجود در کشورمان از این سیستم‌های تصفیه پیشرفته استفاده نمی‌کنند. بنابراین یک تفکری وجود دارد که تا زمانی که این آرزوی ما محقق شود و سیستم‌های تصفیه کشور ما به این تکنولوژی دست پیدا کنند، ناچاراً اگر مشکلی در ارتباط با آلاینده‌های خاصی که در هر منطقه ممکن است مشکل ایجاد کند، ما نیاز داریم که از این سیستم‌ها برای حذف آلاینده‌ها استفاده کنیم. همان‌طور که گفتیم مدل‌هایی هم که در ایران وجود دارد، از دو روش فیلتراسیون و اسمز معکوس استفاده می‌کنند. فیلتراسیون طبق تعریفی که می‌کنند یک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای هست و مراحل که در آن دستگاه هست به این طریق تعریف می‌شود و اسمز معکوس در مدل‌های ۵ تا ۷ مرحله‌ای کاربرد دارد که ۵ مرحله اول در همه سیستم‌ها مشترک هست و مرحله ۶ و ۷ با توجه به مکانیزمی که در آن استفاده شده است می‌تواند متفاوت باشد. طبق اطلاعاتی که سال ۹۶ برای تز کارشناسی ارشد جمع‌آوری کردم، مدل‌هایی در بازار وجود داشت و با توجه به نیازسنجی که انجام دادیم سیستم‌های ۶ مرحله‌ای بیشترین استفاده را در تهران دارد و بر همین اساس ما این سیستم‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. این استفاده روزافزون از این سیستم‌ها فقط در کشور ما نیست، در واقع در دنیا و در کشورهای پیشرفته مثل آمریکا نیز این سیستم‌ها در حال استفاده هستند. طبق گزارش حداقل ۳۲۵ تولیدکننده از این سیستم‌ها در آمریکا وجود دارد و هم‌چنین ۴۱ درصد از خانواده آمریکایی که از آب آشامیدنی استفاده می‌کنند از این قبیل سیستم‌های تصفیه خانگی در نقطه مصرف استفاده می‌کنند. البته باید توجه کرد که این خانواده‌ها به‌دلیل این که آبی که از چاه استفاده می‌کردند به‌علت مثلاً آرسنیک بالا، ناراضی بودند و از این سیستم‌ها استفاده می‌کردند. سیاست استفاده از این سیستم‌ها بدین‌گونه است که در مناطقی با شرایط اضطراری و حتی عناصری مثل رادیواکتیو و شرایط اضطراری استفاده شود. در ژاپن پس از حادثه فوکوشیما توصیه شد تا از این سیستم‌ها استفاده شود.

ما اگر بخواهیم یک سیستمی را انتخاب کنیم قبل از انتخاب باید یک سری فاکتورها را در نظر بگیریم که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- کیفیت و نوع منبع آب؛
- نوع و میزان آلودگی موجود در منبع آب؛
- نیازهای تصفیه و هدف ما از تصفیه؛
- نیاز به دفع پسماند (پسماندی که مربوط به این سیستم‌ها می‌شود، اگر از سیستم‌های اسمز معکوس استفاده کنیم بحث مربوط به ریجکت و برگشت آب هست. چرا که حدود ۷۰٪ آبی که وارد سیستم می‌شود، به‌عنوان پساب وارد سیستم فاضلاب می‌شود و بحث مهم‌تر، بحث دفع فیلترهای تصفیه آب که پس از زمان سه ماهه و شش ماهه بعد از استفاده باید یک فکری به‌حال آن‌ها شود. چرا که به‌صورت گسترده وارد سیستم جمع‌آوری پسماند ما می‌شوند. این موارد خود یک پسماند ویژه تلقی می‌شود که نیازمند یک مدیریت صحیح است.)؛

- ارزیابی اقتصادی در ارتباط با هر یک از سیستم‌ها. نکته‌ای که این‌جا باید به آن اشاره کنم این است که در همه کشورهای دنیا یا حداقل در مقالاتی که من خواندم اشاره کرده بودند که قبل از استفاده از این سیستم‌ها حتماً باید با نهاد دولتی، مسئول تصفیه آب و متخصصان کیفیت آب در خصوص انتخاب این سیستم‌ها مشورت شود. متأسفانه در کشور ما در این خصوص، نهادهای دولتی ما به‌نوعی دارند این مسئولیت را از دوش خودشان برمی‌دارند. بنابراین برای معیارهای اصلی که ما می‌توانیم برای انتخاب سیستم‌های تصفیه آب خانگی داشته باشیم، اول باید آنالیز آب منطقه مورد نظرمان را داشته باشیم و با توجه به آنالیز و خصوصیات کیفی آب، سیستم‌های تصفیه مناسب آن آلاینده‌ها را انتخاب کنیم.

در مورد استانداردهای سیستم‌های تصفیه آب خانگی همان‌طور که اشاره کردم درخصوص آب خروجی هیچ استاندارد مدونی وجود ندارد. خود سیستم‌های تصفیه خانگی و این که راجع به اجزای سیستم استاندارد خاصی وجود داشته باشد، این‌طور نیست و در حال حاضر هیچ استاندارد برای آن تهیه نکرده‌اند. فقط EPA و آمریکا تأکید کرده که این سیستم‌ها باید براساس بنیاد بهسازی ملی یا NSF باشد که این سیستم‌ها براساس آن این اعتبارسنجی را دریافت کرده باشند. بنابراین استاندارد این بنیاد به کلیه اجزای این سیستم‌های آب خانگی این اجازه را می‌دهد و مورد آزمایش قرار می‌دهد که آیا از استاندارد بهداشتی برخوردار است یا نه و سپس گواهی‌نامه‌ای را صادر می‌کند. اما در کشور ما متأسفانه بحثی که هست این است که این سیستم‌ها به‌صورت قارچ مانند هرجایی رشد پیدا کرده‌اند و مونتاژ می‌شوند و فاقد کیفیت بهداشتی‌ای که به آن اشاره کردم، هستند.



اکثر مطالعاتی که در دنیا انجام شده است به حالت مورد محور است. به‌طور مثال در رابطه با حذف آرسنیک مطالعاتی که خواهیم به‌صورت جامع برای این سیستم‌ها به آن مراجعه کنیم انجام نشده است. در مطالعه‌ای که ما انجام دادیم دو خروجی از پایان‌نامه داشتیم که مورد اول آن، مقایسه ارزیابی کیفی و بهداشتی سیستم‌های تصفیه آب خانگی در سه شهر تهران، رشت و اهواز انجام شد. با توجه به نتایجی که ما مطالعه کردیم در شهر تهران و رشت نیازی به استفاده از این سیستم‌ها نبود و بعضی از پارامترها مثل سختی، فلوراید حتی کمتر از حد استاندارد بود و باعث می‌شد کیفیت آب به‌صورت اسیدی تبدیل شود و املاح آب از بین برود، بنابراین ما توصیه نمی‌کنیم که در شهر تهران از این سیستم‌ها استفاده شود. اما در شهر اهواز با توجه به کیفیت آب‌شان، پیشنهاد دادیم که سازمان‌های متولی در شهر اهواز، استفاده از این سیستم‌ها را کنترل کنند. بنابراین نتیجه‌گیری کلی که ما به آن رسیدیم این بود که نصب سیستم‌های آب خانگی در مناطقی که کیفیت سیستم مناسب است (که این مناسب بودن را باید سازمان‌های متولی اعلام کنند چرا که وقتی شفاف‌سازی نمی‌شود مردم معمولاً به حرف‌های افراد سودجو توجه می‌کنند) و مصرف طولانی‌مدت به‌خصوص سیستم اسمز معکوس، نه تنها سبب ارتقای بهداشتی نمی‌شود بلکه در درازمدت سلامتی افراد را در معرض خطر قرار می‌دهد و با کاهش دریافت املاح موجود در آب مانند کلسیم و منیزیم و فلوراید سبب عوارضی مانند عوارض استخوانی و کمبود مواد مغذی در بدن می‌شود. استفاده از سیستم‌های تصفیه آب خانگی باید از جنبه‌های اقتصادی و بهداشتی باید بررسی شود.

در صورت مطلوب بودن کیفیت آب آشامیدنی، ضروری نیست و توصیه می‌شود که از سیستم‌هایی که مبتنی بر پایه اسمز معکوس هستند، صرفاً برای حذف آلاینده‌های فلزات سنگین و نیترات استفاده شود. در نهایت با توجه به این‌که تا زمانی‌که ما کیفیت آب آشامیدنی کشورمان را به‌حد موردنظر مردم و حد مورد تایید استانداردها برسانیم، استفاده از این سیستم‌ها یک نیاز هست، به نهادهای دولتی پیشنهاد کردیم که بر این مورد نظارت

در خصوص این استانداردها چندین استاندارد وجود دارد که اگر به آن علاقمند هستید با جستجوی عبارت (NSF Standards for Water Treatment Systems) صفحه مربوط به این استانداردها را می‌توانید مشاهده کنید. من در این‌جا به چند مورد از مهم‌ترین‌ها اشاره می‌کنم:

فیلتراسیون:

NSF53/ANSI -

NSF42/ANSI -

سختی‌گیرها:

NSF44/ANSI -

ضد عفونی با اشعه ماورای بنفش:

NSF55/ANSI -

سیستم‌های اسمز معکوس:

NSF58/ANSI -

در ارتباط با ارزیابی اقتصادی یک‌سری ارزیابی‌ها باید به‌صورت کلی انجام شود که شامل پارامترهای هزینه سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری سیستم است. در زمانی‌که ما این کار تحقیقاتی را انجام دادیم هزینه بهره‌برداری و نگهداری این سیستم‌ها، هر فیلتر حدود ۵۰ هزار تومان بود و هزینه هر دستگاه را برای سه ماه حدوداً ۶۰۰ هزار تومان ارزیابی کردیم که در آن زمان هزینه قابل‌توجهی بود. کسانی که تمایل دارند علاوه‌بر هزینه خرید اولیه از سیستم‌های تصفیه آب خانگی استفاده کنند، باید این موارد را هم در نظر بگیرند.

هم در ایران و هم در کشورهای مختلف دنیا، مطالعات متعددی انجام شده‌است که چند مطالعه مهم را من در این‌جا اشاره می‌کنم:

- فهمی‌نیا و همکارانش در سال ۱۳۹۲:
- میانگین غلظت منیزیم، کلسیم، سختی کل و فلوراید نمونه‌ها به‌ترتیب برابر ۹/۵، ۷/۵، ۶۰ و ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است.
- نکته قابل‌توجه این است که در تمام موارد فلوراید کمتر از حالت استاندارد است.
- در تمام موارد مقدار کلر آزاد باقی‌مانده و کل و فیکال کلی‌فرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب تصفیه‌شده سیستم‌های تصفیه صفر است.

- رضا دهقان‌زاده ریحانی و همکاران در سال ۱۳۹۳:
- بر روی ۱۸ سیستم تصفیه آب خانگی انجام شد. تعداد ۳۶ نمونه آب از ورودی و خروجی سیستم‌ها جمع‌آوری شد.
- حذف کلر باقی‌مانده توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی به‌مرور زمان موجب تشکیل بیوفیلم بر روی فیلترهای سیستم و مخزن ذخیره توسط باکتری‌های موجود در شبکه توزیع می‌شود.

داشته باشند. در پایان باید دقت کنیم که پیش از این که این سیستم‌ها را خریداری کنیم، کیفیت آب را در نظر بگیریم و با یک متخصص کیفیت آب مشورت کنیم تا بتوانیم انتخاب صحیح و مناسبی داشته باشیم.



دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

چالش‌های استفاده از شبکه‌های دوگانه توزیع آب در ساختمان‌ها

در این جلسه انواع و اهداف سامانه‌های دوگانه آبرسانی را توضیح خواهیم داد و راجع به جداسازی آب در ساختمان بیشتر صحبت می‌کنیم. یک نکته مهم بحث کیفیت آب در شبکه غیرشرب هست و تعاریفی که در واقع موجود هست مثل همین بحث خود آب غیرشرب یا آب بهداشتی. در مورد ملاحظات جداسازی آب‌ها صحبت می‌کنیم و باید‌ها و نبایدها و در انتها نتیجه‌گیری.

طبیعتاً این فرصت، فرصت خیلی کوتاهی هست و موضوع هم، موضوع خیلی مهمی است، لذا من سعی می‌کنم بیشتر به نتایج بپردازم. امروز خبری خواندم که البته جدید نیست که آب از دریاها منتقل می‌شود به استان‌های سیستان و بلوچستان، یزد، خراسان جنوبی و نهایتاً خراسان رضوی. فقط اشاره کنم که قیمتی که الان برای هر مترمکعب آبی که نمک زدایی و منتقل می‌شود به شهر مشهد چیزی حدود ۸۰ تا ۹۰ هزار تومان خواهد بود. لذا بحث اهمیت آب در کشور ما کاملاً روشن هست و احتیاجی به توضیح ندارد.

یکی از روش‌هایی که ما بتوانیم برای آب مدیریت تقاضا انجام دهیم، بحث جداسازی مصارف است. چرا آب را جدا می‌کنیم چون مصارف خانگی داریم، مصارف عمومی، تجاری، صنعتی، فضای سبز. کیفیتی که این آب‌ها لازم دارد ممکن است یکسان نباشد، لذا ایده استفاده از آب‌ها با کیفیت پایین‌تر برای بعضی مصارف مطرح می‌شود. اما وقتی به بحث آب خانگی می‌رسیم، اجزای مصرف خانگی مشخص است. در این‌جا هم این ذهنیت ممکن است وجود داشته باشد که بیایم این آب‌ها را به آب شرب و غیرشرب تفکیک کنیم. این ایده جداسازی، ایده جدیدی نیست بیش از دو هزار سال می‌گذرد که در نزدیکی شهر رم دیدند که

شبکه دوگانه وجود داشته است. انواع سامانه‌های آبرسانی را اگر بخواهیم توضیح دهیم. شبکه دو گانه کامل شبکه‌ای است که ما یک شبکه کامل داریم تا آشپزخانه و در آشپزخانه دو شیر آب داریم: شیر آب شرب و غیر شرب. اما اکثر سامانه‌هایی که وجود دارند سامانه‌های دوگانه محدود هستند که حالا یا آب شرب محدود است یا غیرشرب. صحبت‌هایی که اساتید فرمودند راجع به آب بسته‌بندی و بحث تصفیه آب، این‌ها مثال‌هایی هستند از این که ما آب شرب محدودی را توزیع می‌کنیم. یک سامانه داریم آب غیرشرب که خودش انواع مختلفی دارد تصفیه در محل توزیع یا تصفیه در تصفیه‌خانه متمرکز، در منزل هم حالا می‌تواند در محل سینک ظرف‌شویی یا در محل ورود به ساختمان تصفیه شود. اما سامانه محدود آب غیرشرب داریم. یعنی این که ما یک شبکه داشته باشیم و این شبکه در واقع یک آب غیرشربی را توزیع می‌کند در شهر و یک آب شربی را هم جدا داشته باشیم. من می‌توانم بگویم تمام این مثال‌هایی که این‌جا زده می‌شود در ایران وجود دارد. به شکل کم و بیش این مثال‌های تصفیه ایستگاه‌های آب شیرین‌کن بیش از صد شهر و روستا داریم در حال حاضر که از این سامانه‌ها استفاده می‌کنند. بحث تصفیه آب در منزل اشاره شد، بحث آب بطری و بسته‌بندی اشاره شد. این سامانه دوگانه در شهر بهرمان در استان کرمان وجود دارد. یعنی در آشپزخانه‌ها دو شیر آب دارند برای مصارف مختلف و برای سامانه محدود آب غیرشرب بهداشتی. در شهر دزفول یک سامانه‌ای هست که بیش از ۷۰ سال قدمت دارد و آب غیرشرب را بین شهروندان توزیع می‌کند. لذا این مثال‌ها در کشور وجود دارد. بحثی بود که بیایم در مشهد و تهران ایستگاه‌های آب شیرین‌کن بگذاریم یا به‌شکلی از آب بهداشتی استفاده کنیم.

من در این زمان بیشتر راجع به سامانه دوگانه کامل صحبت می‌کنم و زمان کمی هم درباره سامانه محدود آب غیرشرب. ما وقتی آب را جدا می‌کنیم حالا به معنای آب شرب و غیرشرب، دو هدف می‌توانیم داشته باشیم. یک هدف می‌تواند این باشد که کیفیت آب آشامیدنی را ارتقا دهیم. یعنی هرچه آب داریم داخل منزل، همه آشامیدنی هست. ولی چون حالا به‌هر دلیلی، شما می‌دانید که کیفیت آب آشامیدنی کیفیتش حتی در کشورهای مختلف یکسان نیست، لذا یک محدوده‌ای دارند. ما اگر بخواهیم کیفیت آب را افزایش دهیم می‌توانیم از این سامانه استفاده کنیم. یعنی یک سامانه با کیفیت بالاتر. یک ایده دیگر این است که ما با توجه به کمبود آبی که داریم برای حل این مشکل بیایم از منابع آب با کیفیت پایین‌تر برای آب غیرشرب استفاده کنیم که بیشتر تمرکز ما روی این موضوع است. قوانین بالادستی در کشور

وجود دارد که این موضوع را تاکید می‌کند. از سال ۱۳۷۲ و آخرینش هم سال ۱۳۹۵ هست که در واقع قانون توسعه بهینه‌سازی آب شهری و روستایی هست که وزارت نیرو را مکلف می‌کند به شهرها و روستاهای بالای ۲۰۰ خانوار بحث جداسازی آب شرب از سایر مصارف اقدام شود. هم‌چنین این که برای شهرها و روستاهایی که شرایط را دارند زیرساخت‌های لازم برای جداسازی آب شرب بهداشتی در شهرهای جدید پیش‌بینی بشود. این‌جا یک کلمه‌ای استفاده شده است به‌نام آب بهداشتی. اگر ما یک تعریف عمومی از آب بهداشتی داشته باشیم این است که، در داخل ساختمان اگر مصارف آب را به شرب و غیرشرب تقسیم کنیم یک تعریف مصطلح می‌تواند این باشد که آبی که برای آشامیدن و پخت و پز است که آب شرب است و بقیه آب‌ها، می‌تواند آب غیرشرب بهداشتی باشد و برای بقیه مصارف خانه است. گفتم این یک اصطلاح مصطلح است، که من اسم این‌را می‌گذارم گزینه یک. در ذهن عزیزان باشد که این گزینه یک است تا بعد ببینیم این تعریف درست یا غلط است. اگر چنین تعریفی را داشته باشیم، حجم مصارف آب غیرشرب تقریباً ۸۵٪ می‌تواند باشد، لذا یک توجیهی از نظر حجم آب وجود دارد. در ایران این بحثی که این‌جا هست یک پروژه‌ای دانشگاه شهید بهشتی با وزارت نیرو داشت که راجع به این‌که آیا ما می‌توانیم آب را به این شکل تقسیم کنیم و یک استاندارد کیفی برای این آب غیرشرب بهداشتی تعریف کنیم. لذا نتایجی که من ارائه می‌کنم نتایج این پروژه هست. ما در ایران بررسی کردیم و مشاهده کردیم جداسازی‌های مختلفی در ایران به‌وجود آمده، اما چنین استاندارد در ایران وجود ندارد. شاید مثلاً در سال‌های خیلی قبل در تهران بدین‌صورت بوده که مردم جوی آب معمولی را داشتند و آب شرب توسط کسانی که آب را می‌فروختند به مردم تحویل داده می‌شد. ما به‌سراغ مطالعات انجام شده در دنیا رفتیم تا ببینیم در این زمینه چه کردند و این‌که آیا کاری انجام شده یا خیر. واقعیت این هست که این تقسیم‌بندی که با عنوان گزینه یک بود، تقریباً در دنیا وجود نداشت. یک مثالی که این سیستم پیاده شده بود در آمستردام هلند در سال ۱۸۸۸ این دو شبکه جدا شده بودند. اما در سال ۱۹۳۲ تقریباً پس از ۴۰ سال سعی و خطا، این سیستم جمع شده بود، با توجه به مشکلاتی که داشت. مجدداً در سال ۱۹۷۰ این پروژه مطرح شد. یکی دیگر از پروژه‌های موجود، پروژه چین در شانگهای هست که این شبکه را دارد ولی این شبکه برای ارتقای آب شرب هست و نه این‌که آب شبکه دوم آب شرب نباشد، لذا به این نتیجه رسیدیم که گزینه یک در دنیا وجود ندارد. وقتی ما مقالات را می‌خوانیم به اصطلاح

Non drinking water یا Non potable water زیاد برخورد می‌کنیم. می‌بینیم که در گزارش‌ها نوشته شده که از فاضلاب تصفیه‌شده می‌توانید برای Non potable water استفاده کنید. این‌جا یک مقداری ممکن است از نظر ترجمه پارادوکسی پیش بیاید که وقتی می‌گوییم Non potable water استفاده کنیم به‌چه معناست. چون این‌جا می‌گوید می‌توانیم از فاضلاب تصفیه‌شده برای Non potable water استفاده کنیم. در توضیح این تعریف خدمتان عرض کنم که تعریف drinking water و potable water از دیدگاه WHO و استانداردهای کشورهای دیگر به این شکل هست که مشاهده می‌کنید. drinking water شامل آب آشامیدن، پخت و پز، ظرفشویی، استحمام و لباس‌شویی و Non drinking water و Non potable water فقط اشاره می‌کند به فضای سبز خانگی و فلاش‌تانک سرویس‌های بهداشتی. لذا این صحبت که یک مقدار ممکن است در ترجمه کلمه اشتباه پیش بیاید، یعنی وقتی می‌گوییم drinking water منظورمان فقط آب آشامیدنی نیست.

کار دیگری که انجام دادیم این بود که یک‌سری مکاتباتی انجام دادیم با انجمن‌ها و افرادی که کار کردند یعنی استعلام شد که آیا شما چنین شبکه‌ای دارید (شبکه آبرسانی دوگانه) به این شکل که آب خانه را به دو قسمت کند و جواب منفی بود. ما بررسی‌های بیشتری انجام دادیم و مثلاً فکر کردیم اگر بتوانیم جدا کنیم به این شکل چه استاندارد می‌تواند وجود داشته باشد. فرض کردیم مثلاً یک استخر شنا را اگر در نظر بگیریم کیفیت آب استخر شاید برای استحمام و لباس‌شویی مناسب باشد. ولی وقتی شما استانداردهای استخرهای شنا در ایران و در خارج از کشور را بررسی می‌کنید، می‌بینید گاهی مواقع کیفیت آب استخر در بعضی از پارامترها از آب شرب هم بالاتر است، مثل کلریت و ... که دلایل خودش را دارد. لذا این‌هم به نتیجه‌ای نرسید. یک تحلیل بسیار مفصلی انجام دادیم به‌نام تحلیل TDI که این مربوط به مقدار جذب قابل‌تحمل روزانه بدن روی دوزها و پارامترهای مختلف بود، که نتیجه کلی را خدمت شما توضیح خواهم داد. یک نکته دیگر این است که ما اگر استانداردهای آب شرب را در دنیا بررسی کنیم، استاندارد WHO که یک استاندارد بین‌المللی است، در واقع یک استاندارد اقتصادی است. یعنی کیفیت آب در WHO خیلی بالا نیست، اما استاندارد است و هیچ مشکلی ندارد. الان بسیاری از کشورها مانند کانادا و ژاپن کیفیتی که برای خودشان تعریف می‌کنند برای آب شرب، از WHO بالاتر است. استاندارد کشور ما ۱۰۵۳ تا حدی تقریباً شبیه WHO است و حتی در بعضی پارامترها، کیفیت پایین‌تر است. لذا کشور ما یک استاندارد

خیلی مرغوبی هم ندارد، نه این که استاندارد نیست. درباره بحث محدوده آب شرب صحبت می‌کنیم. پس این که ما بخواهیم این را جدا کنیم شاید منطقی نباشد. جمع‌بندی صحبت این بود که این تقسیم‌بندی که تحت‌عنوان گزینه یک مطرح شد و این تعریف برای آب شرب بهداشتی خانگی مورد قبول نیست. حالا از دیدگاه‌های مختلف در این پروژه بحث اقتصادی، بحث محیط‌زیستی، بحث امنیتی، بحث‌های کیفی، بحث‌های اجرایی مطالعه شد. نتیجه آن این بود که این تقسیم‌بندی وجود ندارد. اما در این جا یک نکته‌ای هست، بحث پروژه‌هایی که در کشور این جداسازی‌ها را انجام دادند به شکل‌های مختلف، نتیجه این است که ما در ساختمان نمی‌توانیم آبی غیر از آب شرب داشته باشیم. حالا ممکن است شما بگویید من کف استاندارد آب شرب را دارم. لذا شما دقت کنید وقتی جایی آب‌شیرین‌کن داریم و آب نمک‌زدایی شده استفاده می‌کنیم برای شرب، شبکه دوم باید دقت کنیم با آن شبکه‌ای که دوش می‌گیریم و برای مصارف مختلف استفاده می‌شود که استانداردهای آن باید در این حد باشد. اما ما چه کار می‌توانیم انجام دهیم. در داخل ساختمان همان‌جور که اشاره شد این تقسیم‌بندی قابل‌انجام هست که بگوییم آب شرب این آب‌ها است که با رنگ آبی نشان داده شده و مواردی که با سبز نشان داده شده فضای سبز خانگی زیر سطحی و فلاش تانک می‌تواند آب غیرشرب باشد. یعنی فقط برای فلاش تانک سرویس بهداشتی و فضای سبز، آن هم فضای سبزی که به‌صورت زیرسطحی آبیاری شود. این‌جا حجم این دو قسمت نسبت به کل مصارف داخل ساختمان یک چیزی حدود ۲۰ به ۸۰ است و این مسئله مطرح است که آیا این کار اقتصادی است که ما یک شبکه دوم بیاوریم برای مثلاً فلاش تانک‌ها در ساختمان‌های معمولی یا در ساختمان‌های بزرگ قطعاً دو پروژه متفاوت است. لذا تعریف آب قابل شرب و آب غیرشرب بهداشتی، فقط به آب فلاش تانک و آبیاری گفته می‌شود. ما پارامترهای کیفی آب غیرشرب بهداشتی را در پروژه مشخص کردیم. اما راجع به این موضوع بحث مفصل است. فقط اشاره کنم در سیستم‌های دوگانه، حتماً باید از لوله‌هایی که استفاده می‌شود رنگ‌های مختلفی داشته باشد که یک وقت تداخل اتفاق نیفتد، علامت‌گذاری شود. حتی لوله‌ها نباید در یک ترانشه قرار بگیرد باید در تراز مختلف قرار بگیرد که زمانی که پیمانکار تعمیرات انجام می‌دهد، این‌ها را به هم وصل نکند و شیرآلات بسیار پیشرفته‌ای هست در شبکه‌های دوگانه، که این شیرها برای این است که جریان برنگردد و آب غیرشرب وارد آب شرب شود. چون شما دو تا شبکه دارید و باید این دو شبکه را شستشو دهید.

بازدید می‌کنیم که من حدود ۱۰ سال پیش از بهرمان داشتم، خیلی جالب است که در این شهری که دو تا شبکه غیرشرب و شرب در داخل ساختمان‌ها یک اتفاق خیلی جالبی است. اتفاق این است که تمام مردم آمدند شبکه آب شرب را به آب غیرشرب وصل کردند. یعنی این همه می‌آییم تاسیسات مختلف و رنگ‌های مختلف استفاده می‌کنیم که نکند زمانی به‌طور اشتباهی این اتفاق بیفتد. ولی وقتی شما آب داخل منزل را بخواهید جدا کنید مردم این‌را به هم وصل می‌کنند.

برای این کار می‌گویند: مثلاً وقتی که من می‌خواهم بروم دوش بگیرم دلم نمی‌خواهد که با آب غیرشرب دوش بگیرم. یا مثلاً اگر آب غیرشرب مثلاً قطع شد، چون آب شرب وصل هست به آب غیرشرب، ما می‌توانیم از آب شرب استفاده کنیم. موضوعی که ما نگران هستیم بالاخره اتفاق خواهد افتاد. پس ما چه کار می‌توانیم بکنیم. ما می‌توانیم نه برای ساختمان‌های کوچک بلکه برای ساختمان‌های بزرگ آب را جدا کنیم که یک شبکه دو گانه داشته باشد. این شبکه برای مصارف عمومی مثل فضای سبز، آتش‌نشانی استفاده شود. یعنی ابتدا مکان‌هایی که مصارف بالایی دارند مثل فضاهای صنعتی، کارواش‌ها، آبیاری کند و بعد این شبکه بیاید در داخل ساختمان‌های بزرگ با استانداردها و نظارت‌هایی که انجام می‌شود، در مکان‌هایی مثل فضای سبز بزرگ و فلاش تانک‌ها استفاده شوند. در ساختمان شخصی باید مسئول این موضوع باشد که باید مدیر تخصصی باشد. حتماً باید تعهد بدهد که این دو آب با هم تداخل نداشته باشند. اگر با این دیدگاه جلو برویم اتفاقاً پروژه‌های زیادی در دنیا در این رابطه کار شده است. اما اگر با دیدگاهی که گفتم جلو برویم پروژه‌های زیادی کار نشده است. مثال‌های بسیار زیادی هم می‌توانیم برای این سیستم در کشورهایی مثل آمریکا و کشورهای اروپایی و کشورهای عربی و حتی کشورهای آفریقایی ببینیم که تا ۳۰ درصد میزان مصرف آب با کیفیت را کاهش می‌دهند و عملاً بار مصرفی کاهش پیدا می‌کند. در کشور ما هم در هر صورت یک راهنمایی تهیه شده برای جداسازی آب شرب از آب غیرشرب بهداشتی خانگی، این الان در کشور نظرسنجی‌اش تمام شده و برای چاپ رفته است. من لازم است از همکارانی که در این پروژه کمک کردند از جمله آقای دکتر رشیدی، آقای دکتر نظری، آقای دکتر علی‌احمدی و بقیه دوستان تشکر کنم. همچنین از انجمن آب و فاضلاب مجدداً تشکر می‌کنم که این فرصت را در اختیار قرار دادند.

به‌عنوان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌توانم بگویم:

- حداقل کیفیت آب مصارف خانگی که در تماس مستقیم با

مصرف کننده هست باید حداقل استاندارد آب قابل شرب باشد، نه این که ما می توانیم از آب غیر شرب استفاده کنیم. آب غیر شرب فقط برای مصارف فلاش تانک و آبیاری فضای سبز خانگی هست که عملاً در ساختمان های بزرگ این امکان پذیر است.

- مدیریت ریسک و توجه به کنترل خطرات در استفاده از آب غیر شرب بهداشتی بسیار جدی هست.

- حتماً تحلیل اقتصادی هر پروژه ای نیاز دارد به جداسازی هایی که در کشور انجام شده باید مورد بازبینی قرار بگیرد و مورد کنترل قرار بگیرد. جداسازی به این معنا نیست که ما می توانیم از آب با کیفیت پایین تر استفاده کنیم و دنیا هم اجازه چنین کاری را نمی دهد. اما اگر آن چیزی که دنیا انجام می دهد و آن شبکه dual water که می آید و فضاهای سبز شهری، صنعتی، تجاری و مصارف عمومی را پوشش می دهد و بعد برای ساختمان های بزرگ هم استفاده می شود، می توانیم این را توصیه کنیم و این تا ۳۰ درصد می تواند در واقع جایگزینی آب را انجام بدهد. خیلی ممنون از توجهتان.

دکتر تابش:

خیلی ممنون از جناب آقای دکتر جلیلی که یکی از موضوعات بسیار چالشی که در ذهن تعداد زیادی از مسئولین مختلف خطوط می کند و هزینه های زیادی را به مملکت تحمیل می کند را بیان کردند. انشالله مسئولین محترم از این کارهای علمی در حقیقت درس بگیرند و در سرمایه گذاری هایی که انجام می دهند جنبه های علمی را هم در نظر داشته باشند. نوبت به بخش پرسش و پاسخ می رسد که من خواهش می کنم از جناب آقای مهندس واقفی که بخش سوالات را مدیریت فرمایند.

آقای مهندس واقفی:

سلام عرض می کنم خدمت دکتر تابش و همه عزیزانی که در این وبینار حضور دارند. در ارتباط با مسائلی که مطرح شده یک به یک جلو می رویم. آقای دکتر یونسین مطالب کاملی را اشاره کردند. سوالی از ایشان مطرح شده که آیا آبی که داخل بطری هست تاثیر پذیر از خود بطری هست یا خیر؟ فکر می کنم که کامل مطرح کردند و این که آیا در شرایط گرما یا سرما می تواند تاثیر بگذارد که ایشان اعلام کردند که طبق بررسی که خودشان انجام دادند مشکلی در این زمینه وجود نداشت. اما نقطه ضعفی که در این سیستم ها وجود دارد یکی را به خوبی اشاره کردند که بحث مربوط به مسائل محیط زیستی این آب های بطری شده هست که

نه فقط در ایران، بلکه در کل دنیا مطرح هست. بنابراین برمی گردد به این که ما در چه شرایطی نیاز داریم از این آب های بطری شده استفاده کنیم؟ آیا واقعاً نیازی هست که مثلاً آب های بطری شده در همه شهرهای کشور توزیع شود و به جای آب شبکه ما بخواهیم از آب بطری شده استفاده بکنیم. به خصوص که خود مسئله محیط زیستش بسیار مهم است.

نکته قابل توجه دیگری که در بحث آب های بطری شده وجود دارد بحث نظارت هست که به هر حال برای آب های شبکه یک سازمان ناظری وجود دارد که آب و فاضلاب هست و خود بهداشت هست که آزمایشگاه های بسیار متعددی دارند که روزانه، ماهانه و سالانه کیفیت آب را کنترل می کنند. اما آیا این دقت در مورد آب های بطری هم وجود دارد یا نه؟ این ها مواردی هست که یک مقداری مشکوک می کند استفاده از آب های بطری شده را.

دکتر یونسین:

زمانی من به یکی از دانشجویانم گفتم که برو برندهای معروف آب های بطری شده را در یک تحقیقی انجام بده. گفت: به کجا مراجعه کنم؟ گفتم بهترینش این است که بروی از نقطه مصرف و سوپر مارکتی ها بپرسی. جالبه که سوپر مارکتی ها جواب قشنگی دادند و گفتند تابستان ها را می خواهید یا زمستان ها؟ پرسیدیم این یعنی چی؟ گفتند در زمستان ها تعداد برندها همان برند nestle و دملوند و این ها است ولی در تابستان یه عالمه اسم هایی می آید که ما خودمان هم نمی دانیم از کجا آمده! یعنی از سوپر مارکتی هایی که ما از شان پرسیدیم تلویحا می شود فهمید که اساساً ما حتی روی برندهای آب های بطری شده نمی توانیم نظارت کامل داشته باشیم که چی در واقع دارد توزیع می شود، چه برسد به این که ما بخواهیم از آن ها نمونه گیری کنیم.

باز این به شدت وابستگی به context دارد و یک کشوری که بالاخره قانون خیلی سفت و سخت اجرا می شود و عدول از قانون هم با مجازات جدی همراه است، ممکن است این مسئله خیلی راحت تر باشد. مثلاً ببینید شما در سیستم حمل و نقل شهری هم در سوئیس من هربار که رفتم بلیط همیشه در جیبم بوده و من یک بار تا حالا ندیدم که از من بلیط بخواهند. بعد که پرسیدم گفتند که اگر یک بار بروید و بلیط در واقع نداشته باشید در اتوبوس، ۶۰۰ فرانک سوئیس جریمه می شوید. این باعث می شود که من حواسم جمع باشد و ممکن است تصادفی یک در ۵۰ هم که چک کنند کافی باشد. اما یک جایی که شما اگر یک خلاف واضح هم بکنید خیلی برخورد جدی با شما نمی شود، این مسئله یک مقدار نگرانی ایجاد می کند. من تحقیق انجام ندادم ولی

اگر communication صورت نگیرد تمام مقررات قابل دور زدن است.

من خلاصه عرض این است که استنباط من این است که نه، لازم نیست بسیاری از موارد مثلاً حالا در فضای خارج از خانه آب بطری شده، آب بهداشتی تری برای من فراهم باشد تا بخواهم بروم از آب سردکن یا لیوانی که همراهم نیست از آن استفاده کنم در آب خوردن عمومی. اما داخل منازل وقتی افراد از آب بطری شده استفاده می‌کنند، من به‌نظرم ضرورتی ندارد ولی با قوانین و مقررات و ممنوعیت‌ها به‌نظرم به جایی نمی‌رسیم، این‌ها نیازمند به یک سری کمپین‌های اجتماعی دارند برای این‌که بازاریابی اجتماعی شود که بالاخره چرا مردم به این موضوع علاقه‌مند هستند و بعد روی این موضوع کار شود و در نهایت تصمیم مدیریتی گرفته شود. به‌رحال من تا جایی‌که دانش مختصرم اجازه می‌داد نکاتی را خدمتان عرض کردم.

مهندس واقعی:

بله خیلی لطف کردید آقای دکتر یونسین، متشکرم از مطالبتان، اگر اجازه بدهید برخی از سوالاتی که مطرح شده را می‌خوانم:

سوال: در مورد مطالعات انجام شده در مورد تصفیه آب خانگی مشخص نشد نتایج ارائه شده تنها مربوط به سیستم‌های اسمز معکوس هستند یا سیستم‌های یک تا سه فیلتر هم در بررسی‌ها در نظر گرفته شده است؟

خانم مهندس رضایی‌نیا:

عرض سلام دارم خدمت شما آقای مهندس واقعی. من سوالات را یکی یکی پاسخ می‌دهم. سوال اول دوستان همین نتایج هست که من در توضیحاتم عرض کردم که با توجه به نظرسنجی که ما در شهر تهران انجام دادیم بیشترین استفاده در واقع سیستم‌های شش مرحله‌ای و اسمز معکوس بوده است و به‌علت این‌که ما هم محدودیت زمان داشتیم و هم هزینه‌ها، فقط به همین سیستم‌ها بسنده کردیم و نتایج ما منتج به همین سیستم‌ها است. اما در ارتباط به سیستم‌های یک تا سه مرحله‌ای، خیر ما در واقع آزمایش انجام ندادیم.

سوال: یکی از دوستان پرسیدند در خصوص دستگاه تصفیه خانگی نگرانی‌ای که وجود دارد ورود شیرابه‌های خروجی هست که این مسئله بیشتر در مناطق جنوب کشور که در تقریباً در هر واحد مسکونی استفاده می‌شود بیشتر خود را نشان می‌دهد. آیا در این خصوص مطالعه‌ای صورت گرفته است؟

براساس شواهد و فرهنگ و context که داریم در آن زندگی می‌کنیم می‌توانم بگویم استنباط من این است که نظارت بر آب‌های بطری شده خیلی سخت‌تر است. به‌خاطر این‌که آن مسئله‌ای که عرض کردم اگر مورد خطایی از من ببینند کل برند من تعطیل بشود یا به مخاطره بیفتد اصلاً مطرح نیست. حالا من نه راجع به آب بطری شده، در رابطه با یک موضوع دیگری در زمینه مواد غذایی خدمتان یک موضوع جالبی بگویم. تهران به ۳ بخش تقسیم شده و زیرنظر ۳ تا دانشگاه علوم پزشکی هست. یک کارخانه‌ای را می‌خواهند درش را ببندند. این در محدوده دانشگاه علوم پزشکی تهران است. به‌محض این‌که بخواهند بروند پلمپش بکنند می‌رود دفترش را منتقل می‌کند از این خیابان به دوتا خیابان آن‌طرف‌تر که در محدوده دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی باشد. حالا اگر اتفاقاً در دانشگاه شهید بهشتی او را پیدا کنند دوباره می‌رود تحت پوشش یک دانشگاه دیگر.

این مسئله دوم که سوال شما بوده است این است که به‌نظر من ما نمی‌توانیم نظارت جدی داشته باشیم، اما درخصوص فرمایش اولتان که آیا به‌نظر می‌رسد که ما در حجم نیاز داریم که از آب‌های بطری شده استفاده بکنیم؟ ببینید بچه که بودیم یک داستانی داشتیم ما به اسم بلای آپارتمان‌نشینی که سر چشم و هم چشمی گیردادند به آب معدنی به‌قول خودشان که یکی آب معدنی می‌خورد و آن یکی شیشه‌اش را پر می‌کرد می‌گذاشت پشت در که نشان بدهد من دارم هرروز آب معدنی می‌خرم و یکی داخل بطری را هر روز شیر می‌ریخت بعد با آن پله‌های طبقه‌اش را پاک می‌کرد و می‌گفت با این آب‌های عادی نمی‌شود پله را پاک کرد چون گچ می‌زند و سفیدک می‌بندد.

می‌خواهم بگویم این موضوع بیشتر از این‌که یک موضوع بهداشتی باشد موضوع فرهنگی است که نیازمند یک‌سری کمپین‌هایی هست که من بپرسم تو چرا آب بطری شده استفاده می‌کنی و بعد روی نگرش من کار بشود و ببینید چیزی نیست که من اگر با مقررات، محدودش کنم یا قیمتش را گران کنم کم بشود. یک موقعی بطری گران شد، جدار بطری الان گران شد حدوداً ۲ هزار تومان فقط قیمت پوسته‌اش شده است. من گفتم احتمالاً الان مصرف آب بطری شده به‌شدت کم می‌شود ولی این اتفاق نیفتاد، راجع به خیلی چیزها هست.

راجع به کووید هم امروز من داشتم با دانشجویهایم بحث می‌کردم و همه می‌گفتند تو چرا آن‌قدر به تعامل و communication داری بها می‌دهی! خب یک مقرراتی وضع می‌شود و مردم رعایت می‌کنند دیگر، گفتم اگر اتفاقاً

آلاینده‌های خاص مثل نیترات و فلزات سنگین (مثل آرسنیک) باشند باید از سیستم‌های اسمز معکوس استفاده شود. در ایران حدود بالای ۹۰ درصد سیستم‌های ما اسمز معکوس هستند که این نوع آب خیلی حرف بیشتری برای گفتن دارد.

سوال: در مورد دستگاه تصفیه آب که در سطح شهر به وفور استفاده می‌شود نیاز به نظارت و قوانین سختگیرانه‌تری است. چرا مقدار کلر مطرح است؟

خانم مهندس رضایی نیا:

بله من اشاره کردم نظارت از طرف سازمان‌های مسئول چه وزارت بهداشت چه شرکت آب و فاضلاب، به دلایل سیاست‌های مربوط به خودشان خیلی کم اتفاق افتاده است که یک گپ در حوزه سیستم‌های ما وجود دارد و نیاز به رایزنی دارد و من به عنوان دانشجو بیشتر از این نمی‌توانستم وارد شوم.

سوال: آیا برای آب‌های غیرشرب استاندارد وجود دارد؟

دکتر جلیلی قاضی زاده:

بله، فقط این جا نکته این هست که آیا ما می‌گوییم غیرشرب خانگی یا غیرشرب غیرخانگی، زیرا استاندارد این دو طبیعتاً باهم متفاوت است. لذا باید کاربردش تعریف شود که برای کجا است. در همین دستورالعملی که در واقع ما آنرا منتشر خواهیم کرد، کیفیت آب غیرشرب خانگی که اشاره شد آمده است. طبیعتاً اگر آبی را می‌خواهید استفاده کنید که هم در بیرون ساختمان هم در داخل ساختمان استفاده شود، در این مواقع باید ببینیم حساس‌ترین مصرف کدام است و براساس آن تعریف می‌شود.

سوال: با توجه آبیاری با آب خاکستری برای آبیاری فضای سبز پیرامون پروژه در ساختمان‌های گروه دال نیاز به آبیاری زیرسطحی دارد چه مشوقی می‌توان برای انبوه‌سازان در نظر گرفت؟

دکتر جلیلی قاضی زاده:

این مشوق‌ها بحث‌های دولتی هست و در واقعیت قضیه نکته‌ای وجود دارد که آن قیمت آب است. طبیعتاً تا زمانی که قیمت آب، همین آبی که در کشور ما توضیح دادم که به مشهد می‌رود (نه این که آن را تایید کنم بلکه فقط قصد اشاره به قیمت آن را داشتم) که هر مترمکعب ۸۰-۹۰ هزار تومان می‌شود. تا زمانی که شما آب

خانم مهندس رضایی نیا:

مطالعه‌ای که به این صورت باشد خیر، من در ایران چنین مطالعه‌ای ندیدم. ولی در سیستم‌های اسمز معکوس بزرگ مطالعاتی انجام شده، اما در زمینه سیستم‌های تصفیه خانگی خیر مطالعه‌ای صورت نگرفته است و تنها نتایج خود را به گزارشاتی که این مقدار آب پرت وجود دارد منتهی کردند. خود ما هم در این خصوص چون جزو اهداف مطالعه ما نبوده مطالعه‌ای نکردیم.

سوال: نگرانی دوم در مورد دستگاه‌های تصفیه خانگی، موضوع کیفیت فیلترهایی هست که مصرفی هستند و دوره‌ای باید تعویض شوند. آیا دستورالعمل و استاندارد وجود دارد؟

خانم مهندس رضایی نیا:

من ذکر کردم که دستورالعمل خاصی وجود ندارد. اما سازمان MSF در واقع در آمریکا یک سری استانداردهایی برای این مورد در نظر گرفته و این سیستم‌ها را تست می‌کند و حالا آن دستگاه‌ها و سیستم‌هایی که در آن جا استفاده می‌شوند طبق نظر MSF هست و تاییدیه MSF بر روی آن‌ها حک شده است. در ایران هم برخی ادعا می‌کنند که سیستم‌های ما MSF را دارد ولی بررسی‌های ما به این نتیجه رسید که اکثراً دروغ بوده و حدود ۹۰ درصد سیستم‌ها فقط در ایران مونتاژ شده و MSF ندارند. شاید تعداد معدودی از شرکت‌ها برندهایی از کشور آمریکا و ایتالیا داشتند که ما تاییدیه برندهای آن‌ها را کنترل کردیم و درست بوده و بقیه ادعایشان کذب بوده است.



سوال: لطفاً در مورد سیستم‌های مورد نیاز در دستگاه‌های تصفیه خانگی بر حسب نوع آب هم توضیح دهید.

خانم مهندس رضایی نیا:

به نوع آب، من اشاره کردم. اگر بخواهم در مورد نوع آب توضیح دهم، توضیحات خیلی زیاد می‌شود ولی با توجه به نوع آلاینده‌هایی که در آب وجود دارد، مثلاً اگر تنها مشکل طعم و بوی آب و یا کدورت باشد، سیستم‌هایی فیلتراسیون کفایت می‌کند. اما اگر

را مترمکعبی ۵۰۰ تومان به مشترک می‌فروشید این انگیزه خیلی کم هست.

سوال: آیا شست‌وشو و تخلیه رسوبات شبکه توزیع آب شهری تا چه حدی در حذف بیوفیلم شبکه توزیع و کیفیت آب از نظر طعم و بو مهم است؟ آیا اصولاً تخلیه و شست‌وشوی شبکه توزیع آب ضرورت دارد؟

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

من قسمت آخر را می‌توانم بگویم بلکه ضرورت دارد، چون ما، هم در ایران شبکه‌ها را شست‌وشو می‌کنیم و هم در تمام دنیا شبکه‌ها شست‌وشو می‌شوند. هر زمان که مشترکین از کیفیت آب اعتراض کنند، شست‌وشو انجام می‌شود. حالا این شست‌وشو ممکن است به علت کدورت یا طمع و یا بوی آب باشد. ممکن است این شست‌وشوی معمولی تمام مشکلات را برطرف نکند. اما قطعاً بدون شست‌وشو اصلاً نمی‌شود شبکه را بهره‌برداری کرد. چون مشترکین هر چند وقت تماس می‌گیرند که در این جا یا رنگ آب و یا طعم آب عوض شده است و ما شبکه را شست‌وشو می‌کنیم و مشکل حل می‌شود. لذا شست‌وشوی شبکه مهم است. البته شست‌وشو روش‌های مختلفی دارد: شست‌وشو با آب، شست‌وشو با آب و هوا و شست‌وشوی فیزیکی شبکه است که هر کدام از این روش‌ها مزایا و هزینه‌های خودشان را دارند.

مهندس واقفی:

خانم مهندس رضایی‌نیا ببینید مواردی که شما مطرح کردید کاملاً درست است. ما یکی از مشکلاتی که داریم بحث همین استاندارد بودن سیستم‌های تصفیه آب خانگی هست و یک موضوع دیگر آن بحث این هست که آیا نظارتی بر سیستم‌های تصفیه خانگی هست یا نیست. ارزیابی‌هایی که شما نشان دادید آیا نشان می‌داد که این سیستم‌هایی که در بازار موجود هستند آیا مطابق استانداردها هست و یا حداقل خروجی آن‌ها می‌تواند مطابق استانداردهای آب آشامیدنی و شرب باشد یا خیر؟

خانم مهندس رضایی‌نیا:

بله، یک سری پارامترها در واقع مطابقت داشت با WHO و استاندارد داخلی خود ما. به عنوان مثال درصد کاهش برخی پارامترها مانند نیکل و فلزات سنگین داشت، درصد قابل توجهی بود که از لحاظ علمی این سیستم‌ها تایید علمی می‌شود. یعنی تکنولوژی که در سیستم‌ها استفاده شده، علم آن‌ها را تایید

می‌کند و هیچ تناقضی بین آن‌ها وجود ندارد. اما استفاده بهینه و به جا و مناسب با کیفیت آب آشامیدنی هر منطقه تعیین‌کننده استفاده بهینه از این سیستم‌ها است. در تحقیق ما روی HTC و باکتریهای هتروتروف بعد از مدت زمان حدود سه ماه که این سیستم‌ها را به صورت پایلوت تست کردیم، افزایش قابل توجهی داشت. علت هم به خاطر همان از بین بردن کلر باقی‌مانده آب هست که اجازه رشد باکتری‌ها بر روی فیلترهای کربنی و غیره را برایشان فراهم می‌کرد.

مهندس واقفی:

بله شما خودتان هم اشاره داشتید، که بحث رشد باکتری‌ها را داشتیم و دلیلش هم این است که در خیلی از دستگاه‌های موجود در ایران از لامپ UV که در واقع گندزدایی‌کننده است استفاده نمی‌شود. از طرفی شاهد کاهش شدید املاح هستیم که خودتان هم در گزارشتان اشاره کردید که برخی از این‌ها هم املاح را کاهش می‌دهند که شاید دیگر از استاندارد آب‌های بطری شده هم خارج می‌شود و مصرف آن برای مصرف‌کننده هم اصلاً مناسب نیست. فقط یک مورد آخر هم بگویم، بعد شما بفرمایید و آن هم این که همان‌طور که شما گفتید به هر حال فیلتری که استفاده می‌شود و یا نوع تصفیه‌ای که استفاده می‌شود باید با توجه به نوع کیفیت آب باشد. متأسفانه وقتی که خارج از آن زمان یا دوره مصرف آن استفاده کنند، فرض کنید فیلتر سه ماه بیشتر زمان ندارد، ولی می‌بینیم که به جای سه ماه، یک سال هم استفاده می‌کنند، آیا این مسئله تأثیری روی کیفیت می‌گذارد؟

خانم مهندس رضایی‌نیا:

بله صد در صد. ما چیزی که در پایلوت تست کردیم و سیستم‌ها را قراردادیم یکی همان بحث مهم میکروبی و رشد شدید باکتری‌ها بوده و یکی هم در واقع عملاً حذفی ما نمی‌دیدیم. یعنی انگار آب ورودی ما مطابق با آب خروجی بود و این دستگاه بعد از این که دوره بهره‌برداری آن سر رسیده بود و بیشتر از آن زمان اتفاق افتاده بود، هیچ تفاوتی با آب ورودی نداشت و حتی بدتر در واقع کیفیت آب اتفاق افتاد و بنابراین خیلی نیاز است که نگهداری و بهره‌برداری این سیستم‌ها در زمان مناسب و به موقع و بهینه انجام شود.

یک سوالی را چند بار دوستان پرسیدند درخصوص نگهداری از این سیستم‌ها، فقط من این نکته را اشاره کنم که دیگر تکمیل باشد. ببینید بهره‌برداری همان‌طور که آقای مهندس اشاره کردند براساس کیفیت آب متفاوت هست. این که ما چه زمانی بخواهیم

خانم دکتر باغبان:

سلام عرض می‌کنم. تشکر ویژه دارم از آقای دکتر یونسین به دلیل مطالعه مروری بسیار بسیار قوی که داشتند. من سوالی را از آقای دکتر یونسین دارم مبنی بر این که در رابطه با Bisphenol A فرمودند که دمای بالا و زمان بالا مجموعه فاکتورهایی بودند که احتمال آزادسازی Bisphenol را در آب بطری شده را افزایش می‌دهند. اگر امکان دارد آقای دکتر بفرمایید که در حقیقت بهترین زمان و بهترین دما برای حداقل آزادسازی Bisphenol را شما در مطالعاتتان چه مقدار به دست آوردید؟

نکته بعدی این که همان طور که فرمودید ۵۰ درصد کل بطری‌ها در کل دنیا از آب‌های شیر پر می‌شود. استاندارد را که برای آب‌های بسته‌بندی شده نوشته شده متأسفانه آلاینده‌هایی که به دلیل واکنش‌های ناخواسته گندزدهایی مانند کلر، چون آب شیر ما در تمام کشور از کلر آزاد باقی‌مانده برخوردار است، به همین خاطر این‌ها دیده نشده. می‌خواستم ببینم که آیا شما در مطالعاتتان در مورد سایر کشورهای دیگر به این موارد برخورد کردید یا خیر؟ سوالی را هم آقای دکتر شاه‌منصوریان پرسیدند مبنی بر این که یخ‌زدگی آب داخل بطری‌ها چه تأثیری بر روی کیفیت آب بطری دارد؟

دکتر یونسین:

خیلی ممنون خانم دکتر. ببینید یکی دیگر از دوستان هم پرسیدند که اگر دما و نور خورشید مشکلی ایجاد نمی‌کند پس چرا این قدر در رابطه با آن صحبت می‌شود؟ هم مطالعه‌ای که ما انجام دادیم و هم مطالعاتی که بقیه جاها استفاده شده بود را نگاه کنیم در واقع مشخص می‌بینیم که همان طور که عرض کردم دما و زمان ماند، هر دو وقتی افزایش پیدا می‌کنند، میزان مهاجرت Bisphenol افزایش می‌یابد. بحث یخ‌زدگی را اول من مطرح کنم. با توجه به رایج بودن این بحث، من کمی نگران شدم که شاید اتفاقاتی مثلاً در فضای نظری، وقتی یخ‌زدگی باعث افزایش حجم می‌شود منجر به فشار به جدار بطری و یک سری میکرو ترک‌هایی در جدار بطری شود. ولی همان طور که عرض کردم حتی وقتی آب را به مدت ۵ الی ۷ بار فریز و دی‌فرست کردیم، مقدار مهاجرت Bisphenol A به عنوان یک آلاینده شاخص کاهش پیدا می‌کرد. بنابراین کمترین زمان همان طور که از هر واکنش فیزیکی و شیمیایی انتظار می‌رود در کمترین دما بود. در واقع همان دمای یخ‌زدگی و این که آیا اصولاً دما باعث افزایش مهاجرت نمی‌شود یا نور خورشید؟ ببینید افزایش پیدا می‌کند. اما همان طور که عرض کردم در بدترین حالاتی که کار کرده بودیم هنوز به ۲۰ درصد

فیلترها را تعویض کنیم برای آبی مثل آب تهران، فیلترهایی که به اسم ۱ و ۲ و ۳ نام‌گذاری می‌کنند، سه ماه کفایت می‌کند و بعد از سه ماه این فیلترها باید تعویض شوند. فیلتر شماره ۴ و ۵ و ۶ بعد از شش ماه باید تعویض شوند. اما برای جایی مثل جنوب و اهواز، حتی کمتر از یک ماه فیلترهای ۱ و ۲ و ۳ ما اشباع می‌شوند و نیازمند تعویض هستند. با توجه به هزینه‌ای که این فیلترها دارند به خصوص فیلتر اسمز معکوس، این نکته باید در نظر گرفته شود.

سوال: در خصوص نهادهای کردن سیستم‌های دو شبکه‌ای با برداشت محدود محله‌ای برای آب شرب با کیفیت‌تر معمولاً در شهرها و روستاهای کویری کشور، در نواحی ساحلی جنوبی کشور که آب نمک‌زدایی شده به شبکه تک لوله‌ای وارد می‌شود، نظر شما چیست؟

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

ببینید این که ما آب را نمک‌زدایی کنیم به منظور این که کیفیت آب شرب را افزایش دهیم مشکلی ندارد و کاری که الان در کشور انجام می‌شود همین کار است. دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن این کار را انجام می‌دهند و کیفیت آب شرب را ارتقا می‌دهند. استاندارد آب شرب هم مشخص است و هیچ مشکلی در قسمت آب شرب ما نداریم. فقط یک سوال هست و آن آبی است که در شبکه معمولی جریان دارد و شما با آن استحمام می‌کنید و برای شست‌وشوی لباس از آن استفاده می‌کنید و یا با آن فضای سبز را آبیاری می‌کنید و یا مسائل دیگر. این جا نکته‌ای که هست آن است که این آب باید حداقل کف استاندارد آب شرب را داشته باشد. یعنی ممکن است این آب کمی لب‌شور باشد و برای آشامیدن مناسب نباشد، ولی این نمی‌تواند خارج از در واقع استاندارد آب شرب باشد. یک نکات دیگری هم هست که عرض کنم خدمتتان. شما فرض کنید آب شور را استفاده می‌کنید، بعد این وارد فاضلاب شده و در تصفیه فاضلاب ما را دچار مشکل می‌کند. ممکن است ما آب شور را استفاده کنیم. این آب وارد شبکه لوله‌کشی شده و باعث خوردگی می‌شود و عمر شبکه را کم می‌کند. در بحث آبیاری، ما استاندارد آبیاری داریم و با هر آبی نمی‌توانیم آبیاری انجام دهیم. لذا نکته این است، در آب شرب بحثی نیست، فقط آب غیرشرب که برای داخل ساختمان، برای مصارفی که با پوست بدن در تماس است، شست‌وشو و روشویی و استحمام، این‌ها دقت کنید که شما با هر آبی نمی‌توانید این مصارف را داشته باشید.

خانم مهندس رضایی‌نیا:

از لحاظ علمی خیر، این دستگاه‌ها مردود نیست و ما خیلی مناطق داریم که با توجه به محدودیت‌هایی که در منابع و هزینه‌ها داریم نمی‌توانیم سیستم‌های تصفیه پیشرفته‌ای داشته باشیم، در مناطقی که دارای آرسنیک و نیترات بالایی هستند. بنابراین ما باید اجازه دهیم مردم از آبی که خودمان می‌دانیم یکی از آلاینده‌های تأثیرگذار بالا هست را استفاده کنند؟ خیر ما در این شرایط باید یک جایگزینی برای این‌ها داشته باشیم. حالا این‌که این جایگزین چه آب بطری و چه آب دستگاه تصفیه خانگی باشد، نیازمند بررسی‌های بیشتری است ولی استفاده از این دستگاه‌ها در مناطقی که ضرورت ایجاد می‌کند پیشنهاد می‌شود و طبق مطالعاتی که در دنیا انجام شده این مسئله تأیید شده است.

سوال: در ساختمان‌هایی که از مخزن آب و پمپ برای کمبود فشار استفاده می‌کنند، با توجه به کم شدن کلر باقی‌مانده برای رعایت بهداشت چه پیشنهادی دارید؟

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

ببینید این یک بحث بسیار مهمی در کشور ما است. در سال‌های اخیر شاهد هستیم که شرکت‌های آب و فاضلاب کاری که انجام می‌دهند فشار شبکه را با اهداف کاهش تلفات و نشت آب کم می‌کنند. نتیجه این موضوع این می‌شود که مردم به پمپ و مخزن روی آوردند. پمپ و مخزن البته یک‌سری مزایایی دارد ولی مشکلات زیادی را به وجود می‌آورد، یکی از مشکلات بحث کیفیت آب است. تا جایی که من اطلاع دارم دو مطلب است. یکی این‌که در حالت خوشبینانه، ما فرض کنیم مخازنی که در ساختمان‌ها هستند هیچ‌گونه ممر ورودی نداشته باشند که البته اکثراً دارند. حداقل این هست که آب در مخزن متوقف می‌شود و زمان ماند دارد، کیفیت آب کاهش پیدا می‌کند. ما مطالعه‌ای چند سال پیش انجام دادیم روی ۱۲ مورد از مخازن تهران و کیفیت قبل از مخزن و بعد از مخزن را گرفتیم و مقاله آن در مجله آب و فاضلاب اصفهان منتشر شده است. تمام آن‌ها نشان می‌داد که کیفیت آب در خروجی مخزن طبیعتاً از ورودی آن پایین‌تر است. خوشبختانه در مطالعات ما جز یک مورد، باقی موارد، کیفیت کاهش پیدا کرده بود، ولی در حد استاندارد بود. ولی این‌که کیفیت آب کاهش پیدا می‌کند بحثی نیست. اما این‌که گاهی به‌علت سرریز شدن و نشت مخزن و یا به‌علت باز بودن در مخزن، یک آلودگی وارد مخزن شود. من عکس‌های زیادی دارم که متأسفانه این اتفاق می‌افتد. من یک نکته‌ای فقط به دوستان عرض کنم. شما هر زمانی که

استاندارد EPA نرسیدیم. لطفاً توجه داشته باشید که استانداردهای آب و غذا بسیار سخت‌گیرانه هستند. بنابراین از منظر بهداشتی حتی در دما و زمان ماند طولانی ما هنوز با آن‌چه که به‌عنوان استاندارد در کشور آمریکا در نظر گرفته شده فاصله داریم. اما بهتر است از آبی که پشت ویتترین گذاشته شده به‌مدت چند ماه دوری کنیم. درخصوص سوال دیگری که ربطی به آب بطری شده نداشت اگر اجازه بدهید خانم دکتر، جناب آقای دکتر تاج‌الدینی چند بار پرسیدند، در مورد سنگ‌ساز بودن سختی. آقای دکتر شیخ‌الاسلامی البته این فرضیه هرگز مورد تأیید نبوده و واقعیت امر هم همین است. ببینید حتی اگر سختی آب آن‌قدر بالا باشد که رنگ آب را تغییر دهد اصلاً جذب نمی‌شود. در رادیوگرافی محلولی به‌نام سولفات باریوم به مریض می‌دهیم که از فرط غلیظی شبیه حلوا است و قابل بلعیدن نیست و ما بیش از ۱۰۰ گرم از سولفات باریوم در آب حل می‌کنیم ولی اصلاً نگرانش نیستیم چون هیچ جذبی ندارد. تنها فرضیه مطرح این هست که می‌گویند جایی آبش سنگ‌ساز است، یعنی آبی که طراوت ندارد و یا انگیزه‌ای برای مصرف آن وجود ندارد یا بسته به دما و رطوبت و تبخیری که هست مقدار کمتری آب می‌نوشیم. به‌دلیل غلظت ادرار می‌تواند ترکیبات دیگری که ربطی به ترکیبات آب آشامیدنی ندارد، ترکیبات آندوژن هستند. اگر ادرار رقیق باشد این ترکیبات خیلی راحت‌تر دفع می‌شوند. وقتی که کم آب بخوریم و ادرار غلیظ شود، ممکن است آن‌جا سنگ ایجاد شود. بنابراین فرضیه‌ای که بگوید املاح بالا در آب بتواند سنگ‌سازی کند نداشتیم.

خانم دکتر باغبان: خیلی ممنونم از شما، بله همان‌طور که فرمودید واقعاً هم سازمان جهانی بهداشت به این نکته اشاره دارد که به‌هیچ‌عنوان سختی آب ربطی به سنگ کلیه ندارد و آن چیزی که مهم است سه عامل را اثر مثبت می‌داند: یکی بیماری‌های ژنتیکی و عامل وراثت که می‌تواند وجود داشته باشد، مورد بعدی کم تحرکی و استفاده از پروتئین‌های فراوری شده. در واقع حجم آبی که ما می‌خوریم مهم است نه نوع آب. ضمن این‌که سختی را در یک بخشی اشاره می‌کند که بیماری‌های قلبی عروقی با سختی آب رابطه عکس دارند. هر چقدر سختی آب بیشتر باشد بیماری‌های قلبی عروقی به مراتب کمتر هستند. خیلی متشکرم از شما.

سوال: آیا استفاده از دستگاه تصفیه آب خانگی به‌طور کلی در ایران مردود است؟

اختیار کار را به دست مردم دهید با مشکل مواجه می‌شوید. این یک مثال است. مثال داخل ساختمان هم که نشان دادم مثال دیگری بود. این یک مثال است. وقتی ما کیفیت را دست مردم می‌دهیم و مردم مجبور به گذاشتن مخزن می‌شوند که هم فشار شبکه را بالا می‌برند و هم این که کیفیت آب کاهش پیدا می‌کند. این واقعیت دارد و البته گفتم به دو حالت است، یا به صورت معمول کاهش پیدا می‌کند و یا به صورت آلودگی وارد مخزن می‌شود. آن هم به حجم و شرایط مخزن بستگی دارد که مخزن در پارکینگ باشد و یا در پشت بام باشد، که دارای شرایط متفاوتی است.

مهندس واقفی:

ممنون و متشکر. یک نکته‌ای را هم آقای دکتر شاه‌منصوریان از همکاران آب و فاضلاب اعلام کردند که بین سال ۸۸-۸۹ ده برند آب بطری را تست کردند که ۵ مورد ملی بوده و ۵ مورد به استان سمنان و نمونه‌هایی که زیر آفتاب بوده و نمونه‌هایی که داخل یخچال بوده مربوط بودند. نتیجه‌ای که گرفتند، آن‌هایی که زیر آفتاب بودند زودتر از محدوده مطلوب خارج شدند. باید نتایج تحقیقات شما را ببینیم چون با توجه به صحبت‌های آقای دکتر یونسین آفتاب درست هست که واکنش را افزایش داده ولی با این حال هم چنان مشکلی برای کیفیت به لحاظ استاندارد ایجاد نکرده است.

دکتر یونسین:

بله، البته من فقط از منظر ترکیبات خاصی گفتم که طبیعتاً بزرگترین دغدغه این هست. یعنی اگر ما برای این ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز مشکلاتی نبینیم، به طریق اولی برای مهاجرت سایر آلاینده‌ها انتظار داریم مشکلی دیده نشود. ولی به هر حال نتایج را اگر به اشتراک بگذارند استفاده خواهیم کرد.

مهندس واقفی:

در مورد نکته‌ای که آقای دکتر جلیلی قاضی‌زاده مطرح کردند، بحث استفاده از شبکه‌های دوگانه توزیع آب و چالش‌های آن که مطرح کردند، نکته کاملاً درستی است. آن هم این که یک بحثی مطرح بود مبنی بر این که آیا آب بهداشتی اصلاً داریم و می‌توانیم تعریف کنیم یا خیر. در نهایت در مطالعه‌ای که دکتر قاضی‌زاده و بقیه عزیزان انجام دادند؛ آبی تحت عنوان آب بهداشتی نداریم و آب غیرشرب هست که مصارف آن را آقای دکتر اشاره کردند و بسیار محدود است. شاید از نظر این که خواهیم بحث صرفه‌جویی

در مصرف آب را مطرح کنیم بتوان نکاتی را در استفاده از آب خاکستری برای مواردی که برای غیرشرب هست را مطرح کنیم. اما این که بتوان سیستم توزیع دوگانه‌ای را تحت عنوان آب شرب جدا و آب بهداشتی جدا مطرح کنیم واقعاً مردود هست. فقط مواردی که اشاره کردند در ایران استفاده شده، آن هم مربوط به نقاطی بود که از روی ناچاری و چون برخی جاها آب شور بوده به سمت سیستم توزیع دومی پیش رفتیم که بخواهیم آبی حداقل با طعم مطلوب را بتوانیم از طریق سیستم‌های آب شیرین‌کن تأمین کنیم و در اختیار مصرف‌کنندگان قرار دهیم. هرچند که همان‌طور که اشاره شد به هر حال آب برای تمام آن مصارف از جمله، پخت‌وپز، استحمام و سایر مصارف باید مطابق استانداردهای آب شرب و آشامیدن باشد. من نکته دیگری ندارم و فکر می‌کنم وقتان هم تمام شد.

دکتر تابش:

خیلی ممنون و متشکر از زحماتی که کشیدید و ضمن تشکر از ارائه‌کنندگان و حضار محترم.

رتبه سوم ششمین دوره مسابقه پایان نامه برتر در مقطع دکتری، سال ۱۴۰۰
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده علوم (گروه شیمی)

عنوان: تهیه نانوکامپوزیت‌های کروم و منگنز و کاربرد آن‌ها در حذف رنگ و سنتز آلی

نگارش: فرزانه مرادنیا

استاد راهنما: پروفسور علی رضوانی

اساتید مشاور: دکتر سعید تقوی فردود، دکتر فریده گورانلو

تاریخ: تابستان ۱۳۹۹

چکیده

جدا شد. عملکرد نورکاتالیزگری نانوذرات پس از پنج بار استفاده، کاهش چشمگیری نداشت و پایداری ساختاری نانوذرات پس از بازیافت توسط تکنیک XRD مورد بررسی قرار گرفت.

در قسمت چهارم، سنتز موفق نانوذرات CoCr_2O_4 با استفاده از ژل کتیرا به روش سل-ژل به عنوان یک روش دوست‌دار محیط زیست، ارزان و ساده انجام شد. عملکرد نورکاتالیزگری نانوذرات سنتز شده در تخریب نوری رنگ‌زای اریوکروم بلک تی به عنوان یک رنگ‌زای آلی تحت نور مرئی مورد بررسی قرار گرفت.

در قسمت پنجم، نانوذرات مغناطیسی MgFeCrO_4 با ساختار مکعبی اسپینلی و به روش سل-ژل سبز سنتز شدند. نانوذرات مغناطیسی سنتز شده به طور کامل توسط تکنیک‌های FT-IR ، XRD ، BET ، FESEM ، EDX ، VSM و DRS مورد شناسایی قرار گرفتند. رنگ‌زای دایرکت بلک ۱۲۲ به عنوان آلاینده به منظور بررسی فعالیت نورکاتالیزگری نانوذرات مغناطیسی سنتز شده مورد انتخاب قرار گرفت. نتایج نشان داد ۹۶٪ از رنگ‌زای انتخابی در مدت زمان ۶۰ ثانیه تحت نور مرئی تخریب شد.

در قسمت ششم، نانوذرات اسپینل CoMnCrO_4 به روش سل-ژل سبز و با استفاده از ژل کتیرا سنتز شدند. نانوذرات سنتز شده با استفاده از XRD ، FTIR ، SEM و DRS شناسایی شدند. نانوذرات سنتز شده، عملکرد نورکاتالیزگری مناسبی در تخریب رنگ‌زای کنگورد نشان دادند به طوری که ۹۰٪ از محلول رنگ‌زا در مدت زمان ۳۰ دقیقه تحت نور مرئی تخریب شد. در قسمت آخر، روشی مؤثر، کارآمد و ملایم برای سنتز مشتقات تتراهیدروپیریمیدین، پلی‌هیدروکینولین و دی‌هیدروکینازولین در حضور نانوذرات مغناطیسی $\text{NiFe}_2\text{O}_4 @ \text{ZnMn}_2\text{O}_4$ به عنوان کاتالیزگر قابل بازیافت گزارش شد.

کلمات کلیدی: سنتز سبز، نورکاتالیزگر، نانوکامپوزیت، حذف رنگ، هتروسیکل

در این پژوهش برای سنتز نانوکامپوزیت‌ها از یک روش کارآمد و مؤثر منطبق بر اصول شیمی سبز استفاده شده است. در قسمت اول این پروژه نانوکامپوزیت اسپینل تتراگونال MgMn_2O_4 با استفاده از کتیرا به عنوان یک بستر طبیعی به روش سل-ژل سنتز شد. نانوذرات سنتز شده با استفاده از XRD ، FTIR ، SEM ، EDX و DRS شناسایی شدند. کارایی تخریب رنگ‌زای ری‌اکتیو بلو ۲۱ با استفاده از این نانوذرات تحت تابش نور مرئی مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای مؤثر در واکنش مانند مقدار کاتالیزگر نوری، غلظت اولیه رنگ، زمان تماس و اثر نور مرئی مورد بررسی شد. نورکاتالیزگر تهیه شده می‌تواند از محیط واکنش جدا شده و تا ۴ مرتبه بدون کاهش کارایی نورکاتالیزگری مورد استفاده قرار بگیرد.

در قسمت دوم پروژه با استفاده از تکنیک ساده و ارزان سل-ژل و ژل طبیعی کتیرا، نانوذرات اسپینل تتراگونال ZnMn_2O_4 سنتز شدند. نانوذرات به دست آمده با استفاده از XRD ، FTIR ، SEM و DRS شناسایی شدند. نانوذرات سنتز شده، عملکرد نورکاتالیزگری مؤثری در تخریب رنگ‌زای کنگورد نشان دادند به طوری که ۹۶٪ از محلول رنگ‌زا در مدت زمان ۱۵ دقیقه تحت نور مرئی تخریب شد.

در قسمت سوم، نانوذرات مغناطیسی $\text{Mg}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{FeMnO}_4$ به روش سل-ژل سبز سنتز شدند و به طور کامل توسط تکنیک‌های FT-IR ، XRD ، XPS ، BET ، VSM ، FESEM ، TEM ، HRTEM و SAED ، DRS ، EDX و elemental mapping مورد شناسایی قرار گرفت. نانوذرات $\text{Mg}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{FeMnO}_4$ ، عملکرد نورکاتالیزگری مؤثری در تخریب رنگ‌زای ری‌اکتیو بلو ۲۱ نشان دادند به طوری که ۹۶٪ از محلول رنگ‌زا در مدت زمان ۳۰ دقیقه تحت نور مرئی تخریب شد. محصولات جانبی حاصل از تخریب توسط GC-MS بررسی و مولکول‌های کوچک شناسایی شدند. نانوذرات مغناطیسی توسط یک آهن‌ربای خارجی

رتبه اول ششمین دوره مسابقه پایان نامه برتر در مقطع کارشناسی ارشد، سال ۱۴۰۰
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده کشاورزی (گروه مهندسی آب، آبیاری و زهکشی)

عنوان: مقایسه و بهینه سازی حذف ۲-۴-دی کلرو فنوکسی استیک اسید با استفاده از جاذب های کربن فعال، نانولوله های کربنی چند دیواره و بیوچار در سیستم ناپیوسته با استفاده از روش سطح پاسخ

نگارش: بهاره بیگ زاده

اساتید راهنما: دکتر مهدی بهرامی، دکتر محمد جواد امیری

تاریخ: زمستان ۱۳۹۶

چکیده

بسیار تنگاتنگی با سطح مخصوص جاذب ها دارد. زمان بهینه تعادل برای جذب ۲-۴-دی برای جاذب های BRH، GAC و MWCNTs به ترتیب ۹۰، ۶۰ و ۵ دقیقه به دست آمد. در نتیجه در مواقعی که محدودیت زمان برای تصفیه آب مدنظر باشد، جاذب MWCNTs گزینه بسیار مناسبی برای حذف ۲-۴-دی است. مقادیر بهینه هر کدام از پارامترهای موثر بر جذب که توسط RSM مشخص شد به ترتیب برای سه جاذب BRH، GAC و MWCNTs برابر است با: میزان pH بهینه ۵/۵، ۵/۵ و ۲، میزان بهینه دما ۶۰، ۶۰ و ۴۰ درجه سلسیوس، مقدار بهینه غلظت اولیه ۴۰۰، ۴۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و دوز جاذب بهینه ۰/۱۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۱۵ گرم و در نهایت درصد حذف کلی ۲-۴-دی در شرایط بهینه توسط هر یک از جاذب ها به دست آمد. برآزش مدل های ایزوترم جذب بر داده های آزمایشی جذب ۲-۴-دی توسط سه جاذب BRH، GAC و MWCNTs نشان داد که مدل فروندلیچ دارای عملکرد بهتری در مقایسه با مدل های لانگمویر و ریدلیچ-پترسون می باشد. حداکثر ظرفیت جذب توسط BRH، GAC و MWCNTs برای حذف ۲-۴-دی، به ترتیب ۲۴۶/۳۱، ۲۷۱/۰۵ و ۲۱۸/۷۴ میلی گرم بر گرم به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که بیوچار به عنوان یک جاذب دوستدار محیط زیست، می تواند جایگزین مناسبی برای رقابت با جاذب های تجاری از جمله کربن فعال و نانولوله های کربنی باشد.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، ۲-۴-دی، ایزوترم، بیوچار، کربن فعال، گرانول، نانولوله های کربنی چند دیواره و RSM.

افزایش کاربرد سموم و کودهای شیمیایی برای افزایش میزان محصولات کشاورزی در تمامی نقاط جهان، باعث ورود سموم از راه های مختلف، به آب و خاک شده و از این طریق به دیگر بخش های محیط زیست منتقل می شوند. علف کش ۲-۴-دی به عنوان یک آلاینده آلی خطرناک و سمی در سموم کشاورزی است، که به دلیل قیمت ارزان و عملکرد خوب در زمین های کشاورزی و مراتع، برای کنترل علف های هرز پهن برگ، بسیار زیاد استفاده می شود. علف کش ۲-۴-دی، سلامت انسان ها و حیوانات را می تواند از طریق مواجهه با هوا، خاک، مواد غذایی و آب های آلوده به خطر بیندازد. بنابراین ضرورت دارد که باقی مانده این علف کش، از طبیعت حذف و زدایش شود. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد بیوچار ساخته شده از شلتوک برنج (BRH)، کربن فعال گرانول (GAC) و نانولوله های کربنی چند دیواره (MWCNTs) برای جذب ۲-۴-دی از محلول های آبی بود. اثر پارامترهای مختلف جذب مانند زمان تماس، دما، غلظت اولیه ۲-۴-دی، میزان جاذب و pH محلول در آزمایش های ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بهینه سازی پارامترهای ورودی به کار رفته و کاهش تعداد آزمایش ها از روش RSM استفاده شد. به منظور تعیین خصوصیت توزیع مولکول های ۲-۴-دی بین فاز محلول و فاز جامد، مدل های لانگمویر، فروندلیچ، لانگمویر-فروندلیچ و ریدلیچ-پترسون مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار جذب ۲-۴-دی توسط سه جاذب به صورت $MWCNTs < BRH < GAC$ است که این روند تغییرات، ارتباط

توسعه در تحقیق و فرآیندهای تصفیه فاضلاب: سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی برای مدیریت فاضلاب
Bioelectrochemical Systems for Wastewater Management

نویسندگان: Maulin Shah, Susana Rodriguez-Couto, Ashok Kumar, Achlesh Daverey

زمان انتشار: دوم اوت سال ۲۰۲۲ (یازدهم مرداد سال ۱۴۰۱ هجری شمسی)

ناشر: Elsevier

فاضلاب صنعتی دارای ترکیبات متنوعی مانند آلاینده‌های آلی خطرناک، فلزات سنگین، نمک‌ها و مواد مغذی است که تصفیه آن را چالش برانگیز می‌کند. از طرفی تصفیه فاضلاب شهری با فناوری‌های موجود به دلیل نیاز به انرژی بالا و کمک به انتشار گاز گلخانه‌ای، مقرون به صرفه نیست. بنابراین استفاده از روش‌های متداول تصفیه، نه پایدار بوده و نه همیشه موثر است. از این نظر، سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی (BES) به عنوان یک فناوری امیدوارکننده برای تصفیه پایدار فاضلاب پیچیده صنعتی، پدیدار شده است. این کتاب، پتانسیل فرآیندهای ترکیبی بر پایه میکروبی و الکتروشیمیایی را برای تصفیه فاضلاب‌های پیچیده صنعتی با اهداف بازیابی ترکیبات ارزشمند و استفاده مجدد از آب، مورد بحث و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. مهم‌ترین مزایای BES، شامل کارایی بالا، سمیت پایین، تصفیه سازگار با محیط زیست بدون تجمع لجن، صرفه جویی و حفظ انرژی است. سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی (BES) به عنوان سکویی در حال ظهور برای تبدیل انرژی شیمیایی فاضلاب‌های حاوی مواد آلی به برق یا هیدروژن یا مواد شیمیایی با ارزش افزوده هستند. در این کتاب، روندهای اخیر و آینده در خصوص چنین سامانه‌هایی مطرح شده است.

ویژگی‌های کلیدی:

- بحث در خصوص اصول تصفیه بیولوژیکی فاضلاب و سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی، مزایا، محدودیت‌ها و راه‌حل‌های امیدبخش انواع گزینه‌های مختلف بازیابی انرژی فاضلاب؛
- ارائه روندها و توسعه‌های اخیر در خصوص سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی (BES) برای دستیابی به تصفیه پایدار فاضلاب؛
- پوشش دادن کاربردهای BES و فناوری‌های ترکیبی بر پایه BES برای تصفیه فاضلاب؛
- جذب کربن و بازیابی منابع (غیر از انرژی) از فاضلاب توسط سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی (BES)؛
- پرداختن به چالش‌های موجود در زمینه پیاده‌سازی کامل سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی (BES) در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود و جدید.

فهرست مطالب کتاب:

(۱) میکروب‌ها و تصفیه فاضلاب؛ (۲) بازیابی انرژی از تصفیه فاضلاب؛ (۳) سامانه‌های بیوالکتروشیمیایی: مفاهیم اساسی و انواع؛ (۴) تصفیه فاضلاب شهری و بازیابی انرژی توسط BES؛ (۵) پساب‌های صنعتی و بازیابی انرژی توسط BES؛ (۶) فناوری MFC همراه با جلبک - یک سامانه ترکیبی برای تصفیه فاضلاب؛ (۷) جلبک - MFC برای جذب کربن و بازیابی انرژی؛ (۸) پیل میکروبی جذب کربن: جذب کربن، بازیابی انرژی و تصفیه فاضلاب؛ (۹) تالاب - BES ساخته شده: یک سامانه ترکیبی برای تصفیه فاضلاب؛ (۱۰) MBR-BES: یک سامانه ترکیبی برای تصفیه فاضلاب و بازیابی انرژی؛ (۱۱) BES - هضم بی‌هوازی: یک سامانه ترکیبی برای تصفیه پساب صنعتی و بازیابی انرژی؛ (۱۲) وضعیت کنونی فاضلاب در هند/کشورها و مناطق دیگر؛ (۱۳) چالش‌های افزایش مقیاس MES برای تصفیه فاضلاب؛ (۱۴) پیاده‌سازی MES در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود؛ (۱۵) توسعه غشاهای با هزینه کم برای BES؛ (۱۶) توسعه الکترودهای با هزینه کم برای BES؛ (۱۷) پیل نمک‌زدایی میکروبی؛ (۱۸) فناوری نانو در BES.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

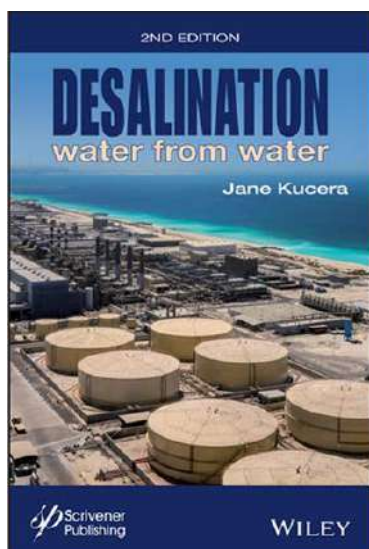
<https://www.elsevier.com/books/development-in-wastewater-treatment-research-and-processes/shah/978-0-323-88505-8>

نمک‌زدایی

نویسنده: Jane Kucera

ناشر: WILEY

زمان انتشار: سال ۲۰۱۹



تقاضای جهانی برای آب "شیرین" به‌طور فزاینده در حال افزایش است. این در حالی است که میزان آب شیرین در دسترس رو به کاهش است. روش‌های متنوعی برای پاسخگویی به افزایش تقاضای آب به کار گرفته شده است. یکی از این روش‌ها که موفقیت زیادی داشته و استفاده از آن در حال افزایش است، نمک‌زدایی است. نمک‌زدایی شامل مجموعه‌ای از فناوری‌ها است که برای تولید آب تمیز از منابع مختلف آب و از منابع مختلف انرژی استفاده می‌شود.

در این کتاب بسیاری از فن‌آوری‌های نمک‌زدایی بررسی شده است. برخی از فناوری‌هایی که در این کتاب ارائه شده است، تجاری‌سازی شده‌اند و امروزه به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. سایر روش‌های ارائه شده در آن نیز در دست توسعه هستند و ممکن است در آینده مورد استفاده قرار گیرند. این کتاب همچنین منابع انرژی تجدیدپذیر (بادی، زمین‌گرمایی و خورشیدی) را به‌عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی ارائه می‌دهد. در تهیه این کتاب کارشناسان خبره جهانی مشارکت داشته‌اند. تجربه نویسندگان شامل دهه‌ها کار در زمینه‌های مربوطه است و دامنه وسیعی از دانشگاه تا صنعت را در دنیای واقعی پوشش می‌دهد. فصول مطالبی که در این کتاب خواهید آموخت عبارتند از:

۱- مقدمه‌ای بر نمک‌زدایی

این فصل تاریخچه و علل نمک‌زدایی را مورد بحث قرار داده و همچنین چارچوبی برای بحث‌های مفصل در مورد فن‌آوری‌های مختلف نمک‌زدایی و فرصت‌هایی برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در نمک‌زدایی را ارائه می‌دهد.

۲- فرآیند نمک‌زدایی حرارتی

این فصل با خلاصه‌ای از مبانی علوم مهندسی مانند ترمودینامیک و انتقال حرارت شروع شده و در ادامه به مبانی طراحی نیروگاه‌های حرارتی می‌پردازد. در انتها نیز شرح مفصلی از تاریخچه نمک‌زدایی حرارتی آب دریا، چشم‌اندازها و چالش‌های آینده برای فناوری‌های نمک‌زدایی حرارتی ارائه شده است.

۳- اصطلاحات و تعاریف پایه

این فصل اصطلاحات اساسی مورد استفاده در ارتباط با سیستم‌های اسمز معکوس (RO) را تعریف می‌کند.

۴- نانوفیلتراسیون - نظریه و کاربرد

نانوفیلتراسیون (NF) یک پیشرفت نسبتاً جدید در فناوری غشاء با ویژگی‌هایی است که بین اولترافیلتراسیون (UF) و اسمز معکوس (RO) قرار می‌گیرد. غشاهای NF قادر به جداسازی یونی و املاح بدون بار کوچک هستند که یک فرآیند غشایی منحصر به فرد است که می‌تواند برای کاربردهای مختلف استفاده شود. در این فصل مروری بر فناوری نانوفیلتراسیون از جمله تاریخچه، تئوری و کاربرد آن پرداخته می‌شود.

۵- اسمز پیش‌رونده

اسمز پیش‌رونده (FO) یک فناوری نمک‌زدایی نوظهور است که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در FO، آب از طریق یک گرادیان فشار اسمزی که توسط یک محلول کششی ایجاد می‌شود، در یک غشای نیمه تراوا هدایت می‌شود. مطالب تکمیلی در این فصل مورد بحث قرار گرفته است.

۶- نمک زدایی الکترودیالیز

الکترودیالیز (ED)، یک فرآیند نمک‌زدایی است که در آن یون‌های نمک باردار الکتریکی از طریق غشاهای تبادل یونی جدا می‌شوند. این روش به‌عنوان یکی از فرآیندهای موثر نمک‌زدایی برای تصفیه آب دریا، فاضلاب، جریان‌های پسماند صنعتی و غیره، قابل استفاده است. توضیحات کامل‌تر در این رابطه را در این فصل دنبال کنید.

۷- الکترودیونیزاسیون پیوسته

الکترودیونیزاسیون پیوسته، ترکیبی از دو فرآیند شناخته شده دیونیزاسیون تبادل یونی و الکترودیالیز است. در این روش امکان تولید آب دیونیزه شده بدون استفاده از اسید خطرناک که برای بازسازی رزین‌های تبادل یونی مورد نیاز است، فراهم شده است. این فرآیند اولین بار در سال ۱۹۸۷ تجاری شده و اکنون به‌طور گسترده در سراسر جهان در بسیاری از صنایع، به‌ویژه در تولید آب دیونیزه برای فرمولاسیون‌های دارویی، تولید برق و ساخت دستگاه‌های میکروالکترونیک/نیمه هادی استفاده می‌شود.

۸- تقطیر غشایی: اکنون و آینده

این فصل مقدمه‌ای جامع از پیشرفته‌ترین روش تقطیر غشایی، شامل اصول نظری پایه، پیکربندی‌های طراحی سیستم، پیشرفت‌های فنی، محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای آینده برای نمک‌زدایی و بازیابی منابع ارائه می‌کند. تمرکز بر دیدگاه‌های تاریخی تقطیر غشایی، جنبه‌های طراحی سیستم از جمله ویژگی‌های غشاء، طراحی ماژول، کاربردها و ارزیابی هزینه خواهد بود. الزامات فنی همراه با مزایا و محدودیت‌ها نیز از نظر ملاحظات اقتصادی و اجرایی مورد توجه قرار خواهند گرفت. انتظار می‌رود که چشم‌اندازهای آتی برای پیاده‌سازی و صنعتی‌سازی فرآیند تقطیر غشایی به‌عنوان یک روش امیدوارکننده برای نمک‌زدایی و بازیابی منابع فراهم شود.

۹- نم‌زدایی-رطوبت‌زدایی و نمک‌زدایی

نم‌زدایی، نم و رطوبت‌زدایی (HDH) شامل تبخیر آب از جریان آب شور و سپس متراکم کردن آن برای تشکیل آب تصفیه شده است. این فصل اشکال مختلف چرخه HDH را با تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در بخش‌های مختلف فرآیند، توصیف می‌کند. مباحث تکمیلی در این باره در این فصل ارائه شده است.

۱۰- فرآیندهای نمک‌زدایی انجماد-ذوب

این فصل یک نمای کلی از فرآیند ذوب انجماد را برای نمک‌زدایی ارائه می‌دهد. مزایای فرآیند ذوب انجماد و به‌دنبال آن کاربردهای آن در نمک‌زدایی در این فصل ارائه شده است. در ادامه با تشریح اجزا و عملیات آن و همچنین مزایا و معایب آن‌ها، انواع مختلفی از فرآیندهای انجماد-ذوب ارائه شده است. در نهایت چشم‌انداز آینده، چالش‌ها و دیگر فرآیندهای هیبریدی ذوب انجماد برای نمک‌زدایی مورد بحث قرار گرفته است.

۱۱- تبادل یون در نمک‌زدایی

تبادل یونی در نمک‌زدایی مستقیم استفاده نمی‌شود. با این حال، رزین‌های تبادل یونی نقش کلیدی در سیستم‌های نمک‌زدایی از طریق پیش‌نرم شدن خوراک اسمز معکوس و حذف انتخابی آلاینده‌هایی که از مرحله غشا نشت می‌کنند، ایفا می‌کنند. در این فصل این موضوع به‌طور مبسوط مورد بحث قرار گرفته است.

۱۲- جذب فلزات سنگین با دیونیزاسیون خازنی: استفاده مجدد از آب، نمک‌زدایی و بازیابی منابع

دیونیزاسیون خازنی (CDI) یک فرآیند جذب الکترونی در حال ظهور است که به‌طور هم‌زمان آب یونیزه شده را برای استفاده مجدد تولید و فلزات سنگین را از آب‌های آلوده بازیابی می‌کند. آزمایش‌هایی در مقیاس کوچک برای بررسی الکتروجدب فلزات و سیانید توسط الکترودهای کربن فعال انجام شده است. در طول ۱۵۸ چرخه تصفیه، CDI کارایی بالایی در حذف فلزات سنگین و رعایت استانداردهای آب آشامیدنی داشت. مباحث تکمیلی در این مورد را در این فصل دنبال کنید.

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه چهارم سال ۱۴۰۰ به شرح زیر است:

- برگزاری اولین جلسه نمایندگان انجمن (۱۴۰۰/۰۹/۲۴)
- برگزاری جلسه ۵۶ هیئت مدیره (۱۴۰۰/۱۰/۰۱)
- برگزاری مجمع عمومی سالیانه انجمن و انتخابات سومین دوره هیئت مدیره و بازرسین انجمن (۱۴۰۰/۱۰/۰۲)
- تقدیر از مسئولین دبیرخانه همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۱۰/۰۲)
- برگزاری جلسه ۵۷ هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۱۰/۰۸)
- انتشار شماره ۳ سال ششم نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب
- برگزاری هفدهمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "سیستمهای آبی پایدار و تاب‌آور" توسط خانم دکتر راضیه فرمانی استاد دانشگاه اگزتر انگلستان (۱۴۰۰/۰۹/۱۵)
- برگزاری جلسات مقدماتی هماهنگی و اولین جلسه شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۱ (۱۴ و ۱۴۰۰/۱۰/۱۸)
- امضای تفاهم‌نامه برگزاری چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران با دانشگاه علوم پزشکی قم (۱۴۰۰/۱۰/۱۸)
- برگزاری جلسه برای جلب مشارکت دانشگاه قم در کنگره ۱۴۰۱ ایران (۱۴۰۰/۱۰/۲۷)
- برگزاری جلسه ۵۸ هیئت مدیره (۱۴۰۰/۱۰/۲۹)
- انتشار خبرنامه شماره ۷۰ انجمن (۱۴۰۰/۱۰/۳۰)
- انجام مصاحبه‌های آقای دکتر نایب عضو محترم هیئت مدیره انجمن شامل: احتمال تغییر رنگ و بو در بخشی از آب تهران (اقتصاد آنلاین) (۱۴۰۰/۱۰/۲۶)؛ میزگرد ورود فاضلاب به سد ماملو (خبرگزاری تسنیم و رادیو گفتگو) (۱۴۰۰/۱۱/۰۳)؛ بالادست سد ماملو چه خبر است؟ بررسی روند تخریب محیط زیست (۱۴۰۰/۱۱/۰۶)
- برگزاری دومین جلسه شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۱ (۱۴۰۰/۱۱/۰۵)
- جلسه واحد بین‌الملل با نماینده UNDP (۱۴۰۰/۱۱/۰۵)
- برگزاری مرحله اول دومین دوره المپیاد آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۰/۱۱/۰۷)
- برگزاری سومین جلسه شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۱ (۱۴۰۰/۱۱/۲۰)
- برگزاری جلسه در سازمان نظام مهندسی (۱۴۰۰/۱۱/۲۷)
- برگزاری جلسه پنجاه و نهم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۱۱/۲۷)
- انتشار خبرنامه شماره ۷۱ انجمن (۱۴۰۰/۱۱/۳۰)
- برگزاری هجدهمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های توزیع آب" توسط دکتر سعید هاشمی دانش آموخته دانشگاه تهران و دانشگاه کوئینز کانادا (۱۴۰۰/۱۲/۰۴)
- شرکت رئیس هیئت مدیره انجمن در اولین نشست وزیر نیرو با نخبگان و اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران برای حل مسائل آب و برق (۱۴۰۰/۱۲/۰۷)
- برگزاری مرحله دوم دومین دوره المپیاد آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۰/۱۲/۱۲)
- برگزاری جلسه ۹ کمیته تخصصی کیفیت آب انجمن (۱۴۰۰/۱۲/۱۵)
- برگزاری نوزدهمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "بازچرخانی و مدیریت کیفی زهاب‌های کشاورزی" توسط دکتر بهمن یارقلی عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (۱۴۰۰/۱۲/۱۵)
- برگزاری چهارمین جلسه شورای سیاستگذاری، جلسه هماهنگی با مسئولین محترم پژوهشی دانشگاه قم، جلسه با مدیرعامل و معاونین محترم شرکت آب و فاضلاب استان قم و جلسه هماهنگی و آموزشی اعضای دبیرخانه کنگره ۱۴۰۱ (۱۴۰۰/۱۲/۱۷)
- برگزاری جلسه ۲۰ کمیته تخصصی تلفات آب انجمن (۱۴۰۰/۱۲/۱۸)
- برگزاری بیستمین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "بازچرخانی آب‌های خاکستری در ساختمان‌های بلند مرتبه و مجتمع‌های مسکونی جدید در قالب مباحث الزامی جهت ساخت مسکن" توسط ۸ نفر از صاحب‌نظران (۱۴۰۰/۱۲/۱۸)
- برگزاری جلسه شصتم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۱۲/۲۶)
- انتشار شماره ۴ سال ششم نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و انتشار خبرنامه شماره ۷۲ انجمن (۱۴۰۰/۱۲/۲۹)

ردیف	رویداد	موضوع (ارائه دهنده)	لینک آپارات
۱	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب (دکتر عبدالله رشیدی)	https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845
		راهکارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب (دکتر حسین ساسانی)	https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448
		مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور (دکتر مجتبی شفیع)	https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530
		نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237
		مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با تاکید بر فناوری‌های ZLD؛ (دکتر عباس اکبرزاده)	https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968
		چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب (دکتر مسعود یونسین، مهندس سلیمه رضایی نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673
		ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها و محدودیت‌ها (دکتر کوروش بهزادیان)	https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803
		سواد آبی در جوامع شهری (دکتر شروین جمشیدی)	https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002
		تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست (دکتر احسان روشنی)	https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047
		ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA) (مهندس هانیه صفرپور)	https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113
		کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب (دکتر سیدحسین سجادی فر)	https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652
		توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با رویکرد تمرکززدایی (دکتر علی حقیقی)	https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753
		نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به هوشمند (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)	https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090
		وبینار تخصصی مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب (دکتر مسعود تابش)	https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690
		وبینار آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و بهداشت محیط (دکتر رحیم عالی)	https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474
		بررسی ۲۵۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین موضوعات تحقیقاتی (دکتر علیرضا بازارگان)	https://www.aparat.com/v/hwC9l?playlist=39248099
		وبینار توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور لحاظ دریاچه‌ها و مخازن (دکتر شروان قراری)	https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537
۲	نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در ژاپن (دکتر یحیی محزون)	https://www.aparat.com/v/epxDt
		سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)	https://www.aparat.com/v/EaeTg
		سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035
		تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320
		هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526
		بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران	https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788
		چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب	https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111
		تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب	https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646
۳	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری	https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246
		چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آبی نیرو در حوزه آب	https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054
۴	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۳۹۸)		https://www.aparat.com/v/V7BNT?playlist=878354
			https://www.aparat.com/v/SHiuG?playlist=943170

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکننده	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران	دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان	اصفهان	۲۰ و ۲۱ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۱	http://www.13ncce.ir/
چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران	انجمن آب و فاضلاب ایران، دانشگاه علوم پزشکی قم و دانشگاه قم	قم	۱ تا ۳ آذرماه ۱۴۰۱	https://iwwa-conf.ir
بیست و یکمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران	انجمن هیدرولیک، دانشگاه شهید چمران اهواز	اهواز	۱۸ و ۱۹ بهمن‌ماه ۱۴۰۱	http://www.13ncce.ir/

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
LET2022- The 17th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies	Reno, Nevada, USA	27 March – 2 April 2022	http://iwa-let.org/
7th Young Water Professionals BeNeLux Conference 2022	Delft, Netherlands	4 – 6 April 2022	https://ywpbenelux.ugent.be/
Wastewater, Water and Resource Recovery Conference	Poznan, Poland	10 – 13 April 2022	http://wwrr.put.poznan.pl/
Singapore International Water Week 2022	Singapore, Singapore	17 – 21 April 2022	https://www.siwv.com.sg/
9th Leading Edge Conference for Strategic Asset Management (LESAM 2022)	Bordeaux, France	12 – 14 May 2022	https://lesam2022.colloque.inrae.fr/
6th IWA YWP México 2022	Culiacán Sinaloa, Mexico	23 – 27 May 2022	https://6thconference.iwa-ywp.mx/es_MX
12th Micropol and Ecohazard Conference	Santiago de Compostela, Spain	6 – 10 June 2022	https://micropol2022.org/
Water Loss 2022	Prague, Czech Republic	19 – 22 June 2022	https://waterloss2022.org/
17th IWA World Congress on Anaerobic Digestion	Ann Arbor, Michigan, USA	19 – 23 June 2022	https://www.iwa-ad17.org/
International Conference for Water Safety Planning 2022	Narvik, Norway	22 – 24 June 2022	http://www.watersafety2022.org/
3rd IWA Disinfection and Disinfection By-Products Conference	Milan, Italy	27 June – 1 July 2022	https://www.disinfectiondbps2022.polimi.it/
13th IWA Specialist conference on Wastewater Ponds and Algal Technologies	Melbourne, Australia	3 – 6 July 2022	https://www.globalwaterinstitute.unsw.edu.au/WPAT22
14th International Conference on Hydroinformatics	Bucharest, Romania	4 – 8 July 2022	https://hic2022.utcb.ro/
New date: The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	10 – 13 July 2022	https://mtc2022.wustl.edu/
IWA World Water Congress & Exhibition 2022	Copenhagen, Denmark	11 – 15 September 2022	http://www.worldwatercongress.org/
13th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation	Beijing, China	11 – 15 October 2022	https://iwa-network.org/events/13th-iwa-conference-on-instrumentation-control-and-automation/
IWA Conference on Sustainable Sludge Management	Beijing, China	18 – 20 October 2022	https://iwa-network.org/events/iwa-conference-on-sustainable-sludge-management/



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

4th IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress

22-24 November 2022 Qom-Iran



محورهای کنگره:

محور ویژه: بررسی چالش های تأمین آب از دریا و انتقال به فلات مرکزی

دانشگاه علوم پزشکی قم و دانشگاه قم

۱ الی ۳ آذرماه ۱۴۰۱

مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۱



www.iwwa-conf.ir



iwwa.conf@gmail.com



[telegram.me/iwwaconf](https://t.me/iwwaconf)



[Instagram.com/iwwsec](https://www.instagram.com/iwwsec)

- رویکردها و فناوری های نوین در طراحی و اجرای بهینه و ساخت تجهیزات طرح های آب و فاضلاب
- چالش های کیفی در حوزه آب، پساب و استفاده مجدد از آب
- نقش نانوفناوری و فناوری های غشایی در تصفیه آب و فاضلاب
- جمع آوری، انتقال، تصفیه، بازچرخانی، استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب و آب های سطحی
- استفاده از آب های نامتعارف همچون پساب و آب های شور و لب شور
- پدافند غیرعامل، مهندسی ارزش، مباحث امنیتی و ایمنی در تاسیسات آب و فاضلاب
- هوشمندسازی، تله متری و کنترل و مدیریت مصرف آب و انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب
- مدیریت سبز و انرژی های پاک در بهره برداری از سیستم های آب و فاضلاب
- تأمین و انتقال آب (با رویکرد آمایش سرزمین)، تصفیه، توزیع و ایمنی آب شرب
- افزایش تاب آوری سامانه های آب و فاضلاب: ارتقاء، بازطراحی، مقاوم سازی و بازسازی
- مدیریت بهره وری منابع انسانی، تأمین منابع مالی پایدار و استفاده از منابع غیردولتی در خدمات آب و فاضلاب
- رویکردهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط زیستی در مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی
- رویکردهای نوین تأمین آب و دفع بهداشتی فاضلاب در روستاها و جوامع کوچک
- استانداردها، ضوابط و تجارب بومی سامانه های آب و فاضلاب

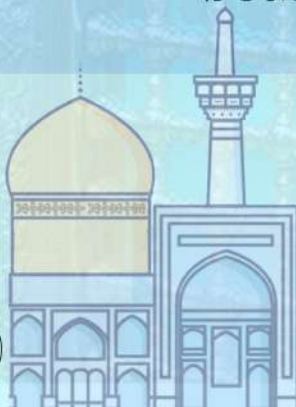


۰۲۵-۳۷۷۳۶۰۱۷



۰۲۵-۳۷۸۳۴۰۷۳

دبیرخانه: قم، میدان روح الله، دانشکده بهداشت
دانشگاه علوم پزشکی قم



	 گروه مینا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا	 HANYCO
 شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	 آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir	 وزارت نیرو شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
 مهندسی برق و الکترونیک	 بنیاد برکت ستاد اجرایی فرمان حضرت امام (ره)	 AZAR SIMAB Private Joint Stock Co.
 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب مشهد	 ABSUN ZOLAL SUSTAINABLE & CREATIVE SOLUTIONS	 مهندسين مشاور آبـران
 شرکت آب و فاضلاب استان قزوین	 شرکت آب و فاضلاب استان یزد Yazd Water and Wastewater Co. www.AbfaYazd.ir	 MARAM مدیریت راهبردی ابنیه مهندسی (مرام)
 شرکت آب و فاضلاب شیراز	 مهندسین مشاور پارس آیین آب	
 شرکت آب و فاضلاب تهران	 وزارت نیرو شرکت مدیریت منابع آب ایران شرکت سهامی آب منطقه ای فارس	 شرکت آب و فاضلاب جنوبی استان تهران
 مهندسين مشاور پارس فرا استان تهران	 شرکت آب و فاضلاب استان تهران Tehran Province Water & Wastewater	 فراسان
 بنیاد علمی آموزشی فنی	 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	 تصفیه پیشرفته پارس Pars Advanced Treatment

 سازمان ارزشی اتمی ایران	 شرکت پلیمر آریا ساسول ARYA SASOL POLYMER COMPANY سهامی خاص	 بنیاد فرسنگی مصطفی نژاد
	 Mobarakeh Steel Co.	 شرکت پتروشیمی غدیر Ghadeer Petrochemical Company (Private Joint Stock)
 شرکت فرایند ارقام پرداز	 شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲ Water and Wastewater Company District 2 of Tehran	 فومن شیمی
 ستاد اجرایی فرمان حضرت امام	 شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی www.abfamarkazi.ir	 شرکت زلال ایران ZOLAL IRAN Co.
 TALAYEH	 BOLANDA Automatic faucets	 دراب جنوب مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست
 SafBon	 هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company Hapico	 APDA Ashtin, Pashayan, Pishro, Apadana آستین پاشیان پیشرو آپادانا
 مهندسین مشاور داهه	 مهندسین مشاور داهه	 مهندسین مشاور داهه
	 شرکت مهندسی فرآب تدبیر	 FARDAD
 پادیاب تزهیز	 NIKA International Inspection Services	

دبیر تخصصی برگزیده



دکتر افشین تکدستان

استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

داوران برگزیده



دکتر حامد توکلی فر

وزارت نیرو



دکتر عباس روزبهانی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران



دکتر بهمن یارقلی

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی



هیئت تحریریه نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب مایل است مراتب تشکر و تقدیر خود را از تمامی داوران محترمی که در طول سال ۱۴۰۰ با در اختیار گذاشتن وقت و توان علمی خود باعث بارورتر شدن غنای علمی و کاربردی این نشریه شدند ابراز نماید.

آزاده احمدی

دانشگاه صنعتی اصفهان

آرش ادیب

دانشگاه چمران اهواز

سید سعید اسلامیان

دانشگاه صنعتی اصفهان

زهرا اکبری

دانشگاه تهران

محمد امیری

دانشگاه صنعتی اصفهان

محمدجواد امیری

دانشگاه فسا

بیتا آیتی

دانشگاه تربیت مدرس

آزیتا بهبهانی نیا

دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن

مهدی بهرامی

دانشگاه فسا

سودابه پورفداکاری

دانشگاه علوم پزشکی بوشهر

مسعود تابش

دانشگاه تهران

سید محمد تاجبخش

انجمن سیستم‌های سطوح آبگیر باران

حمیدرضا تشیعی

دانشگاه علوم پزشکی تهران

افشین تكدستان

دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

عبدالرسول تلوری

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی

حامد توکلی فر

وزارت نیرو

مصطفی تیزقدم غازانی

دانشگاه شهید بهشتی

بهرام ثقفیان

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی

محمد رضا جلیلی قاضی زاده

دانشگاه شهید بهشتی

زهرا جمشیدزاده

دانشگاه کاشان

کاوه حریری اصلی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد فومن و شفت

یوسف حسن زاده

دانشگاه تبریز

امیر حسام حسنی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مهرداد خشوعی

دانشگاه کاشان

مهدی دینی

دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

حمید راشدی

دانشگاه تهران

عبدالله رشیدی مهر آبادی

دانشگاه شهید بهشتی

فریبا رضوانی

دانشگاه تهران

عباس روزبهانی

دانشگاه تهران

بردیا روغنی

دانشگاه تهران

سعیده سامانی

پژوهشگاه تحقیقات منابع آب ایران

سید حسین سجادی‌فر

شرکت آب و فاضلاب استان تهران

مطهره سعادت پور

دانشگاه علم و صنعت ایران

سید احمد رضا شاهنگیان

دانشگاه تهران

حسین نایب
مهندسین مشاور
سارا نظیف
دانشگاه تهران
عبدالکاظم نیسی
دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
معصومه نیکفر
دانشگاه تهران
عسگر هورفر
دانشگاه تهران
حسن هویدی
دانشگاه تهران
محمد واقفی
دانشگاه خلیج فارس

اکبر شیرزاد
دانشگاه صنعتی ارومیه
ستار صالحی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار
محمد حسین صرافزاده
دانشگاه تهران
حمیدرضا صفوی
دانشگاه صنعتی اصفهان
مسعود طاهریون
دانشگاه صنعتی اصفهان
جهانگیر عابدی کوپایی
دانشگاه صنعتی اصفهان
محمود علی محمدی
پژوهشکده محیط زیست
اسماعیل فاتحی فر
دانشگاه صنعتی سهند تبریز
محمود فغفور مغربی
دانشگاه فردوسی مشهد
علی اصغر قانع
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
بابک کاکاوندی
دانشگاه علوم پزشکی البرز
ابوعلی گلزاری
دانشگاه علم و صنعت
محمد حسین گلمحمدی
دانشگاه صنعتی اصفهان
محمد جواد محمدی
دانشگاه همدان
مهسا محمودی
دانشگاه تهران
امیر حسین محوی
دانشگاه علوم پزشکی تهران
غلامرضا مهرنوش
شرکت آب و فاضلاب استان فارس
علی مهري زاد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
سید فرهاد موسوی
دانشگاه سمنان

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.

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ (به ازای هر سال)	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۴۰۰ - ۱۴۰۱)	۱۴۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۰ - ۱۴۰۳)	۲۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۰ - ۱۴۰۱)	۱۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقوقی

نوع شرکت	حق عضویت سالانه (ریال)
کوچک	۴۵۰۰۰۰۰
متوسط	۹۰۰۰۰۰۰
بزرگ	۱۵۰۰۰۰۰۰

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

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
لطفا اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir) ارسال فرمایید.

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	٪۱۵	٪۲۰
تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن					-	-	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰
تخفیف خرید مقاله از مجلات انجمن					٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪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					*	*	*	*	*
					*	*	*	*	*

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

نویسنده مسئول مقاله به‌هنگام ثبت مقاله، فایل‌های زیر را برای دفتر مجله از طریق سامانه ارسال می‌نماید:

- فایل word مقاله بدون نام نویسندگان، که شامل کلیه اجزا و محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی 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 حق چاپ (Copy Right): 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).

- فایل تعارض منافع (Conflict of Interests): نامه‌ای است که نویسندگان با مضمون تعهد به رعایت کلیه اصول اخلاق نشر ارسال می‌نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

❖ نام نویسنده(گان):

به‌همان ترتیبی که در مقاله چاپ می‌شود، در یک فایل جداگانه به‌طور کامل آورده می‌شود. عناوین دانشگاهی نویسنده(گان) به‌ترتیب نویسنده: مرتبه علمی، گروه، دانشکده، دانشگاه، شهر، کشور نشان داده می‌شود. عناوین غیر دانشگاهی نیز به‌ترتیب عنوان آخرین مدرک دانشگاهی، سمت، محل کار، شهر و کشور نشان داده شود. ثبت اسامی تمامی نویسندگان به‌همراه 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 این‌صورت 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،

نویسندگان محترم پس از آماده‌سازی مقاله مطابق راهنمای تدوین مقالات، از طریق ثبت‌نام 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 ثبت‌نام 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 به‌هیچ عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.
- وارد کردن اسامی و اطلاعات کامل 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 این‌صورت 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 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.

با توجه به آیین‌نامه جدید نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، از این پس امکان چاپ مقالات پژوهشی نیز وجود دارد و نوع هر مقاله در بالای آن درج خواهد شد.

❖ انواع مقالات:

این نشریه مقالات مروری، پژوهشی، یادداشت فنی (ترویجی) و یادداشت کوتاه را به چاپ می‌رساند. بنابراین نویسنده محترم باید در هنگام ارسال مقاله، نوع مقاله را از بین چهار گروه فوق انتخاب

❖ 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 تحقیق، بیشتر پیرامون آن‌ها است.

❖ متن مقاله:

متن کامل مقاله در دو فایل جداگانه شامل یک فایل ورد 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 و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه می‌شود. در فایل pdf، مقاله به صورت کامل و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه می‌شود. 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، بخش‌های قدرانی 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 و قبل از فهرست مراجع درج می‌شوند. پی‌ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می‌شود.

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب بعد از معرفی آن‌ها در متن مقاله در 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 جدول‌ها 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 موردنظر 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 برحسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند. تمام پارامترهای هر معادله باید بلافاصله در زیر آن معرفی شوند.

❖ مراجع:

نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت (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. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن‌ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می‌شوند. تاکید می‌شود که در بخش فهرست مراجع، نام مجله، انتشارات، موسسه، کنفرانس و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری می‌شود. در متن مقاله نیز 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 (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می‌شود.

❖ مقاله فارسی:

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 غیر فارسی:

Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Rasi Faghihi, N., and Heydarzadeh, R., (2018), "Risk assessment of factors influencing Non-Revenue Water using Bayesian Networks and Fuzzy Logic", *Water*

❖ 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 and K.W. Kinzler (eds.), *The genetic basis of human cancer*, McGraw-Hill, New York, pp. 93-113.

❖ موسسه به جای نویسنده:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

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

❖ پایان نامه:

de Schaetzen, W., (2000), "Optimal calibration and sampling design for hydraulic network models", Doctoral Dissertation, University of Exeter, Exeter, UK.

❖ سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

با توجه به افزایش شدید هزینه‌های انتشارنشریه در سال‌های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که به مجله ارسال می شود باید مبلغ یک میلیون ریال برای هزینه داوری و در صورت پذیرش مقاله نیز مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه انتشار به حساب انجمن واریز و فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 6, No. 4, Winter 2022

License from Ministry of Science, Research and Technology of
Iran: No. 3/18/290129 on 6 March 2017.

License from Ministry of Culture and Islamic Guidance: No.
86092 on 20 January 2020.

Concessionaire: Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
Director-in-Charge: Tabesh, M. (Ph.D.)
Editor-in-Chief: Safavi, H.R. (Ph.D.)

Editorial Board:

Farmani, R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Exeter (UK)
Giustolisi, O. (Ph.D.): Professor, University of Bari (Italy)
Jalili Ghazizadeh, M.R. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Naseri, S. (Ph.D.): Professor, Tehran University of Medical Science
Nazif, S. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran
Rashidi Mehrabadi, A. (Ph.D.): Associate Professor, University of Shahid Beheshti
Safavi, H.R. (Ph.D.): Professor, Isfahan University of Technology
Sajadifar, S.H. (Ph.D.): Tehran Water and Wastewater Engineering Company and Assistant
Professor, Islamic Azad University
Sarrafzadeh, M.H. (Ph.D.): Associate Professor, University of Tehran and Chairholder of
UNESCO Chair on Water Reuse
Savic, D. (Ph.D.): Professor, University of Exeter (UK)
Tabesh, M. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Takdastan, A. (Ph.D.): Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science
Talebbeydokhti, N. (Ph.D.): Professor, Shiraz University
Tanyimboh, T. (Ph.D.): Associate Professor, University of the Witwatersrand, Johannesburg,
South Africa
Torabian, A. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Vosoghi, M. (Ph.D.): Professor, Sharif University of Technology



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

Ghane, A.A. (M.Sc.): Advisor of Managing Director, Iran National Water and Wastewater Engineering Company
Ghannadi, M. (M.Sc.): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water and Wastewater
Engineering Company
Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science
Tabatabaei, A. (M.Sc.): Director General of Operational Supervising Office, Iran Water and Wastewater Engineering
Company

Editorial Staff:
Graphic Designer:
Page Setting:
English Editor:
Publisher:
No. of Prints:
Address:
Tel:
Fax:
Print ISSN:
Online ISSN:
E-Mail:
Print:

Akhtari, N.
Shahangian, S.A.
Akhtari, N.
Ostadrahimi, A.
Iran Water and Wastewater Association (IWWA)
500
No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran
+98 21 88956097
+98 21 88391390
2588-3941
2588-396X
info@jwwse.ir
Farshiveh



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 6, No. 4, Winter 2022

Preface	2
<u>Papers</u>	
Strategies and Policies for the Development of Wastewater Treatment Technologies in Iran Seyyed Mohammad Hadi Meshkati, Nazanin Hamnabard, Alireza Valipour and Abbas Akbarzadeh	4
Investigating the Efficiency of Natural Coagulant Aid (Tragacanth) with PAC in Removal of Turbidity and Coliform Bacteria from Karoon River Water Omid Esteresh, Abdolkazem Neisi, Afshin Takdastan and Mahsa Valipour	15
Turbidity and Some Heavy Metals Removal Efficacy by Poly Aluminium Chloride (PAC) Coagulant in the Presence of Bentonite and Polyelectrolyte Coagulant Aid (Case Study: Isfahan Babashikhali Water Treatment Plant) Fahimeh Mehranfar	23
Pressure-Energy Optimization in Water Distribution Network (Case Study of Baharestan City in Isfahan) Hossein Nasrollahi, Reza Safaei and Seyed Mohamad Hossein Saleh	32
Evaluation of Land Subsidence Due to Water-Level Decline in Kashan Plain Mohammad Fathi and Majid Noorian-Bidgoli	45
Prioritization of Bottlenecks in the Main Stormwater Collection System for Rehabilitation Measures, Case Study: Tehran Catchment, Iran Mohammad Shahsavandi, Jafar Yazdi, Hossein Zangoui and Moein Assefi	58
<u>General Section</u>	
Interview	71
Round-Table	74
Best Thesis	91
Book Presentation	93
IWWA News	96