



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ششم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ششم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

۲

مقالات علمی

۴

تشکیل رسوب‌های معدنی و استفاده از آنتی اسکالانت برای کنترل آن
صبا بهرامی و رضا پناهی

۱۵

مروری بر عوامل موثر در روش فقر و غنا برای تولید پلاستیک زیستی از لجن مازاد تصفیه بیولوژیکی فاضلاب
آذر اسدی، فریناز احمدی، علی اکبر زینتی‌زاده و علی نامور

۳۰

تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی فازی برای انتخاب روش مناسب تصفیه آب یک مجتمع دانشگاهی
سپهر صفری، مهدی ضرغامی، رضا یگانی و محمد مسافری

۴۱

جذب زیستی یون‌های نیکل از محلول آبی به وسیله ریزجلبک *Scenedesmus obliquus*
ناهید اختری، مهناز سادات صادقی و همیرا آگاه

۵۲

تأثیر پساب فاضلاب شهری و روش‌های نوین آبیاری بر خواص زعفران
یحیی چوبان، ابوطالب هزار جریبی، خلیل قربانی، موسی حسام و عباس خاشعی سیوکی

۶۱

بررسی تأثیر تهویه آدم‌روی ریزشی در کاهش خوردگی خط انتقال فاضلاب اصلی بتنی
مهدی گودرزی متین، علیرضا رودبارانی، سعید سرآبادانی و مهران مامقانی نژاد

مطالب عمومی

۶۹

مصاحبه

۷۱

میزگرد

۸۶

پایان‌نامه برتر

۸۸

ایده برتر

۹۰

معرفی کتاب

۹۲

گزارش فعالیت‌های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

این نشریه دارای مجوز کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، به شماره ۳/۱۸/۲۹۰۱۲۹ 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

تشکیل رسوب‌های معدنی و استفاده از آنتی اسکالانت برای کنترل آن..... ۴
صبا بهرامی و رضا پناهی

مروری بر عوامل موثر در روش فقر و غنا برای تولید پلاستیک زیستی از لجن مازاد تصفیه بیولوژیکی فاضلاب..... ۱۵
آذر اسدی، فریناز احمدی، علی اکبر زینتی‌زاده و علی نامور

تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی فازی برای انتخاب روش مناسب تصفیه آب یک مجتمع دانشگاهی..... ۳۰
سپهیل صفری، مهدی ضرغامی، رضا یگانی و محمد مسافری

جذب زیستی یون‌های نیکل از محلول آبی به وسیله ریز جلبک *Scenedesmus obliquus*..... ۴۱
ناهید اختری، مهناز سادات صادقی و همیرا آگاه

تأثیر پساب فاضلاب شهری و روش‌های نوین آبیاری بر خواص زعفران..... ۵۲
یحیی چوپان، ابوطالب هزار جریبی، خلیل قربانی، موسی حسام و عباس خاشعی سیوکی

بررسی تأثیر تهویه آدم‌روی ریزشی در کاهش خوردگی خط انتقال فاضلاب اصلی بتنی..... ۶۱
مهدی گودرزی متین، علیرضا رودبارانی، سعید سرآبادانی و مهران مامقانی نژاد

مطالب عمومی

مصاحبه..... ۶۹

میزگرد..... ۷۱

پایان‌نامه برتر..... ۸۶

ایده برتر..... ۸۸

معرفی کتاب..... ۹۰

گزارش فعالیت‌های انجمن..... ۹۲



استفاده مجدد از پساب حاصل از تصفیه خانه ها، راه حلی برای کاستن محدودیت منابع آب



آقای دکتر افشین تکدستان

استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم
پزشکی جندی شاپور اهواز و عضو هیئت تحریریه

مقدمه

منابع آب شیرین در جهان بسیار اندک بوده و این منابع به طور یکنواخت در سطح زمین توزیع نشده است. متأسفانه سهم کشور ما نیز از این منابع بسیار اندک است. از طرفی با افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، رشد کشاورزی و پیشرفت های صنعتی، مقدار مصرف سرانه آب در حال افزایش است، در حالی که میزان آب موجود در دنیا در حال کاهش است. کشور ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی متر در سال از کشورهای خشک و نیمه خشک جهان و دارای منابع آب محدود است. عواملی هم چون رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی، توسعه بخش تجاری و صنعتی و حفاظت اکوسیستم ها، تقاضای آب را روز به روز بیشتر می کند. در کشور ما با میزان بارش کمتر از ۳۰٪ متوسط باران سالیانه کره زمین، سرانه منابع آب کشور از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۰ از ۷۰۰۰ به ۴۳۰۰ مترمکعب تقلیل یافته و پیش بینی شده است که در سال ۱۴۰۰ به ۱۳۰۰ مترمکعب خواهد رسید. برپایه مستندات موجود سرانه آبی بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال نشان از بحران آب در منطقه دارد و در صورتی که این سرانه بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و کمتر از ۵۰۰ باشد به ترتیب کشور به کمبود آب و کم آبی مطلق دچار خواهد شد. از طرفی این مقدار آب محدود نیز از طریق تخلیه فاضلاب های شهری، در حال آلوده شدن است. در کشور ما از آب استحصال شده، به ترتیب ۹۳، ۵ و ۲ درصد در بخش های کشاورزی، شهری و صنعتی به مصرف می رسد.

توزیع غیریکنواخت آب در طول مکان و زمان، وجود بیشترین تقاضای آب در زمان وقوع کمترین بارندگی، عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب و خصوصاً افزایش تقاضای آب به دلایل ذکر شده و محدودیت منابع آبی و در بعضی مکان ها کاهش آن با تنزل کیفیت آب سفره های زیرزمینی به دلیل برداشت بیش از حد مجاز،

پیش روی آب های شور، دفع غیرصحیح و غیر بهداشتی فاضلاب های خانگی و پساب های صنعتی و زهاب کشاورزی، بالابودن هزینه های تأمین آب جدید با رقابت شدید بین گروه های مصرف کننده آب به دلیل کمبود منابع آبی، استفاده ناکارآمد از آب، اتلاف زیاد آب در بخش کشاورزی و بالابودن آب به حساب نیامده در بخش شهری و مکانیزم قیمت گذاری ناکارآمد از جمله دیگر مشکلات آبی کشور است که مدیریت منابع آب کشور را پیچیده کرده است. با این مشکلات، یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی آب کشور تعادل برقرارکردن بین تقاضای آب و منابع آب موجود با کمترین هزینه ممکن است.

برای پاسخگویی به نیاز روزافزون تقاضای آب در کشور، علاوه بر توسعه منابع آبی جدید شامل بهره برداری بهینه از منابع آبی باقیمانده، شیرین کردن آب های شور و افزایش ظرفیت تولید منابع موجود و راهبردهای صرفه جویی آب در بخش های مختلف اقتصادی، می توان از پساب تصفیه شده فاضلاب با توجه به درجه تصفیه و رعایت استانداردها و مقررات بهداشتی و محیط زیستی برای مصارف مختلف استفاده نمود.

بنابراین یکی از راه های برخورد با بحران کمبود آب اختصاص تمام یا بخشی از مصارف شهری غیرشرب، کشاورزی، صنعتی و تفریحی و توسط پساب های تصفیه شده شهری است که به عنوان آب های دست دوم با کیفیت پایین تر از آب شرب شناخته می شوند.

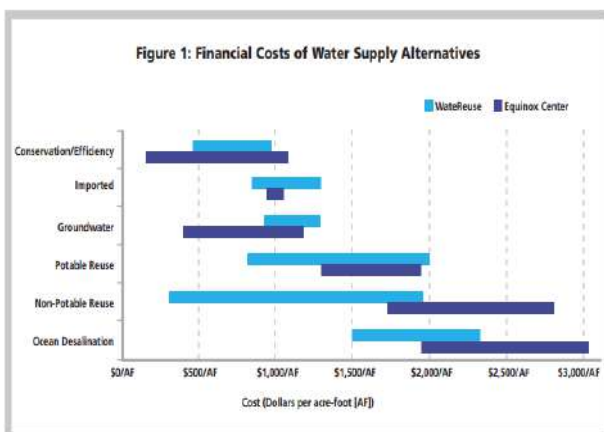
پساب تصفیه شده فاضلاب جزء آب شیرین اما آلوده محسوب می شود که بسته به درجه تصفیه و استاندارد ملی و بین المللی با توجه به بحران کمی و کیفی آب می توان برای مصارف مختلف از قبیل آبیاری محصولات کشاورزی و گلخانه ای، تغذیه مجدد آب زیرزمینی، مصارف صنعتی برای خنک سازی آب، دیگ بخار و آب فرایند صنعتی، استفاده های تفریحی در دریاچه های مصنوعی برای قایقرانی و شنا، پرورش آبزیان، شرب حیوانات اهلی و وحشی، استفاده شهری غیرآشامیدنی نظیر آب نماهای شهری، آتش نشانی، سیفون توالت و تهویه هوا و همچنین استفاده آشامیدنی غیرمستقیم و مستقیم استفاده نمود. با توجه به بحران کمبود آب و هزینه بهبود منابع آب و تصفیه آن در کشور می توان از پساب تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی برای مصارف مختلف شهری و غیرشهری استفاده نمود، که نوع استفاده مجدد بستگی به کمیت و کیفیت فاضلاب خام، درجه تصفیه مورد نیاز، هزینه تصفیه و نوع مقررات و استاندارد محیط زیستی دارد.

امروزه در بسیاری از کشورهای مختلف از جمله ایالت متحده، اروپا، استرالیا، هند، چین، عربستان، امارات متحده عربی و ... از پساب تصفیه شده فاضلاب به عنوان یک منبع آب شیرین برای

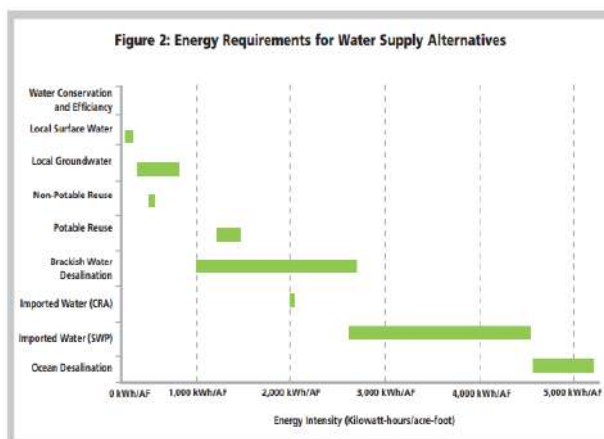
- در خیلی از نقاط به دلیل برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، سطح این آب‌ها به شدت افت نموده است. استفاده مجدد فاضلاب می‌تواند از پایین آمدن بیش از حد آب‌های زیرزمینی بکاهد و از پیشروی آب شور در مناطق ساحلی به آب‌های چاه‌های شیرین جلوگیری به عمل آید؛

- در مناطقی که کمبود آب در فصلی از سال باعث محدودیت توسعه کشاورزی شده است، با استفاده از فاضلاب تصفیه شده می‌تواند به عنوان یک منبع دائمی آب تلقی شود تا محدودیت یاد شده از بین خواهد رفت.

در حال حاضر همه آب‌های توزیع شده در سیستم‌های شبکه توزیع دارای کیفیت مطلوب آشامیدنی است. در حالی که برای مصارف غیرشرب در شهرها شامل: آبیاری فضای سبز و زمین‌های ورزشی، فلاش تانک‌های توالت‌ها، آب شستشوی معابر، ساختمان‌سازی، اطفای حریق، مصارف تفریحی و حتی مصارف صنعتی و غیره نیاز به آب دست اول با کیفیت شرب نیست و با استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده شهری علاوه بر حفظ منابع آبی موجود تا حد زیادی از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری می‌شود و به عنوان منبع آب برای مصارف مختلف شهری و غیرشهری به کار می‌رود.



شکل ۱



شکل ۲

مصارف مختلف شهری استفاده می‌شود. مطالعات مختلف نشان می‌دهد مثلاً در منطقه کالیفرنیا و سن دیگو ایالت متحده از پساب تصفیه‌شده برای مصارف مختلف حتی مصارف غیرمستقیم شرب (IPR) به عنوان یک منبع آب استفاده می‌شود. متعارف‌ترین روش استفاده مجدد غیرمستقیم آشامیدنی، ذخیره‌سازی یا تخلیه فاضلاب تصفیه‌شده در یک منبع آب سطحی یا زیرزمینی برای یک دوره زمانی خاص است. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد هزینه استفاده مجدد حتی برای مصارف غیرمستقیم شرب از هزینه شیرین کردن آب اقیانوس و دریا برای حذف کل جامدات محلول (TDS) پایین‌تر است. در مقایسه با پروژه‌های شیرین‌سازی آب اقیانوس، پروژه‌های IPR انرژی کمتری نیاز دارند. زیرا منابع فاضلاب تصفیه‌شده کل جامدات محلول ۵۰۰-۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر که در مقایسه با آب شور دریا با کل جامدات محلول ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هزینه نمک‌زدایی توسط فرایند غشایی RO حداقل تا چهار برابر بیشتر است (شکل ۲).

بررسی اطلاعات کشوری مشخص می‌کند که میزان پساب تصفیه‌شده در دو بخش فاضلاب خانگی و صنعتی ۲۲۴۷۱۹۵۷ مترمکعب در ماه است، که عددی بسیار قابل توجه برای بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب برای فعالیت‌های گوناگون متفاوت است. بدیهی است که مدیریت صحیح پساب‌های تصفیه‌شده با توجه به شدت بحران کم‌آبی کمک شایانی به حفظ و احیای منابع تجدیدشونده و جلوگیری از فشار بیش از حد بر این منابع می‌کند. مهم‌ترین فواید حاصل از استفاده مجدد از پساب برای مصارف مختلف عبارتند از:

- کاستن از محدودیت و تنش منابع آب؛
- پایین بودن قیمت تهیه آب از فاضلاب احیا شده، گاهی اوقات این قیمت حتی از هزینه توسعه تأسیسات از منابع جدید آب کمتر است؛
- کاهش بار آلودگی آب‌های پذیرنده فاضلاب و در نتیجه استفاده بهتر و بیشتر از این منابع در تأمین آب آشامیدنی و کاهش آلودگی محیط و جلوگیری از خسارت ناشی از آن؛
- ممانعت از ورود آلاینده‌های خاص موجود در فاضلاب خام به بدن انسان؛
- تأمین آب موردنیاز مصارف مختلف شهری غیرشرب در مواردی که می‌توان از آب‌های با کیفیت پایین‌تر استفاده نمود؛
- کاهش و یا حذف مخارج سنگین تصفیه آب‌های صنعتی در مصرف فاضلاب احیا شده در صنایع برای مصارف مختلف؛
- استفاده از پساب و لجن حاصل از تصفیه فاضلاب به عنوان بارورکننده خاک کشاورزی؛

Review Paper

مقاله مروری

Scale Formation and the Use of Antiscalant to Control Scaling

تشکیل رسوب‌های معدنی و استفاده از آنتی اسکالانت برای کنترل آن

Saba Bahrami¹ and Reza Panahi^{2*}

صبا بهرامی^۱ و رضا پناهی^{۲*}

1- M.Sc., Chemistry and Chemical Engineering
Research Center of Iran (CCERCI), Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Chemistry and Chemical
Engineering Research Center of Iran (CCERCI),
Tehran, Iran

*Corresponding Author, Email:
Panahi@ccerci.ac.ir

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، پژوهشگاه
شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران.

۲- استادیار، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: panahi@ccerci.ac.ir

Received: 10/05/2020

Revised: 06/09/2020

Accepted: 07/09/2020

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۷

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Scaling is known as one of the most important issues and limitation in aqueous systems, which involved several industries. Applying an efficient, economic and environment friendly solution to control scale formation is challenging. Scaling prevents efficient heat transfer by forming an insulated layer on the surface of heating elements. Moreover, scaling increases the pressure drop in the process and consequently it raises maintenance costs and even leads to system shut down. Using antiscalants is considered the most promising method to control scale formation. To this end, antiscalants are added to the process water. These compounds have received a lot of attention due to the fact that they can control the deposition by the low values and coverage of several mechanisms and can be used simultaneously with the process and do not have significant waste. Antiscalants disrupt the scaling process through a variety of mechanisms including threshold effect, crystal modification, dispersion or sequestration. In the current study, scale formation process and the role of antiscalants are discussed.

تشکیل رسوب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات و محدودیت‌ها در سیستم‌های آبی به حساب می‌آید که صنایع بسیاری با آن درگیر هستند. انتخاب روشی کارآمد، اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست برای کنترل تشکیل رسوب، همواره چالش‌برانگیز بوده است. رسوب‌های معدنی با ایجاد عایق روی سطوح حرارتی سبب کاهش انتقال حرارت می‌شوند. رسوب هم‌چنین باعث تشدید افت فشار در فرآیندها و در نتیجه افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و در موارد بحرانی باعث از کار افتادن واحدهای فرآیندی می‌شود. استفاده از آنتی اسکالانت‌ها یکی از موثرترین راهکارها برای کنترل رسوب‌های معدنی است. بدین منظور آنتی اسکالانت به آب فرآیندی افزوده می‌شود. این ترکیبات از این جهت بسیار مورد توجه قرار گرفتند که با مقادیر کم و پوشش‌دهی چند مکانیسم، قابلیت کنترل رسوب را دارند و هم‌زمان با انجام فرآیند قابل استفاده هستند و پسماند قابل توجهی ندارند. آنتی اسکالانت‌ها از طریق یک یا مجموعه‌ای از مکانیسم‌ها شامل اثر آستانه‌ای، اصلاح کریستال، پراکندگی و به دام انداختن در تشکیل رسوب اختلال ایجاد می‌نمایند. در این مقاله فرآیند تشکیل رسوب و نقش آنتی اسکالانت‌ها بررسی شده است.

Keywords: Antiscalant, Aqueous system, Calcium sulfate, Scale.

واژه‌های کلیدی: آنتی اسکالانت، سیستم‌های آبی، رسوب، کلسیم سولفات

حفره‌ای، خوردگی بین دانه‌ای، فرآیند آلیاژزدایی، خوردگی سایشی و خوردگی تنشی اتفاق می‌افتد. در سیستم‌های آبی صنعتی عموماً خوردگی کلی در سطوح مکانیسم غالب خوردگی است که به واسطه فرآیند الکتروشیمیایی صورت می‌گیرد. سطوح فلزی در تماس با بخار یا اسیدها به مرور زمان دچار زنگ زدگی و نازک شدن می‌شود (Dillon, 1995).

۲-۱- انواع بازدارنده‌های خوردگی در صنایع

در صنعت بازدارنده‌های متنوعی برای کنترل این خوردگی به کار گرفته می‌شود. از بین این بازدارنده‌ها می‌توان به بازدارنده‌های فیلمی محافظت کننده، بازدارنده‌های غیرفعال کننده آندی، بازدارنده‌های آلی و بازدارنده‌های آلیاژهای مسی اشاره کرد. در ادامه شرح مختصری در مورد انواع بازدارنده‌های خوردگی ارائه می‌شود (Esmacher, 2010).

۲-۱-۱- بازدارنده‌های فیلمی محافظت کننده (ته نشین شونده/کاتدی)

محافظت از خوردگی فولاد با استفاده از تشکیل لایه‌ای خنثی روی سطح فلز صورت می‌گیرد. این لایه واکنش کاتدی و آندی را ناقص می‌سازد. نتیجه ته نشینی ترکیبات معدنی در سایت‌های کاتدی با pH های بالا تشکیل فیلم محافظت کننده است. فسفات‌های معدنی نظیر ارتوفسفات و پلی فسفات‌ها و نمک‌های روی، ترکیبات رایجی هستند که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. موفقیت این روش به تشکیل لایه محدودکننده روی سایت‌های کاتدی و ممانعت از ته نشینی کنترل نشده است که منجر به تشکیل رسوب محافظ می‌شود. علاوه بر این فسفات‌های معدنی مانند بازدارنده‌های کاتدی عمل می‌کنند، قطبیت کاتدی را افزایش می‌دهند که نقش بازدارنده آنیونی را نیز ایفا می‌کنند. مقادیر بالای فسفات معدنی فولاد را در حضور اکسیژن در pH های تقریباً خنثی غیرفعال می‌کنند. در حضور مقادیر کم فسفات یا در میزان شوری بالا خوردگی حفره‌ای اتفاق می‌افتد (Esmacher, 2010).

۲-۱-۲- بازدارنده‌های غیرفعال کننده آندی

علاوه بر بازدارنده‌های ته نشینی کننده، بازدارنده‌های منفعل کننده (بازدارنده‌های آندی) استفاده گسترده‌ای دارند، این ترکیبات شامل کرومات، نیتريت، مولیبدات و ارتوفسفات هستند. کرومات بازدارنده عالی برای کنترل خوردگی است، اما نظارت‌ها باعث شده از استفاده آن کاسته شود. نیتريت در غلظت‌های

آب حاوی مواد محلولی است که در شرایط خاص قادر به ایجاد رسوب معدنی^۱ هستند. برخی از این مواد که غالباً از جنس نمک‌ها هستند، حتی در غلظت‌های بسیار پایین نیز می‌تواند سبب تشکیل رسوب شوند. تشکیل رسوب معدنی به فرایندی است که در آن به هم چسبیدن ناخواسته نمک‌های معدنی و تشکیل و رشد کریستال متراکم در فصل مشترک آب-جامد (سطح تجهیزات) اتفاق می‌افتد. تشکیل رسوب در عملیات صنعتی مختلفی مانند کریستالیزاسیون، تقطیر، نمک‌زدایی، تبخیر، تبادل حرارت مایعات اتفاق می‌افتد. نوع رسوب تابع محتویات معدنی آب یا سیال فرایندی است. عواقب جدی تشکیل رسوب از است. تشکیل رسوب در مبدل‌های حرارتی جوش‌آور منجر به کاهش ضریب انتقال حرارت، افزایش افت فشار و گرفتگی و خوردگی لوله‌ها می‌شود. مشکلات جدی دیگری نیز در اثر تشکیل رسوب در ژنراتورهای بخار، بویلرها، برج‌های خنک کن، لوله‌ها و همه تجهیزات فرایندی مرتبط با آب ایجاد می‌گردد که می‌تواند کل فرایند را مختل نماید. تشکیل رسوب سبب افزایش هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه‌های انرژی برای پمپاژ سیال در صنایع می‌شود. از تشکیل رسوب‌های معدنی به طرق مختلف می‌توان جلوگیری کرد. افزودن مواد شیمیایی که به عنوان آنتی اسکالانت^۲ اثر می‌کنند، یکی از موثرترین روش‌ها برای کنترل رسوب‌های معدنی است (Somerscales, 1990). در این میان بعضی از بازدارنده‌های رسوب در کنترل خوردگی فلزات در محدوده‌های وسیعی از pH های مختلف نیز موثرند. این بازدارنده‌ها با مکانیسم‌های مختلف از جمله کمپلکس‌سازی با کاتیون‌های فلزی اثر می‌کنند. این مواد در ترکیب با یون‌های فلزی اثر ضد خوردگی دارند. این ترکیبات با تشکیل لایه محافظ از سطح فلزات محافظت می‌کنند (Dimadis et al., 2005). در این مقاله به بررسی فرایند تشکیل رسوب و معرفی ترکیبات کنترل کننده خوردگی و رسوب پرداخته شده است.

۲- کنترل خوردگی به موازات کنترل رسوب در فرآیندهای آبی

خوردگی از بین رفتن کلی سطح یک فلز یا بخشی از آن طی یک واکنش شیمیایی یا یک فرآیند فیزیکی در تماس با سیال تعریف می‌شود. خوردگی در سیستم‌های آبی به هشت شکل مختلف خوردگی کلی، خوردگی گالوانی، خوردگی شکافی، خوردگی

مشخصی موثر است و به حضور اکسیژن نیازی ندارد و از این لحاظ برای سیستم‌های بسته مناسب است (Esmacher, 2010).

۱-۳- بازدارنده‌های آلی

بازدارنده‌های آلی با جذب بر روی کل سطح فلز اثر می‌کنند. بازدارنده‌های کاتیونی آلی بار کلی مثبت و بازدارنده‌های آلی آنیونی بار کلی منفی دارند. بازدارنده‌های آلی از سمتی که بار منفی دارند روی سطح فلز جذب می‌شوند. بازدارنده‌های کاتیونی (با بار مثبت) مانند آمین‌ها یا بازدارنده‌های آنیونی (با بار منفی) مانند سولفونات‌ها با توجه به این که بار سطح فلزی مثبت است یا منفی روی سطح جذب می‌شوند (Beer and Corvetto, 2007).

۱-۴- بازدارنده‌های آلیاژهای مسی

موثرترین بازدارنده برای مس و آلیاژهای مسی تریازول‌های آروماتیک مانند بنزوتریازول و تولیل تریازول هستند. این ترکیبات با اکسید مس موجود در سطح فلزی پیوند برقرار و لایه شیمیایی محافظ ایجاد می‌کنند. علاوه بر این بعد از پیوند با سطح فلز تریازول‌ها با مس موجود در محلول پیوند برقرار می‌کنند (Esmacher, 2010).

۲-۲- مکانیسم کنترل خوردگی و کنترل خوردگی در صنایع مختلف

پلیمرهایی با عامل‌های کلاته‌ای، فسفونات‌ها و فسفات‌ها برای کنترل خوردگی در جوش‌آورها استفاده می‌شود. کنترل خوردگی با استفاده از پلیمرها از طریق کمپلکس‌سازی، تخریب کریستال یا پراکندگی صورت می‌گیرد. در کمپلکس‌سازی پلیمر با آلودگی‌های آب خوراک جوش آور مانند کلسیم ترکیب می‌شود و در نتیجه کمپلکس‌های پلیمر-آلودگی محلول باقی می‌ماند و با جریان خروجی جوش‌آور از سیستم خارج می‌شود. تخریب کریستال آلودگی‌هایی که طی ته‌نشینی فازها تشکیل کریستال داده‌اند به این صورت است که طی برهم کنش پلیمر با هسته‌های در حال رشد، اندازه آن‌ها در حدی نگه‌داشته شود که دوباره تمایل به انحلال داشته باشند. در این مکانیسم کریستال‌ها در محدوده اندازه ناپایداری نگه‌داشته می‌شود که نرخ انحلال در مرحله تشکیل-انحلال بیش‌تر است. در مکانیسم انحلال، تشکیل ذرات پایدار (به‌طور خاص اکسید آهن که از آب خوراک به سیستم انتقال داده می‌شود) به‌طور موثری توسط پلیمرهای جذب شده روی سطح پوشش داده می‌شوند. جذب پلیمر دافعه الکترواستاتیکی بار سطح را بهبود می‌بخشد. این جریان از تجمع ذرات و تشکیل

ذرات بزرگ‌تر و چسبیدن ذرات به سطح داخلی جوش‌آور جلوگیری می‌کند. ذرات پراکنده شده در آب جوش‌آور به‌صورت سوسپانسیون کلوییدی نگهداری و از طریق جریان خروجی غلیظ از سیستم خارج می‌شوند. عامل‌های کلاته‌ای کمپلکس‌های پایداری با کلسیم و منیزیم در آب خوراک جوش‌آور تشکیل می‌دهند که از ته‌نشینی این ترکیبات رسوب‌زا جلوگیری می‌کند. افزودن میزان کم عامل‌های کلاته‌ای به پلیمرهای پراکنده‌کننده در تمیز نگه‌داشتن سطح جوش‌آور نقش به‌سزایی دارد. افزودن فسفات برای کنترل تشکیل رسوب و خوردگی موثر است. برای مثال جریان نمک‌ها و اورتوفسفات‌های موجود در جریان آب جبرانی^۳ ممکن است موجب ته‌نشینی کلسیم و منیزیم در آب جوش‌آور شود که مانند گل و لای از قسمت‌های با سختی بالاتر مانند نواحی تولید بخار از سیستم خارج می‌شود. همراه با ورودی جریان آب جبرانی که عاری از کلسیم و منیزیم است نیز ترکیبات فسفاتی برای کنترل خوردگی برای تنظیم pH به سیستم تزریق می‌شود، این روش در سیستم‌های فشار بالا بسیار موثر است. فسفات‌ها با عملکردی بافر گونه اسیدی یا قلیایی بودن جریان را تنظیم می‌کنند (Esmacher, 2010).

۲-۲-۱- کنترل خوردگی در سیستم‌های خنک‌کن

در سیستم‌های خنک‌کن با توجه به طراحی سیستم استفاده از جریان‌های یک گذر یا چند گذر، باز یا بسته بودن سیستم و آب مورد استفاده در سیستم خنک‌کن انتخاب روش کنترل خوردگی متغیر است. هدف از کنترل خوردگی جلوگیری از آلودگی سطح است. این فرآیند با ایجاد لایه محافظ روی سطح فلزی با استفاده از مواد شیمیایی کنترل می‌شود، این ترکیبات شیمیایی لایه‌ای منفعل‌کننده روی سطح فلز تشکیل می‌دهند که این لایه نقشی محافظ برای سطح ایفا می‌کند یا در انحلال لایه‌های اکسیدی مشکل ایجاد می‌کند (Dillon, 1995).

۲-۲-۲- کنترل خوردگی در سیستم‌های جوش‌آور

کنترل خوردگی در سیستم‌های جوش‌آور به‌علت پایین آوردن احتمال انفجار و نشتی در اتصالات این تجهیزات حائز اهمیت است. تمایل تشکیل رسوب در آب ورودی جوش‌آورها با کاهش سختی، زدایش مواد معدنی و سیستم‌های اسمز معکوس کاهش داده می‌شود. با این حال باقی‌ماندن این ترکیبات ممکن است ایجاد مشکل کند (Esmacher, 2010).

ترکیبات بازدارنده با تشکیل لایه مگنتیت محافظ روی فولاد اکسیژن محلول را از بین می‌برند. در دماهای زیر ۲۵۰ درجه

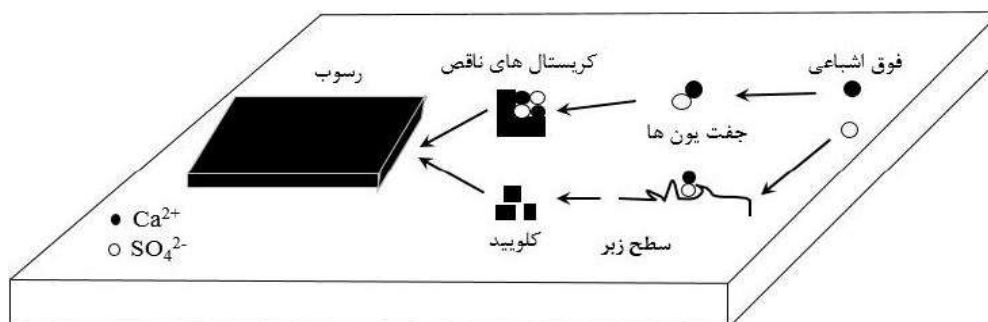
رسوب متشکل از ذرات کریستالی است. یک کریستال جامد شامل ساختاری شبکه‌ای از مولکول‌ها، اتم‌ها، یا یون‌ها است. فوق اشباع بودن محلول، شرط لازم یا به عبارت دیگر نیرو محرکه اصلی برای تشکیل کریستال است (Hoang, 2011). به طور کلی تشکیل رسوب روی یک سطح شامل مراحل آغاز^۴، انتقال^۵، چسبیدن^۶، و پختگی^۷ است. در مرحله آغازین شرایط سطح برای تشکیل رسوب مهیا می‌شود (Kazi, 2015). در مرحله انتقال، ماده رسوب‌دهنده از توده سیال به سطح تجهیز (سطح انتقال حرارت) در سراسر لایه مرزی منتقل می‌شود. در مرحله چسبیدن، ذرات رسوب به سطح و به یکدیگر می‌چسبند. در این مرحله یون‌های نمک به دلیل نیروهای الکترومغناطیسی جذب سطح می‌شوند و به سطح می‌چسبند و هسته‌های کریستالیزاسیون را تشکیل می‌دهند. این هسته‌ها به تدریج رشد می‌کنند و لایه رسوب را تشکیل می‌دهند. با پایدار شدن رشد رسوب‌ها روی سطح و هم‌زمان با مراحل قبلی، رقابتی بین جدا شدن ذرات رسوب و لایه‌نشینی رسوب‌ها وجود دارد. حذف رسوب از سطح با مکانیسم‌های انحلال، ساییش و لایه لایه شدن صورت می‌پذیرد. به محض تشکیل رسوب مرحله پختگی شروع می‌شود. در طول فرآیند پختگی، خواص مکانیکی رسوب‌ها به دلیل تغییرات شیمیایی یا ظاهری کریستال‌ها تغییر می‌کند (Kazi et al., 2015). این مراحل در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند.

سانتی‌گراک اکسیداسیون آهن موجب تشکیل هیدروکسید آهن می‌شود که به هماتیت تبدیل می‌شود و در دماهای بالاتر ۲۵۰-۳۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراک با اکسیداسیون مستقیم مگنتیت شکل می‌گیرد. در pH های بین ۸/۵-۱۲/۷ طی واکنش سطح فولاد در تماس با آب جوش به سرعت لایه نازک، چسبنده و بسیار محافظت کننده مگنتیت تشکیل می‌شود. لایه مگنتیت به گسترش تمایل دارد اما محدودیت رسیدن آلودگی‌های به سطح فلز زیر آن، ضخامت آن را در حالت تعادل نگه می‌دارد (Esmacher, 2010).

۲-۲-۳- کنترل خوردگی در سیستم‌های نمک زدایی

خوردگی حفره‌ای و شکافی در سیستم‌های نمک‌زدایی حرارتی از آب شور از جمله فلش چند مرحله‌ای، تقطیر چندمنظوره و اسمز معکوس بسیار شایع است که با بهبود جنس تجهیزات قابل کنترل است. استفاده از انواع فولاد ضد زنگ از جمله فولاد ضد زنگ مارتنزیتی، فریتی، آستنیتی و داپلکس برای ساخت تجهیزات، خوردگی سیستم‌ها را در شرایط دما و فشار بالا به تعویق می‌اندازد. استفاده از دیگر آلیاژهای فلزی نیز برای این منظور مرسوم است. وجود کلر در دماهای بالا موجب خوردگی حفره‌ای در سیستم می‌شود، پس حذف آن به جلوگیری از خوردگی کمک می‌کند (Malik, 1992).

۳- تشکیل رسوب و روش‌های کنترل آن



شکل ۱- فرآیند تشکیل رسوب (Amjad and Demadis, 2015)

رشد کریستال صورت می‌پذیرد. هسته‌های پایدار ذراتی بزرگتر از اندازه‌ی بحرانی هستند که به محض تشکیل در سیستم فوق اشباع به کریستال‌هایی قابل‌رویت تبدیل می‌شوند (Mullin, 2001). لایه‌های کریستالی با جذب مولکول‌ها یا جفت یون‌های رسوب‌دهنده، به رشد خود ادامه می‌دهند. اگر شرایط محلول مناسب باشد، رشد کریستال با جذب پیوسته مولکول‌ها، هم‌زمان با ته‌نشینی و انحلال از سایر سایت‌های رشد ادامه پیدا می‌کند

ته‌نشینی مواد کریستالی از توده محلول بر روی سایت تشکیل رسوب علاوه بر زمان کافی نیازمند هم‌زمانی فوق اشباعی و هسته‌زایی است که در ادامه توضیح داده می‌شوند. در هسته‌زایی به‌عنوان مرحله آغازین تشکیل رسوب، کوچک‌ترین تجمع پایدار از فاز کریستالی ایجاد می‌شود (Kazi et al., 2015). در این مرحله تعداد زیادی ذرات ریز تشکیل می‌شود که ته‌نشینی نمی‌شوند، اما به‌عنوان مکان‌هایی برای رشد کریستال عمل می‌کنند. در ادامه

(MacAdam and Parsons, 2004).

۳-۱- روش‌های کنترل رسوب

از روش‌های فیزیکی و شیمیایی برای از بین بردن رسوب استفاده می‌شود. شرح مختصری از این روش‌ها در ادامه گردآوری شده است. شستشوی فیزیکی به سه دسته هیدرولیکی، مکانیکی، اولتراسونیک تقسیم می‌شود. روش‌های شیمیایی نیز به دو صورت شستشوی شیمیایی و افزودن آنتی اسکالانت انجام می‌گیرند.

۳-۱-۱- روش‌های فیزیکی (شستشوی فیزیکی)

شستشوی فیزیکی به واسطه شستشوی معکوس یا جریان معکوس، رسوب‌های تشکیل شده روی سطوح را از بین می‌برد. علاوه بر موارد یا شده پاکسازی با هوا، شستشوی معکوس، رهاسازی، از جمله روش‌های فیزیکی دیگری است که اخیراً برای حذف رسوب به کار گرفته شده است. از میان این روش‌ها، روش‌های هیدرولیکی بیشترین کاربرد را داشته‌اند. پاکسازی با هوا یا هوازنی با عبور جریان هوا از محل رسوب برای از بین بردن رسوب‌های بازگشت‌ناپذیر استفاده می‌شود. این روش در بازه‌های مختلفی تکرار می‌شود تا رسوب را تا حد امکان از بین ببرد. این روش به دو صورت کم تکرار و پرتکرار انجام می‌شود. مدت زمان شستشوی معکوس با توجه به نوع و میزان رسوب متغیر است. رهاسازی در محل تشکیل رسوب با ایجاد گرادیان غلظت و با استفاده از نفوذ هوا صورت می‌گیرد. علاوه بر این روش‌ها شستشوی مکانیکی نیز به اشکال مختلف افزودن ذرات حامل، ارتعاش/چرخش، تکه‌تکه کردن برای از بین بردن رسوب با ایجاد تنش و تلاطم روی سطح رسوب گرفته استفاده می‌شود (Wang et al., 2014).

۳-۱-۲- استفاده از روش‌های مکانیکی

از جمله روش‌های مکانیکی که برای از بین بردن رسوب استفاده می‌شود افزودن ذرات به جریان، ویبراسیون/چرخش و خراشیدن سطح رسوب گرفته است. افزودن ذرات به جریان به سه شکل افزودن ذرات معلق که نقش جاروب کننده سطوح را دارند، ذرات معلق که ایجاد تلاطم می‌کنند و ذرات معلق که در جریان ایجاد ارتعاش می‌کنند، صورت می‌گیرد. ویبراسیون/چرخش با ایجاد تنش یا تلاطم بالا روی سطح انجام می‌شود. خراشیدن سطح نیز با استفاده از ابزارهایی که رسوب را از سطح خراش می‌دهند انجام می‌شود (Wang et al., 2014).

۳-۱-۳- استفاده از امواج اولتراسونیک برای پاکسازی سطوح

امواج اولتراسونیک در فرآیندهای بسیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاویتاسیون علت قدرت پاکسازی اولتراسونیک است. به‌خاطر امواج اولتراسونیک گره‌های فشاری و نواحی کم فشار در سیال ایجاد می‌شوند. در نواحی کم فشار حباب‌های کوچک شکل می‌گیرند. این حباب‌ها با گاز یا بخار پر می‌شوند و تا اندازه بحرانی رشد می‌کنند. زمانی که قطر حباب‌ها به قطر بحرانی رسید می‌ترکد. اگر حباب در نزدیکی سطح بترکد انفجار آن نامتقارن است و جت سیالی به سمت سطح ایجاد می‌شود. این جت‌ها سرعتی حدود ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت دارند. همراه با انفجار حباب‌ها هم‌چنین امواج ناگهانی ایجاد و در محیط منتشر می‌شود. به‌همین دلیل پاکسازی اولتراسونیک روشی موثر در کاهش قطبش یونی و از بین بردن لایه رسوب روی سطح است. روش اولتراسونیک هم در محل تشکیل رسوب و خارج از محل تشکیل رسوب قابل انجام است. پارامترهای کلیدی روش اولتراسونیک فرکانس اولتراسونیک، غلظت توان و مدت زمان انجام فرآیند است. از فرکانس‌های پایین اولتراسونیک برای بهبود بازدهی پاکسازی استفاده می‌شود (Kunanz et al., 2014).

۳-۲- روش‌های شیمیایی

در روش‌های شیمیایی به‌علت استفاده از مقدار هم مولار با رسوب برای از بین بردن رسوب‌ها، حجم قابل توجهی از شوینده‌ها مورد نیاز است. این مسئله عواقب منفی برای سیستم و محیط زیست دارد؛ از طرفی بعضی رسوب‌ها نسبت به pH حساسیتی ندارند، بنابراین در این حالت شستشو با اسید یا باز تاثیر چندانی مشاهده نمی‌شود. از طرف دیگر برای انجام این روش‌ها باید فعالیت سیستم متوقف شود و بعد از شستشو فرآیند از سر گرفته شود. در بعضی موارد حین استفاده از شوینده‌ها آسیب‌هایی به سطوح وارد می‌شود که مانع از عملکرد صد درصدی سیستم می‌شوند. روش دیگر که از آن به‌عنوان افزودن آنتی اسکالانت یاد شده است، حین فرآیند، قابل انجام است و با استفاده از غلظت‌های پایین از تشکیل رسوب جلوگیری می‌کند. به‌همین دلیل آسیب قابل توجهی به محیط یا سطوح رسوب گرفته وارد نمی‌کند. شرح مفصلی در مورد این ترکیبات در بخش‌های آتی آورده شده است.

۴- آنتی اسکالانت‌ها

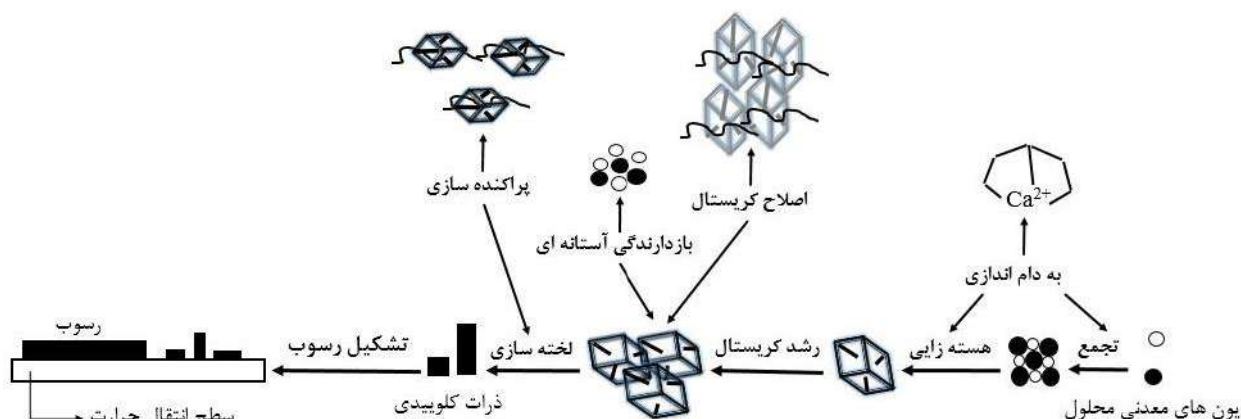
جلوگیری و کنترل تشکیل رسوب می‌تواند با افزودن مواد شیمیایی به نام آنتی اسکالانت به سیال انجام شود. آنتی اسکالانت‌ها نرخ رشد کریستال و ساختار کریستال را به‌طور

کمپلکس تشکیل می‌دهند و یون‌ها را غیرفعال می‌کنند. بنابراین یون‌ها با سایر عناصر یا یون‌ها که قابلیت تشکیل رسوب دارند، واکنش نمی‌دهند (Kolodynska, 2011). تغییر در ساختار کریستال ممکن است سبب انحلال مجدد رسوب به جای رشد کریستال شود. در مکانیسم اصلاح کریستال، آنتی اسکالانت‌ها بر روی سطح کریستال جذب می‌شوند. بدین ترتیب بر رشد کریستال‌ها اثر می‌گذارند و شکل نامنظم و غیر کریستالی به رسوب می‌دهند. در این مکانیزم، رشد کریستال‌های غیرمنظم بوده و رشد آن‌ها با تاخیر انجام شده یا متوقف می‌شود. همچنین کریستال‌ها حالت شکننده و نرم پیدا می‌کنند. پراکندگی به توزیع غیریکنواخت و پایدار مواد نامحلول در یک مایع اطلاق می‌شود. این مسئله زمانی اتفاق می‌افتد که آنتی اسکالانت به‌طور شیمیایی روی سطح کریستال جذب می‌شود و بار سطحی با چگالی بالا بر روی سطح ایجاد می‌نماید. بار سطحی ایجاد شده بین ذرات با بارهای همنام دافعه الکتریکی القا می‌کند و مانع تجمع آن‌ها شود. بدین ترتیب رشد ذرات کاهش می‌یابد و در نهایت باعث پراکندگی آن‌ها می‌شود (AL-Hamzah, 2014; Amjad and Koutsoukos, 2014; Nowack, 2003). مکانیزم اثرگذاری انواع آنتی اسکالانت‌های متداول در جدول ۱ ذکر شده است.

چشم‌گیری تغییر می‌دهند. آنتی اسکالانت‌ها می‌توانند با رسوب واکنش داده و پتانسیل تشکیل رسوب را کاهش دهند. همچنین برهم کنش‌های بین رسوب و سطح را به‌طریق فیزیکی مختل نمایند یا با تغییر کریستال‌ها، فرایند تشکیل رسوب را تحت تاثیر قرار دهند (Vidic et al., 2015).

۴-۱- مکانیسم کارکرد آنتی اسکالانت‌ها

آنتی اسکالانت‌ها بر روی مراحل کریستالیزاسیون یا پختگی نظیر هسته‌زایی، رشد کریستال، تجمع و انتقال فاز تاثیر می‌گذارند. به‌طور کلی عملکرد آنتی اسکالانت‌ها از طریق یک یا مجموعه‌ای از مکانیسم‌های اثر آستانه‌ای^۸، اصلاح کریستال^۹، پراکندگی^{۱۰} و یا به‌دام انداختن^{۱۱} ایجاد می‌شود (شکل ۲) (Antony et al., 2011). اثر آستانه‌ای به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن آنتی اسکالانت در مقادیر کمتر از استوکیومتری از ته‌نشینی نمک‌ها در غلظت‌های بالاتر از حد حلالیت جلوگیری می‌کنند. در این مکانیسم آنتی اسکالانت از جفت شدن یون‌های رسوب دهنده جلوگیری کرده و آن‌ها را به‌صورت محلول در آب نگه‌می‌دارد (MacAdam and Parsons, 2004). آنتی اسکالانت‌های کلاته‌ای با مکانیسم به‌دام اندازی با یون‌های فلزی



شکل ۲- مکانیسم اثر آنتی اسکالانت و نقطه اثر آن‌ها (MacAdam and Parsons, 2004)

جدول ۱- رابطه نوع آنتی اسکالانت و مکانیزم حاکم در عملکرد آن‌ها

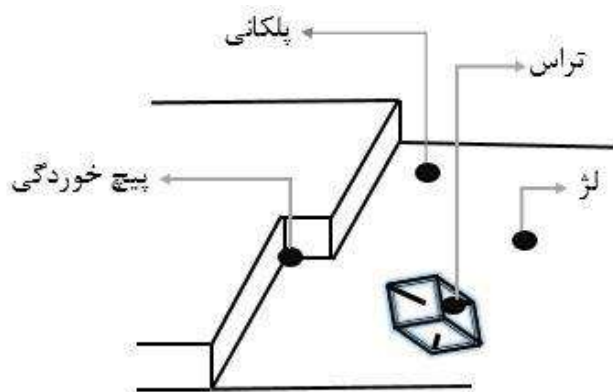
مراجع	مکانیزم حاکم	نوع آنتی اسکالانت
Antony et al. (2011); Kolodynska (2011); Knepper (2003); AL-Hamzah (2014); Amjad and Koutsoukos (2014); Nowack (2003)	بازدارندگی آستانه‌ای	پلی فسفات‌های معدنی، فسفات استرهای آلی و آمینو فسفات‌های آلی، آمینو کربوکسیلات‌ها، فسفینوپلی کربوکسیلات‌ها و فسفینوپلی سولفونات‌ها
	پراکندگی	هموپلیمرهای آکریلیک اسید، کوپلیمرهای پایدار آکریلیک اسید
	اصلاح کریستال	ترکیبات حاوی فسفر شامل پلی فسفات‌های معدنی، فسفات استرهای آلی، آمینو فسفات‌های آلی، فسفینو پلی کربوکسیلات‌ها، سولفونات‌ها پلیمرهای با جرم مولکولی پایین مانند: پلی آکریلیک اسید، پلی مالئیک اسید، پلی آمید، دندیمرپلی آمینوآمید، کربوکسی متیل اینولین
	به دام اندازی	آمینو کربوکسیلیک اسیدها، اتیلن دی آمین تتر استیک اسید، دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید، پلی فسفونات‌ها، اتیلن تری آمین پنتا (متیلن فسفونیک اسید)

پیچ خوردگی‌ها، پلکانی‌ها و لژهای روی سطح کریستال برای جذب آنتی اسکالانت مناسب هستند (شکل ۳). مکان‌های پلکانی یا پیچ خوردگی فعال‌ترین سایت‌های رشد هستند. این نقاط برای جذب یون‌های آنتی اسکالانت نسبتاً کوچک بسیار مناسب هستند. جذب در راستای پلکانی‌ها برای مولکول‌های بزرگ احتمال کمتری دارد و این نوع آنتی اسکالانت‌ها روی لژها جذب می‌شوند. جذب آنتی اسکالانت روی پیچ خوردگی‌ها به غلظت پایین از آنتی اسکالانت نیاز دارد که این وضعیت برخلاف جذب

در سایت پلکانی است. با این حال جذب روی لژها به مقدار بیش‌تری آنتی اسکالانت نسبت به دو حالت دیگر نیاز دارد. همان‌طور که گفته شد نرخ رشد کریستال نیز به مکان جذب بستگی دارد. به‌همین دلیل تاخیر در رشد کریستال یا جلوگیری از آن با پوشش‌دهی کمی از سطح کریستال با استفاده از آنتی اسکالانت امکان پذیر است (Gunn, 1980; Wilson, 2004). در جدول ۲ رسوب‌های محتمل در صنایع مختلف و آنتی اسکالانت‌های مناسب برای رفع آن گردآوری شده است.

جدول ۲- رسوب‌های محتمل در صنایع شاخص و بازدارنده‌های مرتبط با آن (Amjad and Demadis, 2015)

رسوب معدنی	فرمول شیمیایی	صنایع مرتبط با رسوب	بازدارنده رسوب
کلسیم سولفات کلسیت باریت بروسیت مگنتیت	CaSO_4 CaCO_3 BaSO_4 Mg(OH)_2 Fe_3O_4	سیستم‌های خنک‌کن	سدیم هگزامتافسفات، سدیم تری پلی فسفات، هیدروکسی اتیلن دی فسفونیک اسید، فسفونوبوتان تری کربوکسیلیک اسید، آمینوتری متیلن فسفونیک اسید، هیدروکسی فسفونواستیک اسید، سدیم دو دسیل سولفات، آرژنین، گلوتامین، گلايسين، پلی متاکریلیک اسید، پلی آکریل آمید، بنزوتریازول
کلسیم سولفات کلسیت باریت بروسیت استرانسیم سولفات	CaSO_4 CaCO_3 BaSO_4 Mg(OH)_2 SrSO_4	صنایع نفت و گاز	پلی فسفات‌ها، فسفات استر، فسفونات‌ها، هیدروکسی اتیلن دین دی فسفونیک اسید، فسفونوبوتان تری کربوکسیلیک اسید، آمینوتری متیلن فسفونیک اسید، هیدروکسی فسفونواستیک اسید، پلی آکرلیک اسید سولفوناتی، کربوکسی متیل اینولین
کلسیم سولفات کلسیت	CaSO_4 CaCO_3	نمک‌زدایی حرارتی	پلی فسفونات، پلی مالئیک اسید، پلی کربوکسیلیک اسید، فسفونات‌ها، سدیم هگزامتافسفات، پلی آکرلیک اسید-آکروئین، پلی استایرن سولفونات، پلی مالئیک انهیدرید، پلی آمید، آلل پلی اتوکسی کربوسیلات، پلی آمینو آمید، پلی وینیل سولفونات، پلی گلوتامیک اسید
کلسیم سولفات کلسیت باریت بروسیت مگنتیت سیلیکا	CaSO_4 CaCO_3 BaSO_4 Mg(OH)_2 SiO_2	سیستم‌های ژئوترمال	اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، نیتریلواستیک اسید، پلی کربوکسیلات‌ها
کلسیم سولفات کلسیت باریت بروسیت استرانسیم سولفات	CaSO_4 CaCO_3 BaSO_4 Mg(OH)_2 SrSO_4	نمک‌زدایی غشایی	پلی فسفات‌ها، فسفونات‌ها، پلی اکریلیک اسید، پلی متاکریلیک اسید، پلی مالئیک اسید، هیدروکسی اتیلن دین-دی فسفونیک اسید
کلسیم سولفات کلسیت باریت بروسیت مگنتیت	CaSO_4 CaCO_3 BaSO_4 Mg(OH)_2 Fe_3O_4	جوش‌آورها	سدیم هگزامتافسفات، سدیم تری پلی فسفات، تتراپتاسیم پیروفسفات، تتراسدیم پیروفسفات، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، نیتریلواستیک اسید، پلی کربوکسیلات‌ها، پلی اکریلیک اسید، پلی متاکریلیک اسید، پلی مالئیک اسید، سیکلوهگزیل آمین



شکل ۳- موقعیت‌های احتمالی جذب آنتی اسکالانت (Amjad and Demadis, 2015)

۴-۲- عوامل موثر بر کارکرد آنتی اسکالانت

غلظت و نوع آنتی اسکالانت، زمان ماند، دما و pH از عوامل موثر بر عملکرد آنتی اسکالانت‌ها هستند. به‌طور کلی افزایش زمان تماس در حضور آنتی اسکالانت موجب کاهش اثربخشی این ترکیبات می‌شود. افت دما یا افزایش غلظت آنتی اسکالانت نرخ تشکیل رسوب را کاهش می‌دهد و تاثیر آنتی اسکالانت را بهبود می‌بخشد. کارایی یک آنتی اسکالانت در مهار تشکیل رسوب، بستگی به غلظت آن دارد. در صورت کاهش میزان یونیزاسیون مولکول‌های آنتی اسکالانت بر اثر تغییر pH، میزان آنتی اسکالانت موثر و در نتیجه بازدهی عملکرد آن کاهش می‌یابد. به‌طور معمول، با افزایش غلظت آنتی اسکالانت تا میزان غلظت بهینه، میزان رسوب تشکیل شده کاهش می‌یابد. زمان مورد نیاز برای ظهور (دوره القایی) رسوب کلسیم سولفات با غلظت آنتی اسکالانت در محلول فوق اشباع متناسب است (Hoang et al., 2011).

۴-۳- آنتی اسکالانت‌های متداول و گروه‌های عاملی موثر آن‌ها

آنتی اسکالانت‌ها ترکیبات معدنی یا آلی هستند که به سه دسته فسفات‌ها، ارگانوفسفونات‌ها و ترکیبات آلی تقسیم می‌شوند

که هر سه دسته شامل پلیمرهای سنتزی و طبیعی هستند. سدیم پلی فسفات‌ها شامل واحدهای P-O-P هستند که از آب زدایی یون‌های فسفات حاصل می‌شوند. این ترکیبات با اضافه شدن به محیط آبی، هیدرولیز شده و از طریق ایجاد پیوند بین اکسیژن ساختاری خود با یون کلسیم سبب کاهش تشکیل رسوب می‌شوند. در آنتی اسکالانت‌های فسفوناتی دو نوع گروه فعال دیده می‌شود. دسته اول فسفونات‌هایی که گروه فسفونات ($\text{PO}(\text{OH})_2$) آن‌ها با اتم کربن مولکول آلی پیوند می‌دهد. دسته دوم ترکیبات فسفینو-ارگانیک‌هایی هستند که پیوند C-P-C دارند. پلیمرهای مختلفی برای کنترل رسوب‌های معدنی استفاده می‌شوند. انواع ترکیبات آلی که برای جلوگیری از تشکیل رسوب استفاده می‌شوند، غالباً هموپلیمر یا کوپلیمرهایی با جرم مولکولی پایین و گروه‌های عاملی متنوع با بار منفی هستند. پلیمرهای کربوکسیلی دسته‌ای کلی از ترکیبات آلی هستند که در آن‌ها گروه عاملی کربوکسیل (COOH) در ساختار زنجیری پلیمر تکرار می‌شوند (Vidic et al., 2015). متناسب با نوع مونومر استفاده شده در ساختار پلیمرها، گروه‌های عاملی کربوکسیلی، هیدروکسیل، آمینی یا سولفوناتی در این ترکیبات دیده می‌شود (Amjad and Demadis, 2015). دسته بندی آنتی اسکالانت‌های متداول و گروه‌های عاملی آن‌ها در جدول ۳ داده شده است.

جدول ۳- دسته بندی آنتی اسکالانت‌ها و گروه‌های عاملی آن‌ها (Vidic et al., 2015)

نوع آنتی اسکالانت	گروه عاملی موثر	ترکیبات متداول
پلی فسفات‌های متراکم	پیوند P-O-P	سدیم تری پلی فسفات، سدیم هگزامتافسفات
فسفونات‌های معدنی	گروه $\text{PO}(\text{OH})_2$ پیوند C-P-C	هیدروکسی اتان دی فسفونیک اسید و آمینوتری اتیلن فسفونیک اسید
پلی الکترولیت‌ها (پلیمرهای آلی)	گروه COOH آمید CONH_2 سولفونات RSO_3H	هموپلیمرها: پلی آکریلیک اسید، پلی آکریل آمید، پلی استایرن سولفونات، پلی مالئیک اسید، پلی متاکریلیک اسید و هموپلیمرهای استایرن سولفونات کوپلیمرها: کوپلیمرهای مالئیک اسید-آکریلیک اسید، کوپلیمرهای مالئیک اسید-متاکریلیک اسید، کوپلیمر مالئیک اسید-آکریلات استر و پلی استایرن سولفونات

۴-۴- نسل جدید آنتی اسکالانت‌ها

کنترل رسوب به دلیل الزام به صرفه‌جویی و استفاده مجدد آب اهمیت بسیاری در صنایع مختلف دارد. باقی‌ماندن آنتی اسکالانت‌ها در آب، سبب کاهش کیفیت آب و عدم امکان استفاده مجدد از آب به‌ویژه در کاربردهای خوراکی می‌شود. رفع این چالش‌ها نیازمند توسعه آنتی اسکالانت‌های جدیدی است. آنتی اسکالانت‌ها باید به‌صرفه، سازگار با سختی آب و دمای بالا و هماهنگ با منابع آبی باشند، همچنین این ترکیبات باید سمیت پایین و قابلیت تجزیه پذیری بالایی داشته باشند. ترکیبات معدنی فسفاتی و فسفونیک به دلیل داشتن عامل‌های فسفردار با محیط سازگاری پایینی دارند. پلیمرهای سنتزی نیز به دلیل حساس بودن به pH و عدم زیست تخریب‌پذیری گزینه‌های ایده‌آلی برای استفاده به‌عنوان آنتی اسکالانت نیستند. به‌همین دلیل توسعه آنتی اسکالانت‌های سبز که غالباً طبیعی هستند، مورد توجه واقع شده‌اند. این ترکیبات همراه با کنترل رسوب، مزایایی هم‌چون سمیت پایین برای موجودات و زیست تخریب‌پذیری بالا همراه دارند. این آنتی اسکالانت‌ها می‌توانند برای کنترل رسوب در آب

با فشار و دمای مختلف مورد استفاده قرار گیرند. این ترکیبات با گروه‌های عاملی حلالیت‌پذیر خود نظیر کربوکسیل، هیدروکسیل، آمین توانایی کنترل تشکیل رسوب به‌عنوان عامل دیسپرسنت و کلاته‌ای را دارند. مشتقات این ترکیبات طبیعی می‌توانند جایگزینی برای آنتی اسکالانت‌های متداول باشند. در حال حاضر ترکیباتی برپایه پلی آسپارتیک اسید به‌عنوان اثربخش‌ترین آنتی اسکالانت سبز شناخته می‌شوند. پلی آسپارتیک اسید یک پلی کربوکسیلیک اسید مصنوعی است که به‌عنوان آنتی اسکالانت، ترکیب ضد خوردگی، متفرق‌کننده، عامل کلاته‌ای و جاذب آب عمل می‌کند. ترکیبات مشتق شده از پلی آسپارتیک اسید سازگاری قابل‌قبولی با محیط‌زیست دارند (Hasson et al., 2011). مالئیک اسید، سیتریک اسید، گالیک اسید، دوپامین، هیستیدین، فنیل‌الانین، دی-گلوکونیک اسید-گاما لاکتون، سدیم گلوکونات، دی-گلوکونیک اسید و دی-مانوز مثال‌هایی از ساختارهای سازگار با محیط‌زیست و طبیعی هستند که قابلیت جلوگیری از تشکیل رسوب‌ها در مبدل‌های حرارتی را دارند. در ادامه در جدول ۴ ترکیبات سبزی که به کرات در مطالعات برای کنترل رسوب معدنی به‌کار گرفته شده‌اند، به اختصار آورده شده است.

جدول ۴- آنتی اسکالانت‌های سبز تکرار شده در مطالعات اخیر

بازدارنده	درصد کنترل	نوع رسوب	مرجع
کربوکسی متیل اینولین	۹۰ درصد	سیلیکای کلوییدی کلسیم کربنات	Demadis et al. (2005)
پکتین متصل به پلی آکرلیک اسید	۹۷-۱۰۰ درصد	کلسیم سولفات	Kalpana et al. (2012)
پکتین متصل به پلی آکرل آمید پکتین متصل به پلی(آکرل آمید-آمین)	۹۷/۷ درصد ۱۰۰ درصد	کلسیم سولفات	Chuhan et al. (2012)
پلیمر سوپا پلیمر شیر-کازئین الژینیک اسید	۹۲ درصد ۷۹ درصد ۸۹ درصد	کلسیم سولفات کلسیم کربنات	Miksic et al. (2016)
کربوکسی متیل اینولین	۹۰ درصد	کلسیم کربنات	Zhang et al. (2017)
کوپلیمر آکرلیک اسید TPEO/AA	حدود ۹۰ درصد حدود ۹۰ درصد	کلسیم فسفات کلسیم کربنات	Li et al. (2017)
پلی آسپارتیک اسید و پلی اپوکسی سوکسینیک اسید	۸۰ و ۹۰ درصد	کلسیم سولفات	Popov et al. (2017)
کوپلیمری از مشتقات پلی آسپارتیک اسید PASPTU	۱۰۰ درصد ۹۱ درصد	کلسیم اورتوفسفات کلسیم سولفات	Zhang et al. (2017)
کوپلیمر(آکرلیک اسید/اتیلن گلیکول/گلیسرول)	۹۱ درصد	کلسیم فسفات	Xue (2018)
سیتریک اسید	۸۰ درصد	کلسیم کربنات	Karar and Naamoune (2018)
کربوکسی متیل سلولز	۸۰-۹۰ درصد	کلسیم کربنات	Yu (2019)

۵- نتیجه‌گیری

بسیاری می‌شود. آنتی اسکالانت‌ها مواد شیمیایی بسیار موثری برای کنترل رسوب و جلوگیری از تشکیل آن هستند. این ترکیبات با مکانیزم‌های متنوعی از تشکیل رسوب جلوگیری

تشکیل رسوب در صنایع سبب بروز مشکلات فنی و اقتصادی

(2005), "Inorganic foulants in membrane systems: Chemical control strategies and the contribution of 'green chemistry'", *Desalination*, 179 (1-3), 281-295.

Dillon, C.P., (1995), *Materials of construction for once-through water systems*, MTI Publication No. 43, Nace International.

Esmacher, M.J., (2010), *Corrosion control in industrial water systems*, Chapter 5, In: *The Science and Technology of Industry Water Treatment*, Amjad, Z. (ed.), pp. 319-342, Taylor & Francis Group.

Hasson, D., Shemer, H., and Sher, A., (2011), "State of the art of friendly "green" scale control inhibitors: A review article", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 7601-7607.

Hoang, T.A., Ang, H.M., and Rohl, V., (2011), "Effects of process parameters on gypsum scale formation in pipes", *Chemical Engineering and Technology*, 34, 1003-1009.

Karar, A., and Naamoune, F., (2018), "Inhibition of calcium carbonate precipitation by citric acid", *Materials and Biomaterials Science*, 1(1), 19-23.

Kazi, S.N., Liu, W., Li, H., and He, C., (2015), "Particulate matter: Interfacial properties, fouling, and its mitigation", In: Z., Amjad and K.D., Demadis (eds.), *Mineral Scales and Deposits Scientific and Technological Approaches*, pp. 141-168, Elsevier, Oxford, United Kingdom.

Kolodnynska, D., (2011), "The chelating agents of a new generation as an alternative to conventional chelators for heavy metal ions removal from different waste waters", In: R.Y., Ning, (ed.), *Expanding Issues Desalination*, pp. 339-371, InTech, Croatia.

Li, J., Zhou, Y., Yao, Q., Wang, T., Zhang, A., Chen, Y., Wu, W., and Sun, W., (2017), "Preparation and evaluation of a polyether-based polycarboxylate as a kind of inhibitor for water systems", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(10), 2624-2633.

MacAdam, J., and Parsons, S.A., (2004), "Calcium carbonate scale formation and control", *Reviews in Environmental Science and Biotechnol*, 3, 159-169.

Malik, K., (1992), "Corrosion and material selection in desalination plants", In: *SWCC, O&M Seminar*, Al Jubail, Saudi Arabia, April.

Miksic, B.A., Furman, A.Y. and Kharshan, M.A., (2016), "Biodegradable and renewable raw materials in a new generation of water-treatment products", *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 5(3), 190-199.

Nowack, B., (2003), "Environmental chemistry of phosphonates", *Water Research*, 37, 2533-2546.

Pervov, A.G., Andrianov, A.P., Danilycheva, M.N., (2018), "Preliminary evaluation of new green antiscalants for reverse osmosis water desalination", *Water Science and Technology: Water Supply*, 18(1), 167-174.

Somerscales, E., (1990), "Fouling of heat transfer surfaces: an historical review", *Heat Transfer Engineering*, 11, 19-36.

Vidic, R.D., Liu, W., Li, H., and He, C., (2015), "Water treatment chemicals: Types, solution chemistry, and applications", In: Amjad, Z., and Demadis, K.D.,

می‌نمایند. در انتخاب و به‌کارگیری آنتی اسکالانت‌ها علاوه بر نکات فنی باید الزامات بهداشتی و محیط‌زیستی نیز مدنظر قرارگیرد. آنتی اسکالانت‌های طبیعی سمیت پایین و زیست تخریب‌پذیری بالایی دارند. به‌همین دلیل به‌نظر می‌رسد آنتی اسکالانت‌های طبیعی جایگزین مناسبی برای ترکیبات شیمیایی مرسوم باشند.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Mineral scale
- 2- Antiscalant
- 3- Make up water
- 4- Initiation
- 5- Transformation
- 6- Attachment
- 7- Aging
- 8- Threshold effect
- 9- Crystal modification
- 10- Dispersion
- 11- Sequestering effect

۷- مراجع

AL-Hamzah, A.A., East, C.P., Doherty, W.O., and Fellows, C.M., (2014), "Inhibition of homogenous formation of calcium carbonate by poly (acrylic acid), The effect of molar mass and end-group functionality", *Desalination*, 338, 93-105.

Amjad, Z., and Demadis, K.D., (2015), *Mineral scales and deposits scientific and technological approaches*, Elsevier, Oxford, United Kingdom.

Amjad, Z. and Koutsoukos, P.G., (2014), "Evaluation of maleic acid based polymers as scale inhibitors and dispersants for industrial water applications", *Desalination*, 335, 55-63.

Antony, A., Low, J.H., Gray, S., Childress, A.E., Le-Clech, P., and Leslie, G., (2011), "Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review", *Journal of Membrane Science*, 383, 1-16.

Beer, W., and Corvetto, R., (2007), "A new closed system treatment program for industrial applications", *Proceedings of the Cooling Tower Institute Annual Conference*, Corpus Christi, TX.

Chauhan, K., Kumar, R., Kumar, M., Sharma, P., and Chauhan, G.S., (2012), "Modified pectin-based polymers as green antiscalants for calcium sulfate scale inhibition", *Desalination*, 305, 31-37.

Demadis, K.D., Katarachia, S.D., and Koutmos, M., (2005), "Crystal growth and characterization of zinc-(amino-tris (methylenephosphonate)) organic-inorganic hybrid networks and their inhibiting effect on metallic corrosion", *Inorganic Chemistry Communication*, 8(3), 254-258.

Demadis, K.D., Neofotistou, E., Mavredaki, E., Tsiknakis, M., Sarigiannidou, E.-M., Katarachia, S.D.,

- (eds.), *Mineral Scales and Deposits Scientific and Technological Approaches*, pp. 169-191, Elsevier, Oxford, United Kingdom.
- Wilson, M.P., (2004), "Experimental and computer modelling studies of gypsum crystallization", Ph.D. Thesis, Curtin University of Technology, W.A.
- Wang, Z., Ma, J., Tang, C.Y., Kimura, K., Wang, Q., and Han, X., (2014), "Membrane cleaning in membrane bioreactors: A review", *Journal of Membrane Science*, 468, 276-307.
- Kunanz, H., and Wolfel, S., (2014), *Scale removal with ultrasonic waves*, Society of Petroleum Engineering, SPE-169770-MS.
- Xue, M., Zhang, C., Liu, Q., Yang, H., and Liu, G., (2019), "Polyether copolymers containing fluorescent groups: A green inhibitor for calcium carbonate", *Water Supply*, 19(3), 725-734.
- Yu, W., Song, D., Li, A., and Yang, H., (2019), "Control of gypsum-dominated scaling in reverse osmosis system using carboxymethyl cellulose", *Journal of Membrane Science*, 577, 20-30.
- Zhang, Y., Yin, H., Zhang, Q., Li, Y., Yao, P., and Huo, H., (2018), "A novel polyaspartic acid derivative with multifunctional groups for scale inhibition application", *Environmental Technology*, 39(7), 843-850.



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

Review Paper

مقاله مروری

A Review on Influential Factors on Polyhydroxyalkonates (PHA) Production with Feast /Famine Regime Using Waste Sludge from Biological Wastewater Treatment

Azar Asadi^{1*}, Farinaz Ahmadi², Ali Akbar Zinatizadeh³ and Ali Namvar⁴

1- Assistant Professor, Department of Applied Chemistry, Faculty of Gas and Petroleum, Yasouj University, Gachsaran, Iran.

2- MSc. in Applied Chemistry, Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Razi University, Kermanshah, Iran.

3- Professor, Department of Applied Chemistry, Faculty of chemistry, Razi University, Kermanshah, Iran.

4- Undergraduate Student, Department of Applied Chemistry, Faculty of Gas and Petroleum, Yasouj University, Gachsaran, Iran.

* Corresponding author, Email: a.asadi@yu.ac.ir

Received: 12/05/2020

Revised: 20/10/2020

Accepted: 24/10/2020

© IWWA

Abstract

Due to the increased use of plastic materials in the daily lives of human all over the worlds and the concerns about the negative impacts of petroleum based plastics on aquatic and soil environments, the researchers have attempted to introduce biodegradable alternatives to such plastics. The non-biodegradability of petroleum based plastic is due to the large and long polymer molecules and the strong bonds between them, which ultimately makes it very difficult and even impossible for microorganisms to break down the molecules. The bioplastics are simply decomposed into their constituent units by the activity of living organisms and do not remain in the environment. Polyhydroxyalkonates (PHAs) are among the biodegradable polymers that have been received attention in the recent years. PHAs are polyester compounds that are produced by bacteria under special conditions. Feast/famine methodology is one of the methods for PHA production from bacteria. In this method, a sequencing batch reactor (SBR) is used to supply feast and famine conditions, so that bacteria which are capable to produce PHA, compete with other microorganisms and obtain the maximum amount of PHA from the culture medium. In this review article, the method of feast/famine and the influential factors on producing PHA including feed type, feast/famine ratio, feed to microorganism (F/M) ratio, dissolved oxygen and nutrients concentration are investigated.

Keywords: Activated sludge, Biodegradable plastics, Feast and famine, Polyhydroxyalkonate.

مروری بر عوامل موثر در روش فقر و غنا برای تولید پلاستیک زیستی از لجن مازاد تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

آذر اسدی^{۱*}، فریناز احمدی^۲، علی اکبر زینتی‌زاده^۳ و علی نامور^۴

۱- استادیار، گروه شیمی کاربردی، دانشکده نفت و گاز گچساران، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویر احمد، ایران.

۲- دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳- استاد، گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۴- دانشجوی کارشناسی، گروه شیمی کاربردی، دانشکده نفت و گاز گچساران، دانشگاه یاسوج، کهگیلویه و بویر احمد، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: a.asadi@yu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

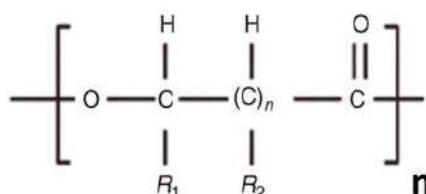
چکیده

با توجه به کاربرد روز افزون مواد پلاستیکی در زندگی روزمره انسان‌ها و مشکلاتی که برای محیط‌زیست ایجاد می‌کنند محققان تلاش کردند جایگزین زیست تخریب‌پذیری را برای پلاستیک‌های نفتی معرفی کنند. زیست تخریب‌ناپذیر بودن پلاستیک‌های سنتی به دلیل بزرگ و طویل بودن بیش از حد مولکول‌های پلیمری و وجود اتصالات محکم بین آن‌ها است که در نهایت شکسته شدنشان توسط میکروارگانیسم‌ها را بسیار مشکل و حتی غیرممکن می‌سازد. اما پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر به سادگی توسط فعالیت موجودات زنده به واحدهای سازنده خود تجزیه شده و در محیط باقی نمی‌ماند. پلی هیدروکسی آلکونات‌ها (PHA) از جمله پلیمرهای زیست تخریب‌پذیری هستند که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. PHAها ترکیبات پلی استری هستند که توسط میکروارگانیسم‌ها تحت شرایط ویژه سنتز می‌شوند. یکی از روش‌های تولید PHA از باکتری‌ها روش غنا و فقر است. در این روش از یک بیوراکتور با جریان ورودی و خروجی منقطع برای تامین رژیم غنا و فقر^۲ استفاده می‌شود تا میکروارگانیسم‌هایی که توانایی ذخیره PHA دارند بتوانند در رقابت با سایر میکروارگانیسم‌ها غالب شوند و در نتیجه حداکثر میزان PHA از محیط کشت حاصل شود. در این مقاله مروری، روش فقر و غنا برای تولید PHA و عوامل موثر بر آن شامل نوع خوراک، نسبت غنا به فقر، نسبت غذا به میکروارگانیسم، غلظت اکسیژن محلول و مواد مغذی مورد مطالعه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پلی هیدروکسی آلکونات، پلاستیک زیست تخریب‌پذیر، لجن فعال، غنا و فقر

PHA شبیه به پلی اتیلن (PE) و پلی پروپیلن (PP) است که خواص آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. هموپلیمر پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) یک ترموپلاستیک سفت و نسبتاً شکننده است. PHB خواص مفیدی از جمله مقاومت در برابر رطوبت، عدم حلالیت در آب، خلوص نوری و نفوذ ناپذیری بالایی در برابر اکسیژن را دارا است. این خواص PHB را از دیگر بیوپلاستیک‌های موجود متمایز می‌کند. امروزه، بیش از ۹۰ نوع مختلف مونومر هیدروکسی آلکانوات شناسایی شده‌اند (Muhammadi et al., 2015).

پلاستیک نفتی نقش مهمی در زندگی روزمره انسان ایفا می‌کند اما باعث آلودگی گسترده محیط زیست می‌شود. بیوپلاستیک، یک پلاستیک تخریب پذیر می‌باشد که جایگزینی برای پلاستیک نفتی در نظر گرفته می‌شود. یکی از شناخته شده ترین بیوپلاستیک‌ها، پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها (PHA) است. PHA ترکیبات پلی استر خطی است که به طور طبیعی توسط بسیاری از باکتری‌ها از منابع تجدیدپذیر (مبتنی بر محیط زیستی) تولید می‌شود. خواص



شکل ۱- ساختار شیمیایی پلی هیدروکسی آلکانوات (PHA)، n تعداد واحدهای PHA در ساختار پلی استر خطی؛ R₁ و R₂، زنجیره‌های جانبی هیدروکربن متغیر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی هموپلیمر PHB، پلی پروپیلن و پلی اتیلن

خصوصیات	پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB)	پلی پروپیلن (PP)	پلی اتیلن (PE)
نقطه ذوب (°C)	۱۷۵	۱۷۶	۱۳۰-۱۱۰
دمای انتقال شیشه (°C)	۱۵	-۱۰	-۱۱۰
بلورینگی (%)	۸۰	۷۰	۸۰-۳۵
استحکام کششی (MPa)	۴۰	۳۴/۵	۴۵/۲-۱۵
ضریب یانگ	۳/۵	۱/۷	۱/۱۳-۱/۰۱
ازدیاد طول تا پارگی (%)	۶	۴۰۰	۱۹-۳
مقاومت در برابر ضربه (v/m)	۵۰	۴۵	-

زیست توده لجن فعال است، هزینه سوبه‌های باکتری خالص و خطر تخریب محیط کشت از بین می‌رود. هم‌چنین، استفاده از محیط کشت میکروبی مخلوط باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود زیرا کنترل فرآیند ساده است و در شرایط غیر استریل انجام می‌شود. علاوه بر این محیط کشت مخلوط می‌تواند به راحتی با تغییرات منبع کربنی سازگار باشد. بنابراین انواع پسماندها و زباله‌ها را می‌توان به عنوان خوراک استفاده کرد.

ارزیابی اقتصادی نشان داد که در صورت استفاده از زباله‌های تجدیدپذیر و لجن فعال می‌توان هزینه‌های تولید PHA را بیش از نیمی کاهش داد (Serafim et al., 2004). تولید PHA معمولاً تحت تأثیر تغییر شرایط عملیاتی برای غنی سازی محیط کشت مخلوط از باکتری‌های تجمع کننده PHA است. بنابراین، شرایط عملیاتی باید برای غنی سازی محیط کشت موفق با عملکرد و میزان بالای تولید PHA و ترکیب پلیمر پایدار بهینه شود.

در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای در تحقیقات برای درک و بهبود فن آوری‌های تولید PHA شده است. امروزه بیشترین تولید صنعتی PHA با استفاده از محیط کشت‌های خالص یا نو ترکیب حاصل می‌شود (Amini et al., 2020). حداکثر غلظت PHA در تحقیقات، بیش از ۸۰ گرم در لیتر و بهره‌وری بیش از ۲ گرم بر لیتر در ساعت در آزمایشگاه با استفاده از محیط کشت با خوراک‌دهی منقطع به دست آمده است. یک جایگزین مناسب برای محیط کشت‌های خالص^۴ استفاده از محیط کشت‌های میکروبی مخلوط است.

لجن فعال که برای حذف COD و مواد مغذی در تصفیه خانه‌های فاضلاب به کار می‌رود حاوی مقادیر عظیمی از میکروارگانیسم‌ها با قابلیت ذخیره PHA است. این ذخیره کنندگان PHA می‌توانند به عنوان کشت میکروبی مخلوط برای تولید کارآمد PHA انتخاب شوند. از آنجا که منبع

مواد مغذی، نسبت خوراک به میکروارگانیسم مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- استراتژی فقر-غنا یا تغذیه پویای هوازی (ADF)^۵

مشکل اصلی استفاده مستقیم از لجن فعال شده برای تولید PHA میزان ذخیره بسیار کم پلیمر است، زیرا تنها بخشی از زیست‌توده میکروبی قابلیت ذخیره‌سازی PHA دارد. برای غلبه بر این محدودیت، استراتژی‌های مختلفی از جمله استفاده از رژیم‌های فقر-غنا و بی‌هوازی/هوازی به‌منظور غنی‌سازی لجن فعال با باکتری‌های ذخیره‌کننده PHA ارائه شده است. (عروجی و همکاران، ۱۳۹۷؛ یحیی و سمیه، ۱۳۹۹)

در دو دهه اخیر، تحقیقات بسیاری در مورد روش‌های مختلف انتخاب کشت میکروبی مخلوط از جمله غنا و فقر و بی‌هوازی/هوازی و غیره انجام شده است. هر روش عملیاتی شرایط متفاوتی برای رشد میکروارگانیسم‌ها با توانایی انباشت PHA ایجاد می‌کند. حداکثر بازده تولید PHB با استفاده از روش‌های غنی‌سازی بی‌هوازی/هوازی و غنا و فقر به‌ترتیب ۶۴٪ و ۵۳٪ (درصد وزنی) گزارش شده است (Liu et al., 2016b). جدول ۲ مقایسه‌ای بین فرایندهای مختلف تولید PHA توسط محیط کشت‌های میکروبی مخلوط و محیط کشت‌های خالص ارائه می‌دهد. در این مقاله مروری، مهم‌ترین روش تولید PHA از لجن فعال موسوم به روش فقر و غنا معرفی و عوامل موثر بر این روش شامل شرایط راهبری، نوع خوراک، pH، سطح اکسیژن محلول،

جدول ۲- مقایسه فرایندهای مختلف استفاده شده برای تولید PHA توسط کشت میکروبی مخلوط و محیط کشت میکروبی خالص

نوع فرایند	نوع منبع کربن خارجی	محتوای PHA (g polymer/g biomass)	توضیحات	مرجع
غنا و فقر	استات	۵۳٪	با هدف غنی‌سازی لجن فعال از میکروارگانیسم‌های تجمع‌کننده PHA، لجن فعال در معرض دوره‌های پی در پی در دسترس بودن منبع کربن خارجی (دوره غنا) و در دسترس نبودن منبع کربن خارجی (دوره فقر) قرار می‌گیرد. تحت شرایط پویا، رشد میکروارگانیسم‌ها و ذخیره‌سازی PHA به‌طور هم‌زمان در حضور منبع کربن خارجی رخ می‌دهد و با اتمام منبع کربن خارجی PHA ذخیره شده به‌عنوان منبع کربن و انرژی توسط میکروارگانیسم مصرف می‌شود.	Liu et al. (2016b)
بی‌هوازی/هوازی ^۶	استات	۶۴٪	این سیستم‌ها با چرخه‌های بی‌هوازی و هوازی متناوب کار می‌کنند. میکروارگانیسم‌های انتخاب شده توسط این روش که توانایی انباشت PHA را دارند از دو گروه اصلی میکروارگانیسم‌های تجمع‌کننده پلی فسفات (PAO) و میکروارگانیسم‌های تجمع‌دهنده گلیکوژن (GAO) تشکیل شده است. سنتز PHA نقش مهمی در متابولیسم هر دو گروه میکروارگانیسم دارد. تحت شرایط بی‌هوازی، منبع کربن خارجی به صورت PHA در بدن میکروارگانیسم ذخیره شده و به‌طور هم‌زمان گلیکوژن یا پلی فسفات مصرف می‌شود. در حضور اکسیژن، میکروارگانیسم‌های PAO و GAO از PHA ذخیره شده به‌عنوان منبع کربن و انرژی برای رشد و بقا استفاده می‌کند.	Liu et al. (2016b)
میکروهوازی/هوازی ^۷	استات	۶۲٪	اگرچه تحت شرایط بی‌هوازی/هوازی غنی‌سازی لجن فعال به‌صورت موفقیت‌آمیز انجام می‌شود اما تحقیقات نشان داده است که لجن فعال تحت شرایط هوازی PHA بیشتری نسبت به شرایط بی‌هوازی ذخیره می‌کند. از این‌رو محققان روش میکروهوازی/هوازی معرفی کردند که مقدار محدود و کافی اکسیژن به شرایط بی‌هوازی تزریق می‌شود.	Satoh et al. (1998)
تغذیه مجزا کربن و نیتروژن ^۸	استات	۷۹٪	غنی‌سازی لجن فعال با این روش مبتنی بر تحمیل محدودیت رشد داخلی است. این فرایند مشابه فرایند غنا و فقر است و تنها تفاوت آن در نحوه راهبری فرایند است. در طی فرایند منبع کربن خارجی در ابتدای دوره غنا و منبع نیتروژن در ابتدای دوره فقر به سیستم تزریق می‌شود. در طی دوره غنا به‌دلیل نبود نیتروژن رشد میکروارگانیسم‌ها محدود شده و مقدار بیشتری از منبع کربن خارجی برای ذخیره به‌صورت PHA در دسترس است. در ادامه با افزودن نیتروژن و نبود منبع کربن خارجی شرایط برای رشد میکروارگانیسم‌های تجمع‌کننده PHA مساعدتر می‌شود.	Ahmadi et al. (2020b)
محیط کشت خالص	استات و بوتیرات	۷۵٪	PHA به‌طور طبیعی توسط بسیاری از میکروارگانیسم‌ها سنتز می‌شود. در این فرایند از یک نوع خاص میکروارگانیسم با توانایی تجمع PHA استفاده می‌شود.	Kedia et al. (2014)

کاهش می‌یابد که منجر به افزایش سطح اکسیژن محیط می‌شود و در این شرایط خوراک‌دهی پالسی به‌منظور افزایش منبع کربنی اتفاق می‌افتد در واقع افزایش سطح اکسیژن محلول باعث افزودن پالس بعدی خوراک می‌شود. پالس‌ها تا زمان حفظ سطح اکسیژن محلول در سطح معینی تکرار می‌شوند، بنابراین، حداکثر محتوای PHA در زیست‌توده حاصل می‌شود.

همچنین محققان اثبات کرده‌اند که راکتورهایی با گرادیان بالا در غلظت خوراک ورودی مانند راکتورهایی با جریان لوله‌ای و منقطع (SBR) منجر به انتخاب مطلوب میکروارگانیسم‌ها با قابلیت ته‌نشینی خوب نسبت به میکروارگانیسم‌های رشته‌ای می‌شود. در حالی که نتایج به‌دست آمده توسط Wen et al. (2012) نشان داد که استفاده از باکتری‌های رشته‌ای می‌تواند با نرخی قابل‌مقایسه با لجن‌های قابل ته‌نشینی، PHA را ذخیره کنند. علاوه بر این، تقاضای اکسیژن محلول کمتر باکتری‌های رشته‌ای باعث صرفه‌جویی در انرژی مورد نیاز برای هوادهی در مرحله غنی‌سازی محیط کشت می‌شود. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که یک لجن حجیم (با قابلیت ته‌نشینی کم) با ظرفیت ذخیره‌سازی PHA حتی بالاتر از لجن‌های قابل ته‌نشینی نیز می‌تواند به‌طور پیوسته راهبری شود.

هسته عملکردی فرآیند ADF، انتخاب اجتماع میکروبی ذخیره‌کننده PHA با کارایی بالا است و به‌این منظور تنظیم و تثبیت چنین جامعه میکروبی باید به‌طور عمیق مورد مطالعه قرار گیرد. در یک مثال از اجرای موفقیت آمیز این استراتژی که از استات به‌عنوان منبع کربنی استفاده شد بالاترین میزان تولید PHA، ۸۹ درصد از وزن خشک سلول در مدت زمان راهبری ۷/۶ ساعت (نسبت فقر-غنا، ۰/۰۹) با استفاده از لجن فعال گزارش شد (Johnson et al., 2009).

۳- تأثیر شرایط عملیاتی

۳-۱- نسبت غنا به فقر در مرحله غنی‌سازی

روش فقر و غنا به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان وسیله‌ای کارآمد برای تولید PHA با استفاده از محیط کشت میکروبی مخلوط در سیستم‌های هوازی شناخته می‌شود (Serafim et al., 2008a). در روش فقر و غنا، فشار انتخابی مبتنی بر در دسترس بودن بستر کربن است. میکروارگانیسم‌هایی که می‌توانند پلیمرهای قابل ذخیره تولید کنند، میزان جذب بالاتری دارند و در رقابت با سایر میکروارگانیسم‌ها برنده می‌شوند. این روش با اعمال یک مرحله طولانی قحطی، به‌منظور افزایش فشار انتخابی و دستیابی به

ADF یک استراتژی تغذیه‌ای اساسی برای تجمع پلی‌هیدروکسی آلکانوات (PHA) در محیط کشت‌های خالص و مخلوط است. ADF براساس رژیم فقر-غنا در یک سیستم تصفیه فاضلاب کار می‌کند. روند کلی تولید PHA با استفاده از محیط کشت مخلوط معمولاً در یک فرآیند سه مرحله‌ای انجام می‌شود. در مرحله اول، ماده آلی از طریق تخمیر اسیدوژن به یک ماده غنی اسیده‌ای چرب فرار (VFA)^۹ تبدیل می‌شود. در مرحله دوم که مرحله غنی‌سازی محیط کشت است جمعیت باکتری‌های ذخیره‌کننده PHA در محیط کشت افزایش می‌یابد. به‌این منظور از VFA تولید شده قبلی (در مرحله اول) به‌عنوان خوراک در یک راکتور منقطع متوالی (SBR) به‌منظور غنی‌سازی محیط کشت استفاده می‌شود و اعتقاد بر این است که امیدوار کننده‌ترین فرایند برای تولید صنعتی است. ثابت شده است که محیط کشت مخلوط قادر به تجمع PHA در شرایط ناپایدار مانند تغذیه ناپیوسته و یا محدودیت مواد مغذی (نیتروژن، فسفر، اکسیژن و...) است. به‌طور خاص، هنگامی که لجن به دوره‌های متوالی در شرایط فقر و غنا از نظر منبع کربنی در یک راکتور منقطع متوالی (SBR)^{۱۰} قرار گیرد ذخیره‌سازی PHA توسط لجن فعال می‌تواند افزایش یابد. در منابع علمی گزارش شده است که فقدان منبع کربن خارجی (دوره فقر) برای مدت زمان قابل‌توجهی باعث کاهش مقدار آنزیم‌های مورد نیاز برای رشد سلول می‌شود. در پی چنین دوره گرسنگی، اگر محیط کشت میکروبی با منبع کربن اضافی (دوره غنا) غنی شود، از آنجایی که آنزیم‌های موجود در سلول‌ها پایین‌تر از حد موردنیاز برای رسیدن به حداکثر رشد است، ذخیره‌سازی پدیده غالب خواهد بود (Bengtsson et al., 2008). این شرایط امکان انتخاب یک محیط کشت غنی شده با ظرفیت بالاتر و با ثبات‌تر برای تولید PHA را فراهم می‌آورد. میکروارگانیسم‌هایی که در مرحله غنای اولیه می‌توانند از منبع کربنی برای ذخیره‌سازی استفاده کنند، نسبت به سایر میکروارگانیسم‌های موجود مزیت رقابتی دارند زیرا می‌توانند از پلیمر ذخیره شده به‌عنوان منبع کربن داخلی در مرحله قحطی استفاده کنند (Van Loosdrecht et al., 1997). سرانجام، زیست‌توده غنی شده برداشت می‌شود و در مرحله سوم با اعمال شرایط عملیاتی خاص مانند بار آلی بالاتر حداکثر محتوای پلیمر در زیست‌توده ذخیره خواهد شد. در نهایت حداکثر پلیمر ذخیره شده در زیست‌توده (مرحله سوم) استخراج می‌شود.

متداول‌ترین استراتژی کاربردی برای به حداکثر رساندن تجمع PHA، کنترل تنفس درون سلولی با اعمال خوراک‌دهی پالسی است. با افزایش تنفس درون سلولی، سطح منبع کربنی

محیط کشت مخلوط غنی شده از میکروارگانیسم‌های جمع‌آورنده PHA همراه می‌باشد.

در عملکرد SBR، مدت زمان مرحله غنا به طور مستقیم به میزان جذب خوراک بستگی دارد که با غلظت خوراک ورودی، غلظت زیست‌توده فعال و سرعت ویژه جذب خوراک تعیین می‌شود. انتظار می‌رود که افزایش غلظت خوراک (در زمان نگهداشت ثابت) منجر به افزایش متناظر غلظت سلول راکتور شود. به‌طور کلی تشخیص داده شده است که نسبت غنا به فقر پایین‌تر از ۰/۳ تا ۰/۲۵ برای غنی‌سازی محیط کشت میکروبی مخلوط با ظرفیت ذخیره بالا مورد نیاز است. این شرایط به میکروارگانیسم‌های تجمع PHA یک مزیت رقابتی نسبت به سایر میکروارگانیسم‌ها می‌دهد. در مقابل، در نسبت غنا به فقر بالاتر از ۰/۵۵ رشد میکروارگانیسم‌ها بر فرآیندهای ذخیره‌سازی پلیمر غالب می‌شود.

Cavaillé et al. (2013) میزان تولید را با و بدون مرحله غنی‌سازی مورد مطالعه قرار دادند. نسبت میزان تولید PHA به خوراک مصرف شده در این تحقیق ۰/۲ مول PHA/مول خوراک مصرف شده گزارش شده است که در مقایسه با شرایطی که مرحله غنی‌سازی وجود دارد به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر است (حداکثر ۰/۹ مول PHA/مول خوراک مصرف شده). برخی محققان بر میزان PHA تولید شده در مرحله غنی‌سازی توجه دارند. شرایط کار و نتایج حاصل از برخی از آن‌ها در جدول ۳ خلاصه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ گزارش شده است، محتوای PHA در زیست‌توده در پایان فاز غنا با کاهش نسبت غنا به فقر افزایش می‌یابد. این روند به دلیل پاسخ متفاوت میکروبی به غلظت بالای خوراک است. در واقع، میکروارگانیسم‌ها هر لحظه در معرض غلظت بستر قرار می‌گیرند که ناشی از سرعت و غلظت جریان خوراک و میزان جذب خوراک توسط میکروارگانیسم‌ها است. بنابراین رقابت در به‌دست آوردن خوراک، ترکیب میکروبی لجن را در هر چرخه تغذیه تغییر می‌دهد. با توجه به گزارشات، با افزایش نسبت غنا به فقر، میزان ذخیره PHA در پایان فاز غنا افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که به‌طور معمول سرعت ذخیره‌سازی PHA پایین است، اعمال شرایط ویژه (نسبت غنا به فقر بالا، زمان ماند بالا برای حذف منبع کربنی) منجر به افزایش سهم کربن ذخیره شده در قالب PHA می‌شود و در اصل می‌تواند یک مزیت برای بهره‌وری فرآیند باشد. البته عوامل دیگری نیز در تجمع PHA تأثیر دارند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

به‌طور کلی، اثر نسبت غنا به فقر (یا متقابل آن، طول چرخه) اغلب همراه با سرعت بارگذاری مواد آلی یا زمان ماند سلولی تغییر

می‌کند. در مقاله‌ای، آزمایش‌هایی با تغییر زمان ماند سلولی در محدوده ۲-۸ ساعت انجام شد. در این تحقیق، کاهش زمان ماند سلولی منجر به انتخاب بهتر زیست‌توده با ظرفیت ذخیره‌سازی مناسب و در نتیجه افزایش عملکرد و میزان تولید پلیمر شد (Valentino et al., 2014).

۳-۲- تأثیر مواد مغذی

اثر عوامل خارجی از جمله کمبود مواد مغذی در سنتز PHA نیز به‌ویژه در مرحله غنی‌سازی محیط کشت مورد بررسی قرار گرفت. محدودیت مواد مغذی منجر به افزایش تولید پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) می‌شود در حالی که نیتروژن بالا باعث افزایش رشد زیست‌توده بدون تولید PHB می‌شود. غلظت کم فسفر و نیتروژن اثر مثبتی بر تجمع PHB دارا هستند. در سال ۲۰۰۲، میزان PHA به‌دست آمده از لجن فعال بدون مرحله غنی‌سازی قبلی حدود ۳۰٪ گزارش شده است (Takabatake et al., 2002).

در سال‌های بعد گزارش شد که در راکتور SBR با شرایط محدود کننده نیتروژن، میزان تجمع PHA تا ۵۷٪ گزارش شد (Mengmeng et al., 2009). (Cavaillé et al., 2013) آزمایش تجمع PHA لجن فعال بدون غنی‌سازی قبلی را انجام دادند، اما در مرحله تجمع محدودیت فسفر را اعمال کردند و میزان PHA تا ۷۰٪ به‌دست آمد. هم‌چنین، در مطالعه‌ای که توسط Wen et al. (2012) انجام شد، حداکثر تجمع PHA تا ۵۹٪ وزن خشک سلول با بهره‌وری ۱/۶۱ میلی‌گرم PHA / میلی‌گرم COD مصرف شده با محدودیت ازت مشاهده شد. نتایج نشان داد که زیست توده لجن فعال باعث تولید پلی هیدروکسی بوتیرات بیشتری نسبت به پلی هیدروکسی والرات خصوصاً در شرایط محدودیت می‌شود. (Ince et al., 2012) عملکرد زیست‌توده غنی شده در شرایط کافی از نظر نیتروژن و کمبود نیتروژن به‌ترتیب برابر ۰/۴۳ و ۰/۶۱ مول PHA / مول خوراک گزارش کرده‌اند.

تمام مواردی که تاکنون در این مقاله ارجاع شده است با محیط کشت‌های غنی‌شده هوازی محدود به تولید PHB استفاده از VFA منفرد به‌عنوان تنها منبع کربنی هستند. لازم به ذکر است که کوپلیمر (HB/HV)^{۱۱} برای بهره‌برداری تجاری و هم‌چنین این واقعیت که مخلوط‌های اسیدی با تخمیر اسیدوژنیک آسان‌تر به‌دست می‌آیند بیشتر مورد توجه قرار دارد. تأثیر ترکیب منبع کربن بر عملکرد فرآیند تولید PHA توسط برخی محققان مورد بحث قرار گرفت که در جدول ۴ ارائه شده است. تغذیه لجن فعال با بستر منابع کربن که تفاوت در عدد کربن

دارند (یعنی استات و بوتیرات) هموپلیمر PHB را تولید می‌کند. در حالی که یک کوپلیمر P (HB/HV) با HV به‌عنوان واحد غالب هنگامی تشکیل می‌شود که از منابع کربن با اعداد کربن بالاتر (یعنی پروپیونات و بالاتر) استفاده شود (Dias et al., 2006). با توجه به مطالعات انجام شده، برای ترکیب واحدهای HV در PHA، باید پروپیونات به‌عنوان یکی از منابع کربنی باشد.

جدول ۳- مقایسه نتایج به دست آمده در مطالعات انجام شده

منبع کربن	شرایط غنی سازی میکروبی				نتایج		مرجع
	غلظت خوراک (mg COD/L)	COD /N /P	غلظت لجن فعال (mg VSS/L)	زمان ماند لجن (day)	طول چرخه (h)	بازده تولید PHA ($Y_{PHA/S}$, g COD /g COD)	
استات، نشاسته	۱۲۳۰	۱۰۰، ۲/۶، ۷/۸	۲۴۰۰	۸	۴	۰/۴۸ ۰/۸۴	Ciggin et al. (2013)
استات	۳۰۰	۱۰۰/۲/۲	۲۳۱۰	۸	۶	۰/۶۸	Ince et al. (2012)
	۱۲۰۰	۱۰۰، ۲/۶، ۷/۸	۱۴۸۰	۸	۴	۰/۶۸	Ciggin et al. (2013)
	۱۱۰۰	۱۰۰، ۲/۶، ۷/۸	۱۰۵۰	۲	۴	۰/۵۴	Çiggin et al. (2011)
	۱۲۰۰	۱۰۰، ۵، ۲/۵	۱۵۰۰	۷	۶	—	Liu et al. (2016a)
	۴۵۰	۱۰۰، ۲۵/۵، ۸	۳۰۰۰	۷	۱۲	۰/۴	Bernat et al. (2008)
	۲۰۲۰	۱۰۰، ۰/۵، ۱/۲	۱۷۵۰	۸	۲	—	Ozdemir et al. (2014)

جدول ۴- مقایسه نتایج به دست آمده در مطالعات گزارش شده (استفاده از استراتژی ADF برای غنی سازی لجن فعال و استفاده از مرحله تجمع)

منبع کربنی	شرایط غنی سازی میکروبی				شرایط تجمع PHA		نتایج		مرجع
	غلظت خوراک (mg COD/L)	COD /N/P	غلظت لجن فعال (mg VSS/L)	زمان ماند لجن (day)	طول چرخه (h)	غلظت خوراک (mg COD/L)	غلظت لجن فعال (mg VSS/L)	بازده تولید PHA ($Y_{PHA/S}$, g COD /g COD)	
بوتیرات	۸۵۰	۱۰۰/۳، ۸/۴۸	۶۳۰	۱	۱۲	۱۷۰۰	۶۳۰	۲/۶۹	Marang et al. (2013)
استات	۳۰۰	۱۰۰، ۲/۲	۲۳۰۰	۸	۶	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۱	Basak et al. (2011)
	۹۵۰	۲/۱، ۲/۸، ۱۰۰	۳۰۰۰	۱۰	۱۲	۱۹۰۰	۱۵۰۰	۱/۲۶	Serafim et al. (2008b)
	۱۷۲۰	۵/۵، ۴/۴۸، ۱۰۰	۶۳۰	۱	۱۲	۲۵۵۰	۶۳۰	۴/۰۴	Johnson et al. (2009)
	۱۱۶۰	۴/۳۷، ۲/۶، ۱۰۰	۲۰۰۰	۵	۲۴	۶۳۵۰	۲۰۰۰	۳/۱۸	Liu et al. (2011)
	۱۶۵۰	۵/۵، ۴/۴۸، ۱۰۰	۵۵۰	۱	۱۸	۸۳۰	۲۸۰	۲/۹۶	Jiang et al. (2011)
	۹۵۰	۸/۸۴، ۴/۵۵، ۱۰۰	۲۰۰۰	۶	۶	۱۲۷۰	۱۰۰۰	۱/۲۷	Qu and Liu (2009)
	۱۲۰۰	۲/۸۲، ۱/۶۸، ۱۰۰	۴۰۰۰	۲	۱۲	۱۲۰۰	۲۰۰۰	۰/۶	Montiel-Jarillo et al. (2017)
	۸۵۰	۴/۵۷، ۱/۱۲، ۱۰۰	۲۰۰۰	۱۰	۸	۲۵۵۰	۲۰۰۰	۱/۲۷	Wen et al. (2012)
	۱۳۵۰	۱۰۰، ۱۰، ۱	۵۵۰۰	۸	۱۲	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۱۱	Ahmadi et al. (2019)

۳-۳- تاثیر نوع خوراک

۳-۳-۱- مرحله غنی سازی

در مرحله غنی سازی، لجن تولید شده دارای قابلیت ذخیره سازی PHA بالایی است که در مرحله بعدی مورد بهره برداری قرار می گیرد. این لجن وارد راکتور منقطع SBR با مقادیر زیادی منبع کربنی می شود تا حداکثر ظرفیت لجن برای ذخیره غلظت پلیمر در زیست توده مورد ارزیابی قرار گیرد. جدول ۳ شرایط راهبری و نتایج به دست آمده در برخی از تحقیقات انجام شده را برای تولید PHA با استفاده از VFA منفرد به عنوان خوراک و ADF به عنوان استراتژی غنی سازی را نشان می دهد. با توجه به داده های جدول مشخص می شود که نسبت غنا به فقر تأثیر معکوس بر محتوای PHA دارد.

همچنین بوتیرات به دو دلیل خوراک مناسبی برای تولید PHA است. اول، این محصول از بازده نظری بالایی برخوردار است. عملکرد استوکیومتری PHA در بوتیرات ۰/۹۴ غلظت مولی است که ۴۰ درصد بیشتر از عملکرد استات است (Shi et al., 1997). دوم و مهم تر از آن، بوتیرات در طی تخمیر اسیدوزن از جریان های زباله آلی به مقدار زیادی تولید می شود. (Marang et al., 2013). خوراک بوتیرات را به عنوان منبع کربنی برای تولید پلی هیدروکسی آلکانوات (PHA) توسط محیط کشت غنی سازی شده بررسی کرد. نتایج به دست آمده میزان بالای جذب کربن و بازده PHA را با خوراک بوتیرات نسبت به استات نشان می دهد. علاوه بر این، هنگامی که هر دو خوراک در دسترس بودند جذب بالاتری از بوتیرات توسط میکروارگانیسم ها گزارش شد و تنها پس از کاهش چشمگیر بوتیرات، جذب استات با سرعت بالایی صورت گرفت.

تمام مواردی که تاکنون در این مقاله ارجاع شده است با محیط کشت های غنی شده هوازی محدود به تولید PHB با استفاده از VFA منفرد به عنوان تنها منبع کربنی هستند. لازم به ذکر است که کوپلیمر (HB/HV) P برای بهره برداری تجاری و همچنین این واقعیت که مخلوط های اسیدی با تخمیر اسیدوزنیک آسان تر به دست می آیند بیشتر مورد توجه قرار دارد (Traverso et al., 2000). تأثیر ترکیب منبع کربن بر عملکرد فرآیند تولید PHA توسط برخی محققان مورد بحث قرار گرفت که در جدول ۵ ارائه شده است. تغذیه لجن فعال با بستر منابع کربن که تفاوت در عدد کربن دارند (یعنی استات و بوتیرات) هموپلیمر PHB را تولید می کند. در حالی که یک کوپلیمر P (HB/HV) با HV به عنوان واحد غالب هنگامی تشکیل می شود

که از منابع کربن با اعداد کربن بالاتر (یعنی پروپیونات و بالاتر) استفاده شود (Dias et al., 2006). با توجه به مطالعات انجام شده، برای ترکیب واحدهای HV در PHA، باید پروپیونات به عنوان یکی از منابع کربنی باشد.

بنابراین، ترکیب خوراک یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر ساختار جمعیت میکروبی و عملکرد سیستم های تولید PHA است. همان طور که قبلاً نیز گفته شد، تحمیل شرایط غنی سازی از طریق نسبت کم غنا/فقر و تعداد کم چرخه به ازای سن لجن، میکروارگانیسم ها را براساس کارایی آنها برای ذخیره PHA انتخاب می کند. با این حال، از آن جا که این مطالعات فقط از تعداد محدودی از منابع کربن استفاده می کردند، نمی توان پیش بینی کرد که آیا همان شرایط انتخابی در صورت وجود خوراک های متعدد، غنی سازی محیط کشت را به همراه خواهد داشت. مطالعه ارتباط بین ترکیب میکروبی و اولویت جذب منبع کربنی در یک محیط کشت ذخیره سازی PHA توسط (Albuquerque et al., 2013) انجام شد. نتایج نشان می دهد که هنگامی که مخلوطی از VFA به عنوان منبع کربن استفاده می شود، بوتیرات با بالاترین سرعت مصرف می شود، سپس استات و بعد از آن پروپیونات مصرف می شود. همچنین، میزان جذب استات هنگامی که سایر بسترهای VFA کاهش پیدا کرده اند، افزایش ناگهانی را نشان داد. در شرایط هوازی، با استفاده از مخلوطی از اسید استیک، پروپیونیک و اسید لاکتیک، کاهش شدید میزان حذف اسید استیک و لاکتیک در حضور سایر منابع کربنی نسبت به هنگام استفاده از هر منبع کربنی به تنهایی مشاهده شد (Dionisi et al., 2004). به طور مشابه، حذف در مخلوطی از استات و نشاسته (به منظور ذخیره PHA و گلیکوژن) در مقایسه با زمانی که هر منبع به تنهایی مورد استفاده قرار می گیرد با نرخ کمی پایین تر مشاهده شد (Karahana et al., 2008). از طرف دیگر، Carta et al. (2001) گزارش داد که هیچ تفاوتی در جذب استات و گلوکز در مخلوطی از گلوکز و استات در مقایسه با آزمایش های انجام شده با منبع کربنی واحد وجود ندارد. همچنین گزارش شده است که میزان ذخیره سازی نیز مستقل از وجود منابع کربنی منفرد یا مخلوط است.

در مطالعه دیگری، Ciggin et al. (2013) تأثیر مخلوط استات/نشاسته در شکل گیری بیوپلیمرهای ذخیره سازی در مقایسه با مکانیسم ذخیره سازی در سیستم هایی که با این ترکیبات به عنوان منبع کربنی واحد تغذیه می شوند، مورد بررسی قرار داد. در سیستم های خوراک منفرد با تغذیه پالسی، نشاسته به طور کامل به گلیکوژن تبدیل شد، در حالی که ۲۵٪ استات برای

خوراک اتفاق می‌افتد.

۳-۳-۲- مرحله تجمع PHA

مشابه با غنی‌سازی، ارزیابی حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی PHA در اکثر مطالعات با خوراک‌های خالص انجام شد. فقط به‌تازگی، از ضایعات پیچیده واقعی برای ارزیابی ظرفیت ذخیره‌سازی محیط کشت‌های غنی‌سازی استفاده شد. جدول ۶ یک مرور کلی از نتایج موجود در تحقیقات پیشین مربوط به مرحله تجمع با خوراک‌های پیچیده واقعی و محیط کشت‌های غنی‌سازی شده تحت شرایط ADF ارائه می‌دهد.

Din et al. (2006) تأثیر نسبت COD به نیتروژن و نسبت COD به فسفر بر ظرفیت ذخیره PHA در جوامع میکروبی را با سیستمی که با خوراک روغن نخل تخمیر شده با طول چرخه ۶ ساعت راهبری شد، مورد ارزیابی قرار داد. بالاترین میزان ذخیره PHA (۴۴/۵ درصد)، در ۱۸۰ گرم COD به ازای هر گرم فسفر و ۲۶۰ گرم COD به ازای هر گرم نیتروژن بدست آمد.

صرف نظر از نوع خوراک پیچیده مورد استفاده برای مطالعات تجمع، محیط کشت‌های غنی‌سازی شده به‌روش ADF همیشه کوپلیمرهای مونومرهای 3HB و 3HV تولید می‌کنند (به استثنای Liu et al. (2008)). تشکیل مونومرهای غیر از 3HB، که نتیجه مستقیمی از تنوع اسیدهای چرب فرار و سایر ترکیبات موجود در خوراک است، مزیت استفاده از پسماندهای پیچیده واقعی است. پایداری ترکیب پلیمر جنبه مهمی از تولید PHA از پسماندهای پیچیده واقعی توسط محیط کشت‌های مخلوط است. این جنبه مهم در تولید صنعتی است زیرا جریان‌های زباله اغلب نسبت به تغییرات فصلی و فرایند حساس هستند. در فرآیند سه مرحله‌ای، با دست‌کاری پارامترهای عملیاتی در مرحله تخمیر می‌توان این مشکل را حل کرد (Albuquerque et al., 2007). بازده ذخیره‌سازی به‌دست آمده توسط کشت‌های مخلوط غنی‌سازی شده در شرایط ADF، در بیشتر موارد در دامنه ۰/۲ و ۰/۸۴ گرم PHA به‌ازای هر گرم COD مصرف شده با سایر منابع کربنی غیر از VFA ها است (Gurieff, 2007). تفاوت در مقادیر عملکرد ذخیره‌سازی ممکن است با ترکیب مواد اولیه مرتبط باشد. ترکیب و غلظت VFA مختلف در مطالعات انجام شده در جدول ۴ آمده است. بازده ذخیره‌سازی در تحقیقات (به استثنای Dionisi et al. (2005b)) کمتر از بازده ذخیره‌سازی با منبع کربنی استات است (۰/۸۷ گرم PHA به‌ازای هر گرم COD مصرف شده) که توسط Serafim et al. (2004) انجام شد. این اختلاف از آن‌جا ناشی می‌شود که در خوراک‌های تخمیری در کنار اسید

رشد مستقیم میکروبی در سن لجن ۸ روز به‌همراه ذخیره‌سازی اسید پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) استفاده شد. تغذیه مخلوط استات/نشاسته باعث افزایش معنی‌دار در استفاده از استات برای رشد مستقیم میکروبی شد. کسر استات تبدیل شده به PHB به‌ترتیب در سن‌های لجن ۸ و ۲ روز به ۵۸٪ و ۵۰٪ نسبت به‌حالت تنها استفاده شده، کاهش نشان داد در حالی‌که نشاسته در هر دو شرایط عملیاتی کاملاً به گلیکوزن تبدیل شد.

از طرفی، استفاده از خوراک‌های ارزان قیمت، مانند زباله‌های آلی، توسط بسیاری از محققان به‌عنوان راهی برای کاهش هزینه تولید PHA مورد بررسی قرار گرفته است. بیش از ۴۰٪ کل هزینه عملیاتی تولید PHA مربوط به تامین مواد اولیه است و بیش از ۷۰٪ این هزینه به منبع کربن اختصاص می‌یابد. از طرفی، ورود مداوم ضایعات صنعتی از صنایع با توجه به عناصر آلاینده سمی آن موجب نگرانی محیط‌زیست است. ضایعات غالباً غنی از مواد آلی هستند و از نظر مواد مغذی فقیر هستند. این شرایط نامتعادل از کربن و مواد مغذی برای رشد میکروارگانیسم‌های تجمع‌کننده PHA مطلوب است اما میزان مصرف مواد آلی و میزان ذخیره آن کمینه است. با استفاده از منابع کربنی ارزان قیمت مانند زباله‌های زراعی صنعتی (به‌عنوان مثال آب پنیر، ملاس و پساب کارخانه روغن نخل)، فرایند تولید PHA اقبال بیشتری برای اقتصادی شدن دارد.

بسیاری از زباله کشاورزی خوراک‌های بالقوه مفیدی هستند مانند ملاس نیشکر و چغندر، پنیر، روغن‌های گیاهی و هیدرولیزهای نشاسته (به‌عنوان مثال ذرت، تاپیوکا، سلولز و همی‌سلولز است). قابل توجه است که همه خوراک‌ها به یک اندازه برای فرایند ذخیره‌سازی PHA مناسب نیستند. از این‌رو این مسئله با استفاده از انواع مختلفی از پیش‌تصفیه‌ها مانند تصفیه حرارتی، بی‌هوازی، آنزیمی، مکانیکی و غیره برطرف شد. پسماندهای تصفیه شده باعث ایجاد اشکال ساده‌تر مانند اسیدهای چرب فرار و قسمت‌های قندی می‌شوند که به‌راحتی جذب سلول‌ها می‌شوند. به‌عنوان مثال، هیدرولیز نشاسته و سلولز می‌توانند به رشد میکروارگانیسم‌های تجمع‌کننده گلیکوزن منجر شود (Mino et al., 1996). این مشکل را می‌توان با اسیدی کردن قندها، نشاسته و هیدرولیز سلولز با مخلوطی از اسیدهای چرب فرار مانند اسید استیک، پروپیونیک، بوتیریک و غیره برطرف کرد. چنین مخلوطی به آسانی به PHA تبدیل می‌شود. در این شرایط، تولید PHA در سه مرحله اتفاق می‌افتد که تصفیه پسماند اولین مرحله و به‌دنبال آن مرحله غنی‌سازی لجن فعال قرار دارد و در نهایت تولید PHA با استفاده از ضایعات تصفیه‌شده به‌عنوان

استیک، دیگر VFA کربن با زنجیره طولانی‌تر حضور دارند که برخلاف استات می‌تواند در مسیر سنتز PHA دکربوکسیلیزه شوند و در نتیجه میزان پلیمر کمتری تولید می‌کنند.

جدول ۵- مقایسه نتایج به‌دست آمده در مطالعات گزارش شده با استفاده از استراتژی ADF برای غنی‌سازی لجن فعال و مخلوط اسیدهای چرب فرار (VFA) به‌عنوان منبع کربن

مرجع	نتایج		شرایط تجمع PHA		شرایط غنی‌سازی میکروبی					نوع منبع کربن
	نسبت طول فاز غنا به فاز فقر	بازده تولید PHA (Y _{PHA/S} , g COD /g COD)	غلظت لجن فعال (mg VSS/L)	غلظت خوراک (mg COD/L)	طول چرخه (h)	زمان ماند لجن (day)	غلظت لجن فعال (mg VSS/L)	COD /N /P	غلظت خوراک (mg COD/L)	
Marang et al. (2013)	۰/۰۳	۰/۷۸	۶۳۰	۱۷۰۰	۱۲	۱	۶۳۰	۰/۴۸، ۰/۵۹، ۱۰۰	۱۶۰۰	استات و بوتیرات
Guo et al. (2016)	۰/۰۴	۰/۳۱	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۱۲	—	۵۰۰۰	۰/۰۶، ۱۰۰	۱۰۰۰	استات و پروپیونات
Villano et al. (2010)	۰/۲	۰/۳۵	۴۲۰	۲۰۰۰	۲	۱	۲۰۰۰	۰/۰۵، ۱/۴، ۱۰۰	۸۵۰۰	استات و پروپیونات
Valentino et al. (2013)	۰/۲۲	۰/۴۵	۶۰۰	۱۰۰۰	۲	۱	۲۰۰۰	۰/۱/۳، ۰/۹/۲، ۱۰۰	۸۵۰۰	استات و پروپیونات
Valentino et al. (2014)	۰/۲۵	۰/۴۵	۷۴۰	۱۴۸۰	۲	۱	۴۵۰۰	۰/۱/۴، ۰/۹/۲، ۱۰۰	۸۵۰۰	استات و پروپیونات
Villano et al. (2014)	۰/۲۸	۰/۳۶	۳۵۰۰	۷۳۰۰	۶	—	۲۵۰۰	۰/۱/۴، ۰/۴/۶، ۱۰۰	۸۵۰۰	استات و پروپیونات
Dionisi et al. (2007)	۰/۱۱	۰/۵۵	۳۷۰	۱۵۰۰	۴	۱	۴۸۰۰	۰/۰/۹، ۰/۵/۲، ۱۰۰	۲۰۰۰۰	استات و پروپیونات و اسید لاکتیک
Dionisi et al. (2004)	۰/۲	۰/۴۵	۳۵۰	۱۰۰۰	۲	۱	۲۶۵۰	۰/۱/۴، ۰/۵/۱، ۱۰۰	۸۵۰۰	استات و پروپیونات و اسید لاکتیک
Dionisi et al. (2005a)	۰/۲	۰/۳۹	۳۵۰	۱۵۰۰	۲	۱	۳۵۰۰	۰/۱/۲، ۰/۸/۲، ۱۰۰	۱۲۷۵۰	استات و پروپیونات و اسید لاکتیک
Majone et al. (2006)	۰/۲	۰/۴۱	۳۰۰	۱۰۰۰	۲	۱	۳۲۰۰	۰/۱/۸، ۰/۵/۱، ۱۰۰	۸۵۰۰	استات و پروپیونات و اسید لاکتیک
Dionisi et al. (2006)	۰/۲۶	۰/۴۳	۵۰۰	۸۴۰	۲	۱	۵۹۰۰	۰/۰/۸۸، ۰/۵/۲۳، ۱۰۰	۲۰۰۰۰	استات و پروپیونات و اسید لاکتیک

۳-۴- تاثیر F/M

محتوای PHA در مرحله تجمع است که در واقع نسبت F/M تعادل استوکیومتری بین سرعت رشد و مقدار خوراک را که برای حفظ شرایط رشد انتخابی باید در دسترس باشد را تعریف می‌کند.

علاوه بر در دسترس بودن مواد مغذی و ترکیب خوراک، نسبت‌های F/M یکی از مهم‌ترین پارامترها برای بهینه‌سازی

در شرایط افزایش نسبت F/M پاسخ فیزیولوژیکی یک محیط کشت میکروبی مخلوط می‌تواند به‌طور فزاینده‌ای ذخیره‌سازی کربن و انرژی (به‌جای پاسخ رشد) باشد در صورتی که منبع کربنی بتواند به‌راحتی به سلول میکروبی منتقل شده و برای تبدیل به پیش‌سازهای پلیمری تخریب شود. با این وجود، محققان دیگر گزارش کردند که در شرایط افزایش استات، میزان اضافی کربن به پلیمر تبدیل نشده و کشت میکروبی سینتیک واکنش‌های متابولیکی را با سرعت رشد بالاتر تنظیم کرده به‌طوری که منبع کربنی بیشتری را برای رشد مستقیم در سطح استات بالا استفاده کرد. در مطالعه دیگری نیز این مطلب تایید شده، به‌طوری که افزایش میزان ذخیره‌سازی توسط (Biros et al. (2014) هنگامی غلظت استات کاهش یافت گزارش شده است.

۳-۵- تأثیر pH

عملکرد فرایند کلی تحت تأثیر چندین پارامتر عملیاتی از جمله pH هر مرحله قرار دارد. تخمیر اسیدوژنیک معمولاً در شرایط اسید (به‌عنوان مثال ۵/۵-۶/۵) به‌منظور حذف متانوژن‌ها انجام می‌شود. مطالعات متعددی تأثیر pH بر ترکیب مخلوط

VFA در پساب تخمیر را بررسی کرده‌اند، زیرا ترکیب VFA می‌تواند در مراحل بعدی بر ترکیب PHA تأثیر بگذارد. هنگام انتخاب pH، باید این واقعیت را در نظر گرفت که اکثر باکتری‌هایی که در فشار و دمای بالا نمی‌توانند زندگی کنند در طیف گسترده‌ای از مقادیر pH خارجی از ۵/۵-۹ رشد می‌کنند، هرچند که حفظ pH سیتوپلاسمی در دامنه باریک از ۷/۴ تا ۷/۸، که با عملکرد بهینه و ساختار یکپارچه پروتئین‌های سیتوپلاسمی سازگار است، رشد میکروارگانیسم‌ها را پشتیبانی می‌کنند.

چند مطالعه منتشر شده تأثیر pH (در این محدوده) را بر میزان و عملکرد ذخیره پلیمر شرح داده‌اند که با توجه به نتایج آن‌ها معمولاً با کنترل pH در محدوده ۸ تا ۹، بیشترین مقدار تولید بیوپلیمر به‌دست خواهد آمد. تحقیقات مقدماتی که توسط Dionisi et al. (2005a) انجام شده است نشان داد که تغییر pH از مرحله دوم (غنی‌سازی) به مرحله سوم (تجمع) روند تأثیر قابل‌توجهی بر سرعت و ترکیب PHA دارد، به‌طوری که میزان بالاتر تولید PHA و محتوای HV در پلیمر ذخیره شده در مقادیر pH قلیایی (در محدوده ۷/۵ تا ۹) مشاهده شد. با توجه به این نتایج مرحله استخراج PHA از زیست‌توده می‌تواند در pH قلیایی انجام شود.

جدول ۶- شرایط بهره‌برداری، بازده ذخیره‌سازی و محتوای PHA حاصل از شرایط ADF با استفاده از ضایعات پیچیده واقعی

مرجع	نتایج		شرایط تجمع PHA		شرایط غنی‌سازی میکروبی					تخمیر اسیدوژن			
	نسبت طول فاز غنا به فاز فقر	بازده تولید PHA ($Y_{PHA/S}$, g COD/g COD)	غلظت لجن فعال (mg VSS/L)	غلظت ت خوراک (mg CO ₂ /L)	طول چرخه (h)	زمان ماند لجن (day)	غلظت لجن فعال (mg/L)	COD/N/P	غلظت خوراک (mg COD/L)	بازده تولید (%)	زمان ماند (h)	pH	منبع کربنی
Chen et al. (2017)	۰/۰۴	۰/۶۸	۱۸۰۰	۲۵۲۰	۱۲	۵	۳۶۵۰	۱۰۰، ۶، ۱	۲۵۲۰	۷۱/۲	۹/۶	۴/۸	فاضلاب نیشکر
Ben et al. (2011)	۰/۰۴۳	۰/۵۳	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۲	۷	۲۵۰۰	۱۰۰، ۳/۷	۱۱۰۰	۴۲	۳۶	۵/۵	فاضلاب کارخانه چوب
Albuquerque et al. (2011)	۰/۰۹	۰/۸	۶۸۰۰	۱۵۸۰	۱۲	۱۰	۳۰۰۰	۱۰۰، ۸، ۱	۱۴۵۰	۷۵	۱۰	۶	ملاس قند
Coats et al. (2011)	۰/۰۹	۰/۳۱	۸۰۰	۱۶۰۰	۲۴	۵/۳۳	۲۰۰۰	۱/۹، ۱۷/۸، ۱۰۰	۶۶۰	—	۹۰	۴-۵/۵	فاضلاب شهری خام و مواد جامد اولیه
Oehmen et al. (2014)	۰/۱۱	۰/۸	۲۵۰۰	۲۵۲۰	۱۲	۱۰	۳۴۰۰	۳/۲، ۰/۴، ۱۰۰	۱۵۰۰	۷۰	۱۰	۶	ملاس قند

Farghaly et al. (2017)	۰/۱۴	۰/۴۶	۲۰۰۰	۲۸۵۰	۱۲	۱۰	۴۰۰۰	۰/۳۲، ۰/۴۱۰۰	۱۶۰۰	۲۱	—	۵/۵	فاضلاب کارخانه مقوا
Freches and Lemos (2017)	۰/۱۴	۰/۴۴	۲۲۰۰	۳۲۰۰	۲۴	۵	۲۳۰۰	۵/۳۵، ۰/۴۱۰۰	۱۴۵۰	—	—	—	گلیسرول خام از تولید بیودیزل
Liu et al. (2008)	۰/۱۴	—	۳۵۰	۷۰۰	۲۴	۴	—	۰/۴۰، ۰/۵۱۰۰	۳۰۰۰	—	—	—	فاضلاب کارخانه کنسرو گوجه فرنگی
Morgan-Sagastume et al. (2010)	۰/۱۷	۰/۳۷	۳۳۰۰	۱۵۰۰	۸	۶	۵۰۰۰	۰/۱۳، ۰/۲۷۱۰۰	۱۰۰۰	۵۰	۳۶	۶-۴/۶/۸	لجن فعال مازاد
Albuquerque et al. (2010)	۰/۱۸	۰/۷۵	۱۵۰۰	۱۹۰۰	۱۲	۱۰	۳۰۰۰	۰/۱۰۰، ۰/۸۰۱	۱۴۳۰	۶۱	۱۰	۶	ملاس قند
Albuquerque et al. (2007)	۰/۲	۰/۶۶	۳۵۰۰	۳۹۰۰	۱۲	۱۰	۳۱۵۰	۰/۱/۲، ۰/۳۴۱۰۰	۱۴۵۰	۷۶	۱۰	۵	ملاس نیشکر
Ahmadi et al. (2020a)	۰/۱۹	۰/۰۷	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۱۲	۱۶	۵۵۰۰	۰/۱۰۰، ۰/۴۰۱	۱۳۵۰	—	—	—	فاضلاب کارخانه نوشابه سازی
Albuquerque et al. (2013)	۰/۲۲	۰/۷۶	۲۰۰۰	۳۸۰۰	۱۲	۱۰	۳۸۰۰	۰/۱/۸۴، ۰/۵۱۰۰	۱۴۵۰	—	—	—	ملاس نیشکر
Korkakaki et al. (2016)	۰/۲۲	۰/۴۸	—	—	۱۲	—	—	—	۲۰۰۰	—	—	—	پسماندهای جامد شهری (شیرابه)
Beccari et al. (2009)	۰/۳۳	۰/۳۶	۳۷۰۰	۶۵۰۰	۲	۱	۳۷۰۰	۰/۶/۱۵، ۰/۱/۴۱۰۰	۸۵۰۰	۳۲	۳۳/۶	—	فاضلاب کارخانه روغن زیتون
Queirós et al. (2014)	۰/۳۳	۱/۱۹	۳۲۰	۲۰۰۰	۱۲	۵	۲۰۰۰	۰/۱۰۰، ۰/۲	۱۷۰۰	—	—	—	پسماند کارخانه کاغذ سازی
Oliveira et al. (2017)	۰/۴	۰/۸۶	۱۳۰۰	۲۵۰۰	۱۲	۴	۲۶۰۰	۰/۴۰، ۰/۶۱۰۰	—	—	۷۲	۶	آب پنیر
Morgan-Sagastume et al. (2014)	۰/۵	۰/۲	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۱/۵	۱/۵	۵۰۰	۰/۱/۰۹، ۰/۱۰۰، ۰/۱۲/۷	۲۷۵	۹۰	۱۴۲	۵-۵/۶/۵	لجن و فاضلاب شهری
Valentino et al. (2015)	۰/۶۳	۰/۲۳	۵۰۰	۱۰۰۰	۱/۵	۱/۷۲	۱۹۰۰	۰/۱/۰۹، ۰/۱۰۰، ۰/۱۲/۷	۲۷۵	—	—	—	فاضلاب شهری سنتزی

۳-۶- تاثیر اکسیژن محلول

غلظت اکسیژن محلول اثر مستقیمی بر محتوای PHB ذخیره شده در لجن فعال دارد. در مطالعات قبلی گزارش شده است که مقادیر بیش از حد اکسیژن منجر به کاهش عملکرد PHB می شود زیرا بخش بیشتری از استات در غلظت بالاتر اکسیژن محلول صرف رشد زیست توده خواهد شد. با این حال، تحقیقات دیگر نشان داد که غلظت بالای اکسیژن محلول به نفع افزایش محتوای PHB است. به طور کلی افزایش غلظت اکسیژن محلول باعث افزایش میزان جذب استات خواهد شد. بنابراین، استات اضافی برای حفظ متابولیسم متعادل تبدیل به PHB می شود (Qu and Liu, 2009). افزایش غلظت اکسیژن محلول بدین معنی است که پذیرنده های الکترون بیشتری برای تولید انرژی توسط میکروارگانیسم ها در لجن موجود هستند. این نتیجه به این معنی است که جذب خوراک به دلیل این واقعیت افزایش می یابد که میکروارگانیسم های کشت شده در راکتورهایی که دارای رژیم خوراک پیوسته هستند حداکثر میزان آنزیم های جذب خوراک را القا می کنند (Van Aalst-van Leeuwen et al., 1997). از طرف دیگر، انتقال استات به درون غشای سلولی فرایندی است که انرژی مصرف می کند. براساس این شرایط، آن ها فرض می کنند که افزایش غلظت اکسیژن محلول باعث تسریع در جذب استات و پس از آن، ذخیره سازی PHB می شود (Smolders et al., 1994). از طرفی دیگر، بهینه سازی فرایند تولید PHA با محیط کشت مخلوط منجر به تولید PHB تا ۶۷/۵ درصد وزنی با استات به عنوان خوراک شده است (Serafim et al., 2004).

۴- نتیجه گیری

مطالعات زیادی در زمینه تولید پلی هیدروکسی آلکونات (PHA) با استفاده از محیط کشت های خالص میکروبی انجام شده است و گونه های مختلفی از میکروارگانیسم ها توانایی ذخیره PHA را نشان داده اند. با توجه به دیدگاه اقتصادی تولید PHA، توجه پژوهشگران به توانایی لجن فعال مازاد تصفیه خانه های فاضلاب برای تولید PHA معطوف شد و لجن فعال به عنوان منبع خوبی برای تولید PHA در نظر گرفته شد. روش های مختلفی برای افزایش راندمان تولید پلاستیک زیستی از لجن فعال مورد استفاده قرار گرفته است شامل غنا و فقر، بی هوازی/هوازی، میکرو هوازی/هوازی، تغذیه مجزا کربن و نیتروژن. در این مقاله تمرکز بر روی یکی از روش های ساده تولید PHA از لجن فعال، روش فقر و غنا و اعمال محدودیت نیتروژن و فسفر است. عوامل

موثر بر تولید PHA از جمله نسبت غنا به فقر در مرحله غنی سازی، تاثیر مواد مغذی، تاثیر نوع خوراک، تاثیر نسبت F/M، تاثیر pH، تاثیر غلظت اکسیژن محلول توسط پژوهشگران بررسی شده است. مطالعات بیشتری برای تولید صنعتی PHA مورد نیاز خواهد بود و تمرکز بر بهبود عملکرد غنی سازی لجن فعال و افزایش بازده مرحله تجمع بیوپلاستیک زیستی برای برداشت حداکثری از لجن فعال از جنبه های پژوهشی مورد نیاز است. علاوه بر آن استفاده از رژیم پیوسته در تولید PHA از جمله نیازهای صنعتی شدن خواهد بود. با توجه به دانش کسب شده در این زمینه، در آینده در تولید تجاری PHA یک رویکرد از بالا به پایین مدنظر خواهد بود که در آن از قبل منبع کربنی و نوع PHA تولید شده با توجه به ملاحظات اقتصادی انتخاب می شود و استراتژی مطلوب به کار گرفته خواهد شد.

۵- پی نوشت ها

- 1- Poly Hydroxy Alkonate
- 2- Feast-Famine strategy
- 3- Poly (hydroxyl-butyrac acid)
- 4- Pure Culture
- 5- Aerobic Dynamic Feeding
- 6- Anerobic-aerobic
- 7- Microaerophilic –aerobic process
- 8- Uncoupled carbon and nitrogen feeding strategy
- 9- Volatile Fatty Acid
- 10- Sequencing Batch Reactor
- 11- Hydroxy Butyrate / Hydroxy Valerate
- 12- Feed / Microorganism

۶- مراجع

- عروجی، ن.، تکدستان، ع.، و کریمی، ف.، (۱۳۹۷)، "اثر غلظت پارانیتروفنل موجود در فاضلاب بر کارایی فرایند تصفیه بیولوژیکی هوازی و میزان لجن مازاد دفعی"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۳)، ۱۷-۲۸.
- یحیی، ج.، و سمیه، ا.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری تربت حیدریه جهت مصارف زراعی"، پژوهش در بهداشت محیط، ۳(۴)، ۲۳۶-۲۲۷.
- Ahmadi, F., Zinatizadeh, A., Asadi, A., and Younesi, H., (2019), "Influence of different cculture selection methods on polyhydroxyalkanoate production at short-term biomass enrichment", *International Journal of Engineering*, 32(2), 184-192.
- Ahmadi, F., Zinatizadeh, A., and Asadi, A., (2020), "The effect of different operational strategies on

- growth in fast growing microbial culture", *Bioresource Technology*, 171, 314-322.
- Carta, F., Beun, J., Van Loosdrecht, M., and Heijnen, J., (2001), "Simultaneous storage and degradation of PHB and glycogen in activated sludge cultures", *Water Research*, 35(11), 2693-2701.
- Cavaille, L., Grousseau, E., Pocquet, M., Lepuple, A.S., Uribe Larrea, J.L., Hernandez-Raqet, G., and Paul, E., (2013), "Polyhydroxybutyrate production by direct use of waste activated sludge in phosphorus-limited fed-batch culture", *Bioresource Technology*, 149(1), 301-309.
- Chen, Z., Huang, L., Wen, Q., Zhang, H., and Guo, Z., (2017), "Effects of sludge retention time, carbon and initial biomass concentrations on selection process: From activated sludge to polyhydroxyalkanoate accumulating cultures", *Journal of Environmental Science*, 52(1), 84-76.
- Ciggin, A.S., Orhon, D., Rossetti, S., and Majone, M., (2011), "Short-term and long-term effects on carbon storage of pulse feeding on acclimated or unacclimated activated sludge", *Water Research*, 45(10), 3119-3128.
- Ciggin, A.S., Rossetti, S., Majone, M., and Orhon, D., (2013), "Extent of intracellular storage in single and dual substrate systems under pulse feeding", *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), 1225-1238.
- Coats, E.R., Vandevooort, K.E., Darby, J.L., and Loge, F.J., (2011), "Toward polyhydroxyalkanoate production concurrent with municipal wastewater treatment in a sequencing batch reactor system", *Journal of Environmental Engineering*, 137(1), 46-54.
- Dias, J.M., Lemos, P.C., Serafim, L.S., Oliveira, C., Eiroa, M., Albuquerque, M.G., Ramos, A.M., Oliveira, R., and Reis, M.A., (2006), "Recent advances in polyhydroxyalkanoate production by mixed aerobic cultures: From the substrate to the final product", *Macromolecular Bioscience*, 6(11), 885-906.
- Dionisi, D., Beccari, M., Digregorio, S., Majone, M., Parini, M.P., and Vallini, G., (2005a), "Storage of biodegradable polymers by an enriched microbial community in a sequencing batch reactor operated at high organic load rate", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 80(1), 1306-1318.
- Dionisi, D., Carucci, G., Parini, M. P., Riccardi, C., Majone, M., and Carrasco, F., (2005b), "Olive oil mill effluents as a feedstock for production of biodegradable polymers", *Water Research*, 39(10), 2076-2084.
- Dionisi, D., Majone, M., Papa, V., and Beccari, M., (2004), "Biodegradable polymers from organic acids by using activated sludge enriched by aerobic periodic feeding", *Biotechnology and Bioengineering*, 85(6), 569-579.
- Dionisi, D., Majone, M., Vallini, G., Digregorio, S., and Beccari, M., (2006), "Effect of the applied organic load rate on biodegradable polymer production by polyhydroxyalkanoates (PHAs) production at short-term biomass enrichment", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 301-315.
- Albuquerque, M., Eiroa, M., Torres, C., Nunes, B., and Reis, M., (2007), "Strategies for the development of a side stream process for polyhydroxyalkanoate (PHA) production from sugar cane molasses", *Journal of Biotechnology*, 130(4), 411-421.
- Albuquerque, M., Martinao, V., Pollet, E., Averous, L., and Reis, M., (2011), "Mixed culture polyhydroxyalkanoate (PHA) production from volatile fatty acid (VFA)-rich streams: Effect of substrate composition and feeding regime on PHA productivity, composition and properties", *Journal of Biotechnology*, 151(1), 66-76.
- Albuquerque, M., Torres, C., and Reis, M., (2010), "Polyhydroxyalkanoate (PHA) production by a mixed microbial culture using sugar molasses: Effect of the influent substrate concentration on culture selection", *Water Research*, 44 (11), 3419-3433.
- Albuquerque, M.G., Carvalho, G., Kragelund, C., Silva, A.F., Crespo, M.T.B., Reis, M.A., and Nielsen, P.H., (2013), "Link between microbial composition and carbon substrate-uptake preferences in a PHA-storing community", *The ISME Journal*, 7(1), 1-12.
- Amini, M., Yousefi-Masumabad, H., Younesi, H., Abyar, H., and Ahramifar, N., (2020), "Production of the polyhydroxyalkanoate biopolymer by *Cupriavidus necator* using beer brewery wastewater containing maltose as a primary carbon source", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103588.
- Basak, B., Ince, O., Artan, N., Yagci, N., and Ince, B.K., (2011), "Effect of nitrogen limitation on enrichment of activated sludge for PHA production", *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 34(8), 1007-1016.
- Beccari, M., Bertin, L., Dionsi, D., Fava, F., Lampis, S., Majone, M., Valentino, F., Vallini, G., and Villsno, M., (2009), "Exploiting olive oil mill effluents as a renewable resource for production of biodegradable polymers through a combined anaerobic-aerobic process", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 84(6), 901-908.
- Ben, M., Mato, T., Lopez, A., Vila, M., Kennes, C., and Veiga, M., (2011), "Bioplastic production using wood mill effluents as feedstock", *Water Science and Technology*, 63 (6), 1196-1202.
- Bengtsson, S., Werker, A., and Welander, T., (2008), "Production of polyhydroxyalkanoates by glycogen accumulating organisms treating a paper mill wastewater", *Water Science and Technology*, 58(2), 323-330.
- Bernat, K., Wojnoeska-Baryla, I., and Dobrzynska, A., (2008), "Denitrification with endogenous carbon source at low C/N and its effect on P (3HB) accumulation", *Bioresource Technology*, 99(7), 2410-2418.
- Biros, Y., Cokgor, E.U., Yagci, N., Pala-Ozkok, I., Cakar, Z.P., Sozen, S., and Orhon, D., (2014), "Effect of acetate to biomass ratio on simultaneous polyhydroxybutyrate generation and direct microbial

- famine cultivation pattern on bacterial diversity during poly- β -hydroxybutyrate production from domestic sewage sludge", *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 12966-12975.
- Liu, H.Y., Hall, P.V., Darby, J.L., Coats, E.R., Green, P.G., Thompson, D.E., and LOGE, F.J., (2008), "Production of polyhydroxyalkanoate during treatment of tomato cannery wastewater", *Water Environment Research*, 80(4), 367-372
- Liu, Z., Wang, Y., He, N., Huang, J., Zhu, K., Shao, W., Wang, H., Yuan, W., and Li, Q., (2011), "Optimization of polyhydroxybutyrate (PHB) production by excess activated sludge and microbial community analysis", *Journal of Hazardous Materials*, 185(1), 8-16.
- Majone, M., Beccari, M., Digregorio, S., Dionisi, D., and Vallini, G., (2006), "Enrichment of activated sludge in a sequencing batch reactor for polyhydroxyalkanoate production", *Water Science and Technology*, 54(1), 119-128.
- Marang, L., Jiang, Y., Van Looedrecht, M.C., and Kleerebezem, R., (2013), "Butyrate as preferred substrate for polyhydroxybutyrate production", *Bioresource Technology*, 142(1), 232-239.
- Mddin, M., Ujang, Z., Van Looedrecht, M.C., Ahmad, A., and Sairan, M., (2006), "Optimization of nitrogen and phosphorus limitation for better biodegradable plastic production and organic removal using single fed-batch mixed cultures and renewable resources", *Water Science and Technology*, 53(6), 15-20.
- Mengmeng, C., Hong, C., Qingliang, Z., Shirley, S.N., and Jie, R., (2009), "Optimal production of polyhydroxyalkanoates (PHA) in activated sludge fed by volatile fatty acids (VFAs) generated from alkaline excess sludge fermentation", *Bioresource Technology*, 100(3), 1399-1405.
- Mino, T., Liu, W., Satoh, H., and Matsuo, T., (1996), "Possible metabolisms of polyphosphate accumulating organisms (PAOs) and glycogen accumulating non-poly-P organisms (GAOs) in the enhanced biological phosphate removal process", *Medelingen-Faculteit Landbouwkudige En Toegepaste Biologische Wetenschappen*, 61, 1769-1776.
- Montiel-Jarillo, G., Carrera, J., and Suarez-Ojeda, M.E., (2017), "Enrichment of a mixed microbial culture for polyhydroxyalkanoates production: Effect of pH and N and P concentrations", *Science of the Total Environment*, 583(1), 300-307.
- Morgan-Sagastume, F., Karlsson, A., Johansson, P., Boon, N., Lant, P., and Werker, A., (2010), "Production of polyhydroxyalkanoates in open, mixed cultures from a waste sludge stream containing high levels of soluble organics, nitrogen and phosphorus", *Water Research*, 44(18), 5196-5211.
- Morgan-Sagastume, F., Valentino, F., Hjort, M., Cirne, D., Karabegovic, L., Gerardin, F., Johansson, P., Karlsson, A., Magnusson, P., and Alexandersson, T., (2014), "Polyhydroxyalkanoate (PHA) production from sludge and municipal wastewater treatment", mixed microbial cultures in a sequencing batch reactor", *Biotechnology and Bioengineering*, 93(1), 76-88.
- Dionisi, D., Majone, M., Vallini, G., Digregorio, S., and Beccari, M., (2007), "Effect of the length of the cycle on biodegradable polymer production and microbial community selection in a sequencing batch reactor", *Biotechnology Progress*, 23(5), 1064-1073.
- Farghaly, A., Enitan, A. M., Kumari, S., Bux, F., and Tawfik, A., (2017), "Polyhydroxyalkanoates production from fermented paperboard mill wastewater using acetate-enriched bacteria", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(4), 935-947.
- Freches, A., and Lemos, P.C., (2017), "Microbial selection strategies for polyhydroxyalkanoates production from crude glycerol: effect of OLR and cycle length", *New Biotechnology*, 39(part A), 22-28.
- Guo, Z., Chen, Z., Wen, Q., Huang, L., Bakke, R., and Du, M., (2016), "Strategy to reduce the acclimation period for enrichment of PHA accumulating cultures", *Desalination and Water Treatment*, 57(60), 29286-29294.
- Gurieff, N., (2007). "Production of biodegradable polyhydroxyalkanoate polymers using advanced biological wastewater treatment process technology. Ph.D. Thesis, School of Engineering, The University of Queensland.
- Ince, O., Basak, B., Ince, B.K., Cetecioglu, Z., Celikkol, S., and Kolukirik, M., (2012), "Effect of nitrogen deficiency during SBR operation on PHA storage and microbial diversity", *Environmental Technology*, 33(16), 1827-1837.
- Jiang, Y., Marang, L., Kleerebezem, R., Muyzer, G., and Van Looedrecht, M.C., (2011), "Effect of temperature and cycle length on microbial competition in PHB-producing sequencing batch reactor", *The ISME Journal*, 5(5), 896-907.
- Johnson, K., Jiang, Y., Kleerebezem, R., Muyzer, G., and Van Looedrecht, M.C., (2009), "Enrichment of a mixed bacterial culture with a high polyhydroxyalkanoate storage capacity", *Biomacromolecules*, 10(4), 670-676.
- Karahan, O., Orhon, D., and Van Looedrecht, M.C., (2008), "Simultaneous storage and utilization of polyhydroxyalkanoates and glycogen under aerobic conditions", *Water Science and Technology*, 58(4), 945-951.
- Kedia, G., Passanha, P., Dinsdale, R.M., Gumy, A.J., Esteves, S.R., and Engineering, B., (2014), "Evaluation of feeding regimes to enhance PHA production using acetic and butyric acids by a pure culture of *Cupriavidus necator*", *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 19(1), 989-995.
- Korkakaki, E., Mulders, M., Veeken, A., Rozendal, R., Van Looedrecht, M. C., and Kleerebezem, R., (2016), "PHA production from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Overcoming the inhibitory matrix", *Water Research*, 96(6), 74-83.
- Liu, C., Liu, D., Qi, Y., Zhang, Y., Liu, X., and Zhao, M., (2016), "The effect of anaerobic-aerobic and feast-

- (2002), "PHA (polyhydroxyalkanoate) production potential of activated sludge treating wastewater", *Water Science and Technology*, 45(12), 119-126.
- Traverso, P., Pavan, P., Bolzonella, D., Innocent, L., Cecchi, F., and Mata-Alvarez, J., (2000), "Acidogenic fermentation of source separated mixtures of vegetables and fruits wasted from supermarkets", *Biodegradation*, 11(6), 407-414.
- Valentino, F., Beccari, M., Fraraccio, S., Zanaroli, G., and Majone, M., (2014), "Feed frequency in a sequencing batch reactor strongly affects the production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from volatile fatty acids", *New Biotechnology*, 31(4), 264-275.
- Valentino, F., Brusca, A. A., Beccari, M., Nuzzo, A., Zanaroli, G., and Majone, M., (2013), "Start up of biological sequencing batch reactor (SBR) and short-term biomass acclimation for polyhydroxyalkanoates production", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88(2), 261-270.
- Valentino, F., Morgan-Sagastume, F., Fraraccio, S., Corsi, G., Zanaroli, G., Werker, A., and Majone, M., (2015), "Sludge minimization in municipal wastewater treatment by polyhydroxyalkanoate (PHA) production", *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10), 7281-7294.
- Van Aalst-Van Leeuwen, M., Pot, M., Van Loosdrecht, M., and Heijnen, J., (1997), "Kinetic modeling of poly (β -hydroxybutyrate) production and consumption by *Paracoccus pantotrophus* under dynamic substrate supply", *Biotechnology and Bioengineering*, 55(5), 773-782.
- Van Loosdrecht, M., Pot, M., and Heijnen, J., (1997), "Importance of bacterial storage polymers in bioprocesses", *Water Science and Technology*, 35(1), 41-47.
- Villano, M., Beccari, M., Dionisi, D., Lampis, S., Miccheli, A., Vallini, G., and Majone, M., (2010), "Effect of pH on the production of bacterial polyhydroxyalkanoates by mixed cultures enriched under periodic feeding", *Process Biochemistry*, 45(5), 714-723.
- Villano, M., Valentino, F., Barbetta, A., Martino, L., Scandola, M., and Majone, M., (2014), "Polyhydroxyalkanoates production with mixed microbial cultures: From culture selection to polymer recovery in a high-rate continuous process", *New Biotechnology*, 31(4), 289-296.
- Wen, Q., Chen, Z., Wang, C., and Ren, N., (2012), "Bulking sludge for PHA production: Energy saving and comparative storage capacity with well-settled sludge", *Journal of Environmental Sciences*, 24(10), 1744-1752.
- Water Science and Technology*, 69(1), 177-184.
- Muhammadi, S., Afzal, M., and Hameed, S.J., (2015), "Bacterial polyhydroxyalkanoates-eco-friendly next generation plastic: Production, biocompatibility, biodegradation, physical properties and applications", *Journal of Green Chemistry Letters and Reviews*, 8(3-4), 56-77.
- Oehmen, A., Pinto, F.V., Silva, V., Albuquerque, M.G., and Reis, M.A., (2014), "The impact of pH control on the volumetric productivity of mixed culture PHA production from fermented molasses", *Engineering in Life Sciences*, 14(2), 143-152.
- Oliveria, C.S., Silva, C.E., Carvalho, G., and Reis, M.A., (2017), "Strategies for efficiently selecting PHA producing mixed microbial cultures using complex feedstocks: Feast and famine regime and uncoupled carbon and nitrogen availabilities", *New Biotechnology*, 37(part A), 69-79.
- Ozdemir, S., Akman, D., Ciriş, K., and Cinar, O., (2014), "Effect of cycle time on polyhydroxybutyrate (PHB) production in aerobic mixed cultures", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(5), 2390-2399.
- Qu, B., and Liu, J., (2009), "Determination of optimum operating conditions for production of polyhydroxybutyrate by activated sludge submitted to dynamic feeding regime", *Chinese Science Bulletin*, 54(1), 142-149.
- Queiros, D., Rossetti, S., and Serafim, L.S., (2014), "PHA production by mixed cultures: a way to valorize wastes from pulp industry", *Bioresource Technology*, 157(1), 197-205.
- Satoh, H., Iwamoto, Y., Mino, T., and Matsuo, T.J., (1998), "Activated sludge as a possible source of biodegradable plastic", *Water Science and Technology*, 38(2), 103-109.
- Serafim, L.S., Lemos, P.C., Albuquerque, M.G., and Reis, M.A., (2008a), "Strategies for PHA production by mixed cultures and renewable waste materials", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 81(4), 615-628.
- Serafim, L.S., Lemos, P.C., Oliveria, R., and Reis, M.A., (2004), "Optimization of polyhydroxybutyrate production by mixed cultures submitted to aerobic dynamic feeding conditions", *Biotechnology and Bioengineering*, 87(2), 145-160.
- Serafim, L.S., Lemos, P.C., Torres, C., Reis, M.A., and Ramos, A.M., (2008b), "The influence of process parameters on the characteristics of polyhydroxyalkanoates produced by mixed cultures", *Macromolecular Bioscience*, 8(4), 355-366.
- Shi, H., Shiraishi, M., and Shimizu, K., (1997), "Metabolic flux analysis for biosynthesis of poly (β -hydroxybutyric acid) in *Alcaligenes eutrophus* from various carbon sources", *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 84(6), 587-579.
- Smolders, G., Vandermeij, J., Van Loosdrecht, M., and Heijnen, J., (1994), "Stoichiometric model of the aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process", *Biotechnology and Bioengineering*, 44(7), 837-848.
- Takabatake, H., Satoh, H., Mino, T., and Matsuo, T.,



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

Fuzzy Multi-Criteria Group Decision Making on Water Treatment Methods for a University Complex

Soheil Safari^{1*}, Mahdi Zarghami², Reza Yegani³ and Mohammad Mosaferi⁴

1- MSc. in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Adjunct Professor, Energy, Water and Environment Institute, Sharif University of Technology, and Professor, Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Professor, Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Sahand, Iran.

4- Professor, Health and Environment Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

* Corresponding author, Email: soheilssafari@gmail.com

Received: 03/05/2020

Revised: 08/09/2020

Accepted: 22/09/2020

© IWWA

Abstract

Over the last few years, our country has been facing the water crisis. Therefore, this is important and necessary to creating a fair balance between available freshwater resources and the amount of demand and consumption in communities. That is why water resources proper management and advanced methods development has an essential role in the supply of freshwater. The purpose of present research is to evaluate the quality of the water in the Qanat of the Tabriz University and provide a suitable purification system for the exploitation of that water in the sports complex of the university to properly water resources management and reduce consumption. For that goal, in the first step, according to the results of qualitative experiments of Qanats water, 18 scenarios were proposed, for comparing and choosing the best candidate, it has been taken four main criteria and 13 sub-criteria. In this study, multi-criteria group decision making, TOPSIS method, and Simple Additive Weighting method (SAW) have been used. Which GFDM software has been used to analyze multi-criteria group decision making. Finally, according to the decision makers' results, the value of each criterion was calculated and analyzed; and it was found that the H scenario was the best choice of the decision makers' point of view was reverse osmosis as a desalination method, sand filter, cartridge filter, and ultra-filter was the best choice for pre-treatment and chlorination.

Keywords: Desalination, water treatment, Multi-criteria decision making, Reverse Osmosis.

تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی فازی برای انتخاب روش مناسب تصفیه آب یک مجتمع دانشگاهی

سهیل صفری^{۱*}، مهدی زرغامی^۲، رضا یگانی^۳ و محمد مسافری^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استاد مدعو پژوهشکده علوم و فناوری‌های انرژی، آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف و استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، سهند، ایران.

۴- استاد مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: soheilssafari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در سال‌های اخیر، کشور ایران با مشکل جدی بحران آب مواجه بوده است. از این رو، ایجاد تعادل بین منابع آب شیرین موجود و میزان تقاضا و مصرف آن در جوامع، از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین دلیل مدیریت صحیح منابع آبی و استفاده از روش‌های پیشرفته در تأمین آب شیرین نقش اساسی دارد. هدف از این مطالعه، ارزیابی کیفی آب قنات دانشگاه و ارائه سیستم تصفیه مناسب، برای بهره‌برداری از این آب، در مصارف بهداشتی مجموعه ورزشی دانشگاه تبریز، با هدف مدیریت صحیح منابع آب و کاهش مصرف است. برای این منظور، در گام اول، با توجه به نتایج آزمایش‌های کیفی آب قنات، ۱۸ گزینه پیشنهاد شد. سپس برای مقایسه و انتخاب بهترین گزینه، ۴ معیار اصلی و ۱۳ زیرمعیار در نظر گرفته شد. در این پژوهش از تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی و دو روش TOPSIS و جمع وزنی ساده، به عنوان روش تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه، استفاده شد. بدین منظور از نرم‌افزار GFDM برای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی کمک گرفته شد. در نهایت براساس نظر تصمیم‌گیران، وزن هر معیار محاسبه و تحلیل‌های لازم انجام پذیرفت. براساس تحلیل‌های صورت گرفته، بهترین گزینه از دیدگاه تصمیم‌گیران گزینه H، شامل اسمز معکوس، به عنوان روش نمک‌زدایی، فیلتر شنی، کارتریج فیلتر و اولترا فیلتر به عنوان پیش تصفیه و کلرزنی برای ضد عفونی معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: نمک‌زدایی، تصفیه آب، اسمز معکوس، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

رشد کند (عبدالمجیدی و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به این که تصفیه آب از چند مرحله تشکیل می شود و هریک از مراحل از تنوع نسبتاً زیادی برخوردار هستند، با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، فنی، محیط زیستی و اجتماعی، برای انتخاب سیستم تصفیه مناسب، برای اعمال تصمیم گیری درست، باید از روش های تصمیم گیری چندمعیاره استفاده شود. می توان برای پشتیبانی سیستم تصمیم گیری و از بین بردن ریسک خطا، از نرم افزار GFDM کمک گرفت. این نرم افزار به مدیریت تصمیم گیران در ارزیابی و سنجش فرآیند تصمیم گیری گروهی کمک می نماید. در مدل GFDM فرایندها شامل تعیین معیارها، ارزیابی گزینه ها و سپس تجمیع، نظرات با استفاده از عبارتهای زبانی است. به عبارتی می توان گفت که این نرم افزار ابزاری قوی برای مدیران در پشتیبانی تصمیم گیری های دشوار است. در این پژوهش برای مدیریت صحیح منابع آب، اقدام به انتخاب سیستم تصفیه مناسب شده است که از نظر اقتصادی، فنی، محیط زیستی و اجتماعی مورد قبول باشد. بدین منظور ۱۸ گزینه پیشنهاد و با کمک گرفتن از نرم افزار GFDM تحلیل انجام شد تا گزینه ای که بیشترین امتیاز، از نظر تصمیم گیران را کسب کرده، مشخص شود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- محل مطالعه

دانشگاه تبریز دومین دانشگاه قدیمی و یکی از بزرگ ترین دانشگاه های کشور است که در سال ۱۳۲۸، محوطه این دانشگاه در منطقه ای یکپارچه، با سطحی معادل ۲۷۵ هکتار تأسیس شد. این دانشگاه در ناحیه شرقی تبریز قرار گرفته است. در حال حاضر این دانشگاه بیش از ۲۱ دانشکده، ۱۰ پژوهشکده و گروه پژوهشی، ۵ قطب علمی، ۸۰۰ عضو هیئت علمی، ۲۴۰۰۰ دانشجو، ۱۰۰۰ نفر پرسنل اداری دارد. دانشگاه تبریز دارای دو قنات آب است که مصب آنها در داخل دانشگاه واقع شده است. این قنات ها دارای دبی ۳۵ و ۵ لیتر بر ثانیه هستند. این تحقیق بر روی قناتی با دبی ۵ لیتر بر ثانیه انجام شد.

۲-۱-۱- مشکلات آبی محل مورد مطالعه

دانشگاه تبریز هزینه زیادی را برای تأمین آب متحمل می شود که قسمت قابل توجهی از آن جریمه استفاده بیشتر از حد مجاز است. وجود قنات ها در دانشگاه یک موهبت الهی است که در فصل های گرم سال برای آبیاری فضای سبز و باغ دانشگاه از آنها استفاده می شود. اما مشکل اساسی فصل های سرد سال هستند

امروزه نیاز به آب شیرین، به دلیل افزایش جمعیت جامعه بشری و ارتقای سطح زندگی مردم، توسعه صنایع و پیشرفت کشاورزی، روبه روز در حال افزایش است. متأسفانه منابع آب شیرین طبیعی در دسترس، خیلی کمتر از درخواست جامعه بوده و طبق پیش بینی سازمان ملل متحد، تا پایان سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۱/۸ میلیارد نفر با مشکل کم آبی روبه رو خواهند شد (Sharon and Reddy, 2015). ایران نیز از جمله کشورهایی است که در منطقه ای خشک و نیمه خشک قرار دارد و علاوه بر پایین بودن متوسط بارش سالانه، با پراکنش زمانی و مکانی ناهمگون و نامناسب آن نیز مواجه است. این مسائل به طور کلی پتانسیل کم آبی و احتمال خشک سالی را در ایران افزایش داده و حتی در شرایط عادی نیز در برخی نقاط کشور، به ویژه نواحی جنوبی، جنوب شرقی و مرکزی، در زمینه تأمین آب مورد نیاز، مشکلات وسیعی را به وجود آورده است (افراسیابی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این که راه حل بسیاری از کمبودهای بخش آب کشور ریشه در اصلاح ساختارهای مدیریت این بخش دارد، در واقع اکثر کشورها بیشتر مشکل بحران مدیریت آب دارند تا کمبود آب (اردکانیان و ضرغامی، ۱۳۸۹)، می توان از شیرین سازی آب به عنوان یک روش برای دستیابی به آب شرب استفاده کرد. این روش توسط کشورهای مختلفی که با کمبود منابع آب روبه رو هستند، به شدت مورد توجه قرار گرفته است. کشورهای مختلف، بسته به کمیت و کیفیت منابع آبی در دسترس، سرمایه گذاری های گسترده ای را انجام داده اند. استفاده از روش های مختلف شیرین سازی آب به موقعیت منطقه ای کشورها و میزان انرژی در دسترس آنها بستگی دارد (ملایی و کاظمی نصر آبادی، ۱۳۹۶). شیرین سازی از دید افراد مختلف، معانی متفاوتی دارد. اغلب مردم این عبارت را فقط برای شیرین سازی آب دریا به کار می برند و با کاربرد آن، درباره خارج کردن مواد معدنی از آب زیرزمینی، به منظور تصفیه و پالایش آب تحت تحلیل اقتصادی برای مصارف آشامیدنی یا صنعتی و نیز احیا و استفاده مجدد از فاضلاب خانگی، آشنایی ندارند.

به طور کلی شیرین سازی به صورت یک روش تصفیه آب که نمک های موجود در آب را از آن حذف می کند، تعریف می شود. امروزه، برخی از کشورها برای تأمین آب شرب خود به روش های شیرین سازی وابسته هستند. به ویژه در خاورمیانه شیرین سازی آب دریا یک منبع آب شرب حیاتی و قابل اطمینان است. از این گذشته، محتمل است که این روش، در سطح ملی، در خاورمیانه

۲-۳-۱- روش‌های مبتنی بر فرآیند تغییر فاز

تقطیر آب هنوز بهترین و مرسوم‌ترین روش شیرین‌سازی آب دریا است. در این فرآیند از تبخیر آب شور و چگالش آب، آب خالص به دست می‌آید. فناوری غشاء به‌خاطر اطمینان بیشتر و مصرف انرژی کمتر، به‌طور گسترده‌ای، طی ۱۰ سال اخیر گسترش یافته است. فرآیندهای خالص‌سازی آب در روش تقطیر، نسبت به فرآیندهای غشایی، دارای کیفیت بالاتری است. روش تقطیر زمانی به‌صرفه است که بخار با انرژی حرارتی پایین، به‌عنوان منبع اصلی انرژی، در دسترس باشد. بنابراین، روش‌های حرارتی در کشورهایی که تأمین انرژی حرارتی مقرون به‌صرفه‌ای ندارند، ممکن نیست و کمتر استفاده می‌شود. از طرف دیگر، بزرگترین تاسیسات آب شیرین در کشورهای شبه‌جزیره عرب و یا جاهایی که توان تولید همزمان آب و انرژی را دارند، بر پایه تقطیر است. انواع فرآیندهای مبتنی بر تبخیر عبارتند از:

- تقطیر ناگهانی چند مرحله‌ای^۱؛
- تقطیر چند مرحله‌ای^۲؛
- تقطیر تراکم بخار^۳.

۲-۳-۲- روش‌های مبتنی بر فرآیند عبور از غشاء

- روش الکترو دیالیز^۴: یک فرآیند جداسازی غشایی است که در آن از پتانسیل الکتریکی به‌عنوان نیروی محرکه، برای انتقال یون‌ها، استفاده می‌شود. در این سیستم از غشاهای پلیمری حاوی رزین‌های تبادل یونی استفاده می‌کنند. پرده‌های کاتیونی نسبت به کاتیون‌ها تراوا هستند و آنیون‌ها فقط می‌توانند از غشاهای آنیونی عبور کنند. فضای بین دو غشای غیرهمنام، سل نامیده می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۵)؛

- روش اسمز معکوس^۵: اسمز معکوس عالی‌ترین عملکرد را از بین روش‌های غشایی دارد. غشاهای اسمز معکوس فقط اجازه عبور مولکول‌های آب را از خود می‌دهند و تمامی میکرواگانیزم‌ها و عوامل بیماری‌زا را حذف می‌کنند. عملیات حذف نمک‌های محلول، تا مقدار ۹۹ درصد امکان‌پذیر است. فشار مورد نیاز اسمز معکوس برای شیرین‌سازی آب شور دریا برابر با حدود ۱۴۰۰ psi است (فرجودی و احتشامی، ۱۳۹۵).

با توجه به مطالب بالا و در نظر گرفتن شرایط محل مورد بهره‌برداری، استفاده از روش‌های مبتنی بر فرآیند تغییر فاز، توجیه اقتصادی ندارند و در طراحی روش‌ها از آن‌ها استفاده نخواهد شد.

۲-۴- انواع روش‌های گندزدایی

- کلرزنی: از گذشته تاکنون، کلر بیشترین نقش را در ضد عفونی آب ایفا کرده است. کلر باکتری‌ها را تحت یک واکنش

که نیاز به آبیاری فضای سبز نیست و آب به خارج از دانشگاه هدایت شده و از دسترس خارج می‌شود. این در صورتی است که قسمتی از آب مورد نیاز شهر تبریز توسط آب منطقه‌ای استان، از کیلومترها دورتر و با هزینه بالا، به این شهر منتقل می‌شود. بیشتر مصرف آب دانشگاه در استخر و خوابگاه‌های دانشگاه، برای استحمام استفاده می‌شود. لذا می‌توان آب مصرفی مورد نیاز در این قسمت‌ها را از آب موجود در قنات‌های دانشگاه تأمین کرد.

۲-۲- انواع روش‌های پیش تصفیه

- فیلتر کیسه‌ای: فیلتر کیسه‌ای برای حذف ذرات در محدوده ۵ تا ۱۰۰۰ میکرون کاربرد دارد (پیوندی و خانجانی، ۱۳۸۶).

- فیلتر شنی: فیلترهای دانه‌ای شامل موادی مانند ماسه سیلیسی، آنتراسیت و گارنت است. فیلترهای دانه‌ای در بهترین شرایط Silt Density Index ورودی را به مقدار ۳ کاهش می‌دهند (Morenski, 1992)؛

- کارتریج فیلتر: کارتریج فیلتر به‌عنوان آخرین مرحله پیش تصفیه سامانه‌های اسمز معکوس به‌کاربرده می‌شود و ذرات کوچک‌تری را که از فیلتر دانه‌ای عبور کرده است، حذف می‌کند. اندازه منافذ کارتریج فیلتر معمولاً ۱ تا ۲۰ میکرون است که در سامانه‌های اسمز معکوس عمدتاً از نوع ۵ میکرون آن استفاده می‌شود (Elguera and Baez, 2005)؛

- اولترافیلتراسیون: همانند غشاهای میکروفیلتراسیون هستند. اما اندازه حفره‌های آن‌ها در حدود ۰/۰۳ میکرون است. این اندازه تخلخل باعث کارایی بالای این فیلتر می‌شود. اولترافیلتراسیون بین نانوفیلتراسیون و میکروفیلتراسیون در طیف فیلتراسیون قرار دارد و مواد محلول با اندازه ۰/۳۰ میکرون و بزرگتر را حذف می‌کنند.

۲-۳- انواع روش‌های تصفیه و شیرین‌سازی آب‌های شور

یا لب شور (نمک‌زدایی آب)

روش‌های مختلف نمک‌زدایی را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی بررسی کرد که متداول‌ترین تقسیم‌بندی براساس نوع عملکرد سامانه، شامل فرآیندهای حرارتی و غشایی است. فرآیندهای نمک‌زدایی حرارتی نزدیک به ۶۰ سال و فرآیندهای نمک‌زدایی غشایی حدود ۴۰ سال قدمت دارند (میرباقر شمس، ۱۳۹۷). مهم‌ترین روش‌های تصفیه آب‌های شور، براساس نوع فرآیند جداسازی، به دو فرآیند کلی تغییر فاز و عبور از غشاء، تقسیم می‌شوند که به شرح زیر هستند:

براساس اهداف و ترجیحات تصمیم‌گیرنده است. تصمیم‌گیری مستلزم آن است که گزینه‌های دیگری نیز برای انتخاب موجود باشد. در چنین مواردی، نیازی نیست تا تمامی گزینه‌های ممکن شناسایی شود، اما لازم است بهترین مورد انتخاب شود که متناسب با اهداف، خواسته‌ها، شیوه زندگی، ارزش‌ها و غیره باشد. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیری، علم انتخاب است. به عنوان مثال، انتخاب بهترین فناوری برای تأمین آب شهری، تدوین راه کارهای حفاظت از سیل و یا بهینه‌سازی عملکرد مخزن، همگی از مشکلات تصمیم‌گیری و انتخاب هستند (Zarghami and Szidarovszky, 2011).

روش جمع وزنی ساده^۶: این روش ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تحلیل چندمعیاره است. در این روش، همه معیارها به یک مقیاس متعارف تبدیل می‌شوند. این مقیاس، معمولاً بین صفر و یک اختیار می‌شود که عدد یک، نمایانگر بهترین عملکرد است. انتخاب گزینه‌ها براساس مقدار S_i است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (1)$$

که w_j : وزن معیار j ام و r_{ij} : امتیاز نرمال گزینه i ام از دید معیار j ام است که با معادله (۷) محاسبه می‌شود (صفری و همکاران، ۱۴۰۰).

روش تاپسیس^۷

در این روش گزینه انتخابی باید کوتاه‌ترین فاصله از جواب ایده‌آل و بیشترین فاصله از جواب غیرایده‌آل را داشته باشد. مقدار فاصله هر گزینه با جواب‌های ایده‌آل S_i^* و غیرایده‌آل S_i^- که به ترتیب زیر نشان داده می‌شوند:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \text{ for } i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \text{ for } i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

که v_{ij} : مقدار نرمال موزون عملکرد گزینه i ام از دید معیار j ام است. v_j^* و v_j^- : به ترتیب مقدارهای آرمانی و نامطلوب برای معیار j ام هستند. رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از محاسبه نزدیکی نسبی C_i^* هر گزینه به جواب ایده‌آل به دست می‌آید (ضرغامی و احسانی، ۱۳۹۰).

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

شیمیایی ساده از بین می‌برد. در این واکنش شیمیایی، کلر به اسید هیپوکلرو و یون هیپوکلریت تجزیه شده و از طریق اکسیداسیون شیمیایی جرم‌های میکروبی از جمله باکتری‌ها را غیرفعال می‌کند؛

- آب‌ژاول: رایج‌ترین ماده که از آن به عنوان سفیدکننده استفاده می‌شود، آب‌ژاول است. ماده اصلی و مؤثر در آب‌ژاول هیپوکلریت سدیم (NaOCl) است. هیپوکلریت سدیم، ترکیبی فوق‌العاده قوی است که معمولاً درصد کمی از آن (۵ درصد) را در آب محلول کرده و استفاده می‌کنند. مزیت آب‌ژاول این است که خاصیت ضدعفونی‌کننده نیز دارد. زیرا یک سفیدکننده کلردار است. به همین دلیل برای ضدعفونی کردن آب نیز از درصد مشخصی از آب‌ژاول استفاده می‌شود؛

- الکترولیز نمک: مواد مصرفی دستگاه الکترولیز، نمک طعام و جریان الکتریسیته است که میزان نمک مصرفی با توجه به حجم آب، به صورت هوشمند تنظیم شده و به داخل رآکتور دستگاه کشیده می‌شود و پس از گذراندن الکتریسیته و فرآیند الکترولیز، محصول نهایی از دستگاه خارج و در یک مخزن ذخیره می‌شود و برای گندزدایی آب شبکه، مخزن یا استخر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛

- ازن: ازن یک گاز معدنی ناپایدار، حاصل از برخورد اتم‌های اکسیژن با مولکول‌های اکسیژن است. ازن یک گندزدای قوی است و مصارف دیگری در تصفیه آب آشامیدنی، از قبیل کنترل طعم و بو، کنترل رنگ و حذف آهن و منگنز، دارد؛

- لامپ UV: تنها روش شناخته‌شده امروزی که هیچ تغییری در خواص شیمیایی و فیزیکی آب ایجاد نکرده و هیچ‌گونه ماده‌ای به آب اضافه نمی‌کند، ضدعفونی با پرتو فرابنفش است. ضدعفونی نور خورشید مهم‌ترین عامل پاک‌نگه‌دارنده محیط زیست است. ضدعفونی مصنوعی با پرتو لامپ UV مشابه اثر نور آفتاب است، با این تفاوت که شدت پرتوافکنی، یعنی مقدار تابش در طول موج مؤثر، تقویت شده و در نتیجه راندمان ضدعفونی بالا می‌رود.

۲-۵- تحلیل چندمعیاره

تصمیم‌گیری گروهی به وضعیتی گفته می‌شود که در آن بیش از یک فرد در فرآیند تصمیم‌گیری نقش دارد. این افراد با نگرش‌ها و انگیزه‌های ویژه‌ای برای حل یک مسئله مشترک در یک تصمیم جمعی تلاش می‌کنند. در تصمیم‌گیری گروهی هدف رسیدن به راه‌حلی است که بیشترین مقبولیت را در میان تصمیم‌گیران داشته باشد (Lee et al., 2006).

آنالیز تصمیم، علم و هنر طراحی و یا انتخاب بهترین گزینه

- محاسبه درجه اجماع: برای محاسبه درجه اجماع ابتدا درجه عدم توافق یا شاخص دوری نظر هر ذینفع، به ایده گروهی را مطابق معادله زیر تعریف می‌شود:

$$d_q(C_i) = |IS(C_i) - IGS(C_i)|^p \quad (5)$$

که $d_q(C_i)$: شاخص دوری ایده فرد q از ایده گروه، $IS(C_i)$: مقدار ارزش عددی ایده گروه، درباره اهمیت معیارها هستند.

حال به کمک شاخص فوق درجه اجماع گروه محاسبه می‌شود. در این مطالعه میزان اجماع روی هر معیار با استفاده از معادله (5) به صورت معادله (6) تعریف می‌شود که اصلاح یافته یکی از سنج‌های پنج‌گانه معرفی شده توسط (Kuncheva 1994) است.

$$CGS(C_i) = 1 - \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m d_q(C_i) \quad (6)$$

که $CGS(C_i)$: میزان اجماع افراد گروه روی معیار i ، $d_q(C_i)$: شاخص عدم توافق هر ذینفع و m : تعداد ذی‌نفعان هستند.

۲-۵-۱- مراحل انجام تحلیل چندمعیاره با کمک نرم افزار GFDM

دو گروه متخصص ناظر این پژوهش شدند. گروه اول، هفت نفر از مسئولین و استادان دانشگاه هستند که گروه تصمیم‌گیر را تشکیل می‌دهند و برای تکمیل جدول ۳ از نظرات آن‌ها استفاده شد. گروه دوم شامل مجموعه‌ای از متخصصان، استادان، کارشناسان، نویسندگان مقالات و کتاب‌های علمی هستند که متناسب با هریک از بخش‌های هر گزینه، انتخاب شده‌اند و در هر بخش متفاوت هستند، تا امتیاز هر روش در جدول ۲ مشخص شود.

در ابتدا برای انجام تحلیل چندمعیاره با در نظر گرفتن شرایط محل استفاده و خصوصیات روش‌های مختلف اقدام به تعریف ۱۸ گزینه شد. سپس ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شده و امتیاز هر گزینه نسبت به زیرمعیار مشخص شده محاسبه شد. برای این کار با توجه به این که هر گزینه از سه بخش تشکیل شده، امتیاز هر بخش به صورت مجزا محاسبه و میانگین سه بخش هر گزینه به عنوان امتیاز آن، در زیرمعیار مشخص در نظر گرفته شد. محاسبه امتیاز هر بخش به این صورت است که یک امتیاز به صورت بیانی از بین گزینه‌های خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، زیاد، نسبتاً زیاد و خیلی زیاد، توسط استادان متخصص، کارشناسان

فروشگاه‌های دستگاه‌های تصفیه آب و نویسندگان مقالات و کتاب‌های علمی انتخاب می‌شود. نظر هریک از کارشناسان برای هر بخش مشخص شده و میانگین نظرات، امتیاز آن بخش در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای محاسبه در برخی از بخش‌ها امتیازات بیانی به صورت عددی، از ۱ تا ۷، در نظر گرفته شد. در ضمن، نقد مقالات و کتاب‌ها به پرسشنامه انتقال داده شده است.

در مرحله بعدی قدرت هر تصمیم‌گیر از گروه تصمیم‌گیران متشکل از مدیریت امور فنی و نظارت بر طرح‌های عمرانی دانشگاه، معاونت امور فنی و نظارت بر طرح‌های عمرانی دانشگاه، رئیس اداره تعمیرات و نگهداری تأسیسات دانشگاه، کارشناس آشنا به دستگاه‌های تصفیه عضو پژوهشکده محیط زیست دانشگاه، هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران (مدیریت منابع آب) دانشگاه تبریز، هیئت علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند و هیئت علمی دانشکده بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تبریز، با توجه به مسئولیت، سابقه کاری، تجربه و تحصیلات عالی هر تصمیم‌گیرنده، مشخص شد. سپس نظرات هر تصمیم‌گیر نسبت به میزان اهمیت هر زیرمعیار برای تصمیم‌گیری مشخص شد. در نهایت با نظر تصمیم‌گیران و با کمک نرم افزار GFDM امتیاز هر گزینه مشخص شد.

برای استفاده از نظر تصمیم‌گیران در نرم افزار GFDM، سیستم به صورت زیر عمل می‌کند:

الف) تبدیل ورودی‌های بیانی به عددی: بسیاری از تصمیم‌گیران در ارزیابی گزینه‌ها و معیارها ترجیح می‌دهند که نظرات خود را با عبارات بیانی ارائه کنند. ولی برای انجام محاسبات، نیاز به معادل سازی آن‌ها است.

ب) نرمال سازی داده‌ها: مقادیر ارزیابی معیارهای مختلف، ابعاد متفاوتی خواهند داشت. برای تجمیع این داده‌ها نیازمند نرمال سازی هستیم. البته روش نرمال سازی تأثیر بسیار زیادی روی نتایج استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره دارند؛ بنابراین این روش باید یکسان باشد. در این مطالعه از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & \text{برای معیار مثبت} \\ r_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & \text{برای معیار منفی} \end{cases} \quad (7)$$

۲-۵-۲- نرم افزار GFDM

برای ارزیابی و بهینه سازی هر چه بهتر گزینه های پیشنهادی،

- معیارهای اقتصادی: هزینه راه اندازی، هزینه های مصرف انرژی، هزینه های بهره برداری و تعمیرات؛
- معیارهای اجتماعی: میزان مقبولیت عمومی، کیفیت آب شیرین تولیدی؛
- معیارهای محیط زیستی، میزان آلودگی هوا، حفظ سلامت مصرف کننده، میزان تولید پساب.

۲-۶- آزمایش های کیفی آب قنات

برای انجام آزمایش های کیفی، ابتدا با همکاری متخصصان امر از مصب قنات نمونه برداری شد. سپس آزمایش ها با همکاری متخصصان آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تبریز و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز صورت گرفت که به نتایج آن در جدول ۱ اشاره شده است.

۲-۷- روش ها

با توجه به روش های مختلف پیش تصفیه، نمک زدایی و گندزدایی با در نظر گرفتن نتایج آزمایش های کیفی و همچنین شرایط و امکانات محل مورد استفاده، اقدام به انتخاب روش های مناسب در قالب ۱۸ گزینه در جدول ۱ شد.

از نرم افزار تصمیم گیری چندمعیاره فازی گروه (GFDM) استفاده شده است. این نرم افزار با توجه به تصمیم گیری های تصمیم گیران، ابتدا اقدام به تعیین وزن معیارها کرده و سپس با مقایسه روش های ارائه شده، براساس روش موجود، نتایج حاصل را، براساس اولویت و اهمیت معیارها، برای تصمیم گیران مشخص می کند. در این بخش نرم افزار از روش های TOPSIS و جمع وزنی ساده استفاده کرده است. در واقع ابتدا به کمک یک سیستم هوشمند بین دو روش ذکر شده، انتخاب صورت گرفت. این انتخاب با یک قانون اگر-آن گاه بوده و به صورت ذیل است:

اگر در ماتریس تصمیم گیری تعداد گزینه ها کمتر از نصف تعداد معیارها باشد، آن گاه روش جمع وزنی ساده، به خاطر عملکرد بهتر، انتخاب می شود. در غیر این صورت، از روش TOPSIS برای انجام محاسبات استفاده می شود (اردکانیان و زرغامی، ۱۳۸۹). همچنین، در این پژوهش سعی شده از تصمیم گیران متخصص و باتجربه در بخش های مرتبط با مطالعه پیش رو کمک گرفته شود. معیارهای اصلی برای تصمیم گیری در ۴ معیار اصلی و زیرمعیارها عنوان شده اند که از این قرار هستند:

- معیارهای فنی: قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد، میزان آب تولیدی، میزان ملی بودن فناوری، فواصل زمانی نیاز به سرویس، نیاز به تکنسین ماهر؛

جدول ۱- روش های انتخاب شده برای انتخاب سیستم تصفیه مناسب

Scenarios	سیستم های پیش تصفیه	روش های شیرین سازی	روش های ضد عفونی
Scenario A	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	RO	آب ژاول
Scenario B	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	RO	کلرزی
Scenario C	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	RO	ازن
Scenario D	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	RO	آب ژاول
Scenario E	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	RO	کلرزی
Scenario F	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	RO	ازن
Scenario G	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	RO	آب ژاول
Scenario H	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	RO	کلرزی
Scenario I	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	RO	ازن
Scenario J	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	ED	آب ژاول
Scenario K	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	ED	کلرزی
Scenario L	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر	ED	ازن
Scenario M	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	ED	آب ژاول
Scenario N	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	ED	کلرزی
Scenario O	فیلتر شنی + اولترا فیلتر	ED	ازن
Scenario P	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	ED	آب ژاول
Scenario Q	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	ED	کلرزی
Scenario R	فیلتر شنی + کارتریج فیلتر + اولترا فیلتر	ED	ازن

بهره برداری، تنها گزینه های مبتنی بر عبور از غشا قابل استفاده

در سیستم تصفیه اصلی به دلیل لب شور بودن آب و مکان

بودند. هم‌چنین در انتخاب گزینه‌های ضد عفونی به دلیل اهمیت بالای زمان ماند از بین روش‌های موجود، سه روش زیر مدنظر گرفته شد که در نهایت، با مقایسه روش‌های موردنظر با کمک نرم‌افزار GFDM مناسب‌ترین سیستم تصفیه انتخاب شد.

۸-۲- تنظیمات نرم‌افزار GFDM

در جدول ۲، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل یافته و روش‌ها (گزینه‌ها) و مقادیر هر معیار برای تمامی گزینه‌ها وارد شده است. مقادیر وارد شده به نرم‌افزار، براساس تحقیقات در منابع علمی معتبر و نظر اساتید متخصص و متخصصان شرکت‌های فروشنده مربوطه انجام گرفته است. چون هر گزینه از سه قسمت (پیش تصفیه، تصفیه اصلی و ضد عفونی) تشکیل شده است، نظرات برای هر قسمت به صورت مجزا به دست آمده است. برای انجام این کار، ابتدا نظرات موجود برای یک قسمت تهیه و سپس میانگین نظرات امتیاز آن قسمت در نظر گرفته شده و میانگین امتیاز در سه قسمت هر گزینه به عنوان امتیاز آن گزینه در نظر گرفته شد. این امتیازها به دو صورت عدد قطعی و بیانی، ثبت شده است.

در شاخص‌های فواصل زمانی نیاز به سرویس، میزان آب تولیدی، میزان ملی بودن فناوری، نیاز به تکنسین ماهر، میزان تولید پساب شور، میزان آلودگی هوا، نظرات برای هر گزینه به صورت بیانی نوشته شده‌اند. هم‌چنین زیرمعیارهایی که تأثیر منفی بر ارزیابی دارند، با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. تأثیر منفی بدین معنی است که افزایش مقدار آن‌ها سبب کاهش مطلوبیت آن معیار می‌شود. لذا با تغییر نحوه محاسبه آن به ارائه ماتریس مذکور پرداخته شد. در جدول ۳، نیز نظر هر تصمیم‌گیرنده برای هر معیار و هم‌چنین وزن هر تصمیم‌گیرنده، به صورت مقادیر بیانی آورده شده است (نام تصمیم‌گیران به صورت حروف الفبای انگلیسی آمده است). با توجه به مسئولیت، سابقه کاری، تجربه و تحصیلات عالی هر تصمیم‌گیرنده، وزن هر تصمیم‌گیرنده عنوان شده است.

۳- نتایج و مباحث

در جدول ۴ نتایج آزمایشات کیفی و مقایسه آن با استاندارد ملی کشور، سازمان بهداشت جهانی و کمیسیون اروپا نوشته شده است. با توجه به جدول زیر، میزان کل مواد جامد محلول، سختی، کلرور، سولفات، سدیم، و منیزیم در آب قنات، بیشتر از حد استاندارد است و آب برای استفاده در مصارف بهداشتی نیاز به نمک‌زدایی دارد.

انتخاب هر معیار نیازمند تعریف یک درجه اجماع است. این درجه اجماع نشان‌دهنده آن است که معیارهایی در ارزیابی گزینه‌ها دخیل باشد که وزن آن‌ها حداقل درجه اجماع را از دید افراد گروه داشته باشد. در واقع درجه اجماع، نشان‌دهنده اهمیت هر معیار برای تصمیم‌گیران است. با توجه به این که درجه اجماع متوسط انتخاب شده و تمامی گزینه‌ها از مقدار متوسط بیشتر هستند، لذا معیاری حذف نشده است. با توجه به جدول ۵، به نظر می‌رسد که انتخاب معیارها و زیرمعیارها به صورت مناسبی شکل گرفته و از نظر تصمیم‌گیران مهم و برای ارزیابی تحقیق پیش رو مؤثر هستند.

درجه اجماع تصمیم‌گیران نیز نشان‌دهنده نزدیک بودن نظرات هر تصمیم‌گیرنده با نظرات گروه تصمیم‌گیری است. بدین معنی که هرکسی امتیاز بالاتری داشته باشد، نظراتش به گروه تصمیم‌گیری نزدیک‌تر است و بالعکس. با توجه به جدول ۶ به نظر می‌رسد نظرات تصمیم‌گیر C و تصمیم‌گیر D به ترتیب بیشترین مطابقت را با نظرات تصمیم‌گیرنده گروه داشته باشند. هرچقدر این مقادیر به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده آن است که نظرات تصمیم‌گیران به یکدیگر نزدیک است و اتفاق نظر مناسبی وجود دارد. اما با توجه به این که در پژوهش پیش‌رو از تصمیم‌گیری در حوزه‌های مختلف نظرسنجی صورت گرفته است، به نظر می‌رسد، نظرات بعضی از آن‌ها متفاوت از سایرین بوده و سبب اختلاف در درجه اجماع شده است.

نتایج تحلیل، در جدول ۷ مشخص شده است. این نتایج حاکی از آن است که گزینه H، برترین گزینه، براساس نظرات تصمیم‌گیران است که با بیشتر تحقیقات علمی در این زمینه هم‌خوانی دارد. اسمز معکوس به عنوان تصفیه اصلی امتیاز بیشتری را نسبت به الکترو دیالیز کسب کرده است. هم‌چنین به نظر می‌رسد هرچقدر از پیش تصفیه مورد اعتمادتری استفاده شود، در کیفیت و کمیت آب تولیدی، هم‌چنین افزایش عمر سیستم اصلی تصفیه، تأثیر فراوانی دارد که موجب کاهش هزینه‌های تولید آب می‌شود. گفتنی است که کلر زنی به دلیل قدرت گندزدایی و زمان ماندگاری مناسب و هم‌چنین قیمت و سهولت استفاده، مدنظر قرار گرفته شده و امتیاز بیشتری از بقیه روش‌های ضد عفونی کسب کرده است. با دقت بیشتر در نتایج به دست آمده مشخص می‌شود ۳ گزینه‌ای که امتیاز بیشتری کسب کرده‌اند، دارای سیستم شیرین‌سازی (RO)، در رتبه چهارم تا ششم و دارای سیستم شیرین‌سازی (ED) هستند که اختلاف امتیاز کمی با گزینه‌های برتر دارند.

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل داده شده در نرم‌افزار GFDm برای انتخاب مناسب‌ترین روش

میزان مقبولیت عمومی	میزان آلودگی هوا	حفظ سلامت مصرف کننده	میزان تولید پساب شور	نیاز به تکنسین ماهر	میزان ملی بودن فناوری	میزان آب تولیدی	قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد	کیفیت آب شیرین تولیدی	فواصل زمانی نیاز به سرویس	هزینه های بهره برداری و تعمیرات	هزینه سرمایه گذاری	هزینه های مصرف انرژی	نام شاخص	ردیف
قطعی	بیانی	قطعی	بیانی	بیانی	بیانی	بیانی	قطعی	قطعی	بیانی	قطعی	قطعی	قطعی	نوع داده شاخص	
۰/۶۱۴۷	۰/۴۹۶۷	۰/۶۸۰۸۷	۰/۴۶۵۴۷	۰/۴۹۴۷	۰/۵۲۳۵۷	۰/۵۸۳۱۷	۰/۶۵۵۵۷	۰/۵۸۳۳۷	۰/۶۰۳۱۷	۰/۶۲۱۹۷	۰/۵۹۵۳۷	۰/۴۱۴۷	وزن شاخص	
m:۵/۳۳	زیاد	m:۵/۳۳	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	m:۵/۳۳	m:۵/۳۳	نسبتاً زیاد	m:۴/۳۳	m:۴/۶۶	m:۴/۳۳	Scenario A	۱
m: ۶	زیاد	m: ۶	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	m: ۶	m:۵/۶۶	نسبتاً زیاد	m:۴/۶۶	m:۵	m:۴/۶۶	Scenario B	۲
m:۵/۶۶	زیاد	m:۵/۶۶	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	m:۵/۶۶	m: ۶	نسبتاً زیاد	m:۵	m:۵/۶۶	m:۵	Scenario C	۳
m:۵/۶۶	زیاد	m:۵/۶۶	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	زیاد	m:۵/۶۶	m:۵/۶۶	زیاد	m:۴/۱۶	m:۵/۳۳	m:۴/۶۶	Scenario D	۴
m:۶/۳۳	زیاد	m:۶/۳۳	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	زیاد	m:۶/۳۳	m: ۶	زیاد	m:۴/۵	m:۵/۶۶	m:۵	Scenario E	۵
m: ۶	زیاد	m: ۶	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	زیاد	m: ۶	m:۶/۳۳	زیاد	m:۴/۸۳	m:۶/۳۳	m:۵/۳۳	Scenario F	۶
m: ۶	زیاد	m: ۶	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	متوسط	خیلی زیاد	m: ۶	m: ۶	خیلی زیاد	m:۴	m:۵/۶۶	m:۵	Scenario G	۷
m:۶/۶۶	زیاد	m:۶/۶۶	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	متوسط	خیلی زیاد	m:۶/۶۶	m:۶/۳۳	خیلی زیاد	m:۴/۳۳	m: ۶	m:۵/۳۳	Scenario H	۸
m:۶/۳۳	زیاد	m:۶/۳۳	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	متوسط	خیلی زیاد	m:۶/۳۳	m:۶/۶۶	خیلی زیاد	m:۴/۶۶	m:۶/۶۶	m:۵	Scenario I	۹
m: ۵	نسبتاً کم	m: ۵	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	متوسط	m: ۵	m: ۵	متوسط	m:۴/۶۶	m:۴	m:۴	Scenario J	۱۰
m:۵/۶۶	نسبتاً کم	m:۵/۶۶	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	متوسط	m:۵/۶۶	m:۵/۳۳	متوسط	m:۵	m:۴/۳۳	m:۴/۳۳	Scenario K	۱۱
m:۵/۳۳	نسبتاً کم	m:۵/۳۳	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	متوسط	m:۵/۳۳	m:۵/۶۶	متوسط	m:۵/۳۳	m:۵	m:۴/۶۶	Scenario L	۱۲
m:۵/۳۳	نسبتاً کم	m:۵/۳۳	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	m:۵/۳۳	m:۵/۳۳	نسبتاً زیاد	m:۴/۵	m:۵	m:۴/۳۳	Scenario M	۱۳
m: ۶	نسبتاً کم	m: ۶	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	m: ۶	m:۵/۶۶	نسبتاً زیاد	m:۴/۸۳	m:۵/۳۳	m:۴/۶۶	Scenario N	۱۴
m:۵/۶۶	نسبتاً کم	m:۵/۶۶	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	m:۵/۶۶	m: ۶	نسبتاً زیاد	m:۵/۱۶	m: ۵	m:۵	Scenario O	۱۵
m:۵/۶۶	نسبتاً کم	m:۵/۶۶	کم	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	m:۵/۶۶	m:۵/۶۶	زیاد	m:۴/۳۳	m:۵/۳۳	m:۴/۶۶	Scenario P	۱۶
m:۶/۳۳	نسبتاً کم	m:۶/۳۳	کم	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	m:۶/۶۶	m: ۶	زیاد	m:۴/۶۶	m:۵/۶۶	m: ۵	Scenario Q	۱۷
m: ۶	نسبتاً کم	m: ۶	کم	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	m:۶/۳۳	m:۶/۳۳	زیاد	m: ۵	m:۶/۳۳	m:۵/۳۳	Scenario R	۱۸

جدول ۳- نظرات تصمیم‌گیران و وزن هر یک

ردیف	نام تصمیم‌گیر	A	B	C	D	E	F	G
	قدرت تصمیم‌گیر	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد
۱	هزینه‌های مصرف انرژی	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	کم	نسبتاً زیاد	کم	کم	نسبتاً کم
۲	هزینه سرمایه‌گذاری	متوسط	زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد
۳	هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
۴	فواصل زمانی نیاز به سرویس	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد
۵	کیفیت آب شیرین تولیدی	خیلی زیاد	نسبتاً کم	متوسط	زیاد	نسبتاً کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۶	قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۷	میزان آب تولیدی	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد
۸	میزان ملی‌بودن فناوری	متوسط	زیاد	متوسط	خیلی کم	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد
۹	نیاز به تکنسین ماهر	متوسط	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد
۱۰	میزان تولید پساب شور	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد
۱۱	حفظ سلامت مصرف‌کننده	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
۱۲	میزان آلودگی هوا	زیاد	کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط
۱۳	میزان مقبولیت عمومی	خیلی زیاد	متوسط	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد

جدول ۴- مقایسه کیفیت آب قنات با استانداردهای موجود

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار در نمونه	استاندارد ملی کشور		استاندارد WHO*		استاندارد EC**	
				حد مجاز	حد مطلوب	حد مجاز	حد مطلوب	حد مجاز	حد مطلوب
۱	pH		۷/۵	۹/۵-۶/۵	۸/۵-۶/۵	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲
۲	کل مواد جامد محلول (TDS)	mg/L	۲۶۰۴	۵۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰	۱۰۰۰	-	۱۵۰۰
۳	کدورت	NTU	۱/۵	کمتر یا مساوی ۱	۵	۱	کمتر از ۵	کمتر از ۱	-
۴	سختی کل	mg/L	۱۲۴۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	-	-
۵	کلرور	mg/L	۵۱۰	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	-	۲۵۰	-
۶	سولفات	mg/L	۸۱۹	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	-	۲۵۰	-
۷	سدیم	mg/L	۳۶۲	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	-
۸	کلسیم	mg/L	۱۶۰	-	-	۳۰۰	-	-	-
۹	منیزیم	mg/L	۲۰۴	۳۰	-	-	-	-	-
۱۰	پتاسیم	mg/L	۱۹	-	۱۲	-	-	-	-
۱۱	بی‌کربنات	mg/L	۴۳۹	-	-	-	-	-	-
۱۲	نیتрат	mg/L	۲۷	-	۵۰	-	۵۰	-	۵۰

* World Health Organization (WHO); ** European Communities (EC)

جدول ۵- درجه اجماع معیارها

ردیف	نام شاخص	درجه اجماع
۱	هزینه‌های مصرف انرژی	C:۷۵/۷۹
۲	هزینه سرمایه‌گذاری	C:۸۵/۷۳
۳	هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات	C:۸۵/۴۹
۴	فواصل زمانی نیاز به سرویس	C:۸۵/۴۹
۵	کیفیت آب شیرین تولیدی	C:۷۴/۴۶
۶	قابلیت اطمینان و ثبات عملکرد	C:۸۴/۰۵
۷	میزان آب تولیدی	C:۸۲/۲۴
۸	میزان ملی‌بودن فناوری	C:۸۱/۴۱
۹	نیاز به تکنسین ماهر	C:۸۶/۷۱
۱۰	میزان تولید پساب شور	C:۸۶/۸۱
۱۱	حفظ سلامت مصرف‌کننده	C:۸۶/۵۱
۱۲	میزان آلودگی هوا	C:۸۲/۸۳
	میزان مقبولیت عمومی	C:۷۷/۴۹

جدول ۶- درجهٔ اجماع تصمیم‌گیران

ردیف	نام تصمیم‌گیر	درجهٔ اجماع
۱	A	C:۷۸/۳۴
۲	B	C:۸۳/۵۹
۳	C	C:۹۰/۰۸
۴	D	C:۸۵/۸۹
۵	E	C:۷۸/۹۱
۶	F	C:۷۸/۷۲
۷	G	C:۸۳/۳۳

جدول ۷- جدول امتیازدهی گزینه‌ها

ردیف	نام گزینه	امتیاز
۱	Scenario H	۶۶/۰۹
۲	Scenario G	۶۵/۱۰
۳	Scenario I	۶۱/۳۲
۴	Scenario Q	۵۸/۷۲
۵	Scenario P	۵۶/۴۳
۶	Scenario R	۵۴/۹۰
۷	Scenario E	۵۳/۲۸
۸	Scenario D	۵۰/۷۴
۹	Scenario F	۴۸/۵۱
۱۰	Scenario B	۴۵/۹۱
۱۱	Scenario N	۴۴/۲۲
۱۲	Scenario A	۴۴/۲۲
۱۳	Scenario M	۴۲/۱۵
۱۴	Scenario C	۴۲/۰۲
۱۵	Scenario O	۳۹/۷۷
۱۶	Scenario K	۳۸/۱۳
۱۷	Scenario J	۳۷/۴۵
۱۸	Scenario L	۳۳/۱۱

۴- نتیجه‌گیری

شامل معیارهای اقتصادی، فنی، محیط‌زیستی و اجتماعی و ۱۳ زیرمعیار در نظر گرفته شد. سپس با بهره‌گیری از نظرات مسئولین و متخصصان به کمک نرم‌افزار GFD M مناسب‌ترین گزینه (سیستم تصفیه) انتخاب شد. گزینه H از دیدگاه تصمیم‌گیران بیشترین امتیاز را کسب کرد که شامل پیش‌تصفیه فیلتر شنی، کارتریج فیلتر و اولترا فیلتر، روش شیرین‌سازی اسمز معکوس (RO) و روش ضدعفونی کلرزنی است. هم‌چنین با در نظر گرفتن این امر که سیستم پیش‌تصفیه مناسب، یکی از کلیدهای اساسی کارایی موفقیت‌آمیز و اقتصادی یک سیستم نمک‌زدایی، مبتنی بر عبور از غشا است، سیستم تصفیه اولیه برای جلوگیری یا کم کردن گرفتگی غشایی، پدیده رسوب و کاهش کارایی غشاء و مواد طراحی شده است.

هدف از این تحقیق مدیریت صحیح منابع آب (قنات‌ها) موجود در دانشگاه و استفاده در مصارف بهداشتی، پس از تصفیه مناسب است. برای این منظور ابتدا میزان کمیت آب قنات محاسبه شد. سپس برای مشخص شدن کیفیت آب موجود، آزمایشات کیفی آب انجام گرفت. برای تصفیه آب به یک سیستم تصفیه مناسب، شامل پیش‌تصفیه، تصفیه اصلی (شیرین‌سازی) و ضدعفونی نیاز است. با در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف موجود در هر مرحله، برای انتخاب سیستم مناسب تصفیه، با توجه به شرایط مکانی داخل دانشگاه، اقدام به محدود کردن این گزینه‌ها شد. سپس ۱۸ گزینه پیشنهاد و برای مقایسه و انتخاب بهترین گزینه، ۴ معیار اصلی

تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب طرح‌های انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه"، تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۲)، ۱-۱۴.

عبدالمجیدی، ح.، حسام، م.، هزارجریبی، ا.، و دهقانی، ا.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی اقتصادی شیرین‌سازی آب دریای خزر به روش اسمز معکوس، جهت مصرف شرب استان گلستان"، کنفرانس ملی بهره‌برداری از آب دریا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان.

فرجودی خ.، و احتشامی م.، (۱۳۹۵)، "مروری بر روش‌های نوین شیرین‌سازی آب و مقایسه آن‌ها"، سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست، مرکز راه‌کارهای دستیابی به توسعه پایدار موسسه آموزش عالی مهر اروند، تهران.

میرباقر، س.، و شمس ا.، (۱۳۸۷)، "امکان‌سنجی استفاده از فن‌آوری اسمز معکوس در تصفیه آب‌های لب‌شور، جهت تأمین آب شرب شهری در کشور"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران.

ملایی، س.، و نصرآبادی، م.، (۱۳۹۶)، "طراحی بهینه، سیستم تصفیه آب به کمک نرم‌افزار ROSA"، اولین کنفرانس تخصصی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست پایدار، شیروان.

Elguera, A.M., and Ba'ez, S.O.P., (2005), "Development of the most adequate pre-treatment for high capacity seawater desalination plants with open intake", *Desalination*, 184(1-3), 173-183.

Ede, A., (2006), *The chemical element, A historical perspective*, Greenwood Press, USA.

Lee, J., Ruan, D., Zhang, G., and Wu, F., (2006). *Multi-objective group decision making methods, software and applications with fuzzy set techniques*, Imperial College Press.

Morenski, F., (1992), "Current pretreatment requirements for reverse osmosis membrane applications", *Official Proceedings of the 53rd International Water Conference*, pp. 325-330, Pittsburgh, PA, USA, 19-21 October.

Sharon, H., and Reddy, K.S., (2015), "A review of solar energy driven desalination technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118.

Zarghami, M., and Szidarowsky, F., (2011), *Multicriteria analysis: Applications to water and environment management*, Springer Science & Business Media.

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



اگر سیستم نمک‌زدایی مبتنی بر عبور از غشا، دارای سیستم پیش‌تصفیه مناسب نباشد، سبب بروز دوره‌های شستشوی مکرر و به تبع آن کاهش عمر غشا می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد هرچقدر پیش‌تصفیه مورداعتمادتری استفاده شود، در کیفیت و کمیت آب تولیدی و افزایش عمر سیستم اصلی تصفیه، تأثیر فراوانی دارد که موجب کاهش هزینه‌های تولید آب می‌شود. همچنین کلرزدنی به دلیل قدرت گندزدایی، ماندگاری مناسب، قیمت و سهولت استفاده، مدنظر گرفته شد و امتیاز بیشتری از بقیه گزینه‌های ضدعفونی کسب کرد. در این گزینه برای انتخاب سیستم تصفیه نظر مسئولین و متخصصان به صورت مستقیم اعمال شد که می‌تواند باعث افزایش رضایت مصرف‌کننده و افزایش کارایی مطابق با محل استفاده شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Multi stage flash distillation (MSF)
- 2- Multi effect distillation (MED)
- 3- Vapor compression desalination (VC)
- 4- Electro-dialysis (ED)
- 5- Reverse osmosis (RO)
- 6- Simple Additive Weighting (SAW)
- 7- Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

۶- مراجع

اردکانیان، ر.، و زرغامی، م.، (۱۳۸۹)، مدیریت طرح‌های توسعه منابع آب، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی.

افراسیابی، ن.، احتشامی، م.، و اردکانیان، ر.، (۱۳۸۷)، "طراحی بهینه سیستم تصفیه آب با روش اسمز معکوس توسط مدل ROSA"، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران.

صالحی، س.، خانجانی، م.، و بارانی، غ.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی اقتصادی تکنولوژی‌های مختلف آب شیرین‌کن"، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راه‌کارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری، دانشگاه تبریز، تبریز.

صفری، س.، زرغامی، م.، یگانی، ر.، و مسافری، م.، (۱۴۰۰)، "طراحی و ارزیابی چند معیاره سیستم‌های نمک‌زدایی اسمز معکوس، مطالعه موردی: قنات دانشگاه تبریز"، مجله آب و فاضلاب، (در انتظار چاپ).

زرغامی، م.، و احسانی، ا.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی روش‌های مختلف

Research Paper

مقاله پژوهشی

Biosorption of Nickel Ions by *Scenedesmus Obliquus* from Aqueous Solution

Nahid Akhtari¹, Mahnaz Sadat Sadeghi^{2*} and Homeira Agah³

1- M.Sc. Student, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Ocean sciences department, Tehran, Iran.

* Corresponding author, Email: mahnaz.sadeghi55@gmail.com

Received: 02/05/2020

Revised: 14/07/2020

Accepted: 14/07/2020

© IWWA

Abstract

Disadvantages of conventional techniques for removal of heavy metals from aquatic systems has led to the application of more efficient methods. Biosorption using microalgae is one of the appropriate methods to remove heavy metals. In this study which is performed on 2019, the efficiency of green algae, *Scenedesmus obliquus* which has a good potential for growing in wastewater, was investigated for the removal of nickel (Ni) as a toxic metal. The algae were first grown up in the BG-11 medium. The algae's optimum growing condition in a medium consisted of Ni ions, were obtained by applying different temperatures in primitive condition: 10 ppm Ni, pH: 7±0.1. The optimum temperature was accordingly obtained as 30°C with OD = 0.81. Subsequently different Ni solutions (0, 0.5, 1, 2, 5, 10 and 20 ppm) at several contact times (1, 7, 14, and 21 day) were considered; while pH and temperature were 7±0.1 and 30±2 °C, respectively. The results demonstrated that the algae have optimum Ni removal efficiency (91.07%) at the Ni concentration of 10 ppm. Equilibrium data for Nickel were fitted well by Langmuir adsorption model with maximum adsorption capacity of 25.76 mg/g at the 4th day contact time. The results showed that the microalgae *S.obliquus*, as a biosorbent, has appropriate capacity to remove heavy metals, especially Ni, from wastewater.

Keywords: Absorption isotherm, Biosorption, Microalgae, Nickel heavy metal, *Scenedesmus obliquus*.

جذب زیستی یون های نیکل از محلول آبی به وسیله

Scenedesmus obliquus ریز جلبک

ناهید اختر^۱، مهناز سادات صادقی^{۲*} و همیرا آگاه^۳

۱- کارشناسی ارشد زیست فناوری - دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه بیولوژی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۳- استادیار، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، دپارتمان اقیانوس شناسی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: mahnaz.sadeghi55@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

وجود آلودگی های فلزات سنگین و معایب روش های معمول حذف، سبب شده که مطالعات بر روی روش های کارآمدتر جذب انجام شود. جذب زیستی به وسیله ریزجلبک یکی از روش های مناسب است که مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، ریزجلبک *Scenedesmus obliquus* توان خوبی برای رشد در داخل پساب ها دارد. این پژوهش در سال ۱۳۹۸، کارایی ریزجلبک *Scenedesmus obliquus* را برای حذف نیکل از محلول های آبی مورد بررسی قرار داد. برای تعیین شرایط بهینه رشد جلبک همراه با بیشترین راندمان حذف آلودگی نیکل، ابتدا جلبک در محیط کشت BG-11 کشت داده شد. شرایط غلظت پایه، آلانده نیکل ۱۰ ppm و pH برابر با ۷±۰/۱ در نظر گرفته شد که در این غلظت در دماهای مختلف، دمای بهینه، ۳۰ درجه سانتی گراد با میزان رشد جلبک براساس جذب نوری برابر با ۰/۸۱ به دست آمد. در مرحله بعد برای تعیین غلظت بهینه، غلظت های ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm نیکل، در زمان های (۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) و دمای ۳۰±۲ درجه سانتی گراد و pH برابر با ۷±۰/۱ مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه برای جذب فلز توسط جلبک در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد، غلظت ۱۰ ppm بود که در آن مقدار حذف، ۹۱/۰۷ درصد بود. ایزوترم لانگمویر و مدل سینتیک شبه دوم تطابق بهتری با داده ها نشان دادند. داده های تعادل برای نیکل به خوبی با روش جذب لانگمویر برازش شد و حداکثر ظرفیت جذب ۲۵/۷۶ میلی گرم بر گرم در روز چهارم گزارش شد. نتایج این پژوهش نشان داد که ریزجلبک *Scenedesmus obliquus* به عنوان جاذب گیاهی از توان بالایی برای حذف فلز سنگین نیکل برخوردار است.

واژه های کلیدی: ایزوترم جذب، جذب زیستی، ریزجلبک، *Scenedesmus obliquus*، فلز سنگین نیکل.

استخوان و در موارد حاد مرگ از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان است (Järup, 200; Jaishankar et al., 2014; Kumar and Trivedi, 2016).

با توجه به این که فلزات سنگین طی زنجیره غذایی، تمام موجودات زنده را تحت تأثیر خود قرار می دهند، این مسئله موجب شده است که کاربرد روش های مختلف حذف فلزات سنگین از جمله استخراج با حلال، رسوب گذاری، اکسیداسیون یا احیای شیمیایی، تبادل یونی، اسمز معکوس، جداسازی غشایی، تصفیه الکتروشیمیایی و تبخیر، با هدف جداسازی، حذف و بازیابی فلزات سمی یا گران بها رو به گسترش و توسعه باشد (Ahluwalia and Goyal, 2007).

فلزات سنگین تجزیه نمی شوند و به تدریج در بدن تجمع می یابند. در بافت های چربی، عضلات، استخوان ها و مفاصل انسان رسوب نموده و انباشته می شوند. ضعف عمومی در عضلات، کاهش اشتها، تهوع، التهاب غشاهای مخاطی چشم، بینی و حنجره و همچنین ضایعات پوستی مشکلات باروری، اختلالات روانی و عصبی و بیماری های قلبی از عوارض مواجهه با فلزات سنگین است (Gris, Morosinotto et al., 2014). از جمله مهم ترین فلزات سنگین موجود در پساب های صنعتی می توان به قلع، کادمیوم، سرب و نیکل اشاره کرد. نیکل یکی از عمومی ترین فلزات در آب های سطحی است. ورود منابع آلوده شهری ممکن است این مقادیر را تا بیش از پنج برابر حالت عادی افزایش دهد. مقادیر کم نیکل برای تولید سلول های قرمز خون در بدن انسان نیاز است، هرچند در مقادیر بالا تا حدودی می تواند سمی باشد. به نظر می رسد نیکل در کوتاه مدت مشکل خاصی ایجاد نمی کند ولی در طولانی مدت می تواند باعث کاهش وزن بدن، صدماتی به قلب و کبد، تحریک و حساسیت بالا شود. نیکل هم چنین می تواند در بدن آبریزان تجمع یابد (Blewett and Leonard, 2017).

روش های متعددی برای حذف فلزات سنگین از محیط های آبی وجود دارد. تبادل یونی^۳ و رسوب گذاری نمک^۴ فلزات سنگین از جمله روش های نسبتاً قدیمی برای حذف فلزات سنگین بوده ولی به دلیل راندمان پایین و هزینه عملیاتی بالا استفاده از آن رو به کاهش است (Incharoensakdi and Kitjahn, 2002; Gupta and Rastogi, 2008). جذب فلزات سنگین با پایداری بالا در محیط یکی از روش های مورد توجه در سال های اخیر به شمار می رود. به این منظور استفاده از جاذب ها مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روش های زیستی در حذف فلزات از پساب ها می تواند برخی از محدودیت ها و مشکلات مربوط به روش های فیزیکی و شیمیایی را برطرف نماید و راه حل

آلودگی منابع آب با فلزات سنگین^۲ در نتیجه فعالیت های صنعتی از جمله مهم ترین عوامل مخرب محیط زیست بوده و تأثیر زیادی بر زیست بوم آبی دارد (Bayramoğlu and Arica, 2008). آلودگی آب در اثر فلزات سنگین به لحاظ خواص شیمیایی پایدار، قابل تجمع بیولوژیکی، غیر قابل تجزیه در محیط طبیعی و سمی بوده و به عنوان منبع بسیار مهمی از آلودگی در محیط زیست شناخته می شوند، بنابراین حذف آن ها از پساب ها قبل از ورود به محیط زیست امری ضروری است.

فلزات سنگین به طور عمده از طریق پساب صنایع وارد محیط های آبی شده و با توجه به ساختار مقاوم خود حذف خود به خودی آن ها حتی در مقادیر بسیار جزئی نیز در طبیعت صورت نمی گیرد (Alkorta, Hernández-Allica et al., 2004; Wang and Chen, 2006). از جمله مهم ترین راه ها برای جلوگیری از اثرات مخرب در نتیجه ورود پساب های شهری و صنعتی به محیط زیست و به خصوص محیط های آبی، تصفیه این پساب ها قبل از رها شدن در محیط است. امروزه حذف فلزات سنگین از پساب صنایع به طور قابل توجهی رو به افزایش است که می تواند در راستای حفاظت محیط زیست و سلامت انسان ها نقش به سزایی داشته باشد (Fu and Wang, 2011).

مهم ترین مشکل فلزات سنگین عدم متابولیسم شدن آن ها در بدن است. فلزات سنگین پس از ورود به بدن دفع نشده و در بافت هایی مثل چربی، عضلات، استخوان ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می شوند که همین امر موجب بروز بیماری ها و عوارض متعددی در بدن می شود (Zdrojewicz, Popowicz et al., 2016). فلزات سنگین هم چنین جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن می شوند. به عنوان مثال در صورت کمبود روی در مواد غذایی، کادمیوم جایگزین آن می شود (Brzóska and Moniuszko-Jakoniuk, 2001). به طور کلی اختلالات عصبی (پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی)، انواع سرطان ها، فقر مواد مغذی، برهم خوردن تعادل هورمون ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات تنفسی و قلبی عروقی، آسیب به کبد، کلیه ها و مغز، آلرژی و آسم، اختلالات غدد درون ریز، عفونت های ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل بدن، اختلال در عملکرد آنزیم ها، تغییر در سوخت و ساز، ناباروری، کم خونی، خستگی، تهوع و استفراغ، سردرد و سرگیجه، تحریک پذیری، تضعیف سیستم ایمنی بدن، تخریب ژن ها، پیری زودرس، اختلالات پوستی، کاهش حافظه، بی اشتها، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی

ریزجلبک برای حذف برخی کاتیون‌های سمی مثل کادمیوم از منابع آبی در صنعت کاربرد خوبی دارد (Monteiro, Castro et al., 2009).

سندسموس آبلیکوس از جمله گونه‌هایی است که در زمینه تصفیه پساب نیکل مورد بررسی جامع و کامل قرار نگرفته است. سنجش میزان حذف نیکل از محیط‌های آلوده آبی توسط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس، تعیین ظرفیت جذب سندسموس آبلیکوس، بررسی پارامترهای موثر بر جذب زیستی و تعیین ایزوترم جذب از اهداف این تحقیق است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- کشت گونه میکروجلبک *Scenedesmus obliquus*

استوک *Scenedesmus obliquus* به‌عنوان یک زیرگونه از جنس *Scenedesmus* و از کلاس Chlorophyceae از بانک ملی جلبک ایران - دانشگاه تهران تهیه شده و در محیط کشت BG-11 در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد کشت داده شد (Morosinotto et al., 2014). مطالعات نشان می‌دهد که زمان دوبرابر شدن یا Generation time جلبک سندسموس آبلیکوس بین ۱۷ الی ۴۸ ساعت است (Çelekli, Balci et al., 2008). پس از یک مرحله کشت و حصول میزان مناسب میکروجلبک، نمونه تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

۲-۲- تاثیر دما بر حذف نیکل

برای بررسی تاثیر دما بر نرخ رشد و میزان جذب زیستی و نیز تعیین دمای بهینه جذب زیستی، ۶ نمونه محلول آبی حاوی ریز جلبک سندسموس آبلیکوس به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محلول سولفات نیکل (۱۰ ppm) آماده شده و به راکتورهای زیستی ۵۰۰ میلی‌لیتری منتقل شدند. راکتورهای زیستی در ۶ دمای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سولفات نیکل مورد استفاده از نوع خلوص بالا بود و از شرکت Sigma Aldrich آمریکا تهیه شد. میزان رشد جلبک بر اساس چگالی نوری^{۱۱} (OD) در طول موج ۶۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری UV-2100 ساخت شرکت UNICO آمریکا به‌صورت روزانه ثبت شد. برای بررسی میزان جذب نیکل، نمونه‌برداری در روزهای اول، هفتم، چهاردهم و بیست و یکم انجام شده و غلظت نیکل توسط دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی (Atomic Absorption)

اقتصادی‌تری محسوب می‌شود (Çeribasi and Yetis, 2001). جاذب‌ها به‌طور کلی به دودسته جاذب‌های طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. جاذب‌های طبیعی اثرات مخرب بر محیط‌زیست نداشته، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه بوده و قادر به جذب فلزات سنگین از محیط آبی به‌صورت جذب شیمیایی و جذب سطحی هستند (Radway, Wilde et al., 2001). جلبک‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و باکتری‌ها، توده‌های زیستی هستند که در جذب زیستی^۵ فلزات بیشتر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مقبولی از آن‌ها به‌دست آمده‌است. مقدار بازده جذب زیست‌توده‌های فوق به ظرفیت، میزان پیوند بین مولکول‌ها و ویژگی‌های شیمیایی - فیزیکی و طبیعی آن‌ها بستگی دارد (Gavrilescu, 2004; Srivastava and Majumder, 2008).

استفاده از ریزجلبک^۶ برای تصفیه فاضلاب قدمتی ۴۰ ساله دارد و چندین دهه است که محققان در تلاش برای یافتن روش‌های مناسب تصفیه فاضلاب شهری به کمک ریزجلبک هستند. در سال‌های اخیر حذف فلزات سنگین از پساب توسط ریزجلبک مورد توجه محققان قرار گرفته است. انتخاب ریزجلبک به‌دلیل توانایی بالای آن در سازگاری با ترکیب پساب صورت گرفته است. در این راستا تحقیقات و سیستم‌های پایلوت زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات بر روی جذب روی، کادمیوم، کرم و نیکل به‌وسیله ریزجلبک‌ها نشان می‌دهد که میزان جذب زیستی فلزات سنگین تابع pH، میزان یون‌های فلزی و نوع ریزجلبک استفاده شده به‌عنوان جاذب زیستی است (Pena-Castro, Martinez-Jerónimo et al., 2004; Monteiro, Castro et al., 2011). هم‌چنین مطالعات پیشین بر روی جذب زیستی توسط ریزجلبک‌ها بیانگر مزایای مهم این روش از جمله سرعت بالای حذف فلزات سنگین، راندمان بالای جذب، قیمت پایین، عدم تولید پساب سمی و توانایی استفاده به‌صورت سیستم جذب زیستی بسته^۷ و پایدار^۸ است (Monteiro, Castro et al., 2012). ریزجلبک‌های کلرلا^۹ و سندسموس آبلیکوس^{۱۰} توانایی جذب زیستی بالایی را در فلزات سنگین مختلف از جمله نیکل، روی، سرب و کادمیوم نشان داده‌اند (Brinza, Dring et al., 2007). هم‌چنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که زیرگونه‌های کلرلا ولگاریس و سندسموس آبلیکوس بیشترین میزان جذب زیستی فلزات سنگین کادمیوم و مس را دارند (Perales-Vela, Pena-Castro et al., 2006). مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۰ با بررسی توانایی جذب زیستی^{۱۱} گونه میکروجلبک نشان داد که ریزجلبک سندسموس توانایی کاهش غلظت فلز سنگین نیکل در پساب‌های صنعتی را دارد (Chong, Wong et al., 2000). هم‌چنین این

Spectroscopy) اندازه‌گیری و گزارش شد. کلیه آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شد.

۲-۳- بررسی میزان عملکرد جذب زیستی بهینه در غلظت‌های متفاوت نیکل

در بخش دوم آزمایش پس از مشخص شدن دمای بهینه‌ی رشد ریزجلبک، غلظت‌های مختلف نیکل (۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm) به محیط کشت ریزجلبک سندسموس آبلیکوس اضافه شده و نرخ رشد و میزان جذب نیکل در طول زمان رشد بررسی شد. به‌منظور بررسی نرخ رشد میکروجلبک، میزان رشد براساس چگالی نوری در طول موج ۶۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری UV-2100 ساخت شرکت UNICO آمریکا به‌صورت روزانه ثبت شد. برای بررسی میزان جذب نیکل، نمونه‌برداری در روزهای اول، هفتم، چهاردهم و بیست و یکم انجام شده و غلظت نیکل در هر نمونه توسط دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی (Atomic Absorption Spectroscopy) اندازه‌گیری و گزارش شد. غلظت نهایی یون‌های نامحلول نیکل در انتهای فرایند به‌وسیله دستگاه آنالیز جذب اتمی Varian Spectra AA 220FS ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. کلیه آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شد.

۲-۴- رسم منحنی ایزوترم جذب

ایزوترم جذب برای تعیین ظرفیت تثوریک جذب یک آلاینده مشخص به‌کار می‌رود. معادله لانگمویر^{۱۲} یکی از قوانین معتبر جذب فیزیکی به‌وسیله زیست‌توده‌های غیرزنده است که در بسیاری از موارد صادق است و برای جذب تک لایه‌ای روی سطوح با تعداد محدودی از موقعیت‌های جذب یکسان، به‌کار می‌رود (Langmuir, 1918). در سیستم‌های مایع-جامد ایزوترم لانگمویر را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max} + 1} \times b \quad (1)$$

که q_{max} : ظرفیت جذب تک لایه‌ای جاذب (میلی گرم بر گرم)، b : ضریب لانگمویر در ارتباط با انرژی جذب (لیتر بر گرم) و C_e : غلظت آلاینده در حالت تعادل (میلی گرم بر گرم) هستند. این ایزوترم برای جذب سطحی تعادلی پویا روی سطوح کاملاً همگن کاربرد دارد و پوششی تک لایه برای سطح جاذب فرض نموده و هیچ فعل و انفعال بین مولکول‌های جذب شده در نظر نمی‌گیرد،

بنابراین جاذب اشباع شده و جذب بیشتری صورت نخواهد گرفت. ایزوترم لانگمویر بر مبنای دینامیک تعادلی بین فاز جذب شده و فاز بخار یا گاز به‌دست آمده‌است. در ابتدای فرایند جذب، تمامی مکان‌های پیوندی جاذب خالی بوده و آماده جذب است. اگر B : مکان‌های پیوندی (مراکز جذب) و M : جزء جذب شونده باشند، واکنش تعادلی جذب را می‌توان به‌صورت رابطه (۲) نوشت:



که BM : نشان‌دهنده M جذب شده بر روی جاذب است. با توجه به اینکه تمامی مکان‌های پیوندی سطح جاذب دارای تمایل یکسان برای جذب شونده هستند، می‌توان ثابت تعادلی را به‌صورت زیر نوشت:

$$b = \frac{[BM]}{[B][M]} \quad (3)$$

با توجه به این‌که در مدل لانگمویر جذب به صورت تک لایه است در نتیجه حداکثر میزان جذب برابر با تمام مکان‌های پیوندی جاذب است:

$$[BM] + [B] = [TB] \quad (4)$$

با ترکیب روابط (۳) و (۴) معادله (۵) حاصل می‌شود:

$$[BM] = \frac{[B^T]b[M]}{1 + k[M]} \quad (5)$$

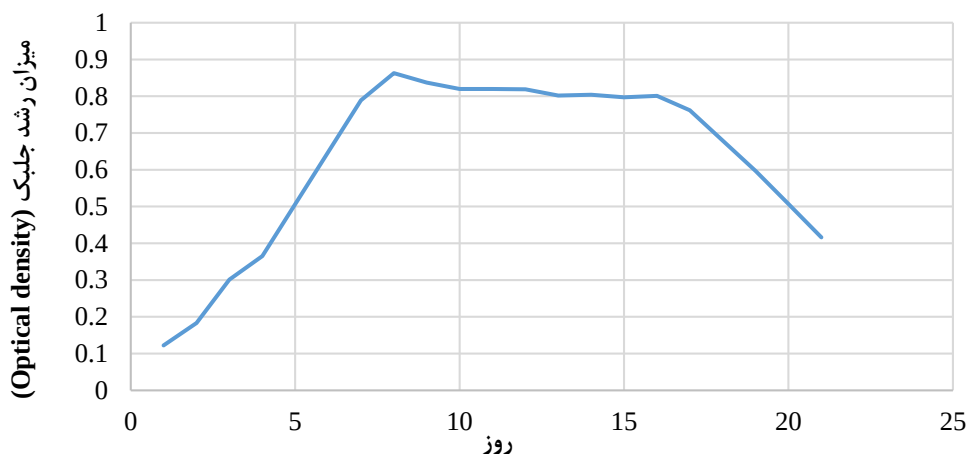
که $[BM]$: بیانگر میزان جذب و $[B^T]$: نشان‌دهنده حداکثر میزان جذب هستند.

۳- نتایج

۳-۱- بررسی رشد ریزجلبک در محیط کشت در شرایط

عدم حضور نیکل

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده‌است، با بررسی شرایط رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس براساس چگالی نوری در دمای بهینه رشد (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، ریزجلبک پس از طی یک روز از کشت اولیه وارد فاز لگاریتمی شده و حدوداً در روز هشتم به فاز سکون می‌رسد.

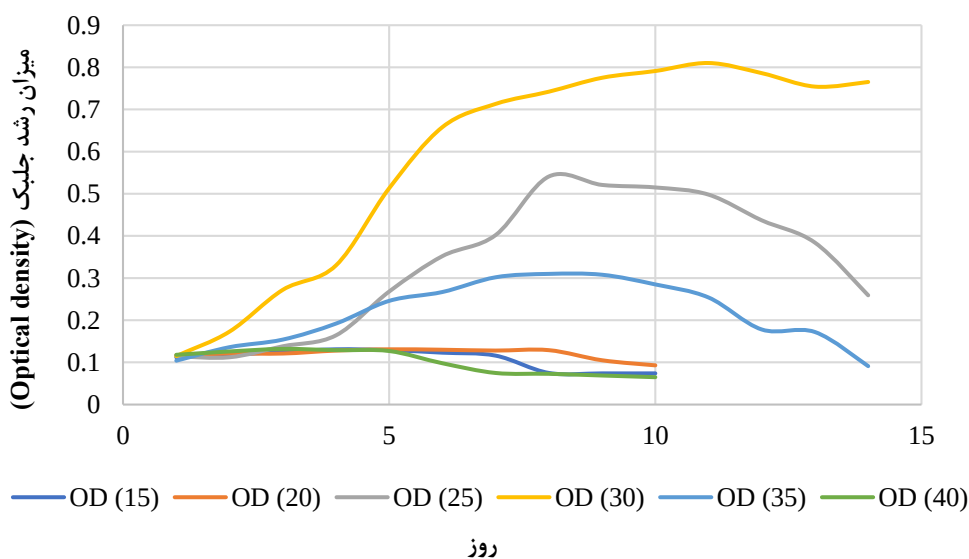


شکل ۱- میزان رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در محیط کشت در شرایط عدم حضور نیکل

نبوده و عملاً جلبک در این دماها رشد نمی‌کند. درحالی‌که رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در حضور غلظت ۱۰ ppm نیکل در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دماهای دیگر بوده و اختلاف فاحش و معناداری با سایر دماها دارد. دلیل این موضوع می‌تواند مناسب بودن این دما به‌طور کلی برای رشد جلبک باشد.

۲-۳- بررسی دمای بهینه رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در حضور غلظت ثابت نیکل

شکل ۲ میزان رشد ریزجلبک در دماهای مختلف را براساس چگالی نوری نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، دماهای کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به هیچ‌وجه برای رشد جلبک مناسب

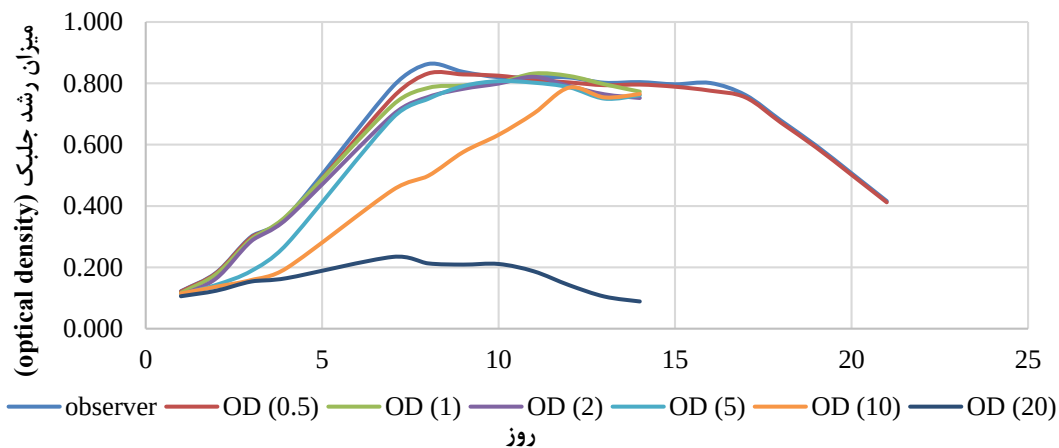


شکل ۲- مقایسه روزانه کشت ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در دماهای مختلف در حضور فلز نیکل با غلظت ۱۰ ppm

غلظت فلز سنگین میزان رشد رفته‌رفته کاهش پیدا کرد. با توجه به نمودارهای رشد، می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در حضور غلظت‌های پایین‌تر از ۲۰ ppm نیکل رشد خوبی داشته و جذب آلاینده‌ی بالایی را دارد. در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ ppm همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، رشد تا روز بیست و یکم نیز ادامه داشت، اما در سایر غلظت‌ها عملاً از روز چهاردهم به بعد تمام جلبک‌ها از بین رفته و دیگر رشدی نداشتند و متعاقباً حذفی هم صورت نگرفت.

۳-۳- بررسی میزان رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در غلظت‌های مختلف

با بررسی رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت‌های متفاوت نیکل، مشخص شد که کلیه کشت‌ها در زمانی کمتر از حداکثر زمان در نظر گرفته برای رشد وارد فاز مرگ شدند. با توجه به نتایج، حداکثر میزان رشد ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در غلظت‌های ۰/۵ ppm (روز هشتم) و ۱ ppm (روز یازدهم) اتفاق افتاد و پس از آن با افزایش



شکل ۳- مقایسه میزان رشد ریز جلبک سندسموس آبلیکوس در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد در حضور غلظت‌های مختلف نیکل (۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm) در روز

صد درصد بود و با افزوده شدن آلاینده، درصد حذف کاهش پیدا کرد. اما هم‌چنان تا غلظت ۲۰ ppm از فلز سنگین نیکل، درصد حذف آلاینده بیش از ۹۰ درصد گزارش شد. حتی در غلظت ۲۰ ppm نیز که غلظت بالایی برای فلز سنگین نیکل است جلبک به خوبی رشد کرده و توانست حذف آلاینده را داشته باشد. شکل ۴ برحسب اعداد به دست آمده از جدول ۱، نشان‌دهنده مقایسه بین درصد حذف آلاینده در غلظت‌های مختلف است. مطابق شکل ۳ با افزایش غلظت فلز نیکل به میزان ۲۰ ppm رشد جلبک به دلیل میزان بالای آلاینده‌گی کاهش یافته و در نتیجه راندمان جذب نیکل به میزان زیادی کاهش می‌یابد.

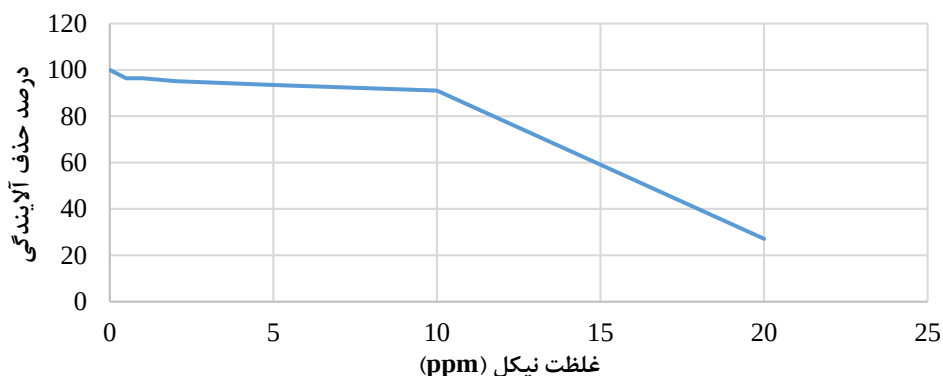
مطابق نتایج به دست آمده، بیشترین میزان رشد در غلظت ۰/۵ ppm در روز هشتم ($OD = 0.832$) و در غلظت ۱ ppm در روز یازدهم ($OD = 0.832$) بوده است.

۳-۴- بررسی درصد حذف نیکل در غلظت‌های مختلف

درصد حذف آلاینده‌گی در غلظت‌های متفاوت نیکل در مقایسه با نمونه شاهد بررسی و نتایج در جدول ۱ آورده شده است. درصد حذف آلاینده‌گی نیکل توسط ریز جلبک سندسموس آبلیکوس در حضور غلظت‌های مختلف نیکل (۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm)، با نمونه شاهد مقایسه شده، در نمونه شاهد درصد حذف برابر با

جدول ۱- درصد حذف نیکل در غلظت‌های مختلف نیکل

درصد حذف آلاینده‌گی	غلظت نیکل (ppm)
۱۰۰	۰
۹۶/۴	۰/۵
۹۶/۴	۱
۹۵/۱۳	۲
۹۳/۵	۵
۹۱/۰۷	۱۰
۲۷/۱۱	۲۰



شکل ۴- درصد حذف نیکل در حضور ریز جلبک در غلظت‌های مختلف نیکل

۳-۵- مدل‌سازی جذب زیستی نیکل

جذب در جدول ۲ آورده شده است. از نتایج جدول ۲، می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر ظرفیت جذب در غلظت‌های مختلف، مطابق جدول ۳ است.

مدل‌سازی فرآیند بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش است. در این مطالعه، ظرفیت جذب برحسب غلظت تعادلی، برای رسم نمودار جذب و لانگمویر استفاده شده است. تغییرات ظرفیت

جدول ۲- نتایج روزانه ظرفیت جذب ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در حضور غلظت‌های مختلف نیکل (برحسب ppm)

۲۰	۱۰	۵	۲	۱	۰/۵	غلظت تعادلی (Ce) (میلی گرم بر لیتر)
ظرفیت جذب (qe) (میلی گرم بر گرم)						روز
۲۲/۹۲	۱۴/۲۲	۸/۹۱	۵/۷۲	۴/۲۶	۳/۷۳	۱
۲۳/۸۵	۱۴/۹۹	۹/۴۴	۵/۸۷	۴/۷۲	۳/۹۴	۲
۲۴/۰۹	۱۵/۵۶	۹/۶۱	۵/۹۹	۴/۷۹	۴/۱۲	۳
۲۵/۷۶	۱۵/۷۴	۹/۸۶	۶/۱۲	۴/۸۷	۴/۲	۴
۲۳/۰۸	۱۶/۶۲	۱۰/۱۵	۶/۲۷	۴/۹۴	۴	۵
۲۲/۷۱	۱۶/۹۷	۱۰/۷۴	۶/۴	۵/۰۱	۳/۹	۶
۲۱/۷۸	۱۷/۵۳	۱۱/۰۲	۶/۷۶	۵/۰۹	۳/۷۴	۷
۲۰/۱۴	۱۸/۳۲	۱۱/۵۶	۶/۹۸	۵/۱۴	۳/۷	۸
۱۹	۱۷/۴۳	۱۱/۱۳	۶/۶۳	۵/۱۱	۳/۳۶	۹
۱۷/۹۴	۱۷	۱۰/۵۸	۶/۳۹	۵/۰۷	۳/۳	۱۰
۱۶/۹۹	۱۶/۶۹	۱۰/۵	۶/۰۸	۵/۰۳	۳/۲۷	۱۱
۱۶/۴۶	۱۶/۴۵	۱۰/۴۳	۵/۹۷	۵/۰۱	۳/۲	۱۲
۱۶/۱۸	۱۵/۹۸	۱۰/۱۹	۵/۷۷	۴/۸۳	۳/۱۱	۱۳
۱۵/۸۱	۱۵/۶۲	۹/۷۴	۵/۴۹	۴/۵۸	۳/۰۲	۱۴
۱۵/۳	۱۵/۲۱	۹/۲۴	۵/۲۷	۴/۴۹	۲/۹۱	۱۵
۱۵/۱۲	۱۴/۹۶	۸/۹۲	۵/۱۲	۴/۳۴	۲/۷	۱۶

جدول ۳- حداکثر ظرفیت جذب ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در حضور غلظت‌های مختلف نیکل (برحسب ppm)

غلظت آلاینده در حالت تعادل Ce (میلی گرم بر لیتر)	حداکثر ظرفیت جذب q_{max} (میلی گرم بر گرم)
۰/۵	۴/۲
۱	۵/۱۴
۲	۶/۹۸
۵	۱۱/۵۶
۱۰	۱۸/۳۲
۲۰	۲۵/۷۶

۰/۲۰۱ لیتر بر میلی گرم به‌دست آمد. پارامترهای ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

با توجه به نتایج جداول ۴ و ۵ و با کمک رابطه (۱)، نمودار ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط ریزجلبک سندسموس آبلیکوس به‌دست آمده و ترسیم شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهند که ایزوترم لانگمویر برای فلز نیکل، می‌تواند داده‌های تجربی حاصل از آزمایش را برازش کند.

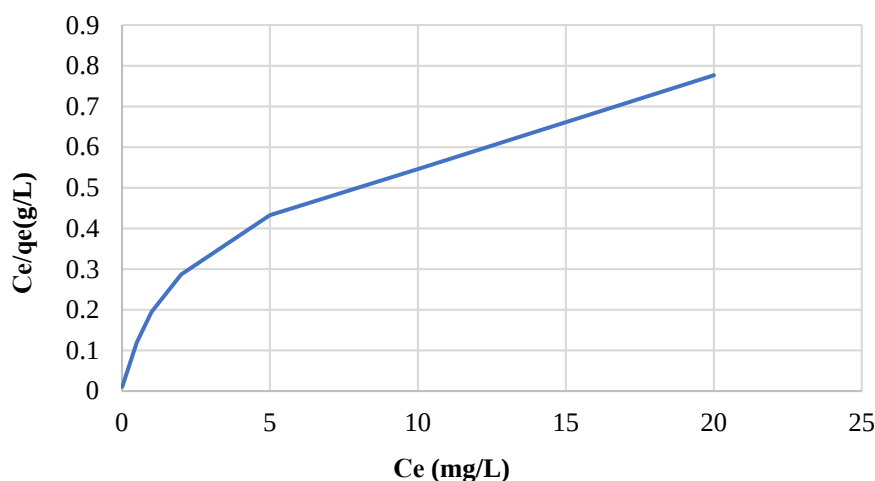
همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، با افزایش غلظت، ظرفیت جذب افزایش یافته و این سیر به‌صورت صعودی است. چنان‌که در غلظت ppm ۰/۵، حداکثر ظرفیت جذب ۴/۲ میلی گرم بر گرم بود. اما با افزایش غلظت این عدد سیر صعودی را طی کرده و در غلظت ppm ۲۰، به‌میزان ۲۵/۷۶ میلی گرم بر گرم رسید. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از این مطالعه و معادله لانگمویر، ثابت‌های حاصل از تطبیق داده‌های تجربی بر ایزوترم تعادلی، R^2 (ضریب همبستگی) برابر با ۰/۹۹ و ضریب b، برابر با

جدول ۴- پارامترهای ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط ریزجلبک سندسموس آلیکوس

پارامترهای ایزوترم لانگمویر	مقادیر به دست آمده
حداکثر ظرفیت جذب (Q_m)	۲۵/۷۶ (mg/g)
ضریب (b)	۰/۲۰۱ (L/mg)
ضریب همبستگی (R^2)	۰/۹۹

جدول ۵- پارامترهای غلظت C_e و غلظت بر میزان جذب C_e/q_e ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط ریزجلبک سندسموس آلیکوس

C_e (mg/L)	C_e/q_e (g/L)
۰/۰۱	۰/۰۱
۰/۵	۰/۱۱۹۰۴۸
۱	۰/۱۹۴۱۷۵
۲	۰/۲۸۶۵۳۳
۵	۰/۴۳۲۵۲۶
۱۰	۰/۵۴۵۸۵۲
۲۰	۰/۷۷۶۳۹۸



شکل ۵- ایزوترم لانگمویر برای جذب نیکل توسط ریزجلبک سندسموس آلیکوس

۴- بحث و نتیجه گیری

در مطالعه حاضر جذب زیستی فلز سنگین نیکل توسط ریزجلبک سندسموس آلیکوس از محلول‌های آبی مورد مطالعه قرار گرفت که از مقایسه نتایج به دست آمده از این مطالعه با سایر مطالعات، می‌توان نتیجه گرفت که ریزجلبک سندسموس آلیکوس، توانایی بالایی در حذف فلز سنگین نیکل به روش جذب زیستی دارد. متغیرهای بررسی شده در این مطالعه، دما، مدت زمان تماس محلول فلز نیکل با ریزجلبک سندسموس آلیکوس و مقدار غلظت اولیه محلول فلز نیکل بودند. با بررسی تأثیر درجه حرارت در سایر پژوهش‌ها به نظر می‌رسد که درجه حرارت بهینه با توجه به نوع جلبک و یون فلز سنگین آلاینده متفاوت است. از آنجایی که درجه حرارت تأثیر اثربخشی بر رشد جلبک دارد. لذا ابتدا در طی

شرایط کنترل شده میزان جذب آلاینده در دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بررسی شد و دمای بهینه رشد ریزجلبک سندسموس آلیکوس در حضور نیکل با غلظت ۱۰ ppm، ۳۰ درجه سانتی‌گراد معین شد. بررسی درجه حرارت در تغییرات جذب مشخص کرد که با افزایش دما بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، جذب کاهش می‌یابد که می‌تواند نشان از گرمازا بودن فرایند جذب باشد. دلیل کاهش جذب هم می‌تواند تمایل یون‌های فلزی برای فرار از سطح جاذب در نتیجه افزایش درجه حرارت از یک حرارت خاص (در این پژوهش ۳۰ درجه سانتی‌گراد) به بعد باشد. به طور کلی بهینه دمای رشد ریزجلبک سندسموس آلیکوس بین ۲۷ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (Hodaifa et al., 2010). دمای بهینه رشد ریزجلبک‌ها و جذب زیستی آن‌ها تابع نوع گونه و نوع فلز سنگین بوده و گونه‌های

ظرفیت جذب یون‌های فلزی توسط توده زنده شود (Baldrian, 2003; Selatnia et al., 2004).

Guibal et al. (1992) بیان کردند که افزایش جذب یون‌های فلزی همزمان با فزونی غلظت اولیه آن‌ها، نتیجه افزایش فعل و انفعالات الکترواستاتیک برای قرارگیری یون‌های فلزی است. جذب سطحی فلزات وابسته به پروتونه شدن گروه‌های عاملی مانند کربوکسیلیک، فسفات و آمین در دیواره سلولی است (Fourest and Volesky, 1997). تغییرات ظرفیت جذب با توجه به تجمع بالای سلولی در غلظت‌های بالای توده زنده و کاهش مکان‌های فعال برای جذب فلزات سنگین قابل توضیح خواهد بود (Selatnia et al., 2004).

مطالعات نشان می‌دهند مدل نمودار جذب اکثر ریز جلبک‌ها از ایزوترم لانگمویر تبعیت کرده که نشان می‌دهد جذب به‌وسیله مکان‌های همگن مخصوص که درون ساختار جاذب وجود دارد صورت گرفته و هریک از این مکان‌ها تنها قابلیت جذب یک ردیف مولکول را دارند و در صورت ورود مولکول دیگر هیچ‌گونه تغییری در آن مکان که قبلاً عمل جذب زیستی در آن صورت گرفته رخ نمی‌دهد. لذا می‌توان گفت فرآیند جذب به‌صورت تک لایه انجام می‌شود (Edris et al., 2014; Zhou et al., 2014).

به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از عملکرد ریزجلبک سندسموس آلبیکوس در رشد و حذف نیکل در مطالعه حاضر حاکی از پتانسیل مناسب این ریزجلبک برای برآوردن اهداف محیط‌زیستی است. از مقایسه نتایج تحقیقات فوق و مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که ریزجلبک زنده سندسموس آلبیکوس در حذف نیکل، مؤثر بوده و راندمان حذف بالایی دارد. برای حصول نتایج کامل‌تر، در ادامه مطالعات بیشتری می‌تواند بر مبنای جذب زیستی پساب‌های صنعتی دارای کاتیون‌ها و آنیون‌های فلزی مختلف توسط ریزجلبک سندسموس آلبیکوس و نیز تاثیر پارامتر pH بر میزان جذب زیستی ریز جلبک انجام شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Part Per Million
- 2- Heavy Metals
- 3- Ion Exchange
- 4- Salt Precipitation
- 5- Bio sorption
- 6- Micro algae
- 7- Batch System
- 8- Continuous System
- 9- Chlorella
- 10- Scenedesmus obliquus
- 11- Optical Density
- 12- Langmuir

مختلف ریز جلبک‌ها، دماهای رشد متفاوتی دارند. Malakootian et al. (2011) در جذب کادمیوم به وسیله‌ی جلبک سبز *Ulothrix Zonata* دمای بهینه را ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. در پژوهشی دیگر بر روی جلبک سبز *Caulerpa lentillifera* بهترین دمای جذب یون فلزی سنگین ۲۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Apiratikul and Pavasant, 2008).

در ادامه تحت شرایط ثابت و درجه حرارت بهینه به‌دست آمده از مرحله اول آزمایش و $pH = 7 \pm 0.1$ ، در حضور غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ppm فلز نیکل در طول زمان ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز میزان جذب و رشد جلبک، مورد بررسی قرار گرفت و نمونه‌ای هم به‌عنوان شاهد در طول آزمایش در نظر گرفته شد. نهایتاً مشخص شد که به‌طور کلی ریزجلبک سندسموس آلبیکوس در حضور غلظت‌های پایین‌تر از ۲۰ ppm نیکل، رشد خوبی داشته و جذب آلاینده‌ی بالایی را دارد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که سندسموس کوادریا نیز جذب نیکل نسبتاً خوبی دارد (Awasthi and Rai, 2004). مطالعات و مشاهداتی نیز در گذشته بر روی جذب فلزات سنگین مس و کادمیوم توسط جلبک‌ها انجام شده و در این زمینه نتایج حذف خوبی توسط جلبک‌ها، گزارش شده‌است (Terry and Stone, 2002; Yan and Pan, 2002). Chong et al. (2000) با بررسی میزان جذب نیکل توسط سندسموس، میزان حذف این فلز را در حد ۹۷ درصد گزارش کرده‌اند.

Monteiro et al. (2009) در مطالعات خود از ریزجلبک زنده سندسموس آلبیکوس برای حذف کاتیون‌های کادمیوم در محلول‌های آبی استفاده کرده و بیشترین ظرفیت جذب را ۱۱/۴ میلی‌گرم کادمیوم بر گرم ریزجلبک در غلظت ۱ میلی‌گرم کادمیوم در لیتر، به‌دست آوردند.

گزارش شده‌است که حذف فلزات سنگین توسط ریزجلبک‌ها شامل ۲ مرحله است (Aksu et al., 1992; Roy et al., 1993). مرحله اول جذب زیستی است که بسیار سریع و به‌صورت فیزیکی یا شیمیایی اتفاق می‌افتد. این جذب زیستی می‌تواند هم در سلول‌های مرده و هم در سلول‌های زنده رخ دهد (Khummongkol et al., 1982). مرحله دوم شامل جذب شیمیایی است که فرآیندی آهسته بوده و در طول رشد جلبک و تنها در سلول‌های زنده رخ می‌دهد (Wilde and Benemann, 1999). از طرفی برخی پژوهش‌ها عنوان می‌کنند که مقدار فلز جذب شده به‌ازای واحد جرم توده زنده زمانی افزایش می‌یابد که غلظت اولیه یون‌های فلزی در محلول زیاد شود که ممکن است در نتیجه اشباع مکان‌های فعال توده زنده باشد و منجر به حداکثر

- Engineering*, 39(1), 87-93.
- Fourest, E., and Volesky, B., (1997), "Alginate properties and heavy metal biosorption by marine algae", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 67(3), 215-226.
- Fu, F., and Wang, Q., (2011), "Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review", *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418.
- Gris, B., Morosinotto, T., Giacometti, G.M., Bertucco, A., and Sforza, E., (2014), "Cultivation of *Scenedesmus obliquus* in photobioreactors: effects of light intensities and light-dark cycles on growth, productivity, and biochemical composition", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(5), 2377-2389.
- Guibal, E., Roulph, C., and Le Cloirec, P., (1992), "Uranium biosorption by a filamentous fungus *Mucor miehei* pH effect on mechanisms and performances of uptake", *Water Research*, 26(8), 1139-1145.
- Gupta, V., and Rastogi, A., (2008), "Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: kinetics and equilibrium studies", *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 407-414.
- Hodaifa, G., Martínez, M.E., and Sánchez, S., (2010), "Influence of temperature on growth of *Scenedesmus obliquus* in diluted olive mill wastewater as culture medium", *Engineering in Life Sciences*, 10(3), 257-264.
- Incharoensakdi, A., and Kitjahn, P., (2002), "Zinc biosorption from aqueous solution by a halotolerant cyanobacterium *Aphanothece halophytica*", *Current Microbiology*, 45(4), 261-264.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., and Beeregowda, K.N., (2014), "Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals", *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72.
- Järup, L., (2003), "Hazards of heavy metal contamination", *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- Khummongkol, D., Canterford, G., and Fryer, C., (1982), "Accumulation of heavy metals in unicellular algae", *Biotechnology and Bioengineering*, 24(12), 2643-2660.
- Kumar, S., and Trivedi, A., (2016), "A review on role of nickel in the biological system", *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(3), 719-727.
- Langmuir, I., (1918), "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum", *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361-1403.
- Malakootian, M., Toolabi, A., Moussavi, S.G., and Ahmadian, M., (2011), "Equilibrium and kinetic modeling of heavy metals biosorption from three different real industrial wastewaters onto *Ulothrix Zonata* algae", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 1030-1037.
- Monteiro, C.M., Castro, P.M., and Malcata, F.X., (2009), "Use of the microalga *Scenedesmus obliquus* to remove cadmium cations from aqueous solutions", *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(9), 1573-1578.
- Monteiro, C.M., Castro, P.M., and Malcata, F.X., (2011), Ahluwalia, S.S., and Goyal, D., (2007), "Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater", *Bioresource Technology*, 98(12), 2243-2257.
- Aksu, Z., Sag, Y., and Kutsal, T., (1992), "The biosorption of copper by *C. vulgaris* and *Z. ramigera*", *Environmental Technology*, 13(6), 579-586.
- Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J., Amezcaga, I., Albizu, I., and Garbisu, C., (2004), "Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic", *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 3(1), 71-90.
- Apiratikul, R., and Pavasant, P., (2008), "Batch and column studies of biosorption of heavy metals by *Caulerpa lentillifera*", *Bioresource Technology*, 99(8), 2766-2777.
- Awasthi, M., and Rai, L., (2004), "Adsorption of nickel, zinc and cadmium by immobilized green algae and cyanobacteria: a comparative study", *Annals of Microbiology*, 54, 257-268.
- Baldrian, P., (2003), "Interactions of heavy metals with white-rot fungi", *Enzyme and Microbial Technology*, 32(1), 78-91.
- Bayramoğlu, G., and Arica, M.Y., (2008), "Adsorption of Cr (VI) onto PEI immobilized acrylate-based magnetic beads: isotherms, kinetics and thermodynamics study", *Chemical Engineering Journal*, 139(1), 20-28.
- Blewett, T.A., and Leonard, E.M., (2017), "Mechanisms of nickel toxicity to fish and invertebrates in marine and estuarine waters", *Environmental Pollution*, 223, 311-322.
- Brinza, L., Dring, M.J., and Gavrilescu, M., (2007), "Marine micro and macro algal species as biosorbents for heavy metals", *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*, 6(3), 237-251.
- Brzóska, M., and Moniuszko-Jakoniuk, J., (2001), "Interactions between cadmium and zinc in the organism", *Food and Chemical Toxicology*, 39(10), 967-980.
- Çelekli, A., Balci, M., and Bozkurt, H., (2008), "Modelling of *Scenedesmus obliquus*; function of nutrients with modified Gompertz model", *Bioresource Technology*, 99(18), 8742-8747.
- Çeribasi, I.H., and Yetis, U., (2001), "Biosorption of Ni (II) and Pb (II) by *Phanerochaete chrysosporium* from a binary metal system-kinetics", *Water SA*, 27(1), 15-20.
- Chong, A., Wong, Y., and Tam, N., (2000), "Performance of different microalgal species in removing nickel and zinc from industrial wastewater", *Chemosphere*, 41(1-2), 251-257.
- Edris, G., Alhamed, Y., and Alzahrani, A., (2014), "Biosorption of cadmium and lead from aqueous solutions by *Chlorella vulgaris* biomass: Equilibrium and kinetic study", *Arabian Journal for Science and*

- "Biosorption of zinc ions from aqueous solution by the microalga *Scenedesmus obliquus*", *Environmental Chemistry Letters*, 9(2), 169-176.
- Monteiro, C.M., Castro, P.M., and Malcata, F.X., (2012), "Metal uptake by microalgae: underlying mechanisms and practical applications", *Biotechnology Progress*, 28(2), 299-311.
- Pena-Castro, J., Martinez-Jerónimo, F., Esparza-Garcia, F., and Canizares-Villanueva, R., (2004), "Heavy metals removal by the microalga *Scenedesmus incrassatulus* in continuous cultures", *Bioresource Technology*, 94(2), 219-222.
- Perales-Vela, H.V., Pena-Castro, J.M., and Canizares-Villanueva, R.O., (2006), "Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae", *Chemosphere*, 64(1), 1-10.
- Radway, J.C., Wilde, E.W., Whitaker, M.J., and Weissman, J.C., (2001), "Screening of algal strains for metal removal capabilities", *Journal of Applied Phycology*, 13(5), 451-455.
- Roy, D., Greenlaw, P.N., and Shane, B.S., (1993), "Adsorption of heavy metals by green algae and ground rice hulls", *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 28(1), 37-50.
- Selatnia, A., Madani, A., Bakhti, M., Kertous, L., Mansouri, Y., and Yous, R., (2004), "Biosorption of Ni^{2+} from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass", *Minerals Engineering*, 17(7-8), 903-911.
- Terry, P.A., and Stone, W., (2002), "Biosorption of cadmium and copper contaminated water by *Scenedesmus abundans*", *Chemosphere*, 47(3), 249-255.
- Wang, J., and Chen, C., (2006), "Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review", *Biotechnology Advances*, 24(5), 427-451.
- Wilde, E.W., and Benemann, J.R., (1993), "Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae", *Biotechnology Advances*, 11(4), 781-812.
- Yan, H., and Pan, G., (2002), "Toxicity and bioaccumulation of copper in three green microalgal species", *Chemosphere*, 49(5), 471-476.
- Zdrojewicz, Z., Popowicz, E., and Winiarski, J., (2016), "Nickel-role in human organism and toxic effects", *Polski Merkuriusz Lekarski: Organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*, 41(242), 115-118.
- Zhou, W., Chen, P., Min, M., Ma, X., Wang, J., Griffith, R., Hussain, F., Peng, P., Xie, Q., and Li, Y., (2014), "Environment-enhancing algal biofuel production using wastewaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 256-269.



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

The Effect of Municipal Wastewater and Modern Irrigation Methods on the Properties of Saffron

Yahya Choopan^{1*}, Abotaleb HezarJaribi², Khalil Ghorbani², Mousa Hesam² and Abbas Khashei Siuki³

1- PhD student in Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.

* Corresponding Author, Email: Yahyachoopan68@gmail.com

Received: 16/05/2020

Revised: 10/10/2020

Accepted: 10/10/2020

© IWWA

Abstract

Saffron is a plant with high nutritional and commercial value, which has a good economic value when presented in high quality. This study was conducted in a randomized complete block design with two factors; type of irrigation water source (well water W1 and treated wastewater of municipal wastewater W2) and type of irrigation system (surface S1 and subsurface S2) with three replications. According to the results of chemical analysis of unconventional irrigation water source, treated wastewater in Torbat-e-Heydariyeh treatment plant met the standards of irrigation water for crops. The results of the mean squares in testing the irrigation system type and contrast of two factors showed that all quantitative traits of saffron were insignificant except two traits of dry weight of cream and stigma dry weight which were significant at the level of 1% probability. Also the results of the mean squares of saffron quality traits in the factor of type of irrigation source and the contrast of two factors showed that all quality traits, except moisture and total coliform which became significant at the level of 1% probability, became insignificant. Based on the results, the highest yield was obtained for quantitative traits of flower number, stigma dry weight and cream dry weight for W1S1 treatment and wastewater treatment. Treatments did not show significant differences. Also, for the quality traits of pyroxene, crocin, safranin and total coliform in W2S2 treatment, it was the highest value and wastewater treatments did not have a negative effect on product quality.

Keywords: Sewage effluent, subsurface, well water, saffron plant.

تأثیر پساب فاضلاب شهری و روش‌های نوین آبیاری بر خواص زعفران

یحیی چوپان^{۱*}، ابوطالب هزار جریبی^۲، خلیل قربانی^۲، موسی حسام^۲ و عباس خاشعی سیوکی^۳

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

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

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: Yahyachoopan68@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

زعفران گیاهی با ارزش غذایی و تجاری بالا است که در صورت کیفیت بالا ارزش ریالی خوبی به همراه دارد. بدین منظور تحقیقی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور نوع منبع آبیاری (آب چاه W1 و پساب تصفیه شده فاضلاب شهری W2) و نوع سیستم آبیاری (سطحی S1 و زیر سطحی S2) با سه تکرار انجام شد. براساس نتایج آنالیز شیمیایی، پساب فاضلاب تصفیه شده در تصفیه‌خانه تربت حیدریه در حد استاندارد آبیاری محصولات است. نتایج میانگین مربعات نشان دادند، صفات کمی زعفران در فاکتور نوع منبع آبیاری و اثر متقابل دو فاکتور نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری، همه صفات غیر معنی‌دار شدند. نتایج میانگین مربعات صفات کیفی زعفران در فاکتور نوع منبع آبیاری و اثر متقابل دو فاکتور، جز در صفات رطوبت و کلیفرم کل، که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده‌اند، بقیه صفات غیر معنی‌دار شدند. براساس نتایج بهترین عملکرد برای صفات تعداد گل، وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه برای تیمار W1S1 به‌دست آمد و تیمارهای پساب فاضلاب نیز تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. همچنین برای صفات کیفی پیروکسین، کروسین، سافرانال و کلیفرم کل، بیشترین مقدار در تیمار W2S2 مشاهده شد و تیمارهای پساب فاضلاب اثر مخربی بر کیفیت محصول نداشتند.

واژه‌های کلیدی: پساب فاضلاب، زیر سطحی، آب چاه، گیاه زعفران.

از نظر غذایی، پساب حاوی سه عنصر ضروری پتاسیم، فسفر و نیتروژن است و علاوه بر آن عناصر ریزمغذی لازم برای رشد گیاهان نیز اغلب در پساب وجود دارد. وجود این عناصر از مزایا و فاکتورهای استفاده از پساب در کشاورزی تلقی می‌شود و صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف کودهای شیمیایی در مقابل استفاده از پساب صورت می‌پذیرد. مقدار نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب غالباً نیاز گیاهان به این عناصر را طی دوره رشد برآورده می‌نماید. اما در بعضی مواقع نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب بیش‌تر از حد مورد نیاز گیاهان است و بنابراین باعث رشد بیش از حد، تأخیر در زمان رسیدن و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Asano and Levine, 1996; Al-Salem, 1998; Papadopoulos and Stylianon, 1991).

تاکنون مطالعات بسیاری در خصوص کاربرد پساب در کاشت محصولات کشاورزی انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های رجبی سرخانی و قائمی (۱۳۹۱) و شفق کلوانق و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. انبیر و نوری (۱۳۹۷) کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان را برای کاربرد در اراضی کشاورزی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که کیفیت پساب خروجی از نظر تمامی پارامترها در مقایسه با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست هم‌خوانی داشته و این پساب قابلیت استفاده در آبیاری کشاورزی را دارد. مهرآوران و همکاران (۱۳۹۴) استفاده از پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه پرکن‌آباد مشهد در آبیاری را با توجه به جنبه محیط‌زیستی آن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این پساب برای کشاورزی مناسب است.

Aiello et al. (2007) تأثیر به‌کارگیری پساب تصفیه‌شده را بر روی خصوصیات خاک با استفاده از آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از پساب موجب افزایش میزان آلودگی میکروبی سطح خاک، کاهش تخلخل و هدایت هیدرولیکی می‌شود. محققین اظهار داشتند آبیاری حدود ۱۴ تا ۲۱ روز قبل از گل‌دهی در ظهور گل‌ها قبل از برگ بسیار موثر است. ولی اگر مزرعه زودتر آبیاری شود ابتدا برگ‌ها ظاهر می‌شوند که عمل برداشت را مشکل می‌سازد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

در مطالعه‌ای دیگر توسط محمدپور و همکاران (۱۳۹۲) مشخص شد در مقایسه با دوره‌های آبیاری ۱۴ و ۲۱ روز، بالاترین تعداد بنه‌های کمتر از ۸ گرم، در دور آبیاری ۷ روز و کود نیتروژن مشاهده شد. بالاترین عملکرد با میانگین ۸/۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به اثر متقابل ورمی‌کمپوست و دور آبیاری ۱۴ روز بود.

زعفران از جمله محصولات مهم کشاورزی قدیمی در خراسان رضوی و جنوبی است. این محصول با کیفیت، دارای بازار اقتصادی مطلوبی در منطقه است. به‌دلیل کمبود آب و فراوانی کشت محصول زعفران در منطقه، کشاورزان به استفاده از منابع آبی نامتعارف از جمله پساب فاضلاب شهری برای آبیاری این محصول روی آورده‌اند که احتمال می‌رود مشکلات کیفی برای زعفران و خاک ایجاد کند. در این بخش مطالعات انجام شده در رابطه با واکنش محصولات به پساب فاضلاب بررسی می‌شود. بررسی تحقیقات صورت گرفته، نشان‌گر آن است که عواملی از جمله خرده‌مالکی، کم‌آبی، وجود نیروی کار در خانواده‌ها و دانش بومی باعث شده تا زعفران جایگاه خوبی در کشور پیدا کند (کافی و همکاران، ۱۳۸۱). در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، خشکی و مدیریت آب، به‌عنوان نگرشی جدید و مهم در توسعه کشاورزی به‌شمار می‌روند (آقائی و احسان زاده، ۱۳۹۰). استفاده از کشاورزی پایدار با حفظ منابع آبی و توسعه کشت‌های کم‌آب و با ارزش اقتصادی مناسب می‌تواند چشم‌اندازی بر بحران آب باشد. بنابراین، می‌توان گیاه زعفران را که از خانواده زنبقیان است (Gresta et al., 2009) به‌عنوان یک گیاه مناسب در سیستم‌های کشاورزی با بهره‌وری کم به‌شمار آورد (Temperini et al., 2009). کیفیت خوب پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب و مقایسه آن با استانداردهای آبیاری برای کشاورزی، میل استفاده از پساب فاضلاب را در آبیاری گیاهان مورد توجه قرار داده است. استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی باعث کاهش استفاده از آب-هایی می‌شود که علاوه بر کشاورزی می‌تواند به مصارف دیگر نظیر شرب برسد (Gamito et al., 1999).

پساب‌های خانگی از ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد ناخالصی که عمدتاً مواد جامد معلق، کلوئیدی و معلق هستند، تشکیل شده است. گازها و میکروارگانیسم‌ها و سایر موارد نیز بخش بسیار اندکی از پساب‌ها را تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، پایین بودن هزینه استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری، کاهش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش هزینه مصرف کودهای شیمیایی از دیگر مزایای استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی هستند (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹). در حقیقت فاضلاب در زمره آب‌های شیرین ولی آلوده محسوب می‌شود. استفاده مجدد از فاضلاب‌های تصفیه شده و کاربرد آن‌ها برای آبیاری در کشاورزی بسیار آسان‌تر و کم هزینه‌تر از شیرین کردن آب شور دریاها است (عابدی و نجفی، ۱۳۸۰).

Yarami and Sepaskhah (2015) نشان دادند عملکرد زعفران در روش آبیاری نشتی نسبت به کرتی، $\frac{3}{5}$ برابر افزایش می‌یابد. در صورتی که Azizi-Zohana et al. (2009) گزارش کردند که در آبیاری کرتی میانگین عملکرد $\frac{10}{8}$ کیلوگرم در هکتار و در آبیاری نشتی $\frac{6}{5}$ کیلوگرم در هکتار است.

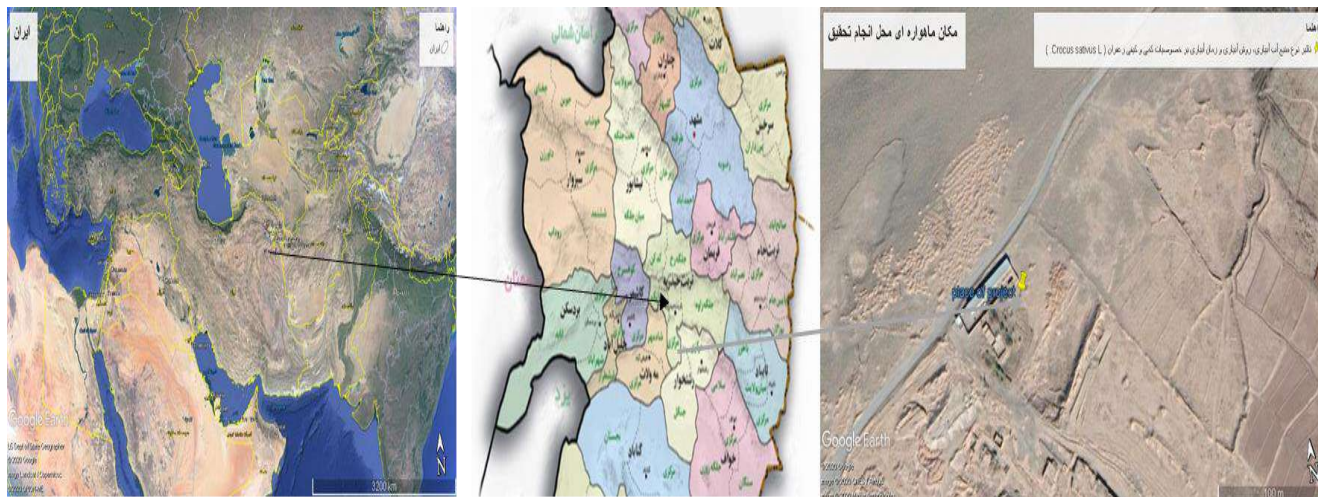
با بررسی مطالعات انجام شده مشخص شد که تاکنون تحقیقی در استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری بر محصول زعفران انجام نشده است و سیستم نوین آبیاری نیز به‌ندرت استفاده شده است. لذا ضرورت تحقیقات بیش‌تری در زمینه نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری زعفران در منطقه تربت حیدریه احساس می‌شود. در همین راستا، با توجه به اهمیت بهبود مدیریت زراعی این محصول، هدف از این تحقیق، بررسی نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری بر عملکرد زعفران است.

۲- مواد و روش‌ها

شهرستان تربت حیدریه در مدار 59° درجه و $12'$ دقیقه طول شرقی و 34° درجه و $17'$ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع 1333 متر از سطح دریا قرار دارد. وضعیت اقلیمی این ایستگاه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم خشک سرد و براساس طبقه‌بندی دکتر کریمی دارای اقلیم نیمه خشک است (اداره کل هواشناسی خراسان رضوی). براساس داده‌های هواشناسی آمار ۲۰ ساله

ایستگاه هواشناسی شهرستان تربت حیدریه، متوسط درجه حرارت روزانه در ایستگاه تربت حیدریه $14/2^\circ$ درجه سانتیگراد، حداقل و حداکثر دما به‌ترتیب برابر $24/6-$ و $40/4^\circ$ درجه سانتیگراد، متوسط رطوبت نسبی 45% ، متوسط بارش سالانه 253 میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه $1143/13$ میلی‌متر است (اداره کل هواشناسی خراسان رضوی). متوسط بارش سالیانه 260 میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن 21° درجه است. در شکل ۱ مکان ماهواره‌ای محل انجام تحقیق ارائه شده است.

تحقیق حاضر در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور نوع منبع آبیاری (آب چاه W1 و پساب تصفیه شده فاضلاب شهری W2) و نوع سیستم آبیاری (سطحی S1 و زیرسطحی S2) با سه تکرار انجام شد. پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری با تانکر از تصفیه‌خانه شهرستان تربت حیدریه برداشت و به محل تحقیق حمل شد. مقدار بنه مصرفی برای کاشت، بنه‌های ۸ تا ۱۲ گرم و برای کرت‌های ۴ مترمربعی مقدار $\frac{3}{6}$ کیلوگرم بود که در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک کاشته شد. آبیاری سطحی و زیرسطحی به‌وسیله لوله تا ابتدای هر کرت انتقال یافت و میزان آن به‌وسیله کنتور با دقت لیتر اندازه‌گیری شد. آنالیز شیمیایی آب آبیاری، پساب فاضلاب شهری و استاندارد آبیاری و آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب در جداول ۱ تا ۳ آمده است.



شکل ۱- مکان ماهواره‌ای انجام تحقیق

اندازه‌گیری شد. نسبت جذب سدیم توسط روش استات سدیم به‌دست آمد. برای تعیین کلسیم و منیزیم از روش تتراسیون با (اتیلن دی آمین تترا استات) با غلظت $0/02$ مولار و سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر با محلول‌های استاندارد مورد استفاده قرار گرفتند. برای محاسبه میزان کلر، از روش تتراسیون

برای به‌دست آوردن کاتیون‌ها (کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم) و آنیون‌های (کربنات، بیکربنات، کلر، سولفات، شوری و اسیدیت) پساب از روش و دستگاه‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. شوری با استفاده از دستگاه EC متر مدل ۱۱۰ در دمای 22° درجه سانتیگراد و اسیدیت به‌وسیله دستگاه pH متر مدل ۲۱۲

رطوبت، کپک و کلیفرم کل) زعفران نیز توسط آزمایشگاه کنترل کیفی انجام شد که روش های آزمایش و حدود قابل قبول آنالیز کیفی در جدول ۴ آمده است. به منظور تعیین صفات کمی و کیفی، برداشت از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه ای انجام شد. پس از جمع آوری نمونه های گیاهی، نمونه ها در دمای اطاق و به دور از نور خشک شدند. متابولیت های ثانویه اصلی کروسین (عامل رنگ، پیکروکروسین (عامل طعم) و سافرانال (عامل عطر) به روش اسپکتروفتومتری طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۵۹-۲ اندازه گیری شدند (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲). تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 و ترسیم نمودارها به وسیله نرم افزار EXCEL انجام شد. هم چنین مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

با اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال در حضور معرف فنل فتالین، سولفات از روش توربیدومتری و برای محاسبه کربنات و بی کربنات از روش تتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال در حضور معرف متیل اورانژ استفاده شدند.

سنجش کدورت با استفاده از روش نفلومتری یا تفریق سنجی با استفاده از دستگاه کدورت سنج مدل AQUA LYTIC با دامنه کاربرد ۰ تا ۱۰۰۰ صورت گرفت. اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) نمونه ها به ترتیب با استفاده از دستگاه های COD مدل AQUA LYTIC و دستگاه BOD متر دیجیتال مدل AQUA LYTIC انجام گرفت (Torkian, 1991؛ چوپان و همکاران، ۱۳۹۷). صفات کمی (تعداد گل، وزن تازه گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه و شاخص درشتی گل) زعفران روزانه از یک مترمربع وسط هر کرت برداشت شد. صفات کیفی (پیروکسین، کروسین، سافرانال،

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب آبیاری

هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم (SAR)	کلسیم	منیزیم	سدیم	کربنات	بی کربنات	کلر	سولفات
dS.m^{-1}	-	-							
۲/۵	۶/۸	۱۳/۴	۱/۲	۲/۸	۱۸/۴	-	۳/۴	۱۰/۵	۱۰/۸

جدول ۲- آنالیز شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب تصفیه شده شهری

آزمایش	واحد اندازه گیری	نتایج آزمایش	استاندارد آبیاری
اسیدیته	-	۷/۴	۷-۹
کل جامدات محلول	(mg.Kg^{-1})	۱۰۴۴	۱۵۰۰-۳۰۰۰
املاح معلق	(mg.Kg^{-1})	۹۲	۱۰۰
چربی	(mg.Kg^{-1})	۵۶	۱۰
کدورت	NTU	۶/۵	۵۰
اکسیژن محلول	(mg.Kg^{-1})	۹/۶	۲
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	(mg.Kg^{-1})	۵۵	۱۰۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	(mg.Kg^{-1})	۱۲۰	۲۰۰
کلیفرم	$\text{N } (100\text{mg}^{-1})$	۲۰۰	۴۰۰
کلسیم	(mg.Kg^{-1})	۵۲/۸	۲۵۰
منیزیم	(mg.Kg^{-1})	۳۵/۵	۱۰۰
سولفات	(mg.Kg^{-1})	۸۴/۹	۵۰۰
کلر	(mg.Kg^{-1})	۶۰۸	۶۰۰
نیترات	(mg.Kg^{-1})	۳/۱	۰/۵
فسفات	(mg.Kg^{-1})	۱/۵	-
سرب	(mg.Kg^{-1})	۰/۰۴	۵
مس	(mg.Kg^{-1})	۰/۰۱	۰/۲
فیکال کلیفرم	$\text{MPN } (100\text{mg}^{-1})$	۳۲۰۰	۱۰۰۰
نماتد روده ای	$\text{N } (100\text{mg}^{-1})$	۰	۱
هدایت الکتریکی	(dS.m^{-1})	۵/۸	۰/۷
نسبت جذبی سدیم	-	۷/۴	۳

جدول ۳- آنالیز شیمیایی خاک مزرعه (۴۰-۰ سانتی‌متری)

نوع آزمایش	واحد اندازه گیری	نتایج آزمایش
پتاسیم	(mg.Kg ⁻¹)	۱۳۰
فسفر	(mg.Kg ⁻¹)	۳/۵
هدایت الکتریکی	(dS.m-1)	۳/۸
اسیدیته		۷/۲
آهک	(%)	۱۶/۴
مواد آلی	(%)	۱/۲
شن	(%)	۳۸
رس	(%)	۲۲
سیلت	(%)	۴۰
درصد اشباع	(%)	۳۹

جدول ۴- صفات کیفی، روش‌های آزمایش و حدود قابل قبول آنالیز کیفی زعفران

صفات کیفی	حداکثر رطوبت (درصد جرمی)	حداقل پیروکسین (حداکثر محلول جذبی ۱ درصد در طول موج ۲۵۷ نانومتر)	سافرانال (حداکثر محلول جذبی ۱ درصد در طول موج ۳۳۰ نانومتر)	حداقل کروسین (حداکثر محلول جذبی ۱ درصد در طول موج ۴۴۰ نانومتر)	میکرو ارگانیزم کل (تعداد در گرم)	اشریشیا کلی (تعداد در گرم)	کپک (تعداد در گرم)
حد قابل قبول	۱۲-۱۰	۸۰-۷۰	۵۰-۲۰	۲۰۰-۱۴۰	۳۰۰۰۰۰	منفی	۱۰۰۰
روش آزمایش (استاندارد ملی)	۲-۲۵۹	۲-۲۵۹	۲-۲۵۹	۲-۲۵۹	۵۲۷۲	۲۹۴۶	۳-۱۰۸۹۹

۳- نتایج و بحث

شدند. نتایج میانگین مربعات صفات کیفی (پیروکسین، کروسین، سافرانال، رطوبت، کپک و کلیفرم کل) زعفران در فاکتور نوع سیستم آبیاری همه صفات جز صفت رطوبت که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است، بقیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. در فاکتور نوع منبع آبیاری و تقابل دو فاکتور، همه صفات کیفی جز رطوبت و کلیفرم کل که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، بقیه صفات غیر معنی‌دار شدند.

نتایج میانگین مربعات نشان دادند، صفات کمی (تعدادگل، وزن تازه گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه و شاخص درشتی گل) زعفران در فاکتور نوع سیستم آبیاری همه صفات جز صفات وزن خشک خامه و وزن خشک کلاله که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند بقیه صفات غیر معنی‌دار بودند. در فاکتور نوع منبع آبیاری و تقابل دو فاکتور همه صفات کمی غیر معنی‌دار

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات کمی زعفران در اثر نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل	وزن گل تازه	وزن خشک کلاله	وزن خشک خامه	شاخص درشتی گل
تکرار	۲	۴۸۸	۴۱/۶	۰/۰۰۴	۶/۱E-۰۰۶	۰/۰۰۰۱۶
نوع سیستم آبیاری	۱	۰/۰۴۹ ns	۳ ns	۰/۵ **	۹/۵E-۰۰۵ **	۱/۷E-۰۰۶ ns
نوع منبع آبیاری	۱	۰/۷۹ ns	۴/۴ ns	۰/۰۰۲ ns	۱/۹E-۰۰۷ ns	۲/۷E-۰۰۵ ns
نوع سیستم آبیاری × نوع منبع آبیاری	۱	۹۵ ns	۴/۷ ns	۰/۰۰۳ ns	۱/۹E-۰۰۷ ns	۱/۴E-۰۰۵ ns
خطا	۴	۱۵۶۴۲	۱۳۳۲	۰/۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (CV)	-	۴۴/۵	۴۴/۲	۸	۱۶	۶۳

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات کیفی زعفران در اثرونوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	رطوبت	پیکروسین	سافرانال	کروسین	کلیفرم کل	کپک
تکرار	۲	۰/۰۲۶	۳/۳	۱/۴۷	۵/۶	۷/۲E+۹	۰/۰۱۲
نوع سیستم آبیاری	۱	۰/۱۳ *	۶۱/۳۶ **	۵۳/۷ **	۵۸/۷ **	۱/۳E+۱۱ **	۰/۶ **
نوع منبع آبیاری	۱	۱/۶۴ **	۱/۰۸ ns	۴ ns	۴ ns	۳/۴E+۱۳ **	۰/۰۰۷ ns
نوع سیستم آبیاری × نوع منبع آبیاری	۱	۰/۲۵ **	۰/۲۱ ns	۴ ns	۷/۱ ns	۱/۳E+۱۱ **	۰/۰۰۲۵ ns
خطا	۴	۰/۸۵	۶۶/۷	۴۷	۱۹۰	۲/۳۲E+۱۱	۱/۰۲
ضریب تغییرات (CV)	-	۲/۲	۱/۶	۳/۸	۱	۸/۵	۳/۹

ns و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

۳-۱- صفات کمی

بررسی مقایسه میانگین در صفات کمی، نتایج نشان دادند که تمامی صفات در یک گروه آماری بین تیمارهای تحقیق قرار گرفته و از لحاظ آماری اختلاف معنی دار با یکدیگر نداشتند (جدول ۷).

از مهم ترین صفات مورد بررسی در این تحقیق، عملکرد کمی زعفران تعداد گل، وزن گل تازه، وزن خشک کلاله، شاخص درشتی گل خشک شده و صفت وزن خشک خامه هستند. در

جدول ۷- مقایسه میانگین مربعات صفات کمی در تیمارهای تحقیق

تیمارهای تحقیق	تعداد گل (عدد در مترمربع)	وزن گل تازه (گرم در مترمربع)	وزن خشک کلاله (گرم در مترمربع)	وزن خشک خامه (گرم در مترمربع)	شاخص درشتی گل (گرم در مترمربع)
W1S1	۵۱/۴ a	۱۵/۹ a	۰/۷۹ a	۰/۱۷ a	۰/۰۱۹ a
W1S2	۴۸/۲ a	۱۴ a	۰/۷ a	۰/۰۱۴ a	۰/۰۲ a
W2S1	۴۸/۹ a	۱۳/۹ a	۰/۷۸ a	۰/۰۱۷ a	۰/۰۲۲ a
W2S2	۵۱/۲ a	۱۴/۶ a	۰/۷۲ a	۰/۰۱۴ a	۰/۰۲ a

۳-۱-۱- تعداد گل

بیشترین و کمترین مقدار برای صفت تعداد گل به ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W2S1 با مقادیر ۵۱/۴ و ۴۷/۹ عدد گل در یک مترمربع بود. برای صفت تعداد گل آب چاه و برای روش آبیاری، هر دو روش مناسب و دارای عملکرد یکسان بودند (جدول ۷). براساس نتایج، درصد تفاوت عملکرد در تیمارها بسیار کم و در حدود ۲ درصد بود.

۳-۱-۳- وزن خشک کلاله

اقتصادی ترین قسمت یک گل زعفران کلاله است. بیشترین و کمترین مقدار برای صفت وزن خشک کلاله به ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W1S2 با مقادیر ۰/۷۹ و ۰/۷۰ گرم در یک مترمربع بود. برای صفت وزن خشک کلاله پساب فاضلاب شهری و آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان دادند. نتایج نشان داد درصد کاهش در تیمار حداکثر با تیمار حداقل ۱۳٪ است.

۳-۱-۲- وزن گل تازه

بیشترین و کمترین مقدار برای صفت وزن تازه گل به ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W2S1 با مقادیر ۱۵/۹ و ۱۳/۹ گرم در یک متر مربع بود. برای صفت وزن تازه گل آب چاه و آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان دادند. دلیل این که عملکرد آب چاه بیشتر از پساب فاضلاب شهری در صفات کمی شده است می تواند به این دلیل باشد که کودهای مورد نیاز رشد در روزهای قبل به گیاه داده شده و پساب فاضلاب شهری در نقش کود و مغذی برای رشد گیاه عکس العملی را به همراه نداشته است.

۳-۱-۴- وزن خشک خامه

بعد از کلاله، خامه زعفران مهم ترین قسمت خوراکی آن است. بیشترین و کمترین مقدار برای صفت وزن خشک خامه به ترتیب تیمارهای W1S1 و W1S2 با مقادیر ۰/۰۱۷ و ۰/۰۱۴ گرم در یک مترمربع بود. برای صفت وزن خشک خامه پساب فاضلاب شهری و آب چاه عملکرد برابر داشته و آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان داد. نتایج به دست آمده از تحقیق با نتایج (Azizi-Zohana et al. 2009) مطابقت دارد ولی با نتایج (Yarami and Sepaskhah 2015) و بهدانی (۱۳۸۴) در زمینه استفاده از روش سطحی همخوانی نداشته است.

۳-۱-۵- شاخص درشتی گل خشک

این صفت از مجموع وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه تقسیم بر تعداد گل به دست می‌آید و نشان‌دهنده درشتی و اقتصادی بودن گل است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت شاخص درشتی گل خشک به ترتیب برای تیمارهای W2S1 و W1S1 با مقادیر ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۹ به دست آمد. برای صفت شاخص درشتی گل خشک پساب فاضلاب شهری و آبیاری سطحی بهترین عمل‌کرد را نشان دادند. در تفسیر این شاخص می‌توان به این نتیجه رسید که گیاه در صفات کمی از پساب فاضلاب استفاده کرده ولی این نتایج را در درشت بودن گل که یک شاخص موثر در بازار پسندی محصول است می‌توان مشاهده نمود.

۳-۲- صفات کیفی

از مهم‌ترین آزمون‌های کیفی زعفران که برای ارزیابی کروسین، سافرانال و پیروکسین انجام می‌شود و برای ارزیابی میزان بار میکروبی از آزمایش‌های کلیفرم کل، اشریشیا کل و

جدول ۸- مقایسه میانگین مربعات صفات کیفی در تیمارهای تحقیق

تیمارهای تحقیق	رطوبت (درصد جرمی)	پیروکسین (حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر)	سافرانال (حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر)	کروسین (حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر)	کلیفرم کل (تعداد در گرم)	کپک (تعداد در گرم)
W1S1	۷/۴ b	۸۹/۴ a	۲۹/۷ a	۲۵۹/۴ a	۱۱۵۶۷ a	۲۸۰ a
W1S2	۷/۷ c	۹۱/۴ ab	۳۲/۸ b	۲۶۱ a	۱۳۰۴۴ a	۳۰۰ b
W2S1	۷/۱ a	۸۹/۳ a	۳۱ ab	۲۵۹/۲ a	۱۸۴۴۴۴ b	۲۸۰ a
W2S2	۷/۱ a	۹۲/۶ b	۳۲/۸ b	۲۶۲/۷ a	۲۰۸۸۸۹ c	۳۰۰ b

۳-۲-۱- رطوبت

مقدار رطوبت موجود در زعفران خشک به صورت جرمی به دست می‌آید. در مقدار درصد جرمی رطوبت تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای درصد جرمی رطوبت به ترتیب برای تیمارهای W1S2 و W2S1 با مقادیر ۷/۷ و ۷/۱ درصد جرمی شد (جدول ۷).

۳-۲-۲- پیروکسین، سافرانال و کروسین

در مقدار پیروکسین تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت پیروکسین، حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر به ترتیب برای تیمارهای W2S1 و W2S2 با مقادیر ۸۹/۳ و ۹۲/۶

کپک استفاده می‌شود. در آنالیز کیفی تیمارهای تحقیق مشخص شد همه تیمارها دارای کیفیت قابل قبول هستند و امتیاز کیفی آب چاه از پساب فاضلاب شهری بالاتر قرار گرفت. زعفران به عنوان غنی‌ترین منبع ریبوفلاوین و ویتامین B2 شناخته شده است (سعیدی راد و مختاریان، ۱۳۸۹). استفاده گسترده از زعفران در صنایع آرایشی و به ویژه غذایی، به عنوان طعم‌دهنده طبیعی و رنگ خوراکی، سبب توسعه روزافزون کاربرد این گیاه در دنیا شده است (Gresta et al., 2008; Juana et al., 2009). هم‌چنین از زعفران به عنوان محرک در تقویت توانایی جسمی و جنسی نیز یاد شده است (دادخواه و همکاران، ۱۳۸۲؛ Keyhani et al., 2006). کلاله زعفران دارای رنگ، عطر و طعم خاصی است که هریک از این خصیصه‌ها مربوط به دسته‌ای از مواد شیمیایی آلی بوده و علاوه بر آن دارای مقادیری آب، مواد معدنی و ویتامین نیز هست (بهنیا، ۱۳۷۰). سه ترکیب هم‌خانواده با سه ویژگی زعفران مرتبط است: استرهای کروسین با رنگ، سافرانال با عطر و پیروکروسین با طعم (دانشور و همت زاده، ۱۳۹۰).

فاضلاب شهری بهترین عملکرد را نشان دادند.

در مقدار سافرانال تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای سافرانال، حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر به ترتیب برای تیمارهای W2S2 و W1S1 با مقادیر ۳۲/۸ و ۲۹/۷ شد. برای سافرانال آبیاری زیر سطحی و پساب شهری بهترین عملکرد را نشان دادند.

در مقدار کروسین تمامی تیمارهای تحقیق در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای کروسین، حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر به ترتیب برای تیمارهای W2S2 و W2S1 با مقادیر ۲۶۲/۷ و ۲۵۹/۲ شد. برای صفت کروسین آبیاری زیرسطحی و پساب فاضلاب شهری بهترین عملکرد را نشان دادند.

۳-۲-۳- کلیفرم کل، اشیشیا کل و کپک

در مقدار کلیفرم کل و کپک تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای کلیفرم کل و کپک به‌ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W2S2 با مقادیر ۲۰۸۸۸۹ و ۱۱۵۶۶ عدد در هر گرم کلیفرم کل و ۳۰۰ و ۲۸۰ عدد در گرم کپک بود. در بحث اشیشیا کلی در تمام تیمارهای تحقیق نتیجه منفی شد و تاثیر منفی در عملکرد کیفی محصول برای هیچکدام از تیمارها نداشت. دلیل بالا بودن مقدار کلیفرم آبیاری زیرسطحی در تیمارهای دارای پساب و آب چاه نسبت به تیمارهای سطحی می‌تواند قرار داشتن زمان بیشتر رطوبت و فعالیت کلیفرم‌ها در محیط خاک و انتقال به گیاه باشد. در مورد پساب فاضلاب شهری این امر باعث دوچندان شدن مشکل در بارمیکروبی محصول شده است ولی از لحاظ کیفی اثر مخربی بر محصول نداشته است. برای صفات تعداد کپک و کلیفرم کل آبیاری سطحی و آب چاه بهترین عملکرد را نشان دادند که با توجه به کلیفرم کل موجود در پساب تیمار، پساب فاضلاب از تیمار آب چاه دارای بار کلیفرم بیشتری بوده و با اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در تفاوت قرار گرفتند.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق ارزش کمی و کیفی زعفران در واکنش به پساب فاضلاب شهری تصفیه شده در اولویت بررسی گرفت. نتایج صفات کمی زعفران نشان دادند بهترین منبع آبیاری در منطقه مورد مطالعه آب چاه (در شرایط کم آبی و با توجه به نتایج مطلوب کمی و نداشتن اختلاف معنی‌دار آماری، به‌کاربردن پساب فاضلاب شهری به‌عنوان منبع آبیاری معنی ندارد) و طبق نتایج، بهترین نوع سیستم آبیاری، آبیاری سطحی در صفات کمی است. برای صفات کیفی پساب فاضلاب شهری تصفیه شده که به‌دلیل قرارگرفتن نتایج صفات کیفی مورد بررسی زعفران در رده استفاده مجاز برای آبیاری، معنی نداشته و در ویژگی‌های طعم، عطر و رنگ دارای اثر مثبت بوده است که می‌توان به‌عنوان پیشنهاد در منطقه مورد مطالعه نیز برای کشت محصول همراه با اقدامات بهداشتی لحاظ نمود. لازم‌به ذکر است، آبیاری زیرسطحی در صفات کیفی اثر مثبت داشته و برای سال‌های مختلف کشت و مناطق مختلف کشت می‌توان اجرا و پیشنهاد نمود.

۵- مراجع

آقائی، ا.ح. و احسان‌زاده، پ.، (۱۳۹۰)، "اثر رژیم آبیاری و نیتروژن بر عملکرد برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه دارویی کدوی تخم کاغذی"، *مجله علوم باغبانی ایران*، ۳(۴۳)، ۲۹۱-۲۹۹.

اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، razavimet.ir.
انبیر، ل. و نوری، ز.، (۱۳۹۷)، "بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان جهت کاربرد در اراضی کشاورزی و فضای سبز"، *نشریه مدیریت اراضی*، ۶(۱)، ۹۵-۱۰۲.

بهنیا، م.ر.، (۱۳۷۰)، *زراعت زعفران*، انتشارات دانشگاه تهران.
چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، و شهیدی، ع.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۲)، ۶۱-۶۸.

دادخواه، م.ر.، احتشام، م.، و فکرت، ح.، (۱۳۸۲)، *زعفران ایران*، گوه‌ری ناشناخته، انتشارات شهر آشوب، تهران.
دانشور، م.ح.، و همت زاده، ا.، (۱۳۹۰)، *ترکیبات شیمیایی زعفران: رنگ، طعم و عطر*، انتشارات دانشگاه شهید چمران.
رجبی سرخانی، م.، و قائمی، ع.آ.، (۱۳۹۱)، "پیامدهای استفاده

۳-۳- کارآیی مصرف آب

شاخص کارآیی مصرف آب آبیاری در تعریف به‌معنای مقدار محصول به حجم آب مصرفی است. کارآیی مصرف آب به مقدار محصول در قطعه مزرعه‌ای گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب آبیاری کاربردی در آن مزرعه به‌دست می‌آید و معمولاً به کیلوگرم بر مترمکعب ارائه می‌شود. در این تحقیق چون مقیاس اندازه‌گیری زعفران گرم است با واحد گرم در لیتر محاسبه شده است. منابع کاهش و دلایل پایین بودن کارآیی مصرف آب محصولات در مناطق مختلف قطعاً به عوامل و پارامترهای زیادی از جمله شرایط اقلیمی، کیفیت آب و خاک، نوع منبع آب و سیستم آبیاری، مسائل مدیریت و غیره بستگی داشته است. مقدار آب مصرفی در این تحقیق برای همه تیمارها یکسان بوده است. پس حداکثر عملکرد کل (مجموع وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه) کارآیی مصرف آب بالاتری را نشان می‌دهد که در این تحقیق تیمار W1S1 با مقدار ۰/۰۸۸ گرم بر لیتر است. در کارآیی مصرف آب تیمارهای آبیاری سطحی نسبت به آبیاری زیرسطحی از میزان کارآیی بالاتری برخوردار بودند و این می‌تواند به‌دلیل ناسازگاری زعفران با شرایط کم‌آبی یا آبیاری کم در زمان‌های متوالی در منطقه مورد مطالعه باشد.

- Journal of Water Science and Technology*, 33, 1-14.
- Al-Salem, S., (1998), "Environmental consideration for wastewater reuse in agriculture", *Journal of Water Science and Technology*, 33, 345-355.
- Azizi-Zohana, A.A., Kamgar-Haghighib, A.A., Sepaskhah, A.R., (2009), "Saffron (*Crocus sativus* L.) production as influenced by rainfall", *Irrigation Method and Intervals Archives of Agronomy and Soil Science*, 55(5), 547-555.
- Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., and Ruberto, G., (2009), "Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions", *Scientia Horticulturae*, 119, 320-324.
- Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L. and Ruberto, G., (2008), "Effect of mother corm dimension and sowing time on stigma yield, daughter corms and qualitative aspects of saffron (*Crocus sativus* L.) in a Mediterranean environment", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7), 1144-1150.
- Gamito, P., Arsenio, A., Faleiro, M.L., Brito, J.M. and Beltrao, J., (1999), "The influence of wastewater treatment of irrigation water quality", *International Workshop on, Improved Crop Quality by Nutrient Management*, pp. 267-270, Izmir, Turkey.
- Juana, J.A.D., Córcolesb, H.L., Munozb, R.M., and Picornella, M.R., (2009), "Yield and yield components of saffron under different cropping systems", *Industrial Crop Production*, 30(2), 212-219.
- Keyhani, E., Ghamsari, L., Keyhani, J., Hadizadeh, M., (2006), "Antioxidant enzymes during hypoxia-anoxia signaling events in *Crocus sativus* L. corm", *In Annals of the New York Academy of Sciences: Stress Signaling and Transcriptional Control*, 1091, 65-75.
- Papadopoulos, L., and Stylianon, Y., (1991), "Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater", *Agricultural Water Management*, 19, 67-75.
- Temperini, O., R. Rea, R., Temperini, A., Colla, G., and Rouphael, Y., (2009), "Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effects of the age of saffron fields and plant density", *Journal of Food Agriculture Environment*, 7(1), 19-23.
- Torkian, A., (1991), *Environmental Engineering*, First Volume, Kankash Publication.
- Yarami, N., Sepaskhah, A.R., (2015), "Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method", *Agricultural Water Management*, 150, 57-66.



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

- از فاضلاب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر رشد کلم بروکلی"، مدیریت آب و آبیاری، ۲(۲)، ۱۳-۲۴.
- سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۹۲)، زعفران، روشهای آموزش، استاندارد شماره ۲-۲۵۹، بازنگری اول، کرج، ایران.
- سعیدی راد، م.ج.، و مختاریان، ک.، (۱۳۸۹)، اصول علمی کاربردی کاشت، داشت و برداشت زعفران، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.
- شفق کلوانق، ج.، ذهتاب سلماسی، س.، عالمی میلانی، م.، اوستان، ش.، و عبدلی، س.، (۱۳۹۴)، "تأثیر استفاده از فاضلاب کارخانه تولید مخمر بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در منطقه گرممالک تبریز"، مجله علوم کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵(۲)، ۶۵-۷۷.
- عابدی، م.، و نجفی، پ.، (۱۳۸۰)، استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۵۲ ص.
- عرفانی، ع.، و علیزاده، الف.، (۱۳۷۹)، "استفاده از فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری"، سومین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان.
- علیزاده، ا.، سیاری، ن.، احمدیان، ج.، و محمدیان، آ.، (۱۳۸۸)، "بررسی مناسبترین زمان شروع آبیاری زراعت زعفران در استانهای خراسان رضوی، شمالی و جنوبی"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)، ۲۳(۱)، ۱۰۹-۱۱۸.
- کافی، م.، راشد محصل، م.ج.، کوچکی، ک.، و ملافیلابی، ک.، (۱۳۸۱)، زعفران، فناوری تولید و فرآوری، انتشارات دانشگاه فردوسی.
- محمدپور، ج.، وزین، ف.، حسن زاده، م.، و شجاع، ع.، (۱۳۹۲)، "بررسی اثر کاربرد کودهای بیولوژیک و کودهای شیمیایی نیتروژن بر مورفولوژی و عملکرد زراعی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری"، همایش ملی پژوهشهای محیط زیست ایران، ۹ آبان، همدان.
- مهرآوران، ب.، انصاری، ج.، بهشتی، ع.ا.، و اسماعیلی، ک.، (۱۳۹۴)، "بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه خانه پرکنند آباد مشهد)"، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۳)، ۴۴۰-۴۴۷.
- Aiello, R., Cirelli, G.L., and Consoli, S., (2007), "Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy)", *Agricultural Water Management*, 93(1-2), 65-72.
- Asano, T., and Levine, A.D., (1996), "Wastewater reclamation and reuse, Past, present and future",

Technical Note

مقاله ترویجی (یادداشت فنی)

Study of the Ventilation Effect to Reducing the Corrosion of the Main Concrete Sewer Collector line in the Vicinity of Dropshaft Manhole

Mahdi Godarzi Matin¹, Alireza Roodbarani^{2*}, Saeid Sarabadani³ and Mehran Mamghaninejad⁴

1- B.Sc. in Water Transferring Engineering, Head of Arak Sewer Network Operation Office, Markazi Water and Waste Water Company, Arak, Iran.

2- B.Sc. in Mechanic Engineering, Sewer Network CCTV Inspection Expert, Markazi Water and Waste Water Company, Arak, Iran.

3- Ph.D. Student in Civil Engineering, Manager of Arak Water and Waste Water Office, Markazi Water and Waste water Company, Arak, Iran.

4- M.Sc. in Management, Head of Management Developing and Research Office, Markazi Water and Waste Water Company, Arak, Iran.

*Corresponding Author Email: Alirezaroodbarani@yahoo.com

Received: 08/04/2020

Revised: 06/01/2021

Accepted: 09/01/2021

© IWWA

Abstract

Corrosion is one of the major problems in utilizing sewage networks. In some points of wastewater networks, such as drop shafts, the corrosion intensity due to hydrogen sulfide gas accumulation is significant. In Arak main concrete wastewater collector line which transfers waste water from city to wastewater treatment plant the corrosion conditions of sewage pipe in the vicinity of the dropshaft were investigated with the help of sewer CCTV inspections. The occurrence of severe corrosion defects was monitored then intensity of hydrogen sulfide gas was measured. For reduce the intensity of hydrogen sulfide gas and the moisture content of the pipe atmosphere, stack ventilation and circulation pipes, were constructed then the values of hydrogen sulfide gas were again measured. Maximum and minimum values of hydrogen sulfide were reduced 11.9 and 9.09 percent, respectively. The tensile strength test was performed on the last tie rod of ladder stairs. The yield stress of the last stair of ladder in dropshaft manhole was lower than the value of upstream and downstream manholes, that it indicates corrosion in dropshaft manhole was more severe. Due to the observation of the presence of hydrogen sulfide gas in the manholes and in order to investigate the effect of this gas on the metal of the manholes ladder, the tensile strength test of the last step of the manholes ladder and its upstream and downstream manholes was performed. Comparison of yield stress values showed the accumulation of hydrogen sulfide gas and the occurrence of Hydrogen Embrittlement in the ladder.

Keywords: Concrete Pipes Corrosion, Dropshaft Manhole, H₂S, Camera Raft Robot, Tensile Strength, Hydrogen Embrittlement.

بررسی تأثیر تهویه آدمروی ریزشی در کاهش خوردگی خط انتقال فاضلاب اصلی بتنی

مهدی گودرزی متین^۱، علیرضا رودبارانی^{۲*}، سعید سرآبادانی^۳ و
مهران مامغانی نژاد^۴

۱- کارشناسی مهندسی انتقال آب، رئیس اداره بهره‌برداری شبکه و خطوط انتقال فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک.

۲- کارشناسی مهندسی مکانیک، کارشناس بهره‌برداری شبکه فاضلاب و ویدئومتری، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران.

۳- دانشجوی دکترای مهندسی عمران، مدیر امور آب و فاضلاب اراک، اراک، ایران.

۴- کارشناسی ارشد مدیریت، معاون منابع انسانی و تحقیقات، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: Alirezaroodbarani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

خوردگی یکی از مشکلات اصلی در بهره‌برداری از شبکه‌های فاضلاب است. در برخی نقاط از شبکه‌های فاضلاب مانند آدمروهای ریزشی شدت خوردگی در اثر تجمع گاز سولفید هیدروژن قابل توجه است. در فاضلاب‌رو اصلی بتنی شهر اراک که وظیفه آن انتقال فاضلاب شهر اراک به تصفیه‌خانه فاضلاب است شرایط خوردگی لوله فاضلاب‌رو در مجاورت آدمرو ریزشی خط انتقال فاضلاب صنایع با کمک یافته‌های بازرسی داخلی تلویزیونی لوله بررسی شد. با توجه به مشاهده عیوب شدید خوردگی در آن، شدت گاز سولفید هیدروژن موردسنجش قرار گرفت. به‌منظور کاهش شدت گاز سولفید هیدروژن و رطوبت تاج لوله، لوله هواکش عمودی و لوله‌های تهویه اجرا و دوباره مقادیر گاز سولفید هیدروژن اندازه‌گیری شد. مقادیر بیشینه و کمینه بعد از اجرای لوله هواکش عمودی و لوله‌های تهویه به‌ترتیب هرکدام به‌مقدار ۱۱/۹ و ۹/۰۹ درصد کاهش یافتند. با توجه به مشاهده وجود گاز سولفید هیدروژن در آدمروها و به‌منظور بررسی اثر این گاز بر روی فلز نردبان آدمروها، آزمایش استحکام کششی آخرین پله نردبان آدمرو ریزشی و آدمروهای بالادست و پایین‌دست آن انجام شد. مقایسه مقادیر تنش تسلیم نشان‌دهنده تجمع گاز سولفید هیدروژن و وقوع پدیده تردی هیدروژنی در پله نردبان آدمروها بود.

واژه‌های کلیدی: خوردگی لوله‌های بتنی، آدمرو ریزشی، سولفید هیدروژن، ربات بازرسی شناور، استحکام کششی، تردی هیدروژنی.

کانادا و آمریکا به منظور کاهش اثرات سولفید هیدروژن با استفاده از دمنده‌ها و به منظور تهویه اجباری شبکه^۸، گازهای تهویه شده را به تأسیسات تصفیه هوا هدایت می‌کنند (Zhang et al., 2016). تهویه شبکه فاضلاب با جریان طبیعی هوا^۹ نیز با استفاده از لوله‌های هواکش^{۱۰} عمودی متداول است. شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب با اولویت جمع‌آوری و انتقال فاضلاب طراحی شده‌اند ولی در طراحی آن‌ها به وضعیت و شرایط هوای در تماس با فاضلاب توجهی نشده است.

پژوهش‌هایی به منظور تمرکز بر روی شرایط جریان هوای در تماس با فاضلاب و تهویه طبیعی شبکه فاضلاب صورت گرفته است که در آن‌ها به پنج عامل زیر که در تهویه طبیعی فاضلاب مؤثرند اشاره شده است: ۱- تغییرات فشار بارومتریک در نقاط مختلف شبکه فاضلاب؛ ۲- اختلاف دانسیته هوای در تماس با اتمسفر فاضلاب و هوای بیرون (ناشی از تغییرات دما)؛ ۳- نیروی درگ اصطکاک هوای در تماس با فاضلاب و سطح جریان؛ ۴- تغییر ارتفاع سطح جریان فاضلاب و ۵- احتباس هوا به علت وزش باد به شاخه‌های عمودی هواکش و یا سوراخ‌های تهویه دریچه‌های آدمرو (Zhang et al., 2016).

این مقاله به بررسی و کنترل خوردگی خطوط انتقال اصلی فاضلاب شهر اراک می‌پردازد. این شبکه در سال ۱۳۷۵ به بهره‌برداری رسید. قطر این شبکه ۲۰۰۰ میلی‌متر و جنس آن بتن مسلح است. در سال ۱۳۹۶ حدود ۸ کیلومتر از این شبکه بازرسی ویدئومتری شد که در حین بازرسی، نقاطی با شدت خوردگی زیاد در اطراف آدمرو تقاطعی خط انتقال فاضلاب صنایع و خط انتقال اصلی فاضلاب شهر اراک مشاهده شد. سپس به منظور بررسی دقیق شرایط، با دستگاه آشکارساز مقادیر گاز سولفید هیدروژن اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور تهویه طبیعی، در آدمرو با خوردگی زیاد لوله‌های تهویه و هواکش عمودی نصب شد و دوباره مقادیر گاز سولفید هیدروژن موردسنجش قرار گرفت تا میزان تأثیرگذاری اجرای لوله‌های تهویه و هواکش بررسی شود.

۲- پیشینه تحقیق

مسئله خوردگی فاضلاب‌روهای بتنی از اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی توجه کارشناسان و محققین صنعت آب و فاضلاب را در جهان به خود جلب کرد. پی‌بردن به نقش مهم سولفیدها در بروز پدیده خوردگی محققان را بر آن داشت تا با بهره‌جویی از مدل‌های ریاضی مقدار تولید سولفید در شبکه فاضلاب را پیش‌بینی و از سوی دیگر با استفاده از این مدل‌ها بتوانند شبکه‌های تازه تأسیس

امروزه مسئله خوردگی لوله‌های فاضلاب‌رو بتنی یکی از مشکلات اصلی پیش‌رو در بهره‌برداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب است و سالانه هزینه‌های قابل‌توجهی صرف تعمیر و نگهداری از آن‌ها می‌شود (Parande et al., 2006). در گذشته بتن به عنوان ماده‌ای محکم و ارزان در ساخت لوله و سازه‌های تأسیسات فاضلاب کاربرد وسیعی داشت و خواصی از قبیل استحکام سازه‌های بتنی، افزایش مقاومت کششی و جلوگیری از توسعه ترک‌ها موجب استفاده بیش‌تر بتن در شبکه‌های فاضلاب‌رو شد. تخریب لوله‌های بتنی فاضلاب به وسیله حمله بیولوژیکی اسیدسولفوریک در زمره رایج‌ترین سازوکارهای تخریب این‌گونه سازه‌ها است (Vollertsen et al., 2008). از آنجایی که بیش‌تر لوله‌های آسیب‌دیده در حال حاضر در مدار بهره‌برداری است و خارج کردن خطوط جمع‌آوری فاضلاب از مدار به منظور تعمیرات اساسی و قطع جریان تقریباً ناممکن است، بیش‌تر مطالعات به‌روز دنیا در مورد کنترل و به تعویق انداختن خوردگی است.

خوردگی بیولوژیک نتیجه‌ای از چرخه گوگرد است که در شبکه‌های فاضلاب‌رو رخ می‌دهد با تولید و انتشار گاز سولفید هیدروژن^۱ در محیط فاضلاب‌رو فرآیند خوردگی با واکنش اسیدسولفوریک و مواد سیمانی بتن رخ می‌دهد و نتیجه آن تخریب بتن و کاهش پایداری سازه‌ای آن است (Parande et al., 2006). برخی زیرساخت‌ها در شبکه فاضلاب مانند ایستگاه‌های پمپاژ فاضلاب^۲، آدمروهای با جریان تقاطعی^۳ (آدمروهایی با ورود بیش از یک جریان)، آدمروهای با جریان ریزشی^۴ و سیفون معکوس^۵ به عنوان نقاط بحرانی^۶ شناسایی شده‌اند که در آن‌ها پتانسیل تولید گاز سولفید هیدروژن زیاد است. این نقاط از شبکه بیش‌ترین تأثیر بر روی فشار هوای موجود در اتمسفر فاضلاب‌رو را دارند و باعث حرکت هوا و تغییرات فشار اتمسفر فاضلاب‌رو می‌شوند (Zhang et al., 2016).

آدمروهای ریزشی به‌طور وسیعی در شبکه فاضلاب به منظور انتقال فاضلاب از یک سطح ارتفاعی بالاتر به یک سطح ارتفاعی پایین‌تر کاربرد دارند و به عنوان یک عامل اصلی در افزایش فشار اتمسفر فاضلاب‌رو شناخته شده‌اند (Sorensen et al., 2000). در زمان ریزش فاضلاب در آدمرو با افزایش سرعت قطرات کوچک^۷ فاضلاب، هوا در داخل اتمسفر فاضلاب‌رو محبوس شده و فشار هوای در تماس با فاضلاب افزایش می‌یابد. این افزایش فشار با متساعد شدن هرچه بیش‌تر گاز سولفید هیدروژن نیز همراه است که خوردگی قابل‌توجهی را به همراه دارد. در برخی کشورها مانند

را به گونه‌ای طراحی نمایند که تشکیل سولفید در آن‌ها به حداقل برسد. از جمله این مدل‌ها مدل دیستلویت^{۱۱} و مدل پومری^{۱۲} است که به ترتیب براساس مطالعات انجام شده در کشور استرالیا و آمریکا به دست آمد. در ایران نیز در سال ۱۳۷۸ حداکثر سرعت خوردگی در کلکتور زینبیه شهر اصفهان به میزان ۴/۲ میلی‌متر در سال گزارش شد (اشتهدادی‌ها، ۱۳۸۰).

۳- روش تحقیق

۳-۱- بازرسی داخلی شبکه فاضلاب و بررسی تحلیلی عیوب مشاهده شده

بازرسی داخلی خط انتقال فاضلاب شهر اراک با کمک ربات بازرسی شناور^{۱۳} انجام شد. ربات شناور ویدئومتری از محل آدمرو وارد شبکه فاضلاب می‌شود و با قرار گرفتن بر روی سطح جریان فاضلاب با سرعت جریان فاضلاب و در جهت آن حرکت می‌کند. مهم‌ترین عیوب خوردگی که در بازرسی داخلی شبکه فاضلاب مشاهده شدند به ترتیب شدت اثر خوردگی (از کم به زیاد) در جدول ۱ ارائه شده است (ضابطه شماره ۶۷۷). دو عیب S RP و S RC با داشتن بالاترین امتیاز، بیشترین تأثیر منفی را در شرایط سازه‌ای شبکه فاضلاب دارند. در محدوده‌های مختلفی از انجام عملیات ویدئومتری شبکه، دو عیب S CP و S AP مشاهده شدند؛ اما دو عیب S RC و S RP (شکل ۱) فقط در دو مقطع طولی از محدوده بازرسی مشاهده شدند که شدت و تداوم رخداد این عیوب

قابل توجه است. به منظور بررسی این وضعیت با استفاده از روش مندرج در ضابطه شماره ۶۷۷ درجه این خطوط محاسبه شد که درجه سازه‌ای این دو مقطع ۳ به دست آمد. در ضابطه شماره ۶۷۷ به منظور محاسبه درجه فاضلاب‌رو (خط لوله بین دو آدمرو) به عیوب مشاهده شده امتیازی تخصیص داده می‌شود که بزرگی آن متناسب با شدت تأثیر منفی آن عیب در عملکرد و پایداری فاضلاب‌رو است. سپس سه شاخص بالاترین، مجموع و متوسط امتیازات محاسبه شده و مطابق معیارهای ارائه شده در ضابطه مذکور، خطوط به ۵ درجه به ترتیب شدت بحرانی بودن شرایط، از ۱ تا ۵ تقسیم‌بندی می‌شوند که خط درجه ۱ بهترین و خط درجه ۵ بدترین شرایط را دارند. تفسیر ارائه شده ضابطه مذکور درباره خط درجه ۳ بدین شرح است که فروریزش مقطع در آینده نزدیک غیرمحتمل است، اما احتمال افزایش خوردگی و بدتر شدن شرایط سازه‌ای وجود دارد (ضابطه شماره ۶۷۷).

پس از مشخص شدن گزارش اولیه بازرسی داخلی لوله، به منظور بررسی تحلیلی آسان‌تر مسئله، در دو مقطع مورد بررسی وضعیت عیوب مشاهده شده به صورت گرافیکی ترسیم شد. بدین منظور به هر عیبی که در فاصله‌ای بیش از یک متر در طول فاضلاب‌رو ادامه پیدا کرده و یا مرتباً تکرار شده باشد یک رنگ اختصاص یافت (شکل ۲). همان‌طور که در این شکل مشخص است در اطراف آدمرو شماره ۱۲ عیب S RC یعنی خوردگی تسلیحات بتن مشهود است و آدمرو شماره ۱۲ به عنوان کانون این عیب شناسایی شد.

جدول ۱- معرفی عیوب مشاهده شده در اثر خوردگی (ضابطه شماره ۶۷۷)

کد عیب	نام کامل	توصیف	مقدار امتیاز (منفی)
S CP	محصول خوردگی ^{۱۴}	حمله شیمیایی به بتن در محیط فاضلاب‌رو محصولاتی تولید می‌کند که اثرات آن بر روی جدار داخلی لوله باقی می‌ماند که مانند گرد سفید رنگی ناشی از حمله H_2S به بتن است.	۵
S AP	بیرون زدگی سنگ‌دانه‌ها ^{۱۵}	در این عیب، سنگ‌دانه‌های درشت‌دانه از سطح عمومی ماتریس بتن بیرون زده‌اند.	۲۰
S RP	بیرون زدگی آرماتورها ^{۱۶}	در این عیب، خوردگی سطح بتن به اندازه‌ای شدید شده است که آرماتورها از سطح بتن بیرون زده‌اند.	۱۲۰
S RC	خوردگی تسلیحات بتن ^{۱۷}	این عیب، حالت تشدید شده کد S RP است که در آن آرماتورهای بیرون زده دچار خوردگی شده‌اند و قسمتی‌هایی از شبکه تسلیحات از بین رفته است.	۱۲۰

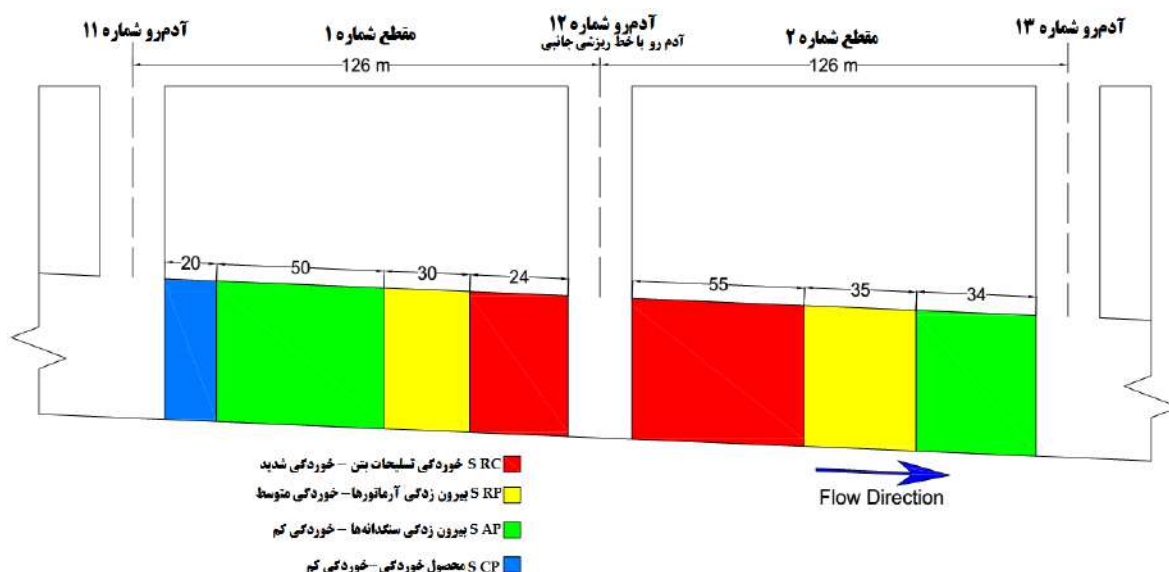
۳-۲- فرآیند خوردگی فاضلاب‌روهای بتنی توسط هیدروژن سولفید

مطابق مشاهدات بازرسی داخل فاضلاب‌رو بتنی، شرایط خوردگی لوله با الگوی خوردگی گاز هیدروژن سولفات مطابقت داده شد و وجود خوردگی در تاج لوله و خط تراز روزانه جریان در لوله فاضلاب‌رو مشخص شد. براساس گزارش‌های تحقیقاتی از لوله‌های فاضلاب‌رو خورده شده،

خوردگی ناشی از هیدروژن سولفات منحصر به تاج لوله نبوده بلکه طرفین دیواره لوله نیز به دلیل انتقال رطوبت اسیدی از تاج لوله به سمت پایین مورد حمله قرار می‌گیرد، به طوری که حتی در گوشه‌های مجاور با سطح فاضلاب خوردگی عمیق‌تر از خوردگی در تاج لوله است. این مورد با تصاویر بازرسی داخلی شبکه فاضلاب‌رو اصلی شهر اراک مطابقت دارد و در دارد و در شکل ۳ نشان داده شده است (اشتهدادی‌ها، ۱۳۸۰).



شکل ۱- عیوب خوردگی مشاهده شده در حین بازرسی خط انتقال اصلی فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶



شکل ۲- بررسی گرافیکی عیوب در مقاطع ۱ و ۲ خط انتقال اصلی فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

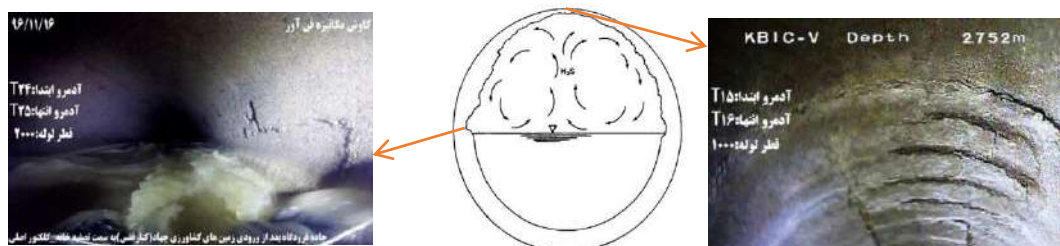
در معرض هیدروژن ممکن است بر اثر تولید گاز هیدروژن و یا واکنش‌های حاصل از خوردگی باشد. زمانی که فولاد در محیط مرطوب حاوی هیدروژن سولفید قرار می‌گیرد اتم هیدروژن بر اثر واکنش کاتدیک پروتون H^+ و اکسیداسیون آندیک آهن تولید می‌شود. گاز سولفید هیدروژن دارای خاصیت خوردگی فلزاتی مانند آهن و مس و... است. شدت خوردگی آهن وابسته به میزان تفکیک مولکول‌های هیدروژن سولفید در آب است. تجزیه و نفوذ پی‌درپی هیدروژن در فولاد می‌تواند کاهش خواص مکانیکی را به همراه داشته باشد (عباس قربانی و مشهدی، ۱۳۹۳).

با بررسی آدم‌روها خوردگی نردبان آن‌ها مشهود بود که آخرین پله نردبان هر سه این آدم‌روها به‌منظور انجام آزمایش استحکام کششی و یافتن رابطه بین شدت گاز سولفید هیدروژن و تردی هیدروژنی فلز نردبان آدم‌روها به آزمایشگاه ارسال شد.

۳-۳- بررسی اثر تردی هیدروژنی ناشی از گاز سولفید هیدروژن در آدم‌رو

در یک تعریف کلی، تردی هیدروژنی^{۱۸} عبارت است از اثر تردی ناشی از ورود هیدروژن به داخل ساختار و تخریب خواص مکانیکی قطعه تحت تأثیر شرایط سرویس‌دهی. تردی هیدروژنی در فولاد باعث شکست سریع در بارگذاری کم و در زمان کوتاه‌تر نسبت به محیط فاقد هیدروژن است. انحلال هیدروژن در شبکه کریستالی فولاد به کاهش پیوند اتمی فلز منجر می‌شود. پدیده تردی هیدروژنی بر مبنای تولید هیدروژن در دو زیرمجموعه تردی هیدروژنی داخلی^{۱۹} و تردی هیدروژنی محیطی^{۲۰} دسته‌بندی می‌شود.

پدیده تردی هیدروژنی داخلی بر اثر هیدروژن باقی‌مانده در ساختار فلز در مراحل تولید فولاد اتفاق می‌افتد (Zheng et al., 2012). پدیده تردی هیدروژنی خارجی بر اثر قرار گرفتن فلز در معرض هیدروژن رخ می‌دهد. قرارگرفتن فلز

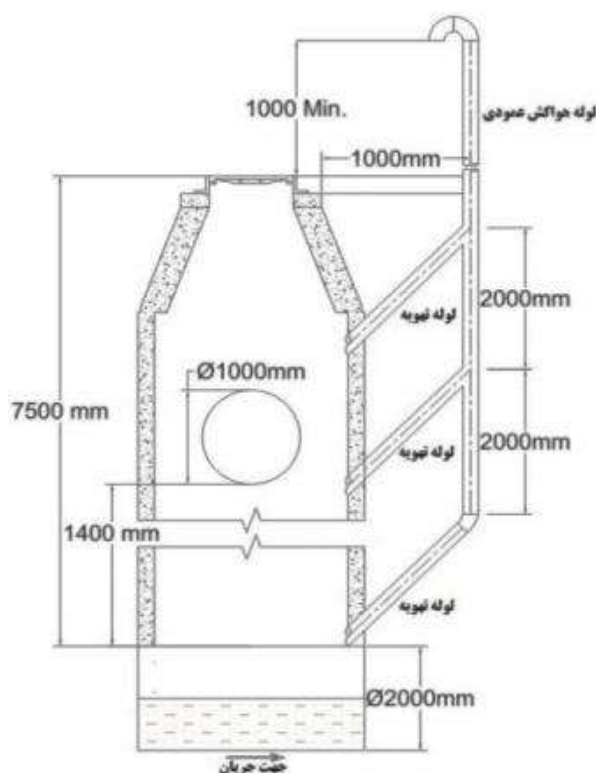


شکل ۳- تطبیق تصاویر بازرسی فاضلاب رو با الگوی خوردگی گاز سولفید هیدروژن در خط انتقال اصلی فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

هوای برای اکسید نمودن سولفید هیدروژن به اسیدسولفوریک می‌شود (استهاردی‌ها، ۱۳۸۰). باهدف انجام تهویه لوله‌های تهویه و هواکش عمودی از جنس PVC به قطر دویست میلی‌متر اجرا شده است. به‌منظور حفاظت لوله هواکش عمودی یک غلاف از جنس بتن در محل خروج لوله از زمین بر روی آن قرار داده شده است (شکل ۴).

۴-۳- نحوه اجرای لوله‌های تهویه و هواکش عمودی

عمل تهویه از دو راه موجب کاهش خوردگی ناشی از سولفید هیدروژن در فاضلاب‌روها می‌گردد که عبارت‌اند از: ۱- تهویه موجب تازه شدن هوای داخل فاضلاب‌روها و کاهش غلظت سولفید هیدروژن در فضای خالی فاضلاب‌روها می‌گردد. ۲- تهویه موجب کاهش رطوبت سطحی موجود بر روی تاج و دیواره فاضلاب‌روها شده که این امر باعث کاهش فعالیت باکتری‌های



شکل ۴- لوله تهویه و هواکش عمودی آدمرو ریزشی خط انتقال فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

بازه مقداری (۲۰۰-۰ ppm) را دارد. بخش دوم شامل اندازه‌گیری استحکام کششی پله آخر آدمروهای شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به‌منظور بررسی وضعیت خوردگی این سه آدمرو است. غلظت گاز سولفید هیدروژن قبل و بعد از اجرای لوله تهویه و هواکش عمودی فاضلاب رو با توجه به مقادیر دبی ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری گاز سولفید هیدروژن بدون باز

۴-۵- برداشت‌های میدانی

برداشت‌های میدانی در قالب دو بخش صورت گرفت. بخش اول شامل اندازه‌گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن در آدمرو شماره ۱۳ به‌وسیله دستگاه آشکارساز قابل‌حمل گاز هیدروژن سولفات با نام Max Gas Alert XT II ساخت شرکت Honeywell است که قابلیت اندازه‌گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن را در

کردن دریچه آدرو و با کمک لوله انعطاف پذیر با طول استاندارد مربوط به دستگاه از سوراخ تهویه دریچه انجام شده است. فاصله انتهای لوله تا سطح فاضلاب برابر ۲۵۰ میلی متر تنظیم شد (Bowker et al., 1992). به منظور یافتن زمان حداکثر دبی به عنوان بحرانی ترین زمان در تولید سولفید هیدروژن نتایج خروجی دبی سنجی تصفیه خانه فاضلاب (دبی تجمعی برحسب مترمکعب در ساعت) به وسیله جریان سنج راداری غیرتماسی چشم کلاهی مدل IFQ شرکت فلوترونیک در بازه زمانی سه ماهه قبل از زمان آغاز اندازه گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن بررسی شد. بازه زمانی بین ساعت ۱۴ تا ۱۵ به عنوان یک نقطه بیشینه نسبی^{۲۱} دبی به منظور زمان اندازه گیری غلظت سولفید هیدروژن در نظر گرفته شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اندازه گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن

به منظور اندازه گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن قبل و بعد

از اجرای لوله های تهویه و هواکش عمودی آدرو شماره ۱۲ در ساعت ۱۴ تعداد ۳۰ مورد اندازه گیری انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. همان طور که در جدول ۲ مشخص است مقادیر بیشینه به میزان ۱۱/۹ درصد و کمینه به میزان ۹/۰۹ درصد در آدرو شماره ۱۲ کاهش یافته اند. همچنین با توجه به کاهش مقدار میانگین و انحراف معیار کاهش مقادیر غلظت گاز سولفید هیدروژن بعد از اجرای لوله تهویه و هواکش عمودی مشخص است. در زمان اندازه گیری و بعد از اجرای لوله تهویه و هواکش عمودی برای حرکت هوا در دهانه خروجی لوله عمودی به وسیله آزمایش دود موردسنجش قرار گرفت که در همه موارد جهت حرکت هوا در جهت خروج از آدرو بود.

۴-۲- اندازه گیری استحکام کششی آخرین پله نردبان

آدروها

در زمان انجام بازرسی داخلی فاضلاب رو نردبان آدروها موردبررسی قرارگرفت که دچار خوردگی شدید شده اند (شکل ۵).

جدول ۲- مقادیر غلظت گاز H_2S برحسب ppm در آدرو شماره ۱۲ خط اصلی انتقال فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

انحراف معیار	بیشینه غلظت گاز H_2S	کمینه غلظت گاز H_2S	میانگین غلظت گاز H_2S	انحراف معیار
قبل از اجرا لوله تهویه	۴/۲	۱/۱	۲/۵	۰/۹۵۵۰۸
بعد از اجرا لوله تهویه	۳/۷	۱	۲/۵	۰/۷۱۴۵۷



شکل ۵- خوردگی نردبان آدرو خط اصلی انتقال فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

فاضلاب رو و بیشتر بودن وزن حجمی سولفید هیدروژن نسبت به هوا و تجمع بیشتر آن در پاشنه آدروی آخرین پله نردبان آدروهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ پس از خارج کردن نردبان ها از داخل آدرو، جدا و به آزمایشگاه مکانیک شرکت آذراب به منظور انجام آزمایش استحکام کششی ارجاع شد. نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. با مقایسه شکل ۶ و جدول ۳ مشاهده می شود تنش نهایی پله آدروی شماره ۱۲ کمترین مقدار را دارد که مقدار

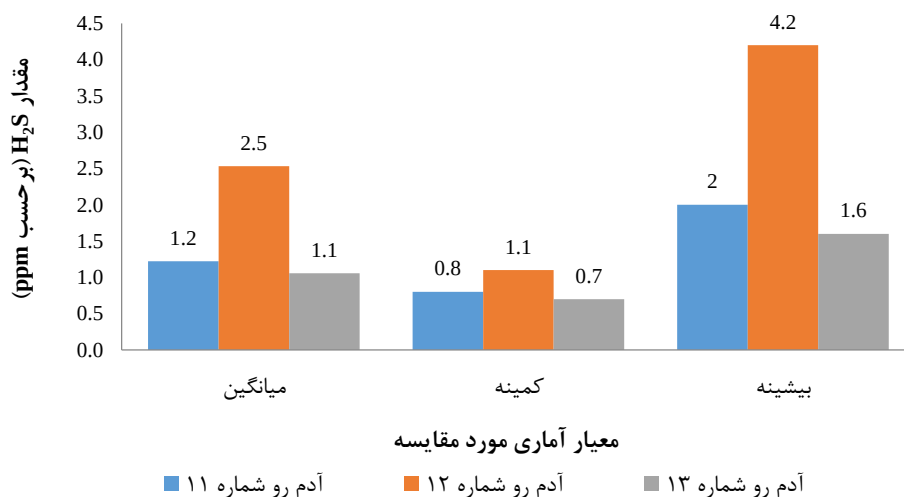
به منظور بررسی اثر تردی هیدروژنی و غلظت گاز سولفید هیدروژن در سه آدروی شماره ۱۱، ۱۲ و ۱۳ غلظت سولفید هیدروژن قبل از اجرای لوله تهویه و لوله عمودی هواکش اندازه گیری شد. در شکل ۶ مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین در این سه آدرو ارائه شده است. به منظور اندازه گیری بررسی تأثیر خوردگی در حضور گاز سولفید هیدروژن بر روی فلز پله نردبان آدرو و نزدیک بودن آخرین پله به محیط اتمسفر در تماس با

محیط دارد که این مورد با دو عامل رطوبت و دما مرتبط است. بخار آب با وزن مولکولی ۱۸ g/mol تراکم کمتری از نیتروژن (N_2 , 28 g/mol) و اکسیژن (O_2 , 32 g/mol) دارد و هوای در تماس با فاضلاب، تمایل به جذب رطوبت بیشتری دارد. در زمستان هوای موجود در فاضلاب با جذب گرمای بیشتر سبک‌تر شده و با تأثیر نیروی شناوری چرخش هوا تحت عنوان اثر دودکشی حرکت هوا به سمت خارج از لوله اتفاق می‌افتد.

غلظت سولفید هیدروژن در این آدمرو از دو آدمروی دیگر بیشتر است. در نتیجه اثر تردی هیدروژنی در این آدمرو نسبت به سایر آدمروها مشهود است، مقایسه موارد مشابه در آدمروی شماره ۱۱ و ۱۳ با مقادیر تنش نهایی مطابق جدول ۳ هم‌خوانی دارد.

۳-۴- بررسی تأثیر تغییر فصل بر روی خاصیت دودکشی لوله هواکش

هوای موجود در شبکه فاضلاب اغلب چگالی کمتری از هوای



شکل ۶- مقایسه مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین گاز سولفید هیدروژن (قبل از اجرای هواکش) در آدمروی ریزشی خط انتقال اصلی فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

جدول ۳- نتایج آزمون استحکام کششی پله آدمروهای خط اصلی انتقال فاضلاب شهر اراک در سال ۱۳۹۶

شماره نمونه	نیروی تسلیم (N)	تنش تسلیم (N/mm^2)	نیروی نهایی (N)	تنش نهایی (N/mm^2)
T ₁ (آدمروی ۱۱)	۲۵۰۰۰	۳۱۸	۳۴۷۰۰	۴۴۲
T ₂ (آدمروی ۱۲)	۲۴۰۰۰	۳۰۵	۳۳۸۰۰	۴۳۱
T ₃ (آدمروی ۱۳)	۲۷۰۰۰	۳۴۴	۳۶۲۰۰	۴۶۱

نیز نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن مقادیر برداشت‌شده به مقدار میانگین است. لوله عمودی هواکش با توجه به اثر دودکشی متأثر از اختلاف فشار اتمسفر فاضلاب‌رو و انتهای هواکش عمودی که در هوای آزاد قرار گرفته عمل می‌کند. در سه ارتفاع مختلف در دیواره آدمرو لوله‌های تهویه به چرخش هوا کمک نموده و باعث ورود هوای تازه به داخل آدمرو می‌شود. همین امر باعث کاهش رطوبت موجود در لوله فاضلاب‌رو شده و کاهش خوردگی میکروبی را به همراه دارد. با توجه به مقادیر مرجع ارائه‌شده در زمینه اثرات خوردگی باوجود مقادیر گاز سولفید هیدروژن بیش از ۰/۰۵ ppm (Apgar et al., 2008)، خوردگی شدید در لوله مورد انتظار است؛ لذا مقدار کاهش ایجادشده در مقدار گاز سولفید هیدروژن به‌منظور کاهش پتانسیل خوردگی شبکه کافی نیست.

۵- نتیجه‌گیری

در آدمروهای ریزشی شدت وجود گاز سولفید هیدروژن نسبت به سایر آدمروها بیش‌تر است. با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی در آدمروهای ریزشی احتباس هوا باعث افزایش فشار در لوله فاضلاب‌رو پایین‌دست و آزاد شدن هرچه بیش‌تر سولفید هیدروژن می‌شود. استحکام کششی پایین‌تر پله در آدمرو ریزشی شماره ۱۲ نسبت به آدمروهای شماره ۱۱ و ۱۳ نشان‌دهنده بالاتر بودن مقادیر گاز سولفید هیدروژن در آدمروی شماره ۱۲ بود. مقادیر بیشینه و کمینه سولفید هیدروژن در آدمروی ریزشی بعد از اجرای لوله تهویه و لوله هواکش عمودی، هر یک به‌ترتیب به‌مقدار ۱۱/۹ و ۹/۰۹ درصد کاهش یافتند. کاهش مقدار انحراف معیار

پیشنهادهای زیر برای ادامه این تحقیق می‌تواند مورد توجه قرار گیرد:

- استفاده از لوله تهویه با قطر بالاتر (در تهویه طبیعی) می‌تواند در افزایش تهویه و کاهش بیشتر مقادیر سولفید هیدروژن تأثیرگذار باشد. لذا در پژوهش‌های آتی اثر افزایش قطر در کاهش غلظت گاز سولفید هیدروژن قابل بررسی است.
- استفاده از روش‌های تهویه اجباری (مانند استفاده از فن‌های برقی تهویه) با در نظر گرفتن هزینه انرژی مصرفی می‌تواند در کاهش غلظت گاز سولفید هیدروژن مؤثر باشد.
- تغییر در اجرای آدروهای ریزشی که بتواند در کاهش تلاطم جریان فاضلاب مؤثر باشد می‌تواند در کاهش نرخ تولید هیدروژن سولفید قابل تأثیر باشد.

۶- قدردانی

نویسندگان مقاله از واحد خدمات فنی و آزمایشگاه مکانیک شرکت آذراب که در انجام آزمایش‌های مورد نیاز این پژوهش کمال همکاری را به عمل آوردند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- H₂S
- 2- Lift Stations
- 3- Cross Section Manhole
- 4- Dropshaft Manhole
- 5- Inverted Siphon
- 6- Hot Spots
- 7- Droplet
- 8- Forced Ventilation
- 9- Natural Ventilation
- 10- Ventilation Stack
- 11- Thistlewayte
- 12- Pomeroy
- 13- Camera Raft Robot
- 14- Corrosion Products
- 15- Aggregate Projecting from Surface
- 16- Reinforcement Projecting from Surface
- 17- Corroded Reinforcement
- 18- Hydrogen Embrittlement
- 19- Internal Hydrogen Embrittlement (IHE)
- 20- Hydrogen Environment Embrittlement (HEE)
- 21- Relative Maximum

۸- مراجع

اشتهدادی‌ها، ح.، (۱۳۸۰)، "کنترل خوردگی فاضلاب‌روهای بتنی در حال بهره‌برداری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه

مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۴)، *دستورالعمل انجام عملیات ویدئومتری شبکه‌های فاضلاب*، ضابطه شماره ۶۷۷، تهران، ایران.

عباس قربانی، م.، مشهدی، ا.، (۱۳۹۳)، "بررسی روش‌های مهار سولفید هیدروژن در صنعت نفت و گاز"، *نشریه مهندسی گاز ایران*، (۲)، ۳۱-۲۴.

Apgar, D., Witherspoon, J., and Easter, C., (2008), *Minimization of odors and corrosion in collection systems*, Water Environment Research Foundation, Alexandria, VA.

Bowker, R., Audibert, G., Shah, H., and Webster, N., (1992), *Detection, control, and correction of hydrogen sulfide corrosion in existing wastewater systems*, Office of Wastewater Enforcement and Compliance, Office of Water, Washington, DC.

Parande, A., Ramsamy, P., Ethirajan, S., Rao, C., and Palanisamy, N., (2006), "Deterioration of reinforced concrete in sewer environments", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, Thomas Telford Ltd, pp. 11-20.

Sorensen, H., Joyce, J., Fallara, C.T., (2000), "Odor control for large diameter deep sewer tunnels, The City of Columbus Ohio", *Proceedings of the Water Environment Federation*, pp. 154-179.

Vollertsen, J., Nielsen, A.H., Jensen, H.S., Wium-Andersen, T., and Hvitved-Jacobsen, T., (2008), "Corrosion of concrete sewers, the kinetics of hydrogen sulfide oxidation", *Science of the Total Environment*, 394, 162-170.

Zhang, W., Zhu, D.Z., Rajaratnam, N., Edwini-Bonsu, S., Fiala, J., Pelz, W., (2016), "Use of air circulation pipes in deep dropshafts for reducing air induction into sanitary sewers", *Journal of Environmental Engineering*, 142, 04015092.

Zheng, S., Qi, Y., Chen, C., Li, S., (2012), "Effect of hydrogen and inclusions on the tensile properties and fracture behaviour of A350LF2 steels after exposure to wet H₂S environments", *Corrosion Science*, 60, 59-68.



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



پیشرفت‌های علمی و فناوری حرکت نمی‌کند و عموماً درگیر روزمرگی است. ادامه چنین وضعیتی می‌تواند این صنعت را به سمت پیامدهای تأسفبار بکشانند. به‌طور مثال، می‌توان از خروجی‌های غیراستاندارد سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب شهری و صنعتی و نیز تنزل کیفیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی نام برد.



جناب آقای دکتر امیر تائبی

استاد محترم بازنشسته دانشگاه صنعتی اصفهان
و پیشکسوت برگزیده انجمن آب و فاضلاب ایران در سال
۱۳۹۷

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

- کارشناسی ارشد مهندسی بهسازی محیط را از دانشگاه تهران در سال ۱۳۶۳ و دکترای مهندسی محیط زیست را از دانشگاه کالیفرنیا-دیویس در سال ۱۳۷۲ دریافت نمودم. از سال ۱۳۶۳ عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان شدم. در سال ۱۳۸۶ به مرتبه استاد تمام ارتقاء یافتم. در سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۱، در کنار فعالیت‌های دانشگاهی، مدیر کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان بودم.

* لطفاً گزارشی از فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی خود در زمینه آب و فاضلاب را بیان فرمایید.

- تحصیلات و فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی اینجانب عمدتاً در زمینه آب و فاضلاب و نیز مدیریت و کنترل کیفیت منابع آب بوده است. در این زمینه، کتاب "شبکه‌های توزیع آب شهری" را در سال ۱۳۷۹ و کتاب "کیفیت آب: مبانی و محاسبات" را در سال ۱۳۹۸ نوشتم که هر دو توسط انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان به چاپ رسیدند و هر دو کتاب نیز منتخب جشنواره‌های دوسالانه کتاب شدند. نتایج فعالیت‌های پژوهشی‌ام در بیش از صد مقاله و ۲۰ گزارش به چاپ رسیدند.

* مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه آب و فاضلاب در کشور را به‌خصوص در زمینه کیفیت و تصفیه آب چه می‌دانید؟

- به‌نظر اینجانب، حوزه آب و فاضلاب کشور، هماهنگ با

* تا چه حد تحقیقات و انتشارات جنابعالی از جمله دو کتاب ارزشمند شبکه‌های توزیع آب و کیفیت آب، توانسته است خلاءهای موجود در حوزه آب و فاضلاب را پر کند؟

- دو کتاب نامبرده را با توجه به کمبود منابع مناسب برای تدریس دروس مربوطه نوشتم. البته هر دو کتاب به‌گونه‌ای تدوین شده‌اند که علاوه بر رفع نیازهای دانشگاهی، بتوانند به‌عنوان مرجع نیز در اختیار مهندسان و متخصصان صنعت آب و فاضلاب کشور قرارگیرند. خوشبختانه، تجدید چاپ مکرر این کتب، گویای استقبال متخصصان کشور از آن‌ها است. اکثر پژوهش‌های اینجانب نیز جنبه کاربردی داشتند و نتایج آن‌ها قابل استفاده در صنعت آب و فاضلاب هستند.

* برای اطمینان یافتن مردم از ایمنی و کیفیت آب چه اقداماتی باید انجام شود؟ آیا شیوه‌های مرسوم تصفیه و توزیع آب به شهرها را مناسب می‌دانید؟

- شرکت‌های آب و فاضلاب کشور با حداکثر توان در تلاش هستند تا آب پاک در دسترس مردم قرار دهند، لیکن این صنعت نیاز به تحول و هماهنگی با پیشرفت‌های روز دنیا دارد. با توجه به افزایش جمعیت و به‌دنبال آن افزایش مصرف آب و افزایش آلاینده‌ها، دیگر نمی‌توان با شیوه‌های تصفیه قدیمی و نیز عدم کنترل کیفیت منابع آب‌های طبیعی، به امر تهیه آب پاک اطمینان داشت.

* چگونه می‌توان به کاربردی شدن نتایج تحقیقات دانشگاه‌ها کمک کرد؟

- اگر مدیریت آب و فاضلاب کشور خواستار رفع مشکلات این صنعت با شیوه‌های علمی و نیز تحول و نوآوری شود، آن‌گاه نتایج تحقیقات دانشگاهی خریدار پیدا می‌کند و به‌طور یقین ارتباط بین صنعت و دانشگاه گسترده‌تر و صمیمانه‌تر می‌شود.

* 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؟

- متأسفانه از امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری پژوهشی موجود در دانشگاه‌ها و بخش‌های تحقیقاتی تابعه وزارت نیرو، به‌طور جد و محسوس استفاده نمی‌شود که این جانب دلیل عمده آن را در روند روزمرگی، کمبود بودجه و عدم عزم راسخ برای تحول و نوآوری می‌بینم.

*** به‌نظر شما دستگاه‌های اجرایی از جمله 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؟**
- در سال‌های اخیر، ارتباط دانشگاه و صنعت بیشتر از گذشته شده است، ولی به‌نظر می‌رسد که هنوز بستر لازم برای استفاده مکفی از نتایج تحقیقات دانشگاهی به‌وجود نیامده است. اگر بخش قابل توجهی از وقت و توان مدیریتی شرکت‌های آب و فاضلاب صرف تحول و نوآوری شود، آن‌گاه نیاز آن‌ها به دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی بیشتر و ضروری‌تر خواهد شد.

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

- انجمن‌های علمی، به‌ویژه انجمن آب و فاضلاب ایران، می‌توانند رابط خوب و مؤثری بین صنعت و مراکز علمی-پژوهشی باشند. به بیان دیگر، این انجمن‌ها فارغ از بروکراسی و مقررات دست و پاگیر هستند و به‌راحتی می‌توانند دریافت‌کننده و انتقال‌دهنده مشکلات صنعت به واحدهای پژوهشی باشند. درضمن می‌توانند مشاورهای مؤثری برای پیاده‌سازی نتایج پژوهشی در صنعت باشند.

*** با توجه به این‌که جنابعالی عضو هیئت کمیته تخصصی کیفیت آب انجمن هستید نظر خود را در رابطه با نحوه عملکرد و ارتقا و اثربخشی فعالیت‌های کمیته‌های تخصصی انجمن بیان کنید. آیا این کمیته‌ها توانسته است به رسالت خود برای ارتباط متقابل بین دانشگاه و صنعت دست یابد؟**
- انجمن آب و فاضلاب ایران تاکنون عملکرد قابل دفاع و

محسوس داشته است و توصیه می‌کنم که همکاران این جانب، چه در دانشگاه و چه در صنعت، به عضویت این انجمن درآیند و در کمیته‌های مختلف آن نقش آفرین باشند. درواقع این انجمن، محلی است برای درک متقابل صنعت و دانشگاه.

*** از آن‌جا که جنابعالی در همایش سال ۱۳۹۷ انجمن به‌عنوان پیشکسوت نمونه برگزیده مورد تقدیر قرار گرفتید، لطفاً تاثیر این‌گونه برنامه‌های انجمن در تقدیر از پیشکسوتان، پایان‌نامه‌های برتر، مقالات برتر و غیره را بیان فرمایید.**

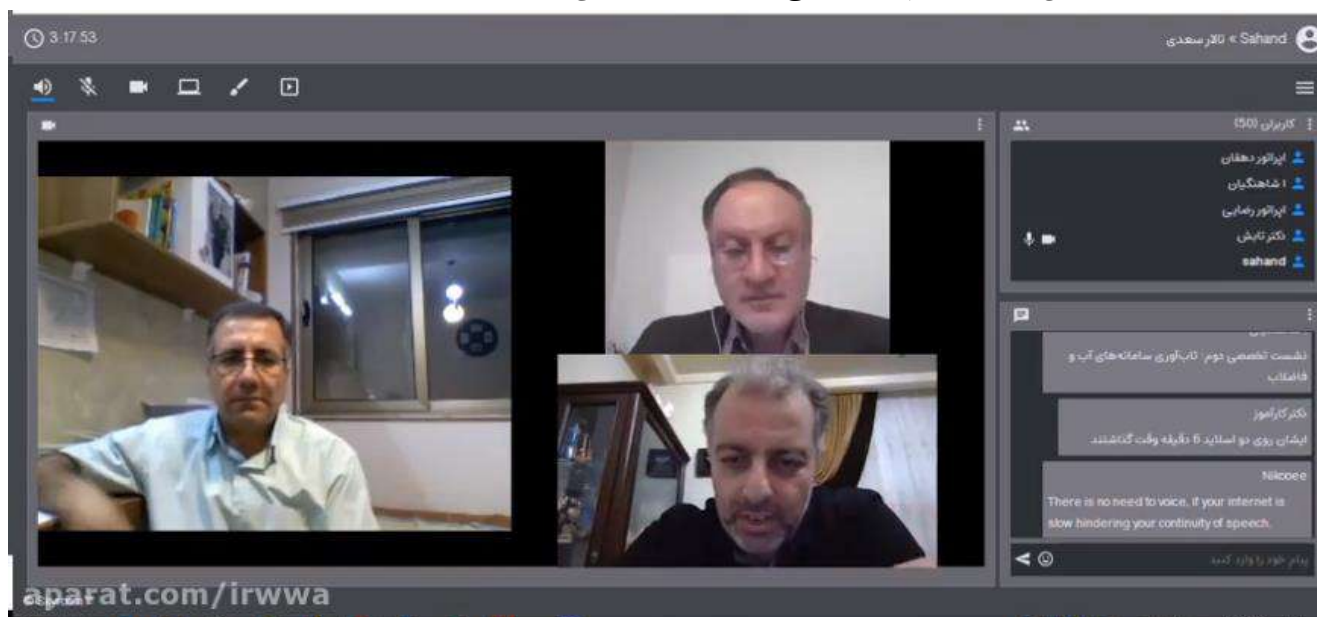
- اول از این فرصت استفاده می‌کنم تا تشکر و سپاس خود را از بابت انتخاب اینجانب به عنوان پیشکسوت نمونه ابراز نمایم. به‌طورکلی، این‌گونه برنامه‌های تقدیر از پیشکسوتان، پایان‌نامه، مقالات و غیره، در تقویت جنبه‌های رفاقتی و نیز رقابتی بین متخصصان کشور، بسیار مؤثر و سازنده است و باعث تقویت انگیزه‌های حرفه‌ای افراد می‌شود.

*** با توجه به توان علمی و تشکیلاتی انجمن چه توصیه‌ای برای جامعه دانشگاهی و صنعت آب و فاضلاب برای بهره‌گیری از توان انجمن را دارید.**

- به کلیه همکاران دانشگاهی و نیز صنعتی توصیه می‌کنم که حتماً به عضویت این انجمن درآیند و از بستر مناسبی که این انجمن فراهم نموده است، استفاده کنند و بدین‌وسیله، حلقه‌ای از زنجیره علمی-اجرایی آب و فاضلاب کشور شوند. درواقع، این انجمن فراهم‌کننده بستر وفاق بین دانشگاه و صنعت است و این وفاق می‌تواند باعث تسریع در روند حل مشکلات و تحول و نوآوری در آب و فاضلاب کشور شود.



نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب
(سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۵ آذرماه ۱۳۹۹، دانشگاه شیراز)



اعضای میزگرد:

دکتر مسعود تابش (استاد دانشگاه تهران و مدیر جلسه)

دکتر محمد کارآموز (استاد دانشگاه تهران)

دکتر علی حقیقی (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز)

دکتر سعید بشیری (فرمانداری تهران)

مهندس علی اصغر قانع (مشاور مدیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)

مهندس اردوان نیک‌نام (معاون منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب استان فارس)

هرکدام از دوستان حاضر در این میزگرد به‌نوعی در رابطه با این بحث تجربیات و در حقیقت مطالبی دارند که ان‌شاءالله در این فرصت یک ساعت و نیمه در خدمتشان خواهیم بود. برای این‌که بحثمان در حقیقت یک مقدار نظام داشته باشد آقای دکتر حقیقی زحمت کشیدند و یک سلسله سوالاتی را مطرح کردند که حالا چهار سوال اولش را در این قسمت شما مشاهده می‌فرمایید و ما برنامه‌ریزی را به‌نحوی انجام دادیم که هریک از اعضای محترم پنل در رابطه با یک یا دو تا از این سوال‌ها مواردی را مطرح خواهند کرد. منتها برای این‌که راحت‌تر وارد بحث شویم، من از آقای دکتر بشیری خواهش می‌کنم که مقدماً یک تعاریف کلی از مبحث تاب‌آوری را خدمت حضار محترم عرض بکنند و بعد هر یک از دوستان که حالا دعوتشان خواهیم کرد، نقطه‌نظرات خودشان را در رابطه با یکی از این محورهای عرض ۵-۶ دقیقه مطرح خواهند کرد. در حین صحبت اعضای محترم پنل، دوستان عزیز شرکت‌کننده فرصت دارند که اگر سوالاتی یا نقطه‌نظراتی به ذهنشان می‌رسد در قسمت چت یادداشت کنند و دوستان



دکتر تابش:

کنگره امسال هم در رابطه با تاب‌آوری مطرح شده و کلاً این موضوع از وقایع سیلاب سال ۹۸ نشأت گرفته بود که به‌دنبال آن درصدد بودیم که به‌نوعی این بحث را آسیب‌شناسی کنیم و مسائل و مشکلاتی را که در اثر این سیلاب به‌وجود آمد مورد بحث و بررسی قرار بدهیم از دیدگاه تاب‌آوری. حالا در اواخر سال در حقیقت پاندمی ویروس کرونا هم همه‌گیر شد و خود آن هم جزء مسائلی هست که به‌نوعی می‌توانست به تاب‌آوری مربوط بشود که ما این را در کنگره امسال به دو قسمت تقسیم کردیم که امروز صبح در رابطه با بحث کرونا نشست اول برگزار شد و در این جلسه هم با همان عنوان کلی تاب‌آوری نشست دوم را برگزار خواهیم کرد.

محترمی که اپراتور هستند این سوالات را به ما می‌دهند و تقسیم‌بندی می‌شود و مرتبط با هر کدام از سوالات که باشد، ما خدمت دوستان محترم عضو پنل می‌دهیم که پاسخ بدهند. پس بنابراین ما تقریباً ۳۰-۴۰ دقیقه این قسمت اول طول خواهد کشید و بعد هم اعضای پنل وارد بحث می‌شوند که دیدگاه‌های هم‌دیگر را نقد کنند و هم سوالات اعضای و کاربران محترمی که در جلسه حضور دارند را یک به یک مرتبط با آن سوالات مربوطه پاسخ بدهند. آقای دکتر بشیری خواهش می‌کنم بفرمایید.



دکتر بشیری:

خیلی متشکرم. عرض کنم خدمتتان که بحثی که در باب تاب‌آوری اگر ابتدأً بخواهیم شروع کنیم تاکید ما روی موضوع مبانی نظری خواهد بود. شاید دلیلش هم این است که اگر با رویکرد مبانی نظری وارد این مبحث بشویم، قاعدتا در بخش سنجش و ارزیابی، در واقع یک فرایند بهتری را خواهیم داشت. نکته‌ای که هست، مخاطرات در واقع از دیرباز در همه جوامع مشکل‌ساز بوده به‌نوعی که، هم مخاطرات طبیعی، هم مخاطرات انسان‌ساخت در جوامع روز به روز در حال افزایش هست. از این‌نظر این‌را عرض می‌کنم که درواقع یک‌سری مخاطرات ناشناخته داریم که این‌ها مثل همین کووید بود که آمد شد یک مخاطره شناخته شده. این‌ها باعث می‌شود که بلایایی که به‌صورت بش‌رساز هستند تعدادش فراتر برود و قطعاً در بحث آب و مواردی که هست چه در حوزه کمی و چه حوزه کیفی، این مسائل کاملاً مشهود هست و اثرات جبران ناپذیری گاهی بر خود زیرساخت و کالبد داره در واقع تاثیر می‌گذارد.

بحثی که مطرح هست راهکارهای خلاقانه‌ای را متخصصین امر دارند پیشنهاد می‌دهند. نمونه آن‌ها همین بحث‌هایی است مثل هوشمندسازی یا مدیریت ریسک و موارد دیگر. این‌ها برای رویارویی با عدم قطعیت‌ها به‌نوعی که در زمان بحران فروپاشی ایجاد نشود به ما کمک می‌کنند و در واقع یک رویکرد پویا در واکنش به مخاطرات، هم در شرایط عادی و هم در شرایط اضطرار است. نکته مطرح این است که این تغییرات به‌طور چشم‌گیری مخصوصاً در حوزه‌های فیزیکی و کالبدی به‌نوعی که در واقع مباحث کاهش آسیب‌پذیری و افزایش پایداری ما تغییر جهت داده به موضوعات ارتقای تاب‌آوری، نه این‌که تغییر جهت در واقع

تکمیل‌تر شده، به‌خاطر این‌که تاب‌آوری مفهومی غنی و دارای راه‌کارهای اثربخش‌تر هست، قطعاً در زنجیره مدیریت بحران توجه خاصی به آن شده، علاوه بر راه‌کارهای کالبدی و زیرساختی که فوق‌العاده در این تاب‌آوری به‌صورت جزئیات به آن پرداخته‌شده، به موضوع مشارکت مردمی و توسعه اجتماعی که می‌شود گفت در واقع یکی از وجه‌های مهم بحث تاب‌آوری هست و ظرفیت‌سازی اجتماعی به آن پرداخته شده. علاوه بر بحث‌های نهادسازی، به موضوعات سازمانی و اقتصادی به‌طور خاص پرداخته شده و در واقع می‌خواهد جامعه را ارتقاء بدهد با استفاده از ظرفیت‌های آن‌ها، قاعدتا سیستمی که این همه موضوع در آن دخیل است، تعاریف، رویکردها و شاخص‌های سنجشی متفاوتی دارد و به‌نوعی این تاب‌آوری، پدیده‌ای پیچیده، پویا، چند بعدی، چند رشته‌ای و میان رشته‌ای است.

نکته‌ای که در موضوع سامانه‌های آبفا مطرح هست این است که این تاب‌آوری می‌خواهد کمک بکند به این سامانه، هم در شرایط عادی و هم در شرایط اضطرار. مبحثی که در تاب‌آوری ما داریم، قاعدتا چندتا معیارهای بیشتری دارد، مثل robustness که قبل از این بلایا به آن رجوع می‌کنیم. این محوری که ملاحظه می‌کنید، بالای محور ما شرایط اضطرار هست، پایین محور شرایط عادی و ویژگی‌ای که تاب‌آوری دارد تا در شرایط عادی به‌ما کمک کند، تمایز اصلی تاب‌آوری است با خیلی از سیستم‌های تاب‌آوری که ما داریم ولی شما در بالای محور ملاحظه می‌کنید که در واقع بخش قبل از حوادث، بحث ثبات یا پابرجایی یا توانمندی و ماندگاری آن سیستم را داریم، در حین این موضوع ما باید یک‌سری کارها را بکنیم مثل resourcefulness یا وجهی به اسم کاردانی که قاعدتا اگر ما تدبیر این را داشته باشیم که افراد کاردان را بیاوریم در مجموعه و منابع مناسب را برای آن‌ها اختصاص بدهیم، خیلی کمک خواهد کرد در خلال آن حادثه و بعد از آن. در واقع مبحثی که ما داریم مبحث پاسخ است، در تاب‌آوری گفته پاسخ سریع، این‌که ما اگر پاسخ بدهیم، با مفهوم چالاکی، به‌صورت کاملاً سریع و با یک سیستم مناسبی ورود کنیم و در واقع این پاسخ را انجام دهیم.

بعد از حادثه هم بحث بازبایی سریع هست که در واقع بحث سرعت را اشاره کرده و درنهایت آن وجه تمایزی که هست. این‌که بحث Adaptability که در واقع این‌جا مطرح هست و Redundancy کاملاً موضوع مهمی است، استفاده از تجارب و درس آموخته‌ها خیلی خیلی مهم هست. چون فرصت کم هست خیلی سریع می‌گویم، مثلاً ما در زلزله اردبیل نمونه‌اش را داشتیم که آمدند مربای هندوانه توزیع کردند در اردبیل و اگر ما این‌ها را

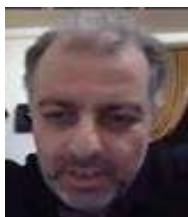
شاخص‌ها، ما همه این آیتم‌ها را داریم. خیلی جالبه هم بحث هوشمندسازی، به‌ویژه در سیستم‌های ما بحث Sabotage یا بحث درواقع این خرابکاری‌ها، بحث‌هایی که در تله‌متری مطرح هست، شهرهای حساس، همه این آیتم‌ها داخل این موضوع هست. اصلاً یک آیتمی را داریم به نام Environmental که فاکتورهایی که دارد بحث مدیریت سبز کاملاً آمده، بحث مدیریت ریسک، پایداری که باز توضیح داده شده و Robustness و Resistance. سازگاری که باز داخلش مطرح هست یا مباحثی مثل water reuse. اصلاً یکی از بعدها مصرف آب در گروه‌هایی مثل اروپا، یک گروه خیلی معروف هست در این زمینه، در آب هم خیلی کارکرده یا ولز واتر، این کاملاً هم‌سو هست، نه این‌که هم‌سو در واقع به‌نوعی داخل مجموعه تاب‌آوری هست. خیلی متشکرم.

دکتر تابش:

خیلی ممنون از توضیحات مقدماتی شما. من فقط سوالات مربوط به مهندس قانع را می‌خوانم.

سوال ۱: نظر شما درخصوص ضرورت بازنگری آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی و بهره‌برداری از تاسیسات آبفا برای ارتقای شاخص‌های عملکردی از جمله تاب‌آوری چیست؟

سوال ۷: رابطه بین اقدامات pm و cm و مدیریت دارایی، تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه و افزایش تاب‌آوری تاسیسات آب و فاضلاب هم چه رابطه‌ای با هم‌دیگر دارند و درحال حاضر این سیستم‌ها در شرکت‌های آب و فاضلاب چه‌قدر جدی گرفته شده‌اند؟



مهندس قانع:

بسم الله الرحمن الرحيم. با عرض ادب و احترام خدمت اعضای پنل و حضار محترمی که در جلسه حضور دارند. من خیلی سریع فقط مطالب را عرض می‌کنم. در بحث تاب‌آوری در سامانه‌های آبرسانی یک‌سری ویژگی در این حوزه وجود دارد که دوستان قاعدتاً استحضار دارند. گستردگی جغرافیایی، توسعه و بزرگ شدن مستمر این تاسیسات، وابستگی سایر زیرساخت‌ها به این سامانه‌ها، هم‌چنین لزوم خدمت‌رسانی پیوسته در شرایط عادی، حیاتی بودن استمرار خدمات در شرایط اضطراری و در فاز بازتوانی از ویژگی‌های این‌ها هست. چه در بخش آب، چه در بخش فاضلاب، هر دوی این‌ها وابستگی‌ها زیادی دارند و همین‌طور که مشاهده

مستند کنیم می‌بینیم که آن‌جا برای هندوانه کلی مسائل به‌وجود آورد، در حالی که ما آن‌جا نیازمان یک‌سری موارد دیگر بود. پس تاب‌آوری فوق‌العاده دارد روی این درس آموخته‌ها کار می‌کند. این جایگاه و طبقه‌بندی، همان مضامین اصلی تاب‌آوری است. ما روی این مضامین فوق‌العاده تاکید داریم، هم در مراحل قبل از بحران، هم حین بحران و هم پس از بحران.

حالت‌های عملکرد تاب‌آورانه یک تفاوتی دارد. در واقع یک تقسیم‌بندی عادی و اضطرار و نوع مهمش انتقالی است که برمی‌گردد به درس آموخته‌ها، که این باز وجه تمایزش است. بحث ثبات، پاسخ، بازیابی و سازگاری که در مبحث قبلی هم که به آن اشاره شد، خیلی نکات مهمی است که باید روی آن کار شود. اما موضوع خطرپذیری که همان لفظ ریسک است، همان مدیریت ریسک که شامل بحث آسیب‌پذیری، احتمال و پیامد که در واقع مجموعه خطرپذیری را شامل می‌شود را داخل این تاب‌آوری قرار داده و بحث افزونگی که باز یکی از موضوعات کلیدی در بحث تاب‌آوری هست که به آن ظرفیت مازاد برای حفظ کارکرد محوری می‌گویند که به یک نوعی برآیند اقدامات ما است و راجع به کاردانی هم که در واقع نکته مهمی است. این اسلاید در واقع کارکرد سیستم را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قبل از رخداد، ما Robustness را داشتیم، بعد این‌جا Resistance و جذب را داریم که گفته How Deep یعنی چه‌قدر اگر یک رخدادی انجام شد، سیستم ما دارد کارکردش پایین‌تر می‌آید و نهایتاً پاسخ سریع که گفته How Long چه‌قدر این پاسخ ما طول می‌کشد و نهایتاً How Steep بازیابی ما با چه شیبی، خواهد بود. این‌جا ریسک در همه این مراحل دارد خودش را نشان می‌دهد. بعد آن بحث سازگاری و اعاده به قبلش خواهد بود. این قسمتی که تاب‌آوری را متمایز کرده که خیلی جاها معمولاً این را لحاظ نمی‌کنند، همین بحث درس‌های آموخته شده است که باعث ارتقای سیستم ما خواهد بود، نکته مهمی است که در تاب‌آوری مطرح است که قاعدتاً بحث افزونگی و کاردانی هم مطرح شد.

اما اسلاید آخر بنده که بحث طرح‌ها و رویکردها است که قاعدتاً بحث هوشمندسازی، شهرهای حساس، مدیریت سبز و مدیریت ریسک، حد پایداری، سازگاری و بازچرخانی مطرح شده بود، به‌عنوان یک سوال که این‌ها آیا هم‌سو هستند با تاب‌آوری یا نه؟

معمولاً دوستانی که می‌آیند یک گروه را تشکیل می‌دهند بر مبنای مبانی نظری می‌خواهند ورود کنند به بحث سنجش تاب‌آوری، می‌آیند یک داناتی را آماده می‌کنند. این دانات شامل ابعاد، مولفه‌ها و شاخص‌ها است. در این ابعاد و مولفه‌ها و

می‌کنید پیامدهای خیلی زیادی هم مترتب می‌شود به این‌ها در بحث سلامتی، در بحث آب آتش‌نشانی، در موضوعات نیازهای آبی که خانوارها دارند، هم‌چنین بحث‌های کارخانه‌ها و فروشگاه‌ها و ارگان‌های دولتی. همه این‌ها پیامدهایی هستند که می‌توانند اختلال ایجاد کنند در آن زیرساخت‌ها و آن شرایط.

اما تهدیدات و مخاطراتی که در زیرساخت‌های آب قاعدتا به‌وجود می‌آید، ابتدا نتیجه این آلودگی‌ها و این اثرات می‌تواند در بحث تصفیه‌خانه‌های ما در شبکه‌های توزیع ایجاد شود، از کار افتادن سامانه‌های آبرسانی را به‌دنبال دارد و هم‌چنین طولانی شدن مدت قطع آب مشترکین و آب آتش‌نشانی، نیاز به تعمیر یا جایگزینی بخشی از سامانه‌های آبی و در نتیجه کمبود یا قطعی آب از تهدیدات این بخش هست. هزینه‌های زیادی را می‌تواند تحمیل کند به آن‌ها برای جایگزینی، تاثیر بر بهداشت عمومی، مهم‌تر از همه کاهش اعتماد عمومی، تاثیر بر سایر زیرساخت‌های وابسته و اختلال در صنعت، تجارت و کسب و کارهای دیگر می‌تواند از عوامل باشد.

در حوزه آب و فاضلاب چندتا از تعاریف را خدمتتان ارائه می‌کنم: توانایی تطبیق با تغییر شرایط و بازگشت آسان به شرایط عادی، یا توانایی، مقاومت، جذب تنش‌ها، بازیابی یا تطبیق موفقیت‌آمیز در مقابل تغییر شرایط یا وضعیت بحرانی، توانایی برگشت به حالت عادی بعد از وقوع حادثه منجر به عدم تعادل، توانایی تطبیق یا تغییر رفتار در شرایط غیرعادی با هدف حفظ کارکرد، این تعاریفی است که در این حوزه است. خدماتی که در حوزه تاب‌آوری ما باید ارائه بکنیم: حتما باید سیستم ما را مقاوم بکند و هم‌چنین به حداقل برساند زمان‌های آسیب‌پذیری را و به‌سرعت بتواند تاسیسات ما را به مدار بهره‌برداری برگرداند. این هدفی است که بالاخره از تاب‌آوری ما داریم. در شرایط عادی کیفیت خدمات ما در زمان چیز ثابتی است، اما وقتی که حادثه‌ای اتفاق می‌افتد یا بحرانی ایجاد می‌شود، شما می‌بینید که بلافاصله سطح خدمات کاهش پیدا می‌کند در این مدت زمان. ما به‌دنبال این هستیم که با استفاده از ظرفیت تاب‌آوری این سطح زیرمنحنی که این‌جا مشاهده می‌کنید را کاهش بدهیم و بتوانیم آن خدمات را در شرایط بحرانی در حداقل زمان و کیفیت داشته باشیم.

به‌خاطر همین موضوع کارهایی که در صنعت آب و فاضلاب انجام شده مرحله تهدید شناسی بوده که صورت گرفته، شناسایی سرمایه‌های آسیب‌پذیر و تعیین اثرات ناشی از آن‌ها در مرحله دوم انجام شده و در مرحله سوم هم شناسایی و ارزیابی اقداماتی که می‌توانند این خطرات را کم کنند و بعد از آن هم برنامه‌های

اجرایی و Action plan هایی که در این حوزه تدوین شده. چشم‌اندازمان هم تداوم خدمت آب و فاضلاب به‌صورت مستمر است. اهداف این موضوع افزایش تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح، ارتقای ظرفیت و قدرت مقابله در هنگام حوادث و سوانح، کاهش زمان تحقق خدمات و افزایش سرعت بازگردانی تاسیسات و شبکه پس از سوانح، افزایش بهره‌وری نیروهای عملیاتی هم یکی از این اهداف هست.

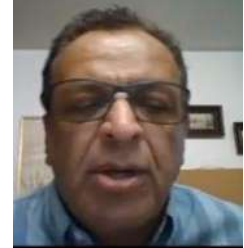
ما یک‌سری اقداماتی در این حوزه انجام دادیم. دوستان بزرگوار مطلع هستند که در طرح‌های جدیدی که می‌خواهند اعتبار دولتی بگیرند یک بسته و یا گزارش‌های توجیه پیوست این طرح‌ها وجود دارد که باید حتما اضافه شود و آن هم بحث‌های پدافند غیرعامل است، که یک تعدادی از این مخاطرات و بحث‌ها را در این می‌توانیم بگنجانیم.

اما نکته مهم این است که عمده تاسیسات ما، درصد بالایی که در حال بهره‌برداری است، نه قوانین و ضوابط مشخصی برای پایداری و کاهش آسیب‌پذیری و تاب‌آوری آن‌ها در واقع نداریم. خلاء خیلی بزرگی در این حوزه وجود دارد، به‌خاطر همین موضوع فقط همکاران ما در صنعت کاری که انجام دادند مخصوصا برای شهرهای بزرگ و بالای صد هزار نفر یک‌سری اقداماتی انجام دادند که لیستش را بزرگواران مشاهده می‌کنند که در اکثر این شهرها شناسایی تهدیدات و مخاطرات انجام شده، مطالعات تامین آب در شرایط اضطراری تقریبا برای این شهرها صورت گرفته، تهیه و پیاده‌سازی برنامه اقدام و هم‌چنین action plan بوده که برای این تعداد حدود ۷۰ درصد از تجهیزات شهرها که در داخل این‌ها هستند انجام شده و هم‌چنین تشکیل و تاثیر تیم‌های واکنش سریع، مانورهایی در این‌خصوص صورت گرفته، بیمه تاسیسات و تجهیز مراکز لجستیکی بوده که ما توانستیم هم بحث‌های برق و تجهیزات خودمان را در نقاط مختلف کشور مجهز کنیم، بحث‌های دستگاه تصفیه آب و بسته‌بندی و تامین تانکرها. ما تاکیدمان در صنعت آب و فاضلاب در تاسیسات در حال بهره‌برداری با لحاظ اصل شناسایی کلیه تهدیدات و مخاطرات برای بهینه‌سازی بوده که بتوانیم بهینه‌سازی اگر انجام می‌دهیم براساس این تهدیدها باشد. این کاری است که فقط در حوزه بهره‌برداری انجام شده و دوستان ما به‌هرحال در انجام این فعالیت هستند. من در ادامه دوستان اگر سوالی داشته باشند خدمتشان هستم، تشکر می‌کنم از توجه تک‌تک عزیزان.

دکتر تابش:

خیلی متشکر از جناب آقای مهندس قانع که سر وقت بحثشان را تمام کردند. سوال ۶ در رابطه با روش‌های عملی اندازه‌گیری

تاب‌آوری تاسیسات مختلف آب و فاضلاب هست و این که این شرکت‌ها چگونه می‌توانند به صورت نهادینه از آن‌ها بهره‌برداری کنند که از آقای دکتر کارآموز خواهش می‌کنیم که دیدگاه‌های خودشان را در این زمینه بیان بفرمایند.



دکتر کارآموز:

آقای دکتر سلام عرض میکنم خدمت شما و پنل محترم و فکر می‌کنم الان ما ۵۲ نفر هم کاربر داریم. ما الان ۸ ساله که پس از طوفان سندی، داریم روی تصفیه‌خانه‌های نیویورک کار می‌کنیم، ۱۴ تا تصفیه‌خانه هست، کارهای خیلی ارزنده‌ای شده، ۳۰ تا مقاله چاپ شده، الان من دارم یک کتاب می‌نویسم. به قول قدیمی‌ها آنچه که به خانه رواست به مسجد روا نیست. ولی در مورد بحث‌های سال‌های اخیر در ایران هیچ مشورتی نشده و واقعا حیفه. ببینید ما کارهای خوبی کردیم، دلیل این هم که روی نیویورک کار کردیم برای این که اطلاعات به ما دادند و علاقه‌مندی بود.

یک Metric ساختیم برای این که Flood Resiliency و Resource Allocation را برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانیم طراحی کنیم. خیلی‌ها هم در دنیا از این کارهایی که ما کردیم استفاده کردند. ان‌شالله در کشور هم از این استفاده شود. عرض کنم که بحث شهرهای ساحلی خیلی مهمه. ولی سیل بالاخره همه جا هست. در نتیجه ما زیرساخت‌هایی را ایجاد کردیم که بشود در مورد سیل در کشور از آن استفاده کرد. دلاپلش هم مشخص است. همه ما هم این یکی دو سال استفاده کردیم و من وارد جزئیاتش نمی‌شوم مگر این که دوستان سوالی داشته باشند. ببینید Resiliency را تعریف کردند و پارادایم فکری ما هم عوض شده الان بحث مدیریت ریسک یکپارچه مطرح است، بحث‌های قبل و بعد را آقای دکتر بشیری فرمودند، Resiliency هم تعریف‌های مختلفی دارد که حالا دوستان به آن اشاره کردند. ما آمدیم از ۴ منظر Resiliency را دیدیم، rapidity هست یا همان سرعت در برگشت، robustness هست، آن صلابتی که سیستم باید داشته باشد، redundancy هست، یعنی امکانات موازی که ما در خدمت رسانیمان خلایی ایجاد نشود، و Resourcefulness هست که آن امکاناتی که باید بالاخره هر سیستمی داشته باشد، تعریف این‌ها هم مشخص است.

یک منظری هست از گستردگی کاری که ما انجام دادیم، این ۵ تا منطقه نیویورک هست که ۱۴ تا تصفیه‌خانه در آن جا هست که خیلی هم سرمایه‌گذاری شده و می‌تواند نمونه خیلی خوبی باشد برای کارهای بهتر در ایران. این در واقع یک سری خصوصیات و آماری هست که این تصفیه‌خانه‌ها ۸ میلیون جمعیت را پوشش می‌دهند و طوفان‌های خاصی در این مدت آمده، یک طوفانی هم امسال داریم سندی، یک turning point بود در واقع برای کارهای Resiliency روی تصفیه‌خانه‌ها.

یک شمایی هست از performance base approach که ما روی تصفیه‌خانه‌ها داشتیم، چندین تز دکتری روی این مسائل الان نوشته شده است. خود واحدهای بهره‌برداری که داریم، اثر این‌ها، جایگاهی که باید اگر سیلابی بشود کدام یکی از این‌ها می‌توانند به صورت ناقص بهره‌برداری شوند و بعد هم خود اجزایی که توانستیم شبیه‌سازی کنیم و خرابی و نقص سیستم را بتوانیم هم از نظر دیدگاه مهندسی و هم دیدگاه بهره‌برداری و مدل‌هایی که در این زمینه هست بتوانیم در واقع به کمک اندازه‌گیری Resiliency یا تاب‌آوری آن سیستم‌ها و سرمایه‌گذاری روی آن‌ها استفاده کنیم. این معیارهایی هست که ما استفاده کردیم و ادامه هم دارد. ما الان داریم مدیریت دارایی را دخالت می‌دهیم، pm را قبلا دخالت دادیم، داریم اندرکنش سازه‌های دیگر را، سازه‌های برقی را که Shut down شدن آن‌ها باعث می‌شود که خود این سیستم‌های آبی که ما داریم، در آن‌ها هم اختلالات ایجاد شود. آمدیم از ساختار MCDM استفاده کردیم و resiliency را quantify کردیم در ۱۴ تا تصفیه‌خانه. این‌ها حالا در حد ۵۴-۵۵ درصد دیگر ماکزیمم بوده است.

بعد آمدیم دیدیم که اگر تخصیص منابع کنند، اگر DEP یا همان تشکیلات محیط‌زیستی نیویورک بخواهد روی این‌ها سرمایه‌گذاری کند، این چقدر می‌تواند تاثیر داشته باشد در افزایش تاب‌آوری این‌ها. یعنی resource allocation را به جای این که به عنوان چانه‌زنی در نظر بگیریم، آمدیم تاب‌آوری را حتی مقایسه کردیم با آن ارزیابی و آن تخصیص منابعی که خود DEP انجام داده. هم بحث‌های تحلیل اقتصادی بوده، هم بحث‌های بهینه‌سازی. آمدیم زیرمعیارها را در نظر گرفتیم، ارزش این‌ها را تخمین زدیم، بهینه کردیم و بعد تخصیص مالی را پیاده کردیم. این هم در واقع شیوه بهبود تاب‌آوری هست، تاب‌آوری روی کدام یک و سرمایه‌گذاری روی کدام یک تاثیر می‌گذارد. تک‌تک را بررسی کردیم و براساس آن آمدیم افزایش تاب‌آوری را در تخصیص در نظر گرفتیم. مثلا خود شهر آمده آن قدر منابع در این Bowery Bay که یکی از تصفیه‌خانه‌ها هست تخصیص داده. ما

آمدیم از دو منظر، هم از منظر حداکثر کردن کل تاب‌آوری، هم Nash Product را بررسی کردیم و بازخور هم دادیم. حالا ما با آن‌ها قراردادی نداریم ولی استفاده می‌کنند از مقالاتی که ما داریم و خیلی باهوشند. در کشور خودمان از این مسائل ما استفاده نمی‌کنیم. مورد بعد نشان می‌دهد که اگر ۱۸۰ میلیون دلار بودجه را بدهند هر کدام از این تصفیه‌خانه‌ها می‌توانند تاب‌آوری‌شان را افزایش بدهند. این می‌تواند یک پایه باشد برای تخصیص منابع. این‌هم در واقع اگر ۱۰۰ میلیون بودجه را تخصیص دهیم، حتی آمدیم شکستیم این را بین افزایش ظرفیت، افزایش پرسنل، کم کردن ریسک سیل و همین‌طور افزایش ضعف و آن بحث‌های مدیریت دارایی که بالاخره هر کدام از این‌ها چقدر می‌توانند باتوجه به این ۱۰۰ میلیون دلار، افزایش یابند.

صرفاً یک جرقه‌هایی هست که ان‌شالله در سؤالاتی که دوستان مطرح می‌کنند، می‌توانند به آن بپردازند، مقالاتش هم هست اگر جستجو کنید در google scholar حدود ۳۰ مقاله ما روی این مسائل نوشتیم، خیلی ممنون.

دکتر تابش:

با تشکر. در قسمت بعد از جناب آقای دکتر حقیقی درخواست می‌کنم که سوال ۲ و ۵ را پاسخ دهند.

سوال ۲: با توجه به مطالب مطرح‌شده در خصوص اثرات متقابل تاسیسات شهری بر روی تاب‌آوری یکدیگر به نظر شما متولی پایش و حفظ تاب‌آوری تاسیسات کیست؟

سوال ۵: در خصوص مناطق مسطح و وسیع چه راه‌کارهایی برای افزایش تاب‌آوری در شبکه‌های فاضلاب به‌ویژه برای مقابله با سیل و بارش می‌توان پیشنهاد داد؟

جناب آقای دکتر حقیقی خودشان در اهواز زندگی می‌کنند و طبیعتاً این مناطق مسطح و وسیع می‌تواند مصداق خوزستان باشد. خوشبختانه ایشان عضو تیم کارشناسی کمیته ملی سیلاب که پارسال به دستور رئیس‌جمهور تشکیل شد بودند و مطالعات خوبی در این زمینه انجام دادند که خواهش می‌کنم دستاوردهایشان را خدمت دوستان ارائه بفرمایند.



دکتر حقیقی:

بسم الله الرحمن الرحيم. من هم عرض سلام و روز به‌خیر دارم حضور حضار محترم در پنل. سعی می‌کنم خیلی سریع و بدون حاشیه وارد موضوع شوم. موضوعی که قرار شد که من راجع به آن صحبت کنم بحث اهمیت نگاه سیستمی به تاب‌آوری تاسیسات آب و فاضلاب شهری هست و این‌که بحث تاب‌آوری را آیا ما باید به‌صورت محلی نگاه کنیم یا به‌صورت سیستمی در یک شهر بینیم. تعریف‌های مختلفی در مورد تاب‌آوری هست که دوستان در ارائه‌های قبلی با جزئیات راجع به آن صحبت کردند. بحث اصلی که وجود دارد این هست که ظرفیت و توانایی سیستم را افزایش بدهیم. زمانی که با یک رویداد غیرعادی مواجه می‌شود سریع بتواند بازگشت پیدا بکند به حالت قبلی. اما این تاب‌آوری را ما چگونه با آن‌ها برخورد می‌کنیم، مثلاً برای یک شبکه آبرسانی یا شبکه فاضلاب. کاری که ما داخل دانشگاه داریم انجام می‌دهیم معمولاً به این ترتیب هست که به‌صورت محلی و جزیره‌ای شبکه آبرسانی یا فاضلاب را در نظر می‌گیریم و براساس یک سری معیارها و شاخص‌ها با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی این‌ها را در مقابل هزینه بهینه می‌کنیم، مثلاً هزینه احداث شبکه هر قدر افزایش پیدا کند، تاب‌آوری‌ش افزایش پیدا می‌کند، در یک‌جایی بالاخره به نتیجه می‌رسیم. اما واقعیت این هست که ما در یک نگاه سیستمی وقتی که به تاب‌آوری تاسیسات آب و فاضلاب نگاه می‌کنیم می‌بینیم که سایر زیرساخت‌ها و سایر تاسیسات شهری دارد به‌شدت روی تاب‌آوری تاسیسات آب و فاضلاب تاثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال اگر یک شبکه فاضلاب شهری را در نظر بگیریم، شبکه توزیع برق شهر، شبکه تامین برق شهر، بحث مدیریت و جمع‌آوری رواناب‌ها، بحث مدیریت ترافیکی و معابر شهر، مدیریت و مهندسی رودخانه برای شهرهایی که رودخانه از آن عبور می‌کند، شاخص‌هایی هستند که به‌شدت روی شبکه فاضلاب شهر یا شبکه آبرسانی شهر تاثیر می‌گذارد. یعنی هر قدر ما تلاش می‌کنیم شبکه فاضلابمان یک شبکه با اعتمادپذیری بالا باشد، و شبکه تاب‌آوری باشد، اما تصور نکنید در یک‌جایی مثل شهر اهواز که به‌تعداد زیادی ایستگاه پمپاژ وابسته است، ناپایداری در شبکه برق چگونه می‌تواند این شبکه فاضلاب را از حیز انتفاع خارج بکند و چه آسیبی به شهر می‌زند. همین قضیه برای سایر شاخص‌ها هم هست و در واقع ما در یک مدیریت سیستماتیک و شهری با اجزایی روبرو هستیم که این‌ها بودجه و اهداف جداگانه‌ای دارند و به‌شکل جداگانه‌ای دارند بهره‌برداری می‌شوند، اما به‌شدت روی هم‌دیگر دارند تاثیر می‌گذارند.

من در این وقت کم‌بیشتر می‌خواهم به ذکر چند مثال از یک کلان‌شهر بپردازم. شهر اهواز را شما ملاحظه می‌کنید رودخانه

داریم هم مربوط شرکت آب فاضلاب هستند. یعنی الزاما این اختلال و اندرکنش تاسیسات مال دو تارگان مجزا نیست. این هم یکی از چالش‌های خیلی بزرگی که ما در شهر اهواز داریم.

نکته دیگر که می‌خواهم راجع به آن صحبت کنم بحث مدیریت منابع آب سیستم کارون-دز هست. این سیستم منابع آب کارون-دز هست و مخازن بالا دست هست. ما یک مدیریت سیستماتیک و جامع منابع آبی داریم که در نهایت آب را در مخازن سدهای ما مدیریت می‌کند و به شهرهای خوزستان و شهر اهواز می‌رسد. ما الان یک سدی را داریم این‌جا تحت‌عنوان سد گتوند علیا که می‌دانیم به دلیل آن کوه نمکی، بحث شوری که هست روی کیفیت آب رودخانه تاثیر گذاشته و همین دارد بحث تاب‌آوری تاسیسات را به شدت پایین می‌آورد.

نکته دیگر بحث اختلال در شبکه توزیع برق هست. من فقط چندتا مثال را عرض کنم خدمتان. شبکه فاضلاب اهواز وابسته به ۱۵۰ تا ایستگاه پمپاژ هست، حالا شما در نظر بگیرید به علت افزایش گرما، نیاز مصرف برق یا هر ناپایداری‌ای که در شبکه برق اتفاق می‌افتد، این ایستگاه‌های پمپاژ فاضلاب از کار بیفتند و چه اتفاقی برای شهر می‌افتد.



یک مثال جالب دیگر هم برایتان بزنم که این هم یک تجربه عجیبی بود برای این استان. به علت پدیده ریزگردها که طی سال‌های متوالی ما داشتیم، این مقره‌های شبکه‌های توزیع برق گرد و غبار گرفته بودند، در بارندگی‌ای که بعد از چندسال خشکسالی در سال ۱۳۹۶ اتفاق افتاد، بارندگی که روی این گردوخاک مقره‌ها نشست، یک اتصال کوتاهی در شبکه ایجاد کرد و باعث خاموشی‌های چندروزه در شهر اهواز شد. حالا شما در نظر بگیرید ما هرچقدر شبکه آبرسانی و تصفیه‌خانه و شبکه فاضلاب قابل اعتمادی هم داشته باشیم با تاب‌آوری بالا، وقتی شبکه برق یک شهر قطع می‌شود، می‌شود تصور کرد چه اتفاقی می‌افتد.

آخرین مثالی که می‌خواهم عرض کنم خدمتان یک تجربه‌ای بود که در سیل سال ۱۳۹۸ افتاد. اینجا شما اگر دقت کنید یک مقطع تیپیک رودخانه را می‌بینید که خط قرمزی که اینجا نشان داده شده مقطع طبیعی رودخانه هست. دوتا سیل‌بند در حال حاضر داخل این شهر ساخته شده در ساحل چپ و راست رودخانه که جاده‌های ساحلی اینجا هستند و لوله‌های فاضلاب،

کارون دارد از وسط شهر می‌گذرد. شهر اهواز یک شهر مسطح هست، پهناور و مسطح به طوری که از شمال تا جنوب شهر ما ۰/۵ متر اختلاف ارتفاع بیشتر نداریم. می‌توانید تصور کنید که با چه شبکه جمع‌آوری فاضلابی برای این شهر روبرو هستیم. از طرف دیگر ما با یک شهری روبرو هستیم که به دلیل گرما نیاز به مصرف انرژی در آن خیلی زیاد هست. ای زیست‌محیطی، در مسائل ریزگردها و غیره که بیشتر راجع به آن صحبت خواهیم کرد. اتفاقاتی در سال‌های اخیر رخ داد که به شدت تاب‌آوری و اعتمادپذیری شبکه‌های آبرسانی و فاضلاب شهر را دستخوش تغییر کرد.

یکی از آن موضوعات، بحث نداشتن شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی برای شهر اهواز هست، ما این‌جا می‌خواهیم در داخل این شهرهایی که من انتخاب کردم که عکس‌های خیلی بهتری هم خودتان در اینترنت می‌توانید پیدا کنید، بحث اندرکنش شبکه فاضلاب با مدیریت آب‌های سطحی شهر را نشان می‌دهد. حالا شما فرض کنید ما بهترین شبکه جمع‌آوری فاضلاب را برای شهر اهواز احداث بکنیم با هزینه بسیار گزاف. به علتی که عرض کردم خدمتان شهر مسطح هست، ولی وقتی که شهر سیستم آب‌های سطحی ندارد، با یک بارندگی کل شبکه فاضلاب از دسترس خارج می‌شود و شبکه معابر هم به همین ترتیب. بنابراین نمی‌توانیم در مورد تاب‌آوری شبکه فاضلاب صحبت کنیم مگر این‌که مسئله آب‌های سطحی شهر را و مدیریت آب‌های سطحی را حل نکنیم. ما می‌دانیم شبکه‌های فاضلاب زیر نظر شرکت‌های آب و فاضلاب هستند، اما آب‌های سطحی زیر نظر شهرداری‌ها هستند، دو ارگان کاملا مجزا با مسائل خاص خودشان و این یکی از آن جاهایی است که در شهرهای ما مسائل زیادی را ایجاد کرده است.

یکی دیگر از موضوعاتی را که می‌خواهیم راجع به آن صحبت کنیم بحث اندرکنش شبکه‌های فاضلاب با مهندسی رودخانه و ترمیم و تصفیه آب شرب هست. در شهری مثل اهواز و خیلی از شهرهای استان خوزستان که بزرگترین رودخانه کشور دارد از این شهرها عبور می‌کند، مدیریت روخانه و مهندسی رودخانه یکی از عامل‌ها و فاکتورهای مهمی است که روی تاب‌آوری تاسیسات ما تاثیر می‌گذارد. حالا شما تصور بکنید به دلیل نداشتن ظرفیت مناسب برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، بخش قابل توجهی از فاضلاب بهداشتی و صنعتی اهواز و سایر شهرهای خوزستان در رودخانه کارون تخلیه می‌شود و ما از همین رودخانه آب را برداشت و برای آب شرب تصفیه می‌کنیم.

بینید این چقدر تاب‌آوری و اعتمادپذیری تصفیه‌خانه‌های آب ما را دارد به چالش می‌کشد. دو تا از تاسیساتی را که ما این‌جا

کولکتورها در امتداد جاده‌ای ساحلی شهر قرار دارند، ۲ تا در سمت چپ و ۲ تا در سمت راست، که به‌طور متوسط ۶ متر عمق کارگذاری این لوله‌ها است.

برای کنترل سیل اجازه داده شد تا آب تا لب به لب این سیل‌بندها بیاید و ۸ متر هد آب روی زمین طبیعی قرار داشت، این ۸ متر با آن ۶ متر یک چیزی حدود ۱۴ متر به‌مدت یک ماه هد آب روی کلکتورهای فاضلاب بود و این باعث یک نشتاب قابل‌توجه شده بود در شبکه‌های فاضلاب، به‌طوری‌که دوستانی که در شرکت آب فاضلاب بودند می‌گفتند فاضلابی را که ما از کلکتورها پمپاژ می‌کنیم در زمان سیل، ۶ برابر فاضلاب تولیدی شهر هست، شما تصور نکنید این اتفاقی که افتاد چگونه شبکه فاضلاب را از کار انداخت و بعد به‌دلیل ورود رسوبات چگونه تاب‌آوری این شبکه کمتر شد. معروف بود که مردم اهواز خیلی نگران سیل رودخانه نیستند و بیشتر نگران سیلاب فاضلاب هستند. راه‌کارهایی که وجود دارد یک‌سری راه‌حل‌های درون سیستمی وجود دارد برای تاسیسات آب و فاضلاب و یک‌سری راه‌حل‌های برون سیستمی و نگاه سیستماتیک. ما در نهایت باید دنبال پلتفرم‌ها و مدل‌هایی باشیم که بحث تاب‌آوری و افزایش قابلیت اعتماد شبکه‌های آبرسانی و فاضلاب را در غالب یک شهر، کاملاً سیستماتیک و با مدیریت جامع نگاه بکند. خیلی متشکر از توجهی که کردید، در خدمتان هستم.

دکتر تابش:

خیلی متشکر. از آقای مهندس نیک‌نام هم دعوت می‌کنم برای پاسخ به سوال سوم.
سوال ۳: ارتباط بین بودجه‌های تزریق‌شده به تاسیسات آب و فاضلاب در زمان اجرا و بهره‌برداری، با افزایش تاب‌آوری و آسیب‌پذیری این تاسیسات.



مهندس نیک‌نام:

عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت اساتید بزرگوار و تشکر می‌کنم از مطالب خوبی که ارائه شد. در واقع بحثی را که من می‌خواستم خدمت عزیزان ارائه بدهم، عمده مطالب را اساتید بزرگوار خیلی خوب پوشش دادند. سعی می‌کنم خیلی خلاصه و مفید بحث کنم.

من بیشتر نگاهم به بحث سیل و تجربه سال ۱۳۹۸ هست. همان‌طور که استحضار دارید در پایان سال ۱۳۹۷ و ابتدای سال ۱۳۹۸ عملاً دو سامانه بارشی بسیار سهمگین وارد کشور شد. متعاقب آن بحث سیل‌های فروردین ۱۳۹۸ اتفاق افتاد. تاسیسات آب و فاضلاب از این بحث سیلی که به‌وجود آمد خسارات قابل‌توجهی را متحمل شدند. بحث خسارات وارده به حوزه شهری را من خیلی خلاصه عرض کنم که چیزی حدود ۶۲۰ کیلومتر شبکه جمع‌آوری و انتقال فاضلاب، ۲۴ تصفیه‌خانه آب و آبگیر، ۴۰ دهنه چشمه، ۵ واحد مخزن، ۴۰۰ کیلومتر خطوط انتقال و توزیع آب و چیزی حدود تقریباً ۱۷۰۰ میلیارد تومان با قیمت‌های پایه انتهای سال ۹۷ خسارت به تاسیسات شهری بود.

در حوزه روستایی هم خسارت وارده به تاسیسات آب و فاضلاب، باز رقم قابل‌توجهی بود، چیزی حدود ۶۸۱ میلیارد تومان. عملاً بخش قابل‌توجهی از این خسارت‌ها با بحث تاب‌آوری ارتباط دارد و هم قابلیت پیشگیری دارد.

آن چیزی که موضوع صحبت دوستان در سوال‌های مطرح شده بود، بحث ارتباط تاب‌آوری با حوزه منابع مالی و مدیریتی در صنعت آب و فاضلاب هست. واقعیتش این است که مباحثی که در حوزه صنعت آب و فاضلاب هست عملاً مباحث خیلی گسترده‌ای است که هر کدام از این‌ها می‌تواند روی بحث تاب‌آوری تاسیسات تاثیرگذار باشد. یکی از موارد اصلی قضیه مدیریت واحد شهری هست که در ارائه آقای دکتر حقیقی به‌خوبی به آن اشاره شد. در تجربه سیلاب‌ها در شهرستان‌ها، در شهرهای کشور علی‌الخصوص در شهر شیراز ما هم شاهد بودیم که اتفاقی که افتاده بود در بحث جمع‌آوری سیلاب‌های شهری، بحث شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب که مسائل زیادی را به‌وجود آورد، بالاخره نقیصه‌ای هست که وجود دارد در بحث مدیریت واحد شهری.

بحث یکپارچگی شرکت‌های آب و فاضلاب را از این نظر آوردم چون بحث نوبی هم هست که عملاً بخش زیادی از منابع مالی هست، انرژی هست، توان مجموعه شرکت‌های آب و فاضلاب در این بخش، بالاخره بعد از یکپارچه‌سازی شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی در حوزه روستایی قرار می‌گیرند. حوزه روستایی بسیار گسترده، متعدد و هزینه‌بر هست، با زیرساخت‌هایی بسیار هزینه‌بر و در واقع با آن تاب‌آوری‌های خیلی پایین‌تر نسبت به تاسیسات شهری که قطعاً مشکلات مدیریتی را در این حوزه بیشتر خواهد کرد. بحث تعرفه‌ها و اقتصاد آب هست که همان‌طوری که دوستان هم اشاره فرمودند، شرکت‌های آب و فاضلاب به‌دلیل ساختار مدیریتی که دارند از نظر بحث تعرفه‌ها و اقتصاد آب، خیلی آسیب‌پذیر هستند. بدین جهت که تعرفه‌های

خدمات آب و فاضلاب معمولاً در یک فرایند حکومتی اتفاق می‌افتد، تصویب و ابلاغ می‌شود. ولی بحث هزینه‌های شرکت‌ها و قیمت تمام‌شده خدمات و هزینه‌های فروش عملاً در بحث تورم و آن شاخص‌های ناپایدار اقتصادی که در بازار حاکم است اتفاق می‌افتد، منجر به این می‌شود که عملاً در بحث تعرفه‌ها در حال حاضر قیمت متوسط تمام شده یک مترمکعب آب در حوزه شهری یک چیزی حدود ۱۵۰۰ تومان و در حوزه روستایی ۲۵۰۰ تومان است. از طرفی قیمت فروش در حوزه شهری به‌طور متوسط حدود ۵۰۰ تومان که برابر یک سوم قیمت تمام شده است و در حوزه روستایی حدود ۳۰۰ تومان که حدود ۱۲ تا ۱۳ درصد قیمت تمام شده را پوشش می‌دهد. ولی از آن جایی که شرکت‌های آب و فاضلاب نهادهای خدماتی هستند و مباحث اجتماعی و سیاسی و خدماتی بر مباحث سودآوری تقدم دارد، شاید بحث تعرفه‌ها با آن شرایطی که هست نیازمند یک بازنگری جدی باشد. اگر این اتفاق نیفتد عملاً در بسیاری از موارد در حوزه خدمات و نگهداری تأسیسات آب و فاضلاب که به‌هرحال تأسیساتی بسیار پرهزینه، مستهلک و عمدتاً فرسوده هستند، بسیار کار سختی خواهد بود. بحث تأمین منابع مالی جدید و پایدار، متعاقب بحث یکپارچگی شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی و شهری عملاً بخش قابل توجهی از هزینه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی از تأمین ساختار دولتی قطعاً حذف خواهد شد. این نیازمند این است که قاعده‌تأمین منابع مالی جدیدی برای این شرکت‌ها تعریف بشود.

در نهایت بحث پنجم بحث استهلاک بالای تأسیسات آب و فاضلاب است. مطابق برآوردی که در سال ۱۳۹۸ انجام شد یک چیزی حدود تقریباً ۲۰۰ هزار میلیارد تومان ارزش تأسیسات آب و فاضلاب در کشور است. این بخش بسیار بخش فرسوده و آسیب‌پذیری است که در شرایط الان در بسیاری از موارد به‌خصوص در حوزه روستایی عمدتاً تاب‌آوری و ظرفیت پاسخگویی را در حوزه خدمات‌رسانی در بسیاری از مواقع را ندارند. در حوادثی مشابه سیلاب که به کرات در کشور اتفاق می‌افتد و بسیار هم درصد فراوانی آن بالا هست، بحث آسیب‌پذیری تأسیسات در بخش زلزله و ... هم وجود دارد. اگر سوالی هست در خدمتم.

دکتر تابش:

من قرار است در رابطه با سوال ۴ مطالبی را خدمت دوستان عرض کنم.

سوال ۴: مدیریت مصرف و فشار آب در شبکه‌های آبرسانی چطور می‌تواند بر افزایش تاب‌آوری شبکه تاثیرگذار باشد و چه راه‌کارها

و دستورالعمل‌هایی وجود دارد؟

همان‌طور که می‌دانید در رابطه با این بحث در قالب ایجاد دفاتر مربوط به مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد در شرکت مهندسی آب و فاضلاب و شرکت‌های تابعه، تقریباً از سال ۱۳۷۳ این کار در کشور ما شروع شد و خود من هم از حدود ۲۵ سال پیش کار تئوریک را روی این قضیه شروع کردم. دوستان کتاب مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب را که من تهیه کرده‌ام اگر دیده باشند یک فصلی دارد که به‌صورت جامع روی همین مباحث صحبت می‌کند. هم‌چنین شاخص‌هایی مثل قابلیت اطمینان، تاب‌آوری و غیره. دانشجویان ما در دانشگاه تهران پایان‌نامه‌ها و مقالات متعددی را در این زمینه داشتند و خوشبختانه ما توانستیم با استفاده از نتایج آن‌ها تعدادی دستورالعمل و نشریه در این رابطه تدوین کنیم که از جمله آن‌ها نشریه ۵۵۶ که به آب بدون درآمد و بحث مدیریت فشار می‌پردازد و هم‌چنین نشریه ۱۱۷-۳ با چند بازنگری که روی آن انجام شده و مواردی از بحث مدیریت مصرف که در آن وجود دارد جزو این نتایج هستند.

من به‌طور خلاصه خدمت دوستان می‌گویم که در رابطه با مدیریت مصرف، در حال حاضر ما به‌نحوی داریم در کشورمان جلو می‌رویم که متأسفانه منابع آب کافی نداریم، حالا از یک دیدگاهی شاید افزایش تاب‌آوری را بعضی به افزایش منابع برای مصرف تعبیر بکنند ولی در کشور ما صرفاً با سیاست‌های مدیریت تقاضا و مصرف و کاهش مقدار مصرف برای یک فعالیت مشخص است که ما می‌توانیم سیستم خود را تاب‌آور بکنیم. برای این که منابع آب ما محدود هستند و جمعیت ما مدام رو به افزایش است. پس راه‌کار مصون‌سازی و افزایش تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب ما بحث مدیریت مصرف هست که از این‌نظر در کشور کارهای مقدماتی آن شروع شده ولی هنوز اراده خیلی جدی وجود ندارد. همان‌طور که می‌بینید طرح‌هایی با هزاران میلیارد تومان بودجه مرتب افتتاح می‌شوند یا در مملکت روی آن‌ها صحبت می‌شود و با بودجه‌هایی به مراتب کمتر از این‌ها روی بحث مدیریت مصرف اقدامات لازم انجام نمی‌شود. بنابراین در این زمینه مدیران محترم باید تلاش بیشتری را داشته باشند.

اما در شبکه‌های فاضلاب، مدیریت مصرف آب می‌تواند عواقب جانبی داشته باشد. یعنی تاب‌آوری شبکه‌های فاضلاب را کمتر بکند. ما یک مقاله‌ای در جلسه ارائه‌های شفاهی داشتیم که تحلیل کرده بودیم به‌چه صورت کاهش مصرف آب منجر به کاهش تولید فاضلاب می‌شود و می‌تواند تاب‌آوری شبکه‌های فاضلاب را کم کند. دوستان می‌توانند به آن مقاله رجوع بکنند.

اما در رابطه با فشار آب، دوستان می‌دانند که هدف مدیریت فشار این هست که فشار را به حداقل ممکن کم کند که بحث‌های تبعات آن من جمله افزایش مصرف ناخواسته یا افزایش حوادث و نشت را کنترل بکند. اما از طرفی اگر ما فشار را به حداقل ممکن کاهش دهیم در مواقعی که حادثه و مشکلی برای شبکه آب پیش می‌آید فشار از حد استاندارد خودش پایین‌تر می‌افتد و باعث می‌شود بخشی از مصرف‌کننده‌ها به مقدار آب مورد نیاز خود دسترسی پیدا نکنند. به همین خاطر لازم هست که با دیدگاه تاب‌آوری ما به حداقل فشار استاندارد مقداری را اضافه کنیم که این مقدار بتواند افت ناشی از حوادثی که به صورت طبیعی و با نرخ طبیعی در شبکه‌های آب اتفاق می‌افتد را پوشش بدهد و آن فشار باقیمانده از حداقل فشار استاندارد کمتر نشود. این‌ها در مقالات و صحبت‌هایی که از طریق اینجانب و دانشجویهای من انجام شده به‌وفور قابل‌دسترس هست و من علاقمندان را دعوت می‌کنم که آن‌ها رو ببینند و این دو تا نشریه که ذکر شد به عنوان دو تا دستورالعمل هستند و یک سری موارد جانبی هم هست که از طریق دفتر مدیریت مصرف و کاهش هدر رفت آب در شرکت مهندسی آب و فاضلاب به کمک دوستان روی این قضیه کار شده است. همچنین در کمیته تخصصی تلفات آب انجمن آب و فاضلاب هم روی این دستورالعمل‌ها دارد کار می‌شود که انشاءالله امیدواریم با همّت سازمان برنامه و دفتر استانداردهای وزارت نیرو، در دستورالعمل‌های موجود هم بتواند اصلاحات لازم با این دیدگاه جدید به عمل بیاید.

همه دوستان یک دور صحبت کردند. فقط سوال ۸ مانده است. از آقای دکتر بشیری خواهش می‌کنم در رابطه با این که آیا طرح‌های جدیدی مثل هوشمندسازی، بازچرخانی، تله متری و ... در راستای افزایش تاب‌آوری هستند یا خیر؟ نظرات خود را بیان کنند. از دوستان نیز خواهش می‌کنم نظرات و سوالات خودشان را در قسمت چت وارد کنند که من این سوالات را از اعضای پنل بپرسم.

دکتر بشیری:

یک نکته‌ای این‌جا خودش را نشان می‌دهد؛ در صحبت‌های آقای مهندس نیک‌نام این‌را دیدم که چه نیازی بود که تاب‌آوری وارد بحث‌های مدیریت شهری و زیرساخت و حوزه اجتماع شد؟ حالا می‌دانید که این بحث در ابتدا از حوزه روانشناسی آمده بود. اصلاً آمد که یک مشکلی را حل بکند و علی‌رغم وجود مدیریت ریسک و آسیب‌پذیری و کاهش آن و حد پایداری، مبحث جدیدی را به نام تاب‌آوری با این توضیح مطرح کرد: تاب‌آوری مفهومی است در گذر از مفاهیم پیشین به این معنی که آمده تا موضوعاتی را به

مفاهیم پیشین سازگاری که هرکدام گستردگی زیادی دارند اضافه کند. در بحث آب و فاضلاب این موضوعات خود را در بحث تاب‌آوری نشان می‌دهند. برای مثال در بحث هوشمندسازی و چرخه‌های حساس دیروز پایان‌نامه دکتری را مرور می‌کردم که در آن به‌طور کلی وارد حوزه تاب‌آوری شده بود و به تفاوت بین آن‌ها می‌پرداخت که این نکته بسیار مهمی هست. تاب‌آوری آمد که دسته‌ای از مسائل را جامع کند و بگوید که در شرایط عادی و شرایط اضطرار هوشمندسازی و مدیریت ریسک کنیم و حد پایداری و سازگاری را بدانیم و بازچرخانی و استفاده مجدد از آب را رعایت کنیم. همه این‌ها را باهم به صورت جامع دید که بتواند این دונاتی که در نمودار سمت راست پایین ملاحظه می‌کنید را به وجود بیاورد. آن‌ها را سنجش بکند و یک امتیازی بابت آن بگیرد. سوال‌هایی را همراه با خود به وجود بیاورد. برای مثال استفاده مجدد از آب چه تأثیری می‌تواند بر فرهنگ مردم داشته باشد. مثلاً نرم‌افزارهایی داریم مثل DEMATEL که اثرگذاری و اثرپذیری یک‌سری پارامترها را بررسی می‌کند. در واقع تاب‌آوری آمد که این دسته ارتباط‌ها را نشان دهد که امتیازی که بابت تاب‌آوری برای یک شهر یا یک سیستم و یا زیرساخت می‌دهیم مجموعه‌ای است از همه این‌ها. یعنی اثری که یک بازچرخانی یا مسائل مربوط به هوشمندسازی یا خرابکاری در سیستم به وجود می‌آورد، یا یک خطای انسانی چه تأثیری در سیستم می‌تواند داشته باشد. در واقع مجموع این‌ها که هر کدام یک عدد خاصی برای آن گذاشته می‌شود و هرکدام از این عددها اثرات خاصی روی سیستم دارند. مثلاً با روش میانگین فاصله از حد بهینه این را تعیین می‌کنند و نهایتاً می‌گویند که فاصله ما با حد جوامع تاب‌آور این هست و در نهایت ما تاب‌آوری را آوردیم که بگوییم همه این موضوعات مثل هوشمندسازی، تله متری، شهرهای حساس، مدیریت سد و بحث‌های دیگری که مطرح هستند به یک نوعی در دل موضوع تاب‌آوری بوده و جوامعی که به دنبال مبحث تاب‌آوری هستند فقط و فقط نگرش آن‌ها این است که بتوانند یکپارچه همه این مفاهیم را که تا به الان توسط متخصصان مطرح شده بود را با هم داشته باشند. خیلی متشکرم.

دکتر تابش:

سولاتی که رسیدند یکی از آقای مهندس قانع و دو تا از آقای دکتر کارآموز هستند. از آقای مهندس قانع سوال شده که آیا رویکرد شرکت‌های آب و فاضلاب روی تاب‌آوری شبکه‌های فاضلاب هم هست یا فقط روی شبکه‌های آب متمرکز شده است؟

استفاده کردیم. از مدل‌های آماری برای تعیین بار مقاومت استفاده کردیم و روش‌های بهینه سازی.

سوال شده که آیا این‌ها اصلاً برای ایران قابل تعمیم هستند؟ اکثراً دوستان خودشان تجربه داشتند. وقتی شما مقاله‌هایی را در ژورنال‌های سطح بالای دنیا مثل: Water Resource Research بررسی کنید این‌ها می‌خواهند که مقاله شما قابل تعمیم باشد نه تنها برای نیویورک بلکه برای دنیا. برخورد ما هم همین بوده. تمام این‌ها برای ایران قابل تعمیم بوده و مشکل کمبود اطلاعاتی را ما حل کردیم. آن‌هایی که در CP نیویورک هستند می‌دانند که بنده ایرانی‌ام و خیلی با ایرانی‌ها بد رفتار می‌کنند ولی ما توانستیم اطلاعات بگیریم برای این که تفکر آن‌ها چیز دیگری است. در ایران هم ما اطلاعات زیاد داریم. اگر بالاخره قصد تحولی باشد امکان‌پذیر است. آقای دکتر اردکانیان بیشتر هر کس دیگر بنده را می‌شناسد و می‌داند که ما داریم چه کار می‌کنیم. ولی ایشان آن قدر درگیر مسائل سیاسی هستند که متأسفانه نتوانسته این ارتباط را برقرار بکند.

سوال شده که سیلاب‌های سال ۱۳۹۸ با بودجه‌های قابل‌توجهی که داده شده آیا می‌تواند کمک کند که در سیلاب‌های بعدی روی تاب‌آوری‌ها غافل‌گیر نشویم؟

من خودم گزارش را ندیدم که این باعث تأسّفه. برای این‌که در پنل‌های بین‌المللی مثل سیلاب‌های کاترینا در لوئیزیانا من خودم جزو پنل متخصصینی بودم که از دنیا روی آن اظهار نظر می‌کردند ولی قطعاً من تصور می‌کنم کارهای خوبی انجام شده و باید بشود که انشالله در سیلاب‌های بعدی از آن‌ها استفاده کرد ولی همه‌اش یک قصد سیاسی می‌خواهد که ما همه افراد بهتری باشیم و انشالله این گسترش پیدا می‌کند.

عرض کنم که دیگر صحبت‌هایی که شده همین چیزهایی هست که چون این قراردادی نبوده آیا این کارها را می‌شود در ایران انجام داد؟

بله می‌شود انجام داد و هزینه زیادی هم ندارد و هرچه هم ما هزینه کردیم روی تربیت دانشجویهای کارشناسی ارشد و دکتری بوده و اگر از کارهای من استفاده نمی‌شود حداقل از کارهای آن‌ها استفاده بشود.

دکتر تابش:

یک سوالی شده فکر کنم آقای مهندس قانع و مهندس نیک‌نام بتوانند جواب بدهند. سوال این است که با توجه به بحث‌هایی که اینجا شد جایگاه سازمان مدیریت بحران کشور و دفتر بحران وزارت نیرو در این موضوع کجاست؟



مهندس قانع:

ببینید تا الان بحثی که انجام شده شاید تمرکز روی حوزه آب بوده و برنامه‌هایی که من عرض کردم، تهدیدشناسی که انجام شده و بر اساس آن تهدیدها شناسایی ابزارهایی که می‌تواند این تهدیدها را کاهش بدهد و کارهایی که انجام شده عمدتاً تمرکز روی آب بوده است. اما به نوعی برخی از آن اقدامات فرض کنید الان کاهش آسیب‌پذیری را در خصوص قطع برق که یک تهدید بزرگ است داشته باشیم؛ این قطع برق نیاز به این بوده که بحث‌های برق اضطراری تأمین بشود که هم در آب کاربرد داشته و هم در ایستگاه پمپاژ فاضلاب به‌خوبی دیده شده است. ولی نکته‌ای که آقای دکتر حقیقی هم به‌خوبی اشاره کرد در تجربه اهواز این است که ما واقعاً خارج از حوزه خودمان این تهدیدها را کاهش بدهیم. یکی از چالش‌هایی هست که الان با آن مواجه هستیم. یعنی ما هیچ وقت نیامدیم بگوییم که این بحث فاضلاب می‌تواند آب سطحی ما هم در آن تأثیر گذار شود و به‌نوعی برویم وارد بحث با شهرداری بشویم برای ایجاد سامانه‌های آب سطحی. خیلی به این‌ها نگاه نشده و تا به الان تمرکز عمدتاً در حوزه آب بوده است.

سوال از آقای دکتر کارآموز: پرسیدند که امکان‌ش هست روش‌ها و نرم‌افزارهای کار خودتان را بفرمایید؟

دکتر کارآموز:

سوال شده که در واقع روش‌ها و مدل‌ها چی هست؟ من گفتم توصیه کردم حتی اگر شما بروید گوگل اسکالر، در همین سال ۲۰۲۰ ما چندین مقاله داشتیم که تمام روش‌ها و کارهایی که ما کردیم اونجا مستند شده است. آن‌ها را اگر خواندید باز هم می‌توانید تماس بگیرید. حدود ۲۰ نفر دانشجو کارشناسی ارشد و دکتری در کشور کار کردند و ظرفیت‌سازی شده. یعنی فقط کار روی نیویورک به خاطر این بوده که ما بتوانیم اطلاعات بگیریم و به کمک DEM و برنامه‌های دیگر بتوانیم استفاده کنیم. برنامه‌هایی که به طور اخص استفاده کردیم در داخل تصفیه‌خانه ما از برنامه ASM2d استفاده کردیم که اثر سیلاب را روی خود آن فرایند بیولوژیکی بررسی می‌کند و از روش‌های MCDM

مهندس قانع:

ساختار وارد نشده است. می دانم که این ابلاغ شده به سازمان‌ها ولی در حال حاضر فعلاً تاب‌آوری هیچ دستورالعمل خاصی در سازمان‌ها ندارد و یک موضوع داخلی شده ولی قانون جدید سازمان مدیریت بحران کشور که ماه ۳ سال ۱۳۹۸ ابلاغ شد و ماه ۶ توسط رئیس‌جمهور به تمامی وزارتخانه‌ها اعلام شد، مبحث تاب‌آوری به‌طور کامل در قانون مطرح شده است. بحث هوشمندسازی قاعدتاً یک‌سری شیوه‌های خاصی دارد. من حالا نمی‌دانم به شیوه تبلیغ هست یا نه. ولی ما پنجشنبه یک کارگاهی هم داریم؛ احتمالاً آن‌جا یک‌سری مطالبی ارائه خواهد شد. ولی قطعاً همه بزرگواران می‌دانند که سیستم‌های هوشمند هم می‌توانند یک‌سری اطلاعات را راجع به بحث تقاضای آب و تجزیه و تحلیل داده‌هایی که در حوزه تقاضای آب و کیفیت آب و وضعیت آب و هوای منطقه و اقلیم و همچنین بحث‌های حوزه‌های انرژی هستند را جمع‌بندی می‌کند. به شیوه‌هایی با رویکرد اینترنت اشیا یا remote sensing ورود می‌کند. هم در حوزه‌های GIS و هم مدرن‌سازی شبکه ورود می‌کند. این کارها را به شیوه بهینه‌سازی این مدل‌ها انجام می‌دهد. قاعدتاً من فکر می‌کنم الان فرصت ارائه این موضوعات نیست. ولی مقالاتی در این حوزه‌ها وجود دارند. همچنین این‌که یک بعد خاصی از حوزه تاب‌آوری حتماً روی بحث سیستم‌های هوشمند تأکید دارد. خیلی متشکرم.

دکتر تابش:

خیلی ممنون و متشکر. جناب آقای دکتر عابدینی می‌خواستند یک سوال را به صورت شفاهی مطرح بکنند.

آقای دکتر عابدینی:

من استفاده بردم از توضیحاتی که عزیزان دادند و یک اعترافی هم می‌خواهم بکنم که این مفاهیم تاب‌آوری یا Reliability یا آنالیز ریسک عبارات علمی‌ای هستند که خیلی روی آن‌ها اجماعی نیست، مخصوصاً بحث تاب‌آوری. اگر من با یک زبان ساده‌ای که یک مقداری بخواهم درجه‌ای برای عزیزان باز بکنم که یک مقداری روی این تاب‌آوری به زبان خیلی ساده با چهار تا عدد بخواهم بگویم؛ این هشت تا عدد را نگاه کنید لطفاً؛ اگر چنان‌چه من بروم سه تا شاخص را برای این چهار تا عدد حساب بکنم، میانگین، میانه و مد. این سه مقدار را اگر چنان‌چه برای این چهار تا عدد حساب کنم می‌بینم که مد برابر ۵، میانگین برابر ۴/۳۷۵ و میانه هم برابر ۴/۵ می‌شود. حالا اگر به‌ر دلیل یکی از این اعداد، مثلاً عدد آخری، به‌جای این که هشت خوانده بشود، ۸۸ خوانده شود و بعد من مجدداً این اعداد را به مشارکت بگذارم و از دوستان بخواهم که این سه تا شاخص را حساب کنند خواهند گفت که

من فقط اشاره کنم حالا سازمان مدیریت بحران کشور به‌دلیل این‌که ساختارش متأسفانه دستخوش خیلی از تغییرات شده و قانون آن چند سالی هست که قانون موقت است، با چالش مواجه است و ذاتاً دارای مشکلات اساسی هست و طی این سال‌ها هم خیلی موفق نبوده چون منابعی که باید در اختیار این سازمان قرار بگیرد اختیارش در حوزه سازمان برنامه و بودجه کشور هست و خیلی اختیار آن چنانی ندارد. ولی مهم‌تر از همه آن‌که به‌نظر من چالش اصلی ما این است که خیلی این ادبیات تاب‌آوری در حوزه‌های سیاسی نتوانسته آن جایگاه خودش را داشته باشد. اگر حداقل کاری هم در دستگاه‌های اجرایی و فنی انجام می‌شود به‌دلیل این است که شاید یک کمی از مسائل سیاسی فاصله دارند. وزارت نیرو هم بالاخره یک ارگان سیاست‌گذار است. اما مجری همه این موضوعات شرکت‌های آب و فاضلاب ما هستند که باید در داخل این شرکت‌ها این مفاهیم نهادینه بشوند و چون منابع هم در اختیار خود آن‌هاست و نتایج حاصل از این اقدامات چون می‌تواند در خود این شرکت‌ها به‌گونه‌ای که وقتی که عملیاتی شد توجیه اقتصادی پیدا بکند، آن‌ها باید به اصطلاح دخالت بکنند و خودشان متولی استقرار این سامانه‌های تاب‌آوری باشند، وگرنه این دو تا واحد، از دور دستی بر آتش دارند.

دکتر تابش:

خیلی متشکر. چند تا سوال از آقای دکتر بشیری شده که با هم آن‌ها را می‌خوانم. هوشمندسازی برای افزایش تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب به‌چه روشی است؟ هوشمندسازی کدام زیرساخت‌های شبکه مدنظر است؟ هوشمندسازی شبکه‌های فاضلاب به‌چه شکلی امکان‌پذیر است؟



دکتر بشیری:

خیلی متشکرم آقای دکتر. من عضو شورای مدیریت هماهنگی مدیریت بحران شهر تهران هستم و فقط اجازه دارم خیلی مختصر یک نکته‌ای را خدمتان عرض کنم. قانونی که امسال در مدیریت بحران کشور ابلاغ شد یک آئینی به آن اضافه شده است به اسم تاب‌آوری که اصلاً در تعریف این خود تاب‌آوری آمد ولی هنوز در

ASM2d مخصوص تصفیه‌خانه‌ها هست و فرایندهای بیولوژیکی را تحت تأثیر سیل یا آب‌گرفتگی در نظر می‌گیرد. ما از محیط R استفاده کردیم که یک Library خیلی قوی‌ای دارد که شما می‌توانید از آن استفاده کنید.

دکتر تابش:

متشکر. سوال بعدی از آقای دکتر حقیقی هست. با توجه به این که خود شما هم در اهواز شاهد سیل بودید و هم در کمیته ملی سیلاب کار کردید آیا فکر می‌کنید عملکرد شرکت‌های آب و فاضلاب به این سمت می‌رود که از این تجربه سیلاب درس بگیریم و شبکه‌های آب و فاضلاب را به‌خصوص در خوزستان تاب‌آورتر بکنیم یا در هنوز بر همان پاشنه قدیم می‌گردد و این مباحث می‌آید و می‌رود و آن جمله‌ای که همگی فرمودید: Lessons to be learnt فراموش می‌شود و آن درس‌های لازم گرفته نمی‌شود؟

دکتر حقیقی:

این سوال سختی است. اگر براساس تجربیات گذشته باشد جواب من منفی است. نه متأسفانه به‌نظر من ما درسی نگرفتیم و اتفاقاتی که افتاده در سیل گذشته همان ظرفیت و همان تاب‌آوری که تأسیسات قبل از سیل داشتند به مراتب کمتر شده و من فقط دعا می‌کنم که سیل دیگری اتفاق نیفتد و از آن اتفاقات همان بحث ریزگردها و روان‌آب‌های خیلی شدید را داریم. علتش را هم که من عرض کردم خدمتان این است که ما چون نگاه سیستماتیک نداریم تمام بحث‌ها سر این است که چگونه شبکه فاضلاب را نوسازی کنیم. کلی دارند تلاش می‌کنند که بودجه جمع شود ولی واقعیتش این است که کسی سراغی از سیستم آب‌های سطحی نمی‌گیرد. تا آن جایی که ما صدامون شنیده می‌شود و می‌توانیم حرف بزنیم گفتیم اول تکلیف سیستم دفع آب‌های سطحی را روشن کنید بعد به شبکه فاضلاب بپردازید. برای همین من امیدوارم بالاخره یک‌روزی این مباحث که دارد مطرح می‌شود و این درس‌آموخته‌ها از سیل و سایر چالش‌های زیست‌محیطی که در کشور ما بوده واقعاً یک جایی تبدیل بشود به یک درس عملی و ما تجربه‌ای را به عینه ببینیم. ولی فعلاً واقعیتش خیلی خوشبین نیستیم.

دکتر تابش:

حالا اگر که این دستاوردهای کمیته ملی سیلاب را صرف‌نظر از شرایط خاص اهواز در رابطه با افزایش تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب بخواهید در چند بند ۱-۲-۳ بشمارید، آن توصیه‌هایی که کمیته کرده حالا صرف‌نظر از این که چقدر اجرا می‌شود یا نه،

این اعداد به این صورت در می‌آید نتیجه کار: اگر چنانچه به‌این سه تا عدد روی تابلو نظری بیفکنید می‌بینید که مد تغییر نکرده، میانه هم تغییری نکرده ولی میانگین برابر ۴۲/۳۷۵ شده است. اصطلاحاً می‌گوییم در این داده‌ها میانگین نسبت به out layer مقاوم نیست ولی مد و میانه به لحاظی که تغییر نکردند به عدد out layer برابر ۸۸ حساس نیستند.

بیاید این را به عبارتی که در کشور مصطلح هست تحت‌عنوان اقتصاد مقاومتی تسری بدهید و بعد هم قطعاً می‌توانید روی شبکه‌های آب و شبکه‌های توزیع هم شاخص‌هایی را شناسایی کنید که نسبت به اتفاقات ناگواری مثل سیل و زلزله و ... که روی آن‌ها می‌افتند مقاوم باشند. ما در اقتصاد مقاومتی می‌گوییم که باید مثلاً از نفت، رو بیاوریم به مثلاً گردشگری. می‌دانید این نفت باید یک‌جایی فروخته بشود تا نهایتاً از بابت فروش این، چرخ اقتصاد کشور بچرخد. ولی اگر چنانچه به‌جای این بگوییم که بیاوند داخل کشور ارز را بیاورند و گردشگری را ترویج و تشویق بکنند، این یک‌جوری در راستای اقتصاد مقاومتی ارزیابی می‌شود. من عذرخواهی می‌کنم مد ۵ هست، میانگین ۴/۳۷۵ است که به‌خاطر عوض شدن ۸ به ۸۸ میانگین به ۴۲/۳۷۵ ارتقا پیدا کرده است و اصطلاحاً می‌گوییم که میانگین به out layer تاب‌آور نیست. از این که وقت عزیزان را گرفتم عذرخواهی می‌کنم و می‌خواستم بگویم در شبکه‌های آب و توزیع ما باید دنبال پارامترهایی باشیم که بتوانند نسبت به این اعوجاجات و اختلالاتی که در شبکه ایجاد می‌شود مقاوم باشند و بتوانند به آن شاخص‌ها از عملکرد شبکه و از تاب‌آوری شبکه صحبت کنیم. از حوصله همگی سپاسگزار هستم.

دکتر تابش:

خیلی ممنون. یک سوالی از آقای دکتر کارآموز شده که آیا امکان استفاده از نرم‌افزارهای تاب‌آوری شبکه مثل WNTR برای شبکه‌های فاضلاب هم هست یا نه؟ و این نرم‌افزارها ورودی دیتای فاضلاب را ساپورت می‌کنند یا خیر؟



دکتر کارآموز:

من خدمتتان عرض کردم ما از ASM2d استفاده کردیم. این نرم‌افزار را حالا من به‌دلایلی هنوز اسمش را نشنیدم نرم‌افزار

می‌توانید به‌طور خلاصه برای آشنایی دوستان بفرمایید.

دکتر حقیقی:

آقای دکتر آن کمیته در واقع زیرکمیته‌های متنوع و زیادی داشت و یکی از آن زیرکمیته‌ها، زیرکمیته زیرساخت‌ها بود که دکتر آفاکوچک از دانشگاه تربیت مدرس مسئول این قسمت بودند و بحث تأسیسات آب و فاضلاب در ذیل کمیته زیرساخت‌ها بود. هدف اصلی این کمیته این بود که ما اول روایتی از سیل داشته باشیم که بخش قابل توجهی از تلاش آن کمیته به این مسئله معطوف شد که چه اتفاقی افتاد. چون سیلی که اتفاق افتاد و عواقبش و آسیب‌هایی که زد در استان‌های ما متفاوت بودند، در خوزستان به یک شکل بود، در لرستان به یک شکل، در فارس به یک شکل، در شمال کشور به یک شکل. به‌هر حال یک بحث خیلی مفصلی داخل آن گزارش شده که من فکر می‌کنم آن گزارش یک نسخه خلاصه‌اش هم منتشر شده بود که به‌صورت عمومی و قابل رؤیت هست. اما یک قسمت دیگری بعد از روایت، بحث درس‌آموخته‌ها بود که ببینیم که چه اتفاقی افتاده و ما در واقع چه می‌توانیم درس بگیریم از این اتفاقات و بیشتر روی جنبه‌های مدیریتی تأکید داشت. اما واقعیتش این هست که اگر بخواهیم یک جمع‌بندی کلی داشته باشیم که چرا ما تأسیساتمان آن‌قدر در مقابل سیل سال ۱۳۹۸ ضعیف عمل کردند علت اصلی‌اش این بود که این تأسیسات فرسوده و قدیمی هستند و عمر آن‌ها عمدتاً به پایان رسیده و نزدیک به ۱۰ سال خشکسالی که در کشور حاکم بود تقریباً می‌شود گفت همه ما را دور کرد و فراموش کرده بودیم که بالاخره بحث خشکسالی و سیلاب یک تیک‌تاک هستند. یعنی وقتی که ما از تغییرات اقلیمی صحبت می‌کنیم فکر می‌کنیم فقط خشکسالی آن نصیب ما شده، در صورتی که از شاخص‌های این تغییرات اقلیمی این هست که ما یک دوره‌هایی خشکسالی شدید داریم و یک دوره‌هایی ممکن است با ترسالی روبرو بشویم. من فکر می‌کنم مهم‌ترین جنبه‌ای که این گزارش در نهایت به نتیجه رسیده بود این هست که در شرایطی که درگیر ترسالی‌ها هستیم فراموش نکنیم که خشکسالی‌هایی هم در پیش هست و باید آماده باشیم برای آن. دوره‌هایی هم که خشکسالی هست به‌جای این که تأسیسات خود را فراموش کنیم، تأسیسات پر از رسوب شده بودند و شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب پاسخگو نبودند، سیستم‌های دفع آب سطحی مشکل‌دار بودند. خیلی از سیستم‌ها حتی برای شهرهایی که شبکه آب سطحی داشتند زمانی که سیل اتفاق افتاد پمپ‌های تخلیه آب‌های سطحی قفل کرده بودند، کانال‌ها گرفته بودند. تمام مسیل‌ها به‌خاطر خار و خاشاکی که در سال‌های گذشته به‌دلیل خشکسالی بوده مسدود بودند. این‌ها

چیزهایی هستند که شاید در قالب همان برنامه‌های PM اگر به‌صورت مستمر اجرا می‌شد اثرات سیل ۱۳۹۸ به‌این شدت نمی‌بود.

دکتر تابش:

خیلی متشکر. آقای دکتر طالب‌بیدختی در رابطه با سیلاب شیراز هم جزو اعضای کمیته سیلاب بودند و می‌خواستند نقطه نظرانی ارائه بدهند.

دکتر طالب‌بیدختی:

من استفاده کردم از سخنرانی دوستانمان و نظرات دوستان. هم جناب دکتر تابش، هم آقای دکتر کارآموز، مهندس نیک‌نام و مهندس قانع، دکتر حقیقی و بقیه دوستان. یک بحثی که وجود دارد در ارتباط با سامانه‌های آب و فاضلاب و بحث تاب‌آوری، امروز هم دکتر کارآموز تجارب آمریکا را گفتند، آقای دکتر کورندرفر مقداری در رابطه با آلمان صحبت کردند. چالش و مشکلی که ما داریم این است که وضعیت مالی مناسبی ما نداریم و یک مقدار زیادی بسیاری از شهرهای ما، حالا درست است که در خوزستان و برخی شهرها رودخانه داریم و مشکلات سیلاب، هرچند که می‌دانیم که در بسیاری از شهرهای ما بحث سیل، زلزله، خشکسالی، خرابکاری و مسائل مختلف را داریم که نیاز هست که سیستم ما تاب‌آور باشد. به‌نظر می‌آید که آب زیرزمینی یک وضعیت خاصی دارد. چون اولویت باید بگذاریم، خواهش می‌کنم دوستان چون مسائل مختلفی وجود دارد هم در ارتباط با بحث سیلاب، زلزله و مسائل دیگر، ولی بحث و چالش‌ها در خصوص آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی بحث بسیار مهمی هستند و نهایتاً سیستم اضطرار برای تأمین کوتاه‌مدت آب. بنابراین خواهش دارم که این آیا نیازی هست که در این کارها ما روش چندمعیاره را به‌کار بگیریم و اولویت‌ها را مشخص کنیم و در آن‌ها به‌مقدار زیادی فشار بگذاریم که برخی از چالش‌ها و مشکلات را حل کنیم و سیستم را یک مقدار تاب‌آورتر بکنیم. خیلی ممنون ببخشید.

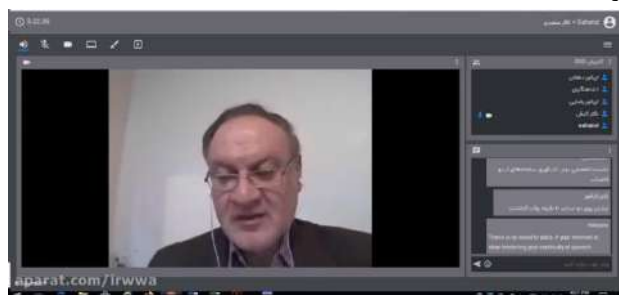
دکتر تابش:

سوال آخر را می‌خواستم آقای مهندس قانع یا مهندس نیک‌نام اگر توانستید پاسخ بدهید. سوال کردند که نقش نیروی انسانی در تاب‌آوری چیست؟ به‌خصوص نیروی انسانی در دستگاه‌های دولتی.

مهندس قانع:

ببینید زحمتی که روی بحث گزارش‌های سیل کشیده شد در

از محافل دانشگاهی الان صحبتش هست. قاعدتاً الان باید تاب‌آوری یک مقداری کمک کند به این قضیه که ما را از این حالت بیرون بیاورد. ببینید در موضوع کرونا، کرونا می‌توانست در کشور کماکان یک مسئله بهداشتی باشد، ولی عملاً و صددرد به یک موضوع درمانی تبدیل شده است، که به هر حال یک جای کار ایراد دارد. مشکل این است که شما در حوزه مدیریت ریسک و خطرپذیری و مدیریت بحران در بعضی از جایگاه‌ها قاعدتاً وقتی که هدف‌گذاری‌ها درست نباشد قطعاً به مقصد خوبی هم نخواهیم رسید.



دکتر تابش:

خیلی ممنون و متشکر. هم از اعضای پنل تشکر می‌کنم و هم از حضار محترم که تا ۶۵ نفر هم کاربرهای محترم رکورد داشتند. تشکر می‌کنم که در این حوزه یک ساعت و نیم در پنل ما حاضر بودند. انشالله امیدوارم که این بحث‌ها جرقه‌ای باشد برای تفکر بیشتر روی بحث تاب‌آوری و این که در حوزه کاری خودشان چه در دانشگاه و چه در شرکت‌های آب و فاضلاب و یا سازمان‌های دیگر، بیشتر به این قضیه فکر بکنند و به صورت سیستماتیک‌تری سعی کنند این مباحث را در حوزه کاری خودشان پیاده بکنند. من ختم جلسه را اعلام می‌کنم.

کشور و انصافاً کار قشنگی شد. خلائی که این‌جا وجود دارد و چالش اصلی این است که ضمانت اجرایی این پیشنهادات خیلی مشخص نیست. یعنی پیشنهادی را دوستان دادند که مورد خاص اهواز را بگویم که اتفاق افتاد. بعد از آن از صندوق توسعه ملی ۱۰۰ میلیون دلار برداشت کردند که شبکه فاضلاب را انجام دهند. ولی هیچ نقشه راهی برای این که موضوع آب سطحی آن‌جا حل بشود را واقعیتش من ندیدم، یعنی نمیدانم حالا شروع کردند یا کاری کردند. ولی عملاً اگر امسال همان اتفاق بیفتد شاید با یک اقدامات جزئی می‌توانستند جلوی این‌ها را بگیرند. یا یک‌سری کارهایی را انجام بدهند. این بحث‌ها بیشتر بحث مدیریتی هستند. یعنی ما واقعاً خیلی مسائل و تهدیدات را می‌دانیم ولی این که اجرا نمی‌شوند شاید یک مقدار بحث دیدگاه‌های مدیریتی است. یک فکر اساسی باید برای این بشود چون هیچ متولی مشخصی ندارد و آدم‌ها می‌آیند و می‌روند و این موضوعات دائم در کشور اتفاق می‌افتند. اگر خسارت‌های ۴۰ سال گذشته را در حوادث بیاورید به اصطلاح روی کاغذ، می‌بینید که سالانه ۴ تا ۵ هزار میلیارد تومان بابت حوادث می‌دهیم. چقدر آن بابت تاب‌آوری بوده؟ این چیزهای تلخی است که بالاخره وجود دارد این یک نکته. نکته‌ای که سوال حضرت‌عالی بود این که بالاخره نقش اصلی را آدم‌ها دارند؛ یعنی بحث کارآمد کردن و توانمندسازی انسان‌ها که عمدتاً بحث‌های مهارت و آموزششان است یک نکته اساسی است که حتماً باید مدنظر قرارگیرد. یعنی اگر هم بهترین تجهیزات و تأسیسات را داشته باشیم اما افراد هوشمند نباشند و مهارت نداشته باشند، قطعاً نمی‌تواند تأثیرگذار باشد.

مهندس نیک‌نام:

همان‌طور که جناب مهندس قانع هم فرمودند بحث نیرو و منابع انسانی به دلیل مباحث مدیریتی و حوزه‌های اجرایی که مشمول بحث منابع انسانی می‌شوند اهمیت خیلی زیادی دارند؛ به خصوص منابع انسانی در حوزه مدیریت بحران، بحث آموزش آن‌ها خیلی با اهمیت است. بخش بسیار زیادی از تلفات سال قبل سیلاب در شهر شیراز که حالا خود من تا اندازه‌ای شاهد بودم، برمی‌گشت به حوزه مدیریت حادثه در هنگام وقوع بحران، که به هر حال در حوزه منابع انسانی قرار می‌گیرد و از جمله منابع انسانی و در واقع نیروهایی که آموزش تخصصی دیده باشند؛ این یک نکته. نکته دیگر هم که در خلال صحبت‌های دوستان بود، ببینید من معتقدم نگاهمان در کشور در حوزه بحران و مدیریت ریسک نیازمند یک بازنگری عمیق هست؛ ما در واقع رویکردمان در کشور بیشتر به مدیریت بحران هست تا مدیریت ریسک. در واقع شاید تاب‌آوری بحث جدیدی است در ترم‌های جدید و مسائل جدید و در بسیاری

رتبه اول پنجمین دوره مسابقه پایان نامه برتر در مقطع دکتری، سال ۱۳۹۹
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد نجف آباد

دانشکده مهندسی عمران

عنوان: تخصیص بهینه پساب با استفاده از ترکیب روش های TODIM اصلاح شده و برنامه ریزی آرمانی با در نظر گرفتن

ماتریس Leopold

نگارش: بهنام فولادی دهقی

استاد راهنما: دکتر علی خوش فطرت

استاد مشاور: دکتر هستی هاشمی نژاد

تاریخ: تابستان ۱۳۹۹

چکیده

استفاده نمود. اینها نواقص اصلی تکنیک TODIM است. روش TODIM اصلاح شده که در این تحقیق پیشنهاد شده است، حذف صفر و یک در وزن دهی گزینه ها و نرمال سازی متناسب را مورد توجه قرار داده است. در نهایت، مقایسه TODIM اصلاح شده و روش AHP مورد بحث قرار گرفته است. در این مطالعه، همچنین براساس اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، از ماتریس لئوپولد Leopold برای انجام ارزیابی اثرات زیست محیطی و تعیین تخصیص بهینه استفاده مجدد آب برای چندین ذینفع در نجف آباد اصفهان استفاده شده است. نتایج نشان داده که رویکردهای مدل سازی ترکیبی یک مجموعه منطقی و توانا برای تحلیل حساسیت ارزش گذاری متغیرها در تخصیص بهینه ارائه می دهد. در منطقه مورد مطالعه، با توجه به حجم پساب تولیدی که برابر ۴۲۰ لیتر بر ثانیه است، تخصیص بهینه استفاده مجدد آب بازیافتی با استفاده از آبیاری فضای سبز شهر ۱۲۰، آبیاری کشاورزی ۱۵۰ و برای استفاده آب بازیافتی در صنعت ۱۵۰ لیتر بر ثانیه بوده است.

کلمات کلیدی: تخصیص آب بازیافتی، ماتریس Leopold، AHP، TODIM، برنامه ریزی آرمانی

استفاده مجدد از آب بازیافتی برای جبران کمبود آب به ویژه در مناطق با محدودیت منابع آب ضروری است. علاوه بر این، تخصیص آب بازیافتی به متقاضیان مختلف یکی از چالش های عمده در مدیریت منابع آب است. با توجه به پیچیدگی مسئله تخصیص آب، استفاده از روش های معمول نمی تواند تخصیص بهینه با در نظر گرفتن معیارهای چندگانه را برای رسیدن به حداکثر مزایا یا حداقل هزینه ها و خطرات تضمین کند. وزن دهی گزینه های متقاضی آب یکی از مهم ترین مسائل در تخصیص است. در این تحقیق استفاده از روش AHP (تحلیل سلسله مراتبی)، TODIM اصلاح شده (تصمیم گیری تعاملی و چندمعیاره)، به عنوان ابزار پیش پردازنده استفاده شده است. وزن دهی حاصل از این روش ها با مدل برنامه ریزی آرمانی ترکیب شده است تا بهترین تخصیص آب بازیافتی به دست آید. TODIM روشی برای در نظر گرفتن ترجیحات ریسک تصمیم گیران براساس نظریه پیش نگر در وزن دهی گزینه ها است. در روش TODIM، وزن دهی حداکثر و حداقل گزینه ها دقیقاً صفر و یک است و نتیجه خروجی ها متناسب نیست، لذا آب بازیافتی نمی تواند برای گزینه حداقل تخصیص یابد. هم چنین نمی توان نتایج وزن دهی این روش را با تکنیک های بهینه سازی چندهدفه مانند برنامه نویسی آرمانی ترکیب و از آن برای بازتاب ترجیحات ریسک تصمیم گیران

رتبه دوم پنجمین دوره مسابقه پایان نامه برتر در مقطع کارشناسی ارشد، سال ۱۳۹۹
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده عمران، آب و محیط زیست

گروه آب و فاضلاب

عنوان: یافتن محدوده نشت های پنهان در شبکه های آبرسانی با استفاده از روش واسنجی

نگارش: رضا معاشری

استاد راهنما: دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده

تاریخ: تیر ۱۳۹۸

چکیده

احتمال وجود نشت (و در نتیجه درصد آن) در هریک از زیر نواحی برآورد می شود. از سوی دیگر در این روش عدم قطعیت های مربوط به مصارف پایه گرهی و خطای دستگاه های اندازه گیری به روش مونت کارلو، اعمال می شود. با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم بهینه سازی استفاده شده در مرحله واسنجی، این روش در ساعت های مختلفی از شبانه روز اجرا شده و سپس نتیجه نهایی گزارش می شود. روش پیشنهادی محدودیتی به تعداد نشت های هم زمان ندارد. می تواند هم از دبی سنج، هم از فشارسنج و هم از ترکیب آن دو استفاده کند. با توجه به این که زبری لوله های شبکه با گذشت زمان تغییر می کند، این روش عدم قطعیت در زبری لوله های شبکه را به عنوان یکی از عوامل موثر در واسنجی لحاظ نموده و به برآورد ضرایب زبری موجود لوله ها می پردازد. روش پیشنهادی در دو شبکه نمونه، در سناریوهای مختلف وجود نشت (از نظر تعداد و مقدار) و همچنین در شبکه آبرسانی مجتمع مسکونی کوی فرهنگ (واقع شده در منطقه ۲ استان تهران)، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی مستقل از تعداد نشت های هم زمان، اولویت وجود نشت در هر ناحیه (یا زیر ناحیه) شبکه را به درستی برآورد می نماید. این روش می تواند مورد استفاده بهره برداران شبکه های آبرسانی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: یافتن محدوده نشت، واسنجی، الگوریتم رقابت استعماری، عدم قطعیت، تراز هیدرولیکی جریان، سامانه های آبرسانی.

نشت در سامانه های آبرسانی باعث بروز مشکلاتی از قبیل هدررفت آب به عنوان یک منبع ارزشمند، اتلاف انرژی و ورود آلودگی های ثانویه به داخل شبکه می شود. در نتیجه از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی با اهمیت است. به دلیل پرهزینه و زمان بر بودن و نیاز به نیروی متخصص روش های رایج نشت یابی، اخیراً روش هایی که با مقایسه نتایج شبیه سازی هیدرولیکی و نتایج اندازه گیری های میدانی (توسط دبی یا فشارسنجی) شبکه به تعیین محل یا محدوده نشت ها می پردازند، در حال گسترش هستند. با این حال، مطالعات انجام شده کافی نبوده و دارای محدودیت های فراوان عملیاتی و اجرایی است. در این پایان نامه، چهار روش جدید در این خصوص معرفی شده و با توجه به مزایا و معایب هر کدام، روش برتر از بین آن ها انتخاب شده است. این روش ها به ترتیب شامل، ترکیب روش پله ای با الگوریتم کرم شبتاب، تحلیل رفتار خط تراز هیدرولیکی، واسنجی هم زمان مصارف گرهی و زبری لوله ها با الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و ترکیب روش های دوم و سوم با در نظرگیری عدم قطعیت ها است. در این پژوهش از نرم افزار شبیه ساز هیدرولیکی EPANET استفاده شده و روش های مذکور در محیط نرم افزار Matlab کدنویسی شده اند. از بین روش های پیشنهادی، روش چهارم کامل تر است. در این روش، نخست بر اساس نتایج رفتارشناسی خط تراز هیدرولیکی جریان در حالت وجود و عدم وجود نشت ها (توسط روش دوم)، ناحیه بیشترین نشت های شبکه یافت می شود. سپس با تقسیم آن ناحیه به چند زیر ناحیه مجازی،

رتبه اول دومین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور کیفیت آب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۳۹۹)

عنوان: بررسی کارایی فرایند تلفیقی الکتروکینتیک و گیاه‌پالایی با کمک گیاه نخل مرداب به‌روش هیدروپونیک در تصفیه فاضلاب

نگارنده: حدیثه حیدری

کارشناس ارشد بهداشت محیط، شرکت آب و فاضلاب استان فارس

تاریخ: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

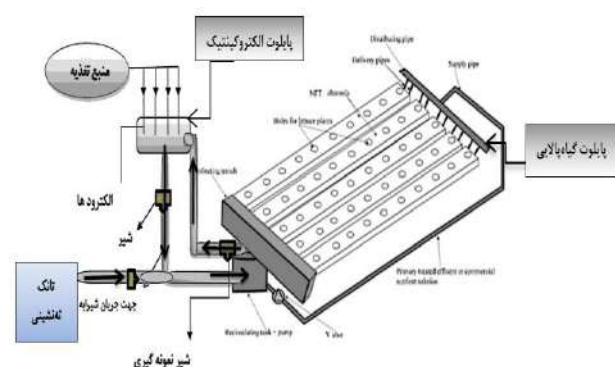
مقدمه

رابطه انسان عصر حاضر با محیط‌زیست دستخوش بحران است. این بحران در اثر دخالت و بهره‌برداری نامعقول و تخریب سودجویانه در محیط‌زیست ایجاد شده که اثرات زیان‌بار برای انسان و محیط اطراف او به همراه داشته است. افزایش جمعیت و گرایش مردم به الگوهای مصرف گرایانه از یک‌سو و توسعه فعالیت‌های تجاری و صنعتی از سوی دیگر مسئله آلودگی محیط‌زیست روزبه‌روز اهمیت بیشتری پیدا کرده است. وجود فاضلاب‌های شهری و صنعتی یکی از عوامل آلودگی محیط‌زیست است؛ بنابراین لازم است، آن‌ها را جمع‌آوری، پالایش و تصفیه نمود و سپس آن‌ها را به طبیعت برگرداند. یکی از محدودیت‌های استفاده مجدد از پساب‌ها، وجود فلزات سنگین است که در بیشتر نقاط دنیا در فرم‌های فیزیکی و شیمیایی گوناگون و در غلظت‌های متفاوت به‌عنوان آلاینده محیط‌زیست، از طریق تخلیه پساب‌های متعدد از جمله پساب‌های شهری و صنعتی، وارد محیط می‌شوند. در میان فلزات سنگین سمی، جیوه، سرب و کادمیوم که سه عنصر بزرگ نامیده می‌شوند، به‌دلیل اثرهای مضر بر محیط‌زیست قابل‌توجه هستند؛ بنابراین حذف و یا کاهش میزان فلزات سنگین در پساب‌ها قبل از ورود به آب‌های زیرزمینی و یا آب‌هایی که در کشاورزی استفاده می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های مرسوم برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب عبارتند از: ترسیب شیمیایی، اکسیداسیون و یا کاهش شیمیایی، تبادل یونی، تیمار الکتروشیمیایی، اسمز معکوس و فیلتر کردن. این روش‌ها ممکن است چندان مؤثر نبوده و یا بسیار گران‌قیمت باشد؛ بنابراین توسعه روشی کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست برای حذف فلزات سنگین از آب و فاضلاب اهمیت دارد. امروزه استفاده از روش‌های بیولوژیکی به‌عنوان روش کم‌هزینه و مؤثر در تصفیه و حذف فلزات سنگین از آب‌و‌خاک موردتوجه زیادی قرار گرفته است. یکی از روش‌های زیستی که در سال‌های اخیر همواره موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته، روش‌های گیاه‌پالایی است. گیاه‌پالایی روشی ارزان‌قیمت، دوستدار محیط‌زیست برای حذف آلاینده‌های مختلف از خاک و فاضلاب شناخته شده است. منظور از گیاه‌پالایی کاربرد گیاهان برای رفع یا کنترل آلودگی‌های آب و خاک است. گیاهان با استفاده از اندام ریشه،

ساقه و برگ آلاینده‌های گوناگون را از خاک یا آب یا فاضلاب دریافت و با انتقال به بافت‌های خود آن‌ها را جمع‌آوری می‌کنند. نمک‌های محلول، فلزات سنگین، مشتقات نفت و روغن و مواد رادیواکتیو از جمله آلاینده‌هایی است که تاکنون با استفاده از این روش از محیط‌های مختلف حذف شده است. در دو دهه گذشته، استفاده از گیاه‌پالایی در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، هم‌چنین تصفیه خاک‌های کم‌عمق و آلوده رونق گرفته است. خورشید تأمین‌کننده اصلی انرژی در این روش است و به لحاظ تنوع مواد ثانویه ناشی از تصفیه بسیار پاک است.

یکی از انواع روش‌های فرایند گیاه‌پالایی استفاده از روش هیدروپونیک است. سیستم هیدروپونیک و تالاب‌های ساخته شده خاکی، دو دسته اصلی سیستم‌های گیاه‌پالایی هستند. سیستم هیدروپونیک یک روش جدید برای کشت گیاهان در محیط بدون خاک بوده تا از بیماری‌های خاک و عوارض علف‌های هرز و محدودیت زمین جلوگیری شود. در فرایند گیاه‌پالایی به‌روش هیدروپونیک از گیاهان متعددی استفاده می‌شود که یکی از این گیاهان، گیاه نخل مرداب است. گیاه نخل مرداب با نام علمی *Cyperus alternifolius* از خانواده Cyperaceae است که می‌تواند در خاک‌های مرطوب و یا در مناطق خشن رشد یابد. نخل مرداب گیاهی چندساله است که در مناطق باتلاقی و مرطوب رشد می‌کند. این گیاه دارای ریشه‌های قوی و پیچیده با ویژگی‌های رشد سریع بوده؛ و قدرت بهره‌وری آن بالا است. به‌دلیل ظاهر زیبا می‌تواند به‌عنوان گیاه زینتی باشد و هم‌چنین می‌تواند چشم‌انداز خوبی را ایجاد کند. نخل مرداب درختی همیشه‌سبز دارای ساقه‌هایی با متوسط بلندی ۱۰۰ تا ۲۵۰ سانتی‌متر و قطر تنه ۵-۸ میلی‌متر است. یک گیاه تک‌لپه با رشد سریع است و این گیاه تکثیر راحت و رشد سریعی دارد. نخل مرداب می‌تواند به‌راحتی از طریق بذر، تقسیم گیاه یا برش تکثیر داد. گیاه نخل مرداب دارای ریشه زیرزمینی و ساقه‌های هوایی قوی که ساختار آن توخالی و بدون شاخه است. گیاه نخل مرداب یک گیاه یکپارچه با گل دوجنسی است. با توجه به وجود یک‌سری محدودیت‌ها از جمله آهسته بودن رشد گیاه و قادر بودن به حذف آلودگی از محیط‌های با آلودگی متوسط و کم، از تلفیق فرایند

مخزن این پایلوت ۲۰ لیتری بوده و مجهز به پمپ شناور مدل HAILEA-ACO-5504 برای پمپاژ بود. ابتدا فاضلاب وارد تانک ته‌نشینی شده و از طریق شیر متصل به آن وارد مخزن و توسط پمپ شناور ابتدا وارد سیستم هیدروپونیک شده و در اختیار گیاه جای‌گذاری شده قرار گرفت. پس از خروج از آن، وارد سیستم الکتروکینتیک شده و طی فرایندهای گوناگون الکترواسموزیس، مهاجرت الکتریکی، الکتروفرسیس و الکترولیز با کمک فرایند الکتروشیمیایی تجزیه و تخریب آلاینده‌ها صورت گرفت. این عمل تا پایان فرایند به صورت پیوسته انجام و در زمان‌های مشخص نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها انجام شد.



اندازه‌گیری فلزات سنگین

۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه را در یک بشر ریخته، سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و چند عدد سنگ جوش به آن اضافه شد. یک شیشه ساعت به‌عنوان سرپوش و جلوگیری از آلودگی روی بشر قرار داده شد. نمونه بر روی هیتز قرار داده شد تا به آرامی به جوش و تبخیر درآید. حرارت دادن تا زمانی که حجم نمونه به ۱۰-۲۰ میلی‌لیتر باشد ادامه یافت. در هنگام عمل حرارت اسید نیتریک اضافه شد تا نمونه شفاف شود (هضم کامل). سپس نمونه به بالون ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و به حجم رسانیده و کاملاً مخلوط شد. آن‌گاه نمونه برای سنجش فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی مدل AA500 اندازه‌گیری شد. برای آنالیز کردن داده‌ها از فاکتور راندمان (R) برای ارزیابی عملکرد کلی درصد حذف در هر زمان و برای هر پارامتر استفاده شد.

$$R(\%) = \frac{(c_0 - c_t)}{c_0} \times 100$$

که C_0 : غلظت اولیه (mg/L) و C_t : غلظت ثانویه (mg/L) هستند.

سخن آخر

این پژوهش با توجه به این‌که گیاه نخل مرداب مناسب و بومی منطقه ایران و نحوه تکثیر آن آسان بوده از نظر اقتصادی کاملاً باصرفه و ارزان‌قیمت است. با توجه به این‌که میزان رشد گیاه آهسته است از فرایند الکتروکینتیک به‌منظور تحرک بیشتر آلاینده‌های موجود در فاضلاب توسط فرایندهای مختلف که سرعت انجام فرایند و میزان درصد فلزات سنگین را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد استفاده می‌شود.

الکتروکینتیک استفاده می‌شود. پالایش الکتروکینتیک یک تکنولوژی نویدبخش برای پاک‌سازی آب‌ها و خاک‌های آلوده است. آلاینده‌های موجود توسط مکانیسم‌هایی نظیر الکترواسموزیس (حرکت مایع بینابینی)، مهاجرت الکتریکی، الکتروفرسیس حرکت ذرات باردار کلئیدها مهاجرت می‌نمایند. در این فرایند از یک میدان الکتریکی استفاده می‌شود.

ایده پیشنهادی

پژوهش حاضر میزان درصد حذف آلاینده‌های آلی و معدنی و فلزات سنگین از فاضلاب‌های شهری و صنعتی توسط فرایند تلفیقی الکتروکینتیک و گیاه‌پالایی با کمک گیاه نخل مرداب به روش هیدروپونیک را مورد بررسی قرار می‌دهد.

روش پیشنهادی

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و بر مبنای ماهیت روش نیز می‌توان آن را در گروه تحقیقات کاربردی-تجربی دانست. در این پژوهش از یک پایلوت برای اندازه‌گیری پارامترهای pH و هدایت الکتریکی، شبه‌فلز آرسنیک و فلزات سنگین شامل (مس، سرب، آهن، کادمیوم و روی)، فاضلاب شهری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمونه‌گیری به‌شیوه منظم و سیستماتیک و برای مدت‌زمانی برابر سه ماه در طی هشت نوبت از پایلوت موردنظر صورت گرفته است.

نحوه کشت گیاه نخل مرداب

انتخاب گونه گیاهی محدود به پژوهش‌های نظری و گونه‌های تحت کشت در ایران است. برای انتخاب نمونه گیاه نخل مرداب از برگ‌هایی که دارای لکه یا زرد رنگ یا ظاهر غیرطبیعی بودند صرف‌نظر شد. گیاه نخل مرداب از گل‌فروشی‌ها تهیه و قلمه‌هایی با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر برداشته و پس از کوتاه کردن برگ‌ها و چیدن برگ‌های خشکیده آن با قیچی، آن‌ها را در بطری‌های آب گذاشته و برای زمانی برابر ۳ تا ۴ هفته پس از ریشه زنی کامل، هرکدام از قلمه‌ها را در محل‌های کاشت گیاه در پایلوت قرار داده شد.

پایلوت آزمایشگاهی گیاه‌پالایی و الکتروکینتیک

یک پایلوت آزمایشگاهی گیاه‌پالایی ساخت کشور ایران، از جنس PVC با ابعاد (۱۰۰×۱۲۰×۲۰۰) سانتی‌متر، دارای ۲۴ حفره در فواصل ۲۰ سانتی‌متری برای جای‌گذاری گیاه تهیه شد. مخزن الکتروکینتیک ساخت کشور ایران از جنس پلکسی گلاس، با ابعاد (۵۰×۸۰×۱۰۰) سانتی‌متر و دربرگیرنده ۸ الکتروود استیل (۴ الکتروود آند و ۴ الکتروود کاتد)، با ابعاد (۱۰×۱۰×۴۰) سانتی‌متر با سطح مؤثر 40 cm^2 بود. مطابق با مطالعات انجام‌شده، الکترودها به‌صورت یک‌درمیان با فاصله ۲ سانتی‌متر از هم به‌صورت عمودی درون راکتور تعبیه شد. هر ۸ الکتروود توسط سیم‌های رابط به منبع دیجیتالی هم‌سو کننده جریان برق با ولتاژ ۳۰ ولت و شدت جریان الکتریکی ۵ آمپر متصل شد.

عنوان: راهبری صنعت آب و فاضلاب با رویکرد اقتصاد چرخشی
 پدیدآورنده: سید حمیدرضا کشفی، سید حسین سجادی فر و محمد داودآبادی
 سال انتشار: ۱۳۹۹
 ناشر: شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



علم اقتصاد خطی (تولید، مصرف و دورریز) با طیف گسترده‌ای از مولفه‌های اقتصاد خرد، کلان، بخش عمومی، ریاضی، مهندسی، سبز، منابع طبیعی و... در تامین خواسته‌ها و نیازهای نامتناهی جوامع بشری در مقابل محدودیت‌های عامل‌های تولیدی (منابع طبیعی، نیروی کار، فن‌آوری و...) استفاده فراوان دارد. هرچند در اقتصاد خطی، بهینه‌یابی در زمینه‌های گوناگون تصمیم‌گیری، هدف آرمانی محسوب می‌شود، اما در آن استفاده از ضایعات تولید، بازیابی زباله‌های حاصل از مصرف و ممانعت از تخریب محیط‌زیست در اولویت قرار ندارد. این جنبه منفی اقتصاد خطی در توسعه اقتصادی برخی از کشورها، پس از دهه ۱۹۴۰ آسیب‌های جدی متعددی بر محیط‌زیست نظیر پدیده گرمایش کره زمین، تغییرات محسوس آب و هوایی، نابودی برخی از گونه‌های گیاهی و جانوری و... به جای نهاده است.

در سال‌های نخستین دهه ۱۹۷۰ کشورهای چین، آلمان و اتحادیه اروپا و برخی موسسات مطالعاتی و کسب و کار، فعالیت‌های علمی و عملیاتی ارزنده‌ای را در هم‌راستا ساختن فعالیت‌های اقتصادی درعین کاهش آلودگی و تخریب محیط‌زیست، استفاده مجدد از ضایعات تولید و زباله‌ها انجام دادند که به تدریج موجب شکل‌گیری شاخه علمی جدید اقتصاد چرخشی شد. در اقتصاد چرخشی، برنامه‌ریزی، تامین منابع، تهیه، تولید، بازفرآوری و طراحی همه به‌عنوان اجزای یک فرایند برای به حداکثر رساندن ثبات و کارکرد اکوسیستم و رفاه بشری انگاشته می‌شود. اقتصاد چرخشی در سطح جهانی دانشی نوپا با سابقه اندک است و مطالعات، منابع محدود و پراکنده‌ای در این زمینه و به‌ویژه در صنعت آب و فاضلاب چه در خارج و داخل کشور انجام شده است.

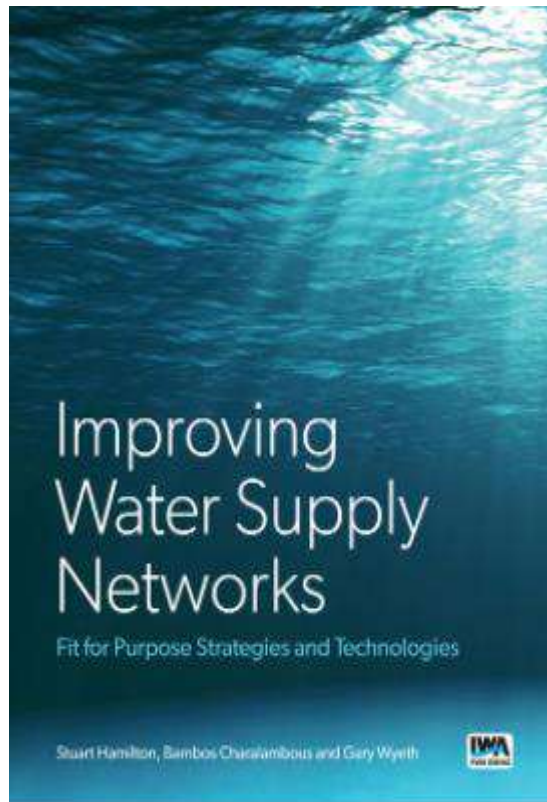
در این کتاب تلاش شده تا آخرین دستاوردهای داخلی و خارجی پیرامون اقتصاد چرخشی با رویکرد کاربرد آن در صنعت آب و فاضلاب گردآوری و تدوین شود. در این کتاب، ابتدا موضوع‌های مرتبط با تئوری‌ها، مبانی نظری و ارتباط اقتصاد چرخشی با صنعت آب و فاضلاب از جوانب گوناگون بررسی می‌شود و در ادامه، تجربه‌های کشورها و نتایج و آثار به‌کارگیری این رویکرد اقتصادی در صنعت آب و فاضلاب آن‌ها ارائه شده است.

عنوان: بهبود شبکه‌های آبرسانی: متناسب با هدف استراتژی‌ها و فن‌آوری‌ها
(Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies)

پدیدآورندگان: Stuart Hamilton; Bambos Charalambous; Gary Wyeth

سال انتشار: 2021

ناشر: IWA Publishing



دانستن این موضوع که چگونه می‌توان تلفات ناشی از شبکه‌های آبرسانی را مدیریت کرد و یا چگونه می‌توان در بهبود سیستم خود به سطح بالاتری رسید، یک مسئله اساسی است و اغلب در اکثر شرکت‌های آب و فاضلاب در سراسر جهان وجود دارد. گاهی اوقات شرکت‌های آب چشم‌انداز کاهش تلفات خود را بیش از اندازه بالا تعیین می‌کنند و به دلیل تعیین اهداف غیرواقعی نمی‌توانند به خواسته خود برسند. البته این مسئله زمانی اتفاق می‌افتد که انتظارات و اهداف، حقیقتاً بیش از مقادیر عملی باشد. بدین ترتیب محقق نشدن اهداف پیش‌بینی شده در داخل شرکت یا کشور به‌عنوان یک شکست تلقی می‌شود.

هدف کتاب "بهبود شبکه‌های آبرسانی" کمک به شرکت‌های آب و فاضلاب برای شناسایی محل قرارگیری در "نردبان اتلاف آب" (water loss ladder) و مواردی است که برای انتقال به سطوح بالاتر مورد نیاز است. این کتاب درک درستی از آنچه شرکت‌های آب و فاضلاب برای دستیابی به کاهش تلفات آب به آن نیاز دارند را ارائه می‌دهد. همچنین این کتاب اطلاعات مفید و کاربردی در مورد مسائل مربوط به آب بدون درآمد (NRW) و راه‌حل‌های عملی همراه با ارائه مطالعات موردی ارائه می‌کند.

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

- انتشار اولین شماره از سال ششم نشریه علمی - ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
- برگزاری چهارمین جلسه شورای سیاست‌گذاری همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۱/۲۳)
- برگزاری جلسه هفدهم کمیته تلفات آب انجمن (۱۴۰۰/۰۱/۲۳)
- برگزاری جلسه چهل و هشتم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۰۱/۲۵)
- انتشار شصت و یکمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (فروردین ماه ۱۴۰۰)
- شرکت در جلسه بیست و سوم هیئت مدیره اتحادیه انجمن‌های آب (۱۴۰۰/۰۲/۰۱)
- برگزاری دهمین جلسه کمیته بازیافت آب انجمن (۱۴۰۰/۰۲/۰۶)
- برگزاری ششمین جلسه کمیته کیفیت آب انجمن (۱۴۰۰/۰۲/۰۸)
- برگزاری ششمین وینار تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان ارزیابی عملکرد مدل‌های متابولیسم آب شهری (قابلیت‌ها و محدودیت‌ها) توسط دکتر کوروش بهزادیان (۱۴۰۰/۰۲/۰۸)
- برگزاری چهارمین جلسه واحد بین‌الملل انجمن (۱۴۰۰/۰۲/۲۶)
- برگزاری پنجمین جلسه شورای سیاست‌گذاری همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۲/۲۸)
- برگزاری دومین جلسه واحد دانشجویی انجمن (۱۴۰۰/۰۲/۲۸)
- برگزاری جلسه چهل و نهم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۰۲/۲۹)
- انتشار شصت دومین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (اردیبهشت ماه ۱۴۰۰)
- برگزاری هفتمین وینار علمی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان سواد آبی در جوامع شهری توسط دکتر شروین جمشیدی (۱۴۰۰/۰۳/۰۵)
- شرکت در جلسه بیست و چهارم هیئت مدیره اتحادیه انجمن‌های آب (۱۴۰۰/۰۳/۱۲) و جلسات فوق‌العاده ۱۵ و ۱۶ (۱۴۰۰/۰۳/۱۶)
- برگزاری ششمین جلسه شورای سیاست‌گذاری همایش ۱۴۰۰ (۱۴۰۰/۰۳/۲۵)
- برگزاری جلسه پنجاهم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۰/۰۳/۲۶)
- انتشار شصت سومین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (خرداد ماه ۱۴۰۰)
- انتشار اولین شماره از سال ششم نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

<http://irwva.ir>

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال ششم - تعداد صفحات و دوم - اردیبهشت ماه ۱۴۰۰



بیعتی

سخن اول:

پایله شماره ۲۵
کرم کل از موله زیر پوست ورمند
و با هوای قلمپی کلور پوست است؟
اگر در این مورد ترسی را در برابر
من در یک دور، غشایی قرار دارم
چگونه کلور غشایی من را می تواند ا
دوای من پوست من را از من
در پوست ا و هوای کشور من
نعمت ایست
شک ظرات خود را به آدرس ایمیل
subject www.iranmag.com
جواب این شرایط در قسمت
ایمیل، چون من سفر را از کشید به کشید
فرستاده ام به یکی از میهنان من
کشید میزبان من می شود.

[illegible]

<http://ir.wya.ir>

جنت نافعہ النجفین آب و فاضلات آبادیلا - بیستم - شعبان - رمضان - یکم - فوریہ - ۱۴۰۰



مائی

سخن اول:

سفره شماره ۴۴

چند ماه پیش، دکتر حسین در سال ۱۳۹۰ را چیدمان داشت؟

آقای مصطفی زبانه زبانی، مصوبه از طرح با ۱۰ هزار دلار، از استانداری طرح گویا به تهران فرستاده شد. اما اکنون در سوم هجری در تهران.

نظرات تفرات خود را به آرمین ایمیل comp.www@iran.com ۳۰۰

در پیوندات ایران فرستاده در قسمت comp.www@iran.com عنوان سفره را وارد کنید.

به قید کرده شد که به یکی از دوستان مشارکت کرده در این اعلان شود.

بهار با نوید رویش و تولد دیواره از راه رسید تا بازم باور کنیم که رویش دیواره و رستنی نو امکاناتی است. خوشحالیم که چهارمین بهار را در کنار شما جوان هستی و امیدواریم بتوانیم در این بهار عهدمان را تازه سازیم و به سوری آرمینای متعالی که ما را در کنار یکدیگر جمع نموده است حرکت دهیم. اولین بهاری است که اگر توانا آن را تجربه می‌کنیم به خود می‌بالیم که سختی های این مسیر همراهی یک سال و اندی ما را در مسیر خورشیدمان ثابت قدمتر نموده است. برای شما هواران زنگول پرتوین را در این سال آرزو داریم و امیدواریم در کنار خانواده و عزیزان سال بسیار خوبی را شروع نموده تا انتها سیری نمایید. امیدوارم در این سال جدید نیز چون همیشه بهاد ما باشید.

<http://irwa.ir>

محمد نامہ ایچ محمد آبی و قاضی اب ان سال - شمس - شمار و شمست و سیم - خ و ولد او ۱۴۰۰



1

مسئله اول:

میخایله شارو
فرغ نخواهد شد یعنی جدید به غیر رسد
نصفه آید این یعنی در چه حوزه ای خواهد
بود؟
1) نظام غنی نو تو سر و پا و فضا
2) اخبار حوزه نو به حوزه ک و ف
3) تحریر بر مبنای
4) بر مبنای بر مبنای

تلفظ ظرافت خود را به آدرس ایتل
www.irannews@gmail.com
فرستادن بر مبنای بر مبنای
ایتل عنوان مسئله را وارد کنید به قصد
فرستادن به یکی از نوشتن
گزاره در این باره

ما بار انتخاب کردن گرم است. انتخاب اصلاح، انتخاب فرد انتخابی‌ها، انتخاب چیزی از زندگی روزمره ماست که در محیط مختلف با آن مواجه می‌شویم. انتخابی‌ها بخش وسیعی از جامعه و محیط را از خود متمایز می‌کنند. آثار تاریخی انتخاب‌ها بسیار مهم است البته بعضی اثر پرسی شلی، ما را متراشیده و محدود است و در نهایت می‌تواند فردی بسیار گسترده‌ای باشد. این یک واقعیت است که منابع آب در کشور ما محدود است این بهیبت است که هزینه تعیین آب سالم بسیار بالا است. این انتخاب سیاست می‌تواند منابع موجود به چه منظور استفاده کنیم این انتخاب ما به چه قدر منابع آب ما موجود انتخاب کنیم. این انتخابی‌ها می‌تواند آینده جامعه ما روشن یا تیره باشد.

محمد حسن احرام پوش، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی یزد

آقای دکتر محمد حسن احرام پوش متولد سال ۱۳۳۷ استان فارس، شهرستان استهبان هستند. ایشان دارای دیپلم ریاضی، لیسانس مهندسی کشاورزی، گرایش آبیاری از دانشگاه شیراز در سال ۱۳۶۲ و کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی بهداشت محیط از دانشگاه علوم پزشکی تهران هستند. چاپ ۱۶۱ مقاله ISI و Scopus و بیش از سیصد مقاله علمی پژوهشی و کنفرانسی از جمله مواردی است که در رزومه ایشان وجود دارد. زمینه تحقیقات ایشان شامل آب و فاضلاب و آلودگی هوا می شود. ایشان مؤسس دانشکده بهداشت یزد و رئیس آن از سال ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ بوده و عضو هیئت مورد بهداشت محیط از سال ۱۳۷۸ تاکنون هستند. هم چنین، بیش از بیست جلد کتاب در زمینه های مختلف بهداشت محیط از جمله آب و فاضلاب چاپ کرده اند. ایشان دبیر علمی چهار همایش ملی و بین المللی بهداشت محیط بوده و دارای ۳۲ سال سابقه کار اجرایی و آموزشی و پژوهشی نیز هستند.

**احمد اصفهانیان، نماینده انجمن در شرکت آب و فاضلاب کاشان**

مهندس احمد اصفهانیان متولد کاشان به تاریخ ۱۳۵۳/۵/۲۶ است. مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی مکانیک از دانشگاه آزاد اسلامی دریافت نموده است. ایشان بیش از ۲۱ سال در صنعت آب و فاضلاب به عنوان کارشناس فنی، رئیس گروه نظارت بر بهره برداری، مدیر دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد، رئیس اداره مدیریت بحران و پدافند غیرعامل، معاون بهره برداری سابقه فعالیت در سطوح کارشناسی و مدیریتی داشته و در حال حاضر قائم مقام شرکت آب و فاضلاب کاشان هستند. مهندس اصفهانیان در این سالیان در حدود ۸ پروژه مطالعاتی و تحقیقاتی و ۳۰ فعالیت مدیریتی و اجرایی نقش مؤثری ایفا نموده و دارای ۴ مقاله علمی پژوهشی در همایش های ملی و بین المللی هستند. ایشان هم چنین عضو کارگروه اجرایی مدیریت جامع کیفیت منابع آب استان اصفهان و سازمان نظام مهندسی هستند.

**افشین تكدستان، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز**

دکتر افشین تكدستان، استاد تمام پایه ۲۸ در گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه جندی شاپور اهواز هستند و ۲۲ سال سابقه هیئت علمی در دانشگاه دارند. ایشان دارای دکترای مهندسی محیط زیست از دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران با رتبه اول ورودی و فارغ التحصیلی هستند. در حال حاضر، ایشان ریاست مرکز تحقیقات زیست محیطی دانشگاه جندی شاپور را به عهده دارند. تدریس و تحقیق ایشان در زمینه تصفیه آب و فاضلاب، طراحی تصفیه خانه آب و فاضلاب و تصفیه فاضلاب های صنعتی است. ایشان دارای بیش از صد طرح تحقیقاتی مصوب در دانشگاه و صنعت هستند. هم چنین بیش از ۱۷۰ مقاله علمی پژوهشی، ISI و Scopus منتشر کرده اند. بیش از ۳۵۰ مقاله نیز در سمینارهای ملی و بین المللی در زمینه های محیط زیست، تصفیه آب و فاضلاب و آلودگی آب ارائه نموده اند. چهار کتاب چاپ شده با عناوین طراحی تصفیه خانه فاضلاب و اصول راهبری آن، مفاهیم و طراحی تصفیه فاضلاب، رهنمودهای کیفی آب آشامیدنی و تصفیه آب و درسنامه جامع فاضلاب و باکتری های تصفیه فاضلاب را نیز منتشر کرده اند. ایشان هم چنین عضو هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب هستند.





علی آبیاتی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه صنعتی اصفهان



رضا معاشری
دانشجوی دکتری
دانشگاه شهید بهشتی



سید احمدرضا شاهنگیان
دانشجوی دکتری
دانشگاه تهران



سیده معصومه ابراهیمی
دانشجوی دکتری
دانشگاه علوم پزشکی تبریز



غزل مهدی زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه شیراز



یاسمن صاحب جمعی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه محقق اردبیلی



محمد نجارزادگان
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه اصفهان



محمدرضا اتحادی
دانشجوی دکتری
دانشگاه سیستان و بلوچستان



سینا دیانتی
دانشجوی کارشناسی
دانشگاه کاشان

شرکت آبتین پارسیان پیشرو آپادانا

شرکت آبتین پارسیان پیشرو آپادانا (APPA) تنها تولید کننده ماژول‌ها و غشاهای الیاف میان‌تهی اولترافیلتراسیون (UF) با برند AquArya در خاورمیانه و سازنده سیستم‌های اولترافیلتراسیون، فعالیت خود را از سال ۱۳۹۶ آغاز نموده است. این شرکت بیش از یک دهه فعالیت در قالب شرکت «پارسیان پیشرو صنعت پلیمر» و «پارسیان پویا پلیمر» داشته و اکنون با یک سرمایه‌گذاری راهبردی جدید، فعالیت‌های خود را بسط و گسترش داده است. شرکت آبتین پارسیان پیشرو مشاور و مجری ساخت انواع سامانه‌های تصفیه آب و فاضلاب و بازیابی و بازچرخانی پساب بوده و با تکیه بر دانش فنی متخصصان و کارشناسان خود و همچنین گستردگی ارتباطی که با شرکت‌های بین‌المللی در زمینه تصفیه آب و فاضلاب دارد، انواع پروژه‌های تصفیه آب و پساب و راهبری تصفیه‌خانه‌ها را با حصول رضایت کارفرمایان اجرا می‌نماید. این شرکت طراحی تصفیه‌خانه جامع پتروشیمی کارون و طراحی و ساخت واحد تصفیه تکمیلی به‌روش اولترافیلتراسیون در مجتمع فولاد سفید دشت، شرکت ورق خودرو، فولاد اردستان و ... را در رزومه کاری خود دارد.



شرکت دریا رود جنوب

شرکت مهندسان مشاور دریا رود جنوب در سال ۱۳۸۴ در شهر کرمان تاسیس شد. در طی سال‌های اخیر نسبت به تاسیس و راه‌اندازی شعبه در شهرهای کرج، مشهد، یزد و قزوین اقدام نموده است. این مهندسان مشاور، در عرصه خدمات گروه مهندسی آب "تخصص تاسیسات آب و فاضلاب" و گروه تخصص‌های مشترک "تخصص محیط‌زیست" تشخیص صلاحیت شده و با داشتن سابقه مفید و موثر آماده همکاری با کلیه کارفرمایان محترم است.



شرکت پادیاب تجهیز

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



 سنجش افزار آسیا (با مسئولیت محدود)	 سیال کنترل FLUID CONTROL ما راهی را پیدا می‌کنیم	 PERSIA ARAS JONOUB Co.
 معین زیست آریا	 پادیاب تجهیز	 تالایر TALAYER INDUSTRIAL COMPLEX تاسیس ۱۳۵۹
 آتیه پردازان شریف Atich Pardazan Sharif	 سید یاس فراز (سپهر خاص)	 ماشین سازی اراک
 مهندسین مشاور آببران	 SafBon	 مهاب قدس MAHAB GHODSS CONSULTING ENGINEERING CO.
 تشریفات اتماتیک بلندا BOLANDA www.bolanda-co.com @bolanda faucets	 مهندسین مازد مهراد (سپهر خاص) رسته کارهای آبی - معماری و ژئوتکنیک	 آبساران مهندسین مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir
 دراب مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست	 گوهر مینا شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مپنا	توسعه انهار آریانا
 شرکت مهندسی سپهر کویر فرداد FARDAD سپهر کویر فرداد	 DESIGN & BUILD CORNERSTONE INTERNATIONAL HALLMARK OF EXCELLENCE گسترش گسترش ملی گسترش ملی	 مهندسین مشاور داهه
 NIKA International Inspection Services	 FAPCO شرکت فرایند ارقام فرداد	 هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company Hapico
 فرآب تدبیر تصفیه	 APPA Atin Parsian Pishro Apadang آتین پارسیان پیشرو آپادان	

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکننده	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
پنجمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران	دانشگاه بیرجند	بیرجند	۲ و ۳ تیرماه ۱۴۰۰	https://civilica.com/l/71703/
دوازدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران	دانشگاه فردوسی مشهد	مشهد - دانشگاه فردوسی مشهد	۲۱ - ۲۳ تیرماه ۱۴۰۰	http://www.12icce.ir/fa/
بیستمین کنفرانس هیدرولیک ایران	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	گرگان	۵ - ۶ آبان‌ماه ۱۴۰۰	http://www.ihaconf.ir/
اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت	انجمن آب و فاضلاب ایران و دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران	تهران - پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران	۹ - ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰	http://www.iwwa-conf.ir/

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
5th International Conference on Ecotechnologies for Wastewater Treatment (ecoSTP2020) "Impacting the environment with innovation in wastewater treatment"	Milano, Italy	21 - 25 June 2021	https://iwaywp.ca/conference-2021/
1st Canadian IWA Young Water Professionals	Hybrid, Canada	24 - 25 June 2021	https://mtc2021.wustl.edu/
The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	1 - 4 August 2021	http://iwa-ywp.eu/
Water Safety Planning 2021	Narvik, Norway	11 - 13 August 2021	http://www.watersafety2021.org/
WRRmod2020: 7th IWA Water Resource Recovery Modelling Seminar	Arosa, Switzerland	21 - 25 August 2021	https://www.wrrmod2020.org/
The 8th IWA International Conference and Exhibition on Flotation & Nano-Micro Bubble Technology	Busan, South Korea	1 - 3 September 2021	https://iwa-network.org/events/the-8th-iwa-international-conference-and-exhibition-on-flotation-nano-micro-bubble-technology/
17th International Conference on Environmental Science and Technology (Supported)	Athens, Greece	1 - 4 September 2021	http://cest2021.gnest.org/
4th IWA Resource Recovery Conference 2021	Istanbul, Turkey	5 - 8 September 2021	http://iwarr2021.org/
1st IWA Non-Sewered Sanitation Conference	Pretoria, South Africa	15 - 18 September 2021	https://iwa-nss.org/
The 5th International Conference on Water Economics, Statistics and Finance; The International Conference on Rethinking Treatment with Asset Management	Porto, Portugal	22 - 24 September 2021	http://www.isep.ipp.pt/iwa-Porto2021
9th IWA Odour and VOC/Air Emissions Conference	Bilbao, Spain	26 - 27 October 2021	https://www.olores.org/en/iwaodours2021
Digital Water Summit	Bilbao, Spain	15 - 18 November 2021	https://digitalwatersummit.org/
IWA International Strategic Asset Management Forum 2020 (Supported)	Belgrade, Serbia	19 November 2021	https://utvsi.com/event/iwa-international-sam-forum-2020/
IWA Biofilms 2021 Conference - Processes in Biofilms, Fundamentals to Applications	Phuket, Thailand	6 - 8 December 2021	http://iwabiofilms2020.org/

ردیف	رویداد	موضوع (ارائه دهنده)	لینک آپارات
۱	وبینارهای تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	ویروس کرونا در صنعت آب و فاضلاب؛ (دکتر عبدالله رشیدی)	https://www.aparat.com/v/hevFM?playlist=737673
		راه کارهای بهبود کیفیت پساب برکه های تثبیت فاضلاب؛ (دکتر حسین ساسانی)	https://www.aparat.com/v/Antvj?playlist=737673
		مروری بر ظرفیت های ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه آب کشور؛ (دکتر مجتبی شفیع)	https://www.aparat.com/v/Pob7C?playlist=737673
		نشت یابی در شبکه های آبرسانی؛ (دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده)	https://www.aparat.com/v/Uf3N5?playlist=737673
		مدیریت شورابه های ناشی از سامانه های نمک زدایی با تاکید بر فناوری های ZLD؛ (دکتر عباس اکبرزاده)	https://www.aparat.com/v/4QcMo?playlist=737673
		چالش های روش های جایگزین برای بهبود و مدیریت کیفیت آب؛ (دکتر مسعود یونسیان، مهندس سلیمه رضایی نیا و دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده)	https://www.aparat.com/v/mTSiK?playlist=737673
		ارزیابی عملکرد مدل های متابولیسم آب شهری قابلیت ها و محدودیت ها؛ (دکتر کورش بهزادیان)	https://www.aparat.com/v/DtoQY?playlist=737673
		سواد آبی در جوامع شهری؛ (دکتر شروین جمشیدی)	https://www.aparat.com/v/FPtCY
۲	نشست های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	سامانه های فاضلاب، اپیدمی ها و بیماری های نوظهور	https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=879646
		تاب آوری شبکه های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=879646
		هوشمندسازی و نوآوری در سامانه های آب و فاضلاب	https://www.aparat.com/v/WiVU9?playlist=879646
		بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران	https://www.aparat.com/v/ISgM7?playlist=879646
		چالش های تعیین الگوی مصرف آب	https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=879646
		تاب آوری زیرساخت های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب	https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646
		استفاده از آب خاکستری در محیط های شهری	https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=879646
۳	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	https://www.aparat.com/v/V7BNT?playlist=878354	
۴	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدر رفت و بازیافت (۱۳۹۸)	https://www.aparat.com/v/SHiuG?playlist=943170	



1st National Conference on Water Quality Management

&
3rd National Conference on
Water Consumption Management
Loss Reduction and Reuse

30 Nov. - 2 Dec. 2021

College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

همایش ملی
مدیریت کیفیت آب

و همایش ملی
مدیریت مصرف آب

باریکرد کاهش هدررفت و بازافت

۹ تا ۱۱ آذر ماه ۱۴۰۰

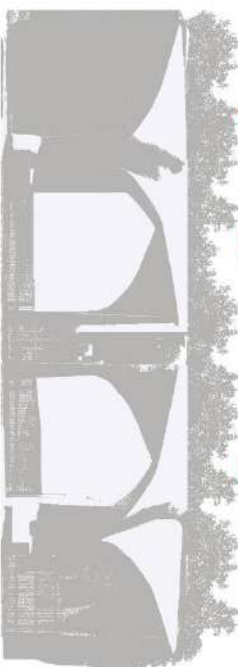
پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران



محورهای همایش

- رویکردهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در مدیریت مصرف و استفاده از پساب
- ارزیابی و آسیب شناسی روش های جایگزین در مدیریت کیفیت آب
- مدیریت فاضلاب و پسماند حاصل از فرایندهای بازافت
- آلاینده های ویژه و نوظهور در آب آشامیدنی و پساب
- استفاده ایمن از پساب و کاهش ریسک آب
- مدیریت و راهبری تصفیه خانه های آب
- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی
- فناوری های نو در حوزه بازافت
- مدیریت هوشمند کیفیت آب
- پایش کیفی اکوسیستم ها
- اقتصاد و کیفیت آب
- هدررفت واقعی، ظاهری و مصارف مجاز بدون درآمد در شبکه های توزیع آب
- تأثیر تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی
- تأثیرات پساب دستگاه های آب شیرین کن بر کیفیت آب
- کاهش مصرف و ارتقای بهره وری آب در بخش صنعت
- استانداردها و ضوابط کمی و کیفی آب و فاضلاب
- فناوری های ساده و ارزان قیمت بازافت پساب
- مدیریت و بازافت زهاب های کشاورزی
- مدیریت هوشمند شبکه های توزیع آب
- پیوند آب- انرژی در بازافت پساب
- اثر ویروس کرونا بر آب و پساب
- مدیریت مصرف آب
- برنامه ایمنی آب

مجله ارسال مقالات کامل: ۱۴۰۰ ماه ۱۴



آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس،
بخش کوچه آذین، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
کد پستی: ۱۴۱۷۸۵۳۱۱
تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۰۷۷۱۹ : فکس : ۰۲۱-۶۱۱۱۳۱۷۹
iwwa-conf.ir
info@iwwa-conf.ir
@IWWSEC





فراخوان ششمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۶

ویژه دانش آموختگان سال‌های ۱۳۹۶ به بعد



انجمن آب و فاضلاب ایران در نظر دارد در ششمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در محورهای **کیفیت، هدررفت و بازیافت آب**، پایان نامه‌های برتر در "مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری" را با اهدای **لوح تقدیر و جوایز نفیس** مورد تشویق قرار دهد.

از علاقه‌مندان دعوت می‌شود تا برای شرکت در مسابقه، فایل پایان نامه به همراه مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود را **حداکثر تا تاریخ ۳۰ مهرماه ۱۴۰۰** از طریق سایت IRWWA.IR انجمن به نشانی بارگذاری نمایند.

جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، هم‌زمان با برگزاری "اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب، با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت" که از ۹ تا ۱۱ آذرماه ۱۴۰۰ در دانشگاه تهران برگزار می‌شود، اعطا می‌گردد.



irwwa.ir
info@irwwa.ir

[Telegram.me/irwwa94](https://t.me/irwwa94)

<https://www.aparat.com/irwwa>



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹



۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹



از علاقه‌مندان به حوزه‌های مرتبط با علوم و صنعت آب و فاضلاب دعوت می‌شود تا برای شروع فرآیند عضویت خود در انجمن آب و فاضلاب ایران، از طریق لینک <http://irwwa.ir>، به سایت انجمن مراجعه و با ایجاد حساب کاربری در سایت، اقدام به دریافت نام کاربری و رمز ورود اقدام کنند. سپس وارد حساب کاربری خود شده و گزینه عضویت را انتخاب نموده و با تکمیل فرم عضویت حقیقی، عضویت خود را در انجمن تکمیل نمایند. مراحل پرداخت حق عضویت و اعطای کارت پس از ارسال ایمیل تأییدیه از سوی انجمن، شروع خواهد شد.

حق عضویت اعضای حقیقی

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

حق عضویت اعضای حقوقی

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

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شب: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۰۱۲-۶۲۵۶

بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) به نام انجمن آب و فاضلاب ایران
لطفا اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir) ارسال فرمایید.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

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

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

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

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

نام مؤسسه در بخش فارسی و انگلیسی منطبق بر نام مصوب و رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات،

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

- ارسال مقاله منحصراً از طریق ثبت‌نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب انجام می‌شود.
- نویسنده‌ای که برای بار چندم اقدام به ارسال مقاله می‌نماید، حتماً باید از طریق صفحه شخصی قبلی خود نسبت به ارسال مقاله اقدام نموده و به‌هیچ عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.
- وارد کردن اسامی و اطلاعات کامل تمامی نویسندگان در سامانه و در محل مربوط به مشخصات نویسندگان مقاله، الزامی است.

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

❖ چکیده فارسی:

شامل مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری است. حداقل تعداد کلمات در چکیده ۱۵۰ و حداکثر ۲۵۰ کلمه باشد.

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

باید یکسان و شامل حداقل چهار و حداکثر شش واژه مجزا باشد که موضوع تحقیق، بیشتر پیرامون آن‌ها است.

❖ متن مقاله:

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

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و هم‌چنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش 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 تمامی مجلات- انتشارات- موسسات- کنفرانس‌ها و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری می‌شود. در متن مقاله نیز نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می‌شود. در صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که بیش از دو نفر باشند، از عبارت (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می‌شود.

❖ مقاله فارسی:

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

عنبری، م.، (۱۳۹۲)، "تحلیل ریسک سیستم‌های فاضلاب با استفاده از شبکه‌های بیزین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

❖ مقاله غیر فارسی:

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

❖ مقاله منتشر نشده:

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

❖ کتاب:

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

❖ بخشی از کتاب:

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

❖ موسسه به جای نویسنده:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

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

❖ پایان نامه:

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

❖ سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 6, No. 1, Spring 2021

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

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

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

Editorial Board:

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



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

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

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

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



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 6, No. 1, Spring 2021

Preface	2
Papers	
Scale Formation and the Use of Antiscalant to Control Scaling Saba Bahrami and Reza Panahi	4
A Review on Influential Factors on Polyhydroxyalkonates (PHA) Production with Feast / Famine Regime Using Waste Sludge from Biological Wastewater Treatment Azar Asadi, Farinaz Ahmadi, Ali Akbar Zinatizadeh and Ali Namvar	15
Fuzzy Multi-Criteria Group Decision Making on Water Treatment Methods for a University Complex Soheil Safari, Mahdi Zarghami, Reza Yegani and Mohammad Mosaferi	30
Biosorption of Nickel Ions by <i>Scenedesmus Obliquus</i> from Aqueous Solution Nahid Akhtari, Mahnaz Sadat Sadeghi and Homeira Agah	41
The Effect of Municipal Wastewater and Modern Irrigation Methods on the Properties of Saffron Yahya Choopan, Abotaleb HezarJaribi, Khalil Ghorbani, Mousa Hesam and Abbas Khashei Siuki	52
Study of the Ventilation Effect to Reducing the Corrosion of the Main Concrete Sewer Collector line in the Vicinity of Dropshaft Manhole Mahdi Godarzi Matin, Alireza Roodbarani, Saeid Sarabadani and Mehran Mamghaninejad	61
General Section	
Interview	69
Round-Table	71
Best Thesis	86
Best Idea	88
Book Presentation	90
IWWA News	92