



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

# علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

انجمن آب و فاضلاب ایران

## پیشگفتار

۲

## مقالات علمی

۶

بررسی عددی مشخصات جریان و ضریب دبی عبوری از سرریز دریچه‌های استوانه‌ای مستغرق با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی  
محمد امین توتونچیان و حمید رستم بیگی

۲۳

بررسی آب مجازی با رویکرد مدیریت منابع آب با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT  
مرضیه مکارمی، فرشته قمی آویلی و علی اکبر مرادی راد

۳۴

بررسی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و مدل‌های آماری (منطقه مورد مطالعه: دشت ورامین)  
محمدعلی اطهری، حمیدرضا عزیزی، سیدشهاب هاشمی، حمیدرضا هنری

۴۴

ارزیابی ریسک غذایی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب) برخوردار از پساب تصفیه‌خانه ناشی از مصرف محصولات زراعی توزیع شده در شهرگران  
محمدرضا شمسایی‌فر، علیرضا پرداختی و مهدی شمس‌آبادی‌زاده

۵۵

بررسی حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از ماده منعقد کننده کلرورفریک سینا کریمی، هادی رمضانی اعتدالی و عباس ستوده‌نیا

۶۲

حفاظت الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور در صنعت آب به کمک اسکادا  
رضا خلجی و محسن جنتی

## مطالب عمومی

۷۷

مصاحبه

۸۲

میزگرد

۹۲

پایان‌نامه برتر

۹۴

ایده برتر

۹۵

معرفی کتاب

۹۷

گزارش فعالیت‌های انجمن

# علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

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

۶..... بررسی عددی مشخصات جریان و ضریب دبی عبوری از سرریز دریچه های  
استوانه ای مستغرق با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی  
محمد امین توتونچیان و حمید رستم بیگی

۲۳..... بررسی آب مجازی با رویکرد مدیریت منابع آب با استفاده از نرم افزار CROPWAT.....  
مرضیه مکارمی، فرشته قمی آویلی و علی اکبر مرادی راد

۲۴..... بررسی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی.....  
با استفاده از تصاویر ماهواره ای Sentinel-1 و مدل های آماری (منطقه مورد مطالعه: دشت ورامین)  
محمدعلی اطهری، حمیدرضا عزیزی، سیدشهاب هاشمی، حمیدرضا هنری

۴۴..... ارزیابی ریسک غذایی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب) برخوردار از پساب تصفیه خانه.....  
ناشی از مصرف محصولات زراعی توزیع شده در شهرگران  
محمد رضا شمسایی فر، علیرضا پرداختی و مهدی شمس آبادی زاده

۵۵..... بررسی حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از ماده منعقد کننده کلرورفریک.....  
سینا کریمی، هادی رضانی اعتدالی و عباس ستوده نیا

۶۲..... حفاظت الکتروپمپ های گریز از مرکز و شناور در صنعت آب به کمک اسکادا.....  
رضا خلجی و محسن جنتی

## مطالب عمومی

۷۷..... مصاحبه

۸۲..... میزگرد

۹۲..... پایان نامه برتر

۹۴..... ایده برتر

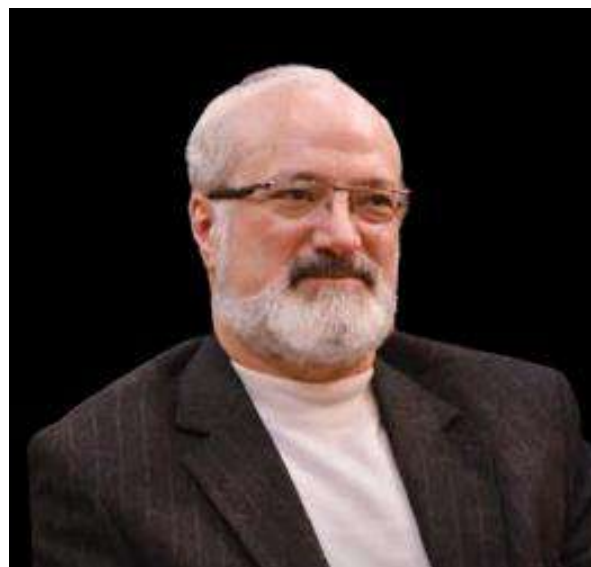
۹۵..... معرفی کتاب

۹۷..... گزارش فعالیت های انجمن





## بهینه سازی مصرف آب در فضای سبز شهرها



دکتر جهانگیر عابدی کویایی

استاد دانشگاه صنعتی اصفهان و

عضو بنیاد علم ایران

(Iran National Science Foundation)

براساس مطالعات موسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب (IWMI) ایران در بین ۱۱۶ کشور از نظر بحران آب در رده ۱۴ قرار دارد که نشان‌دهنده وضعیت نامناسب منابع آب آن است. براساس همین مطالعات ایران باید در سال ۲۰۲۵ برای حفظ وضع موجود بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیافزاید که این افزایش می‌تواند از راه‌های مختلفی از قبیل مدیریت عرضه و تقاضای آب در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب یعنی شرب، کشاورزی، صنعت و فضای سبز صورت گیرد. رشد سریع جمعیت جهان و متناسب با آن افزایش نیاز آبی اعم از مصارف شرب، صنعت، کشاورزی و توسعه شهری فشار زیادی بر منابع آب به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک وارد کرده است. از این‌رو برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از این منبع حیات‌بخش ضروری است. در سال‌های اخیر به‌منظور جلوگیری از آلودگی هوا و ایجاد محیط‌زیست مناسب، نیاز شدیدی به توسعه فضای سبز در داخل و حومه شهرها احساس شده که این امر محل مصرف جدیدی برای آب به‌وجود آورده است. تخصیص جدید آب برای ایجاد فضای سبز، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با مشکلاتی جدی روبرو است، چون در این مناطق، منابع آب شدیداً محدود بوده و تخصیص آب به فضای سبز در رقابت شدیدی با سایر موارد مصرف چون کشاورزی، صنعت و حتی شرب است. بنابراین آب تخصیص یافته به آبیاری فضای سبز دارای ارزش زیادی بوده و باید به‌صورت بهینه و با راندمان زیاد مورد استفاده قرار گیرد. قبل از این‌که به بهینه‌سازی مصرف آب در بخش

فضای سبز بپردازیم، نگاهی گذرا به وضعیت منابع آب کشور خواهیم داشت.

منبع اصلی تأمین آب در ایران بارندگی است که بررسی آمار چند دهه گذشته نشان می‌دهد که سالانه حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب است. از این مقدار حدود ۷۲ درصد آن (۲۹۶ میلیارد مترمکعب) به‌صورت تبخیر و تعرق (از سطح زمین، جنگل‌ها، مراتع، دیم‌زارها و ...) از دسترس خارج می‌شود، حدود ۲۲ درصد آن (۹۲ میلیارد مترمکعب) به‌صورت جریان سطحی درآمده و حدود ۶ درصد آن (۲۵ میلیارد مترمکعب) به منابع آب زیرزمینی نفوذ می‌کند. علاوه بر ریزش‌های جوی، سالانه حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب آب به‌صورت جریان‌های رودخانه‌های مرزی وارد کشور می‌شود. بنابراین با پیوستن این مقدار به مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی (۱۱۷ میلیارد مترمکعب)، منابع آب تجدیدشونده کشور به ۱۳۰ میلیارد مترمکعب می‌رسد. به‌دلیل خشکسالی‌ها و تغییر اقلیم میزان کل آب تجدیدپذیر کشور از متوسط بلندمدت ۱۳۰ میلیارد مترمکعب به حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب و در برخی سال‌های اخیر به ۸۹ میلیارد مترمکعب رسیده است. براساس آخرین آماربرداری بیلان منابع و مصارف آب در کشور، کل میزان برداشت آب در کشور برابر با ۹۶/۳۷ میلیارد مترمکعب است که از این میزان ۸۵/۶ میلیارد مترمکعب (۸۸/۹ درصد) مربوط به بخش کشاورزی، ۸/۰۳ میلیارد مترمکعب (۸/۳ درصد) مربوط به مصارف شرب و ۲/۷۴ میلیارد مترمکعب (۲/۸ درصد) مربوط به مصارف صنعتی است. برخی از چالش‌های مهم بخش آب کشور عبارتند از: تغییر اقلیم و کاهش آب تجدیدپذیر، نابودی و تخریب زیست‌بوم‌های آبی، بهره‌وری کم آب در بخش‌های مختلف و منازعات آبی محلی و منطقه‌ای. واضح است که ادامه سیاست‌ها و روندهای پیشین در بخش آب، آینده این بخش را با چالش‌ها و بحران‌های بیشتری مواجه خواهد ساخت و ابعاد مختلفی از بحران آشکار خواهد شد. در نتیجه تغییر رویکرد اساسی در سیاست‌ها و راهبردهای این بخش لازم است.

در این شرایط تأمین کمی و حفاظت کیفی آب یکی از مسائل مهمی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از سایر مناطق ضرورت می‌یابد. بررسی و شناسایی پتانسیل منابع آبی و منطبق ساختن پتانسیل موجود با انتظارات، از ملزومات اولیه دستیابی به پایداری سیستم‌های منابع آب است. منابع آب زیرزمینی از دیرباز، مورد توجه بوده و نیازهای اولیه بشر را تأمین می‌کرد، در دهه‌های اخیر با رشد جوامع و به‌کارگیری روش‌های نوین بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (مانند روش‌های پیشرفته کاوش، حفاری و پمپ‌های مختلف)، بهره‌برداری نامتوازن از این منبع برای پاسخ به نیاز فزونی یافته بشر بیش از پیش شده است، بهره‌برداری لجام گسیخته آب از آب‌خوان‌ها در اکثر مناطق کشور موجب منفی شدن بیلان آب زیرزمینی شده است.

## فضای سبز و منظرسازی کم نیاز به آب (Xeriscaping)

فضای سبز و در دید جزئی تر درختان از فاکتورهای اصلی و مهم تولید اکسیژن هم چنین جذب گاز دی اکسید کربن هستند، که این عمل درختان ادامه حیات بر روی کره زمین را میسر می سازد. چرا که اکسیژن اصلی ترین ماده لازم و ضروری برای زنده ماندن بسیاری از جانداران مانند انسان ها است. امروزه نقش و اهمیت فضای سبز و درختان بیش از پیش برای همگان مشخص شده است. نقش درختان در تولید اکسیژن کره زمین بسیار مهم است، به نحوی که طبق برآورد دانشمندان هر هکتار جنگل قادر است به طور تخمینی سالانه ۲/۵ تن اکسیژن آزاد کند. هم چنین یک هکتار جنگل قادر است تا ۴۸ تن گرد و غبار هوا را بر شاخ و برگ درختان رسوب دهد. پس از هر بار بارش که شاخ و برگ ها شسته می شوند، جنگل مجدداً می تواند همین مقدار غبار هوا را در خود رسوب دهد. یکی دیگر از خواص مفید و مؤثر درختان این است که در زمستان از برودت هوا و در تابستان از شدت دمای هوای اطراف خود می کاهند.

درختان هوای خشک را مرطوب می کنند، زیرا بخار آب در شهرهای بزرگ و آلوده هم سریع تر از محیط هایی با هوای پاک متراکم می شود و هم بیشتر به باران تبدیل می شود. لذا در سطح شهرها غالباً نسبت به اطراف آن ها ۱۰ درصد میزان بارندگی بیشتر است. ولی با کمال تعجب خشکی هوای شهرهای آلوده نیز ۱۰ درصد بیشتر از اطراف آن ها است. این وضع به علت وجود بتن، آسفالت، شیشه و سایر عوامل مانع ورود باران به سطح زمین در شهرها است که موجب تبخیر بیشتر هم می شود. بنابراین در شهرهای بزرگ وجود درختان یک نعمت انکارناپذیر است. تنها سوخت کامل یک لیتر بنزین اتومبیل حدود ۱۷ مترمکعب هوای تنفسی را آلوده می کند. در شهرهای بزرگ میلیون ها اتومبیل در حرکت هستند. عمده تاً تنها وجود درختان و فضای سبز است که می تواند هوای تنفسی را پاک و تا حدودی قابل تحمل نماید. معمولاً راندمان تصفیه کنندگی هوا به وسیله درختان سه برابر بیشتر از چمن زار و گل بوته ها است. با توجه به نقش ویژه ای که فضای سبز برای رفع مشکلات امروزی در شهرهای بزرگ از جمله جذب دی اکسید کربن، گازهای سمی، تولید اکسیژن و بهبود شرایط آب و هوایی، تغذیه آبخوان ها و ذخیره آب، بهبود روحیه افراد، تفرج، جذب گرد و غبار و آلاینده های جامد، جلوگیری از فرسایش آبی و بادی خاک و زیباسازی منظر دارد، گسترش هرچه بیشتر فضای سبز در درون و اطراف شهرها اهمیت زیادی دارد.

فضای سبز باید از نظر کمی و کیفی متناسب با حجم فیزیکی محیط و نیازهای جامعه با توجه به شرایط اکولوژیکی شهر ساخته شود تا بتواند به عنوان فضای سبز فعال دارای بازدهی محیط زیستی مستمر باشد. ایجاد و احداث فضای سبز در شهرهای بزرگ همیشه دارای محدودیت هایی بوده است. از آن جمله می توان به کمبودهایی

چون زمین مناسب، منابع آبی پایدار، خاک حاصل خیز و محدودیت های مالی اشاره داشت. درحال حاضر مهم ترین محدودیت در نگهداری و توسعه فضاهای سبز موجود و احداث فضاهای سبز جدید، دسترسی به منابع آبی پایدار است. هم اکنون حداقل سرانه فضای سبز در دنیا بین ۵ تا ۵۰ مترمربع متغیر است. استاندارد تعریف شده برای سرانه فضای سبز در ایران ۳۰ مترمربع است. کمبود شدید منابع آبی از عوامل کاهش توسعه فضای سبز است. کمبود آب و آب کم کیفیت به یک مسئله جهانی بدل شده و متأسفانه به نظر می رسد افزایش سریع جمعیت شهری و کاهش منابع آب کمتر با نیازهای آینده هماهنگ است. در این راستا، اصطلاح خشک منظرسازی (Xeriscaping) برای فضای سبز شهرها توسط برنامه ریزان به دلیل کمبود منابع آب ابداع شده است. اصطلاح زری اسکپ یک واژه یونانی و از ترکیب زروس به معنی خشک و کلمه اسکپ به معنی منظر مشتق شده است.

مزایای خشک منظرسازی را می توان در سه دسته اقتصادی، محیط زیستی و زیبایی شناختی جای داد. از مهم ترین دلایل استفاده از خشک منظرسازی صرفه جویی در مصرف آب است. به طوری که در صورت طراحی، اجرا و مدیریت صحیح مصرف آب در محیط باز به میزان ۵۰ درصد کاهش می یابد، بدون آن که به زیبایی و کیفیت فضایی منظر مربوطه لطمه ای وارد شود.

برنامه خشک منظرسازی که در سال ۱۹۸۱ در گروه آب شهر دنور (ایالات متحده) پایه گذاری شده مشتمل بر چند اصل زیر است:

### ۱- برنامه ریزی

برای داشتن یک منظر زیبا بدیهی است که برنامه ریزی برای اجرای اصول منظرسازی خشک، اولین گام محسوب می شود. خشک منظرسازی اهمیت زیادی به برنامه ریزی در فرآیند طراحی می دهد و اساس آن بر مبنای تعیین محدوده (زون بندی) است. این محدوده ها از نظر طراحی منظر دارای اهمیت یکسان در کاربری نیستند و معیار اهمیت دهی آن ها به میزان حضور و بهره برداری کاربران مربوط است. در برنامه ریزی برای مناظر کم نیاز به آب، فضای ناحیه به سه محدوده از نظر مصرف آب تقسیم بندی می شود که عبارت اند از محدوده پرمصرف، محدوده میانه و محدوده کم مصرف. هر فضای سبز می تواند دارای چندین فضا از محدوده های بالا باشد.

### ۲- گزینش گیاهان مناسب و سازگار با مناطق خشک

استفاده از گیاهان مقاوم و بومی یک منطقه، نه تنها به طور کلی مصرف آب را کاهش می دهد، بلکه به دلیل مقاومت گیاه به آفات و امراض و خاک های ضعیف منطقه، هزینه های ناشی از استفاده کود شیمیایی و سموم مختلف نیز کاهش می یابد. علاوه بر این، گیاهان مقاوم تر و بومی، برخلاف گیاهان حساس و غیر بومی و نامناسب، نیاز

کمتری به حذف، جابجایی و واکاری دارند. به علت استفاده گیاهان بومی و به کارگیری از گل‌های رنگارنگ و گیاهان پوششی، در ترکیب با درختان و درختچه‌های زیبا و گونه‌های مقاوم چمن که مطابق با فرهنگ و محیط منطقه هستند، باعث ایجاد منظرهای چشم‌نوازی می‌شوند که سبب احیای محیط شهری می‌شود. علاوه بر این طراحی، اجرا و نگهداری صحیح خشک منظرها این امکان را به مدیران مناطق شهری می‌دهد تا در طول دوره‌های خشکی و کم‌آبی طولانی‌مدت، فضای سبز نه تنها از بین نرود، بلکه با دریافت کمترین صدمه نسبت به فضاهای سبز ناسازگار با شرایط سخت، زیبایی آن فضاها بیشتر و مناظر جذاب‌تری نیز ایجاد شود.

### ۳- استفاده از آبیاری قطره‌ای و فنون دیگر در ارتباط با روش آبیاری

به‌طور کلی محاسنی که باعث رونق روش‌های نوین آبیاری و به‌ویژه توسعه آبیاری قطره‌ای شده را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد: بازده بالای مصرف آب، امکان آبیاری اراضی با شیب‌های زیاد و توپوگرافی نامناسب بدون نیاز به عملیات تسطیح، امکان خودکار نمودن کامل سیستم و کاهش نیروی انسانی لازم، کاهش رشد علف‌های هرز، عدم فرسایش خاک، امکان استفاده بهینه از منابع آب، آسان‌تر و دقیق‌تر بودن عملیات کوددهی، کاهش تبخیر، کاهش نفوذ عمقی، افزایش بازده علف‌کش‌ها و در نتیجه کاهش آلودگی منابع آب و خاک، رشد بهتر گیاه و افزایش محصول، زودرس نمودن محصولات و صرفه‌جویی در انرژی.

### ۴- استفاده از مالچ (خاکپوش)

مالچ‌دهی روش مناسبی برای کاهش هزینه‌های آبیاری، حذف علف‌های هرز، نگهداری فضای سبز و حفظ سلامت گیاه است. مالچ تبخیر از سطح خاک را کاهش می‌دهد، با جلوگیری از فرسوده شدن خاک سبب هوادهی و تهویه بهتر خاک می‌شود و از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند. انواع موادی که به‌عنوان مالچ استفاده می‌شوند عبارتند از: پسماندهای گیاهی، برش‌های علوفه، برگ‌ها، علوفه خشک، کاه، پوست خردشده درخت، خاک اره، تراشه‌های چوب، کمپوست و انواع مالچ‌های رزینی که از بازیافت تایرها و دیگر فرآورده‌های پلاستیکی به‌دست می‌آیند، پوشش‌های پلاستیکی و سنگ‌ریزه‌های ریز و درشت. هم‌چنین مالچ‌ها به‌دلایل متفاوتی به کار برده می‌شوند، اما صرفه‌جویی در مصرف آب از مهم‌ترین دلایل مصرف مالچ در فضای سبز است. مالچ سنگی توسط کشاورزان در نواحی خشک آرژانتین، چین، ایتالیا، پرو، نیوزیلند و آمریکا برای سالیان سال استفاده شده است. مالچ‌های سنگی در کاهش هدررفت آب بسیار موثر هستند و کارایی آن‌ها به ویژگی‌هایی از مالچ مانند موقعیت و ارتفاع مالچ، رنگ، ضخامت، اندازه ذرات و بافت آن‌ها

بستگی دارد. در تحقیقی نشان داده شده است که استفاده از مالچ می‌تواند رواناب حاصل از یک باران با شدت زیاد (۷/۵ سانتی متر بر ساعت) را کاهش دهد. مالچ باعث کاهش فرسایش، افزایش رطوبت، متعادل کردن دماهای حداقل و حداکثر روزانه و افزایش جمعیت و فعالیت زیست‌توده خاک می‌شود. این راهبرد از تشکیل پوسته در سطح خاک جلوگیری می‌کند و هدررفت آب در اثر تبخیر ناشی از باد و تابش خورشید را کاهش می‌دهد. انواع مالچ در فضای سبز نواحی مدیترانه، پرو، شمال غرب آرژانتین، جنوب و شمال آرژونا، نیوزیلند، جزایر قناری و مرکز چین استفاده می‌شود. در جزایر قناری اسپانیا که یکی از خشک‌ترین نقاط اروپا است و دارای بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر و تبخیر و تعرق بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر است، استفاده از یک نوع ماده طبیعی (Tephra)، به‌عنوان مالچ منجر به الگویی از کشاورزی سنتی بدون آبیاری شده است. در این سیستم، از یک لایه ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری استفاده می‌کنند که سطح زمین را می‌پوشاند. تفر (Tephra) به‌عنوان مالچ عمل می‌کند و از کارایی بسیار زیادی در حفظ آب برخوردار است. در پژوهشی که اثر این نوع ماده بر میزان رطوبت خاک به‌مدت سه سال بررسی شده است، در مقایسه با خاک بدون مالچ، خاک‌های پوشیده شده با این نوع مالچ، تا ۸ برابر آب بیشتری در لایه رویی خاک در خشک‌ترین ماه‌های سال نگهداری کردند. بسیاری از مطالعات مقایسه‌ای بین انواع مالچ‌ها نشان می‌دهد که مالچ‌های آلی در حفظ آب بسیار موثرتر از مالچ‌های غیرآلی هستند. در تحقیقات برگ‌هایی که به‌عنوان مالچ استفاده شدند در حفظ آب خیلی موثرتر از زمانی بودند که با خاک مخلوط شدند. به‌طور کلی، مالچ‌ها حداکثر دمای روزانه را در سطح خاک بین ۲/۲-۳/۳ درجه سانتی‌گراد کاهش داده و حداقل دمای روزانه را بین ۱/۱-۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهند. در تحقیقی از سنگ، زئولیت و تفاله‌های مواد معدنی نیز به‌عنوان مالچ استفاده کرده و نتیجه‌گرفتند که مقدار تبخیر تجمعی از سطح مالچ سنگی، ضایعات معدنی و زئولیت به‌ترتیب ۱۶/۶، ۲۰/۳ و ۲۸/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون مالچ) کاهش می‌یابد. هم‌چنین دریافتند که سرعت تبخیر با توجه به نوع مالچ و نحوه کاربرد و ضخامت آن تغییر می‌کند. در دانشگاه کلرادو از انواع مالچ چوبی و سنگی در ترکیب با چمن در اطراف درختان استفاده کردند و دریافتند که انواع مالچ حجم آب مصرفی را ۲۵ تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد. باید از آب اختصاص داده شده به فضای سبز حداکثر استفاده را به‌عمل آورده تا هم مشکل کمبود آب حل شود و هم با راه‌کارهای جدید کاهش مصرف آب بتوان سرانه فضای سبز را در شهرها افزایش داد.

استفاده از انواع مالچ (خاکپوش) در پوشش فضای سبز شهری را می‌توان گامی در اصلاح الگوی مصرف آب قلمداد نمود. تحقیق انجام شده در فضای سبز دانشگاه صنعتی اصفهان نشان می‌دهد، تبخیر آب از خاک پوشیده‌شده با مالچ چوبی بیش از ۵۰ درصد و با مالچ

سنگی حدود ۸۷ درصد در مقایسه با پوشش چمن، کاهش داده شد. همچنین مالچ‌های سنگی و چوبی با ضخامت ۵ سانتی‌متر در مقایسه با کرت بدون پوشش به ترتیب حجم آب مصرفی را ۷۸ و ۲۶ درصد کاهش دادند.

#### ۵- اصلاح خاک بستر با استفاده از مواد اصلاح‌گر

یکی از روش‌های اصلاح فیزیکی خاک، استفاده از مواد اصلاح‌گر (Soil Amendment) از جمله مواد جاذب رطوبت یا پلیمرهای ابرجاذب (Superabsorbent) است. در مناطق خشک، جذب سریع آب و حفظ آن توسط پلیمرهای مصنوعی جاذب رطوبت مانند هیدروژل‌ها و مواد طبیعی جاذب رطوبت مانند سنگ پامیس، پرلیت و کود دامی باعث می‌شود در موقع نیاز ریشه، به راحتی آب در اختیار گیاه قرار گیرد. هیدروژل‌های سوپر جاذب با جذب سریع آب و حفظ آن، بازده جذب آب ناشی از بارندگی‌های پراکنده را افزایش می‌دهند. بدین ترتیب هیدروژل‌های سوپر جاذب ضمن بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز، استفاده بهینه از کود، جلوگیری از تنش‌های ناشی از نوسانات رطوبتی، امکان ایجاد فضای سبز در سطوح شیبدار و مناطق بیابانی را فراهم می‌سازند.

هیدروژل‌های سوپر جاذب با جذب سریع آب و حفظ آن، بازده جذب آب ناشی از بارندگی‌های پراکنده را افزایش می‌دهند. بدین ترتیب هیدروژل‌های سوپر جاذب ضمن بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز، استفاده بهینه از کود، جلوگیری از تنش‌های ناشی از نوسانات رطوبتی، امکان ایجاد فضای سبز در سطوح شیبدار و مناطق بیابانی را فراهم می‌سازند.

با توجه به این‌که pH پلیمرهای سوپر جاذب بین ۵ تا ۷ است، اثر سوء بر خاک نداشته و هیچ‌گونه سمیتی برای خاک ندارند. همچنین پس از ۵ تا ۷ سال، بسته به نوع آن در خاک توسط میکروارگانیسم‌ها تخریب می‌شوند. علاوه بر نگهداری آب در خاک، سوپر جاذب‌ها به علت تغییر حجم مداوم (انبساط به هنگام تورم و انقباض به هنگام دفع آب) میزان هوا را در خاک افزایش می‌دهند. عملکرد هیدروژل‌های سوپر جاذب بستگی به آب و هوای منطقه، شرایط فیزیکی خاک، میزان مصرف آب در خاک و نوع گیاه دارد.

کاربرد سوپر جاذب‌های طبیعی و مصنوعی رطوبت در خاک اطراف ریشه گیاهان، باعث افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک اطراف محیط ریشه می‌شود که این رطوبت به مرور زمان در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. پلیمرهای سوپر جاذب رطوبت (Water Superabsorbent) می‌توانند مقادیر زیادی آب یا محلول آبی را جذب نموده و متورم شوند. این مخازن ذخیره‌ای کوچک وقتی که در داخل خاک قرار می‌گیرند، آب حاصل از آبیاری و بارندگی را به خود جذب نموده و از فرونشست آن جلوگیری می‌نماید. پس از عمل جذب و در اثر خشک شدن محیط آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند. بررسی خواص پلیمرهای فرا جاذب آب در شرایط مشابه درون خاک مطمئن‌ترین روش برای

درک و پیش‌بینی رفتار آن‌ها در سیستم‌های واقعی آب، خاک و گیاه است. استفاده از مواد فرا جاذب آب در دیگر کشورهای جهان از جمله آلمان، آمریکا و استرالیا دارای دیرینه زیاد است. بنابراین باتوجه به خصوصیات این مواد، استفاده از آن‌ها در مناطق دیم، جنگل‌کاری و فضای سبز شهری سودمند به نظر می‌رسد. استفاده از این سوپر جاذب‌ها در فضای سبز شهری و منابع طبیعی باعث طولانی‌تر شدن دور آبیاری می‌شود و این به نوبه خود نیاز به نیروی انسانی و تجهیزات آبیاری را کاهش می‌دهد.

کاربرد مواد جاذب رطوبت، طبیعتاً در دستیابی به روش‌هایی که بتوان از حداقل آب و با کمترین هزینه ممکن در مناطق خشک درختکاری کرد، ایجاد فضای سبز نمود، شرایط محیط‌زیستی را ارتقا داد، انگیزه مردم برای ماندن در مناطق مذکور را افزایش داد و زمینه‌های اشتغال، رشد و توسعه را فراهم آورد، بسیار حائز اهمیت است.

نتایج پژوهشی در دانشگاه صنعتی اصفهان نشان داده است که پلیمر سوپر آب A200 با سطوح مصرف ۴ و ۶ گرم در کیلوگرم خاک توانست نیاز آبی سرو نقره ای و برگ بو را به مقدار حداقل ۳۳ درصد کاهش دهد. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که کاربرد پلیمر با سطح استفاده ۶ گرم در کیلوگرم خاک، توانست زمان رسیدن رطوبت خاک به نقطه پژمردگی دایم گیاه (PWP) را از ۱۲ روز برای شاهد به ۲۲ روز افزایش داد. به طور کلی کاربرد پلیمرهای ابر جاذب در سطوح ۶ و ۸ گرم پلیمر در کیلوگرم خاک میزان رطوبت قابل استفاده را به ترتیب ۱/۵ تا ۳/۵ برابر افزایش داده است.

#### ۶- کاهش منطقی سطوح چمن‌کاری

از لحاظ نیاز آبی چمن از جمله گیاهان با نیاز آبی زیاد است. لذا استفاده از سطوح چمن‌کاری باید به حداقل میزان خود برسد یا حتی نسبت به حذف آن اقدام نمود. در چمن استفاده از گونه‌هایی که در شرایط خشکی به خواب می‌روند باید در اولویت گیاهان مورد استفاده در فضای سبز شهری قرار گیرد، از جمله گونه‌های سردسیری: بلوگرس کنتاکی یا چمن آبی (poa-pratensis) و گرمسیری: چمن آفریقائی.

#### ۷- نگهداری مناسب منظر

شرایط نگهداری باید طوری باشد که تقاضای آب برای گیاه افزایش نیابد. آگاهی کامل در زمینه گونه گیاه انتخاب شده، آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز، چمن‌زنی، مقدار کوددهی، زمان کوددهی و همچنین کنترل آفات و بیماری‌ها باید مدنظر قرار گیرد.

بدین ترتیب با به کارگیری اصول منظر سازی کم‌نیاز به آب و با اعمال مدیریت صحیح و به کارگیری فن‌آوری‌های پیشرفته از طریق حفظ رطوبت، افزایش نگهداری آب در خاک و بهبود وضعیت نفوذپذیری آب در خاک می‌توان بازده مصرف آب را افزایش داد. لذا پیشنهاد می‌شود با توجه به وضعیت منابع آب کشور، اصول منظر سازی خشک به عنوان یک ضرورت در شهرهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک کشور به کار برده شود.



Research Paper

مقاله پژوهشی

## Numerical Investigation of Flow Characteristics and Discharge Coefficients on a Submerged Cylindrical Weir-Gate by Using Computational Dynamics

Mohammad Amin Tutunchian<sup>1\*</sup> and Hamid Rostambeigi<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2- M.Sc. in Water Engineering and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

\*Corresponding Author, Email: [amin@pnu.ac.ir](mailto:amin@pnu.ac.ir)

Received: 22/07/2020

Revised: 22/09/2021

Accepted: 04/10/2021

© IWWA

### Abstract

Combined structure of weir and gate due to the simultaneous flow of suspended material from on the overflow and material deposited in the flow of water from the valve section, provides better conditions compared to other structures used to measure the discharge in the channels. Nowadays, numerical solution methods without the need of laboratory equipment and the ability to calculate the desired parameters, with low time and cost is considered as one of the efficient methods of flow analysis. In this research, by using CFD and numerical solution method with FLOW-3D software for different diameters of combined structure of weir and gate was simulated. Flow simulation was performed in a channel with 3 mm length, 0.4 mm width and 0.5 mm height. The models were studied in cylindrical diameter of 5, 7.5, 10 and 12.5 cm, and for openings gates of 1, 2 and 3 cm. The flow was also simulated and studied for all models at 4 discharges of 12, 16, 20 and 22 lit/s. Comparing the discharge coefficient results with the dimensionless parameter of water depth upstream to water depth downstream of the overflow-valve combined model, it was observed that the numerical results obtained using the RNG turbulence model provide closer data to laboratory results. In the validation stage of numerical results with laboratory outputs of previous researches, the error percentage of the simulated model was calculated to be less than 5%, which indicates the acceptable accuracy of numerical modeling. The results showed that with increasing the flow, when the diameter and opening of the valve are fixed, the flow coefficient increases. At a constant diameter of the overflow-valve model, the flow coefficient decreases in exchange for increasing the valve opening. For a constant flow rate and diameter, changes in flow rate decrease with increasing valve opening height. It was also observed that the curvature of the flow surface profile increases with increasing diameter of the cylindrical model.

**Keywords:** Cylindrical weir-gate, Discharge coefficient, Dimensionless parameters, Numerical solution, FLOW-3D software.

## بررسی عددی مشخصات جریان و ضریب دبی عبوری از سرریز دریچه های استوانه ای مستغرق با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

محمد امین توتونچیان<sup>۱\*</sup> و حمید رستم بیگی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

\*نویسنده مسئول، ایمیل: [amin@pnu.ac.ir](mailto:amin@pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### چکیده

سازه ترکیبی سرریز-دریچه به دلیل قابلیت عبور همزمان مواد معلق از روی سرریز و مواد ته نشین شده در جریان آب از قسمت دریچه، در مقایسه با سازه های دیگری که برای اندازه گیری دبی در کانال ها به کار برده می شوند، شرایط بهتری ایجاد می کند. در این تحقیق با بهره گیری از علم دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار FLOW-3D جریان عبوری برای قطره های مختلف سرریز-دریچه استوانه ای بررسی شد. شبیه سازی جریان در کانالی به طول ۳، عرض ۰/۴ و ارتفاع ۰/۵ متر انجام گرفت. مدل ها برای قطرهای استوانه ای ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ سانتی متر و برای سه بازشدگی دریچه ۱، ۲ و ۳ سانتی متر و جریان در ۴ دبی ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۲ لیتر بر ثانیه مورد مطالعه قرار گرفتند. از مقایسه نتایج ضریب دبی نسبت به پارامتر بدون بعد نسبت عمق آب در بالادست به عمق آب در پایین دست مدل ترکیبی سرریز-دریچه مشاهده شد که نتایج عددی به دست آمده با به کارگیری مدل آشفتگی RNG داده های نزدیک تری به نتایج آزمایشگاهی ارائه می دهند. در مرحله صحت سنجی نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی تحقیقات گذشته، درصد خطای مدل شبیه سازی شده کمتر از ۵ درصد محاسبه شد که بیانگر دقت قابل قبول مدل سازی عددی است. نتایج بررسی ها نشان داد با افزایش دبی، در قطر و بازشدگی دریچه ثابت، ضریب دبی افزایش می یابد. در یک قطر ثابت از مدل سرریز-دریچه، به ازای افزایش بازشدگی دریچه، ضریب دبی کاهش می یابد. به ازای یک دبی و قطر ثابت، با افزایش ارتفاع بازشدگی دریچه، تغییرات ضریب دبی روند کاهشی دارد. همچنین مشاهده شد انحنا ی پروفیل سطح جریان با افزایش قطر مدل استوانه ای بیشتر می شود.

**واژه های کلیدی:** سرریز-دریچه استوانه ای، ضریب دبی، پارامترهای بدون بعد،

حل عددی، نرم افزار FLOW-3D



۱۳۹۵). مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) با مطالعه هیدرولیک جریان عبوری از نمونه آزمایشگاهی سرریز-دریچه نیم استوانه‌ای در یک بازشدگی ثابت، اثر چرخش سازه پیرامون محوری خارج از مرکز نیم استوانه را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد بیشترین و کمترین ضریب دبی به ترتیب در زوایای ۳۳۰ و ۹۰ درجه رخ می‌دهد. همچنین این محققین نتیجه گرفتند که علاوه بر زاویه قرارگیری انحنای نیم استوانه، قطر سازه بر ضریب دبی عبوری از سازه‌ی ترکیبی نیم استوانه تاثیرگذار است. همچنین Masoudian et al. (2013) مطالعاتی را برای بررسی تأثیر اندازه ابعاد کانال بر میزان ضریب تخلیه سازه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای، آزمایش‌هایی در دو کانال مستطیلی با ابعاد متفاوت انجام دادند.

اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹) الگوی جریان عبوری از روی سرریزهای استوانه‌ای را به صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی کردند. در این مطالعه آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی دانشگاه هیدرولیک دانشگاه فردوسی انجام شده و برای مدل سازی جریان در حل عددی از نرم افزار FLUENT استفاده شده است. طول کانال آزمایشگاهی ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع آن ۰/۵ متر بوده است و سرریزها در قطرهای متفاوت ۵۷، ۶۳، ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی متر، در دو حالت بدون پایه و با پایه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج داده‌های آزمایشگاهی و عددی این محققین حاکی از این است محل تشکیل عمق بحرانی قبل از تاج سرریز و جدایش جریان از روی سرریز در ناحیه انتهایی آن صورت می‌گیرد. محل جدایش بستگی به شدت جریان عبوری از روی سرریز داشته و با افزایش آن به سمت پایین دست منتقل می‌شود. تحقیق Chanson (2009) به بررسی اثر گردشگری لبه سرریز بر توزیع فشار و ضریب دبی آن پرداخت و نشان داد که گردشگری لبه سرریز روی الگوی جریان و ضریب دبی موثر است.

Ferro (2000) با استفاده از آنالیز ابعادی براساس تئوری باکینگهام و مدل ISS یک رابطه دبی-اشل برای جریان همزمان از رو و زیر دریچه‌ی قائم لبه پهن به دست آورد. وی در معادله استراخ شده نشان داد پارامترهای بدون بعد نسبت عمق بحرانی به ارتفاع بازشدگی دریچه به ازای مقدار دبی مشخص با پارامتر بدون بعد نسبت هد آب روی دریچه بر میزان بازشدگی آن رابطه مستقیم دارد. Jun-Fu et al. (2001) مشخصات هیدرولیکی و کنترل دبی دریچه‌های قطاعی را بررسی کرده و در طی این آزمایش‌ها معادلات تئوری برای ضریب دبی و ماکزیمم بازشدگی مجاز دریچه برای دریچه‌های قطاعی به دست آوردند. همچنین برای دبی، معادلات بی بعدی برحسب عمق آب بالا و پایین دست

دریچه‌ها و سرریزها برای کنترل سطح آب، تنظیم جریان و همچنین به منظور اندازه‌گیری دبی جریان عبوری از یک مقطع، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با تجمع رسوبات و مواد شناور پشت این سازه‌ها و به دنبال آن تغییر شکل کانال، پس‌زدگی جریان، سرریز شدن آب از جوانب کانال و مشکلات دیگر در بهره‌مندی از این سازه‌ها، محققین این زمینه همواره در تلاش برای افزایش کارایی و دقت عملکرد دریچه‌ها و سرریزها برآمدند و به همین منظور استفاده از سازه ترکیبی سرریز-دریچه را به جای به کارگیری جداگانه این سازه‌ها پیشنهاد نمودند.

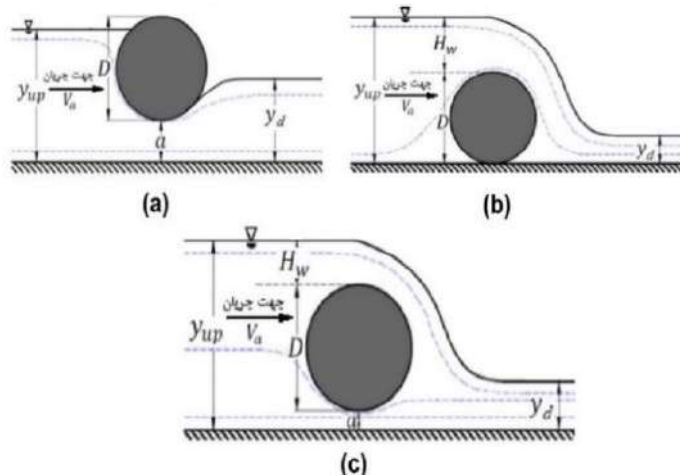
استفاده از سازه ترکیبی سرریز-دریچه به دلیل قابلیت عبور همزمان مواد معلق از روی سرریز و مواد ته‌نشین شده در جریان آب از قسمت دریچه، در مقایسه با سازه‌های دیگری که برای اندازه‌گیری دبی در کانال‌ها به کار برده می‌شوند، شرایطی بهتر و نزدیک به واقعی را فراهم می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود با بهره‌گیری از سازه ترکیبی سرریز-دریچه بتوان با دقت بیشتری دبی را برآورد نمود (Chanson and Montes, 1989). از آنجایی که در سازه‌های ترکیبی سرریز-دریچه، تداخل جریان از زیر دریچه و روی سرریز باعث اختلاط جریان می‌شود، شبیه‌سازی الگوی جریان، سطح آزاد آب و محاسبه پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند ضریب دبی جریان عبوری با پیچیدگی محاسباتی همراه خواهد بود و از این رو بررسی ویژگی‌های جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز-دریچه مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. نقش هندسه استوانه‌ای در انحنای خطوط جریان، طراحی آسان و سهولت ساخت مدل استوانه‌ای به نسبت سایر شکل‌ها باعث شده است که مدل استوانه‌ای برای سازه ترکیبی سرریز-دریچه مورد توجه واقع شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان بازشدگی و اندازه قطر استوانه بیشترین تأثیر را بر عملکرد سازه ترکیبی دارند. از مهم‌ترین پارامترهایی که دبی یک سازه کنترل‌کننده جریان آب به تغییرات آن‌ها حساس بوده و با تغییرات آن عملکرد سازه دچار تغییر می‌شود می‌توان به حساسیت دبی سازه به تغییرات عمق آب بالادست، مقدار بازشدگی دریچه، سطح مقطع جریان عبوری، زبری و شیب کف کانال و همچنین تغییرات دبی در ابتدای سیستم (منبع جریان) اشاره کرد (شاهرخ‌نیا و جوان، ۱۳۸۲).

محققین زیادی به بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان همزمان سازه‌های ترکیبی سرریز-دریچه پرداختند (قادری و همکاران، ۱۳۹۵؛ سلامتی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مهتابی و همکاران،

سرریز حرکت می‌نماید. سوری و همکاران (۱۳۹۳) در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه اوستفالیای آلمان مدل استوانه‌ای را در سه حالت سرریز تنها، مدل سرریز-دریاچه و دریاچه تنها مورد بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها در ۴ قطر استوانه و به ازای بازشدگی‌های مختلف انجام گرفت و نشان داد بیشترین ضریب دبی جریان مربوط به حالتی است که مدل سرریز تنها به کار گرفته شد. همچنین تغییرات قطر سازه با تغییرات ضریب دبی رابطه عکس و با تغییرات افت انرژی رابطه مستقیم داشت.

Severi et al. (2015) با بهره‌گیری از قضیه باکینگهام، پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بی‌بعد مؤثر بر میزان دبی مدل ترکیبی سرریز-دریاچه استوانه‌ای را به دست آوردند. استفاده از مدل ترکیبی سرریز-دریاچه را با هدف افزایش ضریب تخلیه نسبت به حالت به کارگیری جداگانه آن، در مقطع لبه تیز با سرریز دوزنقه‌ای و دریاچه مستطیلی توسط Khassaf and Habeeb (2014) بررسی شد. Saad and Fattouh (2017) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر ایجاد بازشدگی دایره‌ای شکل در سرریز بر روی مشخصات جریان پرداختند. همچنین Fu et al. (2018) به بررسی ضریب دبی جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز-دریاچه پرداختند.

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی ضریب دبی عبوری از سرریز-دریاچه استوانه‌ای مستغرق با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D است. در این راستا از مدل آزمایشگاهی ارائه شده توسط سوری و همکاران (۱۳۹۳) برای کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل عددی تحقیق حاضر استفاده شده است. اهداف فرعی بررسی تأثیر قطر متفاوت و تأثیر مقادیر بازشدگی متفاوت سرریز-دریاچه استوانه‌ای مستغرق در ضریب دبی و مشخصات جریان است. شکل‌های ۱ و ۲ تصاویری از مدل آزمایشگاهی را ارائه می‌دهند.



شکل ۲- تصاویر شماتیک از مدل‌های سوری و همکاران (۱۳۹۳)

ارائه کردند. Hayawi et al. (2008) به بررسی جریان هم‌زمان از روی سرریز مثلثی و زیر دریاچه مستطیلی در حالت آزاد پرداختند. نتایج آزمایشگاهی حاصل نشان داده است که ضریب شدت جریان با افزایش  $\theta$  زاویه رأس سرریز مثلثی، کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت  $P/HW$  نسبت ارتفاع سرریز به هد آب روی سرریز، ضریب دبی کاهش می‌یابد. Masoudian and Gharahgezlou (2012) پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی سرریز استوانه‌ای در کانال آزمایشگاهی کوچک را بررسی نمودند و نتایج آن‌ها به این صورت بود که ضریب دبی عبوری از سرریز استوانه‌ای با افزایش پارامترهای بدون بعد  $Re$ ،  $H_w/y_{up}$ ،  $H_w/R$  و  $We$  افزایش می‌یابد.

کرمی و همکاران (۱۳۹۶ب)، به آنالیز عددی مشخصه جریان عبوری از سرریز استوانه‌ای با استفاده از مدل FLOW-3D پرداختند. آنان در مدل عددی خود به پارامترهای سرعت، فشار، عمق جریان و انرژی جنبشی و آشفتگی در مقطعی از کانال با توجه به موقعیت سرریز بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که عمق و فشار جریان در مقطع قبل از سرریز، مقادیری بزرگتری نسبت به مقادیر مربوط به مقطع بعد از سرریز دارند. در نهایت رابطه‌ای برای تعیین انرژی جنبشی جریان عبوری از سرریز استوانه‌ای ارائه کردند.

کرمی و همکاران (۱۳۹۶الف)، مشخصات جریان عبوری از روی سرریز نیمه استوانه‌ای را با استفاده از نرم‌افزار عددی ANSYS CFX پرداختند. در تحقیق آنان سطح آزاد جریان، توزیع فشار و تأثیر بار هیدرولیکی بالادست و قطر سرریز بر ضریب دبی بررسی شد. نتایج آنان نشان داد که با افزایش شعاع سرریز، مقدار ضریب دبی افزایش می‌یابد و محل ایجاد کمترین فشار بر روی سرریز به ازای افزایش دبی جریان عبوری به سمت بالادست

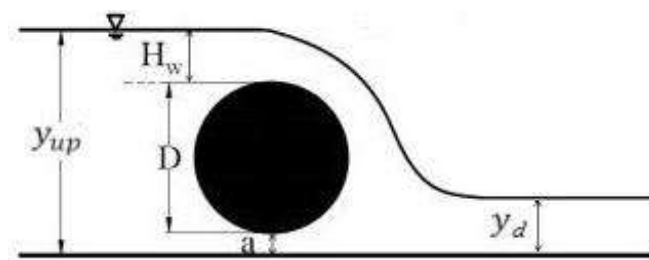


شکل ۱- تصویر واقعی از مدل آزمایشگاهی (سوری و همکاران، ۱۳۹۳)

سرریز-دریچه ضریب دبی افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که افزایش ارتفاع سرریز باعث کاهش تداخل جهت جریان عبوری از سرریز با جریان زیر دریچه شده و این امر باعث افزایش دبی عبوری از مدل ترکیبی می‌شود.

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های نرم افزار Flow-3D در مدل‌سازی معادلات حاکم بر حرکت سیال، سرریز استوانه‌ای با قطر و ارتفاع بازشدگی متغیر واقع در کانالی به طول ۳ متر، عرض کف ۰/۴ متر و عمق ۰/۵ متر مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین صحت‌سنجی نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی سوری و همکاران (۱۳۹۳) انجام شده است. شکل ۲ تصویر شماتیکی از مدل سرریز-دریچه شبیه‌سازی شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- طرح شماتیک از مدل سرریز-دریچه مدل شده در تحقیق حاضر

از مجموع دبی‌های عبوری از زیر دریچه ( $Q_g$ )، و دبی سرریز شده از قسمت فوقانی استوانه ( $Q_w$ ) به‌دست می‌آید. جدول ۱ پارامترهای هیدرولیکی و هندسی سرریزهای جانبی مدل‌سازی تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مدل‌های سرریز - دریچه مورد بررسی شده در تحقیق حاضر

| مدل | بازشدگی‌های مدل (cm) | قطرهای مدل (cm)   | عرض مدل‌ها (cm) | دبی ورودی به کانال اصلی (lit/s) |
|-----|----------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|
| WG  | ۳، ۲، ۱              | ۱۵، ۱۲/۵، ۱۰، ۷/۵ | ۴۰              | ۲۲، ۲۰، ۱۶، ۱۲                  |

تفاوت که ضرایب ثابت موجود در مدل k-ε، که به‌روش تجربی استخراج می‌شدند، در مدل RNG به‌صورت صریح محاسبه می‌شوند. هم‌چنین این مدل به‌منظور شبیه‌سازی حرکت جریان در مقیاس‌های کوچکتر و تأثیرات آن‌ها به‌وسیله نرمال‌سازی مجدد معادلات ناویر-ستوکس گسترش داده شده است. در مدل k-ε، لزجت گردابی به‌وسیله مقیاس طول آشفتگی منفرد تعیین می‌شود، بنابراین پخش آشفتگی محاسبه شده تنها در مقیاس‌های

محققین زیادی به بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان همزمان سازه‌های ترکیبی سرریز-دریچه پرداختند. از جمله آنان می‌توان به Negm et al. (1994) اشاره نمود. ایشان به بررسی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر روی خصوصیات دبی در حالت جریان آزاد از روی یک سرریز منقبض شده مستطیلی و زیر دریچه مثلثی معکوس V شکل با محدوده زوایه‌هایی از ۴۵ تا ۱۱۰ درجه پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند در حالتی که سرریز مثلثی با زاویه ۹۰ درجه و دریچه مستطیلی وجود دارد، نتایج بهتری به‌دست خواهد آمد. هم‌چنین Negm et al. (1997) تأثیر میزان استغراق پایین دست بر دبی جریان در مدل ترکیبی سرریز مثلثی در بالای دریچه مستطیلی و برعکس را بررسی کرده و نتیجه گرفتند نسبت استغراق دریچه هم روی عمق بالادست و هم روی دبی تأثیر می‌گذارد.

قادری و همکاران (۱۳۹۵الف) به ارزیابی ضریب دبی جریان عبوری از سرریز-دریچه کنگره‌ای مستطیلی با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D پرداختند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش ارتفاع

در شکل ۳  $y_{up}$  عمق بالادست جریان برحسب متر،  $y_d$  عمق پایاب سرریز برحسب متر و  $H_w$  عمق جریان عبوری از روی سرریز برحسب متر، و پارامترهای  $a$  و  $D$  به‌ترتیب نشانگر میزان بازشدگی سرریز-دریچه و قطر استوانه هستند. دبی عبوری از سازه ترکیبی

## ۳- فرم ریاضی معادلات حاکم

مدل‌های دارای معادله تنش بر پایه گروه‌های نرمال شده رینولدز ( $RNG^1$ ) استوار است. این رویکرد شامل روش‌های آماری برای حل معادلات متوسط‌گیری شده برای کمیت‌های آشفتگی نظیر انرژی جنبشی آشفتگی و نرخ اتلاف آن است. مدل RNG از روابطی نظیر روابط موجود در مدل k-ε استفاده می‌کند با این

$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{Sk}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (5)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

در مدل  $K - \varepsilon$  (RNG) پارامترهای آشفتگی جریان براساس یک تکنیک آماری دقیق به کمک روابط ریاضی به دست می‌آید و ثابت‌های موجود در این مدل برخلاف سایر مدل‌های آشفتگی صرفاً با استفاده از تئوری و بدون نیاز به تطبیق نتایج با داده‌های تجربی به دست می‌آیند. جدول ۲ اندازه ثابت‌های این مدل آشفتگی را نشان می‌دهد. این روش به دلیل وجود یک ترم اضافی در معادله  $\varepsilon$  در حل آشفتگی جریان‌های کرنشی از دقت بالایی برخوردار است (رودی و شاملو، ۱۳۸۸). ضرایب جدول ۲ در مدل دو معادله‌ای مطابق جدول ۳ است (رودی و شاملو، ۱۳۸۸).

مخصوصی اتفاق می‌افتد. در حالی که در واقعیت، همه مقیاس‌های حرکت در پخش آشفتگی شرکت دارند.

برای حل آشفتگی میدان جریان در این تحقیق نیز مدل آشفتگی  $K - \varepsilon$  (RNG) به کار گرفته شده که در شبیه‌سازی آشفتگی جریان از معادلات (۱) و (۲) استفاده می‌کند:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_k - c_{2\varepsilon}^* \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

پارامترهای موثر در روابط فوق در روابط (۳) الی (۶) به شرح زیر تعریف شده‌اند:

جدول ۲- ثابت‌های مدل آشفتگی  $K - \varepsilon$  (RNG)

| $C_\mu$ | $C_{1\varepsilon}$ | $C_{2\varepsilon}$ | $\sigma_k$ | $\sigma_\varepsilon$ | $\eta_0$ | $\beta$ |
|---------|--------------------|--------------------|------------|----------------------|----------|---------|
| ۰/۰۸۴۵  | ۱/۴۲               | ۱/۶۸               | ۰/۷۱۹۴     | ۰/۷۱۹۴               | ۴/۳۸     | ۰/۰۱۲   |

جدول ۳- ثابت‌های مدل آشفتگی  $K - \varepsilon$

| $C_\mu$ | $C_{1\varepsilon}$ | $C_{2\varepsilon}$ | $\sigma_k$ | $\sigma_\varepsilon$ |
|---------|--------------------|--------------------|------------|----------------------|
| ۰/۰۹    | ۱/۴۴               | ۱/۹۲               | ۱          | ۱/۳                  |

استفاده کرد. مثلاً، در سلول‌هایی که بخشی از سلول توسط مانع اشغال شده، روش FAVOR معادل با درون‌یابی خطی برای شرایط مرزی است. در هنگام مدل کردن سطح آزاد آب، این نرم‌افزار با استفاده از مدل VOF جزء حجم سیال  $F$  را با استفاده از معادله (۷) که معادله جابجایی حاکم بر جزء حجم سیال  $F$  نامیده شده تعیین می‌شود:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( \frac{\partial}{\partial x} (FUA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (FVA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (FWA_z) \right) = 0 \quad (7)$$

$F$ : ضریبی است که بسته به میزان سیال در حجم کنترل، همواره مقداری بین ۰ و ۱ دارد. به طوری که اگر برابر یک باشد حجم کنترل (سلول محاسباتی) پر از سیال بوده و در صورتی که برابر صفر باشد در سلول محاسباتی آبی وجود نداشته و کل حجم

### ۳-۱- تقریبات عددی در مدل عددی Flow-3D

نرم‌افزار Flow-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریبات حجم محدود حل می‌کند. محیط جریان به شبکه‌ای با سلول‌های مستطیلی ثابت تقسیم‌بندی می‌شود، که برای هر سلول مقادیر میانگین کمیت‌های وابسته وجود دارد. یعنی همه متغیرها در مرکز سلول محاسبه می‌شوند به جز سرعت که در مرکز وجوه سلول حساب می‌شود. موانع منحنی شکل، دیوارهای مرزی و سایر اشکال هندسی دیگر، به وسیله تعیین کسر مساحت وجوه و کسر حجم باز به جریان سلول، در شبکه در نظر گرفته شده جای می‌گیرند (روش FAVOR). روش دقت مرتبه اول نسبت به افزایش زمان و مکان، روش عددی اصلی که در Flow-3D استفاده می‌شود. وقتی که شبکه مورد استفاده در روش حجم محدود غیریکنواخت است باید در انتخاب درجه دقت حل عددی توجه کرد. دقت مرتبه دو در این حالت مناسب‌تر است. در همه حالات حداقل می‌توان از دقت درجه یک برای شرایط مرزی

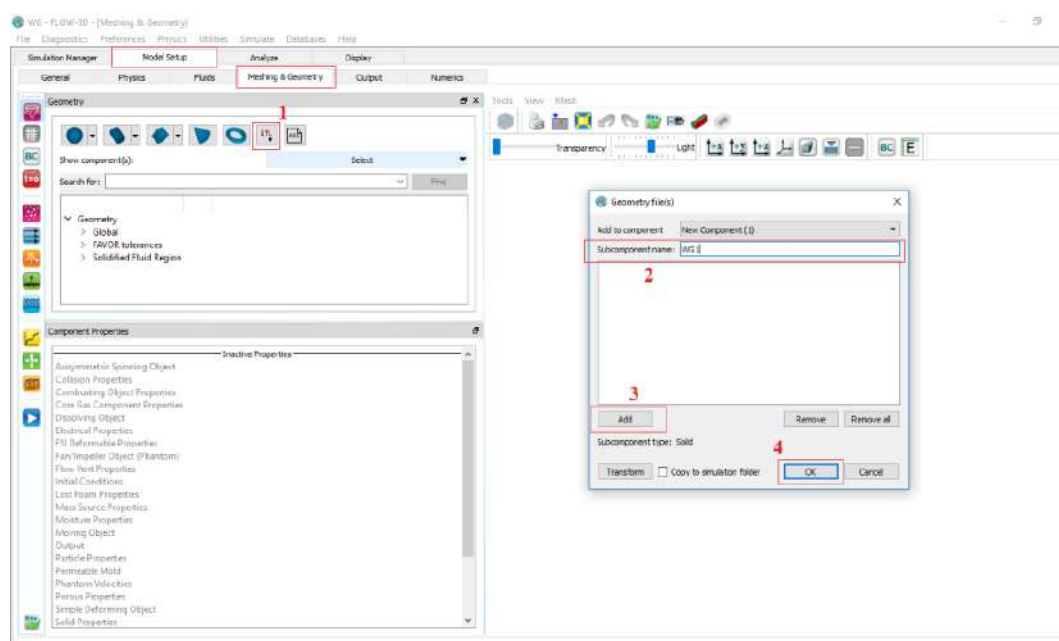


کنترل توسط هوا اشغال شده است (قاسم‌زاده، ۱۳۹۴).

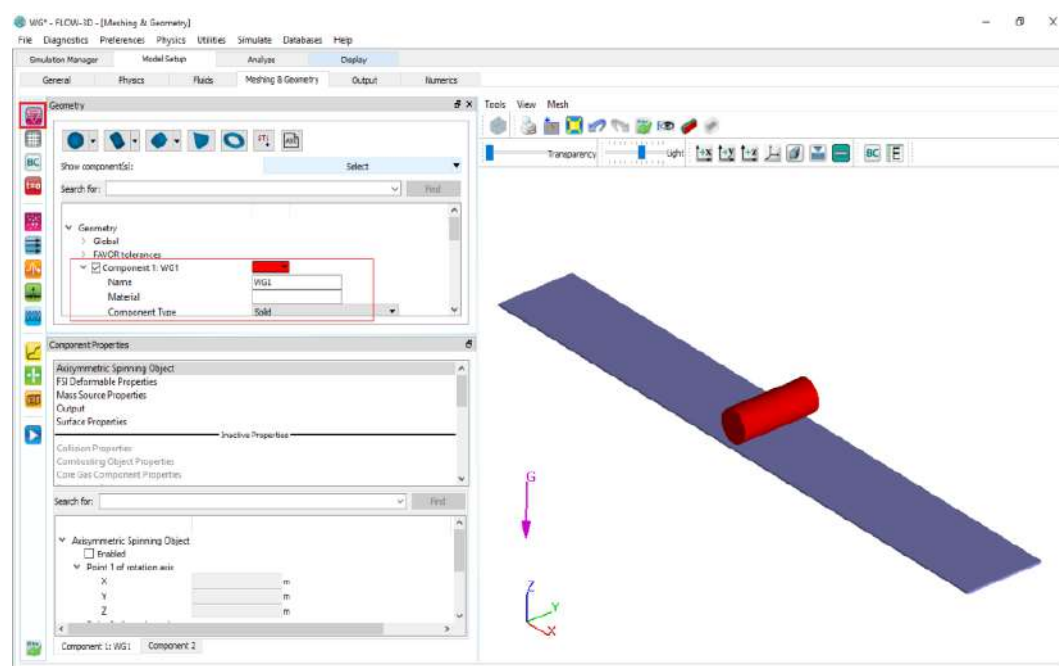
#### ۴- ترسیم هندسه مدل

هندسه مدل‌های سرریز-دریچه تحقیق حاضر با ترسیم شکل هندسی مدل‌های سرریز-دریچه در قطرهای مختلف سرریز در نرم‌افزار ترسیمی اتوکد استفاده شده است. بدین صورت که هندسه سه‌بعدی مدل‌ها از طریق برنامه اتوکد ترسیم و با فرمت STL ذخیره شد. سپس توسط گزینه STL از نرم‌افزار بازخوانی شد. مراحل فراخوانی مدل سرریز-دریچه در نرم‌افزار Flow-3D در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

مهم‌ترین مرحله مدل‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D در زبانه Meshing and Geometry انجام می‌گیرد. در این بخش هندسه محیط شبیه‌سازی به نرم‌افزار معرفی شده و مش‌بندی شبکه حل، شرایط مرزی و شرایط اولیه در مدل اعمال می‌شود. برای ترسیم



شکل ۴- فراخوانی هندسه مدل سه بعدی سرریز-دریچه از گزینه STL

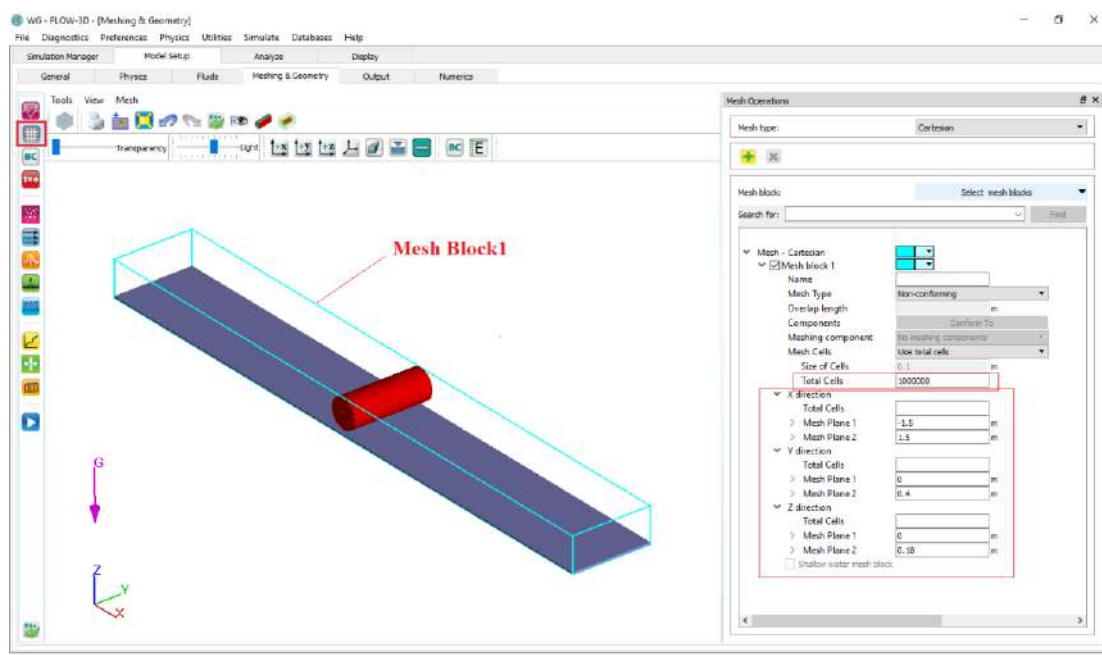


شکل ۵- هندسه سه بعدی سرریز-دریچه در نرم‌افزار Flow-3D

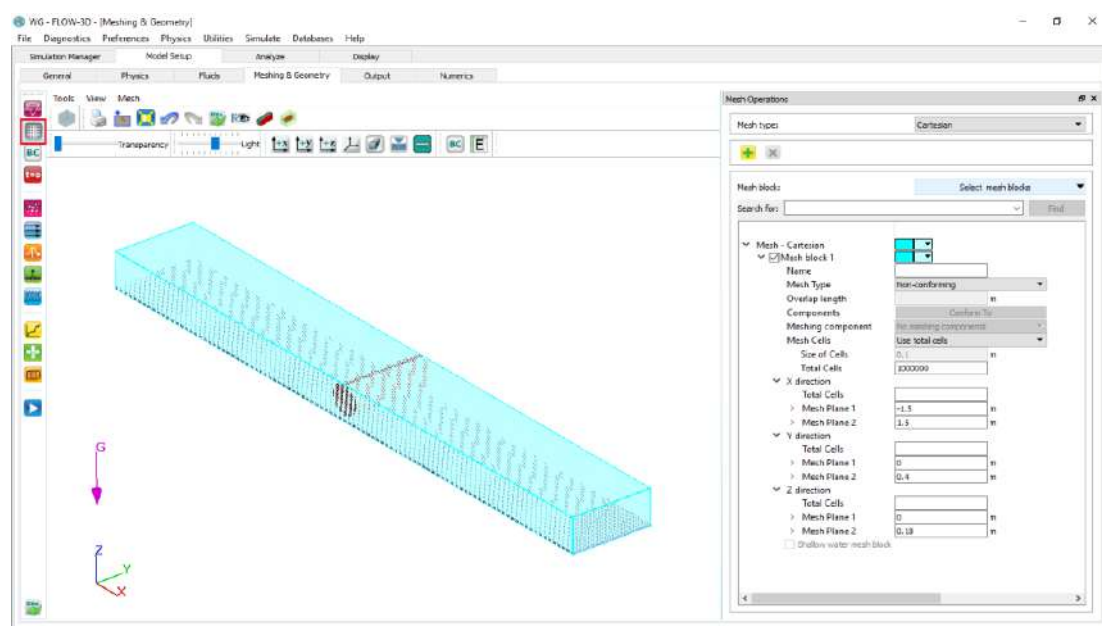
#### ۴-۱- شبکه‌بندی مدل سرریز-دریاچه

پس از ترسیم هندسه مدل، در این مرحله ناحیه حل باید مش‌بندی شود. نرم‌افزار Flow-3D فقط قابلیت تولید شبکه‌های حل منظم مکعبی را دارد. استفاده از شبکه‌های مکعبی علاوه بر قابلیت تولید نتایج مطلوب، باعث افزایش سرعت نرم‌افزار در ایجاد و حل شبکه می‌شود. شبکه‌بندی مدل با استفاده از قسمت Mesh- Cartesian در منوی Meshing and Geometry انجام می‌گیرد. برای ایجاد مش در این مرحله روش‌های متفاوتی وجود دارد،

به‌طوری‌که هم می‌توان برای کل مدل مش‌های هم اندازه در نظر گرفت و یا برای هر بعد اندازه مش‌ها متفاوت باشد. حتی برای یک راستا می‌تواند اندازه مش‌ها غیریکنواخت انتخاب شود. به‌طوری‌که در محل‌هایی از مدل که آشفتگی جریان بیشتر باشد و یا نتایج مدل‌سازی از اهمیت خاصی برخوردار باشد می‌توان اندازه مش‌ها را کوچک‌تر انتخاب کرد. برای مدل‌های مورد بررسی با توجه به ابعاد کانال و مدل سرریز-دریاچه مش‌بندی معقول و بهینه برای مدل به‌صورت زیر انتخاب شد. تعداد و اندازه‌ی مش‌ها در هر راستا و سایر اطلاعات شبکه‌بندی مدل در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- اطلاعات شبکه‌بندی مدل

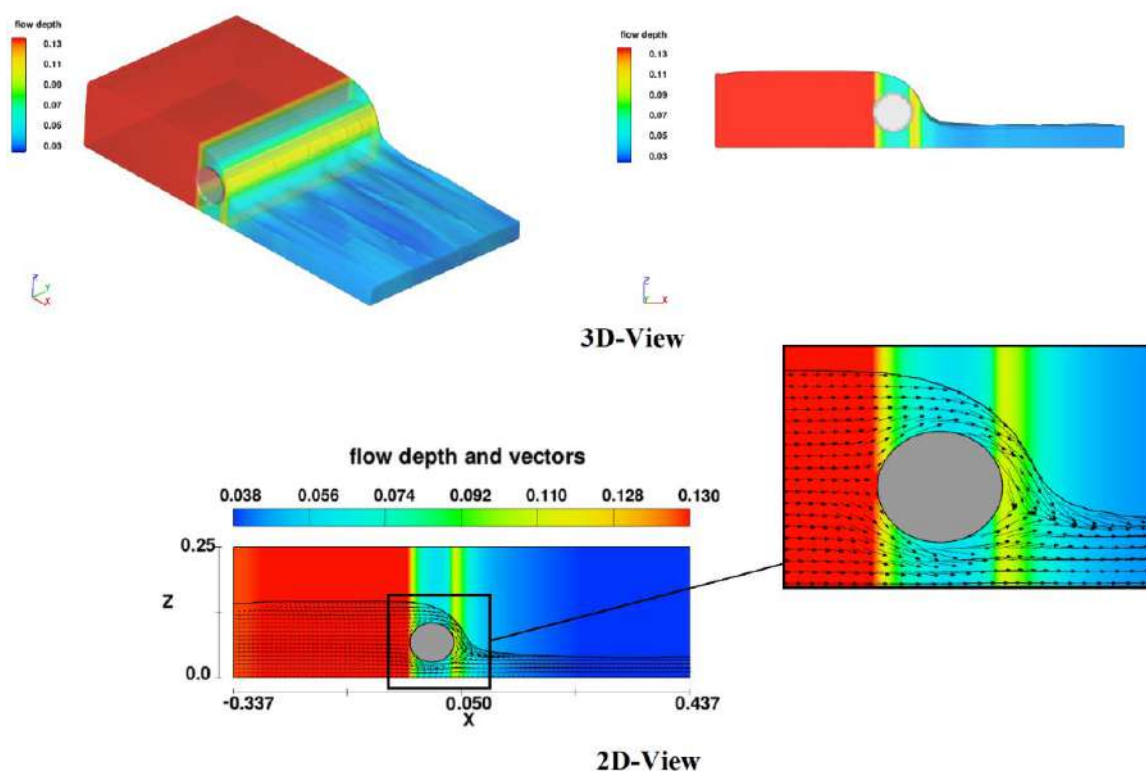


شکل ۷- شبکه‌بندی نهایی مدل سه بعدی کانال و سرریز-دریاچه

رنگ قرمز درآمده و نشان‌دهنده هشدار و پیام خطا است که باید به تعداد و نوع این پیام‌ها دقت شود. پیام‌ها و هشدارهایی که توسط برنامه Flow-3D ظاهر می‌شود در دو دسته پیام‌های هشداردهنده و بازدارنده از اجرای شبیه‌سازی قرار می‌گیرند که ممکن است در هر دو مرحله پیش‌پردازش و اجرای مدل‌سازی ظاهر شوند. در صورت وجود پیام‌های بازدارنده در حین مدل‌سازی حتماً باید خطای موردنظر در مدل برطرف شود.

#### ۳-۴- مشاهده‌ی نتایج

در نرم‌افزار Flow-3D قابلیت استخراج نتایج به‌صورت سه بعدی، دو بعدی، به‌صورت متنی و ... است. در این بخش به‌عنوان نمونه شکل ۸ جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر و بازشدگی ۳ سانتی‌متر را برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد.



شکل ۸- جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای با قطر ۷/۵ و بازشدگی ۳ سانتی‌متر

در نهایت مش‌بندی بهینه برای مدل مذکور انتخاب شد. برای این کار طبق جدول ۴ نتایج ضریب دبی مدل عددی حاضر با نتایج آزمایشگاهی برای مدل سرریز-دریچه با قطر ۷/۵ سانتی‌متر و بازشدگی ۳ سانتی‌متر مقایسه و درصد میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> (MAPE(%)) و خطای جذر میانگین مربعات<sup>۳</sup> (RMSE (gr)) برای هر یک محاسبه شد.

به‌منظور عدم تأثیرپذیری نتایج مدل از تعداد و اندازه مش‌ها، شبکه‌بندی مدل برای تمامی مدل بررسی شده یکسان درنظر گرفته شد. شبکه‌بندی نهایی پس از ترسیم در نرم‌افزار برای مدل سه بعدی کانال و مدل سرریز-دریچه در شکل ۷ نشان داده شده است.

#### ۲-۴- اجرای شبیه‌سازی

پس از انجام مراحل فوق، مدل‌سازی انجام شده و مدل برای شبیه‌سازی جریان آماده است. برای شروع شبیه‌سازی وارد منوی Simulation شده و با انتخاب گزینه Run Simulation از قسمت Simulate کار شبیه‌سازی آغاز می‌شود. پیشرفت شبیه‌سازی در قسمت solver مشاهده می‌شود. در صورتی که در طول شبیه‌سازی جریان هرگونه ناسازگاری در اطلاعات تعریف شده برای مدل توسط نرم‌افزار تشخیص داده شود گزینه Warnings & Errors به

#### ۴-۴- تحلیل حساسیت مش‌بندی در شبکه محاسباتی

در شبکه‌بندی مدل در محیط نرم‌افزار FLOW-3D علاوه بر تعداد مش‌ها، اندازه آن‌ها در هر راستا نیز می‌تواند بر روی نتایج مدل‌سازی تأثیرگذار باشد. برای مدل سرریز-دریچه تحقیق حاضر، با شبیه‌سازی مدل در ۳ حالت مختلف با اندازه مش‌های متفاوت و مقایسه افزایش انطباق نتایج با داده‌های آزمایشگاهی،

جدول ۴- تحلیل حساسیت مش‌بندی در شبکه مدل عددی تحقیق حاضر

| حالت    | قطر استوانه (m) | بازشدگی دریاچه (m) | تعداد مش | دبی ورودی (Lit/s) | مقادیر ضریب دبی در نتایج آزمایشگاهی توسط سوری و همکاران (۱۳۹۳) | مقادیر ضریب دبی در نتایج عددی | درصد میانگین خطای مطلق (MAPE) (%) | خطای جذر میانگین مربعات RMSE |
|---------|-----------------|--------------------|----------|-------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| ۱       | ۰/۰۷۵           | ۰/۰۳               | ۶۹۱۲۶۰   | ۱۲                | ۰/۷۷۳                                                          | ۰/۶۷۸                         | ۱۲/۲۸                             | ۰/۰۹۵                        |
|         |                 |                    | ۶۹۱۲۶۰   | ۲۰                | ۰/۸۵۶                                                          | ۰/۷۵۰                         | ۱۲/۳۸                             | ۰/۱۰۶                        |
| ۱۰۰۰۰۰۰ |                 |                    | ۱۲       | ۰/۷۷۳             | ۰/۷۲۶                                                          | ۶/۰۸                          | ۰/۰۴۷                             |                              |
|         |                 |                    | ۲۰       | ۰/۸۵۶             | ۰/۷۹۶                                                          | ۷/۰۰                          | ۰/۰۶۰                             |                              |
| ۱۸۶۰۰۰۰ |                 |                    | ۱۲       | ۰/۷۷۳             | ۰/۷۴۲                                                          | ۴/۰۱                          | ۰/۰۳۱                             |                              |
|         |                 |                    | ۲۰       | ۰/۸۵۶             | ۰/۸۱۶                                                          | ۴/۵۸                          | ۰/۰۴۰                             |                              |

مطابق جدول ۴ درصد خطای نسبی بین نتایج آزمایشگاهی و عددی ۴/۵۸ درصد محاسبه شد و با توجه به این که درصد خطای مش دوم و سوم تقریباً نزدیک به هم بوده، لذا مش سوم به عنوان مش بهینه با ۱۸۶۰۰۰۰ مش انتخاب شد.

#### ۵- تعریف شرایط مرزی و شرایط اولیه مدل

برای ورودی جریان از شرط مرزی Volume flow rate استفاده و برای بررسی پارامترهای هیدرولیکی جریان در هر ران دبی ورودی به نرم‌افزار معرفی شده است. برای قسمت خروجی کانال شرایط مرزی Continuitive و Outflow به کار برده می‌شوند. در هر دو شرط، مشخصات جریانی که به این مرز می‌رسد بدون هیچ تغییری به خارج از شبکه حل منتقل می‌شود. برای پایین دست سرریز شبیه‌سازی شده شرط مرزی Outflow اعمال شده است. برای جداره‌ها و کف شبکه تحلیل که نقش دیواره‌ها و کف کانال را ایفا می‌کنند از شرط مرزی Wall استفاده شده است. این شرط مرزی دقیقاً مشابه یک دیوار مجازی عمل می‌کند. لازم به ذکر است استفاده از تعریف شرط مرزی Wall برای کف در شبکه، در شرایطی صحیح است که سطح کف کانال کاملاً صاف و بدون زبری باشد. در غیر این صورت کف کانال با استفاده از گزینه Create Box یک Subcomponent تعریف و زبری موردنظر را بر آن اعمال کرد.

برای مرز Z max نیز شرط مرزی Symmetry اعمال شد. این نوع شرط مرزی شرایط بیرون شبکه حل را دقیقاً مشابه شرایط روی مرز داخلی شبکه در نظر می‌گیرد. به صورتی که تا وقتی جریان سیال به این مرز برخورد نکند نرم‌افزار شرایط بالای سطح سیال تا بینهایت را مشابه شرایط اتمسفر شبیه‌سازی می‌کند. ولی در حالتی که جریان سیال به این مرز برسد شرایط بیرون شبکه

حل اشباع از سیال فرض شده و به طور غیرفیزیکی جریان به صورت تحت فشار عمل خواهد کرد. به همین منظور (عدم برخورد جریان سیال با قسمت بالایی شبکه حل) ارتفاع حداکثر شبکه محاسباتی در نرم‌افزار ۰/۴۵ متر در نظر گرفته شده است. پس از اعمال شرایط مرزی، در قسمت Initial شرایط اولیه برای مدل تعریف می‌شود. در این مرحله توزیع فشار در راستای Z هیدرواستاتیکی اعمال شده این مرحله، برای مدل مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین می‌توان مقداری حجم آبی را در داخل کانال اصلی تحت عنوان Fluid Region به نرم‌افزار معرفی کرد.

#### ۵-۱- مدل‌های حل آشفتگی

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در ساخت سیستم‌های پردازش موازی استفاده از حل کامل و تماماً وابسته به زمان معادلات ناویر استوکس برای شبیه‌سازی جریان‌های آشفتگی، به واسطه حجم محاسباتی بسیار بالا، کاملاً غیرمنطقی و تا حد زیادی غیرممکن است. بنابراین برای بررسی جریان آشفتگی در اکثر موارد از معادلات ناویر استوکس متوسط‌گیری شده زمانی استفاده می‌شود. با این عمل یک سری عبارت‌های اضافی در معادلات ناویر استوکس ظاهر می‌شود که از جنس تنش بوده و اصطلاحاً تنش‌های رینولدز نامیده می‌شوند.

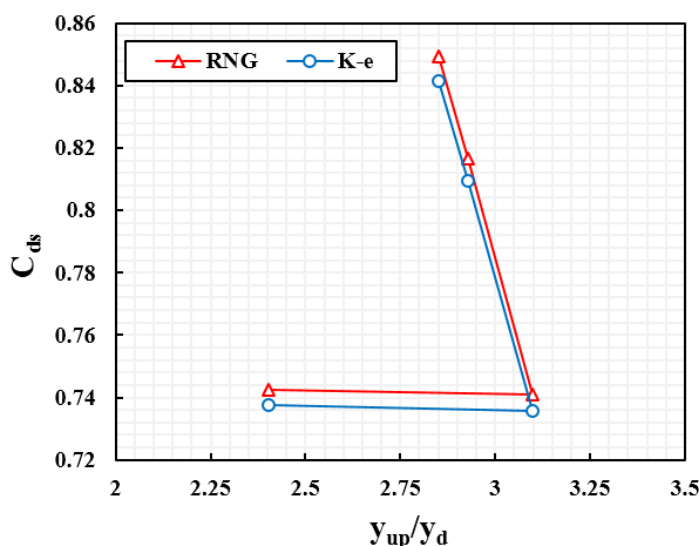
#### ۵-۲- انتخاب مدل آشفتگی مناسب در شبیه‌سازی جریان

در این بخش در انتخاب مدل آشفتگی برای شبیه‌سازی مدل مورد بررسی، با توجه به بررسی مطالعات مشابه انجام شده توسط محققین دیگر (بیان شده در ادبیات فنی) مدل آشفتگی RNG و K-ε نتایج دقیق‌تر و همگرایی بهتری نسبت به سایر مدل‌های آشفتگی از خود نشان می‌دهد. بر همین اساس برای حل آشفتگی در مدل‌سازی جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز-دریاچه از دو



آزمایشگاهی با دو مدل آشفتگی RNG و K-ε انجام شده است. شکل ۹ و جدول ۵ نتایج ضریب دبی از شبیه‌سازی عددی FLOW-3D و نتایج آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. در این شکل  $C_{db}$  ضریب دبی در حالت مستغرق و  $y_{up}/y_d$  نسبت تفاضل عمق آب بالادست و پایین‌دست به قطر سازه است.

مدل آشفتگی RNG و K-ε استفاده شده است. برای انتخاب مدل آشفتگی مناسب، از مقایسه نتایج ضریب دبی نسبت به پارامتر بدون بعد نسبت عمق آب در بالادست به عمق آب در پایین‌دست مدل ترکیبی سرریز-دریچه برای مدل با قطر ۷/۵ سانتی‌متر و بازشدگی ۳ سانتی‌متر به دست آمده در حل عددی و نتایج



شکل ۹- مقایسه نتایج ضریب دبی برای دو مدل آشفتگی حل عددی با نتایج آزمایشگاهی

جدول ۵- درصد خطای نسبی به دست آمده از نتایج حل عددی برای دو مدل آشفتگی RNG و K-ε

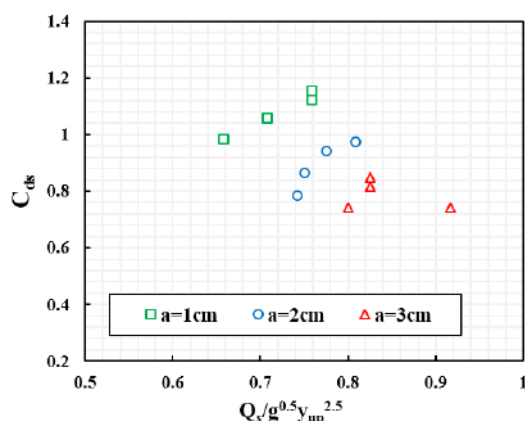
| MAPE (%) | RMSE  | MAPE (%) | RMSE  | مقادیر ضریب دبی |       |                  | $y_{up}/y_d$ |
|----------|-------|----------|-------|-----------------|-------|------------------|--------------|
|          |       |          |       | K-ε             | RNG   | نتایج آزمایشگاهی |              |
| ۲/۵۱     | ۰/۰۲۲ | ۱/۶۰     | ۰/۰۱۴ | ۰/۸۴۱           | ۰/۸۴۹ | ۰/۸۶۳            | ۲/۲۹         |
| ۲/۵۷     | ۰/۰۲۱ | ۱/۷۱     | ۰/۰۱۵ | ۰/۸۱۰           | ۰/۸۱۶ | ۰/۸۳۱            | ۲/۳۸         |
| ۲/۴۱     | ۰/۰۱۹ | ۱/۷۳     | ۰/۰۱۴ | ۰/۷۳۵           | ۰/۷۴۰ | ۰/۷۵۴            | ۲/۵۱         |
| ۲/۸۳     | ۰/۰۲۲ | ۲/۱۷     | ۰/۰۱۷ | ۰/۷۳۷           | ۰/۷۴۲ | ۰/۷۵۹            | ۲/۸۰         |

بخش‌های تحقیق اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل عددی است. به همین منظور نتایج حل عددی با داده‌های آزمایشگاهی در شرایط یکسان مقایسه می‌شود. در این تحقیق نیز برای صحت‌سنجی مدل، نتایج با داده‌های آزمایشگاهی سوری و همکاران (۱۳۹۳) مقایسه می‌شود. قسمت صحت‌سنجی ضریب دبی  $C_{db}$  برای مدل سرریز-دریچه استوانه‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر، بازشدگی ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر و دبی‌های ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۲ لیتر بر ثانیه محاسبه و انجام شده است. در شکل ۱۰ و ۱۱ به منظور اعتباربخشی به نتایج حل عددی و صحت‌سنجی مدل استوانه‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر، پارامتر بدون بعد  $Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5}$  در برابر ضریب دبی جریان عبوری از سازه ترکیبی در مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی سوری و همکاران (۱۳۹۳) نشان داده شده است.

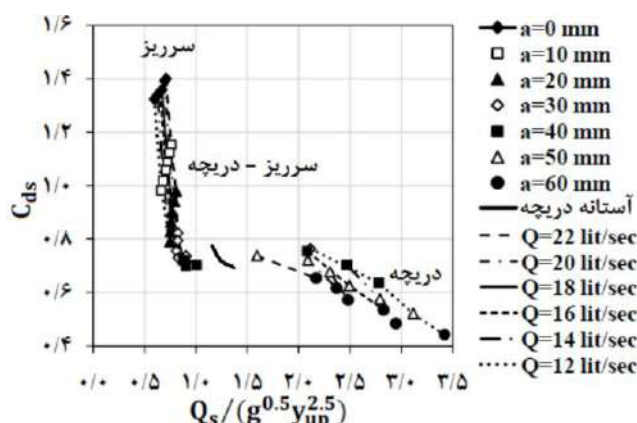
مشاهده می‌شود که نتایج به دست آمده از حل عددی با به کارگیری مدل آشفتگی RNG داده‌های نزدیک‌تری به نتایج آزمایشگاهی ارائه می‌دهد و بیشترین درصد خطای نسبی و مقدار RMSE به ترتیب ۲/۱۷٪ و ۰/۰۱۷ است. بنابراین برای سایر مدل‌ها استفاده از مدل آشفتگی RNG نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل آشفتگی K-ε به نتایج آزمایشگاهی می‌دهد.

## ۶- صحت‌سنجی نتایج عددی و آزمایشگاهی

در این بخش از تحقیق حاضر، با استفاده از نتایج حل عددی، ضریب دبی جریان در سازه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای محاسبه شده است. در استفاده از علم دینامیک سیالات محاسباتی و روش‌های حل عددی برای بررسی پدیده‌ها، یکی از مهم‌ترین



شکل ۱۰- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $Q_s / g^{0.5} y_{up}^{2.5}$  برای مدل سرریز-دریاچه استوانه‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر (حل عددی)



شکل ۱۱- ضریب دبی در داده‌های آزمایشگاهی در برابر پارامتر بدون بعد  $Q_s / g^{0.5} y_{up}^{2.5}$  برای مدل سرریز-دریاچه استوانه‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر (سوری و همکاران، ۱۳۹۳)

با قطر ۷/۵ سانتی‌متر در داده‌های آزمایشگاهی سوری و همکاران (۱۳۹۳) نیز در همین محدوده قرار دارد. درصد خطای مدل شبیه‌سازی در جدول ۶ محاسبه شده است.

با دقت در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ملاحظه می‌شود نتایج حل عددی برای پارامتر بدون بعد  $Q_s / g^{0.5} y_{up}^{2.5}$  برای بازشدگی‌ها و عمق‌های ورودی جریان بررسی شده در محدوده ۰/۶۵ تا ۰/۹۵ قرار گرفته است و این درحالیست که این پارامتر برای استوانه‌ای

جدول ۶- مقایسه نتایج حل عددی نرم‌افزار و داده‌های آزمایشگاهی و درصد خطای مدل با قطر ۷/۵ سانتی‌متر

| بازشدگی دریاچه (cm) | دبی جریان ورودی (Lit/s) | مقادیر ضریب دبی           |                                        | درصد خطای تحلیل عددی نسبت به نتایج آزمایشگاهی |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                     |                         | نتایج حل عددی مطالعه حاضر | نتایج آزمایشگاهی سوری و همکاران (۱۳۹۳) |                                               |
| ۱                   | ۱۲                      | ۰/۹۸۳                     | ۱/۰۰۹                                  | ۲/۶۴                                          |
|                     | ۱۶                      | ۱/۰۵۷                     | ۱/۰۸۶                                  | ۲/۷۴                                          |
|                     | ۲۰                      | ۱/۱۲۱                     | ۱/۱۳۷                                  | ۱/۴۲                                          |
|                     | ۲۲                      | ۱/۱۵۴                     | ۱/۱۷۷                                  | ۲/۰۰                                          |
| ۲                   | ۱۲                      | ۰/۷۸۵                     | ۰/۸۰۷                                  | ۲/۸۰                                          |
|                     | ۱۶                      | ۰/۸۶۵                     | ۰/۸۸۹                                  | ۲/۷۷                                          |
|                     | ۲۰                      | ۰/۹۴۲                     | ۰/۹۷۱                                  | ۳/۰۷                                          |
|                     | ۲۲                      | ۰/۹۷۴                     | ۰/۹۹۲                                  | ۱/۸۴                                          |
| ۳                   | ۱۲                      | ۰/۷۴۲                     | ۰/۷۷۳                                  | ۴/۱۷                                          |
|                     | ۱۶                      | ۰/۷۴۰                     | ۰/۷۶۹                                  | ۳/۹۱                                          |
|                     | ۲۰                      | ۰/۸۱۶                     | ۰/۸۵۶                                  | ۴/۹۰                                          |
|                     | ۲۲                      | ۰/۸۴۹                     | ۰/۸۸۱                                  | ۳/۷۶                                          |

با تغییرات  $Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5}$  رابطه مستقیم دارد. در یک قطر ثابت از مدل سرریز-دریچه، به ازای افزایش بازشدگی دریچه، ضریب دبی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر تغییرات ضریب دبی با تغییرات ارتفاع بازشدگی دریچه رابطه عکس دارد. همچنین با فرض ثابت بودن دبی و ارتفاع بازشدگی دریچه، با افزایش قطر مدل ترکیبی سرریز-دریچه، ضریب دبی کاهش می‌یابد.

## ۷-۲- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد $y_{up}/y_d$

در شکل ۱۳ نتایج حل عددی تغییرات ضریب دبی نسبت به پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  را برای مدل ترکیبی سرریز-دریچه با قطرهای مختلف و بازشدگی متفاوت نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در قطر و بازشدگی دریچه ثابت در مدل ترکیبی سرریز-دریچه، با افزایش دبی، ضریب دبی افزایش می‌یابد این درحالی است که مقدار پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش دبی، تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  رابطه عکس دارد. همچنین برای بازشدگی ثابت دریچه، با افزایش قطر مدل ترکیبی سرریز-دریچه مقدار پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  افزایش می‌یابد.

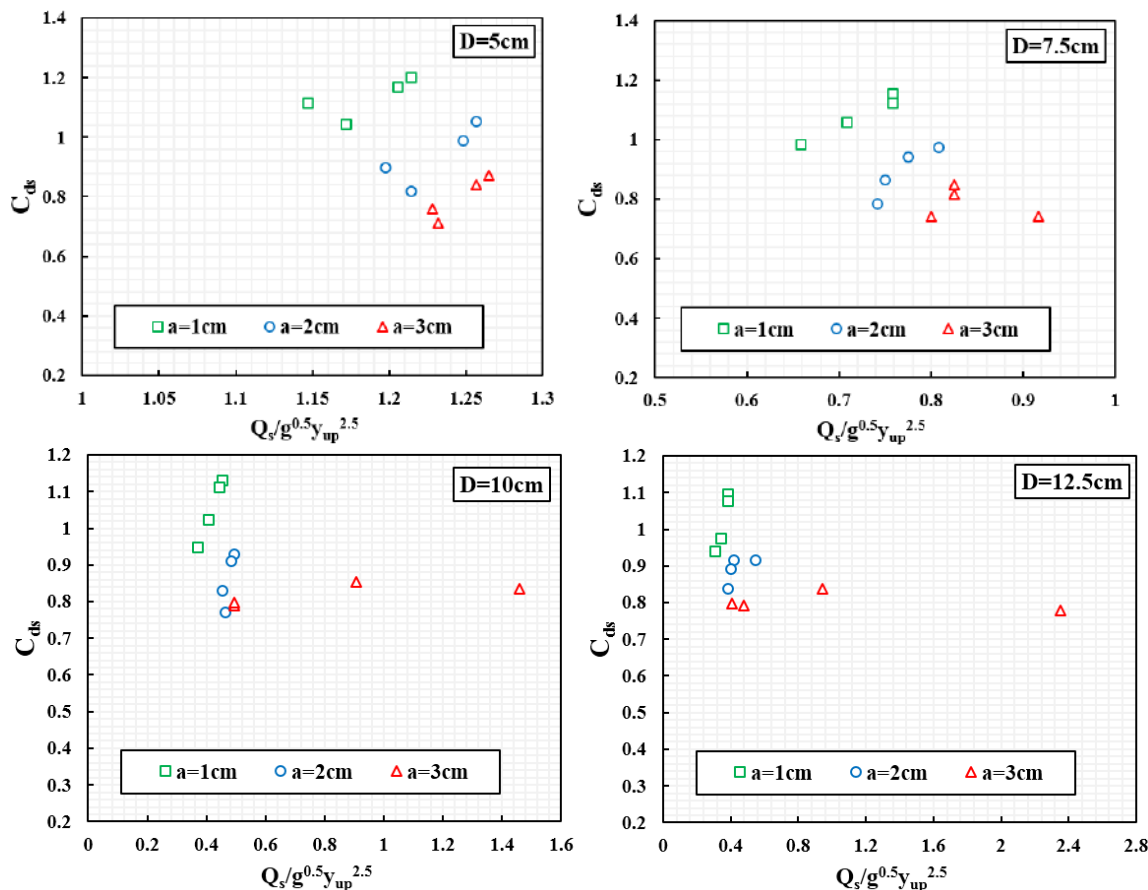
جدول ۶ نشان می‌دهد درصد خطای مدل شبیه‌سازی شده کمتر از ۵ درصد بوده و بیشترین درصد خطا به مقدار ۴/۹۰ درصد برای بازشدگی ۳ سانتی‌متر و دبی جریان ۲۰ لیتر بر ثانیه اتفاق افتاده است. بنابراین مدل شبیه‌سازی شده از دقت قابل‌قبولی برخوردار است.

## ۷- نتایج مدل‌سازی عددی

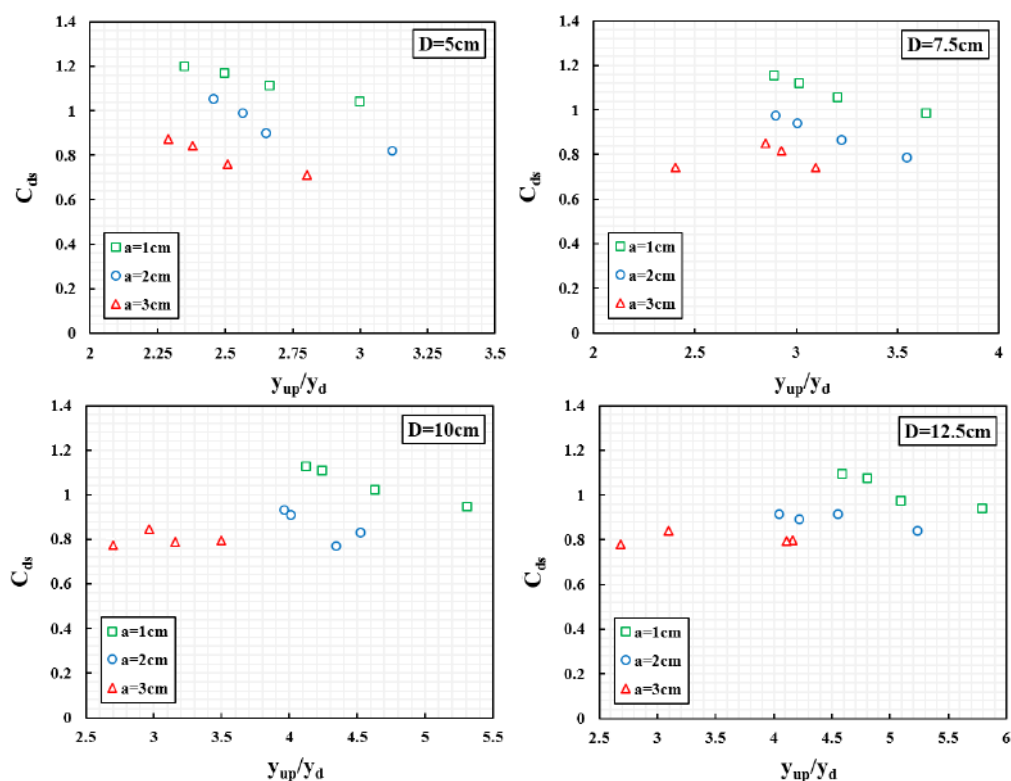
پس از صحت‌سنجی مدل آزمایشگاهی، در ادامه نتایج حاصل شده ارائه می‌شوند.

## ۷-۱- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد $Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5}$

در شکل ۱۲ نتایج حل عددی تغییرات ضریب دبی نسبت به پارامتر بدون بعد  $Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5}$  که معرف تغییرات دبی کل عبوری است، برای مدل ترکیبی سرریز-دریچه با قطرهای مختلف و بازشدگی متفاوت نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش دبی، در قطر و بازشدگی دریچه ثابت، ضریب دبی افزایش می‌یابد. به طوری که تغییرات ضریب دبی



شکل ۱۲- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5}$  برای مدل‌ها با قطرهای متفاوت

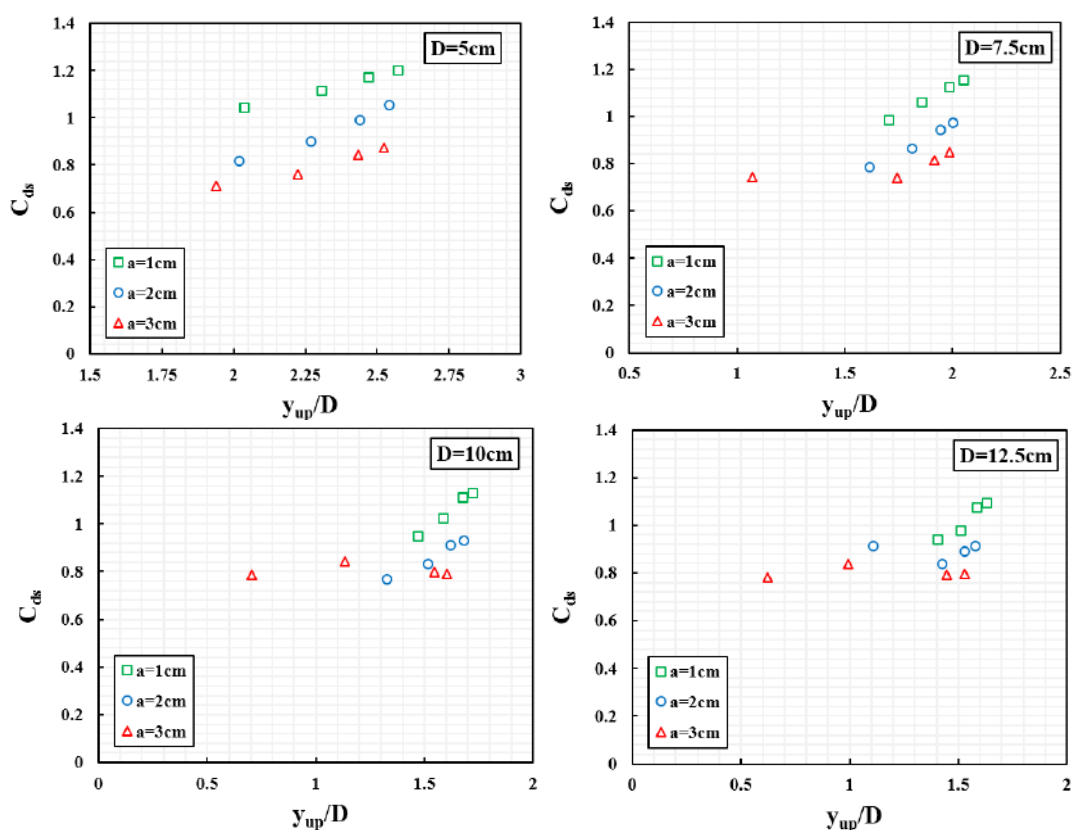


شکل ۱۳- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  برای مدل‌ها با قطرهای متفاوت

پارامتر بدون بعد  $y_{up}/D$  را برای مدل ترکیبی سرریز-دریاچه با قطرهای مختلف و بازشدگی متفاوت نشان داده شده است.

### ۷-۳- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد $y_{up}/D$

در شکل ۱۴ نتایج حل عددی تغییرات ضریب دبی نسبت به



شکل ۱۴- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $y_{up}/D$  برای مدل‌ها با قطرهای متفاوت

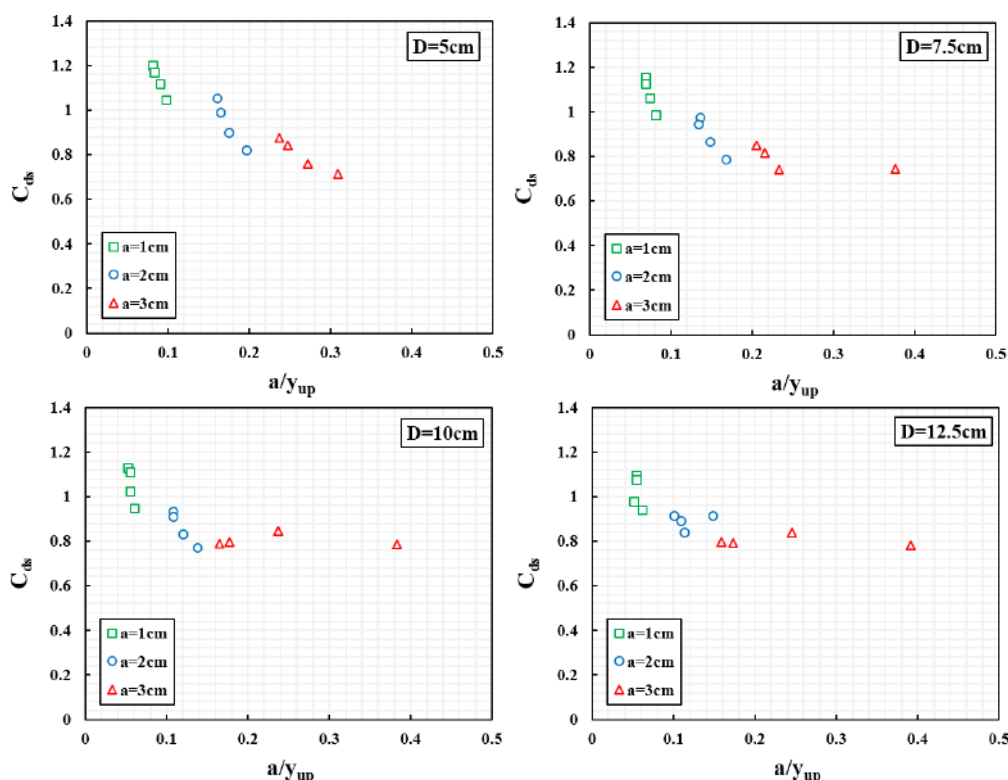


پارامتر بدون بعد  $a/y_{up}$  برای مدل ترکیبی سرریز-دریچه با قطرهای مختلف و بازشدگی متفاوت نشان داده شده است. مشاهده می‌شود به ازای یک دبی و قطر ثابت، با افزایش ارتفاع بازشدگی دریچه، ضریب دبی روند کاهشی و پارامتر بدون بعد  $a/y_{up}$  روند افزایشی دارد. به عبارت دیگر، تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $a/y_{up}$  رابطه عکس دارد. همچنین برای بازشدگی ثابت، با افزایش قطر مدل ترکیبی سرریز-دریچه مقدار پارامتر بدون بعد  $a/y_{up}$  کاهش می‌یابد.

مشاهده می‌شود به ازای قطر و میزان بازشدگی دریچه ثابت مدل ترکیبی سرریز-دریچه، با افزایش دبی، ضریب دبی و پارامتر بی‌بعد  $y_{up}/D$  افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش دبی، تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $y_{up}/D$  رابطه مستقیم دارد. همچنین برای بازشدگی ثابت، با افزایش قطر مدل مقدار پارامتر بدون بعد  $y_{up}/D$  کاهش می‌یابد.

#### ۷-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد $a/y_{up}$

در شکل ۱۵ نتایج حل عددی تغییرات ضریب دبی نسبت به

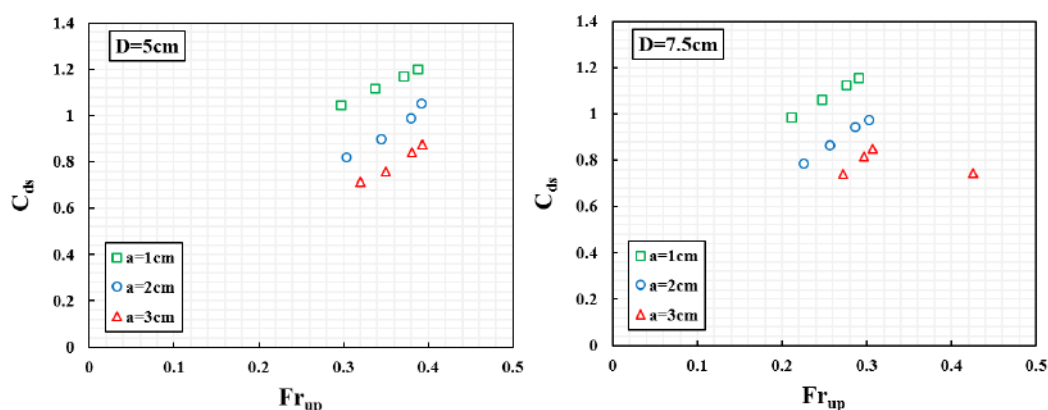


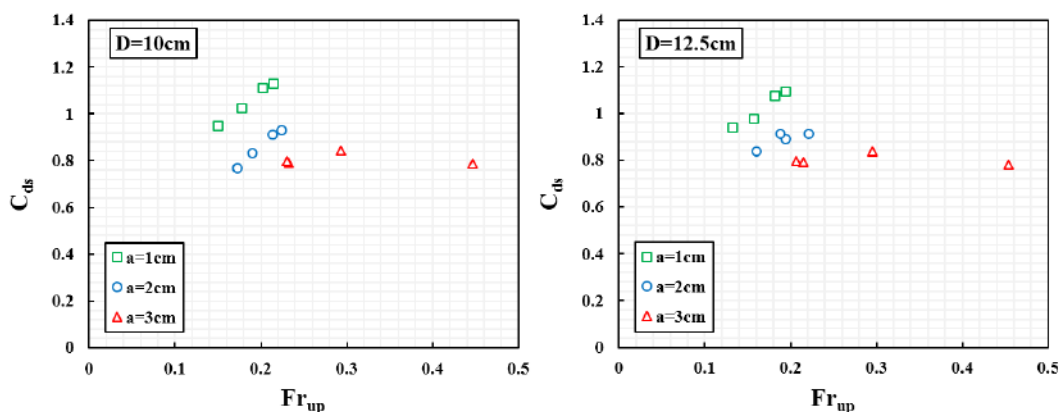
شکل ۱۵- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $a/y_{up}$  برای مدل‌ها با قطرهای متفاوت

پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  برای مدل ترکیبی سرریز-دریچه با قطرهای مختلف و بازشدگی متفاوت نشان داده شده است.

#### ۷-۵- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد $Fr_{up}$

در شکل ۱۶ نتایج حل عددی تغییرات ضریب دبی نسبت به

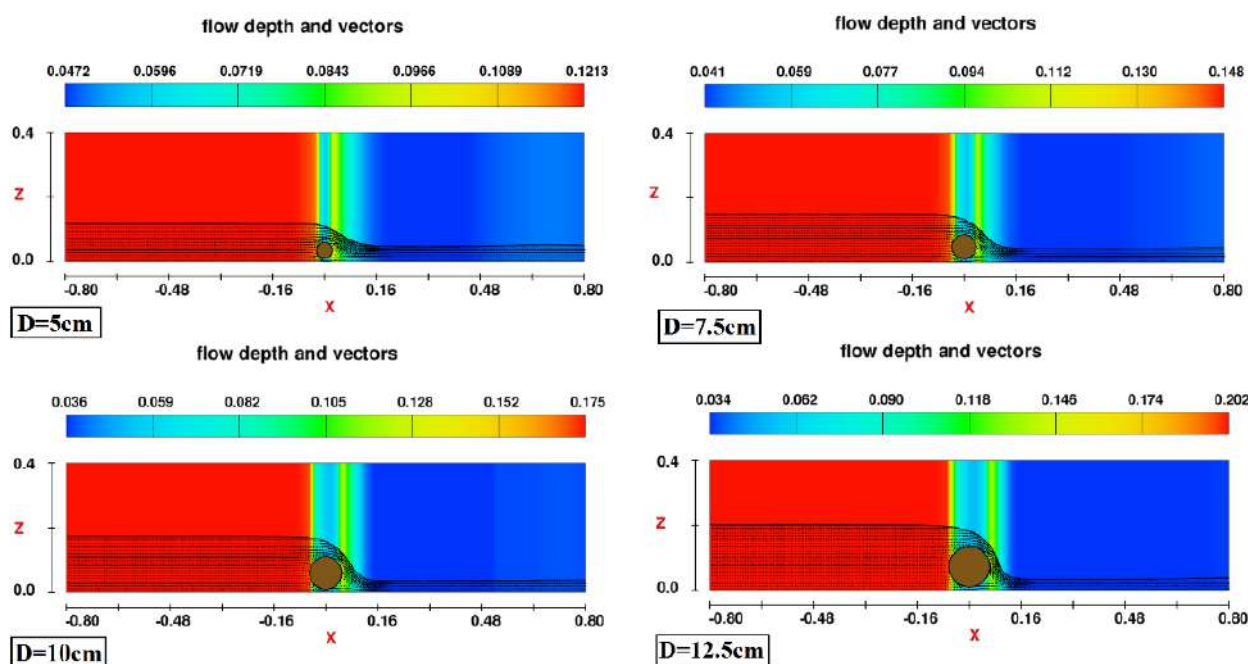




شکل ۱۶- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  برای مدل‌ها با قطرهای متفاوت

برای دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۱ سانتی‌متر، برای هر ۴ قطر استوانه‌ای نشان داده شده است. در این شکل رنگ نمایش داده شده، نشان دهنده تغییرات سرعت جریان در پلان و در عمق کانال برحسب مترمکعب بر ثانیه است. بدین ترتیب رنگ آبی تیره حداقل سرعت جریان (حدود صفر) را نشان می‌دهد و به تدریج با تغییر رنگ از آبی به سبز، زرد و در نهایت قرمز، سرعت جریان به حداکثر مقدار خود در محدوده مورد مطالعه مدل می‌رسد.

محدوده تغییرات عدد فرود پشت سازه ترکیبی زیر بحرانی بودن رژیم جریان در بالادست سرریز-دریاچه را نشان می‌دهد. به ازای قطر و ارتفاع بازشدگی دریاچه ثابت، با افزایش میزان پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  ضریب دبی روند افزایشی دارد. به عبارت دیگر، تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  رابطه مستقیم دارد. همچنین برای بازشدگی ثابت، با افزایش قطر مدل ترکیبی سرریز-دریاچه مقدار پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  کاهش می‌یابد. در شکل ۱۷ جریان عبوری از مدل‌های شبیه‌سازی شده



شکل ۱۷- پروفیل سطح آزاد جریان برای ۴ مدل شبیه‌سازی شده (توضیح: محورهای افقی x نشان دهنده فاصله از محور مدل (متر) بوده و محورهای عمودی z نشان دهنده عمق جریان (متر) است)

جریان به سرریز-دریاچه استوانه‌ای چسبیده‌تر بوده و انحنای جریان بیشتر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین انحنای جریان در مدل استوانه‌ای با قطر ۵ سانتی‌متر است. در حالی که برای مدل با قطر ۱۲/۵ سانتی‌متر پروفیل سطح جریان

مشاهده می‌شود برای یک دبی آب ورودی مشخص با افزایش قطر سرریز-دریاچه استوانه‌ای، مقدار پارامتر  $H_w$  (عمق آب روی سرریز) کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به این که نسبت استغراق جریان در مدل‌های با قطر بیشتر کاهش می‌یابد پروفیل سطح

انحنای زیادی برداشته است.

شده است. تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  رابطه مستقیم دارد و با افزایش میزان پارامتر بدون بعد  $Fr_{up}$  ضریب دبی روند افزایشی دارد.

## ۸- نتیجه گیری

## ۹- پی‌نوشت‌ها

- 1- Renormalized group (RNG) model
- 2- Mean Absolute Percentage Error
- 3- Root Mean Square Error

## ۱۰- مراجع

اسماعیلی، ک.، نقوی، ب.، کورش وحید، ف. و یزدی، ج.، (۱۳۸۹)، "مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریزهای استوانه‌ای"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱۸۹-۱۶۶، (۱)، ۲۴.

رودی، و. شاملو، ح.، (۱۳۸۸)، مدل‌های آشفتگی و کاربرد آن در هیدرولیک، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

قادری، ا. دانش‌فراز، ر. و قهرمان‌زاده، ع.، (۱۳۹۵ الف)، "بررسی عددی ضریب دبی جریان عبوری از سرریز-دریچه کنگره‌ای با ارتفاع بازشدگی دریچه مختلف"، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

قادری، ا. دانش‌فراز، ر. و مینایی، ع.، (۱۳۹۵ ب)، "ارزیابی ضریب دبی جریان عبوری از سرریز-دریچه کنگره‌ای مستطیلی"، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

قاسم زاده، ف.، (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW-3D، انتشارات نشر نوآور، تهران، ایران.

سلامتی، س.، دهقانی، ا.، مفتاح‌هلقی، م. و ظهیری، ع.، (۱۳۹۴)، "تخمین ضریب آبگذری سازه ترکیبی سرریز-دریچه با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیکی"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۲)، ۲۵۵-۲۶۳.

سوری، ا.، مسعودیان، م.، کردی، ا. و راتچر، ک.، (۱۳۹۳)، "بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب دبی و افت انرژی در سرریز-دریچه استوانه‌ای با حرکت قائم"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۴(۴)، ۶۵-۷۸.

شاهرخ‌نیا، م.ع و جوان، م.، (۱۳۸۲)، "تعیین سازه‌های تحویل آب در شبکه‌های آبیاری درودزن با استفاده از مدل ریاضی"،

در این تحقیق نتایج مدل آزمایشگاهی سوری و همکاران (۱۳۹۳) توسط نرم افزار Flow-3D صحت‌سنجی شد و از مدل کالیبره شده برای ارزیابی سایر پارامترهای موثر بهره‌گیری شد. در این پژوهش با استفاده از تحلیل ابعادی به‌روش پی باکینگهام پارامترهای بدون بعد جریان عبوری از سازه‌ی ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای به‌دست آورده شد. با استفاده از نتایج حل عددی تغییرات این پارامترها در برابر ضریب دبی سازه ترکیبی مورد تحلیل قرارگرفت. پارامترهای بدون بعد تغییرات دبی کل عبوری، نسبت عمق جریان در بالادست به پایین‌دست مدل استوانه‌ای، عدد فرود بالادست و هم‌چنین نسبت عمق آب بر روی سرریز به عمق جریان در بالادست برای قطرهای مختلف مدل استوانه‌ای بررسی شده است. مهم‌ترین نتایج این تحقیق عبارتند از:

- برای انتخاب مدل آشفتگی مناسب، مشاهده شد که نتایج به‌دست آمده از حل عددی و با به‌کارگیری مدل آشفتگی RNG داده‌های نزدیک‌تری به نتایج آزمایشگاه به‌دست می‌آید. بنابراین استفاده از مدل آشفتگی RNG نتایج دقیق‌تری را نسبت به مدل آشفتگی  $K-\epsilon$  ارائه می‌دهد.

- با افزایش دبی، در قطر و بازشدگی دریچه ثابت، ضریب دبی افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر تغییرات ضریب دبی با تغییرات  $Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5}$  رابطه مستقیم دارد. در یک قطر ثابت از مدل سرریز-دریچه، به ازای افزایش بازشدگی دریچه، ضریب دبی کاهش می‌یابد.

- با افزایش دبی، تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  رابطه عکس دارد. هم‌چنین برای بازشدگی ثابت دریچه، با افزایش قطر مدل ترکیبی سرریز-دریچه مقدار پارامتر بدون بعد  $y_{up}/y_d$  افزایش می‌یابد.

- برای بازشدگی ثابت، با افزایش قطر مدل ترکیبی سرریز-دریچه مقدار پارامتر بدون بعد  $y_{up}/D$  کاهش می‌یابد. هم‌چنین تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد  $y_{up}/D$  رابطه مستقیم دارد.

- به ازای یک دبی و قطر ثابت، با افزایش ارتفاع بازشدگی دریچه، تغییرات ضریب دبی روند کاهشی و تغییرات پارامتر بدون بعد  $a/y_{up}$  روند افزایشی دارد.

- روند تغییرات پارامتر  $Fr_{up}$  با قطر استوانه برعکس است به‌طوری‌که محدوده عدد فرود با افزایش قطر استوانه کمتر

- D., (1994), "Characteristics of simultaneous flow over weirs and below inverted V- notches gate", *Journal of Civil Engineering Research*, 16(9), 786-799 .
- Negm, A.M., El-Saiad, A.A., and Saleh, O.K., (1997), "Characteristics of combined flow over weirs and below submerged gates", *Proceedings of Al-Mansoura Engineering*, 3(2), 259-272.
- Saad, N.Y., and Fattouh, E.M., (2017), "Hydraulic characteristics of flow over weirs with circular openings", *Ain Shams Engineering Journal*, 8(4), 515-522.
- Severi, A., Masoudian, M., Kordi, E., and Roettcher, K., (2015), "Discharge coefficient of combined free over-under flow on a cylindrical weir-gate", *Journal of Hydraulic Engineering*, 21(1), 42-52.



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

- مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۶۳۳-۶۵۴.
- کرمی، ح.، فرزین، س.، حیدری، ع. و حسینی، خ.، (۱۳۹۶ الف)، "شبیه‌سازی مشخصات جریان روی سرریز نیمه استوانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار عددی ANSYS CFX"، *مجله مهندسی منابع آب*، ۱۰(۳۴)، ۵۱-۶۰.
- کرمی، ح.، فرزین، س.، ضمیری، ا. و نیر، ش.، (۱۳۹۶ ب)، "آنالیز عددی مشخصه‌های جریان عبوری از سرریز استوانه‌ای با استفاده از مدل FLOW-3D"، *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۸(۲)، ۱-۱۸.
- مسعودیان، م.، سوری، ا. و ضیایی‌فر، س.، (۱۳۹۳)، "اثر چرخش سرریز-دریاچه نیم استوانه‌ای بر میزان افت کارمایه و ضریب دبی"، *مجله مهندسی منابع آب*، ۷(۲۲)، ۸۵-۱۰۰.
- مهتابی، ق.، ارونقی، ه. و لطفی، پ.، (۱۳۹۵)، "مطالعه آزمایشگاهی ضریب دبی در سرریز-دریاچه منشوری"، *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۶(۴-۱)، ۲۵۵-۲۶۸.
- Chanson, H., (2009), "Discussion of hydraulics of broad-crested weirs with varying side slopes", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 136(7), 508-509.
- Chanson, H., and Montes, J.S., (1998), "Over flow characteristics of circular weirs: effects of inflow condition", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 32(1), 152-161.
- Ferro, V., (2000), "Simultaneous flow over and under a gate", *Irrigation and Drainage Engineering*, 126(3), 190-193.
- Fu, Z.F., Cui, Z., Dai, W.H., and Chen, Y.J., (2018), "Discharge coefficient of combined orifice-weir flow", *Water*, 10(6), 699.
- Hayawi, H.A.M., Yahia, A.A.G., and Hayawi, G.A.M., (2008), "Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate", *Journal of Damascus University*, 24(1), 9-22.
- Jun-Fu, Y. Chih-Han, L., and Chang-Tai, T., (2001), "Hydraulic characteristics and discharge control of sluice gates", *Journal of Chinese Institute of Engineering*, 24(23), 301-310.
- Khassaf, S.I., and Habeeb, M., (2014), "Experimental investigation for flow through combined trapezoidal weir and rectangular gate", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(4), 312-323.
- Masoudian, M., Fendreski, R., and Gharahgezlou, M., (2013), "The effects of laboratory canal size and cylindrical weir-gate diameter on discharge coefficient", *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(15), 1630-1634.
- Masoudian, M., and Gharahgezlou, M., (2012), "Flow characteristics of cylindrical weirs in a small laboratory canal", *Journal of Science Series Data Report*, 4(4), 12-23.
- Negm, A.M., El-Saiad, A.A., Alhamid, A.A., and Husain,

**Research Paper**

**مقاله پژوهشی**

**Water Crisis Management Strategy through  
Investigation of Virtual Water Using  
CROPWAT Software**

**بررسی آب مجازی با رویکرد مدیریت منابع آب با  
استفاده از نرم افزار CROPWAT**

Marzie Makaremi<sup>1\*</sup>, Fereshteh Ghomi Avili<sup>2</sup> and Ali  
Akbar Moradi Rad<sup>3</sup>

1- Ph.D. in Environment Engineering, Department of  
Civil Engineering, Aryan Institute of Science and  
Technology, Babol, Iran.

2- Ph.D. in Environment Engineering, Department of  
Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad  
University, Nowshahr, Iran.

3- M.Sc. in Civil Engineering-Water and Hydraulic  
Structures, Department of Civil Engineering, Aryan  
Institute of Science and Technology, Babol, Iran.

\*Corresponding Author, Email:  
[makaremi20@yahoo.com](mailto:makaremi20@yahoo.com)

مرضیه مکارمی<sup>۱\*</sup>، فرشته قمی آویلی<sup>۲</sup> و علی اکبر مرادی راد<sup>۳</sup>

۱- دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علوم و فناوری  
آریان، بابل، ایران.

۲- دکترای مهندسی محیط زیست، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد  
اسلامی، نوشهر، ایران.

۳- کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران،  
دانشگاه علوم و فناوری آریان، بابل، ایران.

\*نویسنده مسئول، ایمیل: [makaremi20@yahoo.com](mailto:makaremi20@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Received: 24/11/2020

Revised: 20/09/2021

Accepted: 06/10/2021

© IWWA

**Abstract**

Water is one of the most important components of sustainable life. However, the excessive use of this vital element has caused irreparable damage to the limited water resources, and the agricultural industry assumed as the largest amount of consumed water. In recent years, the significant reduction of water resources as well as the growing trend of drought necessitates a review and change in the agricultural industry. In this research the water requirement of agricultural plants of Mazandaran province including rice, wheat, barley and citrus is estimated in order to investigate the volume of green and blue virtual water, exported and imported water by these crops across the province. Meteorological data such as rainfall, maximum and minimum temperature, relative humidity, sundial of the area and information such as cultivation area, crops yield rate, exported and imported water volume collected from relevant agencies over the last ten years. FAO Penman-Monteith and USDA methods in CROPWAT software used to estimate virtual water and water needs. Results showed that rice, wheat, barley and citrus consumption accounted for the largest water requirement. Also, rice water requirement is blue water and wheat, barley and citrus plants consume green water sources which is not relocated and is not suitable for other purposes or storage. Consequently, due to the climatic potential of Mazandaran province, the pattern of cultivation alter to plants with low water requirements that are able to absorb their required water from green water sources, such as wheat, barley and citrus as well as lower plant area with abundant water requirement such as rice can save more water resources and the water crisis could be effectively in control.

**Keywords:** Water crisis, Virtual water, Blue water, Green water, CROPWAT

**چکیده**

آب یکی از مهم ترین اجزای مورد نیاز برای تداوم حیات است. مصرف بی رویه این عنصر، صدمات جبران ناپذیری به منابع آبی وارد ساخته و صنعت کشاورزی بیشترین حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده است. در سال های اخیر کاهش چشمگیر منابع آبی و همچنین روند رو به رشد خشک سالی لزوم بازبینی و تغییر در صنعت کشاورزی را ایجاد می نماید. به همین منظور در این پژوهش، برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی استان مازندران شامل برنج، گندم، جو، مرکبات و بررسی حجم آب مجازی سبز، آبی و میزان آب صادر و وارد شده توسط این محصولات در سطح استان به عنوان قطب کشاورزی کشور است. بدین منظور اطلاعات هواشناسی از جمله بارش، حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی منطقه و اطلاعاتی هم چون سطح زیر کشت، میزان عملکرد این محصولات، حجم آب صادر و وارد شده در طی ده سال اخیر از سازمان های مربوطه دریافت شده است. به منظور برآورد نیاز آبی و آب مجازی از روش های قائم پنمن-مانتیت و USDA در نرم افزار CROPWAT استفاده شده است. یافته ها نشان داد به ترتیب برنج، گندم، جو و مرکبات بیشترین نیاز آبی و حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده اند. همچنین عمده آب مورد نیاز برنج از آب آبی تأمین می شود و بیشترین آب مصرفی گیاهان گندم، جو و مرکبات از منابع آب سبز بوده که برای ذخیره سازی مناسب نیست. با توجه به پتانسیل اقلیمی استان مازندران، تغییر الگوی کشت به سمت گیاهانی با نیاز آبی کم که قادر به جذب آب مورد نیاز خود از منابع آب سبز هستند مانند گندم، جو و مرکبات و همچنین کاهش سطح زیر کشت گیاهانی با نیاز آبی فراوان مانند برنج منابع آبی بیشتری را ذخیره سازی نموده و در کنترل بحران آب مؤثر باشد.

**واژه های کلیدی:** بحران آب، آب مجازی، آب سبز، آب آبی، CROPWAT



با برداشت بی‌رویه از منابع آبی در سال‌های اخیر و تغییرات اقلیمی پیش‌رو، لزوم بررسی تولیدات کشاورزی با هدف کاهش برداشت از منابع آب کشور و اتحاد تصمیمات مدیریتی در تغییر الگوی مصرف وجود دارد. با بررسی آب مورد استفاده محصولات و خصوصیات هیدرولوژی و اقلیمی هر منطقه، مدیریت و کاهش روند هدررفت منابع آبی مقدور خواهد بود. با توجه به وضعیت بحرانی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، ضرورت بازبینی و بررسی میزان آب مورد استفاده محصولات متداول کشاورزی هرچند در مناطق پربارش نیز وجود دارد. هرچند بر اساس نتایج مشاهده تحلیل شیمیایی پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری می‌توان بیان کرد که عناصر موجود در پساب همگی در محدوده قابل قبول و مورد استفاده برای کشاورزی است که باید راه‌کارهای لازم در این زمینه برای کشور اعمال شود (چوپان و امامی ۱۳۹۹). امروزه پژوهشگران حوزه آب تأکید بر بازنگری در سیاست‌گذاری‌ها و رویکردهای مدیریتی منابع آب به‌خصوص رویکرد مدیریتی آب مجازی دارند. لذا در این پژوهش آب مجازی مورد استفاده در کشت محصولات کشاورزی استان مازندران شامل آب آبی و آب سبز مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

عملکرد گیاه و محتوی آب مجازی آن در تولیدات کشاورزی وابسته به نوع آب‌وهوا و تغییرات آن، محل جغرافیایی تحت مطالعه، نوع گیاه، فضای کشت و برداشت، رطوبت و حاصل‌خیزی خاک است (Badrulmasud et al., 2019). استان مازندران به‌عنوان قطب کشاورزی و باغداری کشور نقش به‌سزایی در تأمین محصولات کشاورزی در کشور ایران به‌عهده دارد. این استان دارای مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 46'$  تا  $36^{\circ} 58'$  عرض شمالی و  $50^{\circ}$  تا  $54^{\circ} 08'$  طول شرقی و توپوگرافی نسبتاً هموار است. آب و هوای این منطقه معتدل و مرطوب بوده و میانگین بارندگی سالیانه داستان ۹۷۷ میلی‌متر است.

نیاز آبی گیاه، مقدار آبی است که گیاه در طی فصل رشد به آن احتیاج دارد. برای تعیین میزان تبخیر-تعرق گیاه ( $ET_c^1$ )، ابتدا باید میزان تبخیر-تعرق پتانسیل ( $ET_0^2$ ) برآورد شود و سپس به‌وسیله آن تبخیر-تعرق گیاه موردنظر را محاسبه نمود. در این پژوهش سطح زیر کشت و عملکرد برنج، گندم، جو و مرکبات در شهرستان‌های آمل، امیرآباد، بابلسر، رامسر، ساری، قائم‌شهر، نوشهر مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، روش زائو پنمن-مانتیت

در آینده نزدیک، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در کنار تشدید کمبود آب موجب افزایش هزینه‌های تأمین آب می‌شود و این مسئله، ضمن تهدید اقتصاد حوزه‌های آبخیز به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، موجب بروز مناقشات جدی بین کشورها و یا ساکنان محلی خواهد شد (معلمی، ۱۳۹۷). از سویی دیگر تغییرات اقلیمی دلیل اصلی تشدید مسائل مربوط به کمبود آب بوده و خواهد شد. هم‌چنین گسترش مسائل اجتماعی و اقتصادی، الزامات انسان (مانند آبیاری کشاورزی، توسعه صنعتی، افزایش تولید کالا، محصولات کشاورزی و تولید برق) موجب درگیری‌های شدیدی بین عرضه آب و تقاضا در محصولات کشاورزی می‌شود (Zhao et al., 2016). از این منظر، نیاز به تصمیم‌گیری‌های اصولی‌تر برای مدیریت تقاضای آب است. یکی از این راه‌کارها استفاده از مفهوم آب مجازی و تجارت آن است (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۶). کشور ایران در حال حاضر حجم زیادی از آب مجازی را وارد می‌کند، این در حالی است که مقدار کمتری از آب مجازی را به خارج از کشور صادر می‌کند که مختص محصولات با نیاز آبی بالا و کم‌ارزش است (Faramarzi et al., 2010).

آب مجازی درواقع میزان آب موردنیاز برای تولید یک محصول از آغاز تولید تا لحظه مصرف است که نادیده گرفته‌شده و مؤلفه پنهان تولید به شمار می‌آید (Lylliwhite., 2010; Liu et al., 2007). یک کشور یا منطقه می‌تواند با انتخاب خود به‌عنوان واردکننده آب مجازی، خود را از فشار بر منابع آبی آزاد سازد (Yang et al., 2006; Gerbens-leenes et al., 2009). شرایط اقلیمی و فرهنگی، مکان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی در حجم آب مجازی هر کالا مؤثر است و قطعاً مقدار آن در مورد یک کالا در مناطق مختلف، متفاوت است. تجارت آب مجازی می‌تواند منجر به واردات محصول از دیگر مناطق شود و به‌این ترتیب، از آثار منفی استفاده از منابع آب پرهیز می‌شود (Salah, 2014). Zhao et al., (2016) در بریتانیا، Hoekstra and Mekonnen (2016) در چین، Badrolmasud et al., (2019) در کشور کانادا و در ایران زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۴)، پور صالحی و همکاران (2016)، بذرافشان و همکاران و تهامی پور و عابدی (۱۳۹۶) به بررسی ردپای آب و تجارت آب مجازی پرداختند. نتایج مطالعات نشان داد برای استفاده بهینه از آب مصرفی باید سیاستی ترکیبی از صادرات و واردات محصولات کشاورزی با در نظر گرفتن منافع اقتصادی را دنبال نمود.

نشان داده شده است. برای برآورد نیاز آبی از روش زائو پنمن-مانتیت، از رابطه (۱) استفاده می شود (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

به عنوان یکی از روش های مورد تأیید و استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، با توجه به داده های اقلیمی پیشنهاد شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). داده های اقلیمی مورد استفاده اطلاعات هواشناسی روزانه ایستگاه های سینوپتیک هواشناسی شهرستان های مورد مطالعه در دوره آماری ۱۰ ساله شامل حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد و بارندگی هستند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در شکل ۱



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در استان مازندران

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065 Z}{293} \right)^{5.26} \quad (5)$$

$$Ra = 37.6 dr (W_s \sin \phi \sin \theta + \cos \phi \cos \theta \sin W_s) \quad (6)$$

$$W_s = \text{Arc cos}(-\tan \phi \cdot \tan \theta) \quad (7)$$

$$dr = 1 + 0.33 \cos(0.172 J) \quad (8)$$

$$\theta = 0.409 \sin(0.0172 J - 1.39) \quad (9)$$

$$J = \text{integer} \left( 275 \frac{M}{9} - 30 + D \right) \quad (10)$$

که  $Z$ : ارتفاع محل از سطح دریا (متر) است.  $Ra$ : تابش برون زمینی (مگاژول بر مترمربع)،  $dr$ : فاصله نسبی زمین تا خورشید،  $\theta$ : زاویه میل خورشید (رادیان)،  $\phi$ : عرض جغرافیایی (رادیان)،  $W_s$ : زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان)،  $M$ : شماره ماه میلادی سال که تبخیر-تعرق برای آن محاسبه می شود.  $J$ : شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال مسیحی و  $D$ : شماره روز از ماه هستند.

$$N = 7.64 W_s \quad (11)$$

که  $N$ : حداکثر ساعت روشنایی در روز  $J$  از سال (ساعت) است.

برای محاسبه  $ET_0$  (میلی متر بر روز) از داده های متوسط دمای هوا:  $T$  (درجه سلسیوس)، شیب منحنی فشار بخار:  $\Delta$  (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، تابش خالص بر سطح گیاه:  $R_n$  (ماژول بر مترمربع بر روز)، میانگین سرعت باد در ارتفاع دو متری:  $U_2$  (متر بر ثانیه)، گرمای خاک:  $G$  (مگاژول بر مترمربع بر روز)، ضریب سایکرومتری:  $\gamma$  (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، فشار بخار اشباع:  $e_s$  (کیلو پاسکال) و فشار بخار واقعی:  $e_a$  (کیلو پاسکال) استفاده می شود. جزئیات معادله زائو پنمن-مانتیت از رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$\lambda T = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \quad (2)$$

که  $\lambda$ : گرمای نهان تبخیر (مگاژول بر کیلو گرم) و  $T$ : دمای هوا بر حسب سانتی گراد است.

$$\Delta = \frac{2504 \exp(17.27T/(T + 237.7))}{(T + 237.7)^2} \quad (3)$$

$$\frac{P}{\lambda} \gamma = 0.00163 \quad (4)$$

مؤثر) و برای انسان‌ها و سایر موجودات غیرقابل استفاده است و تنها در فرآیند رشد و نمو گیاهان، مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا تبخیر می‌شود را آب سبز می‌نامند (Hoekstra and Chapagain, 2008). مقدار آب سبز بر اساس میزان بارش مؤثر در طول فصل رشد گیاهان مختلف و در مناطق مختلف با روش USDA<sup>3</sup> که توسط وزارت کشاورزی آمریکا ارائه شده است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Pe, 10 = \begin{cases} P_{10} \times \frac{4.17 - 0.02P_{10}}{4.17} & P_{10} \leq 83 \text{ mm} \\ 41.7 + 0.1P_{10} & P_{10} > 83 \text{ mm} \end{cases} \quad (14)$$

که  $P_{10}$ : کل بارندگی ده روزه برحسب میلی‌متر و  $Pe, 10$ : میزان بارندگی مؤثر در طول مدت ده روزه است. مقدار آب سبز به صورت مجموع بارندگی‌های مؤثر ده روزه در طول فصل رشد محاسبه می‌شود. آب مجازی سبز، متوسط بارش مؤثر محصول (مترمکعب بر هکتار) در نظر گرفته می‌شود.

آب آبی شامل آب‌های سطحی و آب زیرزمینی موجود در منطقه است. برای تعیین آب مجازی آبی، نیاز خالص آبیاری محاسبه می‌شود. نیاز خالص آبیاری ( $IR$ ) مقدار آبی که در اثر وقوع بارش مؤثر، مقدار آن کسر شده است در نظر گرفته می‌شود.

$$IR = ET_c - GW \quad (15)$$

که  $ET_c$ : نیاز آبی (میلی‌متر) و  $GW$ : بارش مؤثر (میلی‌متر) هستند. آب مجازی آبی به صورت متوسط نیاز آبی خالص گیاه محاسبه می‌شود.

بر مبنای مقادیر نیاز آبی محاسبه شده، میزان آب مجازی و بهره‌وری مصرف آب تعیین می‌شود. مقدار آب مجازی به صورت نسبت نیاز آبی به عملکرد محصول (مترمکعب آب به ازای هر تن محصول) با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود که مجموع آب مجازی آبی و آب مجازی سبز است.

$$TVWC = \frac{ET_c}{TP} \quad (16)$$

که  $TVWC$ : میزان آب مجازی گیاه (مترمکعب بر تن) و  $ET_c$ : کل نیاز آبی گیاه (مترمکعب بر هکتار) است.  $TP$ : نیز عملکرد کل محصول است.

کل واردات آب مجازی ( $TVWi$ ) و کل صادرات آب مجازی ( $TVWE$ ) برای استان به صورت روابط (۱۷) و (۱۸) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} R_n &= 0.77 \left( 0.25 + \left( \frac{0.5n}{N} \right) R_a - 2.45 \right. \\ &\quad \times 10^{-9} \left( 0.9 \frac{n}{N} + 0.1 \right) (0.34 \\ &\quad - 0.14 \sqrt{e^a}) (T_{kx}^4 + T_{kn}^4) e_a \\ &\quad \left. = 0.611 \exp \left( \frac{17.27 T_d}{T_d + 237.3} \right) \right) \end{aligned} \quad (12)$$

که  $n$ : تعداد ساعت آفتابی واقعی (ساعت)،  $e_a$ : فشار واقعی بخار آب (کیلوپاسکال)،  $T_{kn}$  و  $T_{kx}$ : حداکثر و حداقل دمای روزانه (کلوین) و  $T_d$ : دمای نقطه شبنم هستند (Zhao et al., 2010). برای به دست آوردن میزان تبخیر و تعرق مرجع از نرم افزار CROPWAT استفاده شده است.

CROPWAT یک سیستم پشتیبانی است که بخش آب و خاک سازمان فائو برای برنامه ریزی و مدیریت آبیاری آن را راه اندازی کرده است. این برنامه یک ابزار کاربردی مشترک است که هواشناسان، متخصصان کشاورزی و مهندسان آبیاری به کمک آن محاسبات و استانداردهای تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی و آبیاری محصولات را تخمین می‌زنند. همچنین در مورد طرح‌های خاص مدیریتی و برنامه‌های آبیاری در برخورد با کمبود آب به عنوان یک راهنما برای بهبود عملیات آبیاری و زمان بندی آبیاری عمل می‌کند. پایگاه داده‌های CROPWAT شامل داده‌هایی برای ۶ ناحیه اقلیمی و ۱۴۴ کشور است. برای انجام محاسبات مربوط به برنامه ریزی آبیاری، تاکنون مدل‌های رایانه‌ای متعددی تهیه شده که CROPWAT در زمره آن‌ها قرار دارد. در این برنامه محاسبات مربوط به نیاز آبی محصولات مختلف و نیازمندی‌های آبیاری بر مبنای روش‌های ارائه شده در نشریات زائو در مورد آبیاری و زهکشی قابل ارائه است (Allen et al., 1989).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (13)$$

نیاز آبی محصول ( $ET_c$ ) از حاصل ضرب تبخیر-تعرق پتانسیل در ضریب رشد گیاه ( $K_c$ ) محاسبه می‌شود. برای تعیین ضرایب رشد گیاهان در طی زمان رشد گیاه، کل دوره رشد به سه مرحله تقسیم می‌شود. طول مدت مراحل مختلف رشد و همچنین ضرایب گیاهی در این سه مرحله از رشد (ابتدایی-میانی-انتهایی)، با استفاده از اطلاعات موجود در نشریه ۵۶ زائو و تطبیق آن با شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود (Horleman and Neubert, 2007; Hoekstra et al., 2009).

برای برآورد آب مجازی و اجزای آن شامل آب سبز و آبی از چارچوب پیشنهادی آبایی و رضانی (۱۳۹۴) استفاده می‌شود. به طور کلی آب حاصل از بارش که در خاک ذخیره شده (بارش

استان مازندران براساس روابط ذکر شده از روش زائو پنمن-مانتیت و مدل رایانه‌ای CROPWAT با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شده است. نیاز آبی شامل آب آبی و آب سبز محصولات برنج، گندم، جو و مرکبات به تفکیک ایستگاه‌ها و نوع محصولات در دوره ۱۰ ساله است. در ادامه نتایج محاسبات به دو صورت نیاز آبی هر محصول در سال‌های مورد مطالعه و میانگین ده ساله نیاز آبی در شهرهای استان در قالب نمودارهای میله‌ای ارائه شده است. در استان مازندران حجم زیادی از آب برای کشت برنج مصرف می‌شود که نشان‌دهنده اهمیت بررسی نیاز آبی برنج در این استان است. شکل‌های ۲ و ۳ میزان آب مورد استفاده در تولید برنج در این استان را نشان می‌دهند.

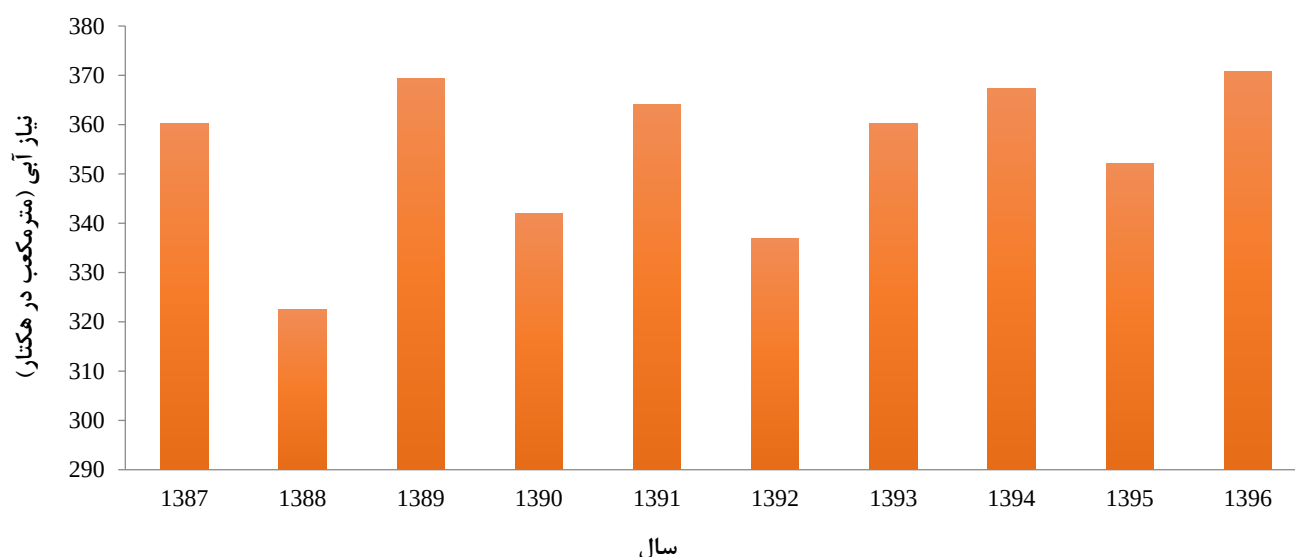
$$TVWI_j = \sum_{c=1}^M (VWI_{c,j}) \quad (17)$$

$$TVWE_j = \sum_{c=1}^N (VWE_{c,j}) \quad (18)$$

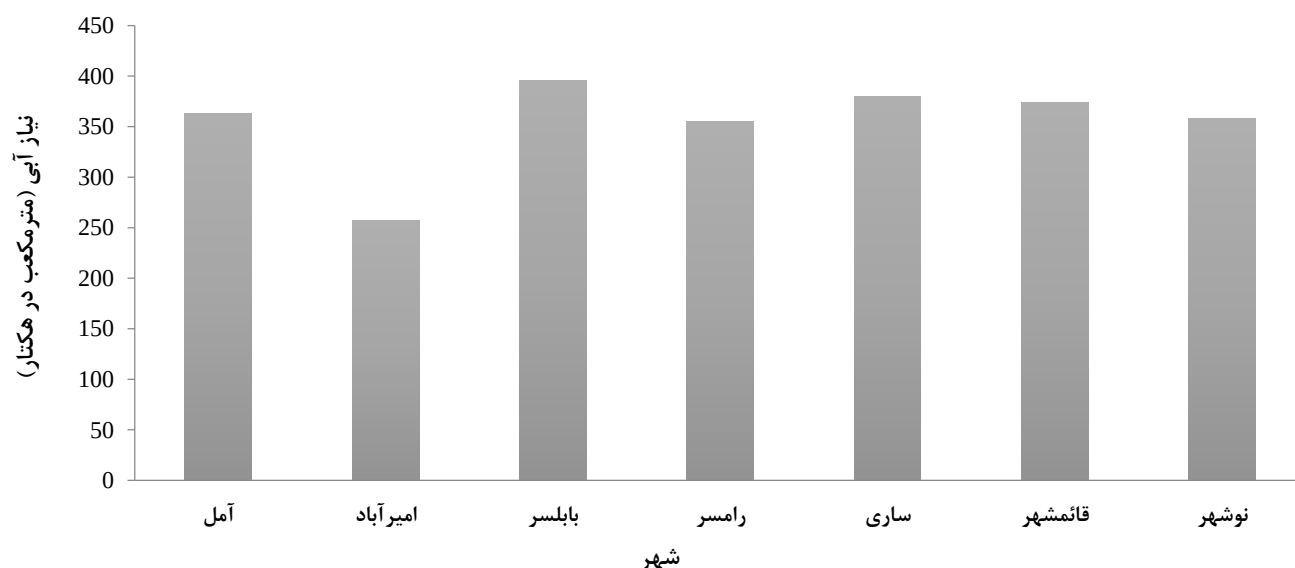
که  $TVWI_j$ : کل واردات آب مجازی در سال  $j$  ( $m^3y^{-1}$ );  $TVWE_j$ : کل صادرات آب مجازی در سال  $j$  ( $m^3y^{-1}$ );  $M$ : تعداد محصولات وارد شده تحت بررسی و  $N$ : تعداد محصولات غذایی صادر شده مورد بررسی هستند (Ababaei and Ramezani, 2014).

### ۳- نتایج

نیاز آبی و میزان آب مجازی گیاه  $TVW_c$  محصولات کشاورزی



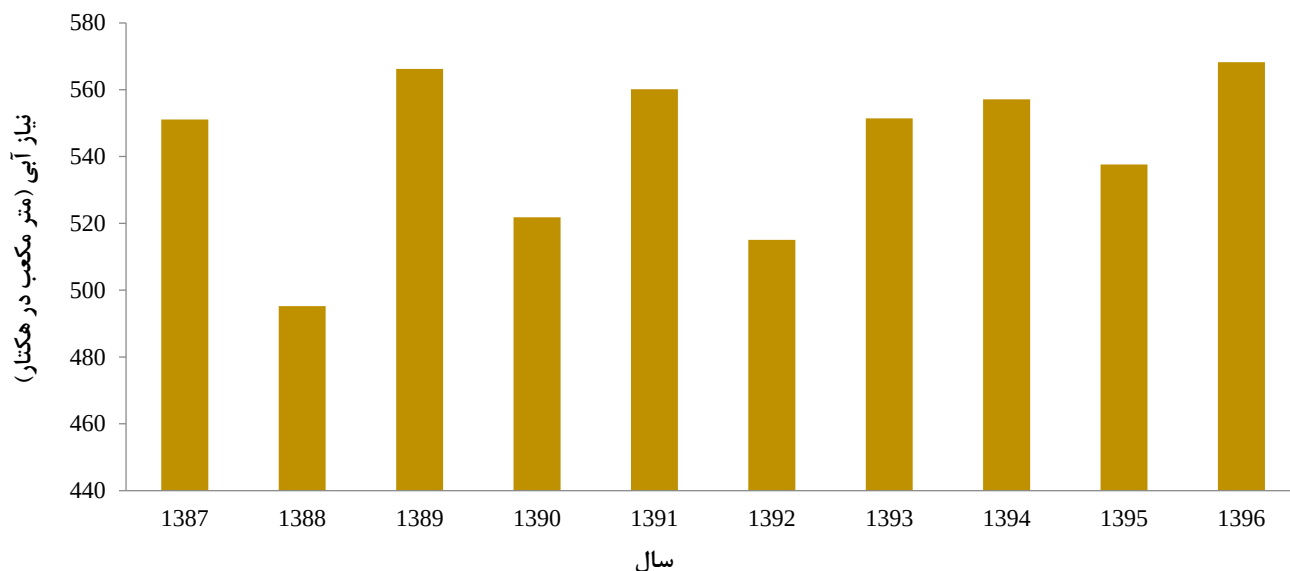
شکل ۲- نمودار نیاز آبی گیاه برنج در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



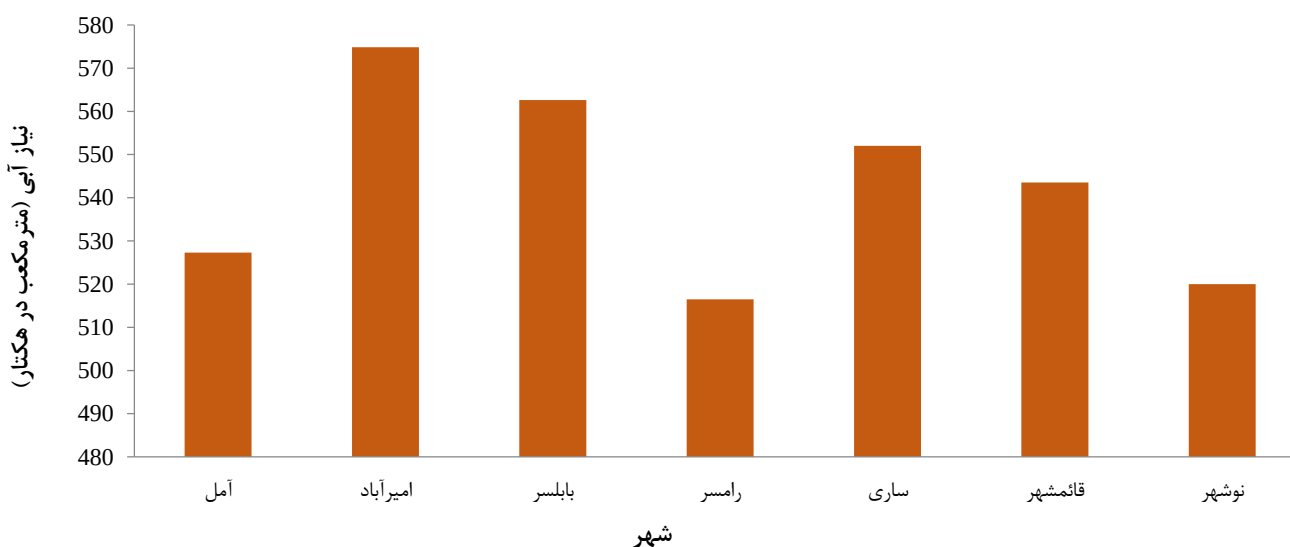
شکل ۳- نمودار میانگین ده‌ساله نیاز آبی برنج به تفکیک شهر در استان مازندران

کمترین نیاز آبی برنج به ترتیب مربوط به شهرهای بابلسر و امیرآباد است. نتایج ارزیابی نیاز آبی گندم در ده سال اخیر در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در نمودارهای ارائه شده شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

شکل ۲ نمودار میزان نیاز آبی برنج در سطح استان را طی سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین نیاز آبی برنج در طی ده سال اخیر به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۸۸ مشاهده می‌شود. شکل ۳ نمودار میانگین ده ساله نیاز آبی برنج در شهرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد که بیشترین و



شکل ۴- نمودار نیاز آبی گیاه گندم در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



شکل ۵- میانگین ده ساله نیاز آبی گندم به تفکیک شهر در استان مازندران

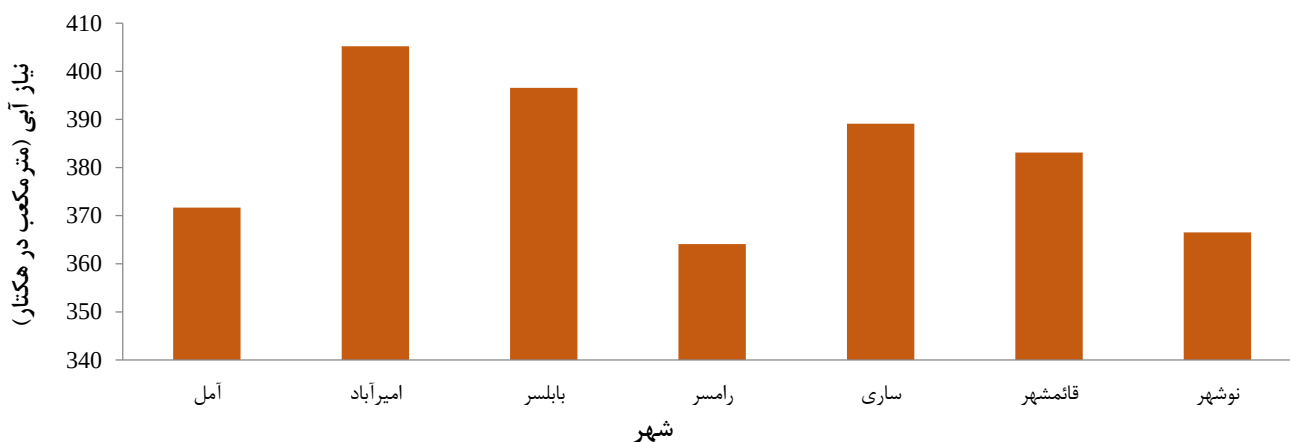
و عمده آب مصرفی آن از نوع آب سبز است. لذا تولید بیشتر گندم و استفاده از این پتانسیل در کشت و کار آن، می‌تواند در آینده حتی نیاز بیشتر گندم را برآورده کند. در شکل‌های ۶ و ۷ نمودارهای میله‌ای میانگین سالانه نیاز آبی گیاه جو و نیاز آبی میانگین ده ساله این محصول به تفکیک شهرهای استان ارائه شده است.

نمودار ارائه شده در شکل ۴ نشان‌دهنده بیشترین و کمترین نیاز آبی در ده سال گذشته در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۸۸ است. همچنین براساس نمودار شکل ۵ بیشترین و کمترین نیاز آبی با توجه به شرایط اقلیمی خاص هر منطقه، به ترتیب در شهرهای امیرآباد و رامسر مشاهده شده است. تأثیرات تغییر آب و هوا در سطح استان و همچنین در سال‌های مختلف به چشم می‌آید. از طرفی گندم در سطح استان مازندران به صورت دیم کشت می‌شود





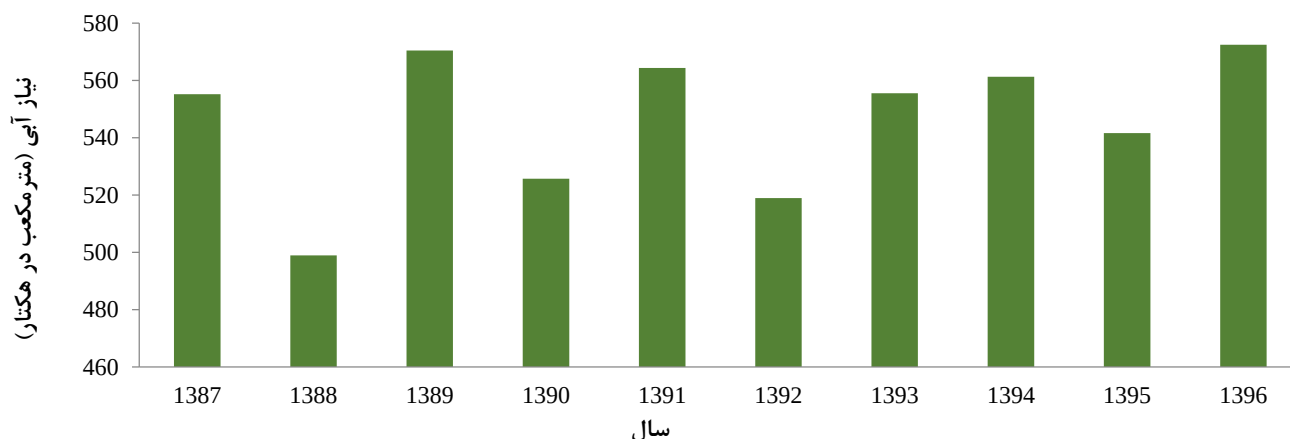
شکل ۶- نمودار نیاز آبی گیاه جو در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



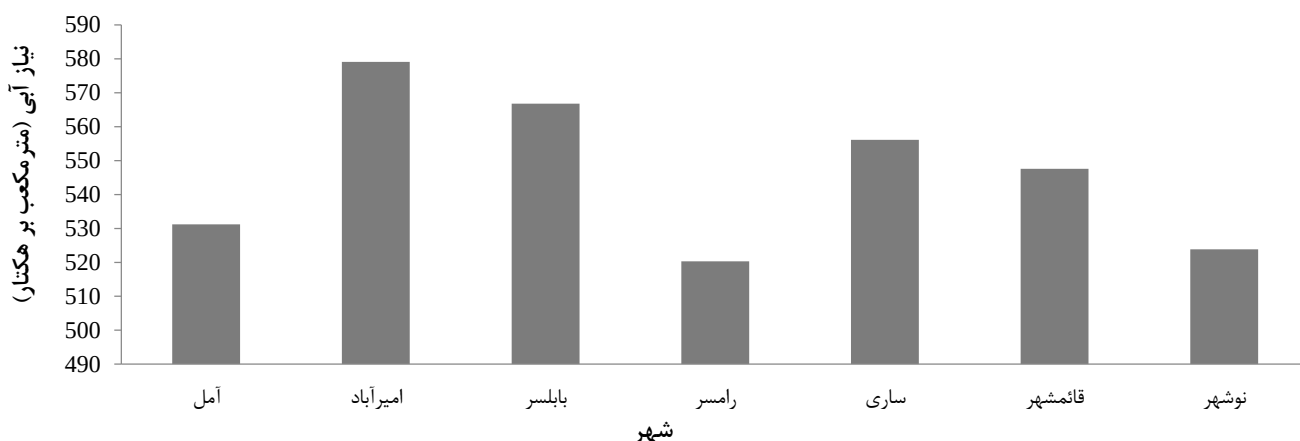
شکل ۷- میانگین ده ساله نیاز آبی گیاه جو به تفکیک شهر در استان مازندران

مرکبات یکی از محصولات مهم باغبانی است که در جهان دارای سابقه‌ی کشت و پرورش ۴۰۰۰ ساله است. با توجه به این مسئله که مرکبات، یکی از محصولات تجاری و استراتژیک استان مازندران است و باغداران در سطح چشمگیری به کشت این محصول پرداخته‌اند، ارزیابی حجم نیاز آبی مرکبات و آب مجازی مصرفی، در بهبود کنترل منابع آبی در دسترس بسیار مفید است.

با توجه به نمودار شکل ۶ بیشترین و کمترین نیاز آبی در شهرهای امیرآباد و رامسر و همچنین براساس نمودار شکل ۷ بیشترین و کمترین میزان نیاز آبی این محصول در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ مشاهده می‌شود. با توجه به اقلیم منطقه امیرآباد و ویژگی‌های هواشناسی در این منطقه نیاز آبی گیاه جو در ده سال گذشته بیشتر از سایر ایستگاه‌های استان مازندران شده است.



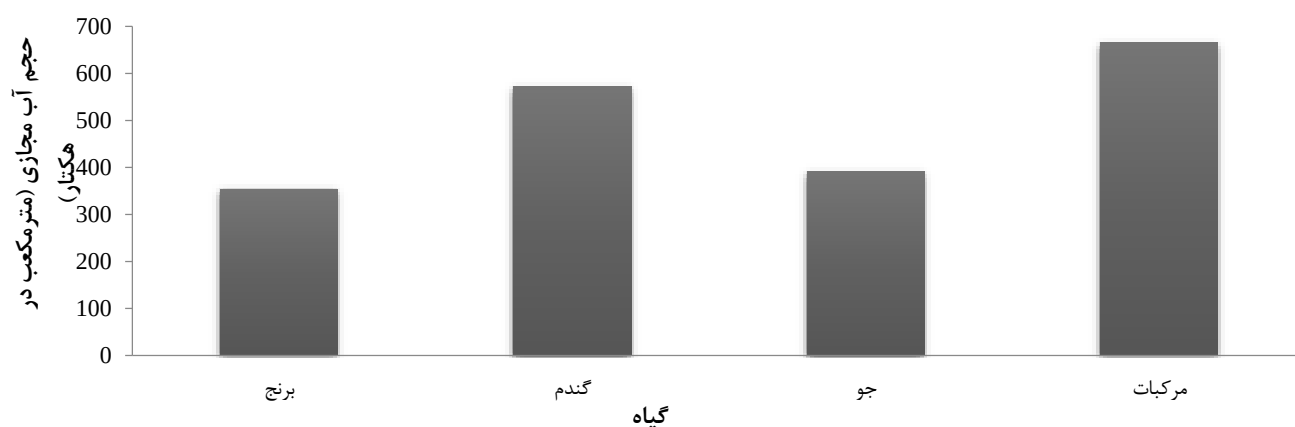
شکل ۸- نمودار نیاز آبی مرکبات در سطح استان مازندران در ده سال اخیر به تفکیک سال



شکل ۹- میانگین ده ساله نیاز آبی مرکبات به تفکیک شهر در مازندران

نیاز آبی را به خود اختصاص می دهند. توصیه می شود سطح زیر کشت مرکبات در مناطق شناسایی شده با کمترین نیاز آبی افزایش و سطح زیر کشت آن در مناطقی با نیاز آبی بالاتر، کاهش یابد. شکل ۱۰ میزان نیاز آبی چهار محصول مذکور را در طی ده سال گذشته در سطح استان مازندران نشان می دهد، همان طور که مشاهده می شود به ترتیب مرکبات، گندم، جو و برنج بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده اند.

همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود بیشترین و کمترین نیاز آبی مرکبات به ترتیب در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۸۸ ایجاد شده است. با نگاهی به نمودار مربوط به تغییرات نیاز آبی در بین ایستگاه ها در ده سال اخیر در شکل ۹، مشخص می شود کمترین نیاز آبی مرکبات، در شهرهای آمل، رامسر و نوشهر است. بنابراین این مناطق استعداد بیشتری برای کشت و کار مرکبات دارند. با این وجود، مرکبات در شهرستان های امیرآباد و بابلسر بیشترین



شکل ۱۰- میانگین نیاز آبی گیاهان در طی ده سال گذشته در سطح استان مازندران

استان مازندران را نشان می دهد.

جدول ۱ میانگین کل آب مجازی محصولات مورد بررسی در طی ده سال گذشته با توجه به سطح زیر کشت این محصولات در

جدول ۱- میانگین ده ساله کل آب مجازی محصولات مورد بررسی در استان مازندران از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶

| سال   | ۸۷   | ۸۸   | ۸۹  | ۹۰     | ۹۱   | ۹۲   | ۹۳   | ۹۴     | ۹۵    | ۹۶    |
|-------|------|------|-----|--------|------|------|------|--------|-------|-------|
| محصول | برنج | گندم | جو  | مرکبات | برنج | گندم | جو   | مرکبات | برنج  | گندم  |
| ۱۷۹۵۲ | ۷۰۳۰ | ۳۳۰۷ | ۳۹۲ | ۱۵۸۲۹  | ۶۰۹۵ | ۵۵۰۸ | ۶۹۸۷ | ۷۲۵۱   | ۵۸۳۳  | ۶۲۰۲  |
| ۱۴۵۷۰ | ۵۴۹۰ | ۲۵۱۶ | ۴۵۰ | ۱۷۵۷۷  | ۹۱۸۱ | ۸۰۱۸ | ۹۱۸۱ | ۱۴۷۳۹  | ۱۵۱۲۴ | ۱۵۹۲۸ |
| ۲۹۳۳  | ۲۵۱۶ | ۳۳۰۷ | ۳۹۲ | ۳۷۲۸   | ۴۴۱۶ | ۱۸۱۷ | ۲۴۱۸ | ۲۸۵۴   | ۳۲۲۷  | ۲۸۶۳  |
| ۳۷۵   | ۴۵۰  | ۳۹۲  | ۳۹۲ | ۴۶۵    | ۴۴۷  | ۳۶۸  | ۴۰۴  | ۳۹۳    | ۴۰۲   | ۳۶۲   |

و هوایی و نزولات جوی بوده است. میزان آب مجازی سبز و آبی بر مبنای روش USDA، با استفاده از خروجی مدل، روابط (۱۳) تا (۱۵) و داده‌های اقلیمی هم‌چون میزان بارش منطقه و نیاز خالص آبیاری هر محصول محاسبه شده است. در شکل ۱۱، درصد آب مجازی سبز و آبی در چهار محصول برنج، گندم، جو و مرکبات در طی ده سال گذشته در کل استان مازندران قابل مشاهده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد برنج بیشترین مصرف آب مجازی را به‌خود اختصاص داده است و مرکبات از محصولات با مصرف آب مجازی کمتری به‌شمار می‌رود. بعد از برنج، گندم بیشترین حجم آب مجازی را به‌خود اختصاص داده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد تغییرات در حجم آب مصرفی در طی سال‌های مختلف، مربوط به تغییر سطح زیر کشت و عملکرد گیاهان مورد مطالعه در طی سال‌های مختلف و همچنین تغییرات شرایط جوی و آب



شکل ۱۱- درصد میانگین نیاز آبی سبز و آبی در گیاهان مورد مطالعه در سطح استان مازندران در ده سال اخیر

سبز در محصولات گندم و جو را نشان می‌دهد. جدول ۲ حجم آب صادر شده و وارد شده محصولات گندم و جو را نشان می‌دهد. کل واردات آب مجازی ( $TVW_i$ ) و کل صادرات آب مجازی ( $TVW_e$ ) بر اساس داده‌های موجود اداره گمرک کشور و روابط (۱۷) و (۱۸) محاسبه شده‌اند.

در نمودارهای ارائه‌شده در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود بیشترین میزان آب سبز که آب قابل استفاده از گیاهان بوده و قابل برداشت نیست، متعلق به مرکبات است. هم‌چنین بیشترین میزان آب آبی مصرفی که بخشی از منابع آبی قابل جمع‌آوری و برداشت است در تولید برنج مورد استفاده قرار گرفته است. هم‌چنین نمودارهای فوق نسبت مشابهی از مصرف آب آبی و آب

جدول ۲- حجم آب صادر شده و وارد شده به‌واسطه محصولات مورد مطالعه در استان مازندران از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶

| سال | آب مجازی صادر شده (مترمکعب در سال) |       | آب مجازی وارد شده (مترمکعب در سال) |        |
|-----|------------------------------------|-------|------------------------------------|--------|
|     | گندم                               | جو    | گندم                               | جو     |
| ۸۸  | -                                  | ۰/۲۸۵ | ۱۰۳۵۷۵                             | -      |
| ۸۹  | ۳۸۹۱                               | ۰/۰۰۴ | -                                  | ۱۴۵۷۰  |
| ۹۰  | ۱۶/۵                               | ۰/۲۹۹ | ۲۲۲۴۳                              | -      |
| ۹۱  | ۵۵                                 | ۰/۱۰۸ | ۵۸۴۰۰                              | ۴۵۲۶۳  |
| ۹۲  | -                                  | ۰/۱۰۵ | ۵۲۴۲۸                              | ۱۱۵۲۱۲ |
| ۹۳  | -                                  | -     | ۵۲۶                                | ۶۳۵۳   |
| ۹۴  | -                                  | -     | ۲۴۱۶                               | ۲۲۰۹۸  |
| ۹۵  | -                                  | ۰/۰۸۱ | ۲۱۶۳۸                              | ۲۳۶۴۸  |
| ۹۶  | ۱۳۶۳                               | ۰/۰۵۰ | -                                  | -      |
| جمع | ۵۳۲۵/۵                             | ۰/۸۸۴ | ۲۶۱۲۲۹                             | ۲۲۷۱۴۷ |

آبی بالا به منابع آبی باز نمی‌گردد. تولید مرکبات آب مجازی کمتری را در برمی‌گیرد. عمده آب مجازی مصرف شده توسط مرکبات از نوع آب سبز است و مرکبات در گروه محصولات کم‌مصرف با بهره‌وری بالای آب قرار دارند. گندم و جو نیز شرایطی مشابه مرکبات در استان مازندران دارند.

با افزایش محصول‌های سازگار در منطقه به دلیل مصرف آب مجازی کمتر و عملکرد بیشتر و تغییر دادن میزان تولید محصول‌هایی مانند مرکبات، گندم و جو که دارای نیاز آبی کمتر در سطح استان هستند، به مبادله آگاهانه آب مجازی در استان پرداخت. علاوه بر این نیاز آبی گیاهان در شهرهای غربی استان نسبت به شهرهای شرقی کمتر بوده و این به دلیل بارندگی بیشتر و بارندگی مؤثر، بیشتر در شهرهای غربی است. بنابراین می‌توان بیان کرد غرب استان مازندران بیشتر مستعد کشت گیاهان با نیاز آبی بالاتر همچون برنج نسبت به شرق استان مازندران است. با تغییر الگوی کشت متناسب با اقلیم منطقه و نیاز آبی محصول می‌توان ذخیره‌سازی بیشتر منابع آبی و همچنین استفاده کاراتر از منابع آب موجود را بهبود بخشید. مضافاً، به کارگیری فناوری‌های نوین کشاورزی مانند کشاورزی حفاظتی، استفاده از بذور اصلاح‌شده و برگزاری برنامه‌های آموزشی و ترویجی برای کشاورزان برای بهبود بهره‌وری در استفاده از منابع از طریق افزایش عملکرد و کاهش مصرف نهاده‌های تولید، در حفظ توان صادراتی استان و کاهش فشار موجود بر منابع آب، می‌تواند راهگشا باشد.

#### ۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Crop Evapotranspiration
- 2- Reference Evapotranspiration
- 3- United States Department of Agriculture

#### ۶- مراجع

- آبابایی، ب. و رضائی، ح.، (۱۳۹۴)، "ردپای آب مجازی در محصولات گندم ایران"، *مجله آب‌وخاک*، ۲۳(۶)، ۱۴۵۸-۱۴۶۸.
- بذرافشان، الف.، دهقان‌پیر، ش. و حلی‌ساز، آ.، (۱۳۹۶)، "برآورد بیلان آب مجازی در بخش کشاورزی در استان هرمزگان طی دهه گذشته"، *مجله مدیریت بیابان*، ۵(۱۰)، ۱۱۶-۱۲۹.
- تهامی‌پور، م. و عابدی، س.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی تجارت آب مجازی در بخش صنعت استان زنجان"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸(۳)، ۳۶-۴۵.

ارزیابی حجم آب صادر و وارد شده در استان مازندران نشان داد محصول جو نقشی در صادرات آب مجازی از مازندران نداشته و بیشترین آب صادرشده در مازندران توسط گندم صورت گرفته است. همچنین برنج و مرکبات از محصولات عمده استان مازندران در بازار داخلی و خارج از کشور هستند. حجم بیشتر آب مجازی مصرف شده توسط گندم و مرکبات از منابع آب سبز است که قابل انتقال و جابجایی نیست و تنها توسط گیاهان مصرف می‌شود. با توجه به این امر، صادرات آب مجازی توسط این دو گیاه آسیبی به منابع آب تجدیدناپذیر این استان وارد نمی‌سازد. ضمن این که حجم آب وارد شده توسط گیاه گندم و جو، چندین برابر حجم آب صادر شده است.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با روند رو به افزایش کم‌آبی در استان مازندران، اهمیت آب مجازی در امنیت غذایی استان پیوسته رو به افزایش است. بنابراین با توجه به عملکرد هریک از محصول‌های مورد مطالعه، میزان آب مجازی مصرفی و ارزش اقتصادی آن‌ها می‌توان صادرات آب مجازی محصول‌های با نیاز آبی بالا را کاهش داده و با وارد کردن محصول‌هایی که دارای میزان آب مجازی مصرفی بالایی هستند، به امنیت آبی و مدیریت منابع آب در استان مازندران کمک کرد. مطالعه نیاز آبی محصولات کشاورزی استان مازندران در ده سال اخیر نشان داد مرکبات، گندم، جو و برنج بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی سطح زیر کشت این محصولات در استان نشان داد برنج بیشترین مصرف آب مجازی را به خود اختصاص داده است و مرکبات از محصولات با مصرف آب مجازی کمتری به شمار می‌رود. همچنین ۹۷ درصد از نیاز آبی مرکبات از آب سبز تأمین می‌شود در حالی که نیاز آبی برنج تنها ۴۰ درصد از آب سبز تأمین شده و ۶۰ درصد نیاز به آب آبی دارد. همچنین در خصوص گندم و جو در حدود ۷۸ درصد از نیاز آبی از آب سبز تأمین می‌شود.

به‌طور کلی تولید مرکبات، برنج و جو بیشتر از نیاز استان است که به استان‌های دیگر و یا خارج از کشور ارسال می‌شود. حجم آب مجازی مورد نیاز گیاه برنج در سطح استان نسبت به سایر محصولات بیشتر است. خروج برنج از استان به مناطق دیگر کشور به معنی خروج حجم بالایی از آب مجازی است. با توجه به این که آب مصرفی برنج عمدتاً از نوع آب آبی است و این نوع آب مجازی علاوه بر این که قابل انتقال است، در سایر بخش‌ها نیز قابل استفاده است. در حقیقت آب مجازی مصرف شده توسط این گیاه با نیاز

- assessment of the environmental impacts of food production and processing", In: *Environmental Assessment and Management in the Food Industry*, The University of Warwick, pp. 255-271.
- Liu, J., Williams, J.R., Zehnder, A.J.B., and Yang, H., (2007), "GEPIC-modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale", *Agricultural Systems*, 94(2), 478-493.
- PourSalehi, F., Khashei, A., and Bidokhti, Z., (2016), "Changes in cropping pattern and intensification based on virtual water with the saffron centrality (Case Study: Birjand plain)", *Journal of Zaffron Research*, 3(1), 18-30.
- Salah, A., (2014), "Investigating virtual water trade patterns in economic activity of Guilan province by application of expanded input-output table", M.Sc. Thesis, School of Economics, Shahid Beheshti University, Iran.
- Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C., and Zehnder, A.J., (2006), "Virtual water highway: Water use efficiency in global trade", *Hydrology and Earth System Sciences*, 3(1), 1-26.
- Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C., and Zehnder, A.J., (2006), "Virtual water trade: An assessment of water use efficiency in the international food trade", *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 443-454.
- Zhao, A., Zhu, X., Liu, X., Pan, Y., and Zuo, D., (2016), "Impacts of land use change and climate variability on green and blue water resources in the Weihe River Basin of northwest China", *CATENA Journal*, 137, 318-32.
- Zhao, X., Yang, H., Yang, Z., Chen, B., and Qin, Y., (2010), "Applying the input-output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River basin in China", *Environmental Science and Technology*, 44(23), 9150-91.
- چوپان، ی. و امامی، س.، (۱۳۹۹)، "بررسی امکان سنجی بهره گیری از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری تربت حیدریه برای آبیاری محصولات کشاورزی"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۵(۱)، ۳۹-۴۵.
- زارع ابیانه، ح.، آرام، م.، اخوان، س.، (۱۳۹۴)، "ارزیابی حجم آب مجازی مبادلاتی محصولات عمده زراعی استان همدان"، *مجله پژوهش آب/ایران*، ۹(۳)، ۱۵۱-۱۶۱.
- معلمی، م.، (۱۳۹۷)، "بررسی تأثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی در کشورهای منتخب"، *مجله نظریه های کاربردی اقتصاد*، ۵(۱)، ۱۳۳-۱۵۸.
- موسوی، ن.، اکبری، م.، سلطانی، غ.، زارع، م.، (۱۳۸۸)، "آب مجازی: راه کارهای نوین در جهت مقابله با بحران آب"، *همایش ملی مدیریت بحران آب*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- Ababaei, B., and Ramezani, H., (2014), "Estimation of water footprint component of Iran's wheat production, comparison of global and national scale estimates", *Environmental Process Journal*, 1(3), 193-205.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Rase D., and Smith, M., (1998), "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements, irrigation and drainage paper", FAO (Food and Agriculture Organization) of the United Nations, 56.
- BadrulMasud, M., Wada, Y., Goss, G., and Faramarzi, M., (2019), "Global implications of regional grain production through virtual water trade", *Science of the Total Environment*, 659, 807-820.
- Faramarzi, M., Yang, H., Mousavi, J., Schulin, R., Binder, C.R., and Abbaspour, K.C., (2010), "Analysis of intra-country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran", *Hydrology and Earth Sciences*, 14(8), 1417-1433.
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y., and Vander Meer, T.H., (2009), "The water footprint of bioenergy", *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10219-10223.
- Hoekstra, A., and Mekonnen, M., (2016), "Imported water risk: The case of the UK", *Environmental Research Letters*, 11(5), 50-52.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., (2008), *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*, Blackwater Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M., (2009), *Water footprint manual: State of the art*, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- Horlemann, L., and Neubert, S., (2007), *A realistic concept for resolving the water crisis inter-and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin virtual water trade*, Research Report, German Development Institute, pp. 216-227.
- Lillywhite, R., (2010), "Footprinting methods for



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

### Investigation of the Relationship between Land Surface Changes due to Subsidence and Groundwater using Sentinel-1 Satellite Images and Statistical Models (Case study: Varamin plain)

MohammadAli Athari<sup>1</sup>, Hamid reza Azizi<sup>2\*</sup>, Seyed Shahab Hashemi<sup>3</sup> and HamidReza Honari<sup>4</sup>

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

2- Ph.D., Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Ph.D., Civil-Water Recourses Management, Ab Sanat Energy Co. Managing Director, Tehran, Iran

4- M.Sc., Retired Faculty Member of Tehran University, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author, Email: [Azizi.hamidr@gmail.com](mailto:Azizi.hamidr@gmail.com)

Received: 14/12/2020

Revised: 15/10/2021

Accepted: 26/10/2021

© IWWA

## Abstract

One of the most important issues that has been considered by many researchers in recent years is the study of the phenomenon of land subsidence. The purpose of studying subsidence is to examine the risks and consequences that can result from it over many years. In their research, most researchers considered the occurrence of earthquakes and excessive abstraction of groundwater aquifers due to the drilling of a large number of illegal wells as the most important causes of subsidence. The aim of this study was to obtain a statistical relationship between groundwater level changes and the rate of vertical movement of the earth's surface using linear regression and grade 3 models and using InSAR radar interferometry technique in Varamin plain between 2014 and 2019. Most of the surface of Varamin plain is covered by agricultural lands and therefore it can be said that the uncontrolled abstraction of groundwater is considered as the main cause of vertical movements of the earth. In order to analyze the subsidence that occurred in this plain, Snap software was used and by applying the desired filters to eliminate the noise in the initial images, surface displacement maps were obtained in Varamin plain. The images used for the surface of the earth from 2014 to 2019 were obtained by Sentinel-1 satellite SAR sensor as ascending, and finally, by comparing the obtained statistical models from the fluctuation of the aquifer and the ground, it was found that the linear regression model has a better predictive power than the 3rd degree regression model.

**Keywords:** Land subsidence, Ground water level, InSAR, Snap, Sentinel-1

بررسی رابطه بین میزان تغییرات سطح زمین در اثر فرونشست و آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و مدل‌های آماری (منطقه مورد مطالعه: دشت ورامین)

محمدعلی اطهری<sup>۱</sup>، حمیدرضا عیسی<sup>۲\*</sup>، سیدشهاب هاشمی<sup>۳</sup>، حمیدرضا هنری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه آب و محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دکتری تخصصی، گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دکتری مدیریت منابع آب، مدیرعامل شرکت آب صنعت انرژی، تهران، ایران

۴- کارشناس ارشد، عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه تهران، شرکت مهندسی مشاور آبران، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول، ایمیل: [azizi.hamidr@gmail.com](mailto:azizi.hamidr@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

## چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است، بررسی پدیده فرونشست زمین است. هدف از مطالعه فرونشست، بررسی خطرات و پیامدهایی است که می‌تواند در اثر آن در طی سالیان متمادی به وجود آید. اکثر پژوهشگران در تحقیق خود، وقوع زمین‌لرزه و برداشت بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی در اثر حفر تعداد زیادی از چاه‌های غیرمجاز را از جمله مهم‌ترین عوامل وقوع فرونشست در نظر گرفتند. هدف این تحقیق ارزیابی ارتباط آماری میان تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان حرکت عمودی سطح زمین با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و درجه ۳ و استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری InSAR در دشت ورامین بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ است. با توجه به کاربری کشاورزی در بیشتر مناطق این دشت، می‌توان اظهار نمود که برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی به عنوان عامل اصلی حرکات عمودی زمین در نظر گرفته شود. به منظور آنالیز فرونشست اتفاق افتاده در این دشت، از نرم‌افزار Snap استفاده شد و با اعمال فیلترهای موردنظر برای رفع نویزهای موجود در تصاویر اولیه، نقشه‌های جابه‌جایی سطح در دشت ورامین به دست آمد. تصاویر استفاده شده برای سطح زمین نیز از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ توسط سنجنده SAR ماهواره Sentinel-1 و به صورت Ascending دریافت شد. در نهایت با مقایسه مدل‌های آماری به دست آمده از نوسان سطح آبخوان و سطح زمین، مشخص شد که مدل رگرسیون خطی با وجود ضریب همبستگی پایین که متأثر از اثرگذاری سایر عوامل طبیعی است، دارای قدرت پیش‌بینی مطلوب‌تری نسبت به مدل رگرسیون درجه ۳ است.

**واژه‌های کلیدی:** فرونشست زمین، سطح آب زیرزمینی، InSAR، Snap، Sentinel-1

کلیه پدیده‌هایی که سبب تغییر شکل سطح زمین می‌شوند مطرح شده و به‌صورت قابل ملاحظه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵).

یک سیستم SAR، امواج الکترومغناطیس را در طول موج‌های از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر و در هر شرایط آب‌وهوایی و در طول شب و روز گسیل می‌دارد و سیگنال بازتابی هم از نظر شدت و هم از نظر فاز بازتابیده شده از هر المان، در سلول تفکیکی زمینی به‌صورت آرایه‌هایی از مقادیر موهومی ثبت می‌شود. این مقادیر موهومی میزان بازتابندگی سطح زمین را نشان می‌دهند. هرگاه دو تصویر رادار از یک منطقه و در زمان‌های متفاوت موجود باشد به‌شرط موجود بودن مدل ارتفاعی منطقه مورد نظر، تصویر اینترفروگرام مربوطه می‌تواند هرگونه جابه‌جایی اتفاق افتاده در منطقه را شناسایی نماید (فتح الهی و همکاران، ۱۳۹۷).

(Larson et al., 2001) در پژوهشی فرونشست زمین ناشی از استخراج بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در شهر سن ژواکین<sup>۱</sup> شمال کالیفرنیا را مطالعه نمودند. در این پژوهش از مدل‌های شبیه‌سازی فرونشست زمین ناشی از اضافه برداشت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با استفاده از داده‌های مشاهده شده از ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۸ استفاده کرده و پاسخگویی مدل به تغییرات پارامترهای فرونشست را از طریق آنالیز حساسیت مورد بررسی قرار دادند. هم‌چنین سناریوی احتمالی خشکسالی در آینده برای ارزیابی تأثیر فرونشست زمین را مطرح و پیشنهاد استفاده از سه گزینه انتقال آب، استفاده از آب‌های سطحی و کاهش برداشت در طی سی سال آینده را ارائه نمودند.

با توجه به اهمیت رابطه میزان فرونشست و تغییرات سطح آب زیرزمینی، پژوهش در این زمینه ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه میزان تغییرات فرونشست و نوسان تراز آب زیرزمینی به‌واسطه استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و درجه ۳ و استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری InSAR در یک مطالعه موردی در جنوب شرقی استان تهران انجام گرفته است. با توجه به موقعیت منطقه، برداشت‌های روزافزون برای مصرف آب کشاورزی موجب افت سطح آب در دشت شده است که با انجام این تحقیق و تعیین ارتباط میان میزان فرونشست و نوسان سطح آبخوان، می‌توان برنامه‌ریزی اصولی برای کنترل برداشت و طرح‌های توسعه آبخوان در منطقه ارائه داد.

فرونشست زمین یکی از مشکلات اصلی زمین‌شناسی در سراسر جهان است که باعث ایجاد خسارت‌های جدی به ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و پل‌ها است و طبق تعریف سازمان زمین‌شناسی آمریکا، شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی اندکی باشد (Brambati et al., 2003). علت اصلی این پدیده را می‌توان به فعالیت‌های انسانی نظیر برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی و دلایل طبیعی نظیر زمین‌لرزه تقسیم‌بندی نمود (Du et al., 2016; Guo et al., 2016). نشست منطقه‌ای زمین، تغییرات قابل مشاهده قائم سطح زمین است که معمولاً به شکل صفحه‌ای یا بشقابی و به‌صورت جابجایی‌های رو به پایین دیده می‌شود. این حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نیست و تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می‌دهد (نژادگرگی و معتقدی، ۱۳۹۸).

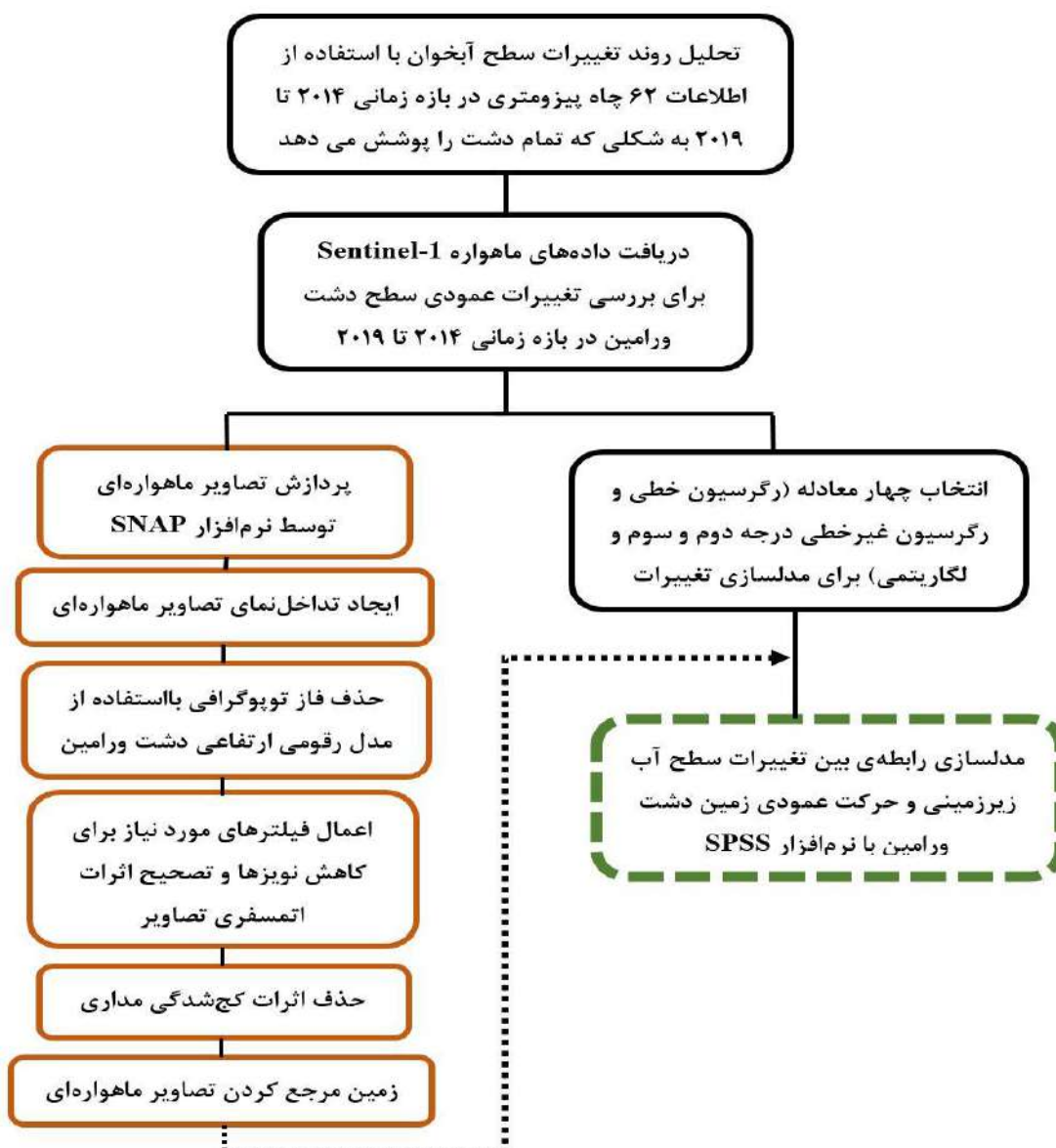
فرونشست با ایجاد تغییر در وضعیت توپوگرافی منطقه، می‌تواند سبب بروز تغییرات چشمگیری در هیدرولوژی منطقه شود. به‌عنوان مثال در این مناطق ممکن است سیلاب‌های عظیم و مخربی به‌وقوع بپیوندد، در حالی‌که قبل از ایجاد فرونشست از هیچ سابقه‌ای برخوردار نبوده است. از سوی دیگر این پدیده می‌تواند با ایجاد تغییر در وضعیت زمین آب‌شناختی منطقه از قبیل جهت و سرعت جریان آب زیرزمینی، بیلان آب زیرزمینی و... نتیجه ناهنجار بیشتری در پی داشته باشد (کوچکی و قربان زاده، ۱۳۹۸). در کشور ایران پس از زلزله، سیلاب و خشکسالی، پدیده فرونشست را می‌توان یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین مخاطرات به‌شمار آورد (منتظریون و اصلانی، ۱۳۹۸). وقوع فرونشست در مناطق مختلف دنیا منجر به بروز خسارت جدی به ساختارهای انسان ساخت و طبیعی شده است (مختاری و همکاران، ۱۳۹۸). گزارش‌های متعددی از فرونشست زمین به ویژه در مناطق خشک و کم‌باران در سراسر جهان ارائه شده است که مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی این مناطق پمپاژ بی‌رویه منابع آب زیرزمینی است. (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین ارزیابی میزان فرونشست در دشت‌های کشور امری ضروری است. از اوایل دهه ۱۹۹۰ تداخل‌سنجی رادار دهانه ترکیبی InSAR (interferometry synthetic aperture rader) به‌عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه کلیه پدیده‌هایی که سبب تغییر سطح زمین می‌شوند مطرح شده و مورد استفاده قرار گرفته است. در دو دهه اخیر تکنیک تداخل‌سنجی راداری به‌عنوان ابزاری کارآمد و توانمند در مطالعه

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- روش تحقیق

روش انجام پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی است (نوری و فلاح پور، ۱۳۹۹). ابتدا برای تحلیل و بررسی تغییرات سطح آبخوان ورامین، اطلاعات مورد نیاز ۶۲ چاه مشاهده‌ای با پوشش حداکثری تمام سطح دشت از شرکت مدیریت منابع آب ایران در بازه مورد بررسی تهیه شده است. در بخش بعدی از تصاویر

ماهواره‌ای Sentinel-1 به منظور بررسی تغییرات رقوم ارتفاعی سطح دشت ورامین استفاده شد، به شکلی که برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم افزار Snap از تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR) استفاده شده است (عبدالخالق و همکاران، ۱۳۹۸). در نهایت رابطه بین میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان تغییرات عمودی دشت ورامین بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ از دو معادله رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی درجه سوم با استفاده از نرم‌افزار SPSS استخراج شد (شکل ۱).



شکل ۱- رویکرد گام به گام پیشنهادی برای تعیین رابطه میان فرونشست و تغییرات سطح آبخوان

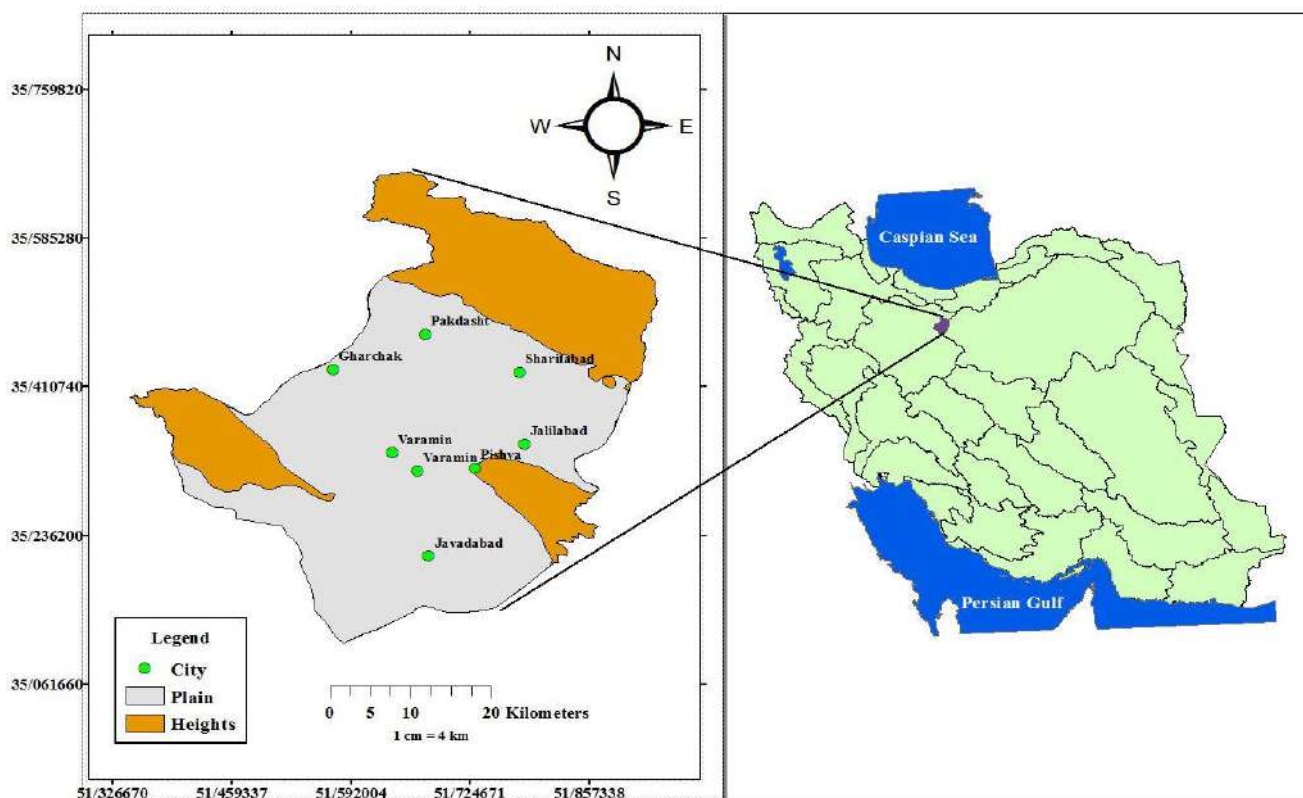
### ۲-۲- محدوده مورد مطالعه

دشت ورامین یکی از جنوبی‌ترین دشت‌های استان تهران در همسایگی کویر مرکزی قرار دارد. حوضه آبریز دشت ورامین با

وسعتی معادل ۱۷۲۰ کیلومتر مربع از زیرحوضه‌های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و

لتیان یکی از عواملی است که در چرخه هیدرولوژیکی حوضه و همچنین توسعه کشاورزی پایین‌دست خود تأثیر زیادی دارد (شکل ۲).

۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. میانگین سالانه دما در این حوضه ۱۶/۹ درجه سانتیگراد بوده و میانگین بارش ۱۵۶ میلی‌متر در سال است. رودخانه‌های جاجرود، در حوضه آبریز مطالعاتی قرار گرفته که سد لتیان در بالادست آن احداث شده است. سد



شکل ۲- تصویر موقعیت جغرافیایی و شهرهای دشت ورامین

پژوهشگران در سراسر جهان، برای موارد مطالعاتی مختلف استفاده شده است. ساختار معادله رگرسیون خطی به صورت رابطه (۱) است (Hazra and Gogtay, 2016; Lin et al., 2017):

$$Y = a + bX \quad (1)$$

که  $Y$ : معرف تغییرات سطح آب آبخوان،  $X$ : میزان تغییرات عمودی سطح زمین،  $a$ : عدد ثابت در معادله و محل قطع شدن خط بر روی محور  $Y$  و  $b$ : معرف شیب خط معادله است که تحت عنوان ضریب رگرسیون نیز معرفی می‌شود.

### ۲-۱-۳-۲- معادله رگرسیون درجه سوم<sup>۳</sup>

معادله دوم که برای تعیین رابطه بین تغییرات فرونشست زمین و تغییرات سطح آب زیرزمینی به کار گرفته شده، رگرسیون غیرخطی درجه ۳ است که توسط بسیاری از پژوهشگران در کارهای تحقیقاتی استفاده شده و ساختار آن به صورت رابط (۲)

### ۲-۳- مفاهیم مورد استفاده

#### ۲-۳-۱- معادلات رگرسیون انحنایی مورد استفاده

برای حصول رابطه میان میزان تغییرات فرونشست زمین و تغییرات سطح آب زیرزمینی، دو معادله رگرسیون در نظر گرفته شده است. برای مقبولیت این روابط، شرط نخست، برقراری رابطه  $|Sig| < 0.05$  است، بدین معنا که معادله، قادر به پیش‌بینی با قدرت بالا و عملکرد مطلوب‌تری است. در شرایطی که اولین شرط برقرار باشد، برای مقایسه این دو معادله (رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی درجه سوم)، هر کدام که دارای مقدار  $F$  بالاتری باشد، برتری بیشتری نسبت به دیگر روابط دارد. این دو رابطه به شرح زیر هستند:

#### ۲-۳-۱-۱- معادله رگرسیون خطی<sup>۲</sup>

اولین معادله‌ای که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته شد، معادله رگرسیون خطی است که توسط بسیاری از



تعریف می‌شود (Sabra et al., 2018; Vuldari et al., 2020):

$$Y = a + (b_1X) + (b_2X^2) + (b_3X^3) \quad (2)$$

که  $b_1$ ،  $b_2$  و  $b_3$ : ضرایب ثابت معادله رگرسیون غیرخطی درجه سوم هستند.

### ۲-۳-۲- نرم‌افزار SPSS

SPSS یک نرم‌افزار آماری بسیار پیشرفته و در عین حال بسیار ساده است که ابتدا به ساکن برای انجام تحقیقات علوم اجتماعی طراحی شد، ولی امروزه گستره استفاده از آن، تمام علوم را دربرگرفته است. بنابراین برای انجام این تحقیق از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از ابزارهای قوی برای تحقیقات آماری است. از جمله توانایی‌های این نرم‌افزار مدل‌سازی با روش‌های خطی و غیرخطی مدل‌های رگرسیونی است. از جمله مدل‌های مورد استفاده در این نرم‌افزار مدل رگرسیون لجستیک است.

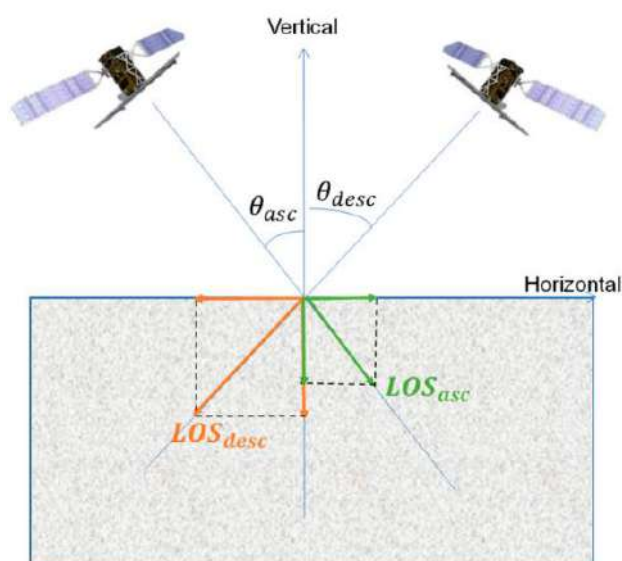
### ۲-۳-۳- نرم‌افزار Snap

تصاویر به‌دست آمده از ماهواره Sentinel-1 به‌صورت موزائیکی و به‌هم پیوسته هستند و باید متناسب با منطقه مورد مطالعه، قسمت مناسبی از تصویر انتخاب و مورد آنالیز قرار گیرد. این موضوع در شکل ۳الف به وضوح قابل مشاهده است. لازم به

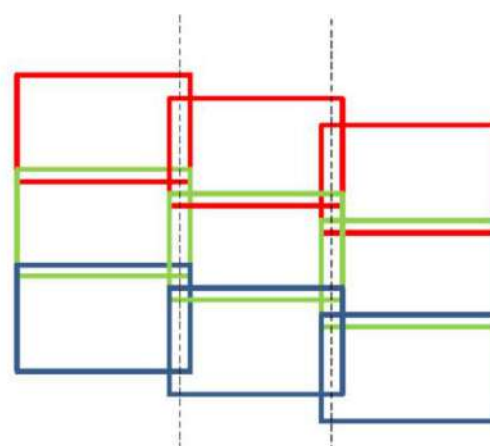
ذکر است به ردیف‌ها Burst و به ستون‌ها IW گفته می‌شود و براساس منطقه مورد مطالعه انتخاب خواهند شد. برای انجام آنالیز تصاویر ماهواره‌ای فرونشست زمین در دشت ورامین، از نرم‌افزار Snap استفاده شد. بدین صورت که تصاویر ماهواره‌ای در طی دوره ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹ توسط این نرم‌افزار تحلیل و نتایج آن نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. از بین دو حالت Ascending و descending، برای این تحقیق تنها به بررسی حالت Ascending پسندیده شده است. دو حالت در شکل ۳ب قابل مشاهده هستند. تصاویر به‌دست آمده از ماهواره Sentinel-1 شامل نویز و خطاهای مختلف می‌شود که در قالب فازهای مختلف معرفی می‌شوند. اختلاف فاز دو تصویر SAR به‌دست آمده محاسبه می‌شود و در نتیجه تداخل‌نگار تولید می‌شود. مؤلفه‌های اصلی سهم در فاز تداخل‌نگار تولیدی عبارتند (Zhou et al., 2018; Téllez-Quiñones, 2020):

$$\varphi_{int} = \varphi_{def} + \varphi_{topo} + \varphi_{flat} + \varepsilon_{error} \quad (3)$$

که  $\varphi_{int}$ : میزان کل تصحیحات تداخل‌سنجی، مؤلفه‌ی فازی  $\varphi_{def}$ : میزان تغییرشکل‌های سطحی زمین به خاطر پروسه‌های طبیعی یا فعالیت‌های انسانی،  $\varphi_{topo}$ : فاز ناشی از توپوگرافی،  $\varphi_{flat}$ : فاز ناشی از مسطح بودن زمین و  $\varepsilon_{error}$ : مؤلفه‌های فازی مزاحم از جمله فاز اتمسفری، باقی‌مانده فاز مربوط به نویزها و ... هستند.



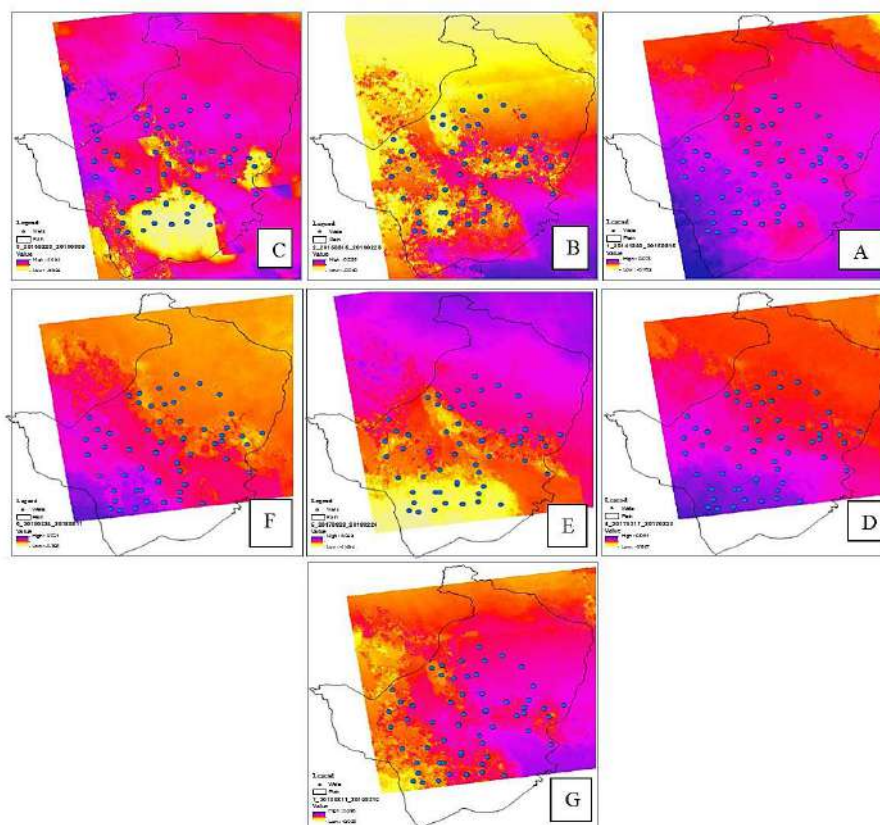
(الف)



(ب)

شکل ۳- الف) ساختار تصاویر ماهواره Sentinel-1 (Sowter et al., 2016)؛ و ب) نحوه قرارگیری ماهواره Sentinel-1 که به دو صورت Ascending و descending با زاویه  $\theta$ ، نسبت به خط عمودی از عوارض سطح زمین تصویربرداری می‌کند (Delgado Blasco et al., 2019)



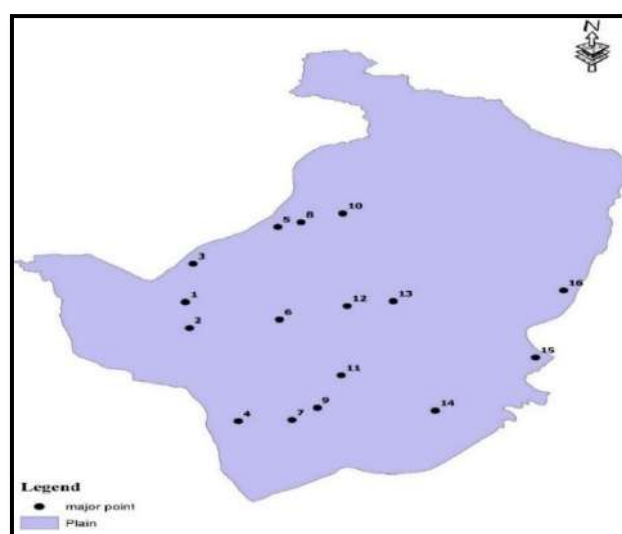


شکل ۴- تصاویر ماهواره‌ای خروجی از آنالیز نرم‌افزار Snap برای دشت ورامین از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹  
 تاریخ تصاویر: (A - 15/08/2015-30/12/2014 (B - 23/02/2016-15/08/2015 (C - 09/08/2016-23/02/2016  
 (D - 28/08/2017-17/02/2017 (E - 4/02/2018-28/08/2017 (F - 11/08/2018-24/02/2018 (G - 19/02/2019-11/08/2018

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و نمودارهای فرونشست زمین - تغییرات سطح آبخوان در محدوده مورد بررسی، ۱۶ نقطه به‌عنوان ناحیه‌های مورد

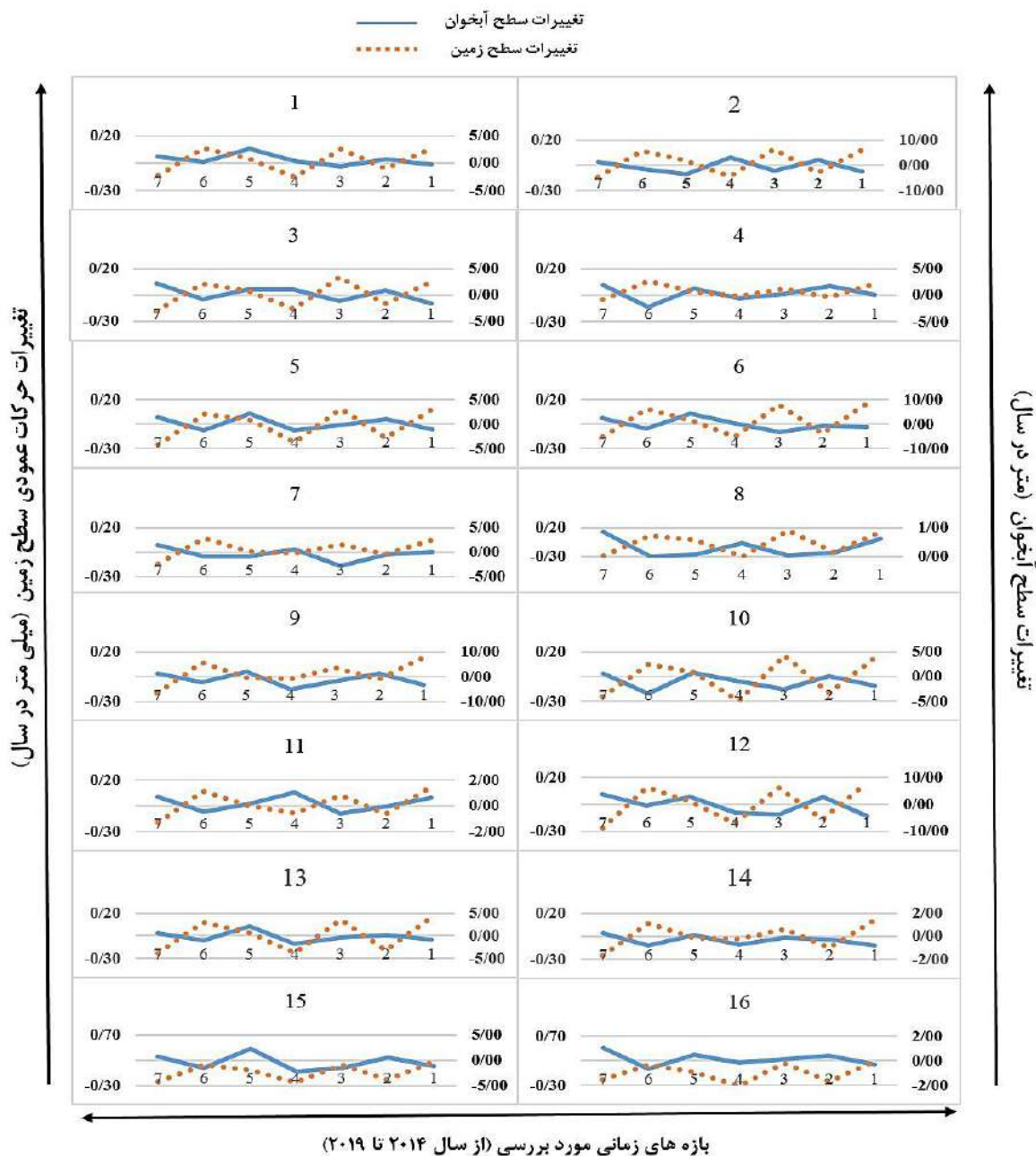
بررسی با توجه به پوشش ۶۲ چاه پیزومتری برای بررسی هم‌زمان تغییرات سطح آبخوان با میزان فرونشست زمین در طی سال‌های ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است. تصاویر ماهواره‌ای خروجی از آنالیز نرم‌افزار Snap برای دشت ورامین در بازه زمانی موردنظر و نقاط انتخابی نشان داده شده است (شکل ۴).



شکل ۵- شانزده نقطه انتخابی برای بررسی رابطه بین فرونشست زمین و تغییرات سطح آب سفره زیرزمینی

بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق حفر چاه‌های مجاز و غیر مجاز است. نمودار عمودی سمت راست معرف میزان تغییرات سطح آبخوان و نمودار عمودی سمت چپ معرف میزان تغییرات حرکات عمودی زمین است. همچنین بازه‌های زمانی مورد بررسی به ترتیب از ۱ تا ۷ شماره‌گذاری شده‌اند.

این ۱۶ نقطه شکل ۵ به‌صورتی انتخاب شده‌اند که تمامی سطح آبخوان و چاه‌های پی‌زومتری را پوشش داده و بتواند تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به تغییرات عمودی سطح زمین را به‌خوبی نشان دهد. همان‌طور که در شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد، فرونشست زمین در اکثر نقاط، پس از افت سطح آب زیرزمینی رخ داده است، که نشان از تأثیر مستقیم برداشت

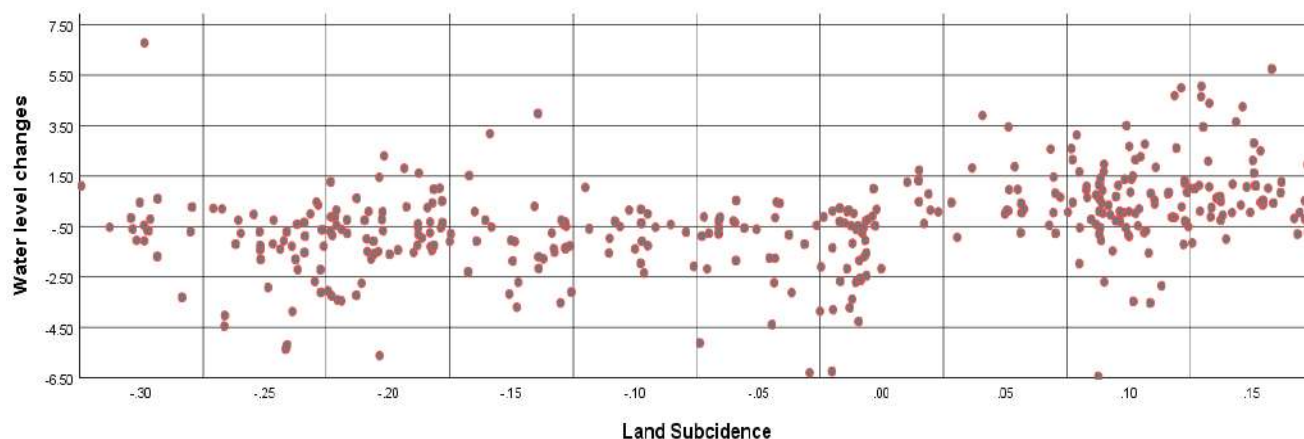


شکل ۶- رابطه فرونشست زمین و تغییرات سطح آب سفره زیرزمینی برای ۱۶ نقطه انتخابی

کلیه اطلاعات به‌دست آمده در طی بازه بررسی (سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹) به‌صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرند. در شکل ۷ این روابط، به وضوح نشان داده شده است.

### ۳-۲- نمایش رابطه تغییرات فرونشست و تغییرات سطح آب زیرزمینی در کل بازه مورد بررسی

برای به‌دست آوردن رابطه کلی میزان تغییرات حرکت عمودی زمین نسبت به تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت ورامین، باید



شکل ۷- پراکندگی تغییرات فرونشست زمین و تغییرات سطح آب زیرزمینی کلیه چاه‌های دشت ورامین در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹

و انجام تحلیل‌های آماری رگرسیون، نتایج برای دو مدل مورد استفاده به‌دست آمد، که به شرح جدول ۱ است.

با وارد کردن اطلاعات تغییرات سطح آب زیرزمینی و همچنین تغییرات حرکت عمودی سطح زمین برای کلیه نقاط مورد بررسی در بازه زمانی سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ در نرم‌افزار SPSS

جدول ۱- خروجی داده‌های آماری رگرسیون خطی و رگرسیون درجه ۳ از نرم‌افزار SPSS

| خلاصه مدل |        |                 |                 |      | پارامترهای محاسبه شده |                |                |                | معادله |
|-----------|--------|-----------------|-----------------|------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| R Square  | F      | df <sub>1</sub> | df <sub>2</sub> | Sig. | Constant              | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |        |
| ۰/۱۴۱     | ۶۴/۲۹۴ | خطی             | ۳۹۱             | ۰    | -۰/۱۱۹                | ۴/۶۷۳          | -              | -              | خطی    |
| ۰/۱۹۷     | ۳۱/۷۷  | درجه ۳          | ۳۹۸             | ۰    | -۰/۵۵۲                | ۸/۰۱۹          | ۲۲/۲۰۳         | ۱۹/۹۵          | درجه ۳ |

Y، برابر با میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی و X نیز برابر با میزان تغییرات عمودی سطح زمین در دشت ورامین در طی بازه سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

پدیده فرونشست به یکی از مهم‌ترین موضوعات سراسر جهان تبدیل شده است، به‌صورتی که پژوهشگران متعددی از سراسر جهان به بررسی این موضوع می‌پردازند. عدم توجه به این پدیده خطرناک زمین‌شناسی می‌تواند در نهایت منجر به خسارت‌های زیادی از جمله آسیب به ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها شود. هدف از این پژوهش، ارزیابی ارتباط تغییرات حرکت عمودی سطح زمین نسبت به تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت ورامین از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ است که با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و درجه ۳ این کار انجام گرفت. در نهایت برتری معادله رگرسیون خطی نسبت به رگرسیون درجه ۳ حاصل شد. برای محاسبه میزان جابجایی زمین، از تصاویر ماهواره Sentinel-1 و با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری InSAR به‌همراه اعمال فیلترهای لازم برای از بین بردن کلیه نویزهای موجود در تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به نتایج به‌دست آمده برای مدل‌های رگرسیون انحنایی بالا، مشاهده می‌شود که کلیه مدل‌ها شرط نخست که همان برقراری رابطه ( $Sig < 0/5$ ) را دربر می‌گیرند. در ادامه برای انتخاب مدل بهتر در بین این دو معادله، هرکدام که دارای آماره F بالاتری باشد، دارای قدرت پیش‌بینی بالاتری است که با توجه به نتایج به‌دست آمده، به ترتیب مدل‌های Linear و Cubic خواهند بود. همچنین باید در نظر داشت کم بودن ضریب همبستگی میان تغییرات سطح آب و فرونشست در مدل‌های آماری را می‌توان متأثر از سایر عوامل اثر گذار در پدیده فرونشست در سطح دشت همچون توپوگرافی، گسل‌ها و ضخامت آبخوان در نظر گرفت. معادلات به‌دست آمده (ارتباط تغییرات) با توجه به انجام تحلیل‌های ذکر شده به شرح زیر است.

$$Y = -0.119 + (4.673 \times X) \quad (۴)$$

$$Y = -0.522 + (8.019 \times X) + (22.203 \times X^2) - (19.950 \times X^3) \quad (۵)$$

بنابراین برای این تحقیق، مدل خطی را به‌عنوان مدل مطلوب‌تر برای تعیین رابطه بین میزان تغییرات فرونشست زمین و تغییرات سطح آب زیرزمینی استفاده می‌کنیم که در این رابطه،

فرونشست زمین در شهرستان سراپان"، سمپوزیوم ملی قنات بلده فردوس، بیرجند.

محمدی، م.، امیری، م.، و پورقاسمی، ح.ر.، (۱۳۹۸)، "پهنه‌بندی حساسیت فرونشست زمین در دشت سمنان با استفاده از مدل خطی تعمیم یافته"، دومین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی با محوریت آب، سیل و محیط زیست، گنبد کاووس. مختاری، د.، ابراهیمی، ح.، و سلمانی، س.، (۱۳۹۸)، "مدل‌سازی خطر وقوع فرونشست زمین با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوزه آبریز دشت تسوج)"، فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۳)، ۱-۱۳.

منتظریون، م.، و اصلانی، ف.، (۱۳۹۸)، "ارزیابی خطر فرونشست زمین با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه استان‌های تهران و البرز"، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱(۱)، ۳۵-۴۷.

نوری، م.، و فلاح پور، م.، (۱۳۹۹)، "بررسی علل و پیامدهای تشکیل فروچاله و فرونشست زمین در استان یزد"، دهمین همایش سراسری محیط زیست انرژی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

Brambati, A., Carbognin, L., Quaia, T., Teatini, P., and Tosi, L., (2003), "The Lagoon of Venice: Geological setting, evolution and land subsidence", *Episodes*, 26(3), 264-268.

Delgado Blasco, J.M., Fournelis, M., Stewart, C., and Hooper, A., (2019), "Measuring urban subsidence in the rome metropolitan area (italy) with sentinel-1 snap-stamps persistent scatterer interferometry", *Remote Sensing*, 11(2), 129.

Du, Z., Ge, L., Li, X., and Ng, A., (2016), "Subsidence monitoring over the Southern Coalfield", *Australia Using both L-Band and C-Band SAR Time Series Analysis*, 8(7), 543-556.

Guo, J., Zhou, L., Yao, C., and Hu, J., (2016), "Surface subsidence analysis by multi-temporal insar and grace: A case study in Beijing", *Sensors*, 16(9), 1495-1503.

Hazra, A., and Gogtay, N., (2016), "Biostatistics series module 6: correlation and linear regression", *Indian Journal of Dermatology*, 61(6), 593-601.

Larson, K.J., Basagaoglu, H., and Marino, M.A., (2001), "Prediction of optimal safe ground water yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model", *Journal of Hydrology*, 242, 79-102.

Lin, H.L., Li, Z., Wang, D., and Zhao, Y., (2017), "Jackknife empirical likelihood for the error variance in linear models", *Journal of Nonparametric Statistics*, 29(2), 151-166.

استفاده شد. لازم به ذکر است این پژوهش می‌تواند مقدمه‌ای برای بررسی گسترده‌تر وضعیت حرکت عمودی پوسته زمین نسبت به تغییرات سطح آب آبخوان‌ها با معادلات بیشتر و در دوره‌های آماری وسیع‌تری با در نظر گرفتن عوامل دیگر طبیعی مؤثر بر پدیده فرونشست هم‌چون نوع دانه‌بندی و جنس خاک، تراز سنگ کف، گسل‌ها و سایر عوامل طبیعی باشد. بررسی این روابط آماری با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای مؤثر بر فرونشست برای پیش تغییرات سطح زمین در اثر نوسان سطح آبخوان، امری اجتناب‌ناپذیر است. از این رو مدیریت منابع آب باید هرچه بیشتر مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گیرد تا همگام با توسعه پایدار کشاورزی بتوان از ادامه روند کنونی فرونشست زمین جلوگیری کرد.

## ۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- San Joaquin
- 2- Linear Regression
- 3- Cubic Regression

## ۶- مراجع

آروین، ع.، وهابزاده کبریا، ق.، موسوی، س.ر.، و بختیاری کیا، م.، (۱۳۹۸)، "مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۳)، ۱۹-۳۴.

ابراهیم نژادگرگی، ح.، و معتقدی، ح.، (۱۳۹۸)، "بررسی ژئوتکنیکی فرونشست زمین در اثر برداشت آب‌های زیرزمینی (دشت بهشهر)"، چهارمین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

بابایی، س.س.، موسوی، ز.، و روستایی، م.، (۱۳۹۵)، "آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش‌های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش‌کننده‌های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین"، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۵(۴)، ۹۵-۱۱۱.

فتح الهی، ن.، و آخوندزاده هنزایی، م.، و بحرودی، ع.، (۱۳۹۷)، "بررسی فرونشست زمین در اثر استخراج مواد نفتی با استفاده از روش تداخل‌سنجی رادار"، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۷)، ۲۳-۳۴.

کوچکی، ر.، و قربان زاده، م.م.، (۱۳۹۸)، "بررسی پدیده

- Sabra, W., Azzam, S.I., Song, M., Povolotskyi, M., Aly, A.H., and Kildishev, A.V., (2018), "Plasmonic metasurfaces for subtractive color filtering: optimized nonlinear regression models", *Optics Letters*, 43(19), 4815-4818.
- Sowter, A., Amat, M.B.C., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A., and Alshammari, L., (2016), "Mexico City land subsidence in 2014-2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, 52, 230-242.
- Téllez-Quñones, A., Salazar-Garibay, A., Valdiviezo-Navarro, J.C., Hernandez-Lopez, F.J., and Silván-Cárdenas, J.L., (2020), "DInSAR method applied to dual-pair interferograms with Sentinel-1 data: A study case on inconsistent unwrapping outputs", *International Journal of Remote Sensing*, 41(12), 4664-4683.
- Vulandari, R.T., Widada, B., Susyanto, T., and Hermawan, D.D., (2020), "Application of cubic nonlinear regression on the effects of rainfall on rice harvest results", *International Journal of Trends in Mathematics Education Research*, 3(1), 43-47.
- Zhou, H., Wang, Y., Yan, S., Li, Y., Liu, X., and Zhang, F., (2018), "Monitoring of recent ground surface subsidence in the Cangzhou region by the use of the InSAR time-series technique with multi-orbit Sentinel-1 TOPS imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 39(22), 8113-8128.



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

**Food Risk Assessment of Heavy Metals  
(Cadmium, Lead) in the Treatment Plant  
Effluent Due to the Consumption of  
Distributed Crops in Gorgan**

Mohammad Reza Shamsaeifar<sup>1\*</sup>, Alireza Pardakhti<sup>2</sup>  
and Mehdi Shamsabadizadeh<sup>3</sup>

1- Ph.D. Candidate in Environmental Engineering, Head  
of Technical and Executive Department of Water and  
Sewerage Company, District 5, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, School of Environment, College of  
Engineering, University of Tehran, Iran.

3- Ph.D. Candidate in Environmental Engineering,  
Technical and Executive Advisor to the CEO of Water  
and Sewerage Company, Region 4, Tehran, Iran

\*Corresponding Author, Email:  
[mohamadrezashamsaeifar@gmail.com](mailto:mohamadrezashamsaeifar@gmail.com)

Received: 22/02/2021

Revised: 29/07/2021

Accepted: 21/08/2021

© IWWA

ارزیابی ریسک غذایی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب)  
برخوردار از پساب تصفیه‌خانه ناشی از مصرف محصولات  
زراعی توزیع شده در شهر گرگان

محمدرضا شمسایی‌فرا<sup>\*</sup>، علیرضا پرداختی<sup>۲</sup> و مهدی  
شمس‌آبادی‌زاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، پردیس بین‌المللی کیش، رئیس  
بخش فنی و اجرایی شرکت آب و فاضلاب منطقه ۵ شهر تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده محیط زیست دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، پردیس بین‌المللی کیش، مشاور  
فنی و اجرایی مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب منطقه ۴ شهر تهران، ایران.

\*نویسنده مسئول، ایمیل:

[mohamadrezashamsaeifar@gmail.com](mailto:mohamadrezashamsaeifar@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Pollution of environment with heavy metals and its transfer to products is a global problem. The aim was to measure heavy metals in the effluent of Gorgan wastewater treatment plant which with 32 effluent samples of Gorgan wastewater treatment plant were sampled during 6 months in 2016 and concentration of lead, cadmium by polarograph and atomic absorption was assessed. Risk of carcinogenicity and non-carcinogenicity was calculated in three cases: minimum, moderate and maximum. Average concentration of lead in the effluent was 0.003943547 mg/L, which is value for cadmium measured 0.000143571 mg/L. The concentrations of heavy metals in wastewater effluent and dried sludge, except in returned sludge, were below the standards. Due to long-term use of effluents, necessity of treatment of other parameters, and effect of bioaccumulation of metals in sludge, caution should be taken for their agricultural application. Because of importance of this type of contaminants in soil and food products, continuous monitoring by water companies is highly necessary. In mean state, for every one hundred million people, 7.21 people, in max mode, for every ten million people, 1.13 people and in the case of min, for every one hundred million people, 2.82 people are at risk of cancer.

آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین و انتقال آن به محصولات به‌عنوان یک مشکل جهانی و در حال گسترش مطرح است. این مطالعه باهدف سنجش فلزات سنگین در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر گرگان با تعداد ۳۲ نمونه پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب گرگان طی ۶ ماه در سال ۹۵ نمونه‌برداری و غلظت فلزات سرب، کادمیوم، توسط دستگاه پلاروگراف و جذب اتمی سنجش شد. یافته‌ها نشان داد که میانگین غلظت سرب در پساب ۰/۰۰۳۹۴۳۵۴۷ mg/L بوده که این مقدار برای کادمیم ۰/۰۰۰۱۴۳۵۷۱ mg/L در لیتر اندازه‌گیری شده است. غلظت فلزات سنگین در پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب در زیر حد استاندارد بود. با توجه به مصرف طولانی، لزوم تثبیت سایر پارامترها و اثر تجمع‌پذیری فلزات در پساب، باید در کاربرد آن‌ها برای مصارف کشاورزی دقت و احتیاط لازم به‌عمل آید. به‌همین دلیل و به لحاظ اهمیت حضور این نوع از آلاینده‌ها در خاک و محصولات غذایی، پایش مستمر آن‌ها توسط شرکت‌های آب و فاضلاب ضروری است. درنهایت مشخص شد که در حالت mean به‌ازای هر یک‌صد میلیون نفر تعداد ۷/۲۱ نفر، در حالت max به‌ازای هر ده میلیون نفر تعداد ۱/۱۳ نفر و در حالت min به‌ازای هر یک‌صد میلیون نفر تعداد ۲/۸۲ نفر در معرض ریسک سرطانی قرار دارند.

**Keywords:** Water, Wastewater, Lead, Cadmium, Carcinogenic risk, Wastewater treatment effluent, Agricultural products

**واژه‌های کلیدی:** پساب، فلزات سنگین، گرگان، سرب، کادمیوم، ریسک سرطان‌زایی، پساب تصفیه‌خانه فاضلاب، محصولات کشاورزی

$\text{g/cm}^3$  اشاره دارد. این مواد و ترکیبات آن‌ها به‌طور طبیعی در سراسر محیط خاک و در همه جا یافت می‌شوند. حضور و پایداری فلزات سنگین در محیط و خاصیت تجمع آن‌ها و همچنین موجودات به‌ویژه انسان و عدم تجزیه آن‌ها مانند سایر ترکیبات آلی، مشکلات قابل‌ملاحظه محیط‌زیستی و بهداشتی را ایجاد می‌نماید. این درحالی است که سمیت و خطر تجمع بیولوژیکی این آلاینده‌ها در زنجیره غذایی، اهمیت بهداشتی آن‌ها را در جوامع امروزی بیش‌تر کرده است. در حال حاضر آلودگی به این آلاینده‌ها رو به افزایش بوده و در نتیجه تجمع این فلزات در گیاهان و حیوانات علاوه بر آسیب‌های جدی به موجودات، مصرف‌فرآورده‌های آن‌ها برای سلامت مصرف‌کنندگان نهایی یعنی انسان را بسیار مخاطره آمیز کرده است. یکی از راه‌های اصلی مواجهه انسان با فلزات سنگین، مسیر خاک به‌عنوان بستر رشد سبزیجات و مواد غذایی است. در نتیجه، حضور فلزات سنگین در پساب تصفیه‌خانه‌ها همواره به‌عنوان یک منبع قابل توجه از آلاینده‌های آب و خاک مطرح است.

سازمان مواد سمی و ثبت بیماری‌های ایالات متحده آمریکا به‌دلیل آن‌که افراد در نتیجه تماس با خاک و آب آلوده آسیب بهداشتی می‌بینند، فهرستی از سایت‌های صنعتی فرآوری تهیه کرده و گزارش نموده است غلظت سرب در خون کودکانی که در مناطق آلوده زندگی می‌کنند بالاتر از کودکانی است که خارج از این مناطق زندگی می‌کنند. بنابراین آب‌های آشامیدنی آلوده یکی از منابع مورد انتظار خطر سلامتی انسان است. افزایش غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آن‌ها از حداکثر غلظت مجاز در آب‌های آشامیدنی اثرات مضر بر سلامتی انسان داشته و اثرات سمی، جهش‌زایی یا سرطان‌زایی آن با ویژگی‌های عنصر، مرتبط است. اثرات مورد انتظار این مواد ممکن است به‌صورت ارزیابی خطرات بیان شود (Mueller and Gasteyer, 2021).

سواری و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی پتانسیل نشت فلزات سنگین و خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز پرداختند. آن‌ها میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیم، روی، مس، آهن و منگنز را به‌ترتیب ۸/۴۸، ۰/۹۷، ۳۱۸۰، ۱۶۸، ۲۵۷، ۳۰/۶ میکروگرم بر لیتر در آب به‌دست آوردند. همچنین تحقیق میران‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) بر روی غلظت فلزات سنگین در آب شبکه توزیع کاشان نشان داد که غلظت فلزات سنگین در آب شبکه توزیع کاشان بالاتر از حد استاندارد ملی و بین‌المللی نبوده و خطری برای مصرف‌کنندگان دربر نخواهد داشت. این درحالی است که پژوهش کریم‌پور و شریعت (۱۳۷۹) نشان داد که میانگین غلظت سرب، کادمیم و کروم بیشتر از حد استاندارد در

در طول سی‌سال گذشته، هدف از تصفیه فاضلاب بهبود کیفیت پساب تصفیه شده، باتوجه به تحولات نظارتی و افزایش حساسیت به مسائل محیط‌زیستی و حفاظت از منابع آب بوده است. آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده یکی از جایگزین‌های عمده برای حفظ منابع آب موجود و بهبود منابع آب شهری در بسیاری از شهرها در حال انجام است. در استفاده مجدد از پساب، اگر به کیفیت میکروبی پساب و جنبه‌های بهداشتی آن توجهی نشود، خطر جدی برای بهداشت و سلامتی انسان و محیط‌زیست به‌همراه خواهد داشت. این موضوع زمانی با اهمیت‌تر خواهد بود که از پساب برای آبیاری فضای سبز عمومی و پارک‌ها و محصولات خوراکی از جمله صیفی‌جات و سبزیجات استفاده شود.

در استفاده از پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی، توجه به کیفیت آن ضروری است. در صورت استفاده غیراصولی، مواد سمی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در پساب‌های خانگی می‌تواند سلامت گیاه را به‌خطر بیندازد (Muchuweti et al., 2006). برخی از پساب‌ها که برای آبیاری استفاده می‌شوند حاوی یون‌هایی چون بر، کلر، سدیم و عناصر (آلومینیوم، بریلیوم، تیتانیوم، تنگستن و وانادیوم) در غلظتی بیش از حد نیاز گیاه هستند. این حالت باعث کاهش رشد، تغییر شکل گیاه و یا کاهش و از بین رفتن محصول می‌شود (چوپان و امامی، ۱۳۹۹). به‌علاوه، فاضلاب‌ها دارای مقدار زیادی از عناصر مغذی شامل فسفر و نیتروژن، مواد آلی و سایر مواد ضروری گیاه هستند (بینا و همکاران، ۱۳۸۳; Nasrazadani and Hooda, 2014). با این‌حال ممکن است فاضلاب حاوی مقادیر قابل‌توجهی از فلزات سنگین و دیگر مواد آلی سمی صنعتی باشد که می‌تواند تهدید جدی محیط‌زیستی برای کیفیت شیمیایی خاک و محصولات کشاورزی و همچنین بهداشتی باشد، به‌طوری‌که تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک سبب کاهش کیفیت مواد غذایی، سلامت و بهداشت شود (Asgharnia et al., 2014; Villar and Garcia, 2002).

پساب فاضلاب شهری شامل فلزات سنگین، مواد مغذی اصلی و ریزمغذی‌ها و آلاینده‌های آلی بوده و انواع میکروارگانیسم‌ها و تخم انگل‌ها، که در برابر مقادیر مرسوم گندزدا مقاومت می‌کنند، در آن وجود دارند. به‌طور کلی، فلزات سنگین، مانند کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، مس (Cu)، روی (Zn) و نیکل (Ni) به فلزات با چگالی بیش‌تر از ۵

آب آشامیدنی شهر همدان بوده است.

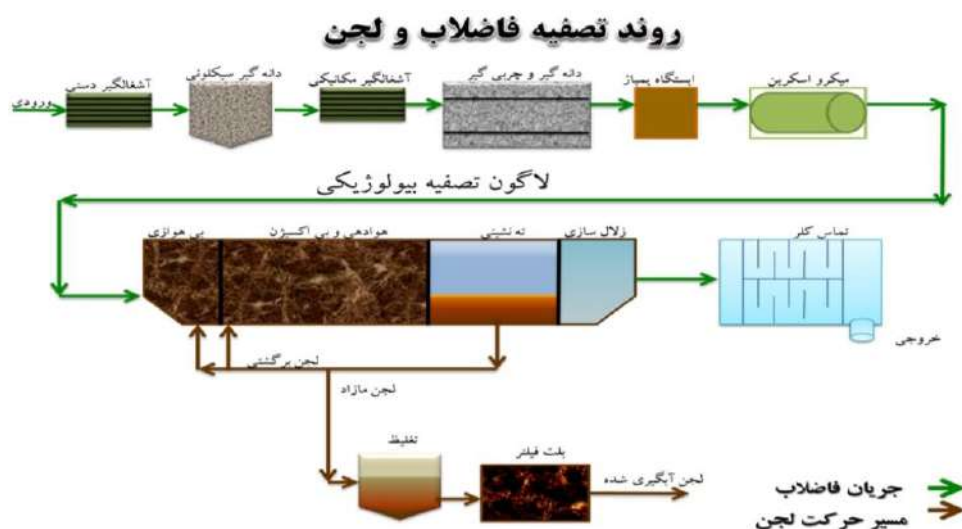
در همین راستا، سلیمی و همکاران (۱۳۹۸) پارامترهای مختلف مثل غلظت اولیه فنول، pH، دما و مقدار جاذب بر روی مقدار جذب را بررسی کردند. بررسی‌ها نشان داد که جاذب‌های کم‌هزینه‌ای مثل جاذب‌های به‌دست آمده از مواد معدنی، پسماند کشاورزی و مواد زائد صنعتی پتانسیل بالا و انعطاف‌پذیری بیشتری را نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر برای حذف ترکیبات فنولی دارد و جاذب‌هایی که فعالیت سطحی بیشتر، سطح و تخلخل بالایی دارند کارایی بیشتری دارند. نبوی و فهادی (۱۳۹۷) در پژوهشی دیگر دریافتند که فرآیند ازن‌زنی به دلیل قدرت اکسیدکنندگی بالای مولکول ازن، یک تکنولوژی امیدوارکننده در حذف آلاینده‌هایی است که با روش‌های معمولی نمی‌توان آن‌ها را از آب حذف کرد. در این مقاله پژوهش‌های انجام شده مربوط به فرآیندهای مبتنی بر ازن برای حذف آلاینده‌های دارویی از آب و فاضلاب‌های شهری گردآوری شد. علاوه بر این، نقش پارامترهای موثر بر میزان حذف آلاینده‌های دارویی نظیر زمان تماس ازن با آلاینده، pH محلول، دوز ازن، غلظت آلاینده و نوع دارو مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که براساس نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی گیاه شامل میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، قند و پروتئین از نظر آماری بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل مربوط به فاضلاب تصفیه شده و بیشترین میزان قند و پروتئین مربوط به فاضلاب تصفیه نشده بود.

همچنین درک جامع از منابع این نوع آلودگی‌ها و روند تغییرات و حذف آن‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای به حداقل رساندن اثر آن‌ها بر محیط‌زیست آبی و خاکی و استفاده

مجدد ضروری است. با این حال، ارزیابی و شناسایی منابع فلزات سنگین در فاضلاب شهری به دلیل تغییرات زمانی کیفیت فاضلاب، پراکندگی جمعیت و مکان منابع ورود آلاینده‌ها، کار پیچیده‌ای است و نیاز به پایش مستمر دارد. به‌طوری‌که فقدان نظارت کافی بر کیفیت پساب و لجن‌های دفعی از تصفیه‌خانه‌های کشور موجب شده که در بیش‌تر موارد این مواد به‌صورت تجمع‌یافته به محیط راه پیدا نموده و خسارات زیادی را بر منابع طبیعی وارد نمایند و آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی و شیوع بیماری مزمن را به‌وجود آورند. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی ریسک غلظت فلزات سنگین مهم در پساب دفعی تصفیه‌خانه فاضلاب و تأثیر آن بر میزان وجود آلاینده‌های ناشی از غلظت فلزات موردنظر در سبزیجات شهر گرگان انجام شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

روش تحقیق پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از منظر ماهیت مطالعه توصیفی-تحلیلی است. ابزار مورد استفاده در این پژوهش، مشاهده‌ای است. مورد مطالعه این پژوهش، فاضلاب تصفیه‌خانه شهری گرگان است که در آن غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیم در پساب فاضلاب تصفیه‌خانه به مدت ۶ ماه و با سه تکرار در ماه، در سال ۱۳۹۵ سنجش شد. سیستم تصفیه فاضلاب شهر گرگان از نوع لجن فعال هواده‌ی گسترده است که شامل چهار مرحله تصفیه مقدماتی آشغال‌گیری، دانه‌گیری، ته‌نشینی و بیولوژیکی، ته‌نشینی و ضدعفونی است. در شکل ۱، شماتیک روند تصفیه فاضلاب شهر گرگان نشان داده شده است.



شکل ۱- روند تصفیه فاضلاب شهر گرگان (منبع: مطالعات محقق)

## ۲-۱- نمونه‌گیری

به ترتیب برابر ۰/۰۸۷۶۳۴۳۷۵ و ۰/۱۱۴۸۵۷۱۴ میلی گرم بر لیتر است. میزان حداکثر غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب هم به ترتیب برابر ۰/۱۳۸۳ و ۰/۰۲۶۹ میلی گرم بر لیتر است. میزان حداقل غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب نیز برابر ۰/۰۲۹۴ و ۰/۰۰۲۳ میلی گرم بر لیتر است.

در این مطالعه میزان غلظت کادمیوم و سرب در تمام نمونه‌های گرفته شده اندازه‌گیری شد. جدول ۱ مقادیر غلظت دو نمونه اندازه‌گیری شده در پساب را نشان می‌دهد. براساس نتایج جدول ۱، میزان میانگین غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب

جدول ۱- مقادیر غلظت در نمونه‌های اندازه‌گیری شده در پساب

| ردیف | سرب (mg/L) | کادمیوم (mg/L) | ردیف | سرب (mg/L) | کادمیوم (mg/L) |
|------|------------|----------------|------|------------|----------------|
| ۱    | ۰/۰۴۱۲     | ۰/۰۰۰۸۲        | ۹    | ۰/۰۹۷۰۵    | ۰/۰۰۴۸         |
| ۲    | ۰/۰۶۵۲     | N.D.*          | ۱۰   | ۰/۰۲۹۴     | ۰/۰۰۴          |
| ۳    | ۰/۰۷۵۳     | N.D.           | ۱۱   | ۰/۱۰۸۹     | ۰/۰۰۹۶         |
| ۴    | ۰/۰۹۳۴     | ۰/۰۱۱۱         | ۱۲   | ۰/۰۴۱۵     | ۰/۰۱۱۲         |
| ۵    | ۰/۰۷۰۳     | ۰/۰۰۳۷         | ۱۳   | ۰/۱۲۷۱     | ۰/۰۲۶۹         |
| ۶    | ۰/۰۷۱۵     | ۰/۰۰۲۳         | ۱۴   | ۰/۱۱۷۲     | ۰/۰۱۹۵         |
| ۷    | ۰/۱۳۶۷     | ۰/۰۲۰۳         | ۱۵   | ۰/۰۶۱۴     | ۰/۰۰۹۲         |
| ۸    | ۰/۱۳۸۳     | ۰/۰۲۱۸         | ۱۶   | ۰/۱۲۷۷     | ۰/۰۰۸۲         |

\* N.D = غیر قابل تشخیص

سبزیجات از راه بلع وارد بدن می‌شود ضریب Absorbed در همان غلظت مجدداً در سه حالت میانگین، حداکثر و حداقل اعداد ضرب شود (جدول ۲).

باتوجه به این‌که از پساب این تصفیه‌خانه برای آبیاری سبزیجات استفاده می‌شود، ابتدا باید ضریب جذب خاک در گیاهان خشک را در فلزات سرب و کادمیوم در سه حالت میانگین، حداکثر و حداقل اعداد ضرب نموده و سپس باتوجه به این‌که

جدول ۲- ضرایب جذب پساب به گیاه خشک و دستگاه گوارش برای سرب و کادمیوم

| ضریب (فارسی)                        | ضریب (لاتین)                       | سرب   | کادمیوم |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------|---------|
| ضریب جذب پساب به گیاه خشک           | Soil to dry plant uptake factor    | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۵    |
| ضریب جذب از طریق بلع (دستگاه گوارش) | Absorbed in gastrointestinal tract | ۰/۵   | ۰/۰۲۵   |

و کادمیوم در پساب نیز به ترتیب برابر ۰/۰۰۱۳۲۳ و ۰/۰۰۰۲۸۷۵ میلی گرم بر لیتر است.

باتوجه به این‌که ضریب جذب سرب در بزرگسالان بین ۱۰-۱۵٪ است، لذا با اعمال ضریب ۱۵٪ مجدداً مقادیر غلظت سرب در سه حالت میانگین، حداکثر و حداقل محاسبه می‌شود.

جدول ۳ پس از اعمال ضریب ۱۵٪، میزان جذب آلاینده سرب از گیاه خشک در دستگاه گوارش را نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول (۲)، که ضریب درصد جذب سرب در بزرگسالان را محاسبه می‌کند، میزان میانگین غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۵۹۱۵۳۲ و ۰/۰۰۰۱۴۳۵۷۱ میلی گرم بر لیتر است.

$$C_{mean} = C_{Pb\ average} \times 0.45 \times 1 \times 0.15 = 0.000591532 \text{ (mg/L)} \quad (2)$$

هم‌چنین میزان حداکثر غلظت فلزات سنگین سرب و

نتایج جدول ۲ نشان داد که با استفاده از فرمول (۱)، میزان میانگین غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب به ترتیب معادل ۰/۰۰۳۹۴۳۵۴۷ و ۰/۰۰۰۱۴۳۵۷۱ میلی گرم بر لیتر است.

$$C_{mean} = C_{Pb\ average} \times 0.45 \times 1 = 0.003943547 \text{ (mg/L)} \quad (1)$$

که  $C_{mean}$ : میزان میانگین غلظت بعد از اعمال ضریب جذب و  $C_{Pb\ average}$ : میزان میانگین غلظت سرب قبل از اعمال ضریب جذب می‌باشد.

در این مطالعه میزان حداکثر غلظت فلزات سنگین در پساب برای دو عنصر سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شد. براساس نتایج به‌دست آمده، میزان حداکثر غلظت فلزات سنگین سرب کادمیوم در پساب به ترتیب برابر ۰/۰۰۶۲۲۳۵ و ۰/۰۰۰۳۳۶۲۵ میلی گرم بر لیتر است. میزان حداقل غلظت فلزات سنگین سرب

کادمیوم در پساب به‌ترتیب معادل ۰/۰۰۰۹۳۳۵۲۵ و فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پساب نیز به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۰۳۳۶۲۵ میلی‌گرم بر لیتر است. میزان حداقل غلظت ۰/۰۰۰۱۹۸۴۵ و ۰/۰۰۰۰۲۸۷۵ میلی‌گرم بر لیتر است.

جدول ۳- محاسبه غلظت سرب و کادمیوم در سه حالت میانگین، حداکثر و حداقل

| حالت    | سرب                                       |                                        |                                   |                                   |                                   | کادمیوم                           |
|---------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|         | میزان غلظت پس از اعمال<br>ضریب جذب (mg/L) | ضریب جذب سرب<br>در بزرگسالان<br>(mg/L) | بعد از اعمال<br>ضرایب C<br>(mg/L) | قبل از اعمال<br>ضرایب C<br>(mg/L) | بعد از اعمال<br>ضرایب C<br>(mg/L) | قبل از اعمال<br>ضرایب C<br>(mg/L) |
| میانگین | ۰/۰۰۰۵۹۱۵۳۲                               | ۰/۱۵                                   | ۰/۰۰۳۹۴۳۵۴۷                       | ۰/۰۸۷۶۳۴۳۷۵                       | ۰/۰۰۰۱۴۳۵۷۱                       | ۰/۰۱۱۴۸۵۷۱۴                       |
| حداکثر  | ۰/۰۰۰۹۳۳۵۲۵                               | ۰/۱۵                                   | ۰/۰۰۶۲۲۳۵                         | ۰/۱۳۸۳                            | ۰/۰۰۰۳۳۶۲۵                        | ۰/۰۲۶۹                            |
| حداقل   | ۰/۰۰۰۱۹۸۴۵                                | ۰/۱۵                                   | ۰/۰۰۱۳۲۳                          | ۰/۰۲۹۴                            | ۰/۰۰۰۰۲۸۷۵                        | ۰/۰۰۰۲۳                           |

(2008; Martinez et al., 2011; Palese et al., 2009).

در محاسبات این مطالعه فرض بر این بوده است که اثر فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) و میزان آن آلاینده در پساب خروجی تصفیه‌خانه شهری و سنجش میزان دریافت دوز آلاینده به سبزیجات به‌واسطه دریافت پساب است. از آنجایی که ارزیابی تماس با آلاینده‌ها برای انسان از طریق بلع باتوجه به خوردن سبزیجات صورت می‌گیرد این مورد لحاظ شد. همچنین با توجه به پارامترها و فلزات مورد بررسی، ارزیابی اثرات غیر سرطانی برای فلزات صورت پذیرفت. در خصوص سرب نیز با توجه به فاکتور شیب سرطان باید ارزیابی ریسک سرطانی انجام شود.

بعد از مشخص شدن غلظت جذب در دستگاه گوارش باید نسبت به محاسبه غلظت آلاینده دریافت شده از طریق بلع که CDI نام دارد برای دو حالت غیر سرطانی و سرطانی برای گروه بزرگسال اقدام نمود. فرمول (۳) محاسبه CDI غیرسرطانی را نشان می‌دهد. جدول ۴ پارامترها و مقادیر مورد نیاز در محاسبه CDI را مشخص می‌نماید.

$$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{At \times BW} \quad \left( \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \cdot \text{day} \right) \quad (3)$$

جدول ۴- مقادیر مورد نیاز در محاسبه CDI غیرسرطانی

| مقدار                                           | نماد            | کمیت     | مورد نیاز |
|-------------------------------------------------|-----------------|----------|-----------|
| سرانه میزان مصرف سبزیجات                        | IR              | (gr/day) | ۸۲        |
| فرکانس در معرض قرارگیری (برحسب روز)             | EF              | (day)    | ۳۶۵       |
| طول مدت در معرض قرارگیری (برحسب سال)            | ED              | (year)   | ۶۰        |
| طول مدت عمر                                     | BW adult        | (year)   | ۷۰        |
| وزن بدن بزرگسال (برحسب کیلوگرم)                 |                 | (kg)     | ۷۰        |
| مدت زمان در معرض قرارگیری (برحسب روز-سرطانی)    | AT = (365 × 70) | (day)    | ۲۵۵۵۰     |
| مدت زمان در معرض قرارگیری (برحسب روز-غیرسرطانی) | AT = (365 × 70) | (day)    | ۲۱۹۰۰     |

## ۲-۲- مشخصات فلزات مورد استفاده

### ۲-۲-۱- کادمیوم

کادمیوم از فلزات سمی، خطرناک و سرطان‌زای موجود در محیط‌زیست است. این فلز بر بافت‌های مختلف بدن از جمله کلیه‌ها و کبد تأثیر سوء دارد. کادمیوم قادر است که به‌طرز جبران ناپذیری صدمات کلیوی به بزرگسالان وارد نماید. همچنین غلظت غیر مجاز کادمیوم باعث بروز بیماری‌های شدید گوارشی می‌شود. غلظت کشنده حاد خوراکی کادمیوم برای انسان ثبت نشده است (Biggs and Jiang, 2009; Dadban Shahamat et al., 2017).

### ۲-۲-۲- سرب

سرب از طریق پوست، دستگاه گوارش و تنفس جذب می‌شود. مهم‌ترین راه‌های ورود سرب به بدن تنفس و پس از آن گوارش است. هیچ‌گونه عملکرد مثبتی در بدن نداشته به‌گونه‌ای که در غلظت‌های پایین سبب کاهش فعالیت آنزیم پروفوبیلینوژن سنتاز و در غلظت‌های بالا سبب عقب‌ماندگی ذهنی در کودکان، کم‌خونی، اختلال شنوایی، کلیوی-کبدی و سیستم ایمنی بدن، کاهش وزن هنگام تولد، سقط جنین و زایمان پیش از موعد می‌شود. وجود سرب در خون و ادرار از رایج‌ترین نشانه‌های آلودگی به این عنصر است. عمده منبع ورودی سرب به محیط‌زیست ناشی از فعالیت‌های انسانی است (Carrow et al., 2017).



### ۳- نتایج

محاسبه CDI غیرسرطانی و مشخص کردن میزان دوز مرجع (حد آستانه بلع) نتایج از طریق سایت RAIS و سازمان حفاظت محیط زیست امریکا به شرح جدول ۶ است. در شکل ۲، نمودار CDI برای سه حالت حداقل (خاکستری)، حداکثر (نارنجی) و میانگین (آبی) نشان داده شده است. فرمول (۴) CDI غیرسرطانی را نشان می دهد.

در این تحقیق دو فلز شاخص کادمیم و سرب مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از جدول ۴ و فرمول (۳) غلظت آلاینده دریافت شده از طریق بلع برای دو حالت سرطانی و غیر سرطانی بررسی شد. با مشخص شدن مقادیر CDI غیرسرطانی برحسب میلی گرم بر کیلوگرم در روز، نتایج محاسبه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- محاسبه CDI غیرسرطانی در بزرگسالان در سه حالت میانگین، حداکثر و حداقل

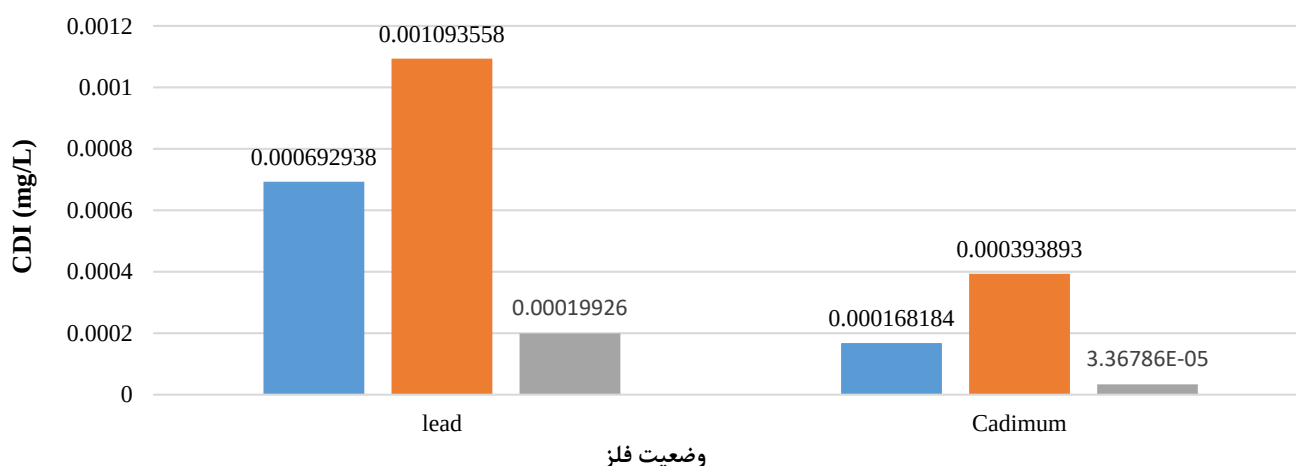
| میانگین     | حداکثر      | حداقل       |         |
|-------------|-------------|-------------|---------|
| ۰/۰۰۰۶۹۲۹۳۸ | ۰/۰۰۱۰۹۳۵۵۸ | ۰/۰۰۰۱۹۹۲۶  | Lead    |
| ۰/۰۰۰۱۶۸۱۸۴ | ۰/۰۰۰۳۹۳۸۹۳ | ۳/۳۶۷۸۶E-05 | Cadmium |

پارامترهای فرمول (۴) بر پایه پارامترهای ذکر شده در جدول ۴ هستند. نتایج جدول ۲ نیز نشان می دهد میزان غلظت دوز سرطانی و غیرسرطانی در سرب برای سه حالت حداقل، حداکثر و میانگین از کادمیم بیشتر بوده است.

$$CDI_{Pb\ mean} = \frac{C_{Pb\ mean} \times IR \times EF \times ED}{AT \times BW}$$

$$= \frac{0.000591532 \times 82 \times 365 \times 60}{21900 \times 60}$$

$$= 0.000692938 \left( \frac{mg}{Kg} \cdot day \right) \quad (4)$$



شکل ۲- نمودار CDI برای سه حالت حداقل (خاکستری)، حداکثر (نارنجی) و میانگین (آبی)

(ب) ارزیابی اثرات سرطانی: فاکتور شیب سرطان<sup>۲</sup> (CSF)  
(mg/Kg.day)

باتوجه به نیاز محاسبات اثرات غیر سرطانی و سرطانی فلزات سرب و کادمیم موارد ذیل مورد ارزیابی قرار می گیرد:  
(الف) ارزیابی اثرات غیر سرطانی: حد آستانه بلع<sup>۱</sup> (RFD)

جدول ۶- منابع مرجع برای علائم حاد فلزات کادمیم و سرب (Shahamat et al., 2016)

| آنالیز | دوز مراجع مزمن خوراکی (mg/kg-day) | مراجع مزمن خوراکی | دوز مرجع خوراکی نیمه مزمن (میلی گرم/کیلوگرم در روز) | فاکتور شیب خوراکی (mg/kg-day) | مراجع فاکتور شیب دهانی | زیر حد آستانه بلع | مرجع زیر حد آستانه بلع | حد آستانه بلع سرطانی |
|--------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| کادمیم | ۰/۰۰۱                             | IRIS              | ۰/۰۰۰۵                                              | -                             | -                      | ۰/۰۰۰۵            | RAIS                   | ۰/۰۰۱                |
| سرب    | ۰/۰۰۴                             | CALEPA            | -                                                   | ۰/۰۰۸۵                        | CALEPA                 | -                 | -                      | ۰/۰۰۴                |

Chronic را نشان می‌دهد. در شکل ۳، نمودار HQ غیرسرطانی در حالت Chronic و Sub Chronic در سه حالت میانگین، حداقل و حداکثر، نشان داده شده است. فرمول (۵)، میزان خطر فلزات را در مرحله غیر سرطانی محاسبه می‌کند.

$$HQ_{Pb\ mean} = \frac{CDI_{Pb\ mean}}{RFD} = \frac{0.000692938}{0.004} = 0.173234381 \quad (۵)$$

که HQ: میزان نسبت خطر، RFD: حد آستانه بلع و CDI: غلظت آلاینده دریافت شده از طریق بلع هستند.

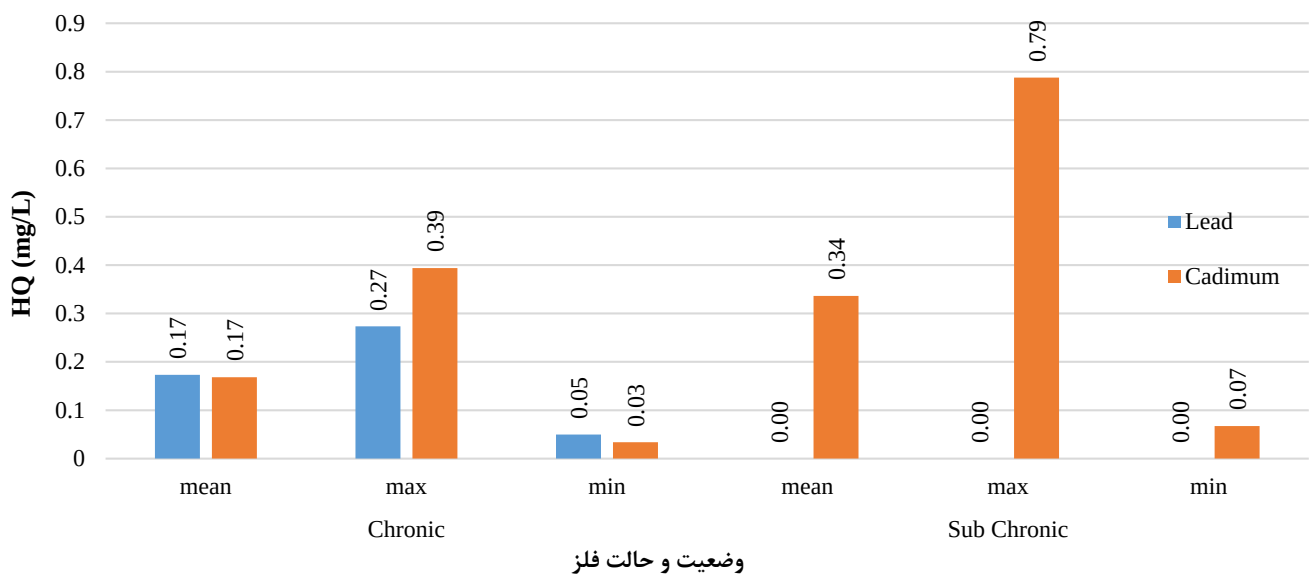
باتوجه به جدول ۶، براساس منابع مرجع در سایت ایریس مشخص شد که مقادیری برای علایم حاد برای فلزات کادمیوم و سرب و درحالت نیمه مزمن تنها برای کادمیوم اطلاعات موجود است. بنابراین برای به‌دست آوردن مخاطره به‌روش مزمن و نیمه مزمن محاسبات به‌روش ذیل انجام شده است.

#### الف) غیرسرطانی:

در مرحله غیرسرطانی میزان خطر را باید برای فلزات محاسبه کرد، که به‌طور مثال برای یک نمونه محاسبه شده است. جدول ۷ محاسبه HQ غیرسرطانی درحالت‌های Chronic و Sub

جدول ۷- محاسبه میزان نسبت ریسک فلز درحالت Chronic و Sub Chronic

| نیمه مزمن   |             |             | مزمن        |             |             | میزان نسبت ریسک فلز |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| حداقل       | حداکثر      | میانگین     | حداقل       | حداکثر      | میانگین     |                     |
| .           | .           | .           | ۰/۰۴۹۸۱۵    | ۰/۲۷۳۳۸۹۴۶۴ | ۰/۱۷۳۲۳۴۳۸۱ | سرب                 |
| ۰/۰۶۷۳۵۷۱۴۳ | ۰/۷۸۷۷۸۵۷۱۴ | ۰/۳۳۶۳۶۷۳۴۷ | ۰/۰۳۳۶۷۸۵۷۱ | ۰/۳۹۳۸۹۲۸۵۷ | ۰/۱۶۸۱۸۳۶۷۳ | کادمیم              |



شکل ۳- نمودار HQ غیر سرطانی در حالت Chronic و Sub Chronic

Chronic و Sub Chronic نشان داده شده است.

$$Hi\ (mean) = HQ_{Pb\ mean} + HQ_{Cd\ mean} = 0.173234381 + 0.168183673 = 0.341418054 \quad (۶)$$

که Hi: مجموع خطرات محاسبه شده در بزرگسالان را نشان می‌دهد (در این‌جا مجموع خطرات دو عنصر سرب و کادمیم). باتوجه به شکل ۴، مخاطرات عناصر کادمیوم و سرب در حالت مزمن و نیمه مزمن کمتر از یک ( $Hi < 1$ ) است.

باتوجه به مقدار خطر محاسبه شده در بزرگسالان به‌صورت مزمن و نیمه مزمن، مشخص شد مقدار خطر برای عناصر در سه حالت میانگین، حداقل و حداکثر برای بزرگسالان بالای یک نیست. همچنین برای به‌دست آوردن میزان مخاطرات برای بزرگسالان، باید مجموع خطر را در دو عنصر مزمن و نیمه مزمن محاسبه نمود. فرمول (۶) مجموع خطرات دو عنصر را درحالت غیر سرطانی محاسبه می‌کند. جدول ۸ نتایج محاسبه Hi غیرسرطانی درحالت‌های Chronic و Sub Chronic را نشان می‌دهد. در شکل ۴، نمودار Hi غیرسرطانی در حالت‌های

جدول ۸- محاسبه مجموع خطرات عناصر (Hi) در حالت Chronic و Sub Chronic غیرسرطانی

| نیمه مزمن   |             |             | مزمن        |             |             | مجموع خطرات  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| حداقل       | حداکثر      | میانگین     | حداقل       | حداکثر      | میانگین     |              |
| ۰/۰۶۷۳۵۷۱۴۳ | ۰/۷۸۷۷۸۵۷۱۴ | ۰/۳۳۶۳۶۷۳۴۷ | ۰/۰۸۳۴۹۳۵۷۱ | ۰/۶۶۷۲۸۲۳۲۱ | ۰/۳۴۱۴۱۸۰۵۴ | کادمیم + سرب |

### ب) سرطانی:

سرب ارائه شده است.

$$CDI_{Pb\ mean} = \frac{C(Pb\ mean) \times IR \times EF \times ED}{At \times BW}$$

$$= \frac{0}{25550 \times 70} \times 82 \times 365 \times 60$$

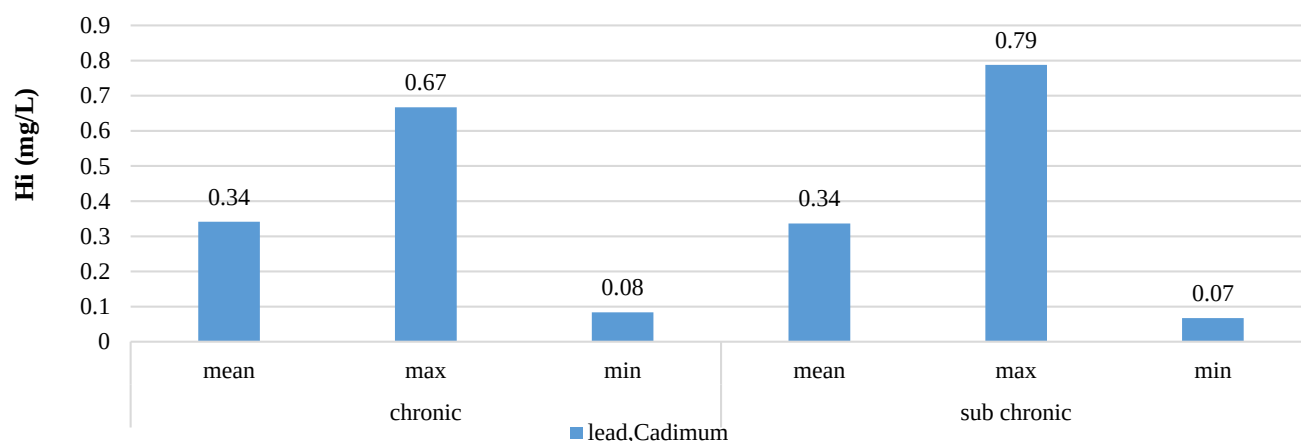
$$= 0.000593946 \text{ (mg/Kg. day)}$$

(۷)

در مرحله سرطانی باید میزان خطر را برای فلزات محاسبه کرد. به طور مثال با استفاده از فرمول (۷) برای یک نمونه محاسبه شده است. جدول ۹ محاسبه CDI سرطانی در بزرگسالان را نشان داده است. همچنین در شکل ۵ نیز، نمودار مقادیر CDI برای فلز

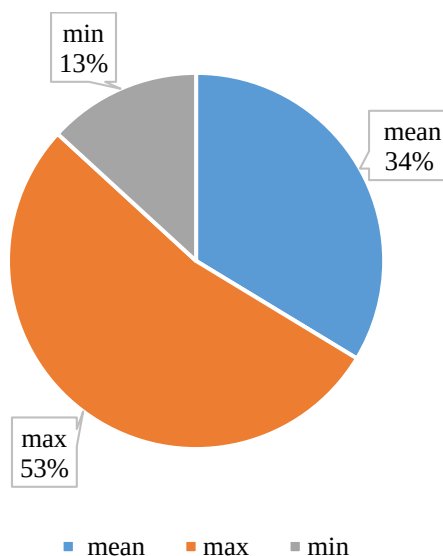
جدول ۹- محاسبه CDI سرطانی در بزرگسالان

| CDI  | میانگین     | حداکثر      | حداقل      |
|------|-------------|-------------|------------|
| Lead | ۰/۰۰۰۵۹۳۹۴۶ | ۰/۰۰۰۹۳۷۳۳۵ | ۰/۰۰۰۲۳۲۴۷ |



وضعیت و حالت فلز

شکل ۴- نمودار Hi غیر سرطانی در حالت های Chronic و Sub Chronic



شکل ۵- نمودار مقادیر CDI برای فلز سرب

جدول ۱۰- مقادیر ضریب شیب سرطانی (CSF)

| فلز             | سرب    | کادمیم |
|-----------------|--------|--------|
| ضریب شیب سرطانی | ۰/۰۰۸۵ | N.d    |

جدول ۱۱ میزان ریسک سرطانی مصرف سبزیجات آغشته به سرب را نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول (۸) محاسبه مقدار تماس با آلاینده به شرح جدول ۱۱ خواهد بود.

$$Risk = CDI \times C \quad (8)$$

باتوجه به این که فاکتور شیب سرطان (CSF) تنها برای فلز سرب موجود است، لذا باید مقدار تماس با آلاینده سرب را به روش سرطانی با داشتن دوز مرجع ( $CSF = 0.0085$ ) به دست آورد. سپس میزان ریسک را برای بزرگسالان محاسبه و بر طول عمر بزرگسالان (۷۰) تقسیم و نتایج را در جمعیت کل بزرگسال ضرب کرد. جدول ۱۰ ضریب شیب سرطانی را نشان می‌دهد. فرمول (۸) میزان ریسک را از طریق غلظت آلاینده دریافت شده از طریق بلع در غلظت آلاینده نشان می‌دهد.

جدول ۱۱- میزان ریسک سرطانی مصرف سبزیجات آغشته به سرب

| ریسک - جمعیت                | میانگین     | حداقل       | حداکثر      |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| برای ۷۰ سال - جمعیت بزرگسال | ۵/۰۴۸۵۴E-۰۶ | ۱/۹۷۶E-۰۶   | ۷/۹۶۷۳۵E-۰۶ |
| برای یک سال - جمعیت بزرگسال | ۷/۲۱۲۲۱E-۰۶ | ۲/۸۲۲۸۵E-۰۸ | ۱/۱۳۸۱۹E-۰۷ |
| ریسک اضافی سالانه           | ۰/۰۱۸۹۳۲۰۴۳ | ۰/۰۰۷۴۰۹۹۸۱ | ۰/۰۲۹۸۷۷۵۶۳ |

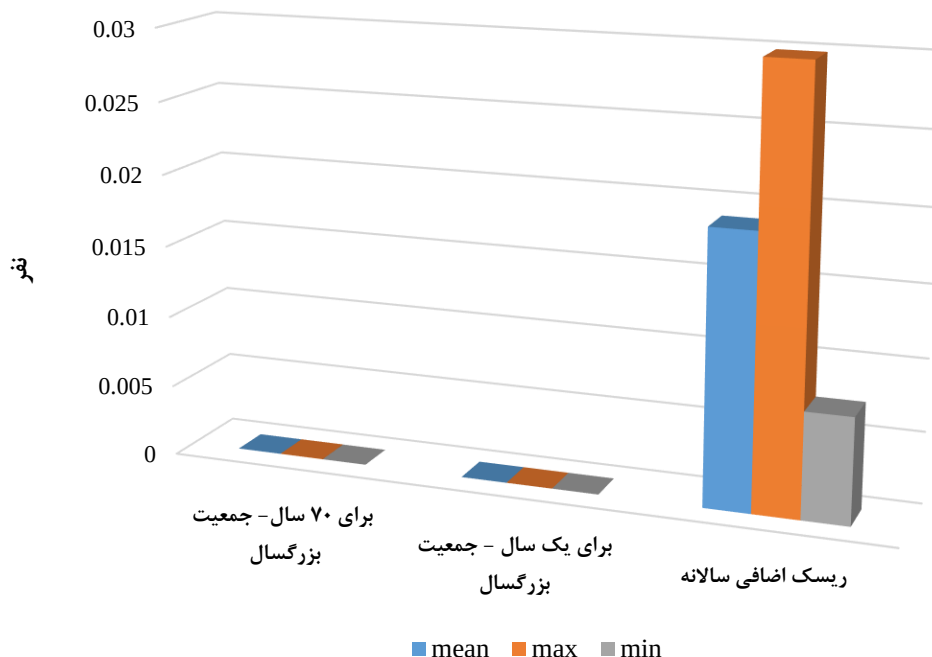
بزرگسال محاسبه شده، تا سن ۷۰ سال برآورد شده است. بعد از آن برای ریسک اضافی سالانه نیز محاسبه شد.

$$Risk_{mean} = CDI_{mean} \times CSF = 0.148486612 \times 0.0085 = 5.04854E-6 \quad (9)$$

$$Risk_{mean} = Risk_{mean}/70 = 5.04854E-6 / 70 = 7.21221E-8 \quad (10)$$

$$The Annual Extra Risk_{mean} = 7E-8 \times 26250 = 0.018932043 \quad (11)$$

طبق آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت گرگان بالغ بر ۳۵۰ هزار نفر است که مبنای ۷۵٪ (۲۶۲۵۰۰ نفر) برای جمعیت بزرگسال در نظر گرفته شده است. در شکل ۶، ریسک سرطانی مصرف سبزیجات آغشته به Lead نشان داده شده است. فرمول‌های (۹) تا (۱۱) ریسک سرطانی مصرف سبزیجات آغشته به سرب را برای شهر گرگان نشان می‌دهد. میزان ریسک براساس میزان خطر برای فلزات در ضریب ریسک سرطانی به دست می‌آید. بعد از آن با توجه به این که برای جمعیت



شکل ۶- ریسک سرطانی مصرف سبزیجات آغشته به سرب

## ۴- نتیجه گیری

## ۷- مراجع

سرب و کادمیوم از مهم ترین عناصر سنگین و سمی هستند که از طریق خوردن آب و غذا و از راه تنفس وارد بدن می شود. به محض بلعیدن، این فلز با بیومولکول های بدن مانند پروتئین ها و آنزیم ها به شکل ترکیبات بیوتوکسیک پایدار در می آید. در نتیجه، ساختار آن ها تغییر کرده و فعل و انفعالات زیستی آن ها با مشکل مواجه می شود. آلودگی سرب باعث جلوگیری از سنتز هموگلوبین، آسیب به عملکرد کلیه ها، سیستم باروری، مفاصل، سیستم قلبی عروقی، آسیب حاد و مزمن به سیستم عصبی مرکزی و سیستم عصبی جانبی می شود.

نتایج این پژوهش در راستای سایر پژوهش هایی بوده که نشان داد غلظت فلزات سرب و کادمیوم در حد استاندارد (می توان گفت در سطح بین المللی) قرار دارد. هم چنین نتایج این پژوهش از نظر بازه مقدار عددی ریسک سرطانی با پژوهش های Sarvestani and Aghasi (2019)، Korte et al. (2020) و Boev et al. (2019) تطبیق دارد.

در آب تصفیه شده که برای آبیاری گیاهان استفاده می شود و انسان از آن استفاده می کند، سمیت سرب باعث رشد ضعیف سلول های خاکستری مغز و در نتیجه بهره هوشی کم می شود. هم چنین سمیت حاد و مزمن سرب باعث بروز بیماری های روانی می شود. در نهایت موارد زیر از انجام این پژوهش مشخص شد:

- در حالت میانگین، به ازای هر یکصد میلیون نفر تعداد ۷/۲۱ نفر در معرض ریسک سرطانی قرار دارند.
- در حالت حداکثر، به ازای هر ده میلیون نفر تعداد ۱/۱۳ نفر در معرض ریسک سرطانی قرار دارند.
- در حالت حداقل، به ازای هر یکصد میلیون نفر تعداد ۲/۸۲ نفر در معرض ریسک سرطانی قرار دارند.

## ۵- تقدیر و تشکر

از شرکت آب و فاضلاب و تصفیه خانه شهر گرگان که نهایت همکاری را با نویسندگان این مقاله داشتند تشکر و قدردانی می شود.

## ۶- پی نوشت ها

- 1- Reference Dose (RFD)
- 2- Cancer Slope Factor (CSF)

بینا، ب.، موحیدیان عطاری، ج. و امینی، ا. ع.، (۱۳۸۳)، "بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه خانه های فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف مختلف"، *مجله آب و فاضلاب*، ۱۵(۱)، ۳۴-۴۲.

چوپان، ی. و امامی، س.، (۱۳۹۹)، "بررسی امکان سنجی بهره گیری از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری تربت حیدریه برای آبیاری محصولات کشاورزی"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۱۵(۱)، ۳۹-۴۵.

سلیمی، ف.، سلیمی، ج. و گل محمدی، ف.، (۱۳۹۸)، "مروری بر کاربردهای جاذب ها برای حذف ترکیبات فنولی از پساب"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۴(۴)، ۱۶-۳۳.

سواری، ج.، جعفرزاده حقیقی فرد، ن.، حسینی، ا. ح. و شمس آبادی، ق.، (۱۳۸۶)، "بررسی پتانسیل نشت فلزات سنگین و خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز"، *آب و فاضلاب*، ۱۸، ۴(۶۴)، ۱۶-۲۴.

قاسمی، ز.، کریمیان، ع. ا.، عظیم زاده، ج. ر. و سودایی زاده، ح.، (۱۳۹۷)، "تأثیر آبیاری با فاضلاب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی رزماری (مطالعه موردی: فاضلاب شهر یزد)". *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۳)، ۲۹-۳۸.

کریم پور، م. و شریعت، م.، (۱۳۷۹)، "بررسی مقدار فلزات سنگین در شبکه آب آشامیدنی شهر همدان"، *نشریه دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان*، ۳(۱۷)، ۴۴-۴۷.

میران زاده، م.، محمودزاده، ع.، حسن زاده، م. و بیگدلی، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی غلظت فلزات سنگین در شبکه توزیع آب شهر کاشان در سال ۱۳۸۹"، *مجله سلامت و بهداشت اردبیل*، ۳(۳)، ۵۶-۶۶.

نبوی، س. ر. و فهادی، م.، (۱۳۹۷)، "مروری بر حذف آلاینده های دارویی از پساب توسط فرایندهای ازن زنی و اکسایش پیشرفته"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۴)، ۵-۱۷.

Asgharnia, H., Jafari, A.J., Kalantary, R.R., Nasser, S., Mahvi, A., Yaghmaeian, K., Esrafil, A., and Shahamat, Y.D., (2014), "Influence of bioaugmentation on biodegradation of phenanthrene-contaminated soil by earthworm in lab scale", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1-7.

Biggs, T.W., and Jiang, B., (2009), "Soil salinity and exchangeable cations in a wastewater irrigated area, India", *Journal of Environmental Quality*, 38(3), 887-896.





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

- Boev, V.M., Kryazheva, E.A., Begun, D.N., Borshchuk, E.L., and Kryazhev, D.A., (2019), "Hygienic assessment of population health risks caused by combined oral introduction of heavy metals", *Health Risk Analysis*, 2019(2), 35-43.
- Carrow, R., Duncan, R.R., and Huck, M.T., (2008), *Turfgrass and landscape irrigation water quality: Assessment and management*, CRC Press.
- Dadban Shahamat, Y., Sangbari, N., Zafarzadeh, A., and Beirami, S., (2017), "Heavy metal contamination in the effluent and sludges of wastewater treatment plant in Gorgan, Iran", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 27(150), 158-169.
- Kortei, N.K., Heymann, M.E., Essuman, E.K., Kpodo, F.M., Akonor, P.T., Lokpo, S.Y., and Tettey, C., (2020), "Health risk assessment and levels of toxic metals in fishes (*Oreochromis niloticus* and *Clarias anguillaris*) from Ankobrah and Prabasins: Impact of illegal mining activities on food safety", *Toxicology Reports*, 7, 360-369.
- Martinez, C.J., Clark, M.W., Toor, G.S., Hochmuth, G.J., and Parsons, L.R., (2011), "Accounting for the nutrients in reclaimed water for landscape irrigation", Institute of Food and Agricultural Sciences, Florida.
- Muchuweti, M., Birkett, J., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., and Lester, J., (2006), "Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112(1), 41-48.
- Mueller, J.T., and Gasteyer, S., (2021), "The widespread and unjust drinking water and clean water crisis in the United States", *Nature Communications*, 12(1), 1-8.
- Nasrazadani, A., and Hoodaji, M., (2014), "Evaluation of the effect of an industrial wastewater sample on heavy metals contaminated soil", *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 437-450.
- Palese, A., Pasquale, V., Celano, G., Figliuolo, G., Masi, S., and Xiloyannis, C., (2009), "Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: Effects on microbiological quality of soil and fruits", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(1-3), 43-51.
- Sarvestani, R.A., and Aghasi, M., (2019), "Health risk assessment of heavy metals exposure (lead, cadmium, and copper) through drinking water consumption in Kerman city, Iran", *Environmental Earth Sciences*, 78(24), 1-11.
- Shahamat, Y.D., Zazouli, M.A., Asgharnia, H., and Dehghanifard, E., (2016), "Evaluation of rapid purification of high concentrations of 2, 4-dinitrophenol in wastewater using catalytic ozonation with carboneus nanocomposite", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 25(133), 138-149.
- Villar, L.D., and Garcia, O., (2002), "Solubilization profiles of metal ions from bioleaching of sewage sludge as a function of pH", *Biotechnology Letters*, 24(8), 611-614.

Research Paper

مقاله پژوهشی

## Investigation of Arsenic Removal from Drinking Water Using Ferric Chloride Coagulant

## بررسی حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از ماده منعقد کننده کلروفریک

Sina Karimi<sup>1</sup>, Hadi Ramezani Etedali<sup>2\*</sup> and Abbas Sotoodehnia<sup>2</sup>

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

\*Corresponding Author, Email: [ramezani@eng.ikiu.ac.ir](mailto:ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

سینا کریمی<sup>۱</sup>، هادی رضانی اعتدالی<sup>۲\*</sup> و عباس ستوده‌نیا<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

\*نویسنده مسئول، ایمیل: [ramezani@eng.ikiu.ac.ir](mailto:ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

Received: 04/05/2021

Revised: 19/11/2021

Accepted: 09/12/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### Abstract

Increasing urbanization and industrialization of cities have led to an increase in pollutants and the production of many toxic elements. One of these pollutants is arsenic, which is known as one of the most toxic and dangerous elements in drinking water. The aim of this study was to investigate the method of minimizing the amount of this toxic substance by coagulation and flocculation in drinking water. In order to determine the optimal conditions for arsenic removal by coagulation and flocculation methods, in the first stage, the optimal pH was determined by Jar experiment, then by selecting ferric chloride as a coagulant and lime as coagulant and also the optimal pH. The optimal amount of chemical is obtained, at the end, the residual concentration of arsenic is determined by atomic hydride absorption spectroscopy. According to the concentration of arsenic in the incoming water sample which is equal to 91 micrograms per liter The jar test was performed in two stages with chloroform coagulants, which according to the optimal pH obtained in different concentrations of coagulants and also a constant concentration of coagulants, the arsenic removal efficiency in the best case in chloroform coagulants. It reached 98.3%, which is equal to 1.5 micrograms per liter, which according to the standard of the WHO (2011), 10 micrograms per liter had an acceptable result. The result of this study indicates that the coagulation and flocculation method with chloride-chloride coagulant and a constant amount of lime as a coagulant has high efficiency in arsenic removal.

**Keywords:** Arsenic, Drinking water, Coagulation and flocculation, Ferric chloride

### چکیده

افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن شهرها موجب افزایش آلاینده‌ها و تولید عناصر سمی بسیاری شده است. یکی از این آلاینده‌ها آرسنیک است که در دسته سمی‌ترین و خطرناک‌ترین عنصرهای موجود در آب آشامیدنی قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش به حداقل رساندن میزان آرسنیک در آب آشامیدنی به روش انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از کلروفریک است. در روش انعقاد و لخته‌سازی برای حذف آلاینده موردنظر یک pH و یک مقدار بهینه وجود دارد که چه کمتر و چه بیشتر از این مقادیر بهینه باعث کاهش حذف آلاینده می‌شود. زیرا در مقدار بهینه، لجن‌های ریزتری تشکیل می‌شود. بنابراین برای تعیین شرایط بهینه حذف آرسنیک به روش انعقاد و لخته‌سازی، در مرحله اول میزان pH بهینه به کمک آزمایش جار تعیین شد. سپس با انتخاب کلروفریک به عنوان ماده منعقدکننده و آهک به عنوان کمک منعقدکننده و همچنین میزان pH بهینه، مقدار بهینه ماده شیمیایی تعیین شد. در پایان غلظت باقیمانده آرسنیک به روش طیف‌سنجی جذب اتمی هیدرید اندازه‌گیری شد. غلظت آرسنیک نمونه آب اولیه برابر با ۹۱ میکروگرم بر لیتر بود. آزمایش جار در طی دو مرحله با منعقدکننده کلروفریک صورت گرفت. در مرحله اول میزان pH بهینه ۶ و در مقدار غلظت ثابت برابر ۵ میلی گرم بر لیتر کلروفریک به دست آمد. در مرحله دوم با ثابت نگه داشتن مقدار pH بهینه ۶، غلظت ۱ میلی گرم در لیتر آهک به عنوان کمک منعقدکننده و تغییر غلظت کلروفریک، راندمان حذف آرسنیک در بهترین حالت به کمک ماده منعقدکننده کلروفریک با غلظت ۶/۵ میلی گرم بر لیتر، به ۹۸/۳ درصد رسید، که برابر با ۱/۵ میکروگرم بر لیتر بود. با توجه به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۱۰ میکروگرم بر لیتر) نتیجه قابل قبولی را به همراه داشت. نتیجه این پژوهش بیانگر آن است که روش انعقاد و لخته‌سازی با منعقدکننده کلروفریک و میزان ثابتی از آهک به عنوان کمک منعقدکننده کارایی بالایی در حذف آرسنیک دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آرسنیک، آب آشامیدنی، انعقاد و لخته‌سازی، کلروفریک

است (پناهی و همکاران، ۱۳۹۱). از روش‌های متداول حذف آرسنیک از منابع آبی می‌توان به اکسیداسیون، انعقاد و لخته‌سازی، اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون، تعویض یونی، گیاه پالایی و فناوری‌های نوین با تکیه بر استفاده از نانو ذرات اشاره نمود. یافته‌ها نشان داد علی‌رغم درصد بالای حذف آرسنیک با استفاده از روش‌هایی مانند اکسیداسیون، تعویض یونی و شناورسازی با هوای محلول، این روش‌ها از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نبوده و مدت زمان حصول به راندمان بهینه بالا است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ حسن‌زاده و استوار، ۱۳۹۸).

معمولاً آرسنیک معدنی در آب به دو صورت آرسنیت ۳ ظرفیتی و آرسنات ۵ ظرفیتی وجود دارد. آرسنات یک مولکول با بار منفی بوده و حذف آرسنیک آن نسبتاً ساده است. زیرا به راحتی روی سطح ذرات هیدروکسید فلزی جذب می‌شود. اما حذف آرسنیک اگر به صورت آرسنیت باشد به دلیل خنثی بودن از نظر بار الکتریکی مشکل است. بنابراین اگر آب مورد تصفیه دارای آرسنیت باشد (یا مقدار آن در حد حداکثر مجاز باشد) تصفیه باید با یک مرحله اکسیداسیون به منظور تبدیل تمام آرسنیت به آرسنات شروع شود. اکسیداسیون برای حذف آرسنیک با کاربرد کلریناسیون ساده، از ناسیون یا پرمنگنات پتاسیم قابل دستیابی است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۷).

Guo et al. (2007) برای حذف آرسنیک ۳ و ۵ ظرفیتی از سیدریت ( $\text{FeCO}_3$ ) استفاده کردند. نتایج نشان داد ظرفیت جذب برای آرسنیک ۳ و ۵ ظرفیتی به ترتیب ۱۰۴۰ و ۵۲۰ میکروگرم بر گرم است. همچنین Goswami et al. (2012) از نانوذرات مس ۲ ظرفیتی برای حذف آرسنیک ۳ ظرفیتی استفاده کردند. نتایج نشان داد ۱ گرم از نانوجاذب می‌تواند تا ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر آرسنیک تا ۱۰۰ درصد حذف آرسنیک را داشته باشد. همچنین در مطالعه Zade and Dharmadhikari (2007) مشخص شد  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  از  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در جذب آرسنیک مؤثرتر است.

در سیستم‌های تصفیه آب‌های سطحی با فرآیند متداول با استفاده از مواد منعقدکننده فریک یا آلوم، آرسنیک به آسانی در طول فرآیند انعقاد-ته‌نشینی حذف می‌شود (Palood, 2020). فرآیند انعقاد و لخته‌سازی به کمک مواد شیمیایی از قبیل آلوم، کلورفریک و سولفات فرو انجام شد (Kim and Nriagu, 2000). باتوجه به مطالعات انجام شده، موثرترین آن‌ها کلورفریک بود، که در این آزمایش نیز از آن استفاده شد. حذف آرسنیک با این روش به عوامل مختلفی از قبیل نوع ماده منعقدکننده، مقدار مصرفی ماده منعقدکننده، pH و غلظت اولیه آرسنیک وابسته بود (Sorg and Logsdon, 1978).

امروزه با گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت و همین‌طور پیشرفت علم و فناوری باعث افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی شده است که موجب افزایش ورود آلاینده‌ها به محیط‌زیست شده است (Sarma et al., 2010). این آلاینده‌ها موجب اختلال در محیط‌زیست می‌شود. از میان این آلاینده‌ها فلزات سنگین به دلیل عدم تجزیه و همین‌طور اثرات مخرب بر روی سلامت انسان‌ها و موجودات زنده بسیار حائز اهمیت هستند (Rajkumar et al., 2010).

وجود فلزات سنگین در منابع آب به صورت طبیعی و یا بر اثر فعالیت‌های بشر صورت می‌گیرد (Hou et al., 2013). از میان فلزات سنگین، آرسنیک (As) یک عنصر بسیار سمی است که به صورت فعالیت‌های طبیعی و غیرطبیعی وارد منابع آب می‌شود (Baroni et al., 2000). برخی از این آلاینده‌ها با آلوده‌سازی محیط‌زیست وارد چرخه غذایی شده و منابع آبی را آلوده نموده‌اند. این مسئله تأثیر مستقیم بر سلامت انسان دارد که علاوه بر شیوع بیماری‌های مختلف، موجب سرطان و حتی باعث مرگ نیز می‌شوند. یکی از این آلاینده‌ها آرسنیک است که بر اثر فعالیت‌های بشری و یا طبیعی موجب آلودگی منابع آب برخی مناطق شده است (Karim, 2000).

آرسنیک شبه فلز و عنصری سمی است که مواجهه انسان با آن اغلب از طریق مصرف آب شرب است که به صورت طبیعی با آرسنیک آلوده شده باشد. آلودگی آرسنیک در آب به دلیل سمیت و مخاطره‌آمیز بودن آن، به عنوان یک مشکل اساسی در جوامع مختلف مطرح است. از زمان شناسایی مشکلات بهداشتی ناشی از حضور آرسنیک در آب آشامیدنی، تلاش‌های فراوانی توسط دانشمندان در نقاط مختلف دنیا برای حذف آرسنیک از آب شرب با استفاده از روش‌های مختلف به عمل آمده است. بررسی روش‌های حذف آرسنیک از آب آشامیدنی مهم‌ترین گام برای کاهش اثرات خطرناک آن محسوب می‌شود (پناهی و همکاران، ۱۳۹۱). بسیاری از آلاینده‌های موجود در آب برای سلامتی انسان و محیط‌زیست، مضر و سمی شناخته شده‌اند. در میان این آلاینده‌ها آرسنیک از اهمیت بیشتری برخوردار است، چرا که میلیون‌ها نفر در معرض آب آشامیدنی آلوده به آن قرار دارند. سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز آن را کمتر از ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر (۱۰ میکروگرم در لیتر) در آب آشامیدنی مشخص کرده است. حد مجاز آرسنیک در استاندارد ۱۰۵۳ (سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۹) نیز همین مقدار گزارش شده

هدف پژوهش حاضر کاهش غلظت آرسنیک از آب آشامیدنی، با استفاده از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی در شرایط بهینه است. لذا این مطالعه سعی دارد pH بهینه و همین‌طور میزان مقدار ماده افزودنی کلرورفریک به‌عنوان مواد منعقدکننده و آهک به‌عنوان کمک منعقدکننده به آب آلوده به آرسنیک تعیین شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه کنترل کیفیت تصفیه‌خانه شماره ۲ (کن) تهران متعلق به شرکت آب و فاضلاب استان تهران در سال ۱۳۹۹ صورت گرفت. در این پژوهش از آب طبیعی حاوی آرسنیک استفاده شد. نمونه اولیه مورد استفاده در آزمایش از چاه شماره ۲ متعلق به شرکت آب و فاضلاب تأمین‌کننده آب آشامیدنی شهر آبگرم واقع در شهرستان آوج استان قزوین تهیه شد. برای نمونه‌برداری و انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی از دو ظرف پلاستیکی به حجم ۱۰ لیتر استفاده شد. ظرف‌های مورد استفاده برای نمونه‌برداری با آب شهری شسته و سپس به‌وسیله آب مقطر آب‌کشی شدند تا احتمال وجود هرگونه آلودگی از بین برود. پس از نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر رومیزی مدل ۷۸۰ شرکت Metrohm سوئیس استفاده شد. دستگاه کدورت‌سنج مورد استفاده در این آزمایش مدل N2100 از شرکت HACH بود که قابلیت اندازه‌گیری کدورت بر اساس واحد NTU را دارا بود. برای کالیبراسیون این دستگاه از پنج محلول استاندارد استفاده شد. این دستگاه براساس استاندارد جهانی USEPA180/1 نتایج آنالیز را ارائه داد. این مدل دارای سه دتکتور بود که امکان سنجش کدورت را تا ۴۰۰۰ NTU فراهم کرد. برای اندازه‌گیری میزان آرسنیک از روش طیف‌سنجی جذب اتمی تولید هیدرید با نام اختصاری HG-AAS (Hydrid Generation Atomic Absorption Spectrometric)، عناصر به‌صورت گازهای هیدریدی وارد اتم‌ساز شد. دستگاه مورد استفاده از سری Agilent 33B AA بود.

برای پیش‌بینی شرایط انعقاد و تعیین میزان مناسب pH و مواد شیمیایی مورد نیاز برای لخته‌سازی از دستگاه جارتست استفاده شد. آزمایش جار در تصفیه‌خانه برای نشان دادن تأثیر مواد شیمیایی طراحی شده است که یک روش عمومی برای ارزیابی انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی است. دستگاه جارتست از شش ظرف شیشه‌ای (بشر) به حجم یک لیتر و هم‌زن‌های کاملاً یکسان که با یک موتور کار می‌کردند، تشکیل شد. هر هم‌زن

داخل یکی از ظرف‌ها قرارگرفت. شرایط در تمامی بشرها یکسان بود، به‌طوری که حجم نمونه اولیه تمامی بشرها یک لیتر و سرعت هم‌زن‌های قرارداده داخل بشرها نیز یکسان بود. این آزمایش یک مدل کوچک از واحدهای انعقاد سریع، انعقاد آهسته و همین‌طور ته‌نشینی در تصفیه‌خانه بود که با افزودن مواد شیمیایی پارامترهای مورد مطالعه را در مقیاس آزمایشگاهی ارزیابی کرد. آزمایش حاضر، موجب شد کاربر بتواند میزان تزریق مواد شیمیایی را هنگامی که پارامترهای شاخص کیفیت آب تغییر می‌کرد، به‌صورت تقریبی مشخص کند و نتیجه به‌دست آمده آزمایش فوق، میزان تزریق مواد شیمیایی به تصفیه‌خانه را تنظیم کرد. در این آزمایش تلاش شد تا کلیه شرایط فرآیند انعقاد و لخته‌سازی که در تصفیه‌خانه (مقیاس بزرگ) اجرا می‌شد، به‌صورت آزمایشگاهی (مقیاس کوچک) شبیه‌سازی شود.

این آزمایش برای دستیابی به شرایط بهینه در دو مرحله صورت گرفت، در مرحله اول برای دستیابی به pH بهینه و در مرحله دوم برای یافتن مقدار بهینه ماده منعقدکننده. مواد شیمیایی مورد استفاده در این آزمایش از شرکت مهاباد مهر تجارت ایرانیان تهیه شد. مواد منعقدکننده مورد استفاده برای انجام آزمایش کلرورفریک بود و آهک به‌عنوان کمک منعقدکننده مورد استفاده قرار گرفت. برای تنظیم pH نیز از اسیدکلریک ۱ نرمال و هیدروکسید سدیم ۰/۰۵ نرمال استفاده شد. در هر دو مرحله ۴ ساعت قبل از انجام آزمایش به نمونه اولیه به‌میزان ۱ ppm کلر برای تبدیل آرسنیک سه ظرفیتی به آرسنیک پنج ظرفیتی تزریق شد. تمامی مراحل انجام آزمایش جار در دمای اتاق ۲۰-۲۵ درجه سلسیوس صورت گرفت. به‌علاوه تمام وسایل مورد استفاده در آزمایش با آب مقطر کاملاً آب‌کشی شد و تمام دستگاه‌های مورد استفاده نیز مطابق با دستورالعمل راهنمای دستگاه کالیبره شد.

در فرآیند انعقاد، pH بهینه یک پارامتر مهم محسوب می‌شود. برای شروع آزمایش ابتدا در هریک از ظروف (بشر) یک لیتر از نمونه آب خام اضافه شد. سپس با استفاده از محلول‌های اسیدی و بازی نام برده، pH هر یک از ظرف‌های حاوی نمونه آب اولیه با فاصله یک واحد از ۴ تا ۹ تغییر داده شد. سپس مقدار ثابتی از منعقدکننده موردنظر (۵ میلی گرم کلرورفریک) به‌صورت مجزا به داخل شش ظرف تزریق شد. بعد از تزریق ماده، دستگاه روشن شده و هم‌زن‌ها بر روی سرعت ۱۴۰ دور در دقیقه تنظیم شد و به‌مدت دو دقیقه این شرایط برای انجام اختلاط سریع ادامه پیدا کرد. بعد از اتمام این زمان، سرعت هم‌زن‌ها به ۳۵ دور در دقیقه کاهش یافت که این روند تا مدت زمان ۱۸ دقیقه ادامه پیدا کرد

فاصله یک سانتی‌متری از سطح آب از تمامی ظرف‌ها نمونه برداشته شد تا به حداکثر کاهش غلظت آرسنیک به مقدار بهینه دسترسی پیدا شود.

### ۳- نتایج

بعد از انتقال نمونه اولیه به آزمایشگاه، میزان آرسنیک، pH، هدایت الکتریکی و کدورت اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است. میزان آرسنیک نمونه اولیه مطابق جدول برابر ۹۱ میکروگرم بر لیتر بود که از میزان استاندارد (۱۰ میکروگرم بر لیتر) بسیار بالاتر بود.

جدول ۱- مشخصات نمونه اولیه

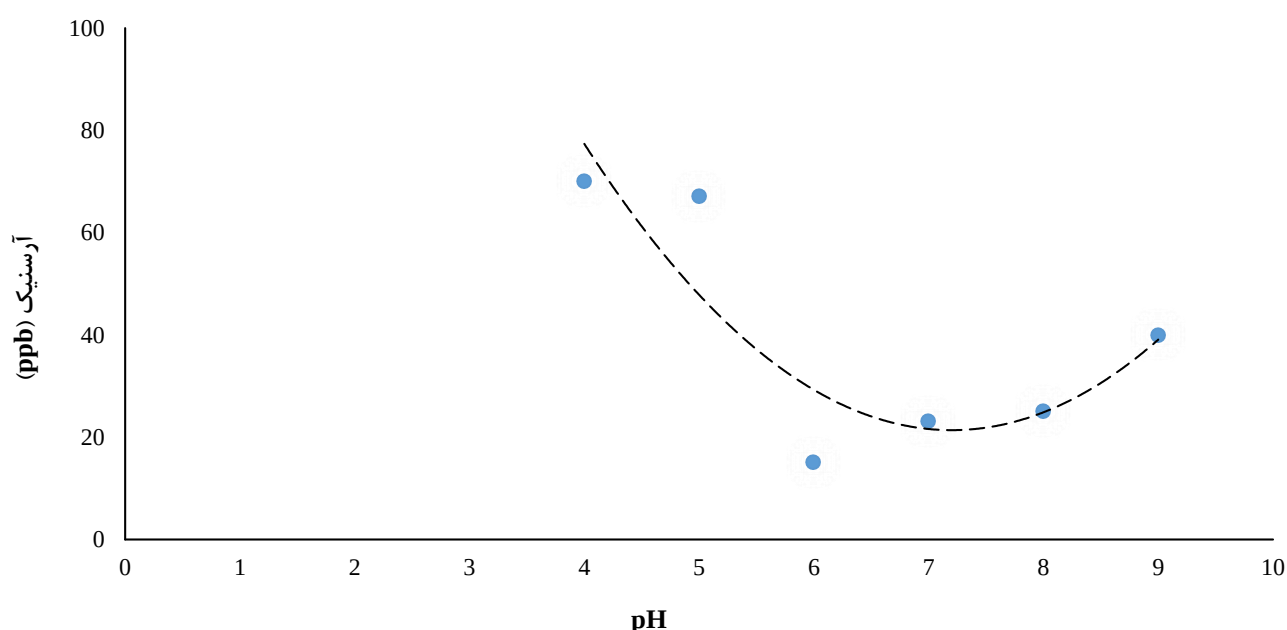
| پارامتر      | مقدار |
|--------------|-------|
| آرسنیک (ppb) | ۹۱    |
| pH           | ۸/۰۴  |
| EC (ms/cm)   | ۱/۷۶  |
| کدورت (NTU)  | ۰/۲   |

#### ۳-۱- مرحله اول آزمایش (pH بهینه)

پس از اتمام مرحله اول آزمایش (pH بهینه) با منعقدکننده کلرورفریک، آرسنیک تمامی نمونه‌ها با pH های مختلف اندازه‌گیری شد که میزان درصد حذف آرسنیک در جدول ۲ قابل مشاهده است. با توجه به جدول ۲ و شکل ۱، pH بهینه برای منعقدکننده کلرورفریک برابر ۶ با ۸۳/۵۱ درصد حذف است.

تا لخته‌سازی به‌طور کامل صورت‌گیرد. بعد از اتمام ۱۸ دقیقه دستگاه را خاموش کرده و ۳۰ دقیقه در حالت استراحت قرار داده تا عمل ته‌نشینی کاملاً صورت‌گیرد. پس از اتمام مدت زمان مشخص شده نمونه‌ها از عمق یک سانتی‌متری از سطح آب هریک از ظرف‌ها به‌صورت جداگانه برداشت شد تا میزان آرسنیک باقی‌مانده در pH های مختلف اندازه‌گیری شود.

بعد از تعیین pH بهینه، مرحله دوم آزمایش شروع شد. برای شروع اندازه‌گیری مقدار بهینه مواد منعقدکننده و تأثیر کمک منعقدکننده، مقدار pH نمونه اولیه را به مقدار pH بهینه تغییر داده و نمونه آب اولیه در داخل شش ظرف قرار داده شده و تمامی هم‌زن‌ها در داخل ظرف‌ها قرار گرفت. سپس مقدار ۵ میلی‌گرم در لیتر از ماده شیمیایی (کلورفریک) به ظرف اول مانند مرحله اول (به‌عنوان شاهد) تزریق شد و در ظرف‌های بعدی با فواصل یکسان ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر (۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵) از کلورفریک تزریق شد. بعد از تزریق کامل ماده منعقدکننده در تمامی ظرف‌ها برای افزایش راندمان حذف و جلوگیری از کاهش pH به دلیل اثر مواد منعقدکننده، در تمامی ظرف‌ها به اندازه ۱ میلی‌گرم در لیتر آهک به‌عنوان کمک منعقدکننده تزریق شد. سپس با روشن کردن دستگاه و قرار دادن سرعت هم‌زن‌ها بر روی ۱۴۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه، اختلاط سریع صورت‌گرفت. بعد از آن سرعت هم‌زن‌ها به ۳۵ دور در دقیقه به مدت زمان ۱۸ دقیقه کاهش یافت تا لخته‌سازی به‌خوبی انجام شود. بعد از اتمام این مدت زمان دستگاه خاموش شده و به مدت ۳۰ دقیقه برای ته‌نشینی کامل ذرات در حالت استراحت قرار داده شد. سپس از



شکل ۱- نمودار رگرسیون تغییرات آرسنیک در وضعیت pH های مختلف برای منعقدکننده کلرورفریک



جدول ۲- درصد حذف آرسنیک در وضعیت pHهای مختلف برای

منعقدکننده کلرورفریک

| pH | درصد حذف آرسنیک |
|----|-----------------|
| ۴  | ۲۳/۰۷           |
| ۵  | ۲۶/۳۷           |
| ۶  | ۸۳/۵۱           |
| ۷  | ۷۴/۷۲           |
| ۸  | ۷۲/۵۲           |
| ۹  | ۵۶/۰۴           |

با توجه به جدول ۳ مقدار pH بر درصد حذف آرسنیک با استفاده از منعقدکننده کلرورفریک موثر بود و نشان دهنده معنی داری کلی مدل رگرسیون بود. مقدار آماره آزمون معنی داری مدل، همان آماره F با درجه آزادی ۱ بود. البته با توجه به سطح معناداری (p) مقدار آزمون که برابر ۰/۰۰۲ و بیشتر از ۰/۰۵ بود فرض صفر با اطمینان ۹۵ درصد تایید شد یعنی مدل موجود با اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بوده و براساس داده های موجود این مدل قادر به بیان تغییرات آرسنیک بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس تغییرات آرسنیک در pHهای مختلف برای منعقدکننده کلرورفریک

| مدل        | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F     | Sig.   |
|------------|--------------|------------|----------------|-------|--------|
| رگرسیون    | ۱۰۲۶/۰۵۷     | ۱          | ۱۰۲۶/۰۵۷       | ۲/۳۵۶ | ۰/۰۰۲* |
| باقی مانده | ۱۷۴۱/۹۴۳     | ۴          | ۴۳۵/۴۸۶        |       |        |
| مجموع      | ۲۷۶۸/۰۰۰     | ۵          |                |       |        |

\*معنی داری در سطح ۹۵٪

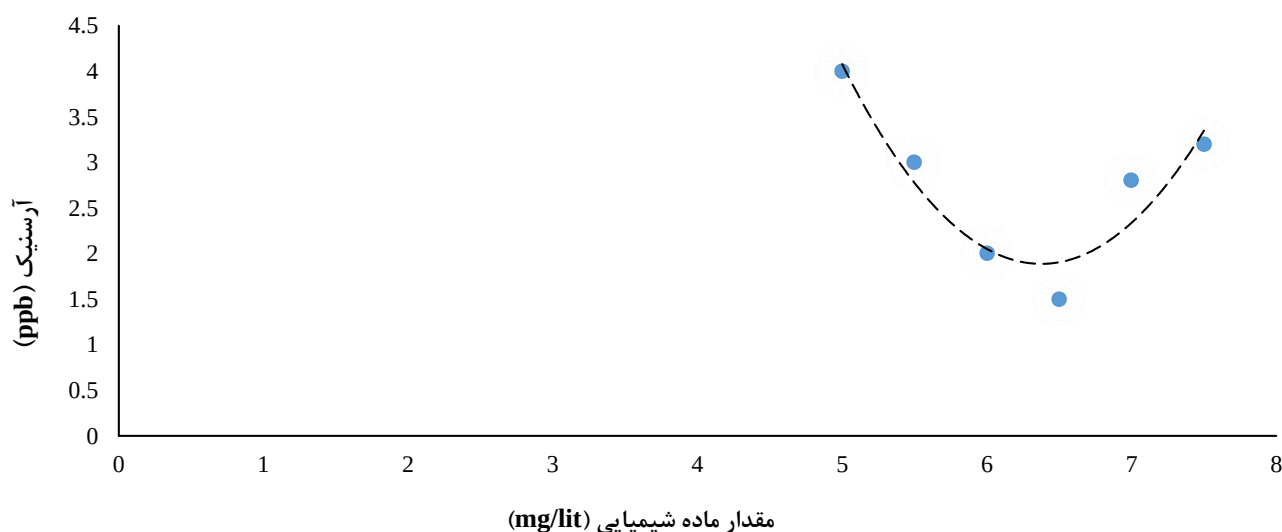
### ۲-۳- مرحله دوم آزمایش (مقدار بهینه)

بعد از دستیابی به مقدار pH بهینه، مرحله دوم آزمایش (مقدار بهینه) آغاز شد. پس از اتمام مرحله مقدار بهینه با منعقدکننده کلرورفریک، میزان آرسنیک تمام نمونه ها براساس مقدار منعقدکننده

اندازه گیری شد، که در جدول ۴ و شکل ۲ قابل مشاهده است. با توجه به جدول ۴ مقدار بهینه منعقدکننده کلرورفریک برابر ۶/۵ میلی گرم بر لیتر با ۹۸/۳۵ درصد حذف است.

جدول ۴- درصد حذف آرسنیک بر حسب مقادیر منعقدکننده کلرورفریک

| مقدار ماده شیمیایی (mg/lit) | درصد حذف آرسنیک |
|-----------------------------|-----------------|
| ۵                           | ۹۵/۶۰           |
| ۵/۵                         | ۹۶/۷۰           |
| ۶                           | ۹۷/۸۰           |
| ۶/۵                         | ۹۸/۳۵           |
| ۷                           | ۹۶/۹۲           |
| ۷/۵                         | ۹۶/۵۹           |



شکل ۲- نمودار رگرسیون تغییرات آرسنیک بر حسب مقادیر منعقدکننده کلرورفریک

تایید شد. یعنی مدل موجود با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و براساس داده‌های موجود این مدل قادر به بیان تغییرات آرسنیک است. کلرورفریک در تغییرات آرسنیک مؤثر بود.

جدول ۵ نشان دهنده معنی‌داری کلی مدل رگرسیون است. مقدار آماره آزمون معنی‌داری مدل، همان آماره F با درجه آزادی ۱ بود. البته با توجه به سطح معناداری (P) مقدار آزمون برابر ۰/۰۴۱۰ بود که بیشتر از ۰/۰۵ است. فرض صفر با اطمینان ۹۵ درصد

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس تغییرات آرسنیک بر حسب مقادیر منعقدکننده کلرورفریک

| Sig.    | F     | میانگین مربعات | درجه آزادی | مجموع مربعات | مدل        |
|---------|-------|----------------|------------|--------------|------------|
| ۰/۰۴۱۰* | ۰/۵۲۳ | ۰/۴۴۸          | ۱          | ۰/۴۴۸        | رگرسیون    |
|         |       | ۰/۸۵۶          | ۴          | ۳/۴۲۵        | باقی مانده |
|         |       |                | ۵          | ۳/۸۷۳        | مجموع      |

\*معنی‌داری در سطح ۹۵٪

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

#### ۵- مراجع

پناهی، م.، نجفی، خ.، و زارعی، م. (۱۳۹۱)، "مروری بر روش‌های حذف آرسنیک از آب‌های آشامیدنی"، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

حسن‌زاده، م.، و استوار، ف. (۱۳۹۸)، مطالعه مروری روش‌های حذف آرسنیک از منابع آب، پژوهش فناوری محیط‌زیست، ۴(۶)، ۳۹-۴۶.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۹)، مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، استاندارد ۱۰۵۳، نسخه پنجم، ۱۸ ص، قابل دسترس از طریق <http://www.isiri.org/std/1053.pdf/>

سلیمانی، ا.، فرقانی، گ.، و گودرزی، ن. (۱۳۹۷)، "حذف آرسنیک از محلول‌های آبی با استفاده از نانوذرات گل قرمز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

Baroni, F., Boscagli, A., Protano, G., and Riccobono, F., (2000), "Accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area", *Environmental Pollution*, 109(2), 347-352.

Eisler, R., (2000), *Handbook of chemical risk assessment*, Boca Raton, CRC press.

World Health Organization (WHO), (2011), *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 4<sup>th</sup> Edition. 631p. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>.

Guo, H., Stüben, D., and Berner, Z., (2007), "Adsorption of Arsenic (III) and Arsenic (V) from groundwater using natural siderite as the adsorbent", *Journal of colloid and interface science*, 315(1), 47-53.

Goswami, A., Raul, P.K., and Purkait, M.K., (2012), "Arsenic adsorption using copper (II) oxide nanoparticles", *Chemical Engineering Research and Design*, 90(9), 1387-1396.

پژوهش حاضر به بررسی حذف آرسنیک از آب آشامیدنی به روش انعقاد و لخته‌سازی انجام گرفت. مواد منعقدکننده مورد استفاده آزمایش کلرورفریک بود. در روش انعقاد و لخته‌سازی برای حذف آرسنیک تعیین pH بهینه و مقدار بهینه اهمیت وجود دارد که کمتر و بیشتر از مقدار بهینه باعث کاهش حذف آلاینده می‌شود. زیرا در مقدار بهینه لجن‌های ریزتری تشکیل می‌شود. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش به شرح زیر است:

مرحله اول آزمایش برای دستیابی به میزان pH بهینه بود. بیشترین میزان حذف در pH برابر ۶ رخ داد که درصد حذف آرسنیک برابر با ۸۳/۵۱ و مقدار باقی‌مانده آرسنیک در این pH برابر ۱۵ میکروگرم بر لیتر بود. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در مرحله اول آزمایش میزان pH برابر ۶ تعیین شد.

مرحله دوم آزمایش برای دستیابی به میزان مقدار بهینه بود. بیشترین میزان حذف در مقدار ۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر با درصد حذف ۹۸/۳۵ درصد بود. مقدار باقیمانده آرسنیک در این مقدار برابر با ۱/۵ میکروگرم بر لیتر بود. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در مرحله دوم آزمایش مقدار بهینه برابر با ۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر بود.

در آزمایش‌های مربوط به بررسی تغییرات آرسنیک برحسب مقدار منعقدکننده کلرورفریک، مقدار سطح معناداری برابر ۰/۰۴۱ بوده و کمتر از ۰/۰۵ بود. در نتیجه فرض صفر با اطمینان ۹۵ درصد رد شد. یعنی مدل موجود با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و براساس داده‌های موجود این مدل قادر به بیان تغییرات آرسنیک بود. کلرورفریک در تغییرات آرسنیک مؤثر بود.

- Hou, D., He, J., Lü, C., Ren, L., Fan, Q., Wang, J., and Xie, Z., (2013), "Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in water and sediments from Lake Dalinouer, China", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 135-144.
- Karim, M., (2000), "Arsenic in groundwater and health problems in Bangladesh", *Water Research*, 34(1), 304-310.
- Kim, M.J., and Nriagu, J., (2000), "Oxidation of arsenite in groundwater using ozone and oxygen", *Science of The Total Environment*, 247(1), 71-79.
- Litter, M.I., Morgada, M.E., and Bundschuh, J., (2010), "Possible treatment for arsenic removal in Latin American water for human consumption", *Environmental Pollution*, 158(5), 1105-1118.
- Rajkumar, M., Ae, N., Prasad, M.N.V., and Freitas, H., (2010), "Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction", *Trends in Biotechnology*, 28(3), 142-149.
- Sarma, H.P., Buragohain, M., and Bhuyan, B., (2010), "Seasonal variations of lead, arsenic, cadmium and aluminium, contamination of groundwater in Dhemaji district, Assam, India", *Environmental monitoring and assessment*, 170(1), 345-351.
- Smedley, P., and Kinniburgh, D., (2002), "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters", *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-68.
- Sorg, T.J., and Logsdon, G.S., (1978), "Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulations for inorganics: Part 2", *Journal of American Water Works Association (AWWA)*, 70, 379-393.
- Uddin, M.M., Haurun-Ar-Rashid, A.K.M., Hossain, S.M., Hafiz, M.A., and Mubin, S.H., (2006), "Slow arsenic poisoning of the contaminated groundwater users", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3(4), 447-53.
- Zade, P.D., and Dharmadhikari, D.M., (2007), "Removal of arsenic as arsenite from groundwater/wastewater as stable metal ferrite", *Journal of Environmental Science and Health*, 42(8), 1073-1079.
- Zaw, M., Emett, M.T., (2002), "Arsenic removal from water using advanced oxidation processes", *Toxicology Letters*, 133(1), 113-118.



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

## SCADA-Based Protection of Centrifugal and Submersible Electric Pumps in the Water Industry

## حفاظت الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور در صنعت آب به کمک اسکادا

Reza Khalaji<sup>1</sup> and Mohsen Jannati<sup>1\*</sup>

رضا خلجی<sup>۱</sup> و محسن جنتی<sup>۱\*</sup>

1- Department of Electrical Engineering, Shahreza Campus, University of Isfahan, Iran.

۱- گروه مهندسی برق، مرکز آموزش عالی شهرضا، دانشگاه اصفهان،

\*Corresponding Author, Email: [m.jannati@shr.ui.ac.ir](mailto:m.jannati@shr.ui.ac.ir)

ایران  
\*نویسنده مسئول، ایمیل: [m.jannati@shr.ui.ac.ir](mailto:m.jannati@shr.ui.ac.ir)

Received: 19/07/2021

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

Revised: 17/10/2021

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

Accepted: 10/11/2021

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### Abstract

### چکیده

Global water shortages and droughts, on the one hand, and population growth, dispersion of water and sewage facilities, and the growing need for drinking water, on the other hand, highlight the need for an efficient management of drinking water supply and distribution. Electro pumps, which are a kind of power system in the water industry, have a major role in extracting water as well as pumping and transferring it from one reservoir to another. One of the major challenges in this system is the protection of electro pumps against the overcurrent. The protection of electro pumps is traditionally based on the use of bimetallic relays, load control or overcurrent relays. However, in some cases, the malfunction of relays, the end of their useful life and their deviation from the specified current range result in the lack of a reliable and fast protection, which will eventually lead to burnout and social problems. On the other hand, the use of SCADA system has been considered as an undeniable necessity in the water industry to provide a safe and continuous supply of urban and rural drinking water, as well as its optimal distribution in terms of quality and quantity. Therefore, in this paper a SCADA-based method is proposed to protect surface/submersible electro pumps against the overcurrent and other faults. Examination of the practical results obtained from the implementation of the proposed method in Chaharmahal and Bakhtiari Water and Wastewater Company shows that the proposed protection method can significantly stop deviation of water industry electro pumps from the drinking water extraction cycle, and thus prevent social problems and dissatisfactions resulted from the cutting off the water.

کم آبی کره زمین و خشک‌سالی از یک‌سو، افزایش جمعیت، پراکندگی تأسیسات آب و فاضلاب و نیاز روز افزون به آب شرب از سوی دیگر، ضرورت رویکرد مناسب به مدیریت کارآمد تأمین و توزیع آب شرب و بهداشتی را بیشتر از پیش نمایان می‌سازد. الکتروپمپ‌ها که به‌نوعی سیستم‌های قدرت در صنعت آب و فاضلاب به‌شمار می‌روند، نقش عمده و اساسی در استحصال آب و هم‌چنین پمپاژ و انتقال آن از مخزنی به مخزن دیگر را برعهده دارند. یکی از چالش‌های بزرگ موجود در این سیستم، حفاظت الکتروپمپ‌های سطحی و شناور در برابر اضافه جریان است. حفاظت الکتروپمپ‌ها به‌شیوه سنتی مبتنی بر استفاده از انواع رله‌های بی‌متال، کنترل بار یا رله‌های کنترل جریان است. اما عدم عملکرد صحیح رله‌ها در برخی موارد، پایان عمر مفید رله و خارج شدن رله از محدوده جریان مشخص شده باعث عدم حفاظت مطمئن و به موقع الکتروپمپ‌ها در برابر اضافه جریان شده که در نهایت، سوختگی الکتروپمپ و مشکلات اجتماعی را به‌دنبال خواهد داشت. از طرف دیگر امروزه برای تأمین مطمئن و مداوم آب شرب شهری و روستایی و هم‌چنین توزیع بهینه آن از نظر کیفی و کمی و کنترل دائم پارامترهای مذکور، استفاده از سیستم اسکادا به‌عنوان یک ضرورت انکارناپذیر در صنعت آب و فاضلاب کشور موردتوجه بوده است. از همین‌رو در این مقاله یک روش حفاظتی مبتنی بر اسکادا برای حفاظت انواع الکتروپمپ‌های سطحی و شناور در برابر اضافه جریان و دیگر خطاها پیشنهاد شده است. بررسی نتایج عملی به‌دست آمده از اجرای روش پیشنهادی در آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد که برنامه حفاظتی پیشنهادی می‌تواند کمک قابل‌توجهی در جهت جلوگیری از خارج شدن الکتروپمپ‌های صنعت آب و فاضلاب از چرخه استحصال آب شرب نموده و از مشکلات اجتماعی قطع آب مشترکین و نارضایتی‌های حاصل از آن نیز جلوگیری به‌عمل آورد.

**Keywords:** Centrifugal and submersible electric pumps, Overcurrent protection, SCADA.

**واژه‌های کلیدی:** الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور، حفاظت اضافه جریان، اسکادا

پیچیده و حساس هستند که برای عملکرد درست لازم است که اطلاعات وضعیت عملکرد آن‌ها به‌طور پیوسته جمع‌آوری، مانیتور و کنترل شود (محرابیان، ۱۳۹۲؛ ایمانی و همکاران، ۱۳۹۳).

سیستم‌های اسکادا برای مانیتور یا کنترل پردازش‌های فیزیکی، شیمیایی، حمل و نقل و یا در سیستم‌های تأمین آب شهری، کنترل تولید و انتقال برق، مانیتور خطوط نفت و گاز و دیگر پردازش‌ها به‌کار گرفته می‌شوند. اسکادا به اپراتور مرکزی یک سیستم توزیع شده، مانند تأسیسات نفت، گاز، خطوط لوله، یا نیروگاه‌ها امکان تنظیم کنترلرها، باز و بسته کردن شیرها و کلیدها، نمایش آلارم‌ها و جمع‌آوری اطلاعات اندازه‌گیری شده را فراهم می‌آورد (اصفهانی، ۱۳۹۴؛ رجبی و همکاران، ۱۳۹۵). به‌طور کلی مزایای سیستم اسکادا عبارتند از (Dave et al., 2013; Gligor and Turc, 2012; Loganathan et al., 2014):

- امکان مانیتور و کنترل کردن پروسه‌های دور دست و کاهش هزینه‌های مربوط به بازدیدهای دوره‌ای؛
  - امکان تنظیم کنترلرها، باز و بسته کردن شیرها، کلیدها و کلیه تجهیزات ابزار دقیق از راه دور؛
  - کاهش خطاهای اپراتور به‌جهت کیفیت و دقت بالای اطلاعات؛
  - نمایش اجزای تشکیل‌دهنده پروسه به‌همراه جزئیات آن به‌صورت لحظه‌ای مانند سطح مایعات، فشار و دمای مجاز در یک مخزن؛
  - اعلام خطا یا آلارم؛
  - محاسبه ساعت کارکرد تجهیزات؛
  - تهیه گزارش‌های مدیریتی.
- اهداف کلی استقرار سیستم اسکادا در تأسیسات آب و فاضلاب عبارتند از:
- مدیریت تولید، انتقال و ذخیره‌سازی آب؛
  - مدیریت مصرف؛
  - مدیریت فشار شبکه؛
  - مدیریت انرژی؛
  - مدیریت کیفیت آب؛
  - حفاظت فیزیکی تأسیسات.

با توجه به توضیحات ارائه شده، با نصب و راه‌اندازی سیستم تله‌متری و کنترل از راه دور می‌توان کل شبکه آب‌رسانی را هم‌زمان و با تعداد محدودی اپراتور تحت کنترل قرار داد و تصمیمات صحیح را با سرعت بالا اتخاذ کرد. ورود سیستم‌های اتوماسیون تله‌متری و کنترل از راه دور در صنعت آب و فاضلاب که از آن جمله می‌توان به سیستم هوشمند اسکادا اشاره نمود، باعث می‌شود تا کنترل ایستگاه‌های پمپاژ، چاه‌ها، مخازن و

امروزه بحران آب به یک موضوع مهم بین‌المللی تبدیل شده و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود یک ضرورت جدی تلقی می‌شود (جهانگیری‌خواه و همکاران، ۱۴۰۰). عمده آب مورد استفاده در کشور از چاه‌های آب استحصال می‌شود و الکتروپمپ‌ها به عنوان بخشی مهم از این چرخه استحصال، نقش اساسی در تولید، پمپاژ و انتقال آب از مخزنی به مخزن دیگر بر عهده دارند. از همین‌رو حفاظت الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و الکتروپمپ‌های شناور در صنعت آب و فاضلاب بسیار حائز اهمیت بوده و همواره تلاش شده است تا در جهت کاهش هزینه‌های استحصال آب شرب، از خسارات ناشی از خرابی الکتروپمپ‌ها پیشگیری شود.

حفاظت الکتروپمپ‌های سطحی و شناور صنعت آب و فاضلاب در برابر اضافه جریان یکی از مهم‌ترین موضوعات و چالش‌های این صنعت است. در شیوه مرسوم (سنتی)، برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی الکتروپمپ‌ها در برابر اضافه جریان و سایر خطاها تنها از انواع رله‌های بی‌متال، کنترل بار یا رله‌های کنترل جریان استفاده می‌شود. اما عدم عملکرد صحیح این رله‌ها در موارد متعدد باعث عدم حفاظت مطمئن و به موقع الکتروپمپ در برابر اضافه جریان و سایر خطاها شده و درنهایت سوختگی الکتروپمپ را به‌دنبال خواهد داشت.

از دیگر سو، با توجه به ماهیت شبکه آب‌رسانی و فاصله منابع تولید به‌ویژه چاه‌ها، مخازن و ایستگاه‌های پمپاژ از یکدیگر، کنترل شبکه آب‌رسانی مستلزم وجود تعداد زیادی اپراتور، هزینه‌های بالای بهره‌برداری، نگهداری، رفت و آمد، قبول خطاهای ناشی از عملکرد اشتباه و یا تأخیرات آن‌ها است. از این‌رو، استفاده از سیستم‌های تله‌متری و کنترل از راه دور چون اسکادا در تأسیسات تأمین، انتقال و توزیع آب، به بهره‌برداری بهینه از منابع آب کمک مؤثری می‌نماید.

اسکادا در یک سیستم، سبب جمع‌آوری اطلاعات و کنترل سیستم از راه دور شده و امکان ارسال دستورالعمل‌های کنترلی به سیستم را برای کاربر فراهم می‌کند. هسته اصلی این سیستم‌ها بسته‌های نرم‌افزاری حرفه‌ای هستند که بر روی سخت‌افزارهای استاندارد و مشخصی از قبیل PLC و RTU نصب می‌شوند (نخعی و همکاران، ۱۳۹۵). تکنولوژی اسکادا به بهترین شکل برای فرآیندهایی که در نواحی بزرگ پخش شده‌اند و نیاز به مداخله تکراری و منظم و یا سریع دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه صنایع بزرگی مانند شبکه‌های انتقال و توزیع برق، انتقال نفت و گاز، پتروشیمی، آب و آبیاری دارای تأسیساتی توزیع شده، بزرگ،



آب و فاضلاب در بخش ۳ آورده شده است. در بخش ۴ حفاظت جامع پیشنهادی مبتنی بر اسکادا بیان می‌شود. بررسی نتایج پیاده‌سازی عملی و نتیجه‌گیری نیز به ترتیب در بخش‌های ۵ و ۶ ارائه می‌شود.

## ۲- اجزا و ساختار اسکادا

### ۲-۱- اجزای اسکادا

یک سیستم اسکادا همانند شکل ۱ شامل ۵ بخش کلی:

(۱) MTU<sup>۱</sup>؛

(۲) RTU<sup>۲</sup> یا PLC<sup>۳</sup>؛

(۳) شبکه‌های HMI؛

(۴) مخابرات و

(۵) نرم‌افزار.

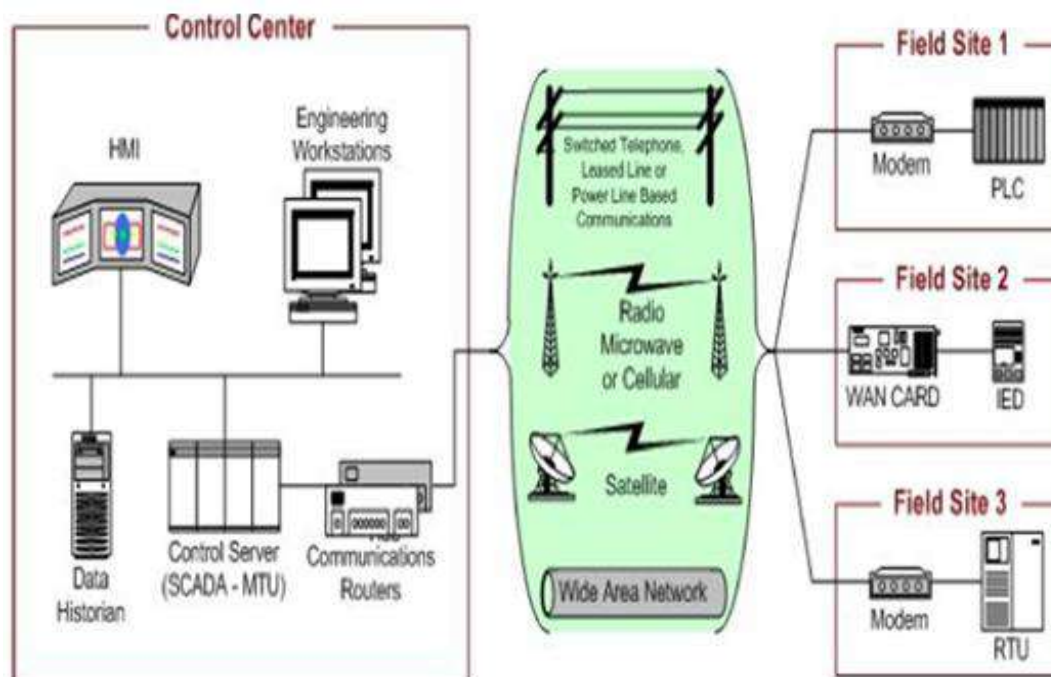
### ۲-۲- ساختار اسکادا

اصولاً یک سیستم اسکادا در صنعت می‌تواند به سه صورت زیر ایجاد شود (بابایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ذاکر و همکاران ۱۳۹۱):

- سیستم متمرکز (یکپارچه)؛
- سیستم غیرمتمرکز (توزیع شده)؛
- سیستم شبکه‌ای.

در ادامه به توضیح هر یک از این سیستم‌ها پرداخته می‌شود.

شبکه‌های انتقال و توزیع در زمینه‌های مختلفی تحت کنترل قرار گرفته و علاوه بر این که بسیاری از هزینه‌ها را کاهش می‌دهد، باعث صرفه‌جویی در مصرف آب شود (امینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ جمشیدی، ۱۳۹۹؛ کاظمی‌نژاد، ۱۳۹۰؛ Adrian-Lucian, 2017). از همین‌رو در این مقاله به منظور حفاظت الکتروپمپ‌های سطحی و شناور صنعت آب و فاضلاب در برابر اضافه جریان یک‌روش جدید حفاظتی مبتنی بر اسکادا پیشنهاد شده است. این برنامه به‌نوعی حفاظت مکمل برای روش‌های حفاظت مرسوم الکتروپمپ‌ها بوده و در صورت عملکرد ناصحیح دستگاه‌های حفاظتی به‌روش مرسوم، به‌کمک آمده و از هرگونه تداوم شرایط غیرایمن و ایجاد آسیب‌دیدگی و خسارت احتمالی پیشگیری می‌نماید. روش پیشنهادی علاوه بر حفاظت الکتروپمپ در برابر اضافه جریان، حفاظت در برابر خطاهای دیگری مانند خطای ایجاد عدم تعادل در ولتاژ ورودی و خطای خارج شدن الکتروپمپ از حالت کار طبیعی را به‌عمل می‌آورد. طبق بررسی‌های انجام گرفته برنامه حفاظتی پیشنهادی برای اولین بار در صنعت آب و فاضلاب کشور پیشنهاد و در آب و فاضلاب شهرکرد مورد پیاده‌سازی عملی قرار گرفته است. برنامه پیشنهادی می‌تواند کمک بسیار قابل‌توجهی در جهت جلوگیری از خارج شدن الکتروپمپ‌ها از چرخه استحصال آب شرب نموده و از مشکلات اجتماعی قطع آب مشترکین و نارضایتی‌های حاصل از آن نیز پیشگیری نماید. پیکربندی این مقاله بدین صورت است که در بخش ۲ اجزای و ساختار اسکادا از نظر خواهد گذشت. اصول الکتروپمپ‌های صنعت

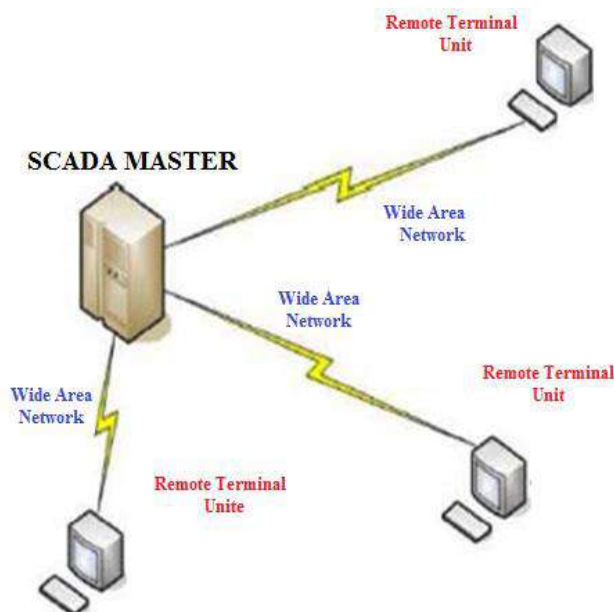


شکل ۱- اجزای یک سیستم اسکادا

## ۲-۲-۱- سیستم متمرکز (یکپارچه)

این سیستم متمرکز است و همه اطلاعات تجهیزات به یک مرکز مخابره می‌شود، بنابراین علاوه بر نیاز به ظرفیت بالای تجهیزات مرکزی سبب می‌شود که در صورت از دست رفتن کامپیوترهای آن، اطلاعات کل سیستم از دست برود. شکل ۲ یک نوع سیستم متمرکز را نشان می‌دهد.

سیستم‌های متمرکز برای شبکه‌های کوچک مناسب هستند و دارای مزایایی بوده که از جمله آن‌ها می‌توان به بهره‌برداری بهتر از سایت کامپیوتری، تعمیرات و نگهداری راحت‌تر و تهیه آسان پشتیبان از بانک‌های اطلاعاتی آن اشاره نمود. اما از آن جایی که

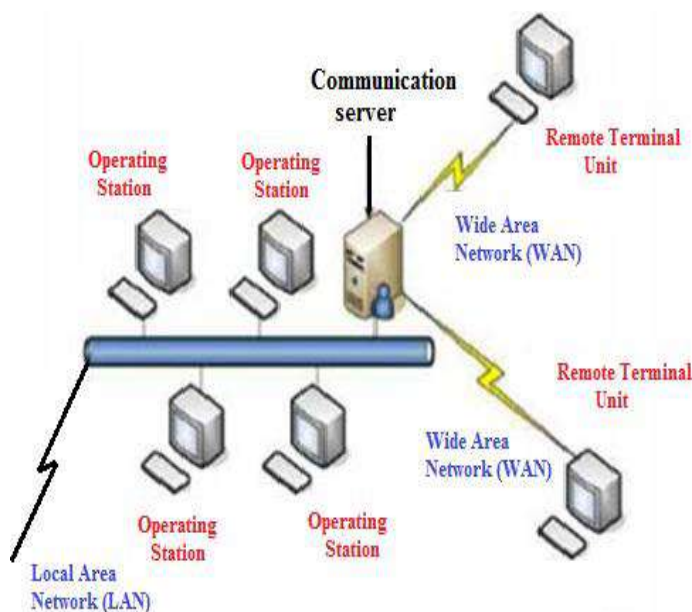


شکل ۲- سیستم متمرکز در اسکادا

## ۲-۲-۲- سیستم غیرمتمرکز (توزیع شده)

بزرگ، نیازهای کم مخابراتی و کم شدن میزان از دست رفتن اطلاعات اشاره کرد. یکی از معایب این نوع ساختارها استفاده از بانک اطلاعاتی چندگانه است که نیاز به مدیریت سیستم پایگاه داده دارند. شکل ۳ یک سیستم غیرمتمرکز را نشان می‌دهد.

سیستم غیرمتمرکز سیستمی است که کامپیوترهای جمع‌آوری اطلاعات آن در یک سطح جغرافیایی پخش شده‌اند. این نوع ساختار دارای مزایایی است که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از کامپیوترهای با ظرفیت کمتر برای تشکیل یک سیستم

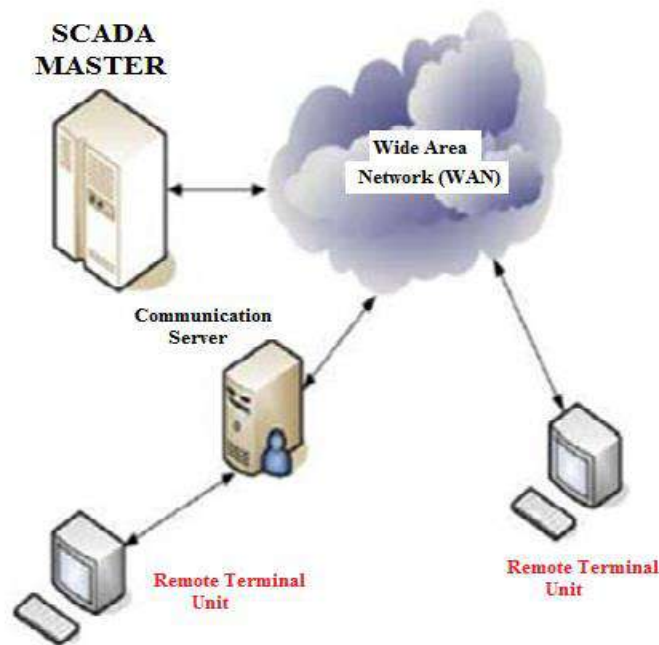


شکل ۳- سیستم غیرمتمرکز در اسکادا

### ۳-۲-۲- سیستم شبکه‌ای

نسل فعلی معماری اسکادا مبتنی بر ایستگاه اصلی محور است که از نزدیک به ساختار توزیع شده متصل شده است. با این تفاوت که از معماری سیستم باز Open System Architecture به جای

یک کنترل اختصاصی Vendor Controlled استفاده می‌کند. شکل ۴ شمای کلی این ساختار را نمایش می‌دهد. در این مقاله از سیستم شبکه‌ای در اسکادا برای حفاظت الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور صنعت آب و فاضلاب استفاده شده است.



شکل ۴- سیستم شبکه‌ای در اسکادا

### ۳- الکتروپمپ‌های صنعت آب و فاضلاب

همان‌گونه که اشاره شد الکتروپمپ‌ها که به‌نوعی سیستم‌های قدرت در صنعت آب و فاضلاب به‌شمار می‌روند، نقش عمده و اساسی در استحصال، پمپاژ و انتقال آب از مخزنی به مخزن دیگر

برعهده دارند. لذا سیستم اسکادا در این صنعت نیز فعالیت‌های زیادی را درجهت تحت کنترل قرار دادن این الکتروپمپ‌ها به‌کار گرفته است. شکل ۵ یک نمونه از الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور مورد استفاده در صنعت آب و فاضلاب را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمونه‌ای از الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور مورد استفاده در صنعت آب و فاضلاب

همچنین  $P_{BHP}$  از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$P_{BHP} = \frac{9.81 \times S.G \times Capacity \times Total\ head}{Pump\ Efficiency} \quad (2)$$

که  $S.G$ : وزن مخصوص سیال پمپ شونده،  $Capacity$ : دبی پمپاژ بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $Total\ head$ : ارتفاع پمپاژ بر حسب متر و  $Pump\ efficiency$ : بازده پمپ هستند.

اکثر شرکت‌های سازنده الکتروپمپ برای محصولات خود جداول و نمودارهای مخصوصی ارائه می‌نمایند که این موضوع باعث شده تا انتخاب الکتروپمپ مناسب، به سهولت و سادگی انجام شود. جدول ۱ نمونه جدول انتخاب الکتروپمپ موردنظر در این مقاله که یک الکتروپمپ شناور با قدرت ۵۵ کیلووات است را نمایش می‌دهد.

در انواع کاربرد الکتروپمپ‌ها، حداقل توان مورد نیاز وابسته به عوامل مختلفی است. روش استاندارد محاسبه توان الکتروپمپ براساس عوامل مختلف به‌صورت زیر است:

$$P_N = P_{BHP} \times \frac{F_S \times F_A \times F_T}{\eta T} \quad (1)$$

که  $P_N$ : حداقل توان مورد نیاز الکتروموتور بر حسب کیلووات؛  $P_{BHP}$ : توان جذبی پمپ برای شرایط کاری بر حسب کیلووات؛  $F_S$ : ضریب ایمنی در توان جذبی؛  $F_A$ : فاکتور تأثیر ارتفاع از سطح دریا،  $F_T$ : فاکتور تأثیر دمای محیط و  $\eta T$ : بازده کوپلینگ یا گیربکس هستند.

برای شرایط خاص عوامل دیگری مانند رطوبت هوا، گرد و غبار و عملکرد غیردائم الکتروموتور ممکن است تأثیرگذار باشد.

جدول ۱- جدول انتخاب الکتروپمپ

| فطر نامی سوپاپ | طول کلی  | ارتفاع | وزن     | قطر لوله | قطر دهانه | ارتفاع | توان نامی |         | تعداد طبقات | موتور + پمپ        |
|----------------|----------|--------|---------|----------|-----------|--------|-----------|---------|-------------|--------------------|
|                | میلی‌متر | متر    | کیلوگرم | اینچ     | اینچ      | اینچ   | اسب بخار  | کیلووات |             |                    |
| رزوهای ۵ اینچ  | ۱۷۵۰     | ۵۵     | ۱۴۸     | ۵        | ۱۰        | ۳۲     | ۲۰        | ۱۵      | ۲           | ۷ A ۱۵۳/۲ + ۳۸۴/۲  |
|                | ۱۹۶۰     | ۷۰     | ۱۷۳     | ۵        | ۱۰        | ۴۰     | ۲۵        | ۱۸/۵    | ۳           | ۷ A ۱۸۳/۲ + ۳۸۴/۳  |
|                | ۲۲۲۶     | ۸۲     | ۲۲۹     | ۵        | ۱۲        | ۵۱     | ۳۳        | ۲۴/۵    | ۳           | ۷ A ۲۴۳/۲ + ۳۸۴/۳  |
|                | ۲۲۷۶     | ۱۰۱    | ۲۷۹     | ۵        | ۱۲        | ۶۵     | ۴۱        | ۳۰      | ۴           | ۹ A ۳۰۳/۲ + ۳۸۴/۴  |
|                | ۲۲۷۶     | ۱۱۰    | ۲۸۳     | ۵        | ۱۲        | ۶۵     | ۴۱        | ۳۰      | ۴           | ۹ A ۳۷۳/۲ + ۳۸۴/۴  |
|                | ۲۵۰۶     | ۱۳۷    | ۳۱۶     | ۵        | ۱۲        | ۸۰     | ۵۰        | ۳۷      | ۵           | ۹ A ۳۷۳/۲ + ۳۸۴/۵  |
|                | ۲۷۳۷     | ۱۶۵    | ۳۵۰     | ۵        | ۱۲        | ۹۶     | ۶۲        | ۴۵/۵    | ۶           | ۹ A ۴۵۳/۲ + ۳۸۴/۶  |
|                | ۲۹۳۶     | ۱۹۲    | ۳۸۰     | ۵        | ۱۲        | ۱۱۵    | ۷۵        | ۵۵      | ۷           | ۹ A ۵۵۳/۲ + ۳۸۴/۷  |
|                | ۳۱۴۶     | ۲۲۰    | ۴۱۱     | ۵        | ۱۲        | ۱۳۲    | ۸۵        | ۶۲/۵    | ۸           | ۹ A ۶۲۳/۲ + ۳۸۴/۸  |
|                | ۳۴۱۶     | ۲۴۷    | ۴۴۶     | ۵        | ۱۲        | ۱۵۵    | ۱۰۰       | ۷۳/۵    | ۹           | ۹ A ۷۳۳/۲ + ۳۸۴/۹  |
|                | ۳۵۴۶     | ۲۷۴    | ۴۵۷     | ۵        | ۱۲        | ۱۵۵    | ۱۰۰       | ۷۳/۵    | ۱۰          | ۹ A ۷۳۳/۲ + ۳۸۴/۱۰ |

مرسوم در برابر آن خطاها تشریح می‌شود.

### ۳-۱- بررسی علل آسیب دیدگی الکتروپمپ‌ها

متداول‌ترین علل آسیب دیدگی الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور در صنعت آب و فاضلاب که بیشترین خسارات را به‌بار می‌آورند به سه دسته خطای کلی تقسیم می‌شوند:

- خطای ایجاد عدم تعادل در ولتاژ ورودی ( $PCF^F$ )؛
- خطای خروج الکتروپمپ از حالت کار طبیعی ( $GF^B$ )؛
- خطای اضافه جریان ( $OCF^F$ ).

در ادامه عوامل ایجاد هر خطا و سپس نحوه حفاظت به‌روش

### ۳-۱-۱- خطای ایجاد عدم تعادل در ولتاژ ورودی

این خطا در مواردی رخ می‌دهد که به‌هر عنوان میزان ولتاژ ورودی در حالت سه‌فاز از اندازه نرمال خود خارج شده و یک افزایش و یا کاهش ولتاژ را سبب شود. این امر می‌تواند به‌علت نوسانات ایجاد شده در شبکه توزیع برق و یا وارد و خارج شدن یک مصرف‌کننده بزرگ در سیستم توزیع باشد. همچنین در

جریان و تجاوز از محدوده مشخص شده سیستم اسکادا اقدام به خاموش کردن الکتروپمپ نماید.

#### ۴- حفاظت جامع پیشنهادی مبتنی بر اسکادا

سیستم تله‌متری و کنترل از راه دور توسط اسکادا، یکی از به‌روزترین و کامل‌ترین سیستم‌های موجود برای کنترل و مانیتورینگ در صنعت آب و فاضلاب است. لذا احساس نیاز و لزوم استفاده از آن برای به‌دست آوردن راندمان بالاتر و خدمات‌رسانی با کیفیت‌تر باعث شده تا اکثر شرکت‌های آب و فاضلاب کشور به‌سمت به‌کارگیری سیستم مذکور در تأسیسات خود سوق داده شوند. روش حفاظت پیشنهادی در این مقاله برای حفاظت الکتروپمپ‌های شناور و سطحی از طریق سیستم اسکادا (که تنها بخشی از قابلیت‌های بالای این سیستم است)، نوعی حفاظت مکمل برای روش‌های حفاظتی مرسوم است. بدین صورت که در صورت عدم عملکرد صحیح هر یک از دستگاه‌های حفاظتی چون رله کنترل فاز، رله کنترل بار یا رله بی‌متال اقدام به توقف کار دستگاه در کمترین زمان ممکن می‌نماید.

به‌منظور بررسی عملکرد صحیح روش، روش پیشنهادی به‌طور عملی بر روی دو حلقه چاه شماره ۳۷ و ۳۸ شهرستان شهرکرد که در سال‌های اخیر احداث و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند پیاده‌سازی شده است. این چاه‌ها هرکدام با یک دستگاه الکتروپمپ شناور با توان ۵۵ کیلووات راه‌اندازی و بهره‌برداری شده‌اند. همچنین این دو حلقه چاه از طریق سیستم اسکادا به شبکه دیگر چاه‌ها و مخازن پیوسته و از طریق مانیتورینگ اتاق کنترل توسط اپراتور راهبری می‌شوند. شکل ۶ شمای کلی سیستم تله‌متری چاه‌ها، مخازن و ایستگاه‌های پمپاژ شهرکرد و چاه‌های شماره ۳۷ و ۳۸ را نشان می‌دهد. شکل ۷ نیز نمای بیرونی چاه‌های شماره ۳۷ و ۳۸ شهرکرد را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که روند تأمین هزینه‌های خرید انواع سخت‌افزارهای اصلی شامل RTU، UPS<sup>۷</sup> و تابلوهای مربوط به هر کدام، Power Meter و دیگر لوازم با همکاری معاونت بهره‌برداری آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است. شکل ۸ تابلوهای مورد نیاز نصب شده و RTU و متعلقات آن در چاه‌های ۳۷ و ۳۸ شهرکرد را به تصویر می‌کشد.

روش حفاظت جامع پیشنهادی در این مقاله بدین صورت است که در صورت به‌وجود آمدن عدم تعادل در ولتاژ ورودی، سیستم اسکادا که در حال قرائت مقادیر ولتاژ ورودی است، خطای ایجاد عدم تعادل ولتاژ را تشخیص داده و با ثبت خطای کنترل

مواردی قطع یک، دو و یا سه‌فاز از ورودی به‌علت قطع فیدر و یا خارج شدن فیوز cut out مربوط به هر فاز به‌علت هرگونه اتصال کوتاه اتفاق می‌افتد. فیوز cut out یکی از وسایلی است که در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی برای جداکردن سریع بخش‌هایی که دچار خطا شده‌اند از سایر بخش‌های سیستم استفاده می‌شود. ترانسفورماتورهای توزیع غالباً از طریق این فیوز به خطوط اولیه متصل می‌شوند. دستگاهی که چنین خطاهایی را تشخیص داده و در برابر آن‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهد کنترل فاز نام دارد.

#### ۳-۱-۲- خطای خروج الکتروپمپ از حالت کار طبیعی

معمولاً روش راه‌اندازی الکتروپمپ‌ها در صنعت به‌روش ستاره-مثلث است. در این روش با عملیات استارت، الکتروپمپ به‌حالت ستاره راه‌اندازی شده و پس از رسیدن به دور مورد نظر به‌حالت مثلث تغییر وضعیت می‌دهد. در واقع حالت مثلث وضعیت کار دائمی و طبیعی الکتروپمپ است. در حالت ایجاد خطای GF، الکتروپمپ به‌نوعی از حالت کار دائم که همان وضعیت مثلث است خارج شده که این امر موجب آسیب دیدگی الکتروموتور می‌شود. یکی از علت‌های این رخداد قطع شدن کنتاکتور حالت مثلث در حین کار است. این مسئله معمولاً به‌علت خرابی بوبین کنتاکتور یا ایجاد مشکلی در مدار فرمان اتفاق می‌افتد.

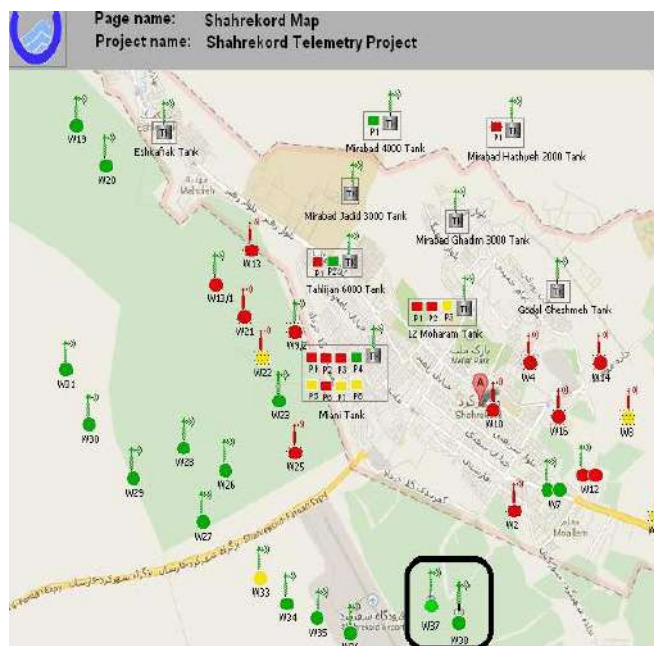
#### ۳-۱-۳- خطای اضافه جریان

معمولاً ایجاد اضافه جریان در الکتروپمپ می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. اما عمده‌ترین و شاخص‌ترین علت در الکتروپمپ‌های گریز از مرکز، بالارفتن اصطکاک در یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌های دو سرالکتروموتور یا پمپ که در اثر عدم روان‌کاری به موقع یا مستهلک شدن آن‌ها به‌وجود می‌آید. همچنین در الکتروپمپ‌های شناور خرابی کف‌گرد انتهای پمپ شناور، باعث بالارفتن جریان کاری شده و این امر باعث ایجاد صدمه به سیم پیچ الکتروموتور می‌شود. تجهیز حفاظتی مرسوم برای پایش اضافه جریان در تابلوهای راه‌انداز، "رله بی‌متال" است. رله بی‌متال که یک عنصر مکانیکی-الکترونیکی است، با گذشت زمان حساسیت خود را از دست داده و ممکن است به‌درستی عمل نکند. با توجه به این‌که بی‌متال‌ها براساس تغییرات دما کار می‌کنند، تغییر دمای محیط می‌تواند روی عملکرد دقیق آن‌ها تأثیر داشته باشد و عملکرد آن‌را با خطا مواجه کند. به‌همین علت در برنامه اسکادا و نگارش طرح حفاظتی در IsaGraf از یک بازه جریان برای فازهای R، S و T استفاده شده تا در زمان ایجاد اضافه



شده و چراغ سیگنال Run که به رنگ سبز بود خاموش می‌شود. در این وضعیت اپراتور بلافاصله متوجه رخداد مربوطه می‌شود.

فاز در برنامه نوشته شده، اقدام به خارج کردن الکتروپمپ از مدار می‌نماید. سپس در کادر مربوط به Pump-Status حالت On به Off تبدیل شده و در چراغ سیگنال CP Fault با رنگ قرمز روشن



شکل ۶- شمای کلی تله‌متری شهرکرد و محل قرارگیری چاه‌های شماره ۳۷ و ۳۸



شکل ۷- نمای بیرونی چاه‌های شماره ۳۷ و ۳۸ شهر شهرکرد



(الف)



(ب)

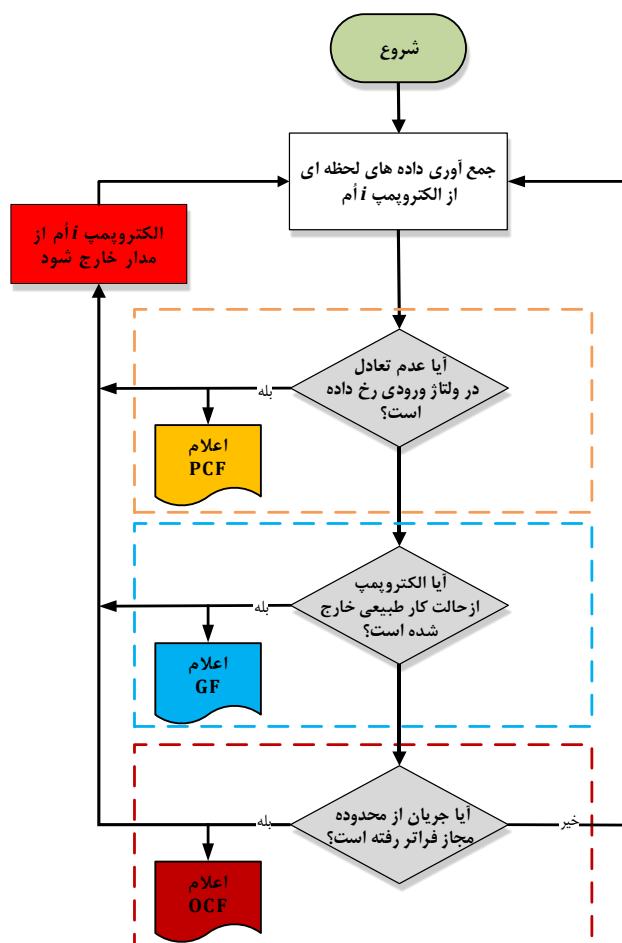


(ج)

شکل ۸- الف) تابلوهای نصب شده؛ ب) RTU و متعلقات نصب شده؛ و ج) RTU نصب شده در چاه‌های ۳۷ و ۳۸ شهرکرد

محدوده جریان مصرفی در هر فاز اندازه‌گیری شده و این مقادیر به مقایسه‌گرهایی که در برنامه IsaGraf وجود دارد داده می‌شود. با بالا رفتن مقادیر جریان از محدوده تعریف شده، سیستم عمل کرده و الکتروپمپ را بدون وقفه از مدار خارج خواهد کرد. روندنمای روش حفاظت پیشنهادی در این مقاله در برابر خطاهای مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است.

در صورت خطای خروج الکتروپمپ از حالت کار طبیعی، روش پیشنهادی از یک کنتاکت Normal Open در کنتاکتور مثلث که در زمان کار دائم به حالت بسته تبدیل می‌شود استفاده می‌شود. به این شکل که در حالت کار الکتروپمپ کنتاکت موردنظر باز شده و الکتروپمپ را از مدار خارج می‌نماید. همچنین این خطا را نمایش داده و اپراتور را از اتفاق بوجود آمده مطلع می‌سازد. در صورت رخداد خطای اضافه جریان، در برنامه اسکادا



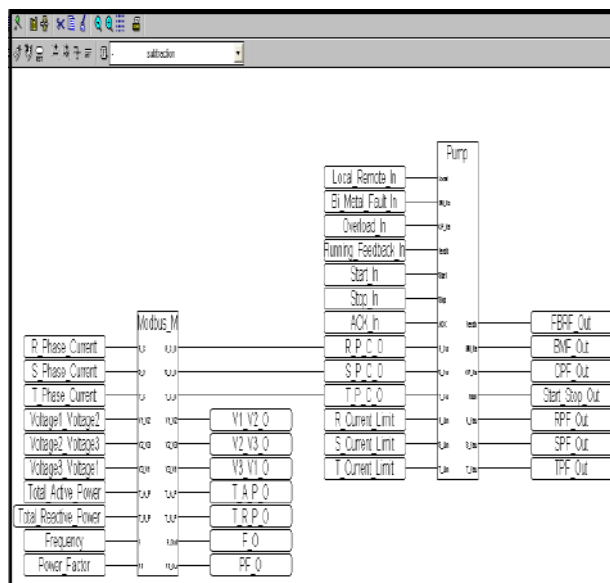
شکل ۹- روندنمای روش حفاظت پیشنهادی مبتنی بر اسکادا

مغایرت با آن چه که تعیین شده خطای موردنظر را مشخص کند.

در ادامه بخش‌های برنامه‌نویسی روش پیشنهادی در محیط اسکادا تشریح می‌شود.

#### ۴-۱- بخش‌های برنامه

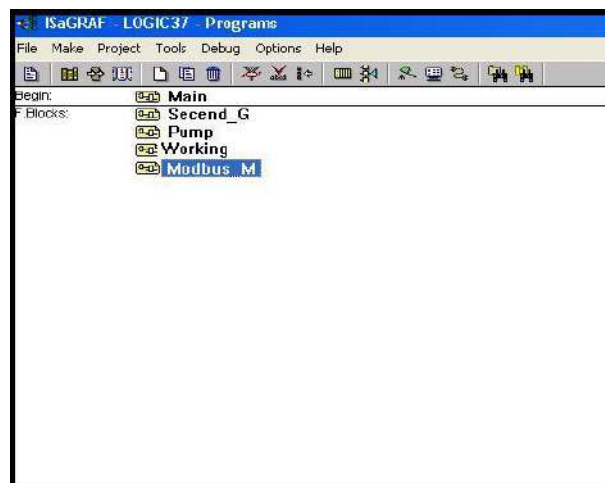
برنامه‌نویسی در IsaGraf بر مبنای گرافیک و از طریق FBD انجام می‌شود. برنامه از دو بخش کلی تشکیل می‌شود. بخش اول در واقع بخش اصلی (Main) برنامه را دربر می‌گیرد و بخش دوم برنامه (Function Block) است. بخش دوم نیز شامل چهار زیرمجموعه: Pump, Second G, Working و Modbus است. در هر بخش از برنامه نیازهای سیستم براساس برنامه حفاظتی و مواردی که باید تحت کنترل و پایش قرارگیرند مورد بررسی قرار می‌گیرد تا به‌ازای هر تحلیل و با استفاده از بلوک‌هایی که در کتابخانه IsaGraf موجود هستند چیدمان برنامه دلخواه به نگارش در آورده شود. شکل ۱۰ ایجاد Logic برنامه حفاظت برای یک الکتروپمپ را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۱- برنامه در بخش Main از نرم‌افزار IsaGraf

#### ۴-۱-۲- بخش Function Block

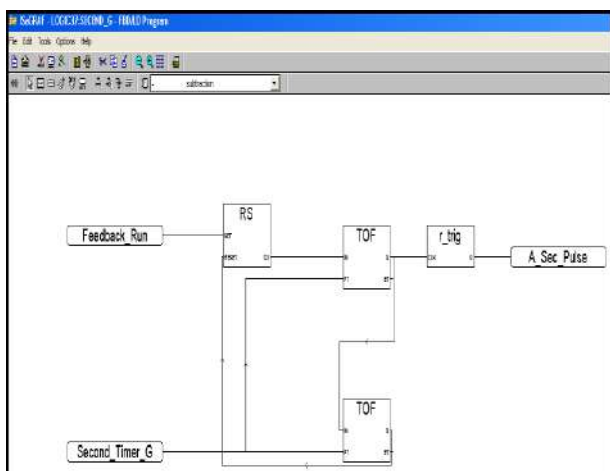
مطابق شکل ۱۲ با ورود الکتروپمپ به حالت Feedback-Run که همان حالت کار دائم است نیاز به آغاز شمارش و ثبت زمان براساس ثانیه است. به‌همین منظور از یک بلوک Second Generator و دو بلوک TOF که زمان‌ها را به‌ازای هر روز و هر ۲۴ ساعت On یا Off می‌کند و یک بلوک حساس به لبه بالارونده که پس از راه‌اندازی الکتروپمپ عمل می‌کند و فرمان شروع ثبت را صادر می‌نماید استفاده شده است. بلوک RS که به‌عنوان یک Reset و Set کننده ایفای نقش می‌کند، در حالت کار الکتروپمپ شمارنده ثانیه و TOF را به مدار وارد و عمل Set را انجام و در حالت خاموش‌شدن الکتروپمپ عمل Reset و خارج کردن را برعهده دارد.



شکل ۱۰- ایجاد Logic برنامه حفاظت یک الکتروپمپ

#### ۴-۱-۱- بخش Main

بخش اصلی برنامه حاوی سه خط برنامه‌نویسی است که در خط اول آن دو بلوک اصلی Modbus Mapping و Pump ایجاد شده است. در بلوک Modbus Mapping دستگاه Power Meter تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده را روی یک‌سری رجیستر کد به‌عنوان خروجی تحویل می‌دهد. بلوک Modbus Mapping فازهای R, S و T هم‌چنین مقادیر ولتاژ بین آن‌ها، توان‌های اکتیو و راکتیو، فرکانس و ضریب قدرت را که توسط دستگاه Power Meter قرائت می‌شود از طریق RTU و پروتکل Modbus جمع‌آوری می‌نماید. مطابق شکل ۱۱ گروهی از این مقادیر که نیاز به مقایسه و آنالیز برنامه دارند به بلوک Pump منتقل می‌شوند تا با مقادیر تعریف شده برای Pump مقایسه شده و در صورت ایجاد

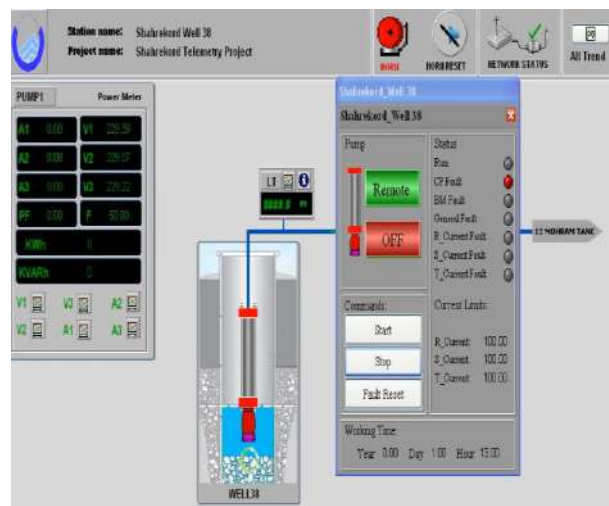


شکل ۱۲- بخش Second G در نرم‌افزار IsaGraf

## ۵- نتایج پیاده‌سازی عملی روش پیشنهادی

## ۵-۱- بررسی خطای ایجاد عدم تعادل در ولتاژ ورودی

برای بررسی این خطا و همچنین صحت عملکرد برنامه باید یک نوع عدم تعادل در ولتاژ ورودی ایجاد نمود. به همین علت در هنگام کار دائم، الکتروپمپ اقدام به قطع کردن یکی از فیوزهای سه‌فاز ورودی به دستگاه کنترل فاز در تابلو مدار فرمان نموده و در واقع یک عدم تعادل واقعی برای کنترل فاز ایجاد می‌شود. در این‌صورت با خواندن مقادیر ولتاژ از طریق برنامه نگارش شده و سنجش میزان ولتاژ ورودی با دریافت سیگنال‌های ارسالی توسط RTU به سیستم اسکادای مرکزی، عمل حفاظت در برابر عدم تعادل ولتاژ به‌صورت مستقل از دستگاه کنترل فاز انجام می‌گیرد. برنامه پیشنهادی در این‌خصوص طبق برنامه‌ریزی انجام شده عمل می‌نماید و بلافاصله با رسیدن پیغام خطای کنترل فاز اقدام به خارج کردن الکتروپمپ از مدار نموده و در کادر مربوط به Pump-Status حالت On به Off تبدیل شده و در چراغ سیگنال Run که به‌رنگ Fault با رنگ قرمز روشن شده و چراغ سیگنال Run که به‌رنگ سبز بود خاموش می‌شود. در کادر Pump-Power Meter نیز مقادیر جریان مصرفی به صفر تغییر مقدار می‌دهند. شکل ۱۳ حالت حفاظت در برابر خطای ایجاد عدم تعادل ولتاژ را نمایش می‌دهد.

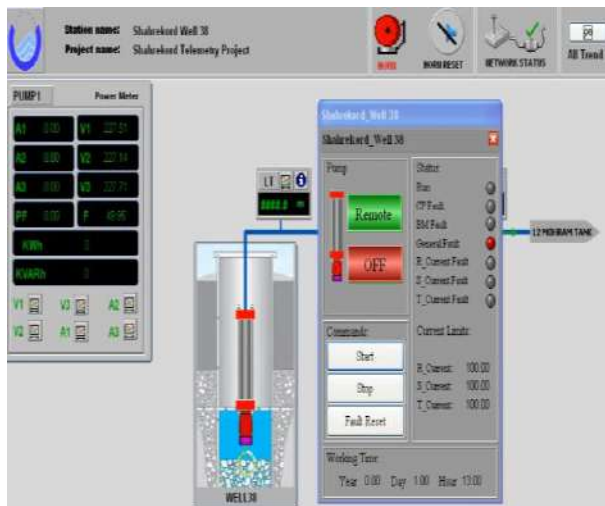


شکل ۱۳- حفاظت در برابر ایجاد خطای عدم تعادل ولتاژ ورودی

## ۵-۲- بررسی خطای خارج شدن الکتروپمپ از حالت کار نرمال

خطای خارج شدن از حالت کار نرمال زمانی رخ خواهد داد که به هر نحوی کنتاکتور حالت اتصال مثلث در تابلو مدار فرمان الکتروپمپ از مدار خارج شود. برای ایجاد این خطا و مشاهده

نتایج، از یک کنتاکت Normal Open در کنتاکتور مثلث که در زمان کار دائم به‌حالت بسته تبدیل می‌شود استفاده می‌شود. به‌این‌شکل که در حالت کار الکتروپمپ کنتاکت موردنظر باز شده و در این حالت، برنامه مطابق انتظار عمل کرده و همانند شکل ۱۴ الکتروپمپ را از مدار خارج می‌نماید.



شکل ۱۴- حفاظت در برابر خطای خارج شدن از حالت کار نرمال

## ۵-۳- بررسی خطای اضافه جریان

برای ایجاد حالت حفاظت در برابر اضافه جریان براساس برنامه نوشته شده دو حالت برای آزمون عملکرد صحیح سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. حالت اول یک نوع شبیه‌سازی اضافه جریان تحت عنوان Simulation Mode و حالت دوم که حالت واقعی است تحت‌عنوان Reality Mode است در ادامه توضیح داده خواهد شد.

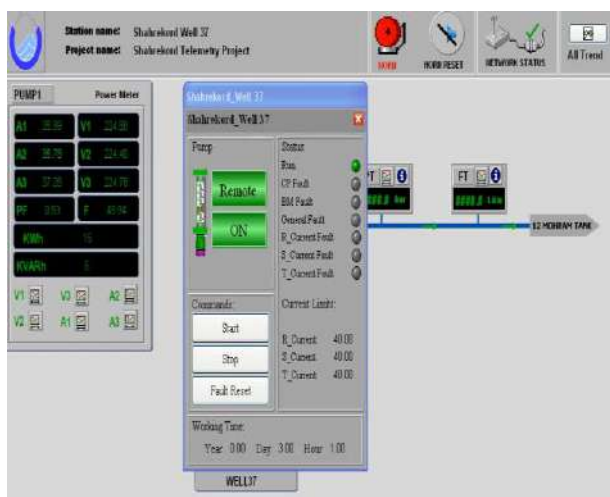
## ۵-۳-۱- Simulation Mode

در این روش با استفاده از امکانی که در برنامه‌نویسی برای معرفی محدوده جریان به‌وجود آمده است براساس جریان مصرفی الکتروپمپ، جریانی کوچکتر از میزان جریان مصرفی الکتروپمپ برای یکی از فازهای R، S و T تعیین می‌شود. با این کار و به‌محض این‌که مقدار جریان تعیین شده در برنامه ثبت شود، سیستم به‌علت این‌که جریان مصرفی از جریان معرفی شده بالاتر است، عمل حفاظت در برابر اضافه جریان را انجام داده و الکتروپمپ را خاموش می‌کند.

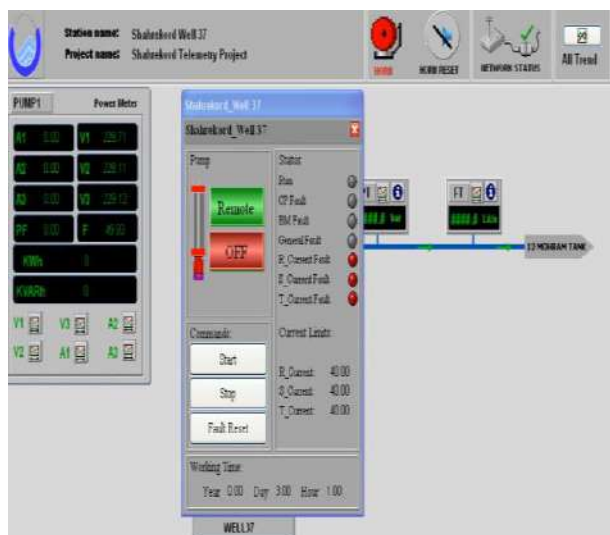
از آن‌جایی‌که جریان مصرفی طبق کادر Pump-Power Meter در بازه ۵۹ تا ۶۰ آمپر است تا زمانی‌که محدوده جریان تعیین شده در سیستم ثبت نشده باشد سیستم به‌کار خود ادامه خواهد داد. اما بلافاصله پس از ثبت جریان ۵۸ آمپر در برنامه،



بیشتر شده و در نتیجه جریان‌های مصرفی هم شروع به افزایش می‌کند. این عملیات تا جایی ادامه می‌یابد تا جریان‌های مصرفی به میزان تعیین شده برای فازهای R، S و T در کادر Status برسد. با رسیدن مقادیر به میزان جریان ۴۰ آمپر تعیین شده، سیستم عمل حفاظت در برابر اضافه جریان را انجام داده و از ادامه کار الکتروپمپ جلوگیری به عمل می‌آورد. در این وضعیت، الکتروپمپ از حالت On به Off تغییر حالت داده، جریان‌های مصرفی صفر شده و چراغ‌های سیگنال به رنگ قرمز مربوط به خطای ایجاد شده در کادر Status چاه که شامل R-Current Fault، S-Current Fault و T-Current Fault است روشن خواهد شد. شکل ۱۷ نحوه حفاظت و عملکرد سیستم در حالت Reality Mode را نشان می‌دهد.



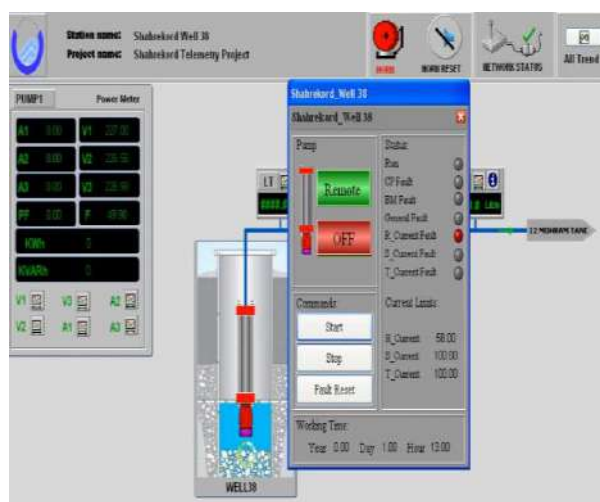
شکل ۱۶- تعریف محدوده جریان در Reality Mode



شکل ۱۷- عملکرد حفاظتی سیستم اسکادا در حالت Reality Mode

در پایان باید اشاره کرد که اگرچه برنامه حفاظت طراحی شده پیشنهادی از نظر عملکرد مشابه با رله‌های حفاظتی مرسوم عمل

حفاظت در برابر اضافه جریان صورت خواهد گرفت. به علت این که میزان جریان مصرفی بالاتر از میزان تعریف شده است سیستم، این روند را یک نوع اضافه جریان به حساب آورده و در برابر آن عکس‌العمل نشان می‌دهد. در کادر Pump چراغ سیگنال R-Current Fault به رنگ قرمز درآمده و الکتروپمپ از مدار خارج می‌شود. شکل ۱۵ چگونگی عملکرد سیستم حفاظت در برابر ایجاد خطای اضافه جریان در حالت Simulation Mode را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۵- خطای اضافه جریان در Simulation Mode

### ۵-۳-۲- Reality Mode

در حالت خطای واقعی اضافه جریان و بررسی صحت عملکرد الگوریتم پیشنهادی، باید روشی به کار برده شود تا بتوان از طریق آن یک نوع خطای واقعی ایجاد کرد و با تغییرات جریان، واکنش سیستم را نسبت به آن مشاهده کرد. به همین دلیل اقدام به تغییرات آب دهی الکتروپمپ از طریق ایجاد تغییرات در شیر خروجی الکتروپمپ شد. با کم کردن شیر خروجی و کم کردن دبی چاه، میزان جریان مصرفی را به زیر ۴۰ آمپر کاهش داده و در کادر مربوط به تعیین محدوده جریان‌ها، حداکثر جریان مصرفی در محدوده ۴۰ آمپر قرار داده شد. در این حالت الکتروپمپ با کاهش آب‌دهی میزان جریان مصرفی کمتری داشته و چون در محدوده کمتر از محدوده تعیین شده است هم‌چنان به کار خود ادامه خواهد داد. شکل ۱۶ میزان مصارف جریان الکتروپمپ در کادر Pump- Power Meter و محدوده جریان تعریف شده برای فازهای R، S و T در کادر Status را نمایش می‌دهد.

در ادامه و برای ایجاد یک اضافه جریان و بررسی عملکرد سیستم پیشنهادی، اقدام به بازکردن شیر خروجی الکتروپمپ نموده که به تدریج و با باز شدن هرچه بیشتر شیر میزان آب‌دهی



- راه‌اندازی از راه دور الکتروپمپ چاه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ به‌علت بُعد مسافت؛
  - کنترل سطح و حجم آب موجود در مخازن؛
  - سنجش میزان فلولی آب ورودی و خروجی به مخازن و شبکه توزیع آب؛
  - کنترل فشارهای شبکه در راستای پیشگیری از شکستگی‌های شبکه توزیع و هدررفت آب؛
  - باز و بسته نمودن والوهای اصلی شبکه از طریق عملگرها؛
  - سنجش میزان کلر باقی‌مانده در مخزن و شبکه توزیع.
- از همین‌روی با پیاده‌سازی سیستم‌های تله‌متری و کنترل از راه دور از طریق اسکادا، آیتم‌های فراوانی هم‌چون موارد ذکر شده و موارد دیگری مانند میزان دقیق ولتاژها و جریان‌ها، توان‌های اکتیو و راکتیو، فرکانس و ضریب توان الکتروپمپ‌ها مورد پایش لحظه‌ای قرار می‌گیرد. با این‌حال، اگرچه اجرای زیرساخت‌های اولیه برای راه‌اندازی سیستم اسکادا هزینه‌های بالایی را در بردارد، اما با کنترل تمامی فاکتورهای ذکر شده، کاهش هزینه‌های تردد، پیشگیری از ایجاد خسارات در تأسیسات استحصال و انتقال، ذخیره‌سازی و توزیع آب و هم‌چنین برنامه حفاظت تدوین شده که بخشی از قابلیت‌های این سیستم است، علاوه‌بر این‌که صرفه‌جویی‌های اقتصادی فراوانی ایجاد می‌شود، با گذشت زمان بازگشت سرمایه قابل‌توجهی نیز به‌دست خواهد آمد. در نتیجه سیستم تله‌متری و کنترل از راه دور، رضایت‌مندی مشترکین در آبرسانی بدون وقفه، کنترل کیفیت آب، پیشگیری از بالارفتن فشار در شبکه و جلوگیری از شکستگی‌ها و عدم قطع و هدررفت آب را نیز حاصل خواهد نمود. شایان ذکر است که گزارش‌های ارائه شده از سوی شرکت‌های آب و فاضلاب کشور که از این سیستم‌های تله‌متری در تأسیسات خود استفاده نموده‌اند بیانگر اثربخشی استفاده از اسکادا در مدیریت بحران و کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و افزایش میزان رضایت‌مندی مشترکین در این صنعت بوده است (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۳).
- مسئله قابل‌تأمل دیگر آن‌که با پیشرفت تکنولوژی و ساخت دستگاه‌های مدرن در راه‌اندازی انواع الکتروپمپ مانند سافت استارترها و درایوها، بسیاری از مشکلات درخصوص راه‌اندازی، حفاظت و پیشگیری از آسیب‌دیدگی و خسارات حل‌شده و می‌توان با بهره‌گیری از این دستگاه‌ها در بسیاری از هزینه‌ها صرفه‌جویی نمود. اما باتوجه به‌وجود تعداد بالای الکتروپمپ‌های شناور و گریز از مرکز در صنعت آب و فاضلاب، نصب چنین دستگاه‌هایی هزینه‌های زیادی را بر شرکت‌ها تحمیل می‌نماید. علاوه‌بر آن، راه‌اندازی با دستگاه‌های راه‌انداز نرم هم‌چون سافت

می‌نماید، اما در روش پیشنهادی شناسایی خطا از طریق عملکرد رله‌ها نبوده و برنامه نوشته شده در محیط IsaGraf نوع خطای رخ داده را تشخیص داده و عکس‌العمل مناسب را از خود نشان می‌دهد. با وجود یکسان بودن اساس عملکرد هر دو روش، مشکلات موجود در سخت‌افزارهای حفاظتی مرسوم هم‌چون کاهش حساسیت، پایان عمر مفید و یا خطاهای عملکرد باعث شده که سیستم حفاظتی مبتنی بر اسکادا برتری قابل‌توجهی نسبت به روش‌های حفاظتی مرسوم از خود به نمایش بگذارد.

نکته مهم دیگر آن‌که با وجود پیاده‌سازی برنامه حفاظتی از طریق اسکادا، دستگاه‌های حفاظتی و کنترل‌های محلی به‌روش مرسوم در محل تابلوهای ستاره، مثلث نصب بوده و به‌هیچ‌عنوان حفاظت محلی (حفاظت مرسوم) از مدار خارج نمی‌شود. در واقع همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد حفاظت از طریق اسکادا نقش یک مکمل حفاظتی را ایفا کرده و سایر دستگاه‌های حفاظتی اشاره شده چون کنترل فاز، کنترل بار و یا رله بی‌متال در تأسیسات موجود بوده و وظایف حفاظتی خود را انجام می‌دهند.

بهره‌مندی از سرعت بالا، دقت و حساسیت بیشتر و بالاتر بودن قابلیت اطمینان در حفاظت الکتروپمپ‌ها از مزایای ویژه روش حفاظت پیشنهادی مبتنی بر اسکادا نسبت به روش‌های مرسوم است.

#### ۵-۴- بررسی جنبه اقتصادی روش پیشنهادی

در گذشته و به‌علت گستردگی تأسیسات آب و فاضلاب و نبود سیستم‌های مدرن امروزی، فعالیت‌های شرکت‌های آب و فاضلاب که به‌نوعی آبرسانی به مردم است، با مشکلات فراوانی همراه بوده است. اما با اجرای این سیستم‌ها تقریباً بخش عمده‌ای از این مشکلات رفع شده است. به‌عنوان مثال برای پایش حجم آب موجود در مخزن برای پیشگیری از به کف رسیدن یا جلوگیری از سرریز، مخزن مربوطه باید ساعت به ساعت توسط نگهبان بررسی و نتایج گزارش می‌شد. چنان‌چه حجم آب مخزن کاهش یا افزایش می‌یافت، مسئول سرکشی و کنترل چاه‌ها باید به محل چاه که معمولاً کیلومترها از مخزن و منطقه شهری فاصله دارد اعزام و اقدام به روشن یا خاموش کردن چاه می‌نمود. از طرف دیگر بروز مشکلاتی هم‌چون بدی آب و هوا، بارش‌های سنگین برف و باران و قطع مکرر شبکه توزیع برق، گاهی باعث عدم امکان دسترسی به محل چاه و عدم راه‌اندازی آن و در نتیجه کمبود آب در مخزن می‌شد. در حقیقت نیازهای اساسی هم‌چون موارد زیر نیاز به تله‌متری و کنترل از راه دور تأسیسات آب و فاضلاب را بیش از پیش نمایان ساخته است:

از این خطاها به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته و علل ایجاد هر کدام از خطاها، نحوه پیشگیری از آن‌ها و نحوه حفاظت از طریق سیستم اسکادا مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج عملی به دست آمده از اجرای روش پیشنهادی در آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد که برنامه حفاظتی پیشنهادی می‌تواند کمک قابل توجهی در جهت جلوگیری از خارج شدن الکتروپمپ‌های صنعت آب و فاضلاب از چرخه استحصال آب شرب نموده و از مشکلات اجتماعی احتمالی ناشی از قطع آب مشترکین و نارضایتی‌های حاصل از آن نیز پیشگیری نماید. از دیگر نتایج سیستم حفاظت پیشنهادی مبتنی بر اسکادا کاهش رفت و آمدها، کاهش بازدیدهای دوره‌ای تجهیزات حفاظتی الکتروپمپ‌ها و تأسیسات، سرعت عیب‌یابی الکتروپمپ‌ها و در نتیجه سرعت عمل در بازگرداندن الکتروپمپ‌ها به مدار بهره‌برداری است.

#### ۷- سپاسگزاری

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولان شرکت آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری برای فراهم کردن زیرساخت لازم برای پیاده‌سازی عملی روش پیشنهادی خود را به عمل می‌آورند.

#### ۸- پی‌نوشت‌ها

- 1- Master Terminal Units (MTU)
- 2- Remote Terminal Unit (RTU)
- 3- Programmable Logic Controller (PLC)
- 4- Phase Controller Fault (PCF)
- 5- General Fault (GF)
- 6- Over Current Fault (OCF)
- 7- Uninterruptible Power Supply (UPS)

#### ۹- مراجع

- اصفهانی، ف.، (۱۳۹۴)، *تکنولوژی جمع‌آوری اطلاعات و کنترل سیستم‌ها از راه دور/اسکادا*، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
- امینی، ا.، پیشگو، م.، و صادقی، ف.، (۱۳۹۱)، "اسکادا و کاربرد آن در شبکه‌های آبیاری"، *اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار)*، تهران، ایران.
- ایمانی، م.م.، خوش خلق، ا.، و میرزایی، ف.، (۱۳۹۳)، "بررسی امنیت سیستم‌های اسکادا"، *اولین کنفرانس ملی مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنگرود*، لنگرود، ایران.

استارترها یا درایوها در برخی مکان‌ها مانند ایستگاه‌های پمپاژ (که در آن گاهی چندین پمپ سانتریفیوژ برای انتقال آب از یک مخزن بین راهی به یک مخزن ذخیره در حال کار هستند)، منجر به نصب حدود ۸ تا ۱۰ سافت استارتر یا درایو می‌شود. این مسئله باعث بالارفتن هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود. از طرفی به کارگیری این راه‌اندازها نیز شرایط نگهداری خاص خود را می‌طلبد. لذا با توجه به وجود زیرساخت اجرا شده از طریق اسکادا، نصب سافت استارترها در کنار سیستم اسکادای موجود توجیه اقتصادی مناسبی ندارد. از همین‌روی، تدوین و پیاده‌سازی برنامه حفاظتی پیشنهادی در یک شرکت آب و فاضلاب که زیرساخت اسکادا داشته باشد، هزینه و بار مالی چندانی ایجاد نکرده و می‌تواند با کمترین هزینه بسیاری از فاکتورهایی که یک دستگاه راه‌انداز نرم کنترل می‌کند را مورد پایش قرار دهد. می‌توان تنها برتری راه‌انداز نرم در مقایسه با راه‌اندازهای مرسوم که تابلوهای ستاره مثلث هستند را عدم وجود ضربه تبدیل از حالت ستاره به مثلث در الکتروپمپ عنوان کرد. در واقع راه‌انداز نرم تنها خدمات مطلوبی در جهت راه‌اندازی الکتروپمپ و کنترل مقادیر مربوط به همان فرآیند را انجام می‌دهد و در این صورت سایر امکاناتی که از طریق اسکادا در حال ارائه است در دسترس نخواهد بود. البته باید اشاره کرد که استفاده از راه‌اندازهای نرم در برخی روستاها یا شهرهایی که فاقد سیستم اجرا شده از طریق اسکادا بوده و تعداد چاه‌ها یا ایستگاه‌های پمپاژ آن‌ها به تعداد محدودی باشد، مقرون به صرفه خواهد بود. اما در تأسیسات آب شهری که از بستر اسکادا بهره‌مند هستند و تعداد چاه‌ها و ایستگاه‌های آن‌ها زیاد است، اضافه کردن راه‌اندازهای نرم در کنار اسکادا چندان مقرون به صرفه نخواهد بود.

#### ۶- نتیجه‌گیری

خسارات ایجاد شده در اثر عدم حفاظت صحیح و به موقع در جهت حفاظت الکتروپمپ‌های گریز از مرکز و شناور در صنعت آب و فاضلاب علاوه بر این که باعث ایجاد هزینه‌های زیادی از لحاظ مالی می‌شود تبعات اجتماعی فراوانی از جمله قطعی آب و نارضایتی مشترکین را نیز به دنبال خواهد داشت. از این‌رو در این مقاله یک روش حفاظتی مبتنی بر اسکادا برای حفاظت انواع الکتروپمپ‌های سطحی و شناور در برابر عمده خطاهایی که ممکن است بیشترین تعداد رخداد را در طول کارکرد یک الکتروپمپ به وجود آورده و باعث آسیب دیدگی آن شود پیشنهاد شد. عمده این خطاها در خصوص عدم تعادل ولتاژ ورودی، خارج شدن الکتروپمپ از حالت کار نرمال و خطای اضافه جریان بود. در این مقاله هر کدام

service oriented SCADA System", *Procedia Economics and Finance*, (Elsevier), 3, 256-261.

Loganathan, V., Kanagavalli, S., Aarthi, P., and Yamuna, K., (2014) "PLC Scada based fault identification and protection for three phase induction motor", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 12(8), 5766-5773.



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

بابایی، ک.، و عنایتی کلیجی، ف.، (۱۳۹۳)، "طراحی و ساخت نظاره‌گر هوشمند بر تجهیزات مخابراتی سیستم اسکادای دیسپاچینگ برق شمال کشور"، دومین همایش منطقه‌ای دستاوردهای نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، جویبار، ایران. جمشیدی، ش.، (۱۳۹۹)، "الزامات و نقشه راه هوشمندسازی شبکه توزیع آب شهری"، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۴(۴)، ۱۵-۴.

جهانگیری‌خواه، م.، هوشمند، م.، و خرم‌پناه، م.، (۱۴۰۰) "راه‌کارهای شهر هوشمند برای مقابله با بحران کمبود آب مبتنی بر پروتکل KNX"، نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۶(۲)، ۱۴-۵.

ذاکر عنبرانی، ا.، و ربانی، ر.، (۱۳۹۱)، "طراحی و ساخت سیستم اسکادای دیسپاچینگ فوق توزیع و انتقال"، نخستین کنگره اتوماسیون صنعت برق، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رجبی، م.، فاضلی، ج.، و فیروزیان، م.، (۱۳۹۵)، "مدیریت مصرف و نظارت انرژی در زمان پیک بار مصرفی توسط سیستم اسکادا"، کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در علوم فنی و مهندسی، اردبیل، ایران.

کاظمی نژاد، پ.، (۱۳۹۰)، "آشنایی با سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ داده (SCADA) و سیستم تله‌متری و تأمین آب شرب شهرهای اهواز، آبادان و خرمشهر"، اولین همایش بین‌المللی بتن‌های ناتراوا - مخازن ذخیره آب شرب، رشت، ایران. کلانتری، م.، و زمانی مقدم، ا.، (۱۳۹۳)، "تعیین میزان اثربخشی استفاده از سامانه‌های اسکادا در مدیریت بحران شرکت‌های آب و فاضلاب شهری (مطالعه موردی شرکت آب و فاضلاب شهری استان البرز)"، فصلنامه مطالعات مدیریت شهری، ۶(۱۸)، ۹۳-۷۵.

محرابی‌ان، ع.، (۱۳۹۲)، بررسی سیستم‌های اسکادا، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

نخعی، ع. صادق زاده، ج. درانی، ز.، (۱۳۹۵)، "بررسی اسکادا و کاربردهای آن در صنعت"، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در برق و کامپیوتر، شیراز، ایران.

Adrian-Lucian, C., Ioana-Alina, C., and Mihaela Ivona, C., (2017), "Water wells monitoring using SCADA system for water supply network", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Romania.

Dave, P., Mokariya, K., and Patel. V., (2013), "Energy conservation in centrifugal pump with variable frequency drive including SCADA, PLC and HMI" *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(5), 1461-1468.

Gligor, A., and Turc, T., (2012), "Development of a



### می‌دانید؟

- مهم‌ترین مشکلی که در زمینه آب وجود دارد مسئله ورشکستگی آب است که دیگر از مرز بحران گذشته است، دلیل اصلی آن هم برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی است که نه تنها کشور را با بحران روبرو می‌کند بلکه مسائل جنبی و پیامدهای آن که مخصوصاً فرونشست خاک است به شدت افزایش می‌یابد (همین الان هم در خیلی از محل‌ها ظاهر شده و بیشتر هم خواهد شد). بنابراین بزرگترین معضلی که من فکر می‌کنم وجود دارد بحث عدم مدیریت منابع آب زیرزمینی است. در بخش فاضلاب هم نظر من این است که در محل‌هایی که زمین قابلیت تصفیه فاضلاب را دارد و نفوذپذیری مناسبی دارد، احداث تاسیسات گران‌قیمت جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب باید خیلی سنجیده و با بررسی‌های جانبی صورت گیرد که متأسفانه این کار کمتر انجام می‌شود.



جناب آقای دکتر علی اکبر عظیمی  
عضو هیئت علمی بازنشسته دانشگاه تهران  
و پیشکسوت برگزیده سال ۱۴۰۱

\* به نظر شما آیا طرح‌های پرهزینه‌ای که این روزها در برنامه وزارت نیرو قرار گرفته از جمله انتقال آب بین حوضه‌ای، شیرین‌سازی آب دریا و انتقال به فلات مرکزی و آب‌های ژرف، جزو اولویت‌های اصلی امروز این حوزه هستند؟

- جواب سوال شما خیلی پیچیده است. در مورد انتقال آب بین حوضه‌ای که فرمودید بیش از هر چیزی باید به تجارب سایر کشورها نگاه کنیم که تعداد پروژه‌هایی که با شکست مواجه شده است کم نیست. در کشورهای مختلف از آمریکا و چین و استرالیا و کره جنوبی متأسفانه آمار شکست این پروژه‌ها بالا است. بنابراین باید با احتیاط به این مسائل نگاه کرد و مهم‌ترین عاملی که در این مورد مهم است بررسی اثرات محیط‌زیستی این فعالیت‌ها است. به عبارت دیگر باید دید وقتی که قصد داریم آب را از یک حوضه به حوضه دیگر منتقل کنیم، ببینیم که در مبدأ و مقصد چه مشکلات محیط‌زیستی ایجاد می‌کند و کاری کنیم که تا حد امکان این معضلات به حداقل برسد و به قول فرنگی‌ها mitigate شود. اما این کار پیچیده‌ای است و در مجموع من فکر می‌کنم که در شرایط فعلی مملکت ما شاید در اولویت نباشد، تا آنجایی که تجربه و اطلاعاتی که در اختیار من است نشان می‌دهد. در مورد آب‌های ژرف حرف و حدیث زیاد است. مورد اول این که مشخص نیست حجم آب ژرفی که ما می‌توانیم برداشت کنیم چقدر است و اگر الان شروع به برداشت این آب‌ها کنیم چه زمانی تمام می‌شود. در مورد کیفیت آن هم همین‌طور اطلاعات دقیقی وجود ندارد. آن‌چه که مسلم است امکان دارد این آب‌ها از نظر رادیواکتیویته (به‌خاطر رادون) درواقع مواد رادیواکتیو داشته باشد

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

- با عرض سلام. من تحصیلات لیسانس، فوق لیسانس و دکتری خود را در دانشگاه‌های شیراز، تهران و لیدز انگلیس در امور مربوط به آب تمام کردم. لیسانسم مهندسی آبیاری، فوق لیسانسم مهندسی بهداشت (مهندسی بهسازی) و دکتری در رشته تصفیه فاضلاب درس خوانده‌ام.

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

- بنده بیش از سی و چندسال در دانشگاه‌های مختلف تدریس داشتم که محل اصلی من دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران بوده اما هیچ‌وقت فقط به دانشگاه اکتفا نکردم و همیشه در بخش اجرایی هم فعال بودم، هم در دستگاه دولتی یعنی وزارت نیرو و قبلاً در وزارت جهاد سازندگی که کارهای آب و فاضلاب روستایی را انجام می‌داد و همین‌طور در امور مربوط به مهندسی مشاور. عمده فعالیت‌م بیشتر در بخش تصفیه فاضلاب بوده و این افتخار را داشتم که بیش از ۱۵ سال در کمیته ۵-الف طرح استاندارد صنعت آب کشور در خدمت اساتید شاگردی و برای استاندارد کردن تاسیسات فاضلابی کشور کمک کنم. البته حالا در همین زمینه یکی دو پیش‌نویس استاندارد نوشتم و چندین کتاب و گزارش فنی و مقاله علمی که عموماً در زمینه تصفیه آب و مخصوصاً فاضلاب است.

\* با توجه به سوابق تحقیقاتی جنابعالی، مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه آب و فاضلاب کشور را چه

## دغدغه‌هایی در میان مردم وجود دارد؟ برای اطمینان یافتن مردم از ایمنی و کیفیت آب چه اقداماتی باید انجام شود؟

- باز بستگی به محل دارد. مثلاً در شهر تهران این‌طور که آمار گفته به‌طور متوسط بیش از ۳۰ درصد آب شرب که برای مصارف خانگی و آشامیدن استفاده می‌شود از آب زیرزمینی تامین می‌شود. آب زیرزمینی هم با توجه به این‌که تهران بیش از ۲۵۰ سال است که پایتخت بوده و سیستم فاضلاب نداشته و در ۷۰ سال اخیر فاضلاب را در چاه‌های جذبی وارد کردند. شما موقعی که فاضلاب را وارد زمین می‌کنید، عمده چیزی که می‌تواند املاح آن را بگیرد خاک رس است و خاک رس بار منفی دارد. بنابراین عناصری که بار منفی دارند، مثل نیترات و کلراید، این‌ها به‌راحتی به آب زیرزمینی نفوذ پیدا می‌کنند و به تدریج بالا می‌روند. به‌خاطر همین بیشتر مناطق تهران نیترات بالایی دارد و موقعی که می‌خواهند این مشکل را حل کنند درواقع از طریق رقیق‌سازی به‌وسیله اختلاط آب سطحی و زیرزمینی انجام می‌شود که درواقع نمی‌شود و نمی‌تواند مسئله کیفیت آب را برای همیشه حل کند. به‌خاطر همین آبی که در اختیار مردم قرار می‌گیرد به‌نظر من آب آشامیدنی سالمی نیست، در خیلی از جاها از جمله شهر تهران. این تنها چاره‌اش این است که آب آشامیدنی را از آب بهداشتی جدا کنیم و آب آشامیدنی سالم که اگر لازم باشد بعداً توضیح خواهیم داد در اختیار مردم قرار دهیم.

## \* نظر شما در مورد روند گسترش اجرای طرح‌های شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه فاضلاب در کشور چیست؟ عوامل اصلی روند کند گسترش زیرساخت‌های مرتبط با فاضلاب را چه می‌دانید؟

- در بخش فاضلاب حرف و حدیث زیاد است. آن‌چه که قبلاً خدمتتان عرض کردم، ما از ظرفیت زمین برای تصفیه فاضلاب باید درست استفاده کنیم و ببینیم آن منابع آب زیرزمینی که اطراف است در چه بخشی می‌خواهد به مصرف برسد؟ آیا در بخش کشاورزی استفاده می‌شود یا مثلاً در آب شرب یا آب صنعتی. اگر آب زیرزمینی ما در عمق نسبتاً عمیقی قرار دارد که در شهر تهران مثلاً در بخش وسیعی این‌طور است، اجرای شبکه فاضلاب باید قدرت تصفیه فاضلاب توسط خاک به‌دقت بررسی شود و متناسب با استفاده‌ای که می‌خواهیم از منابع آب بکنیم، برای آن برنامه‌ریزی کنیم. نکته بعدی سیستم‌های متمرکز تصفیه فاضلاب است که ما به‌شدت داریم به آن سمت می‌رویم که می‌تواند از نظر اقتصادی و فنی ما را دچار چالش کند. از نظر اقتصادی قسمت

و از نظر دما که صددرصد بالا است معمولاً دمای بالای ۷۰-۸۰ درجه سلسیوس دارد. شوری می‌تواند یکی دیگر از دلایل این‌جور آب‌ها باشد، چون این آب‌ها تا نفوذ کرده‌اند به عمق خاک، می‌تواند یک بخشی از املاح حل شده را با خودش حمل کرده و پایین ببرد. باز اگر به تجربه‌های بین‌المللی نگاه کنیم، در یک کشوری مثل عربستان در سال ۲۰۰۰ میلادی با افتخار از آب‌های ژرف‌شان استفاده کردند. حتی گندم صادر می‌کردند و الان به‌جایی رسیدند که بزرگترین واردکننده گندم هستند، یعنی آن آب‌ها تمام شده و پروژه با شکست روبرو شده. بنابراین در این زمینه هم باید با دقت انجام شود. هم‌چنین برداشت از آب‌های ژرف می‌تواند فرونشست خاک را تشدید کند که مسئله خیلی مهمی است و الان در جاهایی از ایران این ماجرا شروع شده. در بخش‌هایی از استان‌های فارس، اصفهان، حتی تهران ما این مشکل را داریم. بنابراین با این‌کار از این‌نظر هم (که همه این‌ها بر می‌گردد به همان نکته اول که گفتم و بررسی اثرات محیط‌زیستی انجام این روندها است).

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

- متأسفانه از تکنولوژی نصفه و نیمه استفاده می‌کنیم. ببینید بخش اعظم مصرف آب ما در بخش کشاورزی است. این البته بستگی به استان دارد. مثلاً در تهران با توجه به این‌که بیشتر مصرفی که داریم آب شرب است. شاید این عدد درستی نباشد، اما در سطح کشور می‌گویند ۹۰ درصد اما بین ۷۰ تا ۹۰ درصد در سطح کشور مثل بقیه دنیا در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و ما در بخش کشاورزی به‌راحتی می‌توانیم از پمپ‌هایی که آب را از عمق چندصد متری زمین می‌آورد استفاده کنیم. ولی این آب‌ها آن موقع که آوردیم به سطح زمین، با سیستم‌های آبیاری سنتی از آن استفاده می‌کنیم. یعنی سیستمی که حداقل ۸۵-۹۰ درصد آب‌ها تلف می‌شود و در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد. بنابراین از نظر برداشت آب از سفره زیرزمینی تکنولوژی را درست به‌کار گرفتیم، اما در مصرف آب خیلی بد عمل می‌کنیم. یعنی لازم است که در زمینه‌های سیستم‌های نوین آبیاری و هم‌چنین در بخش آموزش مصرف‌کنندگان آب در بخش صنعت و شرب و به‌ویژه کشاورزی خیلی کار کنیم. آموزش مصرف‌کننده هم بسیار مهم است که باید به آن توجه شود و باید به شیوه‌ای عمل شود که تا حد امکان بازده مصرف آب به‌حد بهینه خود برسد.

## \* چرا همواره درخصوص کیفیت آب تامین شده



عمده اجرای شبکه تصفیه فاضلاب در بخش جمع‌آوری است و بخش تصفیه‌خانه قیمت کمتری دارد. اما موقعی که سیستم غیرمتمرکز را اجرا کنیم، درواقع در بخش جمع‌آوری فاضلاب صرفه‌جویی کردیم. از آن طرف وقتی سیستم غیرمتمرکز استفاده می‌کنیم، براساس نیازی که متناسب با استفاده مجدد از فاضلاب داریم، می‌توانیم در هر منطقه‌ای به‌طور جداگانه درجه تصفیه فاضلاب را مشخص کنیم. همین‌طور چون اکثر شهرهای کشور ما در معرض خطر زلزله است سیستم‌های متمرکز از این نظر هم مشکل دارد. چرا که فرض بفرمایید در شهری مثل تهران که ما فقط تعداد محدودی تصفیه‌کننده فاضلاب و تونل‌های بزرگ برای انتقال فاضلاب داریم، اگر این‌ها دچار مشکل شوند دچار بحران خواهیم شد. بنابراین از این نظر هم لازم است از سیستم‌های غیرمتمرکز استفاده کنیم تا تصفیه فاضلاب انجام شود.

**\* چرا طرح‌های مربوط به بازیافت آب، بازچرخانی و استفاده مجدد علی‌رغم نیازها و تاکیدات موجود در این حوزه، هنوز فراگیر نشده است؟**

- ما تا زمانی که آب طبیعی در اختیار داریم کمتر به فکر استفاده مجدد از آب‌هایی که یک‌بار استفاده شده خواهیم بود. یعنی ساده‌ترین کار همین است که از آب‌های موجود یک‌بار استفاده کنیم. ولی این برای وضعیتی که در کشور ما هست و ما به‌شدت با کمبود آب مواجه هستیم کار اشتباهی هست. یعنی تا آنجایی که می‌شود ما باید از آب‌های موجود برنامه‌ریزی کنیم که چندبار استفاده شود. یعنی استفاده اول تا جایی که می‌شود آب شرب باشد و همین آب شرب زمانی که تبدیل شد به فاضلاب باید با یک تصفیه ساده‌ای بشود در بخش کشاورزی استفاده‌اش کرد و با تصفیه پیشرفته‌تر در بخش‌های دیگر مثل بخش صنعت هم می‌شود استفاده کرد. برای همین لازم است که ما برای استفاده چندباره از آب برنامه‌ریزی کنیم و با توجه به امکانات و تکنولوژی‌هایی که الان موجود است به‌راحتی می‌تواند این کار انجام شود و تا زمانی که به‌این سمت نرفتیم این مشکلات باقی خواهد ماند.

**\* با توجه 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؟**

- اطلاع دقیقی ندارم، چون الان چندین سال است که از ایران

دور هستم متأسفانه. ولی یک واقعیت کلی این است که جای تحقیق دانشگاه است و همه جای دنیا کارهای تحقیقاتی را دانشگاه انجام می‌دهد تا سازمان‌های اجرایی و رابطه دانشگاه و صنعت که سال‌ها است صحبت آن می‌شود درواقع گره‌گشای مشکل هست. یعنی به‌عبارت دیگر صنعت با یک مشکلات کاربردی در هر زمینه‌ای که در بحث ما مربوط به آب و فاضلاب است باید با دانشگاه در میان بگذارد. دانشگاه محل تحقیق است، دانشگاه محل آموزش است. اگر دستگاه اجرایی خودش بخواهد مستقیماً وارد کار تحقیقاتی شود به‌نظر من یک دیوار کنار دیوار دانشگاه ساخته می‌شود که نمی‌تواند موفق باشد چون امکانات و ظرفیتی که دانشگاه و دانشگاهیان دارند در بخش صنعت یا دستگاه‌های اجرایی وجود ندارد. بنابراین کار را باید به کار دانش واگذار کرد. کار تحقیق در دانشگاه و کار اجرا در دستگاه اجرا و موسسات تحقیقاتی وابسته به دانشگاه.

**\* به‌نظر 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 به‌کار گرفته‌اند؟ چه قدر این شرکت‌ها توانسته‌اند داده‌های مورد نیاز طرح‌های تحقیقاتی دانشگاهی را تامین کنند؟**

- همان‌طور که عرض کردم من اطلاع دقیقی از وضعیت فعلی ندارم. اما تا آنجایی که اطلاعات من در گذشته است متأسفانه باید بگویم ارتباط ضعیف بوده و حالا خیلی از مسئولین اجرایی مملکت ما دانشگاه و دانشگاهی‌ها را به‌عنوان کسانی که کار کاربردی بلد هستند نمی‌پذیرند. ولی واقعیت این است که این رابطه بین صنعت و دانشگاه یک مسئله مهمی است که در کشورهای پیشرفته دنیا به آن توجه شده و صنعت باید آن بخش مشکلاتش را که نیاز به تحقیق دارد از طریق دانشگاه انجام بدهد. دانشگاه هم باید از آن حالت ثنوری بحث کردن خارج شود و به کارهای کاربردی بپردازد. بحث مهمی که مربوط به دانشگاه است بحث R&D یا همان تحقیق و توسعه است که در دنیا یک T هم به آن اضافه کرده‌اند که یعنی تحقیق و تکنولوژی و توسعه است که این درواقع می‌تواند مشکل‌گشای بسیاری از مشکلات در کشورهای درحال پیشرفت بشود. برای این لازم است کارهای تحقیقاتی کاربردی انجام بشود و هر کاری که انجام می‌شود براساس تحقیق و توسعه باشد. ببینید ما الان اولین تاسیسات فاضلابی که در ایران انجام شده تا جایی که من اطلاع دارم حدود ۷۰ سال پیش در یک بخشی از تهران بوده، ولی هنوز که هنوز

است ما برای طراحی تاسیسات فاضلاب‌مان از داده های کتب خارجی استفاده می‌کنیم و در این ۷۰ سال کارهای تحقیق و توسعه را به‌درستی انجام ندادیم و داده‌ها را متناسب با شرایطی که در کشور خودمان است. همه تاکید من روی تحقیق و توسعه است و کاربردی شدن تحقیقات دانشگاه. دانشگاه هم درست است که باید در مسیر علم دنیا عمل کند اما برای کشورهای درحال توسعه اگر تمام هم و غم‌مان را هم بگذاریم روی قله علم دنیا، از مشکلاتمان دور می‌شویم. تحقیقات و توسعه باید قسمت اعظمش در خدمت حل مشکلات جاری جامعه‌مان باشد. خیلی از مشکلات شاید در جاهای دیگر دنیا چندین سال است که حل شده ولی ما هنوز پشت آن‌ها هستیم و راه‌حل‌های بومی باید برای آن پیدا کنیم. راه‌حلهایی که متناسب با شرایط اقلیمی و آب و هوایی کشور ما است. بنابراین لازم است که در واقع در این زمینه‌ها کار تحقیق و توسعه انجام شود و به‌جایی برسیم که ما هر کاری می‌خواهیم انجام دهیم متناسب با شرایط طبیعی، اقلیمی، اجتماعی و سیاسی کشور باشد.

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

- جواب این سوال را قبلاً در بحث تحقیق و توسعه عرض کردم و ارتباط بین صنعت و دانشگاه. اگر صنعت و دستگاه‌های اجرایی مشکلاتی که دارند را با دانشگاه در میان بگذارند و دانشگاه را وارد کارهای تحقیق و توسعه کنند بسیاری از این مشکلات حل می‌شود. تنها راه چاره ارتباط و هماهنگی نزدیک بین صنعت و دانشگاه است، به این شکل که صنعت اعتقاد داشته باشد دانشگاه محل تحقیق است و دانشگاه هم برود به سمتی که بتواند کارهای تحقیق و توسعه برای حل مشکلات جاری مملکت را انجام دهد.

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

- همه دنیا NGOها نقش بسیار موثری دارند هم در آگاه کردن مردم و هم در قبول مسئولیت از طریق حاکمیت و دستگاه‌های اجرایی. این انجمن هم می‌تواند این‌طور نقشی داشته باشد با بالابردن دانش و آگاهی عمومی و همچنین مطالبه از دستگاه‌های حاکمیتی در این زمینه نقش خودش را ایفا کند که تا اکنون هم داشته. منتها کار خیلی بزرگ است و حمایت‌های بیشتری از طرف

کارشناسانی که در این بخش فعال هستند می‌طلبند.

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

- من خیلی ممنونم که من را انتخاب کردند. به‌هیچ وجه بنده خودم را شایسته پیشکسوتی و تقدیر نمی‌دانم و این لطف دوستان بوده. ولی در کل بسیار می‌تواند موثر باشد قدردانی از کسانی که قبلاً دست اندرکار بودند می‌تواند مشوق کسانی باشد که الان دست اندرکار هستند. بنابراین هر نوع کاری که در این زمینه‌ها انجام شود می‌تواند موثر واقع شود.

**\* با توجه به این‌که جنابعالی در دوره اول، عضو هیئت تحریریه این نشریه علمی (که وابسته به انجمن آب و فاضلاب ایران است) بودید نظر خود را در رابطه با این نشریه بیان کنید. آیا این نشریه توانسته است به رسالت خود برای ارتباط متقابل بین دانشگاه و صنعت دست یابد؟**

- نشریات علمی کارشان جمع‌آوری اطلاعات عمومی از محققین و کسانی که دست اندرکار تحقیق هستند و ارائه آن به مخاطبینی است که نیازمند به‌آن هستند و کارشان جمع‌آوری و نشر اطلاعات است. چون خود نویسنده توانایی انعکاس نظراتش را ندارد. بنابراین نشریه درواقع وظیفه اصلی‌اش جمع‌آوری اطلاعات است از محققین و در اختیار گذاشتن کسانی که به‌آن نیاز دارند. در این زمینه با توجه به این‌که نشریات تخصصی ما در زمینه آب و فاضلاب محدود هستند، در کشور ما این نشریه می‌تواند نقش موثری داشته باشد. تا آن‌جایی که من اطلاع دارم در حال حاضر نقش خودش را خوب ایفا کرده. منتها عرض کردم کار آن‌قدر گسترده است که باید برایش برنامه‌ریزی بیشتری صورت گیرد و این نشریه جایگاه خودش را از نظر تعداد مخاطبین و از نظر منبع قرارگرفتن برای سایر نشریات تا جایی که ممکن است افزایش دهد.

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

- این انجمن عمده اعضایش کارشناسان، اعضای هیئت علمی و متخصصین این رشته هستند و وجودشان می‌تواند بسیار موثر واقع شود. حالا چه دستگاه علمی، چه دانشگاه، باید قدر این تشکیلات را بداند و در حد توان کمک کنند که این‌جور انجمن‌ها

است. بر این مسئله تاکید می‌کنم و امیدوارم در دستور کار انجمن قرار گیرد. باز اگر درباره جزییات این طرح سوالی بود بنده بعداً در خدمت شما خواهم بود.

که بیشتر نگران درواقع مشکلات مردم هستند تقویت شود. به نظر من می‌تواند نقش بسیار مهم و سازنده‌ای داشته باشد که تا الان هم سعی شده که این‌گونه باشد. منتها دستگاه‌های اجرایی باید به این انجمن توجه بیشتری کنند و از ظرفیتی که دارد حداکثر استفاده را ببرند.

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

- ببینید عرض کردم که NGOها در تمام دنیا نقش بسیار سازنده‌ای دارند و این انجمن هم اگر بخواهد موفق شود باید تا جایی که ممکن است تعداد بیشتری از اعضا را اضافه کند. مخصوصاً از دانشگاهیان که در این زمینه متخصص هستند یا کارشناسانی که در بازار آزاد کار می‌کنند باید تا حد امکان جذب کرد و میدان داد و به شکل‌های مختلف کاری کرد که حداکثر توان علمی‌شان را در اختیار انجمن قرار دهند. به این ترتیب سرمایه‌ای که انجمن پیدا می‌کند بتواند مشکلات جاری آب و فاضلاب را حل کند.

#### **\* اگر موردی ناگفته مانده است لطفاً بیان فرمائید.**

- بسیار ممنونم. من یک مطلبی که بارها قبلاً گفتم و می‌خواهم یک‌بار دیگر تکرار کنم، ما اگر بخواهیم مشکلات آب و فاضلاب را در بخش آب شرب حل کنیم (در بخش کشاورزی که تکلیف روشن است که بحث استفاده بهینه از آب است با استفاده از فناوری‌های جدیدی که در بحث آبیاری هست و بالابردن راندمان در بخش کشاورزی که تا حدی برای آن سرمایه‌گذاری شده ولی خیلی بیشتر باید انجام شود)، باید آب آشامیدنی از آب بهداشتی جدا شود چون ۹۰-۹۵ درصد آب مصرفی ما آب بهداشتی است و کمتر از ۵ درصد مصرف شرب دارد. شما وقتی بخواهید ۱۰۰ درصد را با کیفیت آب شرب تامین کنید هم عملاً غیرممکن است و هم هزینه بالایی دارد. ولی اگر بخواهیم کمتر از ۵ درصد آب را که به‌عنوان آب شرب استفاده می‌شود بتوانیم به درجه‌اعلای خودش برسانیم و با استانداردهای دنیا تطبیق دهیم، هزینه بسیار کمتری دارد. الان در مورد همین تهران به‌نظر من ما همین شبکه موجود توزیع آب را به‌عنوان آب بهداشتی اعلام کنیم و در گذرگاه‌های مختلف ستون‌های تصفیه آب قرار بدهیم. این ستون‌ها ورودی‌شان همین آب موجود در شبکه توزیع آب باشد و آب خروجی ستون‌ها که با قیمت نسبتاً مناسبی قابل تامین است در اختیار مردم قرار گیرد. بنابراین راه چاره این است که تا جایی که ممکن است آب آشامیدنی را از آب بهداشتی جدا کنیم و این کار در بعضی شهرهای ایران مخصوصاً شهر تهران کاملاً نیاز



## نشست تخصصی نمک‌زدایی آبهای شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور: از واقعیت تا حقیقت

(سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، ۹ تا ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰، دانشگاه تهران)

### اعضای نشست:

دکتر عباس اکبرزاده (عضو هیئت علمی و مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و مدیر جلسه)  
دکتر بنفشه زهرایی (دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران و دبیر کارگروه ملی سازگاری با کم آبی)  
آقای مهندس حمیدرضا کشفی (معاون راهبری و نظارت بر بهره‌برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)  
آقای دکتر محسن نصرتی (دانشیار دانشگاه تربیت مدرس و مشاور شرکت مهندسین مشاور مهتاب قدس)  
آقای دکتر اصغر جهانی (مدیر گروه بهره‌برداری از پساب‌ها و آب‌های غیرمتعارف، شرکت مدیریت منابع آب ایران)



دکتر اکبرزاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت اساتید و متخصصین و کلیه دغدغه‌مندان در حوزه آب. سپاسگزاری می‌کنم از دوستان و همکاران خودم در انجمن آب و فاضلاب و دانشگاه تهران که بستر لازم را برای این همایش فراهم کردند و امیدوارم که تصمیم‌گیران هم در جلسه باشند یا انشاءالله از خروجی‌های این جلسه استفاده شود. به‌خاطر این‌که به‌هرحال اجماعی از متخصصین در این فرصت سه روزه حضور دارد که می‌توانند نقش تصمیم‌ساز در تصمیم‌گیری‌هاشان داشته باشند. هدف کلی از این نشست این است که جایگاه بازیافت را در کنار نمک‌زدایی برای مدیریت کمبود آب مطرح کنیم و البته هرکدام از سایر راهبردها در این حوزه در جای خودشان قابل‌طرح هستند. ولی تمرکز اصلی ما در این نشست بحثی هست که در ارتباط با آب‌های غیرمتعارف، به جایگاه بازیافت آب بیشتر می‌پردازیم. به‌خصوص در مقام مقایسه با بحث نمک‌زدایی که آن‌هم در جای خودش قسمت اصلی از آب‌های غیرمتعارفی هست که در مدیریت تولید برای مقابله با شرایط بحران آب حائز اهمیت است. بدون فوت وقت دوستان خودم را معرفی می‌کنم که چه عناوینی را قرار هست در نشست ارائه کنند. خانم دکتر زهرایی سهم نمک‌زدایی و بازیافت آب را در برنامه ملی سازگاری با کم آبی ارائه خواهند نمود. جناب آقای مهندس کشفی به چالش‌های موجود بر سر راه استفاده از آب‌های غیرمتعارف هم برای نمک‌زدایی، هم برای بازیافت آب می‌پردازند. آقای دکتر نصرتی مطالبی را در خصوص

بهبود بهره‌برداری از سیستم‌های تصفیه فاضلاب براساس تجارب ذی‌قیمتشان در طول ۱۸ سالی که در شرکت مهندسین مشاور مهتاب قدس بودند عنوان می‌کنند. آقای دکتر جهانی موضوع استفاده از آب بازیافتی را از دیدگاه شرکت مدیریت منابع آب بیان می‌کنند. سخنران آخر آقای مهندس ارومیه بودند که متأسفانه مادرشان دیشب به رحمت خدا رفتند و امروز قرار بود که مقایسه اقتصادی فناوری نمک‌زدایی و بازیافت آب را ارائه کنند. از این بابت تسلیت می‌گوییم خدمتشان.

من ارائه خودم را شروع می‌کنم. همان‌طور که می‌دانید اهمیت به‌کارگیری از آب‌های نامتعارف برای کلیه کشورهایی که در واقع در کمربندی قرارگرفته‌اند که دچار کم آبی می‌شوند و این پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۵۰ است. تنش‌هایی را مجبورند تحمل کنند که این‌ها اثراتی هم دارد. اثرات متقابل این‌ها به این‌صورت است که افزایش تقاضای آب ناشی از رشد جمعیت، مدیریت ناکارآمد آب، قیمت‌گذاری نامناسب و بهره‌گیری بیش از حد آب‌های زیرزمینی است. همه این موارد مدیران کشورها را مجبور می‌کنند که طرح‌های مدیریتی خودشان را از حالت سنتی خارج کنند و با گنجانیدن مباحث احیای آب و استفاده مجدد در برنامه‌ریزی‌های آتی‌شان کمک می‌کنند که این مشکل کمبود آب به نوعی مرتفع شود. از بین تمامی ابزارهایی که به‌عنوان منبع آب‌های نامتعارف معروف هستند، بازیافت آب و نمک‌زدایی به‌دلیل وسعت اثری که می‌توانند بر این مدیریت بگذارند به‌عنوان منابع اصلی برای نشست انتخاب شدند. هرچند که سایر منابع مثل آب باران، زه‌آب کشاورزی، آب‌های ژرف و استحصال آب از رطوبت هم جزء مواردی هستند که در قالب آب‌های نامتعارف مطرح می‌شود. همین‌طور آب‌های متعارف هم به نوبه خود در جایگاه خودشان کشورها از آن استفاده می‌کنند. ولی به‌دلیل تغییرات اقلیمی وقتی این‌ها دستخوش تغییراتی می‌شوند که

دیگر اردن هست که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ جمعیتش از ۴/۹ تا ۸/۵ میلیون نفر افزایش پیدا کرده است، در این حوزه کار مطالعاتی روی *desalination water* و *water harvesting* و *treated wastewater* انجام داده است.



کاری که کشور اردن کرده در ارتباط با استفاده از آب‌های غیرمتعارف، آب‌های غیرمتعارفی را که برنامه‌ریزی کرده برای استفاده، وزن‌دهی کرده و از دیدگاه اقتصادی، فنی، در دسترس بودن، قابل اعتماد بودن و دیدگاه محیط‌زیستی طبقه‌بندی کرده است. در نهایت نمک‌زدایی و *water harvesting* بیشترین امتیاز را آورد که در برنامه‌ریزی‌های آتی از آن استفاده کنند.

با طبقه‌بندی شهرها و مقدار آب بازیافتی، مشخص می‌شود که هر چقدر جمعیت بیشتر باشد کاربری‌های متنوع‌تری را برای آب بازیافتی می‌توانیم داشته باشیم. کشور استرالیا با توجه به این‌که تراکم جمعیت کم است و کشور بزرگی است و دسترسی به آب‌های سطحی زیادی دارد، بیشترین استفاده‌ای که می‌شود از آب‌های سطحی هست و کمتر از نمک‌زدایی و بازیافت آب. ولی بخش جنوبی و بخش غربی هم از نمک‌زدایی و هم از بازیافت آب استفاده می‌شود.

در مطالعه کشور اسپانیا در حوزه رودخانه سگورا، ملاحظه می‌شود که مناطقی که داخلش نمک‌زدایی وجود ندارد هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر مترمکعب در روز کم است و وقتی که از RO و EDR استفاده می‌شود هزینه سرمایه‌گذاری یک دفعه بالا می‌رود. معمولاً این‌طور هست که استحصال آب بازیافتی به مترمکعب قیمتش از نمک‌زدایی ارزان‌تر است و تاکید می‌کنم که موارد استثنا هم در این زمینه وجود دارد.

اما وضعیت موجود آب‌های تجدیدپذیر و فاضلاب تولیدی و نمک‌زدایی در ایران به چه صورتی هست. بر اساس شاخص ما الان در مرز تنش آبی قرار گرفته‌ایم که اساتید همه مستحضر هستند. استراتژی‌های مقابله ما چه می‌تواند باشد، در این دو حوزه مدیریت تولید و مدیریت مصرف. در حوزه مدیریت مصرف موارد مختلفی هست که الان تاکید ما روی حوزه‌های مدیریت تولید است. بحث استفاده از آب نامتعارف، نمک‌زدایی و فاضلاب تصفیه شده است. ولی مستحضر هستید که بهینه‌سازی مصرف آب در

مقدار آن‌ها از میانگین بلندمدت کم می‌شود، کشورها را به این فکر می‌اندازد که از سایر روش‌ها برای جبران آن استفاده کنند. این موضوع در اکثر مراجع آمده و به‌طور واضح نمک‌زدایی و استفاده مجدد را به‌عنوان راه‌حل‌های اساسی در کاهش شکاف بین آب در دسترس و آب مورد نیاز مطرح می‌کنند. آب بازیافتی کاربردهای مختلفی دارد که به‌طور خلاصه کاربرد در مصارف شهری شامل آبیاری فضای سبز، تفرجگاه‌ها، دریاچه‌های تفریحی و آب‌نماها است. در حوزه محیط‌زیست افزایش آب سطحی یا شارژ آب‌های زیرزمینی، در حوزه صنعت بیشتر در نیروگاه‌ها برای برج‌های خنک‌کن ولی در مقیاس کوچک‌تر برای کارواش‌ها استفاده شده است. در حوزه کشاورزی که بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده معمولاً برای آبیاری و مقدار کمتری برای شرب احشام استفاده می‌شود. در استفاده از آب‌های بازیافتی حائز اهمیت است که این منبع غیر متعارف خیلی تحت تأثیر تغییرات اقلیم نیست و با توجه به این‌که تابع حضور جمعیت است، هر جایی که جمعیت حاضر باشد این منبع هم هست و می‌توانیم تصفیه کرده و از آن استفاده کنیم. بازار آن به‌شدت رو به افزایش است و اطلاعاتی که در مراجع هست نشان می‌دهد که کشورهایی تا سال ۲۰۳۰ تحت تنش هستند، برنامه‌ریزی کردند که استفاده از بازیافت آب را بعضاً تا ۳۰ درصد در برنامه‌ریزی‌هایشان استفاده کنند. ظرفیت نمک‌زدایی از منابع مختلف که شامل *brackish water* و *sea water* و *wastewater* و *river water* در سال ۲۰۱۹ برای کل جهان به نزدیک ۱۰۰ میلیون مترمکعب در روز رسیده، ولی عمده آبی که به‌عنوان منبع استفاده می‌شود برای نمک‌زدایی شامل *brackish water* هست. سهم بازیافت آب در مقایسه با نمک‌زدایی در تأمین سایر کشورها بسیار متفاوت است و حتی می‌تواند عکس هم دیگر باشد. عوامل مختلفی در این حوزه دخیل هستند. این‌که تعداد جمعیت چقدر باشد، دسترسی آن کشور به آب‌های دریایی چقدر باشد، چقدر از پیشرفتگی برخوردار باشد و یا در برنامه‌های توسعه کدام‌یک از این‌ها را هدف‌گذاری کرده. مثلاً برای کشور عربستان با اختلاف خیلی زیادی نمک‌زدایی نسبت به *treated wastewater* در سال ۲۰۱۰ بوده ولی در سال ۲۰۲۱ این اختلاف بسیار کمتر شده. کشور امارات هم همین‌طور. برنامه‌ای که الان دارد که تا ۲۰۳۰ هست، این هست که حتی یک قطره آب را بدون این‌که بازیافت بکند اجازه ندهد از دست برود. ولی هدف‌گذاری اصلیش برای آبیاری هست. برنامه افزایش استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده و جایگزین کردن آن به جای *groundwater* که در سال ۲۰۱۷ سهمش بالاتر بوده ولی برنامه‌ریزی برای ارتقای این سهم تا سال ۲۰۳۰ است. کشور



مرکزی رسیدیم که احتیاج داریم با بستر دولتی وجود داشته باشد برای نظارت بر توسعه استفاده از نمک‌زدایی که المان‌های مختلفی وجود دارد که حتماً باید این نظارت وجود داشته باشد. افرادی که در این حوزه کار کرده‌اند به‌عنوان سرمایه‌گذار، مهم‌ترین خواسته‌شان ایجاد پنجره واحد برای صدور مجوزهای لازم است که من از این‌ها عبور می‌کنم. برنامه‌های میان‌مدت و بلندمدت استفاده از انرژی‌های پاک به‌صورت ترکیب RO و MED هست که از خروجی‌های نقشه راه نمک‌زدایی به آن رسیدیم. جذب سرمایه‌گذاری‌های داخلی و خارجی برای انجام تحقیق و توسعه در زمینه تولید تجهیزات و بومی‌سازی آن‌ها هست و این‌که ما بتوانیم به‌صورت منطقی و درست محاسبه و به‌روزرسانی خسارت محیط‌زیستی ناشی از توسعه سامانه‌های نمک‌زدایی را داشته باشیم. در حوزه راه‌کارهای عملی برای توسعه بازیافت آب موارد متنوعی وجود دارد که دوستان در شرکت مدیریت منابع آب و شرکت آب و فاضلاب خیلی بهتر از من می‌توانند بگویند. ما باید تصفیه‌خانه‌هایمان را به جایی برسانیم که بتوانند خودکفا شوند و به لحاظ اقتصادی از نظر فروش پساب و فروش انرژی و فروش مواد جامد و فناوری‌هایی که در حوزه فناوری نوین اسمشان هست را توسعه دهیم که در این حوزه بسیار توسعه کمی پیدا کرده در کشور خودمان. باید توجه به تصفیه فاضلاب‌های غیرمتمرکز بشود. باز این‌جا ما احتیاج داریم راه‌اندازی مرکز فناوری تصفیه و بازچرخانی آب را، به دلایلی که در قسمت نمک‌زدایی گفتیم. از همه مهم‌تر الزام صنایع که واقعاً این‌را باید از تصمیم‌گیران بخواهیم که صنایع را الزام کند و شرایط و تولید را جلو ببرند که آب مورد نیازشان را حتی‌الامکان از پساب استفاده کنند و اگر خواستند تصفیه بیشتری را انجام بدهند، بحث استانداردها بسیار مهم است.



**خانم دکتر زهرایی:**

سلام. من تشکر می‌کنم از برگزارکنندگان محترم، به خصوص همکاران در انجمن آب و فاضلاب آقای دکتر تابش، همکاران در دانشکده محیط‌زیست آقای دکتر بازارگان و جنابعالی که خیلی زحمت کشیدید برای هماهنگی نشست و از همه بزرگوارانی که این فرصت را فراهم کردند تشکر می‌کنم. من خیلی خلاصه

کشاورزی هم سهم بسیار بزرگی را دارد. در اطلاعاتی که بانک جهانی گذاشته حدود ۴۰ درصد را در بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی گذاشته و استفاده از آب متعارف، نمک‌زدایی و فاضلاب تصفیه شده را به‌صورت مجموع حدود ۵۰ درصد در نظر گرفته و سهم روش‌های دیگر را برای توسعه حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته است. وضعیت کلی نمک‌زدایی در ایران به این صورت هست که ما ۸۶ واحد آب شیرین‌کن در حال ساخت و بهره‌برداری داریم که ۶۵ واحدش در حال بهره‌برداری هست و ۲۱ واحد از آن‌ها در اولویت ساخت هستند. مجموعاً ما حدود ۴۲۳ هزار مترمکعب در روز در حال بهره‌برداری داریم و اگر آن‌هایی که در حال ساخت هستند را اضافه کنیم به چیزی حدود ۵۱۵ هزار مترمکعب می‌رسیم. اما در حوزه تصفیه فاضلاب، با توجه به این‌که از سال‌ها قبل شروع شده و پوشش شهری ما حدود ۵۲ درصد، روستایی ما چیزی حدود ۰/۵ درصد، تعداد تصفیه‌خانه‌ها حدود ۲۳۷ واحد و ۵۳۱۳۰۰۰ مترمکعب در روز ما ظرفیت در دست بهره‌برداری داریم که کاملاً به‌عنوان یک منبع غیرمتعارف قابلیت استفاده دارد. این یک قسمت سرمایه‌گذاری انجام شده، الان ما باید روی قسمتی فکر کنیم که چه کاربردهایی می‌توانیم از پساب این تعداد تصفیه‌خانه داشته باشیم.

بحث استانداردها بسیار بحث مهمی است که فکر می‌کنم آقای دکتر جهانی به آن بپردازند. استانداردهای ایران یک گرید و چین سه گرید و ژاپن هم چند گرید دارد. عمده استانداردهای ما در قسمت بنیادی هست، دو استاندارد ما در قسمت‌های اول پیشرفته هست ولی در قسمت بعدی که کشورهای نسبتاً پیشرفته که بعضاً توجه بیشتری داشتند به بحث استانداردها، در قسمت آرمانی هستند و برای تک‌تک BOD, COD, TP, NH<sub>4</sub> استانداردهایی دارند که بسیار از استانداردهای کشور ما سختگیرانه‌تر است که خودش به عنوان یک درایور برای استفاده از آب‌های بازیافتی مطرح است.

به چالش‌های موجود در استفاده از بازیافت آب و نمک‌زدایی را من خیلی نمی‌خواهم بپردازم. راندمان پایین تصفیه‌خانه‌ها را قرار هست که آقای دکتر نصرتی صحبت بکنند. بحث‌های دیگر را آقای مهندس کشفی مطرح می‌کنند. ولی آن قسمتی که تعرفه پساب است بسیار در این حوزه حائز اهمیت است.

در حوزه چالش‌های نمک‌زدایی هم موارد مختلفی وجود دارد که باز هم بحث استاندارد و هم بحث توسعه بازار از مباحث مهم هست، همین‌طور بحث تجهیزات. راه‌کارهایی در این حوزه وجود دارد. مهم‌ترین کاری که دولت می‌تواند انجام دهد این است که توسعه بازار انجام دهد. در انتهای نقشه راه نمک‌زدایی ما به یک

می‌خواهم عرض کنم در برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی در واقع سهم نمک‌زدایی و بازیافت آب به‌چه صورت هست. همان‌طور که مستحضر هستید کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی در اسفند سال ۱۳۹۶ تشکیل شد و عمدتاً هدفش این بود که برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی استان‌ها را تدوین کند. از باب این‌که مشخص بشود چه سهمی از مصارف باید کاهش پیدا کند تا برسیم به آب قابل برنامه‌ریزی. ابلاغیه بخش آب و کارگروه ملی نظارت دارد بر عملکرد و پیشرفت این برنامه‌ها و همین‌طور بحث‌های مرتبط با تغییر الگوی کشت و انطباقش با شرایط کم‌آبی که در بخش‌های مختلف کشور داریم. بحث تحویل حجمی آب به مصرف‌کننده‌های مختلف، اصلاح تعرفه‌ها فرهنگ‌سازی را در واقع بحث‌های مختلفی است که در اهداف تشکیل کارگروه ملی ذکر شده. یک تارنمایی هم کارگروه ملی دارد که مصوبات و مستندات کلیه برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی مصوب داخل این تارنما منتشر شده. اما حاصل تلاش سه ساله در واقع مجموعه دستگاه‌هایی که عضو کارگروه بودند در سطح ملی و در سطح استانی برنامه‌ای است که تدوین شده و هدف‌گذاری کرده برای این‌که تا سال ۱۴۰۵، ۹ میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی برداشت کمتری رخ بدهد و در منابع آب سطحی ۳/۳ میلیارد مترمکعب کاهش برداشت داشته باشیم. اما بحث نشست ما که من می‌خواهم به آن بپردازم که بینیم موضوعات مربوط به نمک‌زدایی آب دریا و بازچرخانی آب، چه بخشی از برنامه‌ی سازگاری با کم‌آبی ملی را پوشش می‌دهد. در برنامه‌هایی که از استان‌های مختلف دریافت کردیم، مجموعاً ۴۳۸/۵ میلیون مترمکعب ظرفیت برای احداث تصفیه‌خانه‌های جدید دیده شده که در استان‌هایی که در برنامه‌شان این بند را لحاظ کردند، در استان‌های خوزستان، آذربایجان شرقی، کرمانشاه، کردستان، اردبیل، البرز به‌ترتیب سهم بیشتری دارند از این برنامه‌ها. برنامه‌های مرتبط با جایگزینی آب خام با پساب در کشور در مجموع حدود ۷۰۰ میلیون مترمکعب در برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی دیده شده که البته لازم هست من تأکید کنم که چون هدف برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی عمدتاً کاهش مصرف است و البته جلوگیری از آلودگی آب. ما برنامه‌هایی را که مرتبط با جایگزینی آب خام با پساب هست به‌عنوان برنامه‌هایی که اثرگذار هستند بر کیفیت و تحت‌عنوان اثربخشی از این برنامه‌ها یاد می‌کنیم نه صرفه‌جویی. قطعاً در کیفیت آب و مدیریت بهتر منابع آبمان اثرگذار خواهد بود. در رابطه با توزیع این برنامه‌های جایگزین آب خام با پساب در استان‌های مختلف، باز استان تهران با ۱۵۹ میلیون مترمکعب، خوزستان با ۱۱۹ میلیون مترمکعب، آذربایجان شرقی با ۱۱۷ میلیون مترمکعب،

اصفهان با ۱۰۰ میلیون مترمکعب، در مجموع ۷۰ درصد کل برنامه‌های استان‌های مختلف را در برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی در حوزه جایگزینی آب خام با پساب پوشش می‌دهند. در ۶ استان آذربایجان غربی، ایلام، خراسان رضوی، زنجان، کرمانشاه و مرکزی برنامه‌ای برای موضوع دیده نشده. در بخش فضای سبز حدود ۸۴ میلیون مترمکعب از برداشت از منابع آب زیرزمینی مصرفی بخش فضای سبز قرار هست که کاهش پیدا کند و جایگزینی آب خام با پساب را داشته باشیم. سه استان تهران، همدان و البرز در مجموع ۸۰ درصد سهم کل این برنامه را به خودشان اختصاص دادند. در بخش صنعت ما بحث بازچرخانی آب را در حد ۴۲/۵۸ میلیون مترمکعب، تصفیه فاضلاب صنعتی را در حد ۱۵ میلیون مترمکعب، استفاده از پساب در حدود ۲۰۶ میلیون مترمکعب داریم، و استفاده از منابع آب غیرمتعارف را در حد سالانه ۳/۹ میلیون مترمکعب. در واقع بحث استفاده از پساب به‌جای آب خام تقریباً نیمی از برنامه‌های بخش صنعت را به خودش اختصاص داده. در بحث نمک‌زدایی و استفاده از آب دریا استان بوشهر ۳۰۴ میلیون مترمکعب نمک‌زدایی آب دریا را در برنامه دیده، قم رقم خیلی کمی است، مازندران ۳ میلیون مترمکعب و هرمزگان ۲۷/۷ میلیون مترمکعب که سرجمع چیزی حدود ۳۳۵/۳ میلیون مترمکعب نمک‌زدایی و استفاده از آب دریا در برنامه دیده شده. اگر بخواهم یک جمع‌بندی از مباحث ذکر شده داشته باشم، پتانسیل تولید بیش از ۴۳۸ میلیون مترمکعب پساب از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تا سال ۱۴۰۵ وجود خواهد داشت، که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌هایی که قرار است انجام شود مدنظر قرار بگیرد. ۷۰۰ میلیون مترمکعب برنامه جایگزینی مصارف آب خام با پساب تا افق ۱۴۰۵ خواهیم داشت که این‌ها قطعاً منجر به مدیریت بهتر آب خواهد شد به‌دلیل تفاوت تعرفه‌ای که هست بین پساب حاصل از تصفیه‌خانه‌ها. در واقع به بحث ارتقای مدیریت مصرف قطعاً منجر خواهد شد. بحث منابع پذیرنده فاضلاب قطعاً کیفیتشان ارتقا پیدا خواهد کرد و درواقع جابه‌جایی در منابع آب مصرفی باید در مطالعات بیان درنظر گرفته شود. برای این‌که منابع در اختیار محدوده‌های مطالعاتی مختلف باید لحاظ شود و بعضاً این برنامه‌های جایگزینی مصارف آب خام با پساب منجر به جابجایی منابع خواهد شد. از حدود در واقع ۸۶ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی در برداشت از آب زیرزمینی برای مصارف فضای سبز درنظر گرفته شده، که ۸۳/۸ میلیون مترمکعب آن مربوط به جایگزینی آب خام با پساب هست که نشان می‌دهد خیلی اراده‌ای برای کاهش مصرف فضای سبز از طریق روش‌های مختلفی که هست تغییر الگوی کشت، تغییر سیستم آبیاری

شهرداری‌ها در برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی بروز پیدا نکرد. تقریباً نیمی از برنامه سازگاری بخش صنعت مربوط به جایگزینی آب خام با پساب است. سهم تصفیه و بازچرخانی ۱۴ درصد است که دلیلش عمدتاً عدم تمایل بخش صنعت برای سرمایه‌گذاری بازچرخانی آب هست و درواقع یک فرصتی اینجا وجود دارد که بخش صنعت فاضلاب خودش را که می‌تواند تصفیه‌اش بسیار هزینه‌بر باشد شاید بتوانیم از آن بخواهیم که سرمایه‌گذاری بکند و در واقع بخش‌های دیگری مثل شهری که احداث تصفیه‌خانه ممکن هست هزینه کمتری داشته باشد سرمایه‌گذاری بکنند. نمک‌زدایی آب دریا را فقط در ۳ استان داریم که ۹۱ درصدش مربوط به استان بوشهر است. عمدتاً هم علتش این است که ما در برنامه سازگاری با کم‌آبی تامین منابع جدید را خیلی مدنظر قرار ندادیم و احتمالاً این برنامه‌ها در استان‌های دیگر وجود دارد، ولی در برنامه سازگاری درج نشده. در مجموع حدود ۱۵ میلیارد مترمکعب منابع آبی که متأثر از برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی است ۱۸۰۰ میلیون مترمکعب مرتبط با برنامه‌های نمک‌زدایی و بازچرخانی آب است. هدف از این ارائه این بود که بیشتر اندازه مسئله بازچرخانی و نمک‌زدایی در برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی خدمت شما ارائه شود. آقای دکتر خدمت شما هستم.

#### دکتر اکبرزاده:

ممنون از ارائه خوب شما خانم دکتر. من خواهش می‌کنم آقای مهندس کشفی بحث خود را با عنوان چالش‌های موجود بر سر راه استفاده از آب‌های غیرمتعارف ارائه بفرمایند.



#### مهندس کشفی:

خیلی ممنون. بسم الله الرحمن الرحيم و عرض تشکر از بنیان این نشست و به‌خصوص جناب آقای دکتر اکبرزاده. وقتی بحث بازچرخانی مطرح می‌شود ما باید بدانیم اصلاً چقدر فاضلاب در حال حاضر داریم. من در دو بخش مباحثم را ارائه می‌دهم، یک بحث بازچرخانی و نحوه مشارکت بخش خصوصی در این زمینه و یکی هم آب دریا و اتفاقاتی که تا الان در وزارت نیرو افتاده و چالش‌های پیش‌روی آن. مستحضری که حدود ۵۲/۵ درصد از جمعیت کشور تحت پوشش شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه

فاضلاب هستند و ما حدوداً میانگین دوره تصفیه فاضلابمان ۲۰ سال است. چیزی حدود ۶۵ هزار کیلومتر شبکه در کل کشور داریم که ۷ هزار کیلومتر از این شبکه فرسوده است و نیاز به بازسازی اساسی دارد. ۸ میلیون مشترک داریم که از آن‌ها حدود ۹۰ درصد خانگی هستند و حدود ۱۰ درصد غیرخانگی. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ما نسبتاً جوان هستند. اگر میانگین بگیریم تصفیه‌خانه‌های ما ۱۲ ساله هستند و ۲۴۳ تصفیه‌خانه در کشور در حال بهره‌برداری داریم که از این ۲۴۳ تا فقط ۳۳ تا از این‌ها هستند که بالای ۳۰ سال عمر دارند. بنابراین می‌توانیم بگوییم این تصفیه‌خانه‌ها جوان هستند. ما از ۲۴۰۴/۷ میلیون مترمکعب فاضلابی که جمع‌آوری می‌کنیم، ۱۴۵۰ میلیون مترمکعب در سال را که حدود ۶۰ درصد از فاضلاب جمع‌آوری شده است، تصفیه می‌کنیم. معنایش این است که ما تصفیه‌خانه‌هایمان در کل به‌صورت عام از شبکه‌ها عقب‌تر هستند و ما سرمایه‌گذاری‌هایی که انجام می‌دهیم را باید بیشتر روی بحث‌های جمع‌آوری و مخصوصاً نصب انشعابات که بخشی از آن بحث فرهنگی است و سیستم داخل منازل، باید عملیات نصب انشعابات و جاری‌سازی فاضلاب خام را انجام بدهند، روی آن بیشتر کار کنیم، که شبکه‌هایی که اجرا کردیم بتواند حداکثر فاضلاب خام را جمع‌آوری کند و به تصفیه‌خانه‌ها برساند. فرآیندهای مختلف، تقریباً تمام فرآیندهایی که به‌صورت عام در دنیا مطرح هست در ایران کار شده. برکه تثبیت، وتلند، لاگون هوادهی و لجن فعال. اغلب تصفیه‌خانه‌های ما هم توسط نیروهای داخلی، اعم از مشاورین و پیمانکار و سازندگان بومی شده. از مجموع ۲۴۳ تصفیه‌خانه و ۱۴۵۰ میلیون مترمکعب در سال پسابی که تولید می‌کنیم در چه مصارفی این‌ها دارد مصرف می‌شود. یعنی در بحث کشاورزی، تغذیه آبخوان، صنعت، شهرداری و فضای سبز، چقدر مصرف می‌شود. بیشتر پساب ما یعنی ۶۷۵ میلیون مترمکعب در سال در بخش کشاورزی و ۵۶ میلیون مترمکعب در بخش صنعت استفاده می‌شود. معادل ۴۵ درصد در بخش کشاورزی و ۳/۸ درصد در بخش صنعت از پسابی که ما تولید می‌کنیم مصرف می‌شود. پساب ما با کیفیت‌های مختلف با توجه به فرآیندهای مختلف تصفیه تولید می‌شود و قاعدتاً هزینه‌هایی که برای این کار انجام می‌شود خیلی زیاد است. در ردیف لجن فعال، از مجموع ۹۵۹ میلیون مترمکعب که بخش اعظم تصفیه‌خانه‌های ما را به خودش اختصاص می‌دهد، تقریباً ۴۳۵ میلیون در کشاورزی و ۴۵ میلیون در صنعت مصرف می‌شود. بنابراین تصفیه‌خانه‌هایی که فرآیند خوب و نسبتاً پیشرفته دارند، حذف نیتروژن، فسفر و هر آلاینده دیگری را دارند

انجام می‌دهند، پسابشان به‌نحو مطلوبی دارد در جاهای مختلف استفاده می‌شود. فارغ از این که چه بخشی می‌تواند در کشاورزی و صنعت تبدیل شود و ارزش افزوده بیشتری را ایجاد کند. ما در بخشی از استان‌ها فقط یک تصفیه‌خانه داریم و در بعضی از استان‌ها مثل استان اصفهان ۲۸ تصفیه‌خانه داریم و بخش اعظم این تصفیه‌خانه‌ها خارج از روال اعتبارات دولتی هزینه شده. از بانک توسعه اسلامی بانک جهانی و اکو بانک حدود ۵۸۴ میلیون تأمین شده. نکته مهم‌تر این هست که با مشارکت بخش خصوصی که بیشتر صنعت هست، ما توانستیم ۳۱۴ میلیون مترمکعب یعنی ۲۲ درصد از پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را بازچرخانی کنیم. یعنی صنایع خودشان آمدند و با هزینه خودشان عملیات بازچرخانی را انجام دادند و در حال حاضر دارند این پساب را استفاده می‌کنند. در کل در بحث فاضلاب و قیمت تمام شده روز به روز زیان انباشته ما در بخش فاضلاب دارد بیشتر می‌شود. یعنی فاصله قیمت تمام شده با تعرفه‌ای که دریافت می‌کنیم بیشتر می‌شود و این اثر خودش را در استهلاک تاسیسات و سامانه‌های ما نشان می‌دهد.



مطلب بعدی من بیشتر برمی‌گردد به بحث‌های آقای دکتر اکبرزاده. در بحث آب شیرین‌کن بالاخره ما یک‌سری اسناد بالادستی داریم که مهم‌ترین این‌ها نظام‌نامه تخصیص آب هست و دستورالعمل‌های مربوطه که در سال‌های مختلف از سال ۱۳۶۱ گرفته که در آن قانون توزیع عادلانه آب هست اشاره شده تا آخرینش که در سال ۱۴۰۰ بازنگری شده. از نظر توزیع مکانی آب شیرین‌کن‌ها در کل دنیا، از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ در دنیا مخصوصاً در منطقه منا، شمال آفریقا و خاورمیانه افزایش احجام داشتیم. در وزارت نیرو ما سه دسته طرح را برای تخصیص آب دریا داریم. یک دسته مصرف‌کنندگانی هستند که می‌خواهند آب دریا را بردارند به‌صورت شور استفاده کنند. یعنی شیرین‌سازی انجام نمی‌شود مثل خنک‌سازی وضعیت تأسیساتی که کنار دریا هستند، شیل‌ات و غیره. دسته دوم در واقع برداشت از دریا انجام می‌شود ولی در کنار دریا شیرین‌سازی انجام و در استان‌های ساحلی استفاده می‌شود. سوم هم دسته‌ای هستند که از دریا برداشت و شیرین‌سازی می‌شود ولی در استان‌های ساحلی استفاده نمی‌شود. این‌ها تخصیصات مختلفی دارند. مثلاً در دسته

اول در کل از آب دریا تا الان ۲۷ میلیارد تخصیص داده شده توسط وزارت نیرو، فارغ از این که چه بخشی به نتیجه رسیده و چه بخشی به نتیجه نرسیده، برای مصارف مختلف در این سه دسته تخصیص داده شده. منتهی آن چیزی که مهم است مثلاً در دسته سوم، تا الان در حدود دو میلیارد و هشتصد تخصیص داده شده به بخش برداشت و انتقال که بخش خیلی کمی از این‌ها به سرانجام رسیده و منتقل شده. بحث‌های مختلفی آن‌جا ما داریم. به هر حال بحث‌های محیط‌زیستی مطرح است. در چالش‌هایی که قرار بود من بگویم می‌شود به این‌ها پرداخت و شما همه بهتر از بنده مستحضر هستید که تخریب اراضی در پهنه پروژه انتقال آب هست. افزایش غلظت و شوری و دمای آب هست. این‌ها بحث‌هایی است که این روزها بیشتر از قبل توسط فعالان محیط‌زیستی به ما مراجعه، نامه‌نگاری و گزارش می‌شود. چه بسا بعضاً هم دستگاه نظارتی ورود می‌کنند و بحث‌های محیط‌زیستی ناشی از نمک‌زدایی در کنار دریا را بررسی می‌کنند. خدمتتان عرض کنم ملاحظات اجتماعی موضوع هست که تأمین اهداف حاکمیتی در تثبیت جمعیت و اشتغال‌زایی ما را به این سمت می‌برد که شیرین‌سازی انجام بدهیم. این‌ها می‌تواند با مباحث محیط‌زیستی و سایر مباحث تضاد منافع ایجاد کند. یا چگونگی مالکیت و بهره‌برداری از کریدورهای ایجاد شده یکی از مسائلی هست که در مرکز ایران دارد آب را منتقل می‌کند در آینده مالکیتش با چه کسی خواهد بود. مهم‌ترین چالش اقتصادی است که اگر نیاز باشد در بخش پرسش و پاسخ می‌توانیم بیشتر به این‌ها بپردازیم. وزارت نیرو دو طرح مهم دارد و من با این جمع‌بندی کنم بحث هایم را. یکی طرح جامع ارزیابی سیستم‌های نمک‌زدایی است. در استان‌ها مشخص شده که چقدر حجم آب مورد نیازشان باید از محل نمک‌زدایی تأمین بشود و اسنادی که این را نهایی می‌کنند، این که چقدر و در چه استانی چقدر در حال ساخت و چقدر در حال بهره‌برداری داریم. حدود ۵۶۵ هزار مترمکعب در شبانه‌روز در قرارداد خرید تضمینی با تضمین خرید دولت داریم که از آن‌ها حدود ۷۰ درصد به بهره‌برداری رسیده و باقی هم در حال ساخت در استان‌های مختلف هست. طرح بعدی طرح آبرسانی به فلات مرکزی است و تخصیص‌های آن‌ها هم مشخص است. اصولاً در این طرح که بعداً استان‌هایی اضافه شد نه تنها نواحی ساحلی بلکه نواحی مرکزی، شمالی و پر آب هم دیده شده برای مواقع ضروری که من از این‌ها می‌گذرم. من جمع‌بندی را درباره بحث‌های مختلف گفتم ولی مهمترینش این است که هشت تا پروژه در حال حاضر با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی برای آبرسانی به فلات مرکزی ایران در حال انجام

هست و فقط یکی از آن‌ها به نتیجه رسیده. امروز که ما خدمت شما هستیم یکی از راهکارهای رفع تنش در استان‌های یزد و اصفهان استفاده از بخشی از آب انتقالی توسط صنعت برای شرب تلقی می‌شود و تصمیماتی هم در این خصوص اخیراً گرفته شده و امیدواریم که به نتیجه مطلوب برسد. خیلی متشکرم.

#### دکتر اکبرزاده:

تشکر میکنم از جناب مهندس کشفی و خواهش می‌کنم از آقای دکتر نصرتی که مطالب خودشان را در خصوص بهبود بهره‌برداری از سیستم‌های تصفیه فاضلاب ارائه بفرمایند. متشکرم.



#### دکتر نصرتی:

سلام دوستان. خیلی متشکرم آقای دکتر اکبرزاده. بنده تشکر می‌کنم از شما که زحمت کشیدید و از حضور اساتید و دانشمندان و دست اندرکاران محترم. خیلی ممنونم که این فرصت را به من دادید. من یک عرص مختصری دارم عنوان این نشست همان‌طور که مستحضر هستید نمک‌زدایی و بازیافت هست. داشتم به این فکر می‌کردم که بالاخره ما باید آب تأمین کنیم و این دوتا مورد بزرگ را مورد توجه قرار دادیم تا بتوانیم کشور خودمان را از این تنش خشکی و بی‌آبی نجات بدهیم. بحث نمک‌زدایی پیش‌فرض این هست که ما یک حجم عظیمی از آب شور داریم و انکارپذیر هم نیست و می‌خوایم آب شیرین از آن استحصال کنیم. ماهیتاً اگرچه آب را تأمین می‌کند ولی با بازیافت آب که منشأ اصلی در واقع تولید پساب هست یک مقدار متفاوت است. آقای دکتر اکبرزاده در صحبت‌هایشان کشورهای خشک عربی را مثال زدند که در برنامه‌هایشان می‌گویند حتی یک قطره آب را بدون بازیافت نگذاریم و برنامه‌ریزی داشته باشیم. مورد بسیار قابل توجه و حائز اهمیتی است. ما فعالیت‌های زیادی را در کشور داریم انجام می‌دهیم، همکاری می‌کنیم، مطالعه می‌کنیم، بهتر هست این همکاری‌ها متمرکز شود و از حدهای ۲۴ درصد بگذریم و بتوانیم ما هم هر آبی که از تصفیه‌خانه‌هایمان می‌آید بیرون را بازچرخانی کنیم و بتوانیم برای آن پتانسیل‌های مصرف مناسب پیدا کنیم. این پتانسیل‌های مصرف می‌تواند در بخش کشاورزی، در بخش صنعت، در بخش آبیاری فضای سبز باشد. یک مقدار قابل توجهش می‌تواند طبق بعضی از استانداردها و مطالعات، دوباره به زمین

برگردانده بشه و منابع آب زیرزمینی در واقع شارژ بشود. این‌ها همه‌اش یک‌طوری برمی‌گردد به نحوه تصفیه کردن ما. دقت کنید که ما آب قابل مصرف را، آب قابل شرب را با زحمت می‌رسانیم به بخش شبکه توزیع آب، شبکه توزیع آب می‌آورد به منازل، مردم از آن استفاده می‌کنند، این‌را به پساب تبدیل می‌کنند و این آب را می‌آوریم به تصفیه‌خانه‌ها. ببینید مثل بحث سرخرگ و سیاهرگ بدن می‌شود که چقدر منظم خون دارد می‌چرخد. سرخرگ‌ها را شما مثل توزیع آب در نظر بگیرید و سیاهرگ‌ها در واقع این پساب‌ها هستند که می‌آیند در یک سیستم تصفیه‌ای مثل ریه. سموم از بدن دفع می‌شود در مثانه و به‌صورت مدفوعات این تصفیه انجام می‌شود و دوباره این خون وارد سرخرگ‌ها می‌شود و می‌چرخد. تکمیل کردن این چرخه من فکر می‌کنم که اگرچه داریم کارهای خیلی زیادی انجام می‌دهیم باز هم خیلی فضا هست که بتوانیم دوباره در این زمینه متمرکز بشویم. این مسئله در واقع برمی‌گردد به کارکرد تصفیه‌خانه‌ها. دوستان زحمت خیلی زیادی می‌کشند و هزینه‌های خیلی زیادی انجام می‌شود ولی من فکر می‌کنم که ما یک مقدار همت بیشتری باید به خرج بدهیم تا این‌که تصفیه‌های خوبی هم انجام بدهیم. یعنی این آماری که دارد ارائه می‌شود که ۲۳۰ یا ۲۴۰ تصفیه‌خانه وجود دارد، سوالی که هست این‌که آیا همه این تصفیه‌خانه‌ها طبق استانداردهایی که سازمان محیط‌زیست یا سازمان‌های جهانی برای پساب وضع کردند، ۱۰۰ درصد تصفیه‌های مناسبی انجام می‌دهند یا به‌چه صورتی هست؟ به‌نظر می‌آید که خوب کار باید انجام بشود، یعنی ما باید همتی کنیم و آمارهای کاربردی در این خصوص داشته باشیم، تصفیه‌خانه‌هایی که به‌هر دلیلی به‌خاطر استهلاک و یا بهره‌برداری، یا هر چیز دیگری مشکل دارند و میتوانند بهتر باشند را رصد کنیم و آن‌ها را دوباره به چرخه تصفیه خوب برگردانیم. من فکر می‌کنم می‌توانیم یکی دوتا طبقه‌بندی در این زمینه داشته باشیم. اگر تجهیزات نیاز به بازرسی یا تعویض داشته باشد، یا این‌که فن بهره‌برداری. گاهی اوقات سازمان آب و فاضلاب کشور هزینه می‌کند به‌عنوان یک ارگان دولتی و با این هزینه می‌آید تجهیزات یا تصفیه‌خانه درست می‌کند، مشاور و پیمانکار می‌آید و همه این‌ها دست به دست هم می‌دهند، ولی در زمینه بهره‌برداری شاید آن‌جا یک پازل‌ها یا یک چیزهای گم‌شده‌ای وجود داشته باشد. آموزش آدم‌هایی که در بهره‌برداری می‌کنند، درآمدها به‌چه صورتی هست، و این‌که خروجی این تصفیه‌خانه‌ها واقعاً باید به‌صورت کامل رصد شود و اشکالاتش درآورده شود، بعد همدلی ایجاد بشود، ما هیچ موقع نباید بیایم بگوییم تقصیر این بوده تقصیر اون بوده. این جور چیزها کمی ما



را از هدف خودمان دور می‌کند. همدلی به این صورت هست که ارگانی که دارد مشاوره می‌دهد، ارگانی که پیمانکار است و این‌ها را ساخته، یا کسی که دارد نظارت می‌کند، سازمان محیط زیست، واقعاً نیاز به این پیدا کنند که این مشکل را حل کنند. منظورم این است که آمارهای ما هم نشان بدهد که الحمدالله همین تصفیه‌خانه‌ها که وجود دارند همشان دارند پساب‌هایی را بیرون می‌دهند که این پساب‌ها استانداردهای محیط‌زیستی را دارند. آن موقع شما خواهید دید که ما چقدر دستان باز است که این حجم از پساب‌هایی که تصفیه شده را در پتانسیل‌های مناسب استفاده کنیم هزینه‌ها به شدت کاهش پیدا خواهد کرد، دردسرهایی مانند این‌که این آب‌ها را دوباره تصفیه کنیم. می‌دانید که اگر تصفیه‌خانه خوب کار نکند پسابی که بیرون می‌دهد نه فاضلاب است و نه فاضلاب تصفیه شده. یک چیز بینابینی است که مقداری BOD و TSS و نیتروژن خواهد داشت که با روش‌های عادی لجن فعال دیگر نمی‌شود این‌ها را تصفیه کرد. برای RO هم مناسب نیست و خودش اصلاً یک معضل می‌شود. یعنی فاضلاب‌های نیمه تصفیه شده یا فاضلاب‌های بد تصفیه شده که به حد استاندارد نرسیده خودش یک معضل است و نمی‌توانیم از آن‌ها استفاده کنیم و خودش تبدیل به هرزآب خواهد شد.

#### دکتر اکبرزاده:

خیلی ممنون از شما. من خواهش می‌کنم آقای دکتر جهانی از شرکت مدیریت منابع آب مطالب خود را بیان بفرمایند.



#### دکتر جهانی:

بسم الله الرحمن الرحيم. با عرض سلام و ادب خدمت عزیزان حاضر در نشست. از حضرتعالی هم تشکر می‌کنم به خاطر هماهنگی برگزاری نشست با موضوع مهم بازیافت آب و نمک‌زدایی. خیلی سریع اشاره می‌کنم به برنامه‌های در دست اقدام در حوزه بازیافت آب و استفاده از پساب شهری و بیشتر می‌خواهم بپردازم به موانعی که پیش رو داریم. ضرورت و الزامات را دوستان فرمودند. خدمتتان عرض کنم که یکی از سیاست‌های اصلی و کلان مدیریت آب کشور در یک دهه اخیر بحث جایگزینی پساب شهری با منابع آب مصرفی با کیفیت در بخش‌های مختلفی از کشور که دارد استفاده می‌شود اعم از بخش‌های کشاورزی

صنعت و فضای سبز و در برخی از مناطق کشور هم نمونه‌ای از این طرح‌های جایگزینی به مرحله اجرا رسیده. اما در بحث صنعت تمرکزمان روی صنایع با مصرف آب بالا است خصوصاً صنایع فولاد، نیروگاه‌های کشور، نیروگاه‌های حرارتی که دارند از آب مصرفی چاه و آب با کیفیت استفاده می‌کنند. به عنوان نمونه نیروگاه شهید مفتاح همدان را آمدیم پساب همدان را به میزان ۱۰ میلیون و در افق در حدود ۱۵ میلیون مترمکعب در سال با حدود ۲۰ حلقه چاه به نیروگاه شهید مفتاح جایگزین کردیم. نیروگاه شهید منتظری اصفهان یکی از این طرح‌ها بود و اخیراً هم نیروگاه بناب در آذربایجان شرقی که در مرحله اجرا هست و نیاز به توسعه دارد و بقیه نیروگاه‌های کشور که دارند از آب با کیفیت استفاده می‌کنند. داریم برنامه‌ریزی می‌کنیم که انشالله همه این‌ها به مرحله اجرا برسد. در بحث فضای سبز هم خوشبختانه یک ماده قانونی داریم، قانون هوای پاک سال ۹۵ مجلس ابلاغ کرده. ماده ۲۲ قانون می‌گوید که برای تأمین آب فضای سبز شهرهای با جمعیت بالای ۵۰ هزار نفر جمعیت صرفاً باید از پساب استفاده شود و وزارت نیرو حق تخصیص هیچ آبی رو ندارد. در بحث فضای سبز شهری علی‌رغم ماده قانونی که به همه شهرداری‌ها ابلاغ شده است هنوز ما اقدام جدی نمی‌بینیم. در شهر تهران در سال ۹۹ وزارت نیرو با شهرداری تفاهم‌نامه‌ای امضا کرد که در افق ۱۴۱۰ حدود ۱۴۵ میلیون مترمکعب در سال از پساب شهری در آبیاری فضای سبز استفاده شود. از این میزان حدود ۸ میلیون فقط جایگزینی با چاه‌هایی هست که در شهر تهران، شهرداری استفاده می‌کرد. البته نیاز است که اقدام جدی از سوی شهرداری برای بقیه شهرهای کشور هم اتفاق بیفتد. در بحث جایگزینی پساب با آب مصرفی در بخش کشاورزی باز چالش‌هایی داریم و در خیلی از مناطق با عدم استقبال جامعه کشاورزان مواجه هستیم. در بخش بازیافت آب صنعتی هم که کمتر در این جلسه به آن اشاره شده، با توجه به قیمت پایین تعرفه آب، متأسفانه بازیافت و بازچرخانی آب در بخش‌های تولیدی و صنعتی پایین‌تر از حد انتظار ما است.

#### دکتر اکبرزاده:

من خواهش می‌کنم از حضار محترم در نشست اگر سؤالاتی را دارند بفرمایید که هر کدام از عزیزان هستند پاسخ بدهند.

#### میترا ابراهیمی:

با سلام و احترام. تغذیه آبخوان خیلی مغفول مانده در تخصیص‌های پساب، یعنی دائماً این پساب یک نقشی را دارد در

### خانم دکتر زهرایی:

در عمل در واقع بحث خیلی از تخصیص‌های پساب به شکل بارگذاری مجدد متأسفانه اتفاق افتاده ولی مدیریت منابع آب در تلاش است با آن کارگروه که با شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور تشکیل داده و در واقع در اعطای این مجوزهای تخصیص پساب، بحث تغذیه آبخوان‌ها را هم لحاظ کند و آن ملاحظات را ببیند. قطعاً کاستی‌هایی هست ولی در تلاش هستند که ملاحظات که دوستان به درستی گفتند را لحاظ کنند.

### دکتر اکبرزاده:

من بخشی از ارائه‌ای را که قرار بود آقای ارومیه انجام بدهند، من خدمت شما عرض می‌کنم که دوستان شاید سوالشان باشد. نمک‌زدایی آب شور در دریا را مقایسه کنیم با استفاده از استحصال آب یا بازیافت و این‌ها. قیمت عدد و رقمی که مرکز پژوهش‌های مجلس درآورده همراه با مدیریت منابع و توسعه پایدار، یعنی از اطلاعات استفاده کرده، عددهایش تقریباً ۰/۳ تا ۰/۶ دلار برای تصفیه و بازچرخانی هست و نمک‌زدایی آب شور دریا ۱ تا ۱/۵ دلار است که این عدد در ایران پایین‌تر است. لطفاً اطلاعات دقیق و به‌روزش را آقای مهندس کشفی ارائه کنند.

### مهندس کشفی:

ببینید ما برای این که ظرفیت را بگوییم و بدانیم که برای استفاده از آب دریا ۲۷ میلیارد مترمکعب وزارت نیرو اختصاص داده، این‌ها روی کاغذ هست، مهم این است که چقدرش استفاده می‌شود. این ۲۷ میلیارد برای مجموع تخصیصی است که برای استفاده شور و شیرین شده ارائه شده که برای بحث شیرین‌سازی ۸ میلیارد از این ۲۷ میلیارد اختصاص داده شده. معنایش این است که چیزی حدود ۲ میلیارد و ۷۰۰، قرار است شیرین شود و بقیه‌اش برگردد به دریا. از این ۲ میلیارد و ۷۰۰ برنامه وزارت نیرو این است که تا ۴ سال آینده یک میلیون مترمکعب در شبانه‌روز آب شیرین برای استفاده در شرب، آب شیرین‌کن داشته باشد. از محل خرید تضمینی تا الان حدود ۶۰۰ هزار مترمکعب محقق شده و قرارداد خرید تضمینی منعقد شده و چیزی حدود ۴۲۰ هزار تایش به بهره‌برداری رسیده و بقیه هم در حال ساخت هست و عن‌قرب به بهره‌برداری می‌رسد، مخصوصاً در استان‌های بوشهر و هرمزگان. بزرگترین آب‌شیرین‌کن کشور در بندرعباس هست و ۱۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز تولید دارد. بنابراین حدود ۵۶۰ تا ۶۰۰ هزار مترمکعب در شبانه‌روز الان موجود است. حدود ۴۰۰ هزار مترمکعب هم در برنامه ۴ ساله‌ای که وزیر نیرو ارائه دادند قرار

تخصیص‌ها بازی می‌کند و هم تخصیص جدید دارد روی آن داده می‌شود یا جایگزین تخصیص‌های قبلی می‌شود. عملاً چیزی قرار نیست به آبخوان برگردد و این در تخصیص‌ها خیلی مغفول واقع شده. طوری هم که این سیستم‌های فاضلاب طراحی شده‌اند، کل فاضلاب تهران قرار است برود جنوب تهران و هیچ راهی برای برگشتش به آبخوان‌های تهران وجود ندارد. این هم معضلی است که چه جوری قرار است جایگزین آب‌های آبیاری فضای سبز بشود. یعنی قرار است دوباره لوله‌کشی هم بکنند از جنوب تهران به سمت فضای سبز؟ چگونه قرار است این اتفاق بیفتد وقتی تصفیه‌خانه‌های محلی در سطح شهر وجود ندارد.

### مهندس کشفی:

اشاره خوبی بود که سرکار خانم مهندس فرمودند. به هر حال در بحث تخصیص وقتی تخصیص داده می‌شود قاعداً توجه به این موضوعات می‌شود. البته وقتی ما با محدودیت منابع آبی روبرو می‌شویم و مصارف را به دنبال خودمان می‌کشیم این اتفاقی که سرکار خانم به درستی اشاره کردند اتفاق می‌افتد. متأسفانه و شاید چه بسا روزمره‌گی ارجحیت پیدا می‌کند به مسائل بلندمدت‌تر. یعنی وقتی ما جایی امروز مصرف داریم و آن مصرف را اگر نداشته باشیم خیلی اتفاقات دیگر می‌افتد. اگر آب را تأمین نکنیم مشکلات معیشتی، مشکلات بیکار شدن بعضی از آدم‌ها که در صنایع دارند کار می‌کنند. پس می‌آییم از وضعیت موجود بهترین استفاده را می‌کنیم چه بسا اتفاقی که سرکار خانم می‌گویند در بعضی از نقاط ناشی از این تصمیم امروز ما، در آینده این اتفاق بیفتد. کما این که بحث فرونشست‌ها به شدت امروز مطرح هست و همین امروز بعدازظهر در کمیسیون عمران مجلس در این خصوص با حضور کارشناسان مربوطه قرار گذاشته شده برای ارائه، ناشی از همین موضوع هست که ایشان می‌فرمایند. منتهی همه این‌ها برمی‌گردد به محدودیتی که وجود دارد. به هر حال شما امروز مواجهید که با وجود عدم بارش‌های اساسی بارگذاری‌های زیادی شده که این‌ها شاید نباید می‌شده در برخی از جاها و جمع کردن آن‌ها کار امروز و فردا نیست. نیازمند زمان طولانی است. قاعداً مباحث فولاد در دشت مرکزی، معادن در یزد، فولاد در اصفهان، این‌ها جزء صنایع مادر کشور تلقی می‌شود و تأمین آب آن‌ها به شدت مورد توجه است. اگر شما در واقع این بارگذاری‌ها را دارید، و آب سطحی را می‌خواهید اختصاص بدهید به شرب و حقابه‌داران، قاعداً بهترین کار این است که در بخش صنعت، پساب تصفیه شده را بازچرخانی کنید.

در ارتباط با بندرعباس و استان‌های ساحلی ارائه کردند، قابل استفاده باشد برای یزد و کرمان و فلات مرکزی. ولی اگر منظور شما این هست که به صورت محلی باید حتماً دلیل داشته باشد استفاده از آن‌ها، اساساً یک کاری که باعث شد ما این نشست را با این عنوان این‌جا خدمت شما باشیم این هست که ما در خیلی از جاها ارزش افزوده داریم در بازیافت، یعنی تصفیه‌خانه قبلاً سرمایه‌گذاری انجام شده، فاضلاب را دارد تصفیه می‌کند ولی در کنارش مثلاً صناعی وجود دارد یا کشاورزی وجود دارد که از آن بی‌بهره است. البته در کشاورزی معمولاً این نقصان خیلی مشهود نیست، چون بالاخره از آن استفاده می‌کند. ولی در بخش صنعت بسیار محسوس است و دلیل اصلیش دوتا موضوع بود که بنده عرض کردم. وقتی که شما تعرفه‌ای که برای خرید آب برای صنعت تصویب کردید کوچک‌تر از این باشد که پساب تصفیه شده را بخواهد بخرد طبیعتاً این‌جا از آب بازیافتی استفاده نمی‌کند. بنابراین یکی از خروجی‌های این نشست این باشد که مصوبه و یا قانون و یا دستورالعملی در کشور تصویب بشود که برای مکان‌هایی که از قبل سرمایه‌گذاری انجام شده، تصفیه فاضلاب شهری دارد انجام می‌شود و در نزدیکی این‌جا صنایع مختلف مستقر هستند، اجازه ندهیم صنایع از آب خام استفاده کنند و آن آب را اجازه بدهیم برای مصارف شرب استفاده بشود. ولی صنعت با توجه به توانمندی خودش و این‌که می‌تواند اقتصاد خودش را بچرخاند، در واقع در آن دستورالعمل با شرایطی مجبور بشود که از پساب استفاده کند و اگر لازم هست این پساب را در حد بالاتری تصفیه کند که مثلاً برای cooling tower یا boiler استفاده کند. همان کاری که مثلاً در پالایشگاه تهران از طریق قراردادی که منعقد کرده با تصفیه‌خانه جنوب تهران انجام می‌شود.

اگر اجازه بدهید با توجه به محدودیت وقت به نشست خاتمه بدهم. می‌دانم که سوالات زیادی وجود دارد. من شخصاً خیلی خوشحال می‌شوم که اگر سوالی هست از طریق سایت انجمن که در دسترس شما است بفرستید حتماً با بقیه دوستان پاسخ می‌دهیم. عزیزان را به خدای بزرگ می‌سپارم.

هست که در آینده برای بخش شرب اضافه شود. حالا بخشی از آن در چهار استان ساحلی استفاده می‌شد و یک بخشی هم منتقل می‌شود به دشت مرکزی. در ارتباط با قیمت، بحث آقای ارومیه بحث درستی می‌تواند باشد ولی ما در ایران با توجه به این‌که یک بخشی از کار بومی شده و نیروی کار هم ارزان است، متوسط شیرین‌سازی در کنار دریا امروز در سال ۱۴۰۰ حدود ۱۳ هزار تومان است. یعنی ممکن است در برخی از جاها کمتر باشد با توجه به حجم و جایی که ساخته شده و در برخی از جاها بیشتر باشد ولی به عنوان متوسطه این عدد در ذهنتان باشد. هر سال با توجه به سیاست‌های اعلامی بانک مرکزی این‌ها هم تعدیل می‌شود. برای آب لب‌شور حدود ۹ هزار تومان است. یعنی یک مقدار از آب دریا ارزانتر است.



#### بایک گلکار:

یه سوال بنیادی من داشتم. با چه شاخص‌هایی ما باید تصمیم بگیریم که از تصفیه پساب استفاده بکنیم و آیا مطالعه‌ای انجام شده که مقایسه‌ای بکند بین بحث شیرین‌سازی آب دریا و انتقالش به صنایع و شاخص‌هایش را در بیاورد و تبعاتش را از تمام جهات محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی با تصفیه پساب انجام بدهد، که در نهایت برسد به این‌که بهترین گزینه بحث تصفیه پساب است. این فرمایش آقای کشفی که می‌فرمایند تصفیه پساب بهترین گزینه است بر مبنای مطالعه‌ای یا گزارشی هست و ما چه طور می‌توانیم دسترسی داشته باشیم به این اطلاعات؟

#### آقای دکتر اکبرزاده:

خدمت شما عرض شود در ارائه بنده یک گزارش کاری بود مربوط به کشور اردن، که در واقع گزینه‌های مختلف استفاده شامل نمک‌زدایی بود و بقیه گزینه‌ها را از نظر محیط‌زیستی و اقتصادی و در دسترس بودن و قابل اطمینان بودن باهم مقایسه کرده بودند و به این نتیجه رسیدند که این گزینه‌ها بهتر هست. مطمئناً در کشور ما هم همین‌طور است. من عرض کردم که انتخاب کردن این‌که چه سیستمی را کجا استفاده کنیم به خصوص برای کشور ما که بسیار کشور بزرگی است و تنوع آب و هوایی و تنوع منابع دارد، حتماً تصمیم‌گیری ما به صورت یکپارچه نخواهد بود که مثلاً یک نسخه را بپیچیم. مثلاً همان نسخه‌ای که آقای مهندس کشفی

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



دانشکده دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

عنوان: ساخت حسگرهای پلاسمونیک بر پایه نانوذرات نقره برای اندازه‌گیری یون‌های سرب و جیوه

نگارش: امیرمصطفی امیرجانی

استاد راهنما: دکتر داود حق‌شناس فتمه‌سری

تاریخ: بهار ۱۳۹۸

### چکیده

شد. مدل جدید بدون استفاده از فرض‌های ساده‌شونده مدل اصلی فینک-واتزکی ( $[A] < [A]_0$  و  $k_1 \ll k_2[A]$ ) قادر بود در بازه زمانی بیشتری جوانه‌زنی و رشد نانوذرات نقره را توصیف کند و همچنین مدل واقعی‌تری برای این پدیده ارائه دهد. مطابق با نتایج به‌دست آمده، نسبت  $k_1/k_2$  با افزایش مقدار PVP در سیستم کاهش و مقدار  $k_2$  افزایش یافت که نشان‌دهنده حفظ جوانه‌های تشکیل شده و رشد آن‌ها در حضور مقادیر بیشتر PVP در سیستم بود. با استفاده از نتایج به‌دست آمده سینتیک سنتز نانوذرات نقره کنترل شده و نانوذرات با توزیع ابعادی باریک‌تری سنتز شد. نانوساختارهای نقره با استفاده از آمینوسیلان APTES روی زیرلایه شیشه با توزیع مناسب تثبیت شد که می‌تواند به‌منظور ساخت حسگرهای پلاسمونیک مبتنی بر زیرلایه مورد استفاده قرارگیرد. مطابق با نتایج به‌دست آمده، pH محلول نانوذرات برای مرحله تثبیت باید برابر با ۶ و از اتانول به‌عنوان حلال آمینوسیلان استفاده شد. غلظت آمینوسیلان برابر با ۰.۳٪ به‌عنوان مقدار بهینه تعیین شد. همچنین به کمک اتیلن‌دی‌آمین به‌عنوان واسط بین نانوذرات و زیرلایه پت، نانوذرات نقره روی پت به‌عنوان یک زیرلایه انعطاف‌پذیر تثبیت شد. استفاده از این زیرلایه‌ها می‌تواند کاربرد نانوحسگرهای پلاسمونیک برای نمونه‌های حقیقی را افزایش دهد. با استفاده از نانوساختارهای مثلثی و قراردادن این نانوساختارها در مجاورت نانولوله‌های کربنی، تقویت تابش فلورسانس رخ داد و شدت این تقویت تابش حتی تا ۲۰ برابر افزایش داشت. در راستای ساخت حسگرهای پلاسمونیک به کمک نانوذرات نقره، با استفاده از یک روش مشخصه‌یابی جدید (استفاده از تلفن همراه هوشمند) و بهره‌گیری از روش‌های آنالیز تصویر مقدار آمونیا با حد تشخیص ۲۰۰ ppm شناسایی شد که با توجه به سادگی فرایند روش مناسبی برای شناسایی آمونیا در محلول‌های آبی بود.

کلمات کلیدی: حسگرهای پلاسمونیک، رنگ‌سنجی، نانوذرات نقره، یون‌های سرب و جیوه

خواص منحصر به‌فرد نانومواد منجر به ابداع و ظهور روش‌های نوین و متنوع شناسایی و اندازه‌گیری و به‌تبع آن ساخت انواع حسگرها با حساسیت بالا شده است. در این بین حسگرهای پلاسمونیک جایگاه مهمی دارند که این جایگاه مرهون خواص منحصر به‌فرد نوری نانوذرات فلزی است. در این پژوهش با تأکید بر خواص پلاسمونیک نقره، نانوحسگرهایی برای شناسایی یون‌های سرب و جیوه در محلول‌های آبی تهیه شد. نانوساختارهای مثلثی نقره با استفاده از سدیم برویدرید به‌عنوان عامل احیا و هیدروژن پراکسید به‌عنوان عامل تغییر شکل در حضور یون سترات سنتز شد. مطابق با نتایج به‌دست آمده با تغییر مقدار هیدروژن پراکسید در بازه ۱۰ الی ۷۵ میکرولیتر، موقعیت پیک پلاسمونیک نانومثلث‌ها در بازه ۵۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر تغییر کرد. با عامل‌دار کردن نانوذرات مثلثی نقره توسط گروه‌های سترات پاسخ انتخابی به یون جیوه مشاهده شد و نانوحسگر تهیه شده قادر بود در بازه غلظتی ۱۰ نانومولار تا ۵۰ میکرومولار با حد تشخیص ۴ نانومولار این یون را شناسایی کند. قدرت انتخابی زیاد این نانوحسگر به حدی بود که در حضور سایر یون‌های فلزی مانند  $\text{Ni}^{2+}$ ،  $\text{Co}^{2+}$ ،  $\text{Fe}^{3+}$ ،  $\text{Mn}^{2+}$ ،  $\text{Pb}^{2+}$  و  $\text{Cd}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Zn}^{2+}$ ،  $\text{Cu}^{2+}$  قادر بود یون جیوه را شناسایی نماید. برای شناسایی یون سرب از نانوذرات کرومی عامل‌دار شده با ال‌تایروزین استفاده شد. گروه هیدروکسیل موجود در این لیگاند تمایل زیادی برای برهم‌کنش به صورت انتخابی با یون سرب در بازه غلظتی ۱ تا ۱۰۰۰ نانومولار نشان داد. حد تشخیص این نانوحسگر برای شناسایی یون سرب در محلول‌های آبی ۱ نانومولار بود. الکترون‌دهی گروه هیدروکسیل با قرارگرفتن در مقدار pH برابر با ۱۰، به نحوی است که بهترین برهم‌کنش را با یون سرب برقرار می‌کرد که منجر به انباشت نانوذرات نقره در حضور یون سرب شد. درصد خطای ناشی از حضور سایر یون‌های فلزی در فرایند شناسایی کمتر از ۱۰ درصد بود. همچنین سینتیک جوانه‌زنی و رشد این نانوساختارها مورد مطالعه قرار گرفت و یک مدل ریاضی جدید به‌عنوان اصلاحی بر مدل فینک-واتزکی معرفی

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



دانشکده بهداشت

عنوان: بررسی کارایی اکسیداسیون فتوکاتالیستی آنتی بیوتیک های سفکسیم و سیپروفلوکساسین از محیط های آبی با استفاده از فتوکاتالیست  $\text{BiFeO}_3$  به روش سطح پاسخ (RSM)  
نگارش: رقیه مصطفی لو  
استاد راهنما: دکتر مهدی اسدی قالهری  
استادان مشاور: دکتر محمدحسن محمودیان، دکتر حسن ایزانلو  
تاریخ: تابستان ۱۳۹۸

## چکیده

پاسخ دهنده به نور مرئی BFO می تواند به عنوان فتوکاتالیست برای حذف آنتی بیوتیک های سفکسیم و سیپروفلوکساسین کارآمد باشد.

**واژگان کلیدی:**  $\text{BiFeO}_3$ ، تخریب فتوکاتالیستی، محیط آبی، سفکسیم، سیپروفلوکساسین، متدولوژی سطح پاسخ، پاسخ مرکب.

**زمینه و هدف:** در سال های اخیر، باقی مانده های آنتی بیوتیک ها در محلول های آبی شناسایی شده است. حضور این ترکیبات در محیط های آبی، به دلیل تغییرات بسیار در اکوسیستم، نگرانی های بسیاری به وجود می آورد. در میان روش های حذف آنتی بیوتیک، به نظر می رسد فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)، امیدوارکننده ترین روش هستند. از این رو هدف مطالعه حاضر حذف آنتی بیوتیک های سفکسیم و سیپروفلوکساسین با استفاده از فعالیت فتوکاتالیستی  $\text{BiFeO}_3$  است.

**روش تحقیق:** ارتباط پنج پارامتر اصلی شامل، pH (۳-۹)، زمان تماس (۲-۹۰ min)، غلظت اولیه آنتی بیوتیک (۱-۱۵ mg/L)، دوز BFO (۵-۵۰ g/L) و دمای واکنش (۱۰-۵۰ °C) بر کارایی حذف CIP و CFX به روش متدولوژی سطح پاسخ بررسی شد.

**یافته ها:** بهترین پاسخ مرکب برای حذف سفکسیم با BFO، کارایی حذف ۹۸/۸۹٪ در pH برابر با ۶/۷۵، غلظت اولیه برابر با ۰/۱۶ mg/L، دوز BFO ۲/۹۶ g/L، دمای واکنش ۱۵/۲۳ °C و زمان ۳۷/۳۸ min به دست آمد. برای آنتی بیوتیک سیپروفلوکساسین، کارایی حذف ۱۰۰٪ در pH برابر با ۷/۸۲، غلظت اولیه برابر با ۰/۰۳ mg/L، دوز BFO ۳ g/L، دمای واکنش ۲۰/۴۱ °C و در زمان ۴۹/۵۸ min به دست آمد.  
**نتیجه گیری:** با توجه به کارایی حذف مناسب، فرایند کاتالیستی



## رتبه اول سومین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۰)



عنوان: خوانش کنتورهای آب مشترکین آب شهری به کمک پهبادهای هوشمند

نگارندگان: سید قاسم رضوی و محسن رضائی

کارشناس ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ: اسفند ۱۴۰۰

### چکیده

#### مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های عمده پیش‌روی شرکت‌های آب و فاضلاب شهری بررسی و تخمین میزان مصرف مشترکین است. چرا که عدم دسترسی به داده‌های دقیق، منجر به برنامه‌ریزی ناصحیح و هم‌چنین عدم درآمدزایی برای مجموعه ذکر شده خواهد شد. بنابراین همواره خوانش صحیح کنتورهای مشترکین آب جزء لاینفک برنامه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب بوده است. علاوه بر این، باز هم می‌توان از هدررفت احتمالی آب به واسطه خرابی‌های شبکه جلوگیری نمود و هم یکی از موانع آب بدون درآمد را مرتفع کرد. چرا که به کمک این روش می‌توان به اختلاف موجود میان کنتور مخزن و مشترکین پی‌برد (نشت شبکه) و هم‌چنین با بررسی دقیق‌تر، حتی نشت در انشعابات نیز مشخص خواهد شد. با توجه به توضیحات فوق، نویسندگان بر آن شدند که روشی را برای خوانش کنتورهای مشترکین ارائه دهند که بتواند مشکلی از مشکلات و عدم قطعیت‌های موجود در روش‌های فعلی را برطرف سازد.

#### ایده پیشنهادی

ایده اصلی به این صورت است که ابتدا در کنتورهای آب مشترکین یک قطعه فرستنده رادیویی متصل می‌شود که داده‌های مصرف را به صورت مداوم در شعاعی مشخص ارسال می‌نماید. لذا دیگر نیازی به خوانش هر کنتور به صورت مجزا نیست. از سوی دیگر پهبادهای هوشمند که مجهز به گیرنده مخصوص برای داده‌های ارسالی کنتور هستند، داده‌ها را دریافت نموده و می‌توانند به راحتی توسط یک اپراتور برای یک محله/منطقه به خوانش و اندازه‌گیری مصرف مشترکین بپردازند.

#### روش پیشنهادی

ابتدا کنتورهای مشترکین به قطعه مخصوصی مجهز می‌شوند که داده‌های کنتور را دریافت و به صورت یک دستگاه فرستنده رادیویی (که

معایب کنتورهای مجهز به سیم‌کارت و اخلاف در اینترنت را ندارند) عمل می‌کند. این روش این امکان را می‌دهد تا بتوان به صورت مداوم وضعیت مصرف را مورد پایش قرارداد. سپس باید یک دستگاه گیرنده در پهباد نصب شود که توانایی دریافت سیگنال‌های کنتورها را داشته باشد (این دستگاه‌ها در صنایع ارتباطی کاربرد فراوانی دارند و به وفور در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرند). به کمک یک اپراتور، پهباد با پیمایش از کنار هر ساختمان می‌تواند داده‌ها را دریافت نماید. این داده‌ها می‌تواند در خود پهباد ذخیره شوند و در انتها در سیستم پیاده شوند یا به صورت برخط به واحد مربوطه در شرکت مجری قرائت کنتورها ارسال شوند. استفاده از پهباد این امکان را می‌دهد که در اسرع وقت بدون وجود خطا داده‌ها به صورت مداوم استخراج و ارسال شوند. برای تهیه پهباد و وسایل ارتباطی ذکر شده، نیاز به دانش‌های پیشرفته نیست و خوش‌بختانه امروزه به وفور در صنایع مختلف از پهبادها استفاده می‌شود.

#### سخن آخر

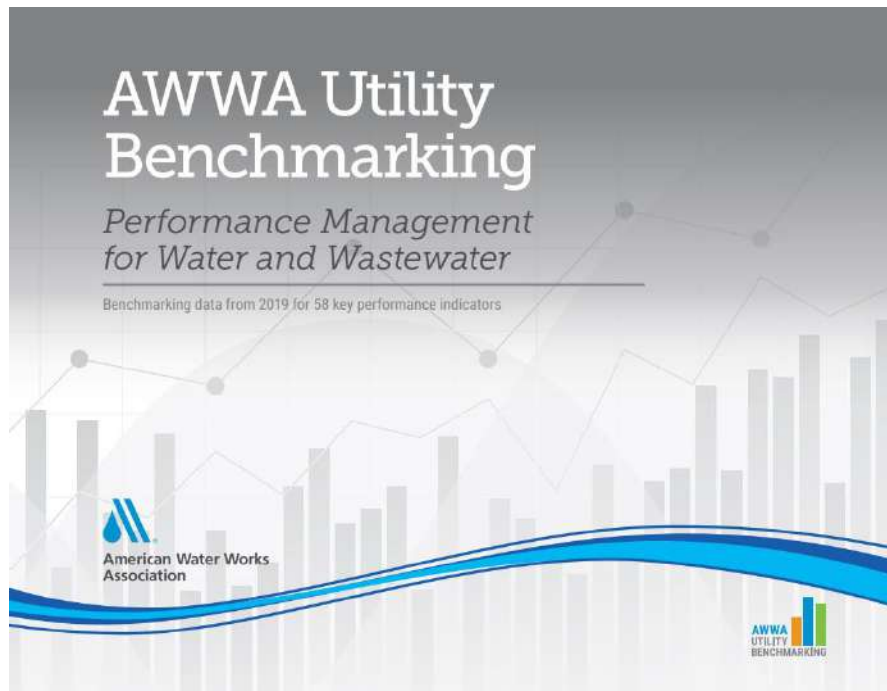
در انتها باید یادآور شد که این روش امکان دسترسی به داده‌های دقیق مصرف آب مشترکین را فراهم می‌سازد و در عین حال روش مقرون به صرفه‌ای است. چرا که افراد زیادی برای قرائت کنتور مورد نیاز نیست و تنها یک اپراتور می‌تواند به راحتی به خوانش کنتور یک منطقه/محله بپردازد. ضمن این که خطای قرائت کنتور نیز به طرز محسوسی کاهش می‌یابد. لذا می‌توان ادعا نمود که این روش نقش بزرگی در کاهش آب بدون درآمد ایفا خواهد نمود. علاوه بر این، این پایش می‌تواند مداوم باشد و تنها محدود به زمان خاصی از ماه نباشد. این روش برای شهرهای بزرگ با تعداد مشترکین زیاد و تراکم بیشتر ساختمان‌ها می‌تواند اقتصادی‌تر باشد. باید به این نکته اشاره کرد که استفاده از تکنولوژی‌های روز اگرچه در ابتدا با چالش‌هایی همراه است، به مرور زمان مزایای اقتصادی و غیراقتصادی خود را نشان خواهد داد.

عنوان: بنچ‌مارک کردن شرکت‌های خدمات‌رسان انجمن کارهای آبی آمریکا (AWWA)

مدیریت عملکرد برای آب و فاضلاب

ناشر: انجمن کارهای آبی آمریکا (AWWA)

زمان انتشار: ۲۰۲۰



داده‌های جمع‌آوری شده برای بنچ‌مارک کردن<sup>۱</sup> یا محک زدن، یک چارچوب برای یک شرکت خدمات‌رسان (نظیر یک شرکت آب و فاضلاب) ارائه می‌کند تا بتواند اهداف و میزان پیشرفت خود را مورد بررسی قرار دهد. استفاده از داده‌های بنچ‌مارک یا شروع کردن به فرآیند اندازه‌گیری عملکرد، می‌تواند کلیدی برای بهبود کارایی باشد. پیشرفت‌های موثر و کارآمد شرکت‌های خدمات‌رسان، به‌منظور ارضای توقع‌های مشتریان، مدیریت نرخ‌ها و انطباق بیشتر با مقررات دقیق و سختگیرانه، لازم است. به‌صورت کلی، بنچ‌مارک کردن یک ابزار با ارزش برای مدیران سامانه‌های آب و فاضلاب و تصمیم‌گیران است تا بتوانند به‌صورت سیستماتیک، کارایی خود را بهبود بخشند. انجمن کارهای آبی آمریکا (AWWA) توسعه برنامه بنچ‌مارک کردن شرکت‌های خدمات‌رسان را در سال ۱۹۹۵ میلادی با هدف در اختیار قراردادن اندازه‌گیری عملکرد شرکت‌های خدمات‌رسان آب و فاضلاب برای پیگیری و ردیابی‌های داخلی و مقایسه‌های خارجی، شروع کرد.

در این کتاب، شاخص‌های عملکردی برای پنج حوزه عملیاتی شامل: توسعه سازمانی، ارتباط مشتریان، عملیات کسب و کار، بهره‌برداری از آب و بهره‌برداری از فاضلاب، ارائه شده است. داده‌های مذکور از ۳۸ ایالت در ایالات متحده آمریکا، دو استان در کانادا، ساموآی آمریکا و پورتوریکو تهیه شده است. شرکت‌های خدمات‌رسانی که از داده‌های آن‌ها استفاده شده است، محدوده جمعیت ۱۰ الی ۵۰۰ هزار نفر را تحت پوشش قرار می‌دهند. خلاصه‌ای از داده‌های مربوط به عملکرد آن‌ها در سال مالی ۲۰۱۹ در این گزارش موجود است. همچنین در موارد ممکن، روندهای تاریخی از بررسی‌های قبلی AWWA مربوط به بنچ‌مارک کردن شرکت‌های خدمات‌رسان، آورده شده است. اطلاعات بیشتری از این کتاب، در لینک زیر قابل دسترسی است:

<https://www.awwa.org/Store/Product-Details/productId/86710740>

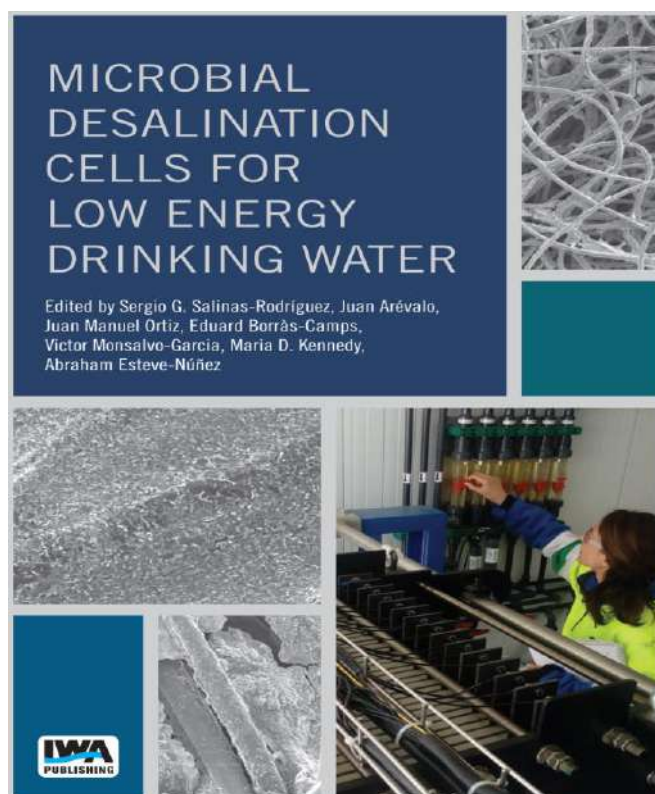
<sup>۱</sup> Benchmarking

<sup>۲</sup> American Water Works Association

## پیل‌های نمک‌زدایی میکروبی برای (تولید) آب آشامیدنی با انرژی پایین

ناشر: IWWA

زمان انتشار: ۲۰۲۱



استفاده از روش‌هایی که نیاز به انرژی کمتری برای تولید آب‌های آشامیدنی دارند، به‌صورت روزافزونی در حال گسترش است. یک MIDES<sup>۱</sup> از پیل‌های نمک‌زدایی میکروبی (MDCs) به‌عنوان پیش‌تصفیه برای فرآیند اسمز معکوس (RO) استفاده می‌کند. در نتیجه، فرآیند هم‌زمان نمک‌زدایی از آب شور و تصفیه فاضلاب با استفاده از آن امکان‌پذیر است. پیل‌های نمک‌زدایی میکروبی، براساس فناوری بیوالکتروشیمیایی هستند که در آن تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌تواند به غشاهای تبادل یونی که نیازی به انرژی خارجی ورودی ندارند، متصل شود. MDC ها، به‌صورت هم‌زمان فاضلاب را تصفیه کرده و نمک‌زدایی را با استفاده از انرژی موجود در فاضلاب انجام می‌دهند. در واقع، یک MDC می‌تواند حدود ۱/۸ کیلووات‌ساعت (kWh) بیوالکتریسیته از انرژی موجود در یک مترمکعب فاضلاب، تولید کند. در مقایسه با استفاده از فرآیند RO متعارف، بیشتر از ۳ kWh/m<sup>۳</sup> انرژی الکتریکی، صرفه‌جویی می‌شود. توسط این فناوری نوین، دو خط آب با کیفیت پایین (آب شور و فاضلاب) به دو خطوط با کیفیت بالا (آب نمک‌زدایی شده و پساب) تبدیل شده و مورد استفاده بعدی قرار می‌گیرند.

این کتاب، اطلاعات به‌دست آورده شده در پروژه MIDES که مورد حمایت مالی اتحادیه اروپا بود را ارائه داده و شامل آخرین توسعه‌های مربوط به نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور با استفاده از فناوری جدید پیل‌های نمک‌زدایی میکروبی است. این پروژه در سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ با هدف ایجاد انقلابی در روش نمک‌زدایی، توسط توسعه یک فرآیند پایداری که نیاز به انرژی کمی برای تولید آب آشامیدنی ایمن دارند، پیاده‌سازی شد. مواردی همچون الکترودهای با ساختار نانو، غشاهای ضد رسوب، طراحی و بهینه‌سازی رآکتور الکتروشیمیایی، ارزیابی چرخه حیات، الکتروشیمی میکروبی و کنترل و مهندسی فرآیند، از جمله مواردی است که به آن پرداخته شده است. این کتاب به‌صورت رایگان از لینک زیر قابل دریافت است:

<https://iwaponline.com/ebooks/book/826/Microbial-Desalination-Cells-for-Low-Energy>

<sup>۱</sup> Microbial Desalination for Low Energy Drinking Water

<sup>۲</sup> Microbial Desalination Cells

<sup>۳</sup> Reverse Osmosis

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه اول سال ۱۴۰۱ به شرح زیر است:

- برگزاری بیست و یکمین وبینار انجمن آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۱/۲۴)
- برگزاری جلسه شصت و یکم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۱/۳۱)
- برگزاری جلسه هماهنگی مسئولین تحقیقاتی وزارت علوم و وزارت نیرو با حضور رئیس هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۱/۳۱)
- انتشار خبرنامه شماره ۷۳ انجمن (۱۴۰۱/۰۱/۳۱)
- برگزاری بیست و سومین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران توسط آقای دکتر امین ابراهیم بخشی پور از دانشگاه صنعتی کایزرسلاوترن آلمان با عنوان "طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری" (۱۴۰۱/۰۲/۰۷)
- انتشار مقالات کامل پذیرفته شده در اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۴۰۱/۰۲/۳۰)
- برگزاری جلسه شصت و دوم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۳/۰۴)
- انتخاب عضو هیئت مدیره انجمن به عنوان مدرس برتر صنعت آب و برق در سال ۱۴۰۰ (۱۴۰۱/۰۲/۲۵)
- برگزاری جلسه ۶ شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۱ (۱۴۰۱/۰۲/۱۱)
- انتشار خبرنامه شماره ۷۴ انجمن (۱۴۰۱/۰۲/۳۱)
- برگزاری جلسه ۷ شورای سیاستگذاری کنگره ۱۴۰۱ (۱۴۰۱/۰۳/۰۱)
- امضای تفاهم‌نامه همکاری انجمن آب و فاضلاب ایران با دانشگاه‌های قم و علوم پزشکی قم (۱۴۰۱/۰۳/۰۱)
- انتشار پوستر سومین دوره المپیاد آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۳/۰۳)
- برگزاری بیست و سومین وبینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران توسط آقای دکتر مهدی دینی، دانشیار دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با عنوان "چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع" (۱۴۰۱/۰۲/۰۷)
- برگزاری اولین جلسه کمیته فنی ۲۲۴، خدمات و زیرساخت‌های آب شرب، فاضلاب و رواناب سطحی، ISO TC 224 با مشارکت کمیته‌های تخصصی انجمن (۱۴۰۱/۰۳/۲۲)
- انتشار خبرنامه شماره ۷۵ انجمن (۱۴۰۱/۰۳/۳۱)





- مطالب این شماره
- اخبار انجمن
- معرفی استادان
- معرفی نرگزاران
- معرفی کتاب
- تازه های آپارات
- اعضای هیئت مدیره

همکاران این شماره:  
دکتر مسعود تاشی  
دکتر جعفر یزدی  
محمد شاهسوندی  
محمد تجارزادگان  
سید احمد رضا شاهنگیز

34 مجلسه ششم

ما توجه به این استراتژی کمترین و مفیدترین مصرف آب در کوره های آه، آهک این سیستم کنونی که در شب از کوره استفاده می کنند قابل اندازه گیری است؟

مقاله نظرات خود را به آدرس ایمیل  
comp.irvwa@gmail.com  
فرستاد. ارسال فرمایید. در قسمت  
subject ایمیل عنوان مسائله را وارد  
کنید به غیر از فرجه عینی به یکی از  
گوشه ها متن وارد کنید. ایمیل می شود

**سخن اول:**

مستند به پیشینه پژوهشی که در این فصل قرار می‌گیرد، از این امر بی‌خبرانه و آگاهانه استفاده می‌شود. در این فصل، به بررسی و تحلیل داده‌های موجود در زمینه‌های مختلف می‌پردازیم. در این فصل، به بررسی و تحلیل داده‌های موجود در زمینه‌های مختلف می‌پردازیم. در این فصل، به بررسی و تحلیل داده‌های موجود در زمینه‌های مختلف می‌پردازیم.



- مطالب این شماره:
- اخبار انجمن
- معرفی دستگاه
- معرفی لوازمات
- معرفی کتاب
- تازه های آپارات
- انضای حقوقی
- لیست همایشها

محققان این شماره:  
دکتر مسعود تابش  
دکتر جعفر یزدی  
محمد شاهسوندی  
فاطمه معاشی

سخن اول:

به انسانی آموختن و اخلاقیات، باقیه مقدار بقدر ابرو درآمده است. کسی که بطور متعمده آموختن را در نظر ندارد و در وقت خود عهد آن را در وقت و ثلثات گذشتگی میکند می تواند به نفعش نشد. در شبکه های آرماسی علاوه بر الکاف ایا باعث کاهش در مصرف می شود؟ به نظر می رسد که تفاوت آن در عمل در شبکه است. تفاوت در میزان آن است. همین تفاوت باعث شد که در طول زمان برای همین امری که در شبکه های آرماسی به صرف می شود تفاوت داشت و روش ساختن می شود از این آیین ایا روش های جدید و روش آموختن به سیستم های غیرمورد نیاز به پایه داده ای برای جریان حداقل شده و در یک روش داده ای می شود. زمانی که صرف می شود حداقل و تفاوت در این سیستم بقدر است. در طرف در زمان حداقل جریان شبکه از میزان جریان به نفع است. تفاوت به نفع می شود. همین مقدار فقط در این ابرو، در این حالت حداقل می شود. در طرف دیگر، در زمان حداقل به نفع است. از طرفی در زمان حداقل جریان به نفع به نفع می باشد و ایا باید با نفع می باشد. از طرفی در زمان حداقل به نفع می باشد.



- مطالب این شماره:
- اندرز قدیم
- معرفی استادان
- معرفی ترم افتخار
- معرفی کتاب
- تازه های اپارات
- اقتباس جلالی

همکاران این شماره:  
دکتر مسعود تالش  
دکتر جعفر یزدی  
محمد شایسوندی  
رضا معاشری  
محمد نجارادگان

### سخن اول:

[illegible]



| ردیف | رویداد                                        | موضوع (ارائه دهنده)                                                                                                                   | لینک آپارات                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | وبینارهای تخصصی<br>انجمن آب و<br>فاضلاب ایران | ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب<br>(دکتر عبدالله رشیدی)                                                                               | <a href="https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845">https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=28325845</a> |
|      |                                               | راه کارهای بهبود کیفیت پساب برکه‌های تثبیت فاضلاب<br>(دکتر حسین ساسانی)                                                               | <a href="https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448">https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=28327448</a> |
|      |                                               | مروری بر ظرفیت‌های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه<br>آب کشور (دکتر مجتبی شفیع)                                                         | <a href="https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530">https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=29641530</a> |
|      |                                               | نشت‌یابی در شبکه‌های آبرسانی<br>(دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)                                                                        | <a href="https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237">https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=28368237</a> |
|      |                                               | مدیریت شورابه‌های ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی با<br>تاکید بر فناوری‌های ZLD (دکتر عباس اکبرزاده)                                     | <a href="https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968">https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=30860968</a> |
|      |                                               | چالش‌های روش‌های جایگزین برای بهبود و مدیریت<br>کیفیت آب (دکتر مسعود یونسین، مهندس سلیمه<br>رضایی‌نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده) | <a href="https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673">https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673</a>     |
|      |                                               | ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری قابلیت‌ها<br>و محدودیت‌ها (دکتر کوروش بهزادیان)                                              | <a href="https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803">https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=33226803</a> |
|      |                                               | سواد آبی در جوامع شهری (دکتر شروین جمشیدی)                                                                                            | <a href="https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002">https://www.aparat.com/v/FPtCY?playlist=34242002</a> |
|      |                                               | تأثیرات شرایط اقلیمی بر روی ظرفیت شبکه‌ها و شکست<br>(دکتر احسان روشنی)                                                                | <a href="https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047">https://www.aparat.com/v/5c7Ph?playlist=35313047</a> |
|      |                                               | ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با<br>رویکرد چرخه حیات (LCA) (مهندس هانیه صفریور)                                      | <a href="https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113">https://www.aparat.com/v/W8P7J?playlist=35547113</a> |
|      |                                               | کاربردهای اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب<br>(دکتر سیدحسین سجادی‌فر)                                                                 | <a href="https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652">https://www.aparat.com/v/y1euk?playlist=36262652</a> |
|      |                                               | توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با<br>رویکرد تمرکززدایی (دکتر علی حقیقی)                                              | <a href="https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753">https://www.aparat.com/v/36WoO?playlist=37676753</a> |
|      |                                               | نقشه‌راه برای ارتقای شبکه‌های آبرسانی موجود به<br>هوشمند (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده)                                               | <a href="https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090">https://www.aparat.com/v/f8dyx?playlist=37677090</a> |
|      |                                               | مبانی نظری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار<br>شبکه‌های توزیع آب (دکتر مسعود تابش)                                                       | <a href="https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690">https://www.aparat.com/v/RPkeb?playlist=38227690</a> |
|      |                                               | آشنایی با تکنیک PCR در تحقیقات محیط‌زیست و<br>بهداشت محیط (دکتر رحیم عالی)                                                            | <a href="https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474">https://www.aparat.com/v/mbNDM?playlist=39035474</a> |
|      |                                               | بررسی ۲۵۰۰۰ مقاله محیط‌زیست برای یافتن داغترین<br>موضوعات تحقیقاتی (دکتر علیرضا بازارگان)                                             | <a href="https://www.aparat.com/v/hwC9l?playlist=39248099">https://www.aparat.com/v/hwC9l?playlist=39248099</a> |
|      |                                               | توسعه مدل روندیابی مقیاس قاره‌ای میزوروت به منظور<br>لحاظ دریاچه‌ها و مخازن (دکتر شروان قراری)                                        | <a href="https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537">https://www.aparat.com/v/6Ewy5?playlist=39248537</a> |
|      |                                               | مروری بر وضعیت و تجارب تصفیه آب و فاضلاب در<br>ژاپن (دکتر یحیی محزون)                                                                 | <a href="https://www.aparat.com/v/epxDt">https://www.aparat.com/v/epxDt</a>                                     |
|      |                                               | سیستم‌های آبی پایدار و تاب‌آور (دکتر راضیه فرمانی)                                                                                    | <a href="https://www.aparat.com/v/EaeTg">https://www.aparat.com/v/EaeTg</a>                                     |
|      |                                               | ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های توزیع آب<br>(دکتر سعید هاشمی)                                                                 | <a href="https://www.aparat.com/v/3sxtT?playlist=737673">https://www.aparat.com/v/3sxtT?playlist=737673</a>     |
|      |                                               | بازچرخانی و مدیریت کیفی زهاب‌های کشاورزی<br>(دکتر بهمن یارقلی)                                                                        | <a href="https://www.aparat.com/v/Fcvyw?playlist=737673">https://www.aparat.com/v/Fcvyw?playlist=737673</a>     |
|      |                                               | مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی<br>آب شهری (دکتر عباس اکبرزاده و همکاران)                                             | <a href="https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673">https://www.aparat.com/v/IFHhK?playlist=737673</a>     |
|      |                                               | طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب<br>شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های                                          | <a href="https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673">https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673</a>     |

|                                                                                                                 |                                                                                                                                       |                                        |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---|
|                                                                                                                 | کمک تصمیم‌گیری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)                                                                                              |                                        |   |
| <a href="https://aparat.com/v/D7BvT">https://aparat.com/v/D7BvT</a>                                             | طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور) |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/rKPvH/">https://www.aparat.com/v/rKPvH/</a>                                   | چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)                                                 |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035">https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035</a> | سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور                                                                                      | نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران | ۲ |
| <a href="https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320">https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320</a> | تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب                                                                                                         |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526">https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526</a> | هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب                                                                                         |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788">https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788</a> | بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران                                                                                         |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111">https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111</a> | چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب                                                                                                          |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646</a>     | تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب                                                                         |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246">https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246</a> | استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری                                                                                                |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054">https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054</a> | چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آتی نیرو در حوزه آب                                                                              |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646</a>     | نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب                                                                                                          |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/s3lwQ?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/s3lwQ?playlist=879646</a>     | کاهش تلفات واقعی                                                                                                                      |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646</a>     | تلفات ظاهری آب                                                                                                                        |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646</a>     | مدیریت مصرف آب                                                                                                                        |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/BFhCa?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/BFhCa?playlist=879646</a>     | رویکردهای برنامه ایمنی آب                                                                                                             |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646</a>     | نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور                                                    |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646</a>     | مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی                                                                                                    |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646</a>     | مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود                                                                                         |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646">https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646</a>     | دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف                                                                                       |                                        |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/V7BNT?playlist=878354">https://www.aparat.com/v/V7BNT?playlist=878354</a>     | سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)                                                                                    | ۳                                      |   |
| <a href="https://www.aparat.com/v/SHiuG?playlist=943170">https://www.aparat.com/v/SHiuG?playlist=943170</a>     | دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)                                                                 | ۴                                      |   |
| <a href="https://www.aparat.com/playlist/1305526">https://www.aparat.com/playlist/1305526</a>                   | دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)                                   | ۵                                      |   |
| <a href="https://www.aparat.com/playlist/1622857">https://www.aparat.com/playlist/1622857</a>                   | اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)                                                                                        | ۶                                      |   |

## پریساسادات آشفته، نماینده انجمن در دانشگاه قم



دکتر پریساسادات آشفته دارای دکترای مهندسی منابع آب از دانشگاه تهران است. ایشان دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی آب در دانشگاه تهران گذرانده و پایان‌نامه خود را در زمینه بررسی تأثیرهای تغییر اقلیم بر منابع آب با درجه عالی به پایان رسانده و به‌عنوان دانشجوی ممتاز دوره کارشناسی ارشد شناخته شد. زمینه تحقیقاتی ایشان در دوره دکتری، بهره‌برداری تطبیقی منابع آب (در شرایط تغییر اقلیم) و توسعه الگوریتم بهینه‌سازی است که با درجه عالی آن را گذرانده است. خانم دکتر آشفته پس از فراغت از تحصیل در مقطع دکتری در سال ۱۳۹۳، همکاری خود را با گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم به‌عنوان استاد مدعو و در سال ۱۳۹۵ به‌عنوان استادیار آغاز نمود. محور اصلی تحقیقاتی ایشان در زمینه مهندسی و مدیریت سامانه‌های منابع آب و محیط‌زیست و تغییر اقلیم است. همکاری با صنعت آب کشور، فعالیت در شرکت‌های مهندسی مشاور در زمینه مطالعات، طراحی و مدیریت طرح‌های توسعه منابع آب، راهنمایی و مشاوره پایان‌نامه مقطع ارشد و رساله دکتری، همکاری در انجام طرح‌های پژوهشی و کاربردی با دفتر پژوهش‌های کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران و نیز دانشگاه، چاپ و ارائه مقاله‌های متعدد در مجله‌ها و کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی و تألیف و ترجمه کتاب‌های مختلف، کسب عناوین متعدد از جشنواره‌های مختلف علمی و پژوهشی ملی و برخی دستاوردهای بین‌المللی، از جمله افتخارات ایشان محسوب می‌شوند. ایشان از سال ۱۳۹۹ تاکنون به‌عنوان دانشیار در گروه مهندسی عمران دانشگاه قم فعالیت دارند.

## مه‌نوش مقدسی، نماینده انجمن در دانشگاه اراک



دکتر مه‌نوش مقدسی عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اراک است. ایشان دکترای تخصصی خود را در رشته سازه‌های آبی از دانشگاه تربیت مدرس اخذ کردند. عنوان رساله دکتری ایشان راهبردهای بهره‌برداری از مخازن سدها با تأکید بر مدیریت عرضه و تقاضا بود. زمینه‌های تخصصی ایشان خشکسالی، تغییر اقلیم و پدیده‌های نایب است. نتایج تحقیقات ایشان تاکنون در قالب ۳۴ مقاله در مجلات علمی-پژوهشی و ISI به چاپ رسیده است. ایشان ۲۰ مقاله کنفرانسی و ۵ طرح پژوهشی را نیز به انجام رسانده است. ایشان تاکنون ۲۰ دانشجوی تحصیلات تکمیلی را راهنمایی کرده و کتاب پیشرفتهای نوین در منابع آب را نیز ترجمه کرده است.

## علی اکبر حکمت‌زاده، نماینده انجمن در دانشگاه صنعتی شیراز



دکتر علی اکبر حکمت‌زاده دارای مدرک دکتری مهندسی عمران در گرایش آب و محیط‌زیست از دانشگاه شیراز (۱۳۹۱)؛ کارشناسی ارشد مهندسی عمران- گرایش سازه‌های هیدرولیکی از دانشگاه شیراز (۱۳۸۲) و کارشناسی مهندسی عمران- عمران از دانشگاه شیراز (۱۳۷۹) است. او از سال ۱۳۸۲ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید و سپس در سال ۱۳۹۱ عضو هیئت علمی دانشگاه فسا بود. از سال ۱۳۹۲ نیز در دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی شیراز استخدام شدند. زمینه تحقیقاتی ایشان هیدرولوژی، تصفیه آب، آب زیرزمینی، انتقال آلودگی و سازه‌های هیدرولیکی است و در زمینه طراحی سازه‌های هیدرولیکی، طراحی پکیج‌های تصفیه فاضلاب، طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و هیدرولوژی تجربیات اجرایی زیادی دارند.

## کنفرانس‌های داخلی

| عنوان کنفرانس                                 | برگزارکننده                                                       | محل برگزاری   | تاریخ برگزاری            | سایت کنفرانس                                              |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|
| چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران | انجمن آب و فاضلاب ایران،<br>دانشگاه علوم پزشکی قم و<br>دانشگاه قم | دانشگاه قم    | ۱ تا ۳ آذرماه ۱۴۰۱       | <a href="https://iwwa-conf.ir">https://iwwa-conf.ir</a>   |
| بیست و یکمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران       | انجمن هیدرولیک، دانشگاه<br>شهید چمران اهواز                       | دانشگاه اهواز | ۱۸ و ۱۹ بهمن‌ماه<br>۱۴۰۱ | <a href="http://www.13ncce.ir/">http://www.13ncce.ir/</a> |

## 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 | <a href="http://iwa-let.org/">http://iwa-let.org/</a>                                                                                                                                                     |
| 7th Young Water Professionals BeNeLux Conference 2022                                                                                             | Delft, Netherlands            | 4 – 6 April 2022        | <a href="https://ywpbenelux.ugent.be/">https://ywpbenelux.ugent.be/</a>                                                                                                                                   |
| Wastewater, Water and Resource Recovery Conference                                                                                                | Poznan, Poland                | 10 – 13 April 2022      | <a href="http://wwrr.put.poznan.pl/">http://wwrr.put.poznan.pl/</a>                                                                                                                                       |
| Singapore International Water Week 2022                                                                                                           | Singapore, Singapore          | 17 – 21 April 2022      | <a href="https://www.siww.com.sg/">https://www.siww.com.sg/</a>                                                                                                                                           |
| 9th Leading Edge Conference for Strategic Asset Management (LESAM 2022)                                                                           | Bordeaux, France              | 12 – 14 May 2022        | <a href="https://lesam2022.colloque.inrae.fr/">https://lesam2022.colloque.inrae.fr/</a>                                                                                                                   |
| 6th IWA YWP México 2022                                                                                                                           | Culiacán Sinaloa, Mexico      | 23 – 27 May 2022        | <a href="https://6thconference.iwa-ywp.mx/es_MX">https://6thconference.iwa-ywp.mx/es_MX</a>                                                                                                               |
| 12th Micropol and Ecohazard Conference                                                                                                            | Santiago de Compostela, Spain | 6 – 10 June 2022        | <a href="https://micropol2022.org/">https://micropol2022.org/</a>                                                                                                                                         |
| Water Loss 2022                                                                                                                                   | Prague, Czech Republic        | 19 – 22 June 2022       | <a href="https://waterloss2022.org/">https://waterloss2022.org/</a>                                                                                                                                       |
| 17th IWA World Congress on Anaerobic Digestion                                                                                                    | Ann Arbor, Michigan, USA      | 19 – 23 June 2022       | <a href="https://www.iwa-ad17.org/">https://www.iwa-ad17.org/</a>                                                                                                                                         |
| International Conference for Water Safety Planning 2022                                                                                           | Narvik, Norway                | 22 – 24 June 2022       | <a href="http://www.watersafety2022.org/">http://www.watersafety2022.org/</a>                                                                                                                             |
| 3rd IWA Disinfection and Disinfection By-Products Conference                                                                                      | Milan, Italy                  | 27 June – 1 July 2022   | <a href="https://www.disinfectiondbps2022.polimi.it/">https://www.disinfectiondbps2022.polimi.it/</a>                                                                                                     |
| 13th IWA Specialist conference on Wastewater Ponds and Algal Technologies                                                                         | Melbourne, Australia          | 3 – 6 July 2022         | <a href="https://www.globalwaterinstitute.unsw.edu.au/WPAT22">https://www.globalwaterinstitute.unsw.edu.au/WPAT22</a>                                                                                     |
| 14th International Conference on Hydroinformatics                                                                                                 | Bucharest, Romania            | 4 – 8 July 2022         | <a href="https://hic2022.utcb.ro/">https://hic2022.utcb.ro/</a>                                                                                                                                           |
| 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       | <a href="https://mtc2022.wustl.edu/">https://mtc2022.wustl.edu/</a>                                                                                                                                       |
| IWA World Water Congress & Exhibition 2022                                                                                                        | Copenhagen, Denmark           | 11 – 15 September 2022  | <a href="http://www.worldwatercongress.org/">http://www.worldwatercongress.org/</a>                                                                                                                       |
| 13th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation                                                                                    | Beijing, China                | 11 – 15 October 2022    | <a href="https://iwa-network.org/events/13th-iwa-conference-on-instrumentation-control-and-automation/">https://iwa-network.org/events/13th-iwa-conference-on-instrumentation-control-and-automation/</a> |
| IWA Conference on Sustainable Sludge Management                                                                                                   | Beijing, China                | 18 – 20 October 2022    | <a href="https://iwa-network.org/events/iwa-conference-on-sustainable-sludge-management/">https://iwa-network.org/events/iwa-conference-on-sustainable-sludge-management/</a>                             |
| 4th IWA Regional Conference on Diffuse Pollution & Eutrophication (DIPCON)                                                                        | Turkey, Istanbul              | 24 – 28 October 2022    | <a href="https://iwadipcon2022.org">https://iwadipcon2022.org</a>                                                                                                                                         |
| Water Loss Asia 2022, Virtual Conference                                                                                                          | Malaysia                      | 15 – 17 November 2022   | <a href="https://www.waterlossasia.com">https://www.waterlossasia.com</a>                                                                                                                                 |





شرکت آب و فاضلاب استان قم



دانشگاه علوم پزشکی  
قم



# کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

## 4<sup>th</sup> IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress 22-24 November 2022 Qom-Iran



### محورهای کنگره:

#### محور ویژه: بررسی چالش‌های تأمین آب از دریا و انتقال به فلات مرکزی

- رویکردها و فناوری‌های نوین در طراحی و اجرای بهینه و ساخت تجهیزات طرح‌های آب و فاضلاب
- چالش‌های کیفی در حوزه آب، پساب و استفاده مجدد از آب
- نقش نانوفناوری و فناوری‌های غشایی در تصفیه آب و فاضلاب
- جمع‌آوری، انتقال، تصفیه، بازچرخانی، استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب و آب‌های سطحی
- استفاده از آب‌های نامتعارف همچون پساب و آب‌های شور و لب‌شور
- پدافند غیرعامل، مهندسی ارزش، مباحث امنیتی و ایمنی در تأسیسات آب و فاضلاب
- هوشمندسازی، تله‌متری، کنترل و مدیریت مصرف آب و انرژی در تأسیسات آب و فاضلاب
- مدیریت سبز و انرژی‌های پاک در بهره‌برداری از سیستم‌های آب و فاضلاب
- تأمین و انتقال آب (با رویکرد آمایش سرزمین)، تصفیه، توزیع و ایمنی آب شرب
- افزایش تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب: ارتقا، بازطراحی، مقاوم‌سازی و بازسازی
- مدیریت بهره‌وری 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 کم‌آبی
- رویکردهای نوین تأمین آب و دفع بهداشتی فاضلاب در روستاها و جوامع کوچک
- استانداردها، ضوابط و تجارب بومی سامانه‌های آب و فاضلاب

**دبیرخانه:** قم، میدان روح الله، دانشکده بهداشت

دانشگاه علوم پزشکی قم

محل برگزاری: دانشگاه قم

۱ الی ۳ آذرماه ۱۴۰۱

مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۱



[www.iwwa-conf.ir](http://www.iwwa-conf.ir)



[iwwa.conf@gmail.com](mailto:iwwa.conf@gmail.com)



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



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



۰۲۵-۳۷۸۳۴۰۷۳



۰۲۵-۳۷۸۳۴۰۷۳



[iwwa.ir](http://iwwa.ir)



[iwwa-conf.ir](http://iwwa-conf.ir)





## سومین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۱

یادواره

مهندس جلال آشفته

داوطلبان می توانند در **یک یا هر دو بخش** زیر، به انتخاب خود  
در المپیاد شرکت کنند:

- ❖ گزینه اول: طراحی و بهره برداری شبکه های آب، فاضلاب و آب سطحی
- ❖ گزینه دوم: فرایندهای تصفیه، طراحی و بهره برداری تصفیه خانه های آب و فاضلاب

✚ به نفر اول هر گزینه جایزه نفیسی اهدا خواهد شد.

✚ برای اطلاع از آخرین تغییرات آیین نامه برگزاری المپیاد به سایت انجمن مراجعه فرمایید.

✚ شرکت در المپیاد، برای عموم دانشجویان در تمامی مقاطع و متخصصین صنعت آب و فاضلاب مجاز است.

آخرین مهلت ثبت نام: ۳۱ مردادماه

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۳ شهریورماه ۱۴۰۱

مرحله دوم: به صورت تشریحی  
(متعاقباً اعلام می شود)

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۷۵ هزار تومان

سایرین: ۱۰۰ هزار تومان



علاقه مندان می توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به  
وبسایت **انجمن آب و فاضلاب ایران** مراجعه کنند و یا  
با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند.



مهلت ارسال ایده  
۳۰ دی ماه ۱۴۰۱

## چهارمین دوره مسابقه ایده برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب

در محورهای هدررفت آب، بازیافت آب، کیفیت آب و سایر موضوعات مرتبط

همراه با جوایز نقدی، لوح تقدیر و چاپ ایده در مجله علمی "علوم و مهندسی آب و فاضلاب" برای رتبه‌های برتر

برای دریافت فرمت مربوطه و فرم مشخصات به سایت انجمن به

نشانی [irwwa.ir](http://irwwa.ir) مراجعه کرده و پس از تکمیل به ایمیل

[iwwa.competitions@gmail.com](mailto:iwwa.competitions@gmail.com)

ارسال گردد.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به وبسایت انجمن آب و

فاضلاب ایران مراجعه کنید و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایید.



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

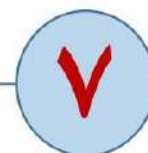


۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹





## فراخوان هفتمین دوره انتخاب پایان نامه برتر



ویژه دانش آموختگان سال های ۱۳۹۸ به بعد



انجمن آب و فاضلاب ایران در هفتمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در حوزه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، پایان نامه های برتر در "مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری" را با اهدای **لوح تقدیر و جوایز نفیس** مورد تشویق قرار می دهد.

از علاقه مندان دعوت می شود تا فرم شرکت در مسابقه را از طریق سایت انجمن به نشانی **[IRWWA.IR](http://IRWWA.IR)** دریافت و پس از تکمیل، به همراه فایل های پایان نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی- پژوهشی خود، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۱** از طریق پست الکترونیکی به نشانی **[IWWA.Thesis.Competition@gmail.com](mailto:IWWA.Thesis.Competition@gmail.com)** ارسال نمایند.

جوایز نفرات برگزیده در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، هم زمان با برگزاری "چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران" که از ۱ تا ۳ آذرماه ۱۴۰۱ در دانشگاه قم برگزار می شود، اعطا می شود.



[Telegram.me/irwwa94](https://t.me/irwwa94)

<https://www.aparat.com/irwwa>



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰  
۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | <p>گروه مینا</p> <p>شرکت مهندسی و ساخت</p> <p>بویلر و تجهیزات مینا</p>                            |  <p>HANYCO</p>                                                                                      |
|  <p>شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان</p>                                 | <p>آبساران مهندسين مشاور</p> <p>Absaran Consulting Engineers</p> <p>www.absaran-co.ir</p>        | <p>وزارت نیرو</p> <p>شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور</p>  <p>شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی</p> |
|  <p>مهندسی برق و الکترونیک</p>                                        | <p>بنیاد برکت</p> <p>شاد احرایی فرمان حضرت امام (ره)</p>                                          | <p>AZAR SIMAIB</p> <p>Private Joint Stock Co.</p>                                                   |
|  <p>وزارت نیرو</p> <p>شرکت آب و فاضلاب مشهد</p>                      |  <p>ABSUN ZOLAL</p> <p>SUSTAINABLE &amp; CREATIVE SOLUTIONS</p>                                  | <p>مهندسين مشاور</p> <p>آبـسـران</p>                                                               |
|  <p>شرکت آب و فاضلاب استان قزوین</p>                                | <p>شرکت آب و فاضلاب استان یزد</p> <p>Yazd Water and Wastewater Co.</p> <p>www.AbfaYazd.ir</p>  |  <p>MARAM</p> <p>مدیریت راهبردی ابنیه مهندسی (مزام)</p>                                           |
|  <p>شرکت آب و فاضلاب شیراز</p>                                      | <p>مهندس مشاور پارس آبریز آب</p>                                                                |                                                                                                   |
|  <p>شرکت آب و فاضلاب کاشان</p>                                      | <p>وزارت نیرو</p> <p>شرکت مدیریت منابع آب ایران</p> <p>شرکت سهامی آب منطقه ای فارس</p>         |  <p>شرکت آب و فاضلاب جنوب غربی استان تهران</p>                                                    |
|  <p>مهندسین مشاور</p> <p>پارسا حسن گستراد پارسا</p> <p>آبریز آب</p> | <p>شرکت آب و فاضلاب استان تهران</p> <p>Tehran Province Water &amp; Wastewater</p>              | <p>فراسان</p>                                                                                     |
|  <p>بنیاد آموزشی</p>                                                | <p>مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب</p>                                                 |  <p>تصفیه پیشرفته پارس</p> <p>Pars Advanced Treatment</p>                                         |



|                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>سازمان مهندسی اتمی ایران                          | <br>شرکت پلیمر آریا ساسول<br>ARYA SASOL POLYMER COMPANY<br>سهام خاص                   | <br>بنیاد فرشی مصلی شاد                                                       |
|                                                       | <br>Mobarakeh Steel Co.                                                               | <br>شرکت پتروشیمی غدیر<br>Ghadeer Petrochemical Company (Private Joint Stock) |
| <br>شرکت فرایند ارقام پرداز                           | <br>شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲<br>Water and Wastewater Company<br>District 2 of Tehran | <br>فومن شیمی                                                                 |
| <br>ستاد اجرایی فرمان حضرت امام                       | <br>شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی<br>www.abfamarkazi.ir                               | <br>شرکت زلال ایران<br>ZOLAL IRAN Co.                                         |
| <br>TALAYEH                                          | <br>BOLANDA<br>Automatic faucets                                                    | <br>مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست                                     |
| <br>SafBon                                          | <br>هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون<br>Hamoon Pipe Line Development Company Hapico  | <br>APDA<br>Atina Pavalan Pipeline Apadana<br>ایستگاه پارسین پالان          |
| <br>شرکت مشاوران سازه                               | <br>SMA                                                                             | <br>شرکت مهندسی سازه و سازه                                                 |
| <br>طوس آب                                          | <br>شرکت مهندسی فراب تدبیر                                                          | <br>شرکت مهندسی سازه و سازه                                                 |
| <br>شرکت مهندسی مشاور                               | <br>پادیاب تجهیز                                                                    | <br>NIKA<br>International Inspection Services                               |
| <br>آویژه پالایش<br>water and water waste treatment | <br>Paya Poshesh Ahoura                                                             | <br>آبده نو آوران مودارید پارس                                              |



| شرکت مهندسی مشاور طوس آب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>شرکت مهندسی مشاور طوس آب با هدف توسعه صنعت آب کشور در سال ۱۳۶۳ تأسیس شد. اکنون پس از گذشت ۳۷ سال، این شرکت توانسته است با تمرکز بر مأموریت سازمانی خود و با تکیه بر رهبری شاخص و معتبر و کارکنانی متخصص و ورزیده، فضای کاری خود را از طریق رشد کیفی و ارتقای بهره‌وری در پروژه‌های داخل و خارج کشور گسترش داده است. این مشاور در چارچوب منشور اخلاق مهندسی و با تلفیق دستاوردهای علوم و فنون روز و تکیه بر تجربه و خلاقیت سرمایه‌های انسانی، رضایتمندی کارفرمایان را سرلوحه فعالیت‌های خود قرار داده است.</p> |  |

| شرکت پایا پوشش اهورا                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>شرکت پایا پوشش اهورا نماینده شرکت شامو و SWD چین و وایتکم ترکیه در ایران است و آماده تأمین مواد، مشاوره و اجرای کلیه محصولات پلی‌یورایی خالص پوششی این دو شرکت با بالاترین کیفیت در سطح جهانی در ایران است. از مزیت‌های بزرگ این شرکت، ارتباط مستقیم با واحد فنی و R&amp;D شرکت شامو در کینگدائو چین و متخصصین فنی شرکت وایتکم در استانبول ترکیه است. لازم به ذکر است که متخصصین فنی شرکت موفق به کسب دانش فنی و تولید محصولات پلی‌یوریا (پلی اوره) در داخل کشور با بالاترین سطح کیفیت جهانی در مقیاس آزمایشگاهی شده‌اند و به‌زودی تولید صنعتی این محصول آغاز می‌شود.</p> |  |

| شرکت آویژه پالایش                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>شرکت آویژه پالایش فعالیت‌های خود را در طراحی و مهندسی تأمین کالا و اجرای پروژه‌های مختلف صنعتی در حوزه آب و فاضلاب قرار داده است. ویژگی مهم این شرکت در مقایسه با دیگر همکاران، تمرکز در حوزه مدیریت پسماند و بازیافت پساب‌ها، انرژی‌های نو و پدافند غیرعامل است. این شرکت با برخورداری از نیروهای مدیریتی و تخصصی باتجربه و با سابقه خود بیش از یک دهه در رشته‌های مرتبط فعال بوده که قادر به انجام پروژه‌ها با بالاترین سطح کیفیت است. این شرکت با اتکا به توانمندی‌های خود حرکت به‌سوی جذب پروژه‌های EPC در صدر اهداف خود قرار داده و تاکنون موفق به جذب پروژه‌های متعدد EPC در حوزه کاری خود در ایران شده است. شرکت آویژه پالایش به‌عنوان پیمانکار صنعتی به‌خصوص در حوزه آب و فاضلاب با درک جهت‌گیری استراتژیک در بازار و با اعتقاد به هم‌افزایی و مشتری‌گرایی، اهداف بزرگی را برای حضور در بازارهای داخلی و خارجی پیش‌رو قرار داده است. تحقق این اهداف جز از طریق بهره‌مندی از یک سیستم جامع و پویا که تضمین‌کننده رضایت مشتری باشد امکان‌پذیر نیست.</p> |  |

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 ۱۴۰۰<br>(به ازای هر سال) | ۶۰۰۰۰۰      |
| حق عضویت دو ساله (۱۴۰۱ - ۱۴۰۲)                             | ۱۸۰۰۰۰۰     |
| حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۱ - ۱۴۰۴)                           | ۳۲۵۰۰۰۰     |
| حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۱ - ۱۴۰۲)                    | ۱۳۰۰۰۰۰     |
| عضویت دائمی                                                | ۱۰۰۰۰۰۰۰    |

#### حق عضویت اعضای حقوقی

| نوع شرکت | حق عضویت سالانه (ریال) |
|----------|------------------------|
| کوچک     | ۷۰۰۰۰۰۰                |
| متوسط    | ۱۳۰۰۰۰۰۰               |
| بزرگ     | ۲۰۰۰۰۰۰۰               |

#### 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: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) به نام انجمن آب و فاضلاب ایران  
لطفا اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن ([info@irwwa.ir](mailto:info@irwwa.ir)) ارسال فرمایید.

#### مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

| مزایای عضویت                                                         |  |  |  |  | عضویت حقیقی |        |      | عضویت حقوقی (شرکت‌ها) |      |
|----------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|-------------|--------|------|-----------------------|------|
|                                                                      |  |  |  |  | پایه        | 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                                         |  |  |  |  | *           | *      | *    | *                     | *    |
|                                                                      |  |  |  |  | *           | *      | *    | *                     | *    |
| دسترسی به مقالات بارگذاری شده در سایت                                |  |  |  |  | *           | *      | *    | *                     | *    |
| دسترسی به آموزش‌های بارگذاری شده در سایت                             |  |  |  |  | *           | *      | *    | *                     | *    |

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 قدردانی 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 نویسند:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

Murphy, L.J., Dandy, G.C. and Simpson, A.R., (1994), "Optimum design and operation of pumped water distribution systems", *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 پردازش و انتشار نشریه در سال‌های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۱ به مجله ارسال می شود باید مبلغ یک میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ سه میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۶۲۵۶-۰۰۱۲-۵۸۵۹-۸۳۷۰ به نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) واریز و فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.



# Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 7, No. 1, Spring 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, 4<sup>th</sup> 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 7, No. 1, Spring 2022

|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Preface</b>                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>2</b>  |
| <b><u>Papers</u></b>                                                                                                                                                                                                                                                              |           |
| <b>Numerical Investigation of Flow Characteristics and Discharge Coefficients on a Submerged Cylindrical Weir-Gate by Using Computational Dynamics</b><br>Mohammad Amin Tutunchian and Hamid Rostambeigi                                                                          | <b>6</b>  |
| <b>Water Crisis Management Strategy through Investigation of Virtual Water Using CROPWAT Software</b><br>Marzie Makaremi, Fereshteh Ghomi Avili and Ali Akbar Moradi Rad                                                                                                          | <b>23</b> |
| <b>Investigation of the Relationship between Land Surface Changes due to Subsidence and Groundwater using Sentinel-1 Satellite Images and Statistical Models (Case study: Varamin plain)</b><br>Mohammad Ali Athari, Hamid Reza Azizi, Seyed Shahab Hashemi and Hamid Reza Honari | <b>34</b> |
| <b>Food Risk Assessment of Heavy Metals (Cadmium, Lead) in the Treatment Plant Effluent Due to the Consumption of Distributed Crops in Gorgan</b><br>Mohammad Reza Shamsacifar, Alireza Pardakhti and Mehdi Shamsabadizadeh                                                       | <b>44</b> |
| <b>Investigation of Arsenic Removal from Drinking Water Using Ferric Chloride Coagulant</b><br>Sina Karimi, Hadi Ramezani Etedali and Abbas Sotoodehnia                                                                                                                           | <b>55</b> |
| <b>SCADA-Based Protection of Centrifugal and Submersible Electric Pumps in the Water Industry</b><br>Reza Khalaji and Mohsen Jannati                                                                                                                                              | <b>62</b> |
| <b><u>General Section</u></b>                                                                                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>Interview</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>77</b> |
| <b>Round-Table</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>82</b> |
| <b>Best Thesis</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>92</b> |
| <b>Best Idea</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>94</b> |
| <b>Book Presentation</b>                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>95</b> |
| <b>IWWA News</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>97</b> |