



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

# علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

مقالات علمی

- ۲  
مروری بر نگاه ترمودینامیکی به بیلان آب با تأکید بر انتروپی و اصل تولید حداکثر انتروپی  
دیا غنچه پور و عبدالرضا بهره مند
- ۴  
بررسی کارایی پردازش کربنیزاسیون گرمابی بر تولید بیوگاز ناشی از هضم بی هوازی مواد آلی  
رضا قاسم زاده، محمدعلی عبدلی، امید بزرگ حداد و مریم پازکی
- ۱۴  
بررسی فناوری تالاب تصفیه شناور و نقش آن در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی  
لعبت تقوی و فاطمه گلریز خاتمی
- ۲۳  
بررسی اثر هضم هوازی لجن بر کیفیت آبیگری لجن مازاد سیستم SBR تصفیه خانه شهر یزد  
مسعود طاهریون، بهزاد آقابابایی، سجاد محمدی اسفرجانی، سید وحید غلمان و اکبر صالحی وزیری
- ۳۴  
تحلیل عددی نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه پمپاژ در نواحی شهری  
مجتبی انصاری شاد و مجید نوریان بیدگلی
- ۴۲  
بهبود کیفیت زه آب های شور به روش گیاه پالایی  
جهانگیر عابدی کوپایی، امیر قدس مطهری و نیلوفر نجفی
- ۵۳

مطالب عمومی

- ۶۳  
مصاحبه
- ۶۹  
میزگرد
- ۸۲  
پایان نامه برتر
- ۸۳  
ایده برتر
- ۸۶  
گزارش فعالیت های انجمن

# علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای

هیئت تحریریه

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 تکدستان: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی 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 اورازو گیوستولیسی: استاد، دانشگاه پلی تکنیک باری، ایتالیا

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

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

مروری بر نگاه ترمودینامیکی به بیلان آب با تأکید بر انتروپی و اصل تولید حداکثر انتروپی..... ۴  
دیبا غنچه‌پور و عبدالرضا بهره‌مند

بررسی کارایی پردازش کربنیزاسیون گرمایی بر تولید بیوگاز ناشی از هضم بی‌هوازی مواد آلی..... ۱۴  
رضا قاسم‌زاده، محمدعلی عبدلی، امید بزرگ حداد و مریم پاک‌کی

بررسی فناوری تالاب تصفیه شناور و نقش آن در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی..... ۲۳  
لعبت تقوی و فاطمه گلریزخاتمی

بررسی اثر هضم هوازی لجن بر کیفیت آبیگری لجن مازاد سیستم SBR تصفیه‌خانه شهر یزد..... ۳۴  
مسعود طاهریون، بهزاد آقابابایی، سجاد محمدی اسفرجانی، سید وحید غلمان و اکبر صالحی وزیری

تحلیل عددی نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه پمپاژ در نواحی شهری..... ۴۲  
مجتبی انصاری شاد و مجید نوریان بیدگلی

بهبود کیفیت زه‌آب‌های شور به روش گیاه‌پالایی..... ۵۳  
جهانگیر عابدی کوپایی، امیر قدس مطهری و نیلوفر نجفی

## مطالب عمومی

مصاحبه..... ۶۳

میزگرد..... ۶۹

پایان‌نامه برتر..... ۸۲

ایده برتر..... ۸۳

گزارش فعالیت‌های انجمن..... ۸۶



## میکروپلاستیک‌ها، آلاینده‌هایی نوظهور در صنعت آب و فاضلاب



دکتر عباس اکبرزاده

عضو هیئت علمی و مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب،  
موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

### ۱- مقدمه‌ای بر میکروپلاستیک‌ها

از پلاستیک‌ها به‌عنوان نوعی ماده شیمیایی مصنوعی، در زندگی روزمره استفاده گسترده‌ای می‌شود، به‌عنوان مثال در بسته بندی‌ها، فیلم، روکش‌ها، کیسه‌ها و ظروف. در طی تجزیه بیولوژیکی پلاستیک‌ها، ذرات کوچک و کوچک‌تر تشکیل شده و میکروپلاستیک‌ها را به‌وجود می‌آورند. فراوانی آلودگی میکروپلاستیک‌ها ناشی از زباله‌های خانگی و صنعتی به نگرانی فزاینده‌ای برای محیط‌زیست تبدیل شده است. پلاستیک‌هایی با اندازه کوچکتر از ۵ میلی‌متر به‌عنوان میکروپلاستیک تعریف شده و در اثر تخریب و ساخت اشیاء پلاستیکی به‌صورت ذرات ناخواسته تولید می‌شوند. میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور و کمتر شناخته شده، طی چند دهه اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند. میکروپلاستیک‌ها با توجه به خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاصی که دارند، پتانسیل بالایی برای جذب مواد سمی چون هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای، بی‌فیل پلی کلرین و فلزات سنگین دارند. به‌همین ترتیب پلاستیک‌های تولید شده در واحدهای صنعتی مانند مواد زائد ریخته شده از تجهیزات، مواد پرکننده و ... به‌راحتی وارد تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب شده و در آن‌جا به میکروپلاستیک تجزیه می‌شوند. سپس به محیط‌های آبی، محیط‌زیست و حتی سیستم‌های آب شهری راه پیدا کرده و سلامت محیط و جانداران را به خطر می‌اندازند.

### ۲- عوارض جانبی میکروپلاستیک

میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل پتانسیل بالا در ایجاد صدمات فیزیکی و شیمیایی در انواع آبزیان، از زئوپلانکتون‌ها تا پستانداران، از

طریق انسداد دستگاه گوارش و امکان انتقال آلودگی‌های آلی به بدن موجودات به‌عنوان یک نگرانی محیط‌زیستی و همچنین یک تهدید بالقوه برای سلامتی انسان به‌ویژه از طریق خوردن غذاهای دریایی آلوده مطرح هستند.

یکی از مخرب‌ترین آسیب‌هایی که میکروپلاستیک‌ها مستقیماً به بدن انسان وارد می‌کنند، تحریک هورمون‌هایی است که می‌توانند به غدد سرطانی تبدیل شوند. فنول و ترکیبات مشابه آن از جمله موادی هستند که در میکروپلاستیک‌ها و معمولاً در بسته‌بندی‌های پلاستیکی یا ظروف نگهداری مواد غذایی پیدا می‌شود. این مواد به‌راحتی می‌توانند وارد مواد غذایی شوند و آسیب‌های بسیاری نیز به ارگان‌های حیاتی بدن وارد کنند. این آسیب‌ها به‌اندازه‌ای مخرب هستند که برخی از شواهد نشان داده است در هورمون‌های تولید مثل، خصوصاً در زنان اختلال ایجاد می‌کنند. همچنین براساس آمارهای منتشر شده، در حال حاضر ۹۰ درصد مرجان‌های خلیج فارس از بین رفته‌اند و ذخایر ماهی‌های آن نیز به‌سرعت در حال کاهش است و خطر انقراض چندین گونه دریایی در این منطقه وجود دارد. البته این خطر انقراض تنها به حیوانات منتهی نمی‌شود و برخی از گونه‌های گیاهی نیز در معرض خطر هستند.

### ۳- روش‌های حذف میکروپلاستیک‌ها از آب و فاضلاب

طی چند سال گذشته، مطالعات متعددی از وجود میکروپلاستیک‌ها در شبکه‌های آب شهری و آب بسته‌بندی انجام شده است. میکروپلاستیک‌ها طیف گسترده‌ای از مواد را با ترکیبات شیمیایی مختلف، اشکال، رنگ‌ها، اندازه و تراکم شامل می‌شود. این مواد در محیط فراگیر هستند و در آب‌های دریایی، فاضلاب، آب شیرین، مواد غذایی، هوا و آب آشامیدنی، بطری‌های آب تشخیص داده شده است.

ورود و مشاهده میکروپلاستیک‌ها در منابع آب شرب از جمله رودخانه‌های سطحی؛ نگرانی‌های گسترده‌ای به‌همراه داشته است. از طرفی دانش و تجارب کافی برای حذف کامل یا کاهش مناسب میکروپلاستیک‌ها با استفاده از روش‌های تکنیکی و فرآیندی از منابع آب شرب وجود ندارد. مطالعات انجام شده حاکی از ایجاد آثار میکروبی و سمی در اثر ورود میکروپلاستیک‌ها در منابع آب شرب است. اما همچنان اطلاعات و داده‌های مرتبط از رفتار و چگونگی اثرگذاری فرآیندهای تصفیه در حذف میکروپلاستیک‌ها، ناکافی است. با توجه به این‌که میکروپلاستیک‌ها به‌طور کامل در تصفیه‌خانه‌ها حذف نمی‌شوند، لازم است تحقیقات مناسبی به کمک برنامه‌های پایش و نظارت‌های تکمیلی برای توسعه



تکنیک‌های مؤثر حذف و جداسازی میکروپلاستیک‌ها صورت گیرد.

در حال حاضر، تنها از روش‌های بسیار گران و ناکارآمد برای حذف میکروپلاستیک‌ها و ردیابی آلاینده‌ها استفاده می‌شود. برخی از این روش‌ها مانند انعقاد و ته‌نشینی بسیار ناکارآمد و غیرقابل انعطاف هستند. برخی دیگر نیز مانند اولترافیلتراسیون، میکروفیلتراسیون، فیلتراسیون عمیق به دلیل استفاده از معرف‌های شیمیایی، برای اکوسیستم‌ها، بازیابی مواد یا بازیابی ثانویه پرهزینه و مضر هستند. در مطالعات مرتبط مشخص شده است که فناوری بیوراکتورهای غشایی (MBR) در حذف میکروپلاستیک‌های فاضلاب نسبت به روش لجن فعال معمولی بسیار موثرتر است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که فیلتراسیون نقش مهمی در حذف میکروپلاستیک‌ها دارد. با این حال، این روش اشکالاتی نیز دارد. زیرا تنش مکانیکی ایجاد شده توسط غشاء باعث تخریب و جداسازی میکروپلاستیک‌ها شده و به آن‌ها اجازه می‌دهد بدون محدودیت در محیط آزاد شوند. از عیوب دیگر روش فیلتراسیون این است که فیلتر شدن ذرات کوچکتر به زمان بیشتری نیاز دارد. در نتیجه زمان و هزینه‌های نگهداری بیشتری را نیز به مصرف کننده تحمیل می‌نماید.

دارد. امروزه مشخص شده استفاده از این فناوری در از بین بردن ناخالصی‌هایی همچون رنگ‌ها، فلزات سنگین، ذرات رس، حذف موثر برخی از ترکیبات آلی مایع بسیار موثر بوده است. علاوه بر این نتایج تحقیقات نشان داده است که شرایط آب مانند کدورت تأثیر کمی بر میزان حذف میکروپلاستیک‌ها دارد. از این رو پیشنهاد می‌شود از این نوع فناوری جداسازی نوآورانه، در جداسازی ذرات بیشتر استفاده شود.

### ۳-۳- غشاهای دینامیکی

اخیراً غشاهای دینامیکی توجه زیادی را به خود جلب کرده است؛ زیرا باعث کاهش مصرف انرژی و هزینه تصفیه فاضلاب می‌شوند. غشاهای دینامیکی، تکنولوژی امیدوارکننده‌ای برای حذف ذرات کم چگالی و غیرقابل تجزیه مانند پلاستیک‌ها هستند. از آن‌جا که در این روش از سایر آلاینده‌های موجود در آب برای ایجاد یک لایه فیلتر بدون نیاز به معرف شیمیایی، استفاده می‌شود، این فناوری به‌طور گسترده‌ای در تصفیه فاضلاب شهری، تصفیه فاضلاب آلوده به نفت و آب‌های سطحی قابل استفاده است.

### ۴- نتیجه‌گیری

در حال حاضر مطالعات بسیاری در مورد روش‌های تصفیه و تشخیص میکروپلاستیک‌ها با استفاده از مواد شیمیایی وجود دارد، اما این مواد ممکن است خواص میکروپلاستیک‌ها را تغییر و منجر به خطا در تشخیص آن‌ها شود. در شبکه‌های انتقال فاضلاب عمده‌تاً میکروپلاستیک‌های پلی استر و پلی اتیلن وجود دارد. ثابت شده است که افزایش سطح میکروپلاستیک‌ها تأثیر منفی بر تصفیه فاضلاب و لجن دارد. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند تولید متان در لجن و آنزیم‌های کلیدی آن و واسطه‌های متابولیسم را مهار کنند. علاوه بر آن تنوع جوامع بیولوژیکی و فراوانی میکروارگانیسم‌های موثر در تجزیه بیولوژیکی را کاهش دهند. در حال حاضر، روش‌های شناسایی و تشخیص میکروپلاستیک‌ها ناقص است. سیستم استاندارد در این زمینه وجود ندارد و انواع روش‌های تشخیص تصفیه ناقص هستند. همچنین روش‌های تشخیص میکرو و نانوپلاستیک‌ها از نظر فناوری فعلی بسیار پرهزینه و کم اثر هستند. بنابراین پیشنهاد تحقیق و پژوهش در تصفیه و تشخیص سریع میکروپلاستیک‌ها با هزینه کم، صرفه‌جویی در زمان و کاربری و عملکرد ساده ضروری است.

### ۳-۱- روش سل ژل

سل ژل یک روش جدید برای از بین بردن ترکیبات پلیمری از فاضلاب است. در این روش به دلیل صرفه‌جویی در هزینه و پایداری شیمیایی ترکیبات پلیمری، استفاده از لجن مازاد از فرایند لجن فعال به عنوان کاتالیزور، حامل و جاذب بسیار مناسب است. این روش را می‌توان تحت شرایط کاتالیزوری قلیایی و اسیدی انجام داد. در این فرایند با افزایش pH می‌توان میزان انعقاد میکروپلاستیک‌ها را افزایش داد. پس از آن لخته‌های شناور و بزرگ میکروپلاستیک به آسانی از فاضلاب قابل استخراج است. مزیت دیگر این لکه‌های پلاستیکی جمع شده این است که کاملاً مستقل از انواع، اندازه و میزان آلاینده‌ها و عوامل خارجی مثل دما، فشار و ... هستند.

### ۳-۲- روش انعقاد الکتریکی

روش الکتروانعقاد از فناوری‌های الکتروشیمیایی مانند الکتروفلوتاسیون است. با توجه به این‌که این روش نیازی به معرف‌های شیمیایی یا میکروارگانیسم ندارد، بسیار مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست بوده و حداقل لجن تولیدی را



Review Paper

مقاله مروری

## A review on Thermodynamics in Water Cycle with Emphasizing on Entropy and Maximum Entropy Production Principle

## مروری بر نگاه ترمودینامیکی به بیلان آب با تأکید بر انتروپی و اصل تولید حداکثر انتروپی

Diba Ghonchepour<sup>1</sup> and Abdolreza Bahremand<sup>2\*</sup>

دببا غنچه‌پور<sup>۱</sup> و عبدالرضا بهره‌مند<sup>۲\*</sup>

1- Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

۱- دانشجوی دکتری آب‌خیزداری، گروه آب‌خیزداری، دانشکده مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

2- Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, , Gorgan, Iran.

۲- استاد، گروه آب‌خیزداری، دانشکده مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

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

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

Received: 19/09/2021

Revised: 27/11/2021

Accepted: 29/11/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### Abstract

### چکیده

Hydrological cycle is directed into thermodynamic non-equilibrium state and maximum entropy production through thermodynamic processes. Therefore, it is possible to understand and describe hydrological cycle through computation of entropy production rate and the maximum entropy production principle (MEP). Based on MEP, if there are sufficient degrees of freedom within a system, it will adopt a steady state at which entropy production is maximized under existing restrictions. This principle can help to estimate the hydrological components and parameters without need for detailed understanding of watershed characteristics. Due to the importance of this issue in the science of hydrological modeling and the lack of Persian resources in this field, the present study examines the hydrological cycle from a thermodynamic point of view using valid scientific sources. In this study, the hydrological cycle is considered as a thermodynamic system and the method of calculating entropy production rate by components of water balance is presented. Also, how to estimate hydrological components using the MEP principle is explained in a simple example. Overall, the MEP principle holds great promise for equipping us with a better understanding of the organization of hydrological processes within the Earth system and development of the models based on non-equilibrium thermodynamic.

در نگاه ترمودینامیکی به چرخه هیدرولوژی، این چرخه از طریق فرایندهای ترمودینامیک به سوی وضعیت غیرتعادلی ترمودینامیکی و تولید حداکثر انتروپی پیش می‌رود. لذا امکان شناخت و توصیف آن از طریق محاسبه نرخ تولید انتروپی و اصل تولید حداکثر انتروپی (MEP) وجود دارد. بر طبق اصل MEP اگر در یک سیستم به اندازه کافی درجه آزادی وجود داشته باشد، آن سیستم وضعیت پایدار را اتخاذ خواهد کرد، به طوری که تولید انتروپی در آن تحت محدودیت‌های موجود حداکثر می‌شود. اصل MEP می‌تواند به برآورد مؤلفه‌ها و پارامترهای هیدرولوژیکی در حوزه آب‌خیز بدون نیاز به شناخت تفصیلی مشخصات سیستم کمک نماید. با توجه به اهمیت این موضوع در علم مدل‌سازی هیدرولوژیکی و کمبود منابع فارسی در این زمینه، مطالعه حاضر با استفاده از منابع علمی معتبر چرخه هیدرولوژی را با نگاه ترمودینامیکی مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مطالعه چرخه هیدرولوژی به عنوان یک سیستم ترمودینامیکی مورد توجه قرار می‌گیرد و نحوه محاسبه نرخ تولید انتروپی توسط هر یک از مؤلفه‌های بیلان آب ذکر می‌شود. همچنین، نحوه برآورد مؤلفه‌های هیدرولوژیکی با استفاده از اصل MEP در خلال یک مثال ساده بیان می‌شود. به طور کلی، اصل MEP نویدی بزرگ است برای شناخت بهتر فرایندهای هیدرولوژیکی درون سیستم زمین و توسعه مدل‌ها بر اساس ترمودینامیک غیرتعادلی.

**Keywords:** Maximum entropy production principle, Non-equilibrium state, Optimality, Thermodynamic, Water balance

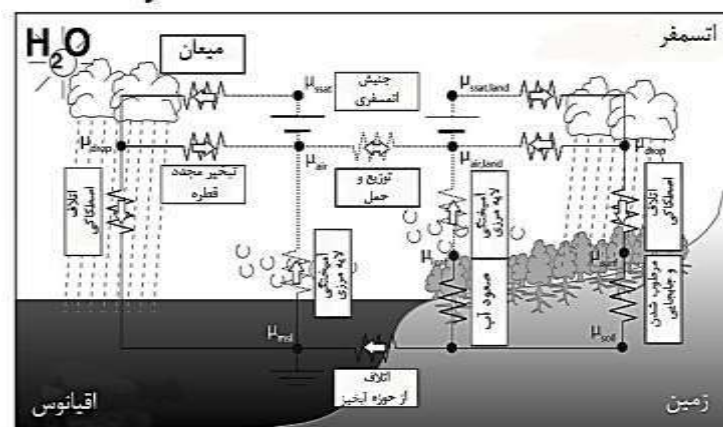
**کلمات کلیدی:** ترمودینامیک، اصل تولید حداکثر انتروپی، بهینگی، بیلان آب، وضعیت غیرتعادلی

براساس رویکرد بهینگی اگر شناخت از بخش‌های یک سیستم به صورت تفصیلی هم نباشد می‌توان ویژگی‌های سیستم را پیش‌بینی کرد، مشروط بر این‌که تابع هدف و محدودیت‌های سیستم شناخته شده باشند و بخش‌های آن تقریباً به‌طور خودسازمانده برای دستیابی به هدف کل سازمان یابند. اصل تولید حداکثر انرژی (MEP) شکلی از آپتیمالیتی و ضرورتاً پیامدی از قانون دوم ترمودینامیک است که برای سیستم‌های غیرتعادلی توسعه یافته است (Kleidon, 2009; Kleidon and Schymanski, 2008). انرژی معیاری است برای نشان دادن بی‌نظمی است که در یک سیستم در هنگام فعالیت آن سیستم به وجود می‌آید (قویدل رحیمی، ۱۳۸۶). اصل تولید حداکثر انرژی، مبتنی بر مکانیک آماری و تئوری اطلاعات، بیان می‌کند که فرایندهای ترمودینامیکی دور از تعادل ترمودینامیکی با وضعیت‌های پایداری انطباق خواهند یافت که در آن انرژی را مستهلک ساخته<sup>۷</sup> و در حداکثر نرخ ممکن، انرژی تولید می‌نمایند (Kleidon et al., 2010). بنابراین، برطبق اصل MEP، اگر در یک سیستم به اندازه کافی درجه آزادی وجود داشته باشد آن سیستم وضعیت پایداری را اتخاذ خواهد کرد، به‌طوری‌که تولید انرژی در آن تحت محدودیت‌های موجود حداکثر می‌شود (Martyushev and Seleznev, 2006; Kleidon, 2009).

از آن‌جا که سیستم زمین و چرخه هیدرولوژی واقع در آن از طریق فرایندهای ترمودینامیک به سوی وضعیت نامتعادل ترمودینامیکی<sup>۸</sup> هدایت می‌شوند (Kleidon, 2008; Kleidon, 2009) و تمام فرایندهای این سیستم در معرض تبدیل انرژی، جرم و مومنتوم هستند، امکان شناخت و توصیف سیستم زمین و چرخه هیدرولوژی از طریق محاسبه نرخ تولید انرژی و اصل تولید حداکثر انرژی وجود دارد (Dyke and Kleidon, 2010). در زمینه استفاده از بهینگی (آپتیمالیتی) ترمودینامیکی برای پیش‌بینی بیلان آب حوزه آبخیز تلاش‌هایی صورت گرفته است. Hildebrandt et al. (2016) پیشنهاد نمودند که گیاهان جذب آب ریشه خود را با به حداقل رساندن سرمایه‌گذاری انرژی مورد نیاز از طریق برداشت یکنواخت مکانی آب از خاک‌های یکنواخت بهینه می‌نمایند. Zehe et al. (2013) نشان دادند که تراکم بهینه ترمودینامیکی خلل و فرج درشت (ماکروپورها) ایجاد شده توسط سوراخ کرم‌ها که انتشار انرژی آزاد در طی رویدادهای تغذیه را حداکثرسازی نموده امکان پیش‌بینی قابل پذیرش و بدون واسنجی پاسخ بارش-رواناب یک حوزه آبخیز متوسط مقیاس را با یک مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر فیزیک فراهم می‌نماید. Porada et al. (2011) بیلان آب ۳۵ عدد از بزرگترین حوزه‌های

سیستم‌های طبیعی وجودهایی<sup>۱</sup> خودسازمانده<sup>۲</sup> هستند که در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی فعالیت می‌نمایند و با دنبال نمودن توابع هدف مشخصی، خود سازمان می‌یابند (Schymanski, 2008). این فرض که هر وجود، مشروط به محدودیت‌ها و با توجه به یک تابع هدف، خود سازمان می‌یابد رویکرد بهینگی (آپتیمالیتی)<sup>۳</sup> نامیده می‌شود (Schymanski, 2011). رفتار سیستم‌های طبیعی با شناخت اصول حاکم بر بهینگی قابل پیش‌بینی است (Schymanski, 2008). فرضیه اصول بهینگی ترمودینامیکی<sup>۴</sup> این است که یک سیستم به سوی وضعیتی نزدیک به حد (خواه حداقل یا حداکثر) تکامل می‌یابد و تا زمانی که شرایط مرزی آن سیستم پایدار بماند، در آن وضعیت می‌ماند (Westhoff et al., 2019). در حقیقت این را می‌توان در رشته‌ها و در مقیاس‌های متفاوت یافت: کلروپلاست‌ها در سلول‌ها برای افزایش فتوسنتز، خود سازمان می‌یابند. روزنه‌ها در برگ‌ها کارایی مصرف آب را حداکثر می‌سازند. تاج‌پوشش درختان گیرش نور و پردازش را حداکثر می‌سازند. شکاف‌های خاک، هدایت گرما را حداکثر می‌سازند. چرخش‌های اتمسفری و اقیانوسی جهانی، آمیختگی حرارتی را افزایش می‌دهند (Schymanski, 2008). در زمینه کاربرد رویکردهای ترمودینامیک و آپتیمالیتی برای توصیف بهتر فرایندهای سیستم زمین به‌طور کلی و بیلان آب بر روی زمین به‌طور خاص پیشرفت‌هایی صورت گرفته است (Kleidon and Schymanski, 2008). در سال‌های اخیر اصول مبتنی بر بهینگی پیشنهاد شده‌اند که بتوانند پارامترهای مدل و بنابراین رفتار مدل را بهتر برآورد نمایند (Westhoff and Zehe, 2013). در مقیاس کوچک یک حوزه آبخیز، معادله بیلان آب به جزئیات زیادی مانند ویژگی‌های خاک، شیب و جهت سطح و پوشش گیاهی بستگی دارد. بدین مفهوم که برای پیش‌بینی بیلان آب در مقیاس بزرگتر به مقدار زیادی اطلاعات در مقیاس کوچک نیاز است (Kleidon and Schymanski, 2008). اغلب مدل‌های هیدرولوژیکی که برای شبیه‌سازی بیلان آب در مقیاس حوزه آبخیز و بزرگتر از آن توسعه یافته‌اند به‌همین صورت بنیان‌گذاری شده‌اند و به اطلاعات تفصیلی تا مقیاس بسیار کوچک گریه<sup>۵</sup> نیاز دارند. در مقابل، مدل‌های مبتنی بر آپتیمالیتی براساس این فرضیه هستند که با توجه به شرایط محیطی گذشته، سیستم موردنظر (مانند حوزه آبخیز، رودخانه، نوع پوشش گیاهی، یا درختان منفرد) رفتار خود را منطبق با یک اصل سازمانی معین، سازمان می‌دهد (Westhoff et al., 2014).

(Renner, 2013). با در نظر گرفتن زمین به عنوان یک سیستم ترمودینامیکی می توان جهت های کلی را شناسایی نموده و عملکردی ساده را استنباط کرد. زیرا ترمودینامیک محدودیت هایی اساسی بر پویایی ها تحمیل می نماید که تبدیلات انرژی و وضعیت های نامتعادل، پویایی های مهم فرایندهای سیستم زمین هستند (Kleidon, 2020). تبادل آب در سطح زمین با ورود آب از طریق بارش و خروج آن به اتمسفر از طریق تولید رواناب و تبخیر و تعرق پیش می رود. این فرآیند به شدت به بیلان انرژی سطح از طریق شار<sup>۹</sup> گرمای نهان تبخیر و تعرق بستگی دارد، اما به پویایی های اتمسفر و بیوسفر زمینی نیز وابسته است (Kleidon et al., 2009). چرخه هیدرولوژی جهانی شامل فرآیندهایی مانند انتقال فاز از جامد به مایع به گاز است، مانند ذوب برف، تبخیر آب، میعان یا تراکم بخار، انتقال بخار آب به عرض های بالاتر و به زمین توسط گردش اتمسفری، ترکیب<sup>۱۰</sup> آب مایع با ماتریس خاک بر روی زمین و جریان آب در سیستم های رودخانه و بازگشت به اقیانوس است (Kleidon et al., 2009). (شکل ۱).



شکل ۱- یک نمودار ساده از فرایندهای برگشتناپذیر در چرخه آب جهانی (Kleidon, 2009)

ترمودینامیکی دور می شود که بارندگی موجب مرطوب شدن خاک می شود. در پی آن سیستم از وضعیت تعادلی خارج شده و یک گرادیان پتانسیل شیمیایی بین سطح خاک و درون آن ایجاد می شود. این گرادیان موجب ایجاد یک شار ماده (در این جا، رطوبت) می شود، به طوری که رطوبت از سطح خاک به درون آن جریان می یابد. با ایجاد این شار، از گرادیان پتانسیل شیمیایی بین سطح خاک و درون خاک کاسته می شود و سیستم در برای دستیابی به وضعیت تعادل ترمودینامیکی پیش می رود. تبادل شار و نیرو برای بسیاری از فرایندهای هیدرولوژیکی روی زمین وجود دارد که شارها به طور کلی گرادیان پتانسیل شیمیایی را کاهش می دهند (Kleidon and Schymanski, 2008) (شکل ۲).

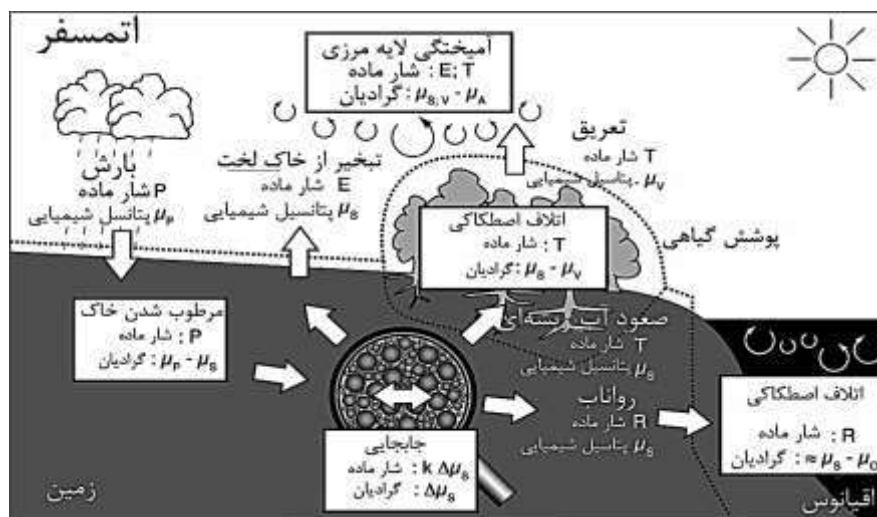
زمین را با استفاده از مدل SIMBA شبیه سازی نمودند و پارامترهای کنترل کننده جذب آب ریشه را با استفاده از حداکثرسازی تولید انتروپی استنباط کردند. با توجه به اهمیت موضوع مطرح شده در علم مدل سازی هیدرولوژیکی و نوین بودن آن و نیز کمبود منابع فارسی در این زمینه، مطالعه حاضر با استفاده از منابع علمی معتبر، چرخه هیدرولوژی را با نگاه ترمودینامیکی مورد بررسی قرار می دهد و پس از بیان نحوه محاسبه تولید انتروپی به ازای هریک از مؤلفه های بیلان آب، استفاده از اصل تولید حداکثر انتروپی به عنوان یک اصل بهینگی برای برآورد مؤلفه های هیدرولوژیکی را از طریق یک مثال ساده (برگرفته از Kleidon and Schymanski, 2008) تشریح می نماید.

## ۲- تولید انتروپی از تبادل آب در سطح زمین

برای در نظر گرفتن کامل تبدیلات انرژی در ترمودینامیک، سیستمی با مرز مشخص در نظر گرفته می شود که از طریق آن گرما، ماده و دیگر خواص فیزیکی تبادل می یابند (Kleidon and

در شکل ۱ چرخه آب جهانی به صورت مدار الکتریکی ترسیم شده است که پتانسیل ها، پتانسیل های شیمیایی را نشان می دهد (Kleidon, 2009). مقاومت ها، فرایندهای انتشاری یا اتلافی (اتلاف اصطکاکی، تقطیر، جنبش اتمسفری، تبخیر و تعرق مجدد قطرات، پخش و حمل، اختلاط لایه مرزی، صعود آب، اتلاف از حوزه آبخیز، هوازدگی و جابجایی) هستند و باتری ها فرایندهایی هستند که انرژی های آزاد را تولید کرده و از این طریق این چرخه را پیش می برند. نقطه چین ها ترکیبات در وضعیت گاز و خط چین ها ترکیبات در وضعیت محلول<sup>۱۱</sup> را نشان می دهند. خطوط تیره وضعیت های مایع یا جامد را نشان می دهند (Kleidon, 2009). بیلان آب در روی زمین هنگامی از تعادل





شکل ۲- نمودار شماتیک سطح زمین که در آن زمین به عنوان یک سیستم ترمودینامیک در نظر گرفته شده است (Kleidon and Schymanski, 2008)

می تواند بر این امر دلالت داشته باشد که این چرخش به قویترین جنبش همرفتی که رطوبت را تا حد ممکن برداشت می کند وابسته است. از این دیدگاه، به نظر می رسد وضعیت MEP نشان دهنده ای این است که چرخه هیدرولوژی اتمسفری در دورترین نقطه از تعادل ترمودینامیکی قرار دارد و متوسط رطوبت نسبی کمترین مقدار ممکن را دارا است (Kleidon, 2009). کمی سازی نرخ تولید انترپوی امکان اندازه گیری ماهیت استهلاکی<sup>۱۵</sup> چرخه هیدرولوژی و برگشت ناپذیری آن را فراهم می کند و مبنایی برای شناسایی برخی از مشخصات عملکردی کلی را فراهم می کند. بنابراین، این دیدگاه ترمودینامیکی امکان بررسی قابلیت کاربرد اصل تولید حداکثر انترپوی برای هیدرولوژی سطحی و خاک را فراهم می کند. در ادامه براساس (Kleidon et al., 2009) نحوه محاسبه نرخ تولید انترپوی توسط هر یک از مؤلفه های بیلان آب در سطح زمین شامل بارش، تغییر رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، رواناب، و جابجایی رطوبت خاک بیان می شود.

## ۲-۱- بارش

واضح است که بارش مهم ترین محرک بیلان آب سطح است. هنگامی که بارش وارد سیستم سطحی می شود آب مایع به شکل آزاد با پتانسیل شیمیایی تقریباً صفر وارد می شود. به هر حال، ریزش قطرات باران همراه با مقدار مشخصی انرژی جنبشی (Kerain) است. این انرژی جنبشی به شکل گرما تلف شده و احتمالاً موجب تغییر شکل در سطح تحت تأثیر می شود. نرخ اتلاف را می توان از انرژی جنبشی قطرات باران در حال نزول محاسبه کرد که فرض می شود کاملاً به شکل گرمای اتلافی در سطح تحت

در شکل ۲ که سطح زمین را به عنوان یک سیستم ترمودینامیک نشان می دهد، مرزها با نقطه چین نشان داده شده اند. پیکان ها نشان دهنده شارهای ماده در مرزهای سیستم برحسب نرخ و پتانسیل شیمیایی  $\mu$  آن ها است (P: بارش، S: خاک، V: پوشش گیاهی، A: اتمسفر، O: اقیانوس) و جعبه ها نشان دهنده فرایندهای اتلافی (استهلاکی) هستند (Kleidon and Schymanski, 2008). فرآیندهای چرخه هیدرولوژی مانند اغلب فرآیندهای درون سیستم زمین برگشت ناپذیر هستند و انترپوی تولید می کنند. برای درک این که برگشت ناپذیری از کجا ناشی می شود وضعیت تعادل ترمودینامیکی به عنوان وضعیت مرجع در نظر گرفته می شود. هنگامی که رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد است بخار آب موجود در اتمسفر در تعادل ترمودینامیکی با سطح آب است. در تعادل ترمودینامیکی، بدون هیچ تبادل خالص رطوبت، تبخیر خالص<sup>۱۲</sup> با میعان خالص<sup>۱۳</sup> در تعادل است. برعکس، تبخیر آب در یک اتمسفر اشباع نشده برگشت ناپذیر است و انترپوی تولید می کند و اتمسفر را به تعادل ترمودینامیکی نزدیک تر می سازد. شرایط غیراشباع توسط گردش اتمسفری که به عنوان کاهنده رطوبت<sup>۱۴</sup> عمل می کند حفظ می شود. هنگامی که هوا توسط جنبش بالا می رود سرد می شود و بخار آب به وضعیت اشباع نزدیک تر می شود. از طرف دیگر، میعان بخار فرا اشباع برگشت ناپذیر است و تولید انترپوی می نماید، همان طور که انتشار بخار آب تولید انترپوی می کند. بنابراین برگشت ناپذیری چرخه هیدرولوژی ارتباط نزدیکی با قدرت گردش اتمسفری دارد (Kleidon and Schymanski, 2008; Kleidon, 2009). تمایل گردش اتمسفری برای حفظ وضعیت MEP دال بر این است که اتمسفر تا حد ممکن با قدرت می چرخد. این وضعیت در عوض

انرژی به سیستم  $L.E/T_s$  است که موجب افزایش انرژی در هنگام تغییر فاز آب از مایع به گاز ( $E$ : نرخ تبخیر و ترقق و  $T_s$ : درجه حرارت سطح پهنه آبی که آب از آن تبخیر می‌شود) می‌شود. این فرایند به تنهایی منجر به تولید انرژی نمی‌شود چرا که برگشت‌پذیر است (یعنی اگر بخار متراکم شود همان مقدار گرمایی را منتشر می‌سازد که با صدور انرژی  $L.E/T_s$  همراه خواهد بود). انرژی هنگامی تولید می‌شود که هوای اشباع در سطح با هوای غیراشباع لایه مرزی اتمسفر (با دمای  $T_a$  و رطوبت نسبی  $RH_a$ ) ترکیب می‌شود. تولید انرژی مربوط به این ترکیب می‌تواند مستقیماً از معادله  $\mu_a = R_v \times T_a \times \ln(RH)$  توسط معادله (۷) محاسبه شود.

$$\sigma_{evap} = -\rho_{water} \times R_v \times E \times (\ln(RH_a) - \ln(RH_s)) \quad (۷)$$

که  $R_v$ : ثابت گاز برای بخار آب است که مقدار آن برابر است با:  $461.5 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

با این حال، آب معمولاً در یک وضعیت آزاد غیرمتصل نیست، اما لازم است از خاک بیرون کشیده شده و در حالت ترقق بر فراز تاج پوشش بالا رود. کار مورد نیاز برای بیرون کشیدن آب خاک، معادل است با مقدار گرمای شناوری رها شده در هنگامی که خاک مرطوب می‌شود. از آنجا که برای تبخیر آب متصل لازم است کار در مقابل کشش سطحی انجام شود، گرمای نهان تبخیر در مقایسه با تبخیر از سطح آزاد تا حدی بالاتر است. برای ترقق گیاه نیز لازم است که کار انجام شده توسط پوشش گیاهی در بالا بردن آب خاک آزاد شده<sup>۱۹</sup> از عمق  $z$  در خاک تا ارتفاع  $h$  تاج پوشش در نظر گرفته شود. نرخ حاصل  $dW_{lift}/dt$  مربوط به نرخ ترقق پیوسته  $T$  به صورت معادله (۸) است.

$$dW_{lift}/dt = \rho_{water} \cdot g \quad (۸)$$

## ۲-۴- رواناب

جریان آب مربوط به رواناب از تبدیل انرژی پتانسیل رطوبت خاک در ستون خاک به صورت انرژی جنبشی حاصل می‌شود. مقدار انرژی تولید شده توسط رواناب را می‌توان از طریق در نظر گرفتن انرژی‌ها در مرحله اولیه و با این فرض برآورد کرد که انرژی پتانسیل سطح به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود که متعاقباً توسط اصطکاک به صورت گرما منتشر می‌شود. اگر فرض شود که اختلاف انرژی پتانسیل بین قسمت بالای ستون خاک و سطح دریا برابر با  $\rho g \Delta z$  باشد مقدار انرژی جنبشی  $KE_{runoff}$  که می‌تواند با استفاده

تأثیر تبدیل شود. نرخ اتلاف انرژی جنبشی ( $D_{rain}$ ) از مقدار بارش ( $p$ )، سرعت نهایی قطرات باران ( $v_t$ ) (که به قطر قطره باران بستگی دارد) و چگالی آب ( $\rho_{water}$ ) با استفاده از معادله (۴) برآورد می‌شود:

$$D_{rain} = \frac{1}{2} \rho_{water} \times p \times v_t^2 \quad (۴)$$

با استفاده از دمای سطح سالانه رایج ( $T_s$ )  $288 \text{ K}$ ، تولید انرژی مربوطه به صورت معادله (۵) برآورد می‌شود:

$$\sigma_{rain} = D_{rain}/T_s \quad (۵)$$

## ۲-۲- تغییر رطوبت خاک

مرطوب شدن ماتریس خاک، یعنی افزایش مقدار کلی آب خاک ( $w_s$ ) به اندازه  $\Delta w_s$  که شامل اتصال برگشت‌ناپذیر آب آزاد نفوذ یافته با پتانسیل شیمیایی  $\mu_{water} = 0$  به یک وضعیت متصل<sup>۱۶</sup> با  $\mu_s < 0$  است که به موجب آن گرما تولید و انرژی صادر می‌شود. گرمای رها شده، گرمای غوطه‌وری<sup>۱۷</sup> نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، مرطوب شدن موجب کاهش انرژی اتصال کل<sup>۱۸</sup>  $BE_{water}$  می‌شود. آن‌گاه، گرمای آزاد شده توسط فرمول (۶) نمایش داده می‌شود.

$$\Delta Q = -(BE_{water}(w_s + \Delta w_s) - BE_{water}(w_s)) \quad (۶)$$

که  $\Delta Q$ : گرمای آزاد شده است.

با فرض این که خاک قبل از هر رویداد بارش به نقطه پژمردگی دائم ( $\mu_s = \Psi_m = -1.5 \times 10^6 \text{ J m}^{-3}$ ) می‌رسد و بعد از بارش اشباع می‌شود، می‌توان یک برآورد تقریبی از مقدار گرمادهی انجام داد. آن‌گاه اختلاف پتانسیل شیمیایی  $\Delta \mu_s = 1.5 \times 10^6 \text{ J m}^{-3}$  است. اگر مقدار آب در دسترس یک گیاه (PAW) برابر ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود، یعنی افت سطح آب از نقطه اشباع به نقطه پژمردگی دائم به برداشت ۱۰۰ میلی‌متر آب وابسته است، گرمای اتلافی مربوطه تقریباً  $p/PAW \times \Delta \mu_s / \rho_{water}$  است که  $p$ : بارش است.

## ۲-۳- تبخیر و ترقق

تبخیر و ترقق نشان‌دهنده تغییر فاز آب از مایع به گاز است. در تعادل ترمودینامیکی محلی، دو فاز دارای پتانسیل شیمیایی برابر هستند، اما برای افزایش حجم مولار آن از مایع به گاز، گرما (یعنی، گرمای نهان تبخیر  $L$ ) لازم است که این شامل یک شار

### ۳- حداکثر تولید انرژی و کاربردهای بالقوه آن برای هیدرولوژی سطح زمین

برای استفاده مستقیم از ترمودینامیک غیرتعادلی در هیدرولوژی باید دو مسئله را مورد توجه قرار داد. اول این که حوزه آبخیز یک سیستم ترمودینامیکی باز است که انرژی و ماده با انرژی های مختلف را با محیط خود مبادله می کند و این تبادلات باید برحسب پتانسیل شیمیایی آن ها فرموله شوند. دوم این که حوزه آبخیز یک سیستم دور از تعادل ترمودینامیکی است (Kleidon and Schymanski, 2008). تبادل بین شار ترمودینامیکی و نیرو که در آن نیرو موجب به وجود آمدن شار شده و شار، نیرو را کاهش می دهد برای بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژیکی روی زمین به کار می رود. در این فرآیندها، شارها به طور کلی گرادیان های پتانسیل شیمیایی را کاهش می دهند. تبادل شار و نیرو را می توان به عبارت ساده تر به این صورت بیان نمود: اختلاف پتانسیل شیمیایی، حرارتی یا مکانیکی بین دو سیستم که به عنوان نیرو یا گرادیان در نظر گرفته می شود موجب ایجاد جریان یا شار ماده و انرژی بین این دو سیستم می شود. با شروع شار یا جریان، از اختلاف پتانسیل شیمیایی، حرارتی، یا مکانیکی بین دو سیستم کاسته می شود و در مرحله ای که این اختلاف به صفر برسد دیگر شار یا جریانی بین دو سیستم وجود نخواهد داشت. در حالی که در سیستم های طبیعی هم چون چرخه هیدرولوژی عواملی مانند جنبش اتمسفری موجب می شوند که این وضعیت تعادلی برقرار نشود و همین امر موجب جریان ماده و انرژی و در واقع جریان زندگی در سیستم زمین می شود.

بارش به طور کامل در خاک نفوذ می کند و موجب پتانسیل شیمیایی رطوبت خاک  $\mu_s$  می شود. این شار به صورت  $E$  (تبخیر و تعرق) و  $R$  (رواناب) تقسیم می شود. هر دو شار ناشی از گرادیان هستند، یعنی به صورت  $E = k_e \times (\mu_s - \mu_e)$  و  $R = k_r \times (\mu_s - \mu_r)$  بیان می شوند.  $\mu_e$  پتانسیل شیمیایی است که در آن آب تبخیر می شود (مانند نقطه پژمردگی دائم گیاهان) و  $\mu_r$  پتانسیل شیمیایی آب است هنگامی که به کانال رودخانه می رسد. هنگامی که شارها سیستم خاک را ترک می کنند با گرادیان های تولید انرژی مربوطه، پیش رفتن آن ها ادامه می یابد:  $E$  از طریق اختلاف  $\mu_s - \mu_a$  و  $R$  از طریق اختلاف  $\mu_s - \mu_{msl}$  دو جنبه آخر در این جا در نظر گرفته نمی شود. با استفاده از عبارات  $E$  و  $R$  و محدودیت  $P=E+R$ ،  $\mu_s$  مطابق رابطه (۱۳) ارائه می شود.

از این گرادیان انرژی پتانسیل برای یک نرخ رواناب مورد نظر  $R$  ایجاد شود (نرخ تولید انرژی جنبشی  $G_{KE,runoff}$ ) به صورت معادله (۹) است.

$$D_{runoff} = G_{KE,runoff} = R \cdot \Delta z \cdot \rho_{water} \cdot g \quad (9)$$

که  $g$ : شتاب گرانشی است و نرخ تولید انرژی مربوطه به صورت معادله (۱۰) ارائه می شود.

$$\sigma_{runoff} = D_{runoff} / T_s \quad (10)$$

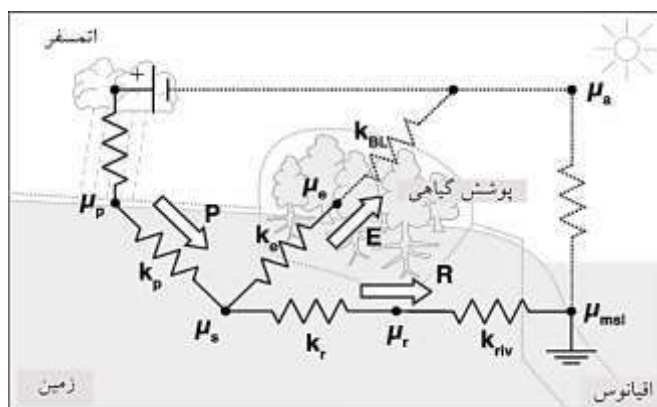
### ۲-۵- جابجایی رطوبت خاک

برای برآورد انرژی تولید شده توسط جابجایی آب خاک، ابتدا یک توزیع اولیه آب خاک در ستون خاک در نظر گرفته می شود. این توزیع با یک مقدار مشخص انرژی اتصال ( $BE_0 = BE(t=0)$ ) و انرژی پتانسیل ( $PE_0 = PE(t=0)$ ) مشخص می شود. در این جا تنها جابجایی رطوبت زیر ظرفیت زراعی درون زون ریشه در نظر گرفته می شود. هر حرکت رطوبت خارج از زون ریشه به عنوان رواناب در نظر گرفته می شود که در بخش رواناب ارائه شده است. جریان آب با انرژی جنبشی مربوطه آن  $KE_{redist}$  مشخص می شود. سرانجام این انرژی با کاهش انرژی کل  $TE$  تا کمترین مقدار ممکن خود تولید می شود. پس از یک زمان به قدر کافی طولانی جنبش به دلیل اتلاف اصطکاکی به سکون خواهد رسید. یعنی تمام انرژی جنبشی به صورت گرما اتلاف می یابد و  $BE+PE$  در حداقل مقدار است. بنابراین:

$$\begin{aligned} BE_0 + PE_0 + KE_{redist}(0) &= BE(t) + PE(t) + KE_{redist}(t) \\ &+ Q_{redist}(t) \\ &= \min(BE + PE) + Q_{redist} \\ &+ KE_{redist}(\infty) \end{aligned} \quad (11)$$

که  $Q_{redist}$ : مقدار تجمعی گرمای تولید شده توسط انتشار و غوطه وری،  $KE_{redist}(0)$  و  $KE_{redist}(\infty)$  برابر با صفر هستند. اگر وضعیت تعادل ترمودینامیکی تقریباً به فراتر از مقیاس زمانی  $\tau_{redist}$  برسد تولید انرژی مربوطه به صورت معادله (۱۲) است.

$$\sigma_{redist} = Q_{redist} / (\tau_{redist} \cdot T_s) \quad (12)$$



شکل ۳- نمایش ساده سیستم زمین برحسب قیاس مدار الکتریکی که در آن خطوط تیره نشان‌دهنده جریان آب مایع هستند و خطوط نقطه‌چین جریان بخار آب را نشان می‌دهند (Kleidon and Schymanski, 2008)

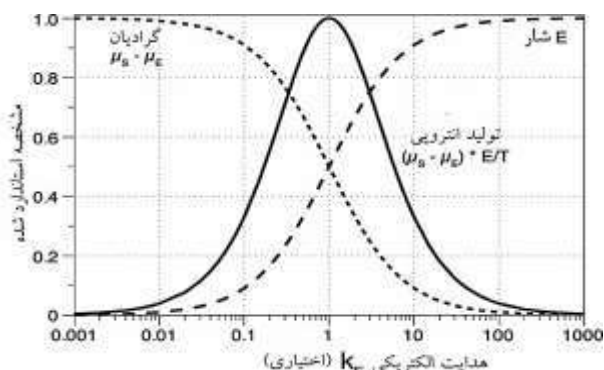
در نظر گرفته شده و مقادیر دو مؤلفه دیگر در نقطه‌ای به دست می‌آید که مقدار تولید انتروپی حداکثر شود و بدین ترتیب مقادیر بهینه مؤلفه‌ها به دست می‌آید.

$$\mu_s = \frac{P + k_e \mu_e + k_r \mu_r}{k_e + k_r} \quad (13)$$

تولید انتروپی مربوط به  $E$  و  $R$  به ترتیب به صورت معادلات (۱۴) و (۱۵) است.

$$\sigma_e = k_e (\mu_s - \mu_e)^2 / T \quad (14)$$

$$\sigma_r = k_r (\mu_s - \mu_r)^2 / T \quad (15)$$



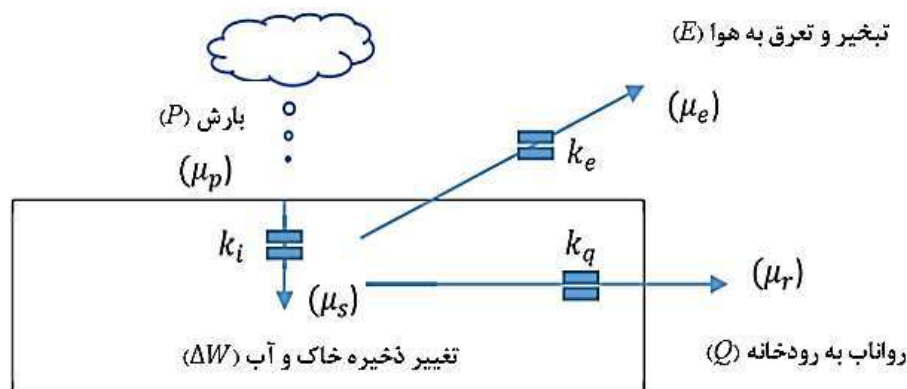
شکل ۴- وجود یک وضعیت MEP در نتیجه‌ی تبادل شار- نیرو مربوط به تبخیر و تعرق  $E$  و قابلیت هدایت  $k_e$ . برای نمایش، مقادیر نشان داده شده با حداکثر مقدار خود استاندارد شده‌اند (Kleidon and Schymanski, 2008)

از آن جا که  $\sigma_e$  عموماً بیشتر از  $\sigma_r$  است، می‌توان انتظار داشت که بهینه‌سازی  $k_e$  و  $k_r$  می‌تواند در جزء بندی  $P$  در نبود سایر محدودیت‌ها منجر به غالبیت  $E$  بر  $R$  شود که در محاسبات مربوط به تولید حداکثر انتروپی می‌تواند به عنوان یک محدودیت در نظر گرفته شود (Kleidon and Schymanski, 2008). با توجه به این که در وضعیت تولید حداکثر انتروپی، سیستم در وضعیت بهینه خود قرار دارد، مثال تشریح شده نشان داد که با در نظر گرفتن اصل تولید حداکثر انتروپی به عنوان یک اصل بهینگی می‌توان مؤلفه‌های هیدرولوژیکی را در وضعیت بهینه سیستم و بدون نیاز به شناخت تفصیلی از سیستم هم‌چون بافت و ساختمان خاک، شرایط رطوبتی خاک، پوشش گیاهی، وضعیت زمین‌شناسی و غیره برآورد نمود. لذا، طراحی و ساخت مدل‌های هیدرولوژیکی با در نظر داشتن این اصول می‌تواند به برآورد

$E$  به عنوان یک مثال در نظر گرفته می‌شود برای نشان دادن وجود وضعیت MEP برای  $\sigma_e$ ، با توجه به  $k_e$  برای مقادیر معین  $k_r$  و  $P$  همان گونه که در سمت چپ شکل ۴ مشخص است، در کران  $k_e = 0$  و  $E = 0$  از این رو  $\sigma_e = 0$  است. سمت راست شکل ۴ نیز کران دیگر را نشان می‌دهد که در آن  $k_e \rightarrow \infty$  و  $\mu_s \rightarrow \mu_e$  و از این رو  $\sigma_e = 0$  (Kleidon and Schymanski, 2008). در واقع در سمت چپ شکل ۴ بیشترین اختلاف پتانسیل شیمیایی وجود دارد که به عنوان حداکثر گرادیان یا نیرو تعبیر می‌شود. وجود حداکثر گرادیان موجب ایجاد شار می‌شود و با ادامه شار از مقدار گرادیان کاسته می‌شود تا جایی که در سمت راست شکل مقدار گرادیان به صفر رسیده و شار حداکثر می‌شود. بنابراین، این تبادل منجر به وضعیت تولید حداکثر انتروپی و یک مقدار بهینه برای  $k_e$  و  $E$  می‌شود (Kleidon and Schymanski, 2008). نقطه اوج منحنی ارائه شده در شکل ۴ نقطه‌ای را نشان می‌دهد که تولید انتروپی در آن حداکثر است و ادامه نقطه برخورد منحنی‌های مربوط به شار و گرادیان تا محور مختصات، مقادیر بهینه  $k_e$  و  $E$  را نمایان می‌سازد. به طور مشابه، حداکثر  $\sigma_r$  را می‌توان برای  $P$  و  $k_e$  معین نشان داد. به طور کلی، با دستیابی به نحوه محاسبه  $\sigma_e$  و  $\sigma_r$  با استفاده از حداکثرسازی هر کدام، مؤلفه‌های مورد نظر به دست می‌آیند. به این صورت که برای دو مؤلفه مقادیر معینی



مؤلفه دارد. مؤلفه اول تغییر ذخیره،  $\Delta W$ ، نگه داشته شده در خاک و پوشش گیاهی است که با گرادیان پتانسیل شیمیایی بین بارش ( $\mu_p$ ) و سیستم زمین ( $\mu_s$ ) هدایت شده توسط هدایت  $K_j$  ایجاد می شود. مؤلفه دوم تبخیر و تعرق  $E$  به هوا است که با گرادیان پتانسیل شیمیایی بین سیستم زمین ( $\mu_s$ ) و هوا ( $\mu_a$ ) پیش می رود و با هدایت  $K_e$  هدایت می شود. مؤلفه سوم رواناب به رودخانه است که با گرادیان شیمیایی بین سیستم زمین ( $\mu_s$ ) و رودخانه ( $\mu_r$ ) پیش می رود و با هدایت  $K_q$  هدایت می شود. بر این اساس و با توجه به اصل تولید حداکثر انتروپی، یک عبارت کلی برای بیلان آب استخراج شد.



شکل ۵- نمایش ساده تقسیم بندی فرایند بارش برحسب رابطه شار- نیرو در مقیاس حوزه آبخیز (Zhao et al., 2016)

هیدرولوژی و مدل سازی آن هر روز بین رشته ای تر می شود، لحاظ بیلان انرژی در مدل سازی را ضروری تر ساخته و ورود تحلیل های ترمودینامیکی به عرصه این علم را اجتناب ناپذیرتر از قبل کرده است. از نظر کاربرد، ترمودینامیک غیر تعادلی و MEP ما را با دیدگاهی مبنی بر این که چگونه باید در مورد چرخه هیدرولوژی درون سیستم زمین فکر کرد، تجهیز می کنند. در حالی که اصطلاحات "سیستم" و "دیدگاه سیستم ها" معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند، صریحاً به ماهیت ترمودینامیکی سیستم اشاره نمی کنند. با این حال، ماهیت ترمودینامیکی می گوید که این سیستم ها چگونه باید مرتبط شوند (از طریق شارهای ترمودینامیکی آن ها در مرزهایشان) و چگونه شارهای درون این سیستم ها باید بهینه سازی شوند (MEP). در حالی که پیچیدگی کوچک-مقیاسی که در سیستم های هیدرولوژیکی یافت می شود (به طور مثال در رابطه با ناهمگنی مکانی در حوضه های آبخیز) ممکن است گیج کننده باشد. MEP راهی نسبتاً ساده می یابد که می گوید هرچه پیچیدگی سیستم مورد نظر بیشتر باشد، احتمالاً MEP توانایی بیشتری در توصیف عملکرد آن در مقیاس بزرگ

مؤلفه های هیدرولوژیکی بدون نیاز به شناخت جزئی سیستم کمک کند.

به عنوان یک مطالعه موردی می توان به پژوهش انجام شده توسط Zhao et al. (2016) اشاره نمود که در آن یک عبارت کلی برای تقسیم بندی بیلان آب (تقسیم بارش به رواناب، تبخیر و تعرق، و تغییر ذخیره) در مقیاس حوضه آبخیز استخراج شد که از طریق به کارگیری اصل تولید حداکثر انتروپی برای هر مقیاس زمانی قابل استفاده است. شکل ۵ نمودار مفهومی رابطه شار- نیرو را نشان می دهد که برای نمایش مکانیسم های پیشران فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه آبخیز است. در شکل ۵ بعد از این که بارش  $P$  به سطح زمین می رسد، تقسیم بندی بارش سه

با به کارگیری این نتیجه کلی در سه مقیاس زمانی متفاوت، یعنی مقیاس زمانی درازمدت (بیلان آب میانگین سالانه)، و مقیاس های زمانی ماهانه (فصلی) و رویداد-محور، سه معادله بیلان آب حاصل شد که به طور گسترده از مدل های بیلان آب تجربی (مدل نوع Budyko برای مقیاس زمانی درازمدت، مدل abcd در مقیاس ماهانه و مدل SCS در مقیاس رویداد) در همین مقیاس های زمانی تقلید می کنند. در همین راستا، این مقاله نشان داد که مدل های تجربی در سه مقیاس زمانی متفاوت، حتی هنگامی که شکل های متفاوتی دارند، مبنای ترمودینامیکی مشترکی دارند.

#### ۴- نتیجه گیری

استدلال ترمودینامیکی دارای قدمتی طولانی در علوم زمین، محیط شناسی و هیدرولوژی است و یکی از مزایای اصلی آن نگاه توأم به شارهای ماده و تبدیلات انرژی مربوطه شامل انتشار و تولید انتروپی است (Zehe et al., 2019). از آن جا که علم

- 4- Thermodynamic optimality principles (TOPs)
- 5- Grid
- 6- Maximum Entropy Production (MEP)
- 7- Dissipate
- 8- Nonequilibrium state
- 9- Flux
- 10- Binding
- 11- Dissolved state
- 12- Net evaporation
- 13- Net condensation
- 14- Dehumidifier
- 15- Dissipative nature
- 16- Bound state
- 17- Immersion
- 18- Total binding energy
- 19- Freed soil water
- 20- Redistribution

## ۶- مراجع

احمدپور، ع.، میرهاشمی، س.ح.، و حقیقت‌جو، پ.، (۱۳۹۸)، "پیش‌بینی رواناب روزانه در حوضه مارون با استفاده از مدل HEC-HMS"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۴(۱)، ۴-۱۳.

قویدل رحیمی، ی.، (۱۳۸۶)، "نظریه گایا و شکل‌گیری نگرش‌های نو در علوم محیطی"، *محیط‌شناسی*، ۳۳(۴۱)، ۵۵-۸۴.

- Dyke, J., and Kleidon, A., (2010), "The maximum entropy production principle: Its theoretical foundations and applications to the earth system", *Entropy*, 12(3), 613-630.
- Hildebrandt, A., Kleidon, A., and Bechmann, M., (2016), "A thermodynamic formulation of root water uptake", *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(8), 3441-3454.
- Kleidon, A., and Renner, M., (2013), "Thermodynamic limits of hydrological cycling within the earth system: concepts, estimates and implications", *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2872-2892.
- Kleidon, A., (2008), "Entropy production by evapotranspiration and its geographic variation", *Soil and Water Research*, 3(S1), 89-94.
- Kleidon, A., (2009), "Non-equilibrium thermodynamics and maximum entropy production in the earth system", *Naturwissenschaften*, 96(6), 1-25.
- Kleidon, A., (2010), "A basic introduction to the thermodynamics of the earth system far from equilibrium and maximum entropy production", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365(1545), 1303-1315.
- Kleidon, A., (2020), "Understanding the earth as a whole system: from the Gaia hypothesis to thermodynamic optimality and human societies", *arXiv preprint arXiv:2005.09216*.
- Kleidon, A., Malhi, Y., and Cox, P.M., (2010), "Maximum entropy production in environmental and ecological systems", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365(1545), 1297-1302.

خواهد داشت. این را می‌توان به‌طور مستقیم از MEP نشأت گرفته از فیزیک آماری درک نمود که اگر تعداد به‌قدر کافی زیادی از اهداف در نظر گرفته شود، معتبر است.

MEP پژوهشگران را قادر می‌سازد که پیش‌بینی خود از شارهای هیدرولوژیکی را با اجتناب از نیاز به افزایش مقیاس فرآیندهای کوچک-مقیاس ناهمگن به بزرگ-مقیاس بهبود دهند. MEP در سطح نظری کمک می‌کند تا مدل‌های ساده‌تری ساخته شود که می‌توانند شناخت ما را افزایش دهند. برای تحلیل تغییر مانند اقدامات انسانی، ترمودینامیک می‌تواند ما را با چشم‌انداز متفاوتی از کاربردهای تغییر، مجهز نماید. برای مثال، ما بخوبی آگاه هستیم که گرم شدن اقلیم جهانی، چرخه هیدرولوژی را تغییر خواهد داد، اما نمی‌دانیم آیا چرخه هیدرولوژی بیشتر یا کمتر اتلافی خواهد شد. در مقایسه با دیگر رویکردهای اپتیمالیتی، MEP مزیت‌های آشکاری دارد: (۱) مبنای آن فیزیک بنیادی است (اگرچه مبنای نظری آن هنوز در روند بنیانگذاری است)؛ (۲) هدف آن عمومی است، یعنی می‌تواند برای فرایندهای تبدیلی صرفاً فیزیکی گرما و ماده (مانند آشفستگی) استفاده شود، اما هم‌چنین برای بسیاری از فرایندهای شیمیایی و بیوشیمیایی قابل کاربرد باشد، چرا که ماهیت این‌ها ترمودینامیکی است؛ و (۳) در انتخاب تابع هدف هدفمند است، یعنی برای جنبه‌هایی از سیستم که باید حداکثرسازی شوند، چرا و تحت چه شرایطی این‌ها باید حداکثر شوند. در نتیجه MEP نویدی بزرگ است برای تجهیز ما با شناخت بهتر، کلی، و بنیادی‌تر از سازمان فرایندهای هیدرولوژیکی درون سیستم زمین. به‌منظور دستیابی به پیشرفت، مدل‌ها باید براساس ترمودینامیک غیرتعادلی توسعه یابد و مواردی برای نشان دادن قابلیت کاربرد و محدودیت‌های MEP مورد آزمون قرار گیرد. با توجه به این‌که پیش‌بینی رواناب می‌تواند تأمین آب، انرژی برق‌آبی، نیازهای محیط‌زیستی و دیگر نیازهای بهره‌برداری را پشتیبانی نماید، تلاش برای پیش‌بینی هرچه صحیح‌تر و دقیق‌تر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی از اهمیت فراوانی در علم هیدرولوژی برخوردار است. در صورتی که اصل MEP به شیوه درست به کار گرفته شود و مبنای فیزیکی صحیحی داشته باشد می‌توان این اصل را مورد آزمون قرار داد. اگر نیل به این نقطه صورت گیرد و اصل MEP پشتیبانی شود می‌تواند به معنی یک گام رو به جلوی بزرگ در علم هیدرولوژی باشد.

## ۵- پی‌نوشت‌ها

- 1 Entities
- 2- Self-optimized
- 3- Optimality

- Kleidon, A., and Schymanski, S., (2008), "Thermodynamics and optimality of the water budget on land: A review", *Geophysical Research Letters*, 35(20), 1-6
- Kleidon, A., Schymanski, S., and Stieglitz, M., (2009), "Thermodynamics, irreversibility, and optimality in land surface hydrology", In: *Bioclimatology and Natural Hazards*, 107-118, Springer, Dordrecht.
- Martyushev, L.M., and Seleznev, V.D., (2006), "Maximum entropy production principle in physics, chemistry and biology", *Physics Reports*, 426(1), 1-45.
- Porada, P., Kleidon, A., and Schymanski, S.J., (2011), "Entropy production of soil hydrological processes and its maximization", *Earth System Dynamics*, 2(2), 179-190.
- Schymanski, S., (2011), "Optimality theory: A path to calibration-free models?", *Geography Research Abstract*, 13, EGU2011-6872.
- Schymanski, S.J., (2008), "Optimality a concept to understand and model vegetation at different scales", *Geography Compass*, 2(5), 1580-1598
- Westhof, M.C., Zehe, E., and Schymanski, S.J., (2014), "Importance of temporal variability for hydrological predictions based on the maximum entropy production principle", *Geophysical Research Letters*, 41(1), 67-73.
- Westhoff, M., Kleidon, A., Schymanski, S., Dewals, B., Nijse, F., Renner, M., Dijkstra, H., Ozawa, H., Savenije, H., Dolman, H., Meesters, A., and Zehe, E., (2019), "ESD Reviews: Thermodynamic optimality in Earth sciences, The missing constraints in modeling Earth system dynamics?", *Earth System Dynamics Discussions*, 1-31.
- Westhoff, M. C., and Zehe, E., (2013), "Maximum entropy production: Can it be used to constrain conceptual hydrological models?", *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3141-3157.
- Zehe, E., Ehret, U., Blume, T., Kleidon, A., Scherer, U., and Westhoff, M. (2013). "A thermodynamic approach to link self-organization, preferential flow and rainfall-runoff behavior", *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(11), 4297-4322.
- Zehe, E., Loritz, R., Jackisch, C., Westhoff, M., Kleidon, A., Blume, T., Hasler, S.K., and Savenije, H.H., (2019). "Energy states of soil water, A thermodynamic perspective on soil water dynamics and storage-controlled streamflow generation in different landscapes", *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2), 971-987.
- Zhao, J., Wang, D., Yang, H., and Sivapalan, M., (2016). "Unifying catchment water balance models for different time scales through the maximum entropy production principle", *Water Resources Research*, 52(9), 7503-7512.



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

## Performance Evaluation of Hydrothermal Carbonation Treatment to Biogas Production from Anaerobic Digestion of Organic Waste

Reza Ghasemzadeh<sup>1</sup>, Mohammad Ali Abdoli<sup>2\*</sup>, Omid Bozorg-Haddad<sup>3</sup> and Maryam Pazoki<sup>4</sup>

1- M.Sc., Faculty of Environment, College of Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Professor, Faculty of Environment, College of Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Professor, School of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Tehran, Iran.

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

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

Received: 28/07/2021

Revised: 16/09/2021

Accepted: 20/09/2021

© IWWA

### Abstract

The most problems in the field of municipal waste management are related to the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). In this experimental study, the effect of hydrochars produced at 150, 190, and 230 °C on AD process was analyzed with a sample of the OFMSW of Tehran. Due to the hydrothermal carbonization process, with increasing temperature, the hydrochar yield decreased and due to the increase in thermal value, the energy yield in hydrochar-190 was maximum. The effect of hydrochars on biogas production was variable and in hydrochars-150 and 190, 23.25 and 41.3% increase in biogas production was observed, respectively. This phenomenon was due to the destruction of the hard structure of the OFMSW. On the other hand, in hydrochar-230, there was a 30.63% reduction in biogas production, which was due to the production of inhibitor products such as phenol and furfural in the hydrothermal carbonation process. According to the results, the best conditions for the maximum production of biogas in the produced hydrochar at temperature of 190 °C and a retention time of 40 minutes. Also, the percentage of methane production in this condition was 63.25%.

**Keywords:** Hydrothermal carbonization, Anaerobic digestion, Organic fraction of municipal solid waste, Biogas production, Hydrochar

## بررسی کارایی پردازش کربنیزاسیون گرمایی بر تولید بیوگاز ناشی از هضم بی‌هوازی مواد آلی

رضا قاسم‌زاده<sup>۱</sup>، محمدعلی عبدلی<sup>۲\*</sup>، امید بزرگ حداد<sup>۳</sup> و مریم پازکی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد، مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴- استادیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### چکیده

بیشترین مشکلات در زمینه مدیریت پسماند شهری مربوط به بخش آلی پسماندهای شهری است. در این پژوهش که به‌صورت تجربی انجام شد، اثر هیدروچارهای تولیدی در دماهای ۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد بر فرایند هضم بی‌هوازی با نمونه بخش آلی پسماندهای شهری تهران بررسی شد. بر اثر فرآیند کربنیزاسیون گرمایی، با افزایش دما، میزان بازدهی هیدروچار کاهش یافت و در عین حال با توجه به افزایش ارزش حرارتی، میزان بازدهی انرژی در هیدروچار-۱۹۰ به بیشینه حالت خود رسید. اثرگذاری هیدروچار بر میزان تولید بیوگاز متغیر بود و در هیدروچارهای ۱۵۰ و ۱۹۰ به ترتیب ۲۳/۲۵ و ۴۱/۰۳ درصد افزایش تولید بیوگاز مشاهده شد که ناشی از تخریب ساختار سخت بخش آلی پسماندهای شهری بود. از طرفی در هیدروچار-۲۳۰، ۳۰/۶۳ درصد کاهش تولید بیوگاز رخ داد که ناشی از تولید محصولات بازدارنده مانند فنول و فورفورال در فرایند کربنیزاسیون گرمایی بود. با توجه به نتایج حاصل شده، بهترین شرایط به‌منظور تولید بیشینه بیوگاز در هیدروچار تولیدی در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ماند ۴۰ دقیقه بود. همچنین درصد تولید متان در این شرایط معادل ۶۳/۲۵ درصد بود.

**کلمات کلیدی:** کربنیزاسیون گرمایی، هضم بی‌هوازی، بخش آلی پسماند شهری، تولید بیوگاز، هیدروچار



تبدیل می‌کند: ۱- بیوگاز دارای ارزش حرارتی به‌عنوان یک سوخت تجدیدپذیر که می‌تواند الکتریسیته و حرارت تولید نماید و یا این که به‌عنوان سوخت مصرفی در تجهیزات و خودروها مورد استفاده قرارگیرد. ۲- کود (مواد هضم شده) تولید کند که به‌صورت مستقیم و یا ترکیب شده در کشاورزی مورد مصرف قرارگیرد (Bolzonella et al., 2006).

در طول سالیان گذشته، هضم بی‌هوازی به‌صورت گسترده به‌عنوان روش مدیریت بخش آلی پسماندهای شهری و سایر پسماندهای آلی مورد استفاده قرار گرفته و انرژی تولیدی به فرم بیوگاز بازیابی شده است. محققین زیادی در جهت بهبود و افزایش میزان بیوگاز پیش‌پردازش‌های شیمیایی مانند ازن‌زنی، افزودن اسید و قلیا، فیزیکی مانند خرد کردن، حرارتی، میکروویو، التراسونیک، بیولوژیکی انجام داده‌اند (Zeynali et al., 2017; Cesaro et al., 2019; Cesaro et al., 2014; Liu et al., 2020; Yu et al., 2019).

هیدروچار یک جاذب جامد کربنی است که از فرایند کربنیزاسیون گرمایی به‌عنوان یک روش نوین تبدیل حرارتی مواد آلی به‌دست می‌آید (Libra et al., 2011). معمولاً فرایند کربنیزاسیون گرمایی در بازه دمایی  $150^{\circ}\text{C}$ – $230^{\circ}\text{C}$ ، فشار حداکثر ۲۰ بار و در محیط مرطوب صورت می‌پذیرد (Libra et al., 2011). طبق مطالعات گذشته اضافه نمودن هیدروچار به فرایند هضم بی‌هوازی، ظرفیت بافری را افزایش داده، عوامل بازدارنده فرآیند را کاهش و میزان تولید بیوگاز را افزایش می‌دهد. در این مطالعه بیشینه میزان بیوگاز تولیدی  $450\text{ mL/g-VS}$  بود و میزان درصد متان تولیدی از  $57/5\%$  به  $69/8\%$  رسید. هر گرم هیدروچار، ۲۵ میلی‌گرم آمونیوم و ۵۰ میلی‌گرم اسیدهای چرب فرار را حذف کرد (Xu et al., 2018). در مطالعه دیگری، اثر هیدروچار بر فرایند هضم بی‌هوازی مورد بررسی قرار گرفت که که بیشترین میزان تولید بیوگاز و متان در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  و به‌ترتیب معادل  $\text{L/Kg VS}$  ۲۸۸ و ۲۰۷ بود که به‌ترتیب ۲۴ و ۳۷ درصد افزایش یافته بود. همچنین در بازه زمانی ۱۰–۱۳ روز، ۹۵٪ بازدهی بیوگاز ثبت شد. در این مطالعه با افزایش دما، میزان بازدهی تولید متان کاهش یافت (Choe et al., 2021).

در مطالعه دیگری نشان داده شده است که کاربرد هیدروچار تولیدی در دمای  $240^{\circ}\text{C}$  در فرآیند هضم بی‌هوازی، متان کمتری نسبت به دماهای پایین‌تر تولید می‌کند (Zhu et al., 2021). علاوه بر این، Mustafa et al. (2018) اثر هیدروچار را بر تولید بیوگاز فرایند هضم بی‌هوازی باگاس مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند در بازه دمایی  $160^{\circ}\text{C}$ – $180^{\circ}\text{C}$ ، بازدهی تولید بیوگاز افزایش و از ۱۸۰ تا ۲۰۰–۲۲۰ درجه سانتی‌گراد، بازدهی تولید

روش‌های دفع معمول پسماند شهری شامل دفن بهداشتی، روش‌های حرارتی (در کشورهای با سطح درآمد بالا)، کمپوست و تلبار (در کشورهای با سطح درآمد پایین) است. دفن بهداشتی اگر به‌صورت مناسب انجام نشود ممکن است منابع آبی نزدیک به محل دفن و خاک اطراف را به‌وسیله شیرابه که حاوی فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی پایدار و پاتوژن‌های میکروبی است، آلوده نماید. همچنین محل‌های دفن با مدیریت ضعیف به وسیله انتشار بو، گازهای گلخانه‌ای و ترکیبات آلی فرار باعث آلودگی هوا می‌شوند (Pham et al., 2015; Vergara and Tchobanoglous, 2015; Wilson et al., 2015; Liu et al., 2017). زباله‌سوزی به‌عنوان یک روش حرارتی هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری بالایی دارد و تولید خاکستر، مواد زائد و آلاینده‌های گازی مانند  $\text{CO}_2$ ،  $\text{SO}_2$ ،  $\text{NO}_x$ ، دیوکسین و فوران می‌نماید. روش‌هایی مانند پیرولیز و گازی‌سازی از نظر تکنیکی در حال پیشرفت هستند ولی در مقیاس صنعتی به‌صورت فراگیر مورد استفاده قرار نگرفته‌اند (Babu et al., 2021). روش کمپوست نیز به‌دلیل تولید محصول دارای ارزش کم از پسماند و کاهش حجم محدود پسماند، مورد اقبال عمومی قرار نگرفته است (Ferrari et al., 2020).

یکی از چالش‌های مدیریت پسماند شهری در کشورهای در حال توسعه، درصد بالای بخش آلی پسماند شهری و رطوبت بالای آن است. در کشورهای با سطح درآمد کم و متوسط ۵۰–۷۰ درصد از کل پسماند شهری و در کشورهای با سطح درآمد بالا، ۲۰–۴۰ درصد از کل پسماند شهری را قسمت آلی تشکیل می‌دهد (Pham et al., 2015). اگر مدیریت بخش آلی پسماند شهری به‌صورت صحیح انجام شود، می‌تواند منبع با ارزشی از انرژی قابل تجدیدپذیر باشد.

پسماند شهری به دلیل دارا بودن ترکیبات آلی زیاد در خود، به‌عنوان یک خوراک برای میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی به‌شمار می‌رود و بخش آلی آن می‌تواند به ترکیبات ساده‌تر تجزیه شوند (Abudi et al., 2016). فرایند هضم بی‌هوازی به فرایندی اطلاق می‌شود که مواد آلی به‌وسیله برخی میکروارگانیسم‌ها در یک محیط بدون اکسیژن تجزیه می‌شوند. هضم بی‌هوازی نه تنها به‌عنوان یک منبع انرژی، بلکه یک روش مناسب برای کاهش آلودگی‌های ناشی از مدیریت نامناسب پسماندهای آلی و جلوگیری از رهاسازی گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌رود (Abudi et al., 2016; Zamri et al., 2021).

فرایند هضم بی‌هوازی مواد آلی را به دو محصول با ارزش

= بازدهی هیدروچار تولیدی (%)

$$(1) \quad 100 \times \left( \frac{\text{جرم هیدروچار خشک شده تولیدی (گرم)}}{\text{جرم بخش آلی پسماند شهری مصرف شده (گرم)}} \right)$$

× بازدهی هیدروچار تولیدی = بازدهی انرژی (%)

$$(2) \quad \left( \frac{\text{ارزش حرارتی هیدروچار تولیدی}}{\text{ارزش حرارتی بخش آلی پسماند شهری}} \right)$$

## ۲-۳- آزمایش هضم بیهوازی

پتانسیل تولید متان بخش آلی پسماندهای شهری و انواع هیدروچار به وسیله بطری‌های شیشه‌ای به حجم ۱۱۸ میلی‌لیتر به‌عنوان راکتور ناپیوسته استفاده شد. درون هر راکتور مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از مخلوط میکروبی شامل لجن فعال و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌همراه ۰/۲۵ گرم بر مبنای وزن خشک سوبسترا ریخته (هیدروچار تولیدی از فرایند کربنیزاسیون گرمایی در درجه حرارت‌های طراحی‌شده) و درب آن توسط درپوش لاستیکی و کلاهک آلومینیومی محکم شد. در جدول‌های ۱ و ۲ خصوصیات محتوای مخلوط میکروبی ارائه شده است. سپس به‌مدت سه دقیقه گازی با ترکیب ۸۰٪ نیتروژن و ۲۰٪ دی‌اکسیدکربن به درون این بطری‌ها تزریق و به‌طور هم‌زمان توسط سرنگی دیگر هوای داخل آن تخلیه شد تا سیستم بی‌هوازی ایجاد شود. این سیستم ناپیوسته به‌روش هانسن معروف بوده و در آزمایش‌های بسیاری از محققین به‌عنوان راکتور ناپیوسته هضم بی‌هوازی مورد استفاده قرار گرفته است (Hansen et al., 2004). هاضم بی‌هوازی مورد استفاده در گستره دمایی مزوفیلیک (۳۷ °C) فعال بود.

## ۲-۴- نمونه‌برداری و آنالیز گاز

آنالیز بیوگاز تولیدی و تعیین درصد متان و دی‌اکسیدکربن (مجموع گازهای متان، دی‌کسید کربن و نیتروژن به‌عنوان بیوگاز تولیدی در نظر گرفته شده است) با استفاده از یک دستگاه GC انجام گرفت. دستگاه مجهز به نرم‌افزار peak ABC بوده که برای تجزیه و تحلیل شکل‌های حاصل از تزریق نمونه‌ها از آن استفاده شد. از هلیوم به‌عنوان گاز حامل با شدت جریان ۲۰ ml/min استفاده شد. دمای ستون، دمای تزریق کننده و دمای شناساگر به ترتیب ۵۰، ۹۰ و ۱۴۰ °C تنظیم شد. در ابتدا پیک‌های گازهای خالص متان، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن و هوای محیط تحت شرایط مشخص برای دستگاه GC تعیین شد. هم‌چنین زمان آشکار شدن گاز توسط شناساگر مشخص شد (Ebrahimian et al., 2020).

هر سه روز یک‌بار نمونه‌گیری از راکتورها و آنالیز گاز تولید شده در این بازه زمانی انجام گرفت. در نمونه‌برداری از راکتورهای

بیوگاز کاهش یافته است. Li and Jin (2015)، اثر پیش‌پردازش‌های حرارتی در گستره دمایی ۵۰-۱۶۰ °C را به‌واسطه تغییر خصوصیات حل‌شدگی بر هضم بی‌هوازی پسماند آشپزخانه بررسی کردند. بهترین شرایط به‌منظور تولید متان در دمای ۹۰ و ۱۲۰ درجه سانتیگراد به ترتیب در زمان‌های ماند ۷۰ و ۵۰ دقیقه به دست آمد. هدف اصلی این مطالعه بررسی اثر هیدروچار تولیدی در درجه حرارت‌های متفاوت در فرایند کربنیزاسیون گرمایی و اثر آن بر هضم بیهوازی بخش آلی پسماندهای شهری است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه نمونه‌ها

نمونه‌های بخش آلی پسماندهای شهری از محل دفن پسماند آزادکوه شهر تهران واقع در جنوب تهران نزدیک شهر کهریزک در جاده قدیم تهران-قم تهیه شد و در اندازه‌های ۱-۱/۵ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. لجن فعال شده به‌عنوان ماده تلقیحی یا مخلوط میکروبی از لجن بی‌هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب تهران جمع‌آوری شد. از آن‌جا که لجن تهیه شده حاوی ذرات جامد با اندازه‌های مختلف بود، لذا قبل از استفاده توسط صافی با روزهایی در ابعاد ۱-۱/۵ میلی‌متر صاف شد تا جامدات موجود در مخلوط میکروبی جدا شوند.

### ۲-۲- پایلوت کربنیزاسیون گرمایی

فرایند تولید هیدروچار در راکتوری به ظرفیت ۳ لیتر (ظرفیت کاری: ۲ لیتر) از جنس فولاد ضدزنگ با توانایی فعالیت در دما و فشار متفاوت انجام شده است. در هر آزمایش براساس طراحی انجام شده، مقدار ۴۵۰ گرم بخش آلی پسماند شهری به‌همراه ۱/۸ لیتر آب مقطر مخلوط شده و بعد از هم‌زدن به‌مدت ۱۰ دقیقه، در راکتور به‌صورت عایق بسته شده و ۴۰ دقیقه به‌عنوان زمان ماند واکنش در نظر گرفته شد. هر آزمایش به‌منظور دقت کافی، سه بار صورت‌پذیرفت. فشارسنج به‌ازای تغییرات دما، میزان فشار ۴-۱۰ بار را نشان داد. هیدروچار تولیدی به‌منظور خشک شدن، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در انتها همه نمونه‌های هیدروچار تولیدی به‌منظور نگهداری و سپس استفاده در فرایند هضم بی‌هوازی، در کیسه‌های پلاستیکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بازدهی هیدروچار و انرژی تولیدی براساس فرمول‌های (۱ و ۲) به‌دست آمدند.

از ۱۰۰٪ حاصل شد (Volpe et al., 2018). مقدار pH نیز به‌وسیله testo 250 pH meter انجام شد. هم‌چنین میزان مواد فرار (VM)، کربن ثابت (FC) بر اساس استاندارد متد ASTM D-3175-89 به‌دست آمد (Volpe et al., 2018).

### ۳- نتایج و بحث

در جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ماده تلقیحی و بخش آلی پسماند شهری برای آشنایی با خوراک مورد استفاده در هاضم و فرایند کربنیزاسیون گرمایی ارائه شده است. هم‌چنین در جدول ۲ نتایج آنالیز نهایی شامل درصد کربن، هیدروژن، نیتروژن، گوگرد و اکسیژن و آنالیز تقریبی شامل درصد VS، FC و خاکستر برای خوراک هاضم بی‌هوازی از جمله بخش آلی پسماند شهری و هیدروچارهای تولید شده در دماهای متفاوت فرایند کربنیزاسیون گرمایی شامل ۱۶۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ درجه سانتیگراد ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات بخش آلی پسماند شهری و ماده تلقیحی

| پارامتر                             | بخش آلی پسماندهای شهری | ماده تلقیحی |
|-------------------------------------|------------------------|-------------|
| درصد TS (براساس وزن تر)             | ۲۵/۷۲                  | ۳/۳         |
| درصد VS (براساس وزن تر)             | ۲۰/۶۱                  | ۱/۹         |
| نسبت VS/TS (براساس وزن خشک)         | ۸۰/۱۳                  | ۵۷/۵۸       |
| درصد مجموع کربن (براساس وزن خشک)    | ۴۹/۲۲                  | ۲۵/۷۴       |
| درصد مجموع نیتروژن (براساس وزن خشک) | ۳/۸۲                   | ۲/۸۱        |
| درصد هیدروژن (براساس وزن خشک)       | ۶/۱                    | ۳/۵۴        |
| درصد گوگرد (براساس وزن خشک)         | ۰/۴                    | ۱/۲۲        |
| درصد هیدروژن (براساس وزن خشک)       | ۴۰/۴۶                  | ۶۶/۶۹       |
| نسبت کربن به نیتروژن (C/N)          | ۱۲/۸۸                  | ۹/۱۶        |
| pH                                  | ۵/۲                    | ۶/۶         |
| میزان خاکستر                        | ۴/۹۸                   | -           |

جدول ۲- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بخش آلی پسماندهای شهری و هیدروچار در دماهای مختلف

| نمونه                  | آنالیز نهایی (بر اساس وزن خشک) |             |             |           |            |         | آنالیز تقریبی (بر اساس وزن خشک) |            |
|------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-----------|------------|---------|---------------------------------|------------|
|                        | کربن (%)                       | هیدروژن (%) | نیتروژن (%) | گوگرد (%) | اکسیژن (%) | درصد VM | درصد FC                         | خاکستر (%) |
| بخش آلی پسماندهای شهری | ۴۹/۲۲                          | ۶/۱         | ۳/۸۲        | ۰/۴       | ۴۰/۴۶      | ۷۱/۵۴   | ۲۴/۰۳                           | ۴/۴۳       |
| هیدروچار-۱۵۰           | ۵۲/۹۱                          | ۶/۱         | ۵/۱۲        | ۰/۴۴      | ۳۵/۴۳      | ۶۸/۹۷   | ۲۵/۷۸                           | ۵/۲۵       |
| هیدروچار-۱۹۰           | ۵۸/۷۴                          | ۷/۰۸        | ۴/۲۴        | ۰/۴۶      | ۲۹/۴۸      | ۶۶/۰۱   | ۲۷/۰۲                           | ۶/۹۷       |
| هیدروچار-۲۳۰           | ۶۶/۵۷                          | ۶/۳۴        | ۳/۹۴        | ۰/۴۶      | ۲۲/۶۹      | ۶۱/۱۴   | ۳۰/۹۶                           | ۷/۹        |

حرارتی برای بخش آلی پسماندهای شهری و هیدروچارهای-۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ برابر با ۲۰/۳۷، ۲۴/۸۴ و ۲۷/۶۴ گزارش شد که براساس بازدهی هیدروچار و ارزش حرارتی و هم‌چنین فرمول (۱)، میزان بازدهی انرژی برای هریک از هیدروچارهای اشاره شده به‌ترتیب برابر با ۶۸/۸۴، ۷۷/۴ و ۷۲/۱۴ به‌دست آمد.

ناپیوسته هضم بی‌هوازی، میزان ۲۵۰ میکرولیتر از نمونه گاز تولیدی به‌وسیله سرنگ قفل‌کننده فشار به دستگاه GC تزریق شده و نتایج حاصل از تزریق بیوگاز تولیدی به دستگاه GC ذخیره و برای محاسبه ترکیب درصد بیوگاز و حجم متان و دی‌اکسیدکربن استفاده شد (Ebrahimian et al., 2020).

### ۲-۵- آزمایشات انجام شده

در این مطالعه به‌منظور شناخت خوراک از جمله بخش آلی پسماند شهری، ماده تلقیحی و انواع هیدروچار، درصد مواد جامد فرار (VS) و درصد کل مواد جامد (TS) از روش استاندارد APHA به‌دست آمد (Federation and APH Association, 2005). میزان خاکستر نمونه‌ها در دمای  $5 \pm 575$  درجه سانتی‌گراد و براساس ASTM D-1102 به‌دست آمد (ASTM, 2021). آنالیز عنصر یا نهایی به‌وسیله آنالایزور "Elementary Trading Shanghai Co., Ltd. China" برای تشخیص میزان کربن، نیتروژن، هیدروژن و سولفور انجام پذیرفت. میزان اکسیژن نیز از کاهش عناصر مذکور

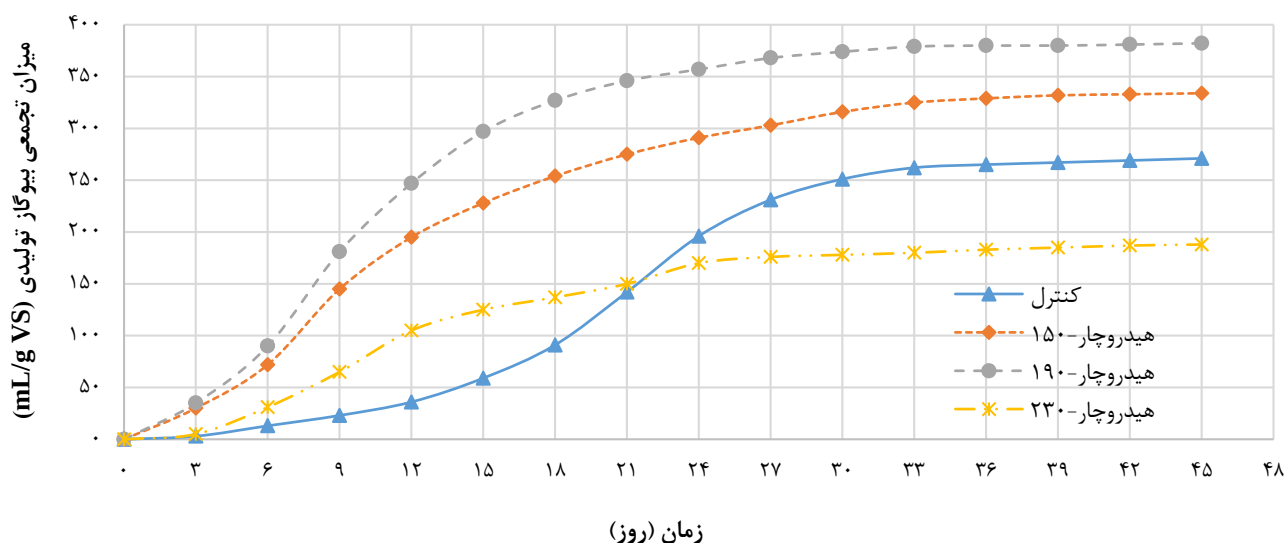
در جدول ۳ نتایج مربوط به بازدهی هیدروچار تولیدی (٪)، ارزش حرارتی (MJ/kg)، بازدهی انرژی (٪) و سطح ویژه هیدروچارهای تولیدی در فرایند کربنیزاسیون گرمایی درج شده است. درصد بازدهی برای هیدروچار-۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ به‌ترتیب برابر با ۶۱/۵۴، ۵۶/۷۴ و ۴۷/۵۳ بود. همین‌طور میزان ارزش

جدول ۳- بازدهی فرایند کربنیزاسیون گرمایی و بیوگاز تولیدی

| نمونه                  | بازدهی هیدروچار (%) | ارزش حرارتی (MJ/kg) | بازدهی انرژی (%) | مجموع بیوگاز تولیدی در هاضم (mL/g VS) | درصد متان تولیدی (%) |
|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------|
| بخش آلی پسماندهای شهری | -                   | ۱۸/۲۱               | -                | ۲۷۱                                   | ۵۶/۸۳                |
| هیدروچار-۱۵۰           | ۶۱/۵۴               | ۲۰/۳۷               | ۶۸/۸۴            | ۳۳۴                                   | ۶۸/۳۳                |
| هیدروچار-۱۹۰           | ۵۶/۷۴               | ۲۴/۸۴               | ۷۷/۴             | ۳۸۲                                   | ۶۳/۲۵                |
| هیدروچار-۲۳۰           | ۴۷/۵۳               | ۲۷/۶۴               | ۷۲/۱۴            | ۱۸۸                                   | ۶۱/۶۲                |

در شکل ۱ میزان بیوگاز تولیدی در هریک از هاضم‌ها به صورت تجمعی در ۴۵ روز نشان داده شده است. میزان بیوگاز تولیدی در انتهای ۴۵ روز در نمونه کنترل (مخلوط بخش آلی پسماندهای شهری و ماده تلقیحی) معادل ۲۷۱ mL/g VS بود. نمونه کنترل به‌منظور دریافت میزان تغییرات قبل و بعد از فرایند گرمایی انجام شده است. همچنین میزان بیوگاز تولیدی در نمونه‌های هاضم بیهوازی هیدروچار-۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و ماده تلقیحی نشان داده شده است که به‌ترتیب برابر با ۳۳۴، ۳۸۲ و ۱۸۸ mL/g VS بود. برای هیدروچارهای ۱۵۰ و

۱۹۰ افزایش و برای هیدروچار ۲۳۰ کاهش را نشان داده است. میزان بیوگاز تولیدی به‌صورت مقطعی (هر سه روز یک‌بار) در شکل ۲ ارائه شده است. رفتار هاضم بی‌هوازی از حیث میزان تولید بیوگاز به‌صورت جزئی‌تر و در گذر زمان نشان داده شده است. بیشترین میزان بیوگاز تولیدی در هاضم‌های دارای هیدروچار ۱۵۰ و ۱۹۰ در روز نهم، برای هاضم دارای هیدروچار-۲۳۰ در روز دوازدهم و در نمونه کنترل در روز بیست و چهارم از شروع تولید بیوگاز اتفاق افتاد.



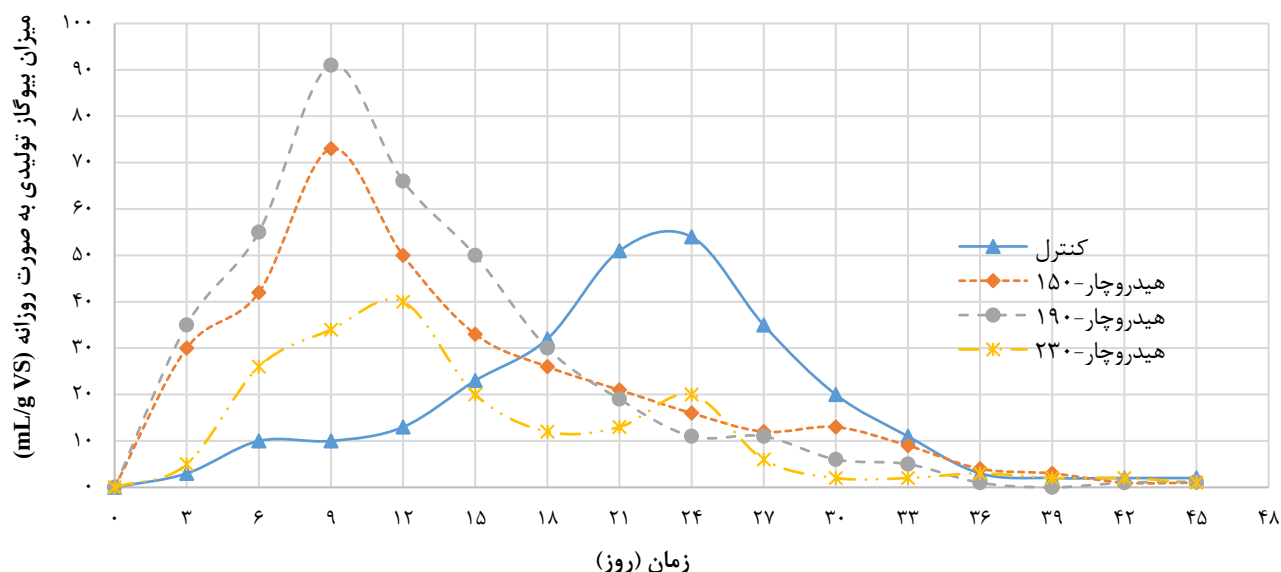
شکل ۱- بازدهی بیوگاز تولیدی به‌صورت تجمعی در هاضم بی‌هوازی در طول ۴۵ روز

### ۳-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خوراک و هیدروچار تولیدی

درصد کربن در آنالیز تقریبی با افزایش درجه حرارت فرایند کربنیزاسیون گرمایی افزایش یافته است. میزان افزایش در هیدروچار-۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ به‌ترتیب از ۴۹/۲۲٪ (قبل از انجام فرایند کربنیزاسیون گرمایی) به ۵۲/۹۱، ۵۸/۷۴ و ۶۶/۵۷٪ رسیده که به میزان ۷/۵، ۱۹/۳ و ۳۵/۲٪ افزایش یافته است. در نتیجه این تغییرات، هیدروچار تولیدی نسبت به خوراک اولیه یا همان بخش آلی پسماندهای شهری دارای نسبت کربن به نیتروژن بالاتری است. با توجه به این‌که شدت فرایند کربنیزاسیون گرمایی

بر اثر افزایش دما بالاتر رفته، مواد آلی بیشتری به مواد کربنی تبدیل می‌شوند. این موارد در دیگر مطالعات نیز مشاهده شده است (Basso et al., 2016; Mäkelä et al., 2015; Benavente et al., 2015). طبق گزارش محققین، طی فرایند کربنیزاسیون گرمایی، درصد کربن در بازه دمایی ۱۸۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، از ۴۵/۰۲ به ۵۳/۸۴٪ (افزایش ۱۹/۶٪) رسیده (Basso et al., 2016) و در بازه دمایی ۲۰۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، از ۵۵/۵۲ به ۶۶/۲۴٪ (افزایش ۱۹/۳٪) رسید. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده، میزان تغییرات کربن نسبت به مطالعات مشابه بیشتر بوده است.





شکل ۲- بازدهی بیوگاز تولیدی روزانه در ۴۵ روز در هاضم بیهوازی

هرچند در مطالعه دیگری نشان داده شده است که در دماهای بالاتر مانند ۲۶۰ و ۲۸۰ درجه سانتیگراد، میزان بازدهی هیدروچار افزایشی است که ناشی از واکنش بک-پلیمریزاسیون از فاز مایع به جامد در فرایند کربنیزاسیون گرمایی است که بر میزان تجزیه مواد آلی اولیه فائق می‌آید (Coronella et al., 2014). برخلاف بازدهی هیدروچار، میزان ارزش حرارتی با افزایش دمای فرآیند کربنیزاسیون گرمایی، افزایش پیدا کرده است. میزان تغییرات ارزش حرارتی هیدروچارهای تولیدی در دماهای ۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ درجه سانتیگراد نسبت به خوراک ورودی به راکتور کربنیزاسیون گرمایی معادل ۱۱/۹، ۳۶/۴ و ۵۱/۸٪ است. با توجه به افزایش درصد کربن، پیش‌بینی می‌شد که ارزش حرارتی افزایش داشته باشد و این مورد نیز توسط برخی مطالعات بر روی سایر خوراک‌ها به اثبات رسیده است. دلیل اصلی آن، افزایش زغالی‌سازی ماده خروجی بر اثر افزایش دمای فرایند کربنیزاسیون گرمایی است. در دیگر مطالعات تا ۶۱٪ افزایش در ارزش حرارتی به‌ازای افزایش درجه حرارت تا ۲۵۰ °C نیز گزارش شده است (Volpe and Fiori, 2017; Jain et al., 2016). در نتیجه موارد ارائه شده و فرمول (۲)، میزان بازدهی انرژی با افزایش دمای فرایند کربنیزاسیون گرمایی، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است درصد بازدهی انرژی برای هیدروچار-۱۹۰ برابر ۷۷/۴٪ است.

### ۳-۳- اثرگذاری پردازش کربنیزاسیون گرمایی بر هضم

#### بیهوازی

با توجه به شکل ۱، میزان بیوگاز تولید شده در نمونه کنترلی

طبق نتایج آنالیز تقریبی در جدول ۲، میزان مواد فرار (VM) با افزایش درجه حرارت فرایند کربنیزاسیون گرمایی کاهش و میزان کربن ثابت (FC) افزایش دارد. این مورد ناشی از زغالی‌سازی بیشتر در نتیجه افزایش درجه حرارت فرایند گرمایی است (Volpe and Fiori, 2015). براساس نتایج آنالیز عنصری، میزان گوگرد بسیار ناچیز است (کمتر از ۰/۵٪ وزنی). با افزایش دمای فرایند کربنیزاسیون گرمایی، نسبت‌های O/C و H/C کاهش پیدا کرده که ناشی از واکنش دی‌هیدراسیون در فرآیند کربنیزاسیون گرمایی است (Volpe and Fiori, 2015).

### ۲-۳- بازدهی فرآیند گرمایی

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، میزان بازدهی هیدروچار با افزایش دما، کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه میزان هیدروچار کمتری در طی فرایند ایجاد می‌شود. درصد کاهش به‌ترتیب در هیدروچارهای تولیدی در دمای ۱۹۰ و ۲۳۰ درجه سانتیگراد نسبت به ۱۵۰ درجه سانتیگراد معادل ۷/۸ و ۲۲/۸٪ است. سایر مطالعات نیز مشابه این موضوع را نشان می‌دهند، به‌طوری‌که در تحقیقی، میزان بازدهی جرمی زغال آلی در بازه دمایی ۱۸۰-۲۵۰ درجه سانتیگراد، بیش از ۵۰٪ کاهش یافت (Basso et al., 2015; Frunke and Ziegler, 2011). این مشاهدات نتیجه یک‌سری واکنش‌ها تحت‌عنوان دی‌هیدراتاسیون و دی‌کربوکسیلاسیون است که در دماهای بالاتر اثرگذاری بیشتری دارند و واکنش را به سمت تولید گاز بیشتر و کاهش ماده جامد سوق می‌دهند. در نتیجه کربن دی‌اکسید و مونواکسید کربن بیشتری تولید می‌شود (Basso et al., 2015; Choe et al., 2019).

خام افزایش داد، تولید بیوگاز در بازه زمانی کمتری رخ داد و تأخیر زمانی در تولید بیوگاز به وجود نیامد. طبق نتایج به دست آمده، پیش پردازش توسط فرایند کربنیزاسیون گرمایی به صورت مستقیم بر میزان و زمان تولید بیوگاز و همچنین درصد متان تولیدی در بیوگاز اثرگذار بود. میزان تولید بیوگاز وابسته به شرایط فرایند گرمایی بود که طبق نتایج به دست آمده با افزایش دمای تولید هیدروچار، ابتدا تولید بیوگاز در راکتور هضم بی هوازی افزایش و در دماهای بالا به صورت سریع کاهش یافت. لذا قبل از استفاده از فرایند پیش پردازش کربنیزاسیون گرمایی باید دمای بهینه به دست آید. در خصوص بازه زمانی، با توجه به این که در ساختار سخت مواد در فرایند کربنیزاسیون گرمایی، شکست رخ می دهد، تأخیر در تولید بیوگاز رخ نخواهد داد و در انواع هیدروچار (تولیدی در درجه حرارت های مختلف) بازه زمانی تولید بیوگاز کاهش خواهد یافت. هرچند که در دماهای بالاتر امکان تولید ترکیباتی وجود دارد که به عنوان مانع در مسیر تکمیل فرایند هضم بی هوازی قرار گیرند. با توجه به نتایج به دست آمده، فرایند کربنیزاسیون گرمایی اگر به صورت بهینه مورد استفاده قرار گیرد می تواند در دو حالت شامل ۱- افزایش تولید بیوگاز و ۲- کاهش تأخیر زمانی تولید بیوگاز، تأثیر به سزایی در افزایش راندمان هاضم های بی هوازی بخش آلی پسماند شهری داشته باشد. همچنین در انتها پیشنهاد می شود سایر عوامل اثرگذار مانند زمان ماند، pH، غلظت خوراک فرایند هیدروترمال کربنیزاسیون و اثرگذاری این پارامترها بر یکدیگر مورد مطالعه سایر محققین قرار گیرد.

## ۵- سپاسگزاری

از اساتید محترم و آزمایشگاه "تبدیل پسماند به انرژی" دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران و پژوهشکده مواد و انرژی به دلیل تسهیل روند انجام آزمایش ها تشکر می شود. لازم به ذکر است که این کار تحقیقاتی مستخرج از رساله در مقطع دکتری بوده است.

## ۶- مراجع

- Abudi, Z.N., Hu, Z., Sun, N., Xiao, B., Rajaa, N., Liu, C., and Guo, D., (2016), "Batch anaerobic co-digestion of OFMSW (organic fraction of municipal solid waste), TWAS (thickened waste activated sludge) and RS (rice straw): Influence of TWAS and RS pretreatment and mixing ratio", *Energy*, 107, 131-140.
- Aragón-Briceño, C., Ross, A.B., and Camargo-Valero, M.A., (2017), "Evaluation and comparison of product

طی ۴۵ روز معادل ۲۷۱ mL/g VS بود و پس از انجام پردازش کربنیزاسیون گرمایی، این میزان در هیدروچار-۱۵۰ و ۱۹۰ به ترتیب ۲۳/۲۵ و ۴۱/۰۳٪ افزایش و در هیدروچار-۲۳۰، ۶۳/۳۰٪ کاهش داشته است. افزایش میزان تولید بیوگاز به دلیل شکسته شدن ترکیبات آلی پیچیده به ترکیبات مولکولی سنگین در فرایند کربنیزاسیون گرمایی است. ترکیبات با جرم مولکولی سنگین شامل کربوهیدرات، پروتئین و دیگر محصولات هیدرولیز شده است. این ترکیبات پتانسیل بیشتری برای تبدیل شدن به ترکیبات با جرم مولکولی سبک دارند و در نتیجه تولید بیوگاز دارند (Phuttaro et al., 2019). کاهش میزان تولید بیوگاز در هیدروچار-۲۳۰ درجه سانتی گراد به دلیل کاهش مواد فرار در هیدروچار از ۶۸/۹۷ به ۶۱/۱۴٪ است. دلیل دیگر نیز مربوط به تولید فنول و فورفورال و تولید سایر ترکیبات با جرم مولکولی بالا و غیرقابل تجزیه در دماهای بالا در فرایند کربنیزاسیون گرمایی است. فنول و فورفورال به عنوان مانع در انجام واکنش کامل فرایند هضم بی هوازی شناخته می شوند. علاوه بر این درصد تولید متان در هیدروچار-۱۵۰ بیشترین مقدار خود و معادل ۶۸/۳۳٪ بود که با افزایش درجه حرارت فرایند کربنیزاسیون گرمایی، درصد تولید متان نسبت به کل بیوگاز کاهش یافته است. در سایر محققین نیز به نتایج مشابهی در بازه های دمایی متفاوت رسیده اند (Choe et al., 2019; He et al., 2014; Aragón-Briceño et al., 2017). هم زمان سرعت تولید بیوگاز نیز در انواع هیدروچار نسبت به نمونه کنترل افزایش یافته است و به تعبیری نقطه عطف هیدروچارها در شکل ۱ در بازه زمانی کمتری نسبت به نمونه کنترل انجام پذیرفته است. همچنین در شکل ۲، قله هریک از نمودارهای تولید بیوگاز در بازه زمانی کمتری اتفاق می افتد. میزان بیشینه تولید بیوگاز در نمونه کنترلی، هیدروچارهای-۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۳۰ به ترتیب در روزهای ۲۴، ۹، ۱۲ و ۹ اتفاق افتاده است. این مورد نشان دهنده این موضوع است که به هاضم هایی با ظرفیت (حجم) کمتر نیاز خواهد بود و در نتیجه هزینه های عملیاتی کاهش پیدا خواهد کرد (Rani et al., 2012).

## ۴- نتیجه گیری

هدف از انجام این کار تحقیقاتی، به دست آوردن اثر پیش پردازش فرایند کربنیزاسیون گرمایی بر هضم بی هوازی پسماند آلی در درجه حرارت های مختلف بود. در بین نمونه های بررسی شده، بهترین عملکرد مربوط به هیدروچار تولید شده در دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد بود که میزان تولید بیوگاز را نسبت به نمونه

- Greco, A., (2020), "An innovative IoT-oriented prototype platform for the management and valorisation of the organic fraction of municipal solid waste", *Journal of Cleaner Production*, 247, 119618.
- Funke, A., and Ziegler, F., (2011), "Heat of reaction measurements for hydrothermal carbonization of biomass", *Bioresource Technology*, 102(16), 7595-7598.
- Hansen, T. L., Schmidt, J.E., Angelidaki, I., Marca, E., la Cour Jansen, J., Mosbæk, H., and Christensen, T.H., (2004), "Method for determination of methane potentials of solid organic waste", *Waste Management*, 24(4), 393-400.
- He, C., Chen, C.L., Giannis, A., Yang, Y., and Wang, J.Y., (2014), "Hydrothermal gasification of sewage sludge and model compounds for renewable hydrogen production: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1127-1142.
- Jain, A., Balasubramanian, R., and Srinivasan, M.P., (2016), "Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review", *Chemical Engineering Journal*, 283, 789-805.
- Libra, J.A., Ro, K.S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N.D., Neubauer, Y., Titirici, M.M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J. and Emmerich, K.H., (2011), "Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis", *Biofuels*, 2(1), 71-106.
- Li, Y., and Jin, Y., (2015), "Effects of thermal pretreatment on acidification phase during two-phase batch anaerobic digestion of kitchen waste", *Renewable Energy*, 77, 550-557.
- Liu, Y., Ni, Z., Kong, X., and Liu, J., (2017), "Greenhouse gas emissions from municipal solid waste with a high organic fraction under different management scenarios", *Journal of Cleaner Production*, 147, 451-457.
- Liu, J., Zhao, M., Lv, C., and Yue, P., (2020), "The effect of microwave pretreatment on anaerobic co-digestion of sludge and food waste: Performance, kinetics and energy recovery", *Environmental Research*, 189, 109856.
- Mäkelä, M., Benavente, V., and Fullana, A., (2015), "Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass: Effect of process conditions on hydrochar properties", *Applied Energy*, 155, 576-584.
- Mustafa, A.M., Li, H., Radwan, A.A., Sheng, K., and Chen, X., (2018), "Effect of hydrothermal and Ca (OH)<sub>2</sub> pretreatments on anaerobic digestion of sugarcane bagasse for biogas production", *Bioresource Technology*, 259, 54-60.
- Pham, T.P.T., Kaushik, R., Parshetti, G.K., Mahmood, R., and Balasubramanian, R., (2015), "Food waste-to-energy conversion technologies: Current status and future directions", *Waste Management*, 38, 399-408.
- Phuttaro, C., Sawatdeenarunat, C., Surendra, K.C., Boonsawang, P., Chairapat, S., and Khanal, S.K., (2019), "Anaerobic digestion of hydrothermally-pretreated lignocellulosic biomass: Influence of pretreatment temperatures, inhibitors and soluble yields and bio-methane potential in sewage digestate following hydrothermal treatment", *Applied energy*, 208, 1357-1369.
- ASTM E1621-21, (2021), *Standard guide for elemental analysis by wavelength dispersive x-ray fluorescence spectrometry*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Babu, R., Veramendi, P.M.P., and Rene, E.R., (2021), "Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste", *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3, 100098.
- Basso, D., Patuzzi, F., Castello, D., Baratieri, M., Rada, E.C., Weiss-Hortala, E., and Fiori, L., (2016), "Agro-industrial waste to solid biofuel through hydrothermal carbonization", *Waste Management*, 47, 114-121.
- Basso, D., Weiss-Hortala, E., Patuzzi, F., Castello, D., Baratieri, M., and Fiori, L., (2015), "Hydrothermal carbonization of off-specification compost: A byproduct of the organic municipal solid waste treatment", *Bioresource Technology*, 182, 217-224.
- Bolzonella, D., Pavan, P., Mace, S., and Cecchi, F., (2006), "Dry anaerobic digestion of differently sorted organic municipal solid waste: A full-scale experience", *Water Science and Technology*, 53(8), 23-32.
- Benavente, V., Calabuig, E., and Fullana, A., (2015), "Upgrading of moist agro-industrial wastes by hydrothermal carbonization", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 113, 89-98.
- Cesaro, A., and Belgiorno, V., (2014), "Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions", *Chemical Engineering Journal*, 240, 24-37.
- Cesaro, A., Belgiorno, V., Siciliano, A., and Guida, M., (2019), "The sustainable recovery of the organic fraction of municipal solid waste by integrated ozonation and anaerobic digestion", *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 390-397.
- Choe, U., Mustafa, A.M., Lin, H., Xu, J., and Sheng, K., (2019), "Effect of bamboo hydrochar on anaerobic digestion of fish processing waste for biogas production", *Bioresource Technology*, 283, 340-349.
- Choe, U., Mustafa, A.M., Zhang, X., Sheng, K., Zhou, X., and Wang, K., (2021), "Effects of hydrothermal pretreatment and bamboo hydrochar addition on anaerobic digestion of tofu residue for biogas production", *Bioresource Technology*, 336, 125279.
- Coronella, C.J., Lynam, J.G., Reza, M.T., and Uddin, M.H., (2014), "Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass", *Biomass Conversion and Biorefinery*, 5(2), 173-181.
- Ebrahimian, F., Karimi, K., and Kumar, R., (2020), "Sustainable biofuels and bioplastic production from the organic fraction of municipal solid waste", *Waste Management*, 116, 40-48.
- Federation, W.E., and APH Association., (2005), "Standard methods for the examination of water and wastewater", *American Public Health Association (APHA)*, Washington, DC, USA.
- Ferrari, F., Striani, R., Minosi, S., De Fazio, R., Visconti, P., Patrono, L., Catarinucci, L., Corcione, C.E. and

- organics on methane yield", *Bioresource Technology*, 284, 128-138.
- Rani, R.U., Kumar, S.A., Kaliappan, S., Yeom, I.T., and Banu, J.R., (2012), "Low temperature thermochemical pretreatment of dairy waste activated sludge for anaerobic digestion process", *Bioresource Technology*, 103(1), 415-424.
- Vergara, S.E., and Tchobanoglous, G., (2012), "Municipal solid waste and the environment: a global perspective", *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 277-309.
- Volpe, M., Goldfarb, J.L., and Fiori, L., (2018), "Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties", *Bioresource Technology*, 247, 310-318.
- Volpe, M., and Fiori, L., (2017), "From olive waste to solid biofuel through hydrothermal carbonisation: The role of temperature and solid load on secondary char formation and hydrochar energy properties", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 63-72.
- Wilson, D.C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, K., Iyer, M. and Simonett, O., (2015), *Global waste management outlook*, UNEP.
- Xu, J., Mustafa, A. M., Lin, H., Choe, U. Y., and Sheng, K., (2018), "Effect of hydrochar on anaerobic digestion of dead pig carcass after hydrothermal pretreatment", *Waste Management*, 78, 849-856.
- Yu, Q., Liu, R., Li, K., and Ma, R., (2019), "A review of crop straw pretreatment methods for biogas production by anaerobic digestion in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 51-58.
- Zamri, M.F.M.A., Hasmady, S., Akhiar, A., Ideris, F., Shamsuddin, A.H., Mofijur, M., Fattah, I.R., and Mahlia, T.M.I., (2021), "A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110637.
- Zeynali, R., Khojastehpour, M., and Ebrahimi-Nik, M., (2017), "Effect of ultrasonic pre-treatment on biogas yield and specific energy in anaerobic digestion of fruit and vegetable wholesale market wastes", *Sustainable Environment Research*, 27(6), 259-264.
- Zhu, K., Liu, Q., Dang, C., Li, A., and Zhang, L., (2021), "Valorization of hydrothermal carbonization products by anaerobic digestion: Inhibitor identification, biomethanization potential and process intensification", *Bioresource Technology*, 341, 125752.



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

## Investigation of Floating Treatment Wetland and its Role in Wastewater Treatment of Textile Industry

## بررسی فناوری تالاب تصفیه شناور و نقش آن در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی

Lobat Taghavi<sup>1\*</sup> and Fatemeh Golrizkhatami<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Ph.D. Student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

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

Received: 01/08/2021

Revised: 22/09/2021

Accepted: 14/10/2021

© IWWA

### Abstract

The textile industry is one of the largest consumers of water and chemicals, so that each kilogram of textile product requires 100-200 liters of water. Therefore, due to the limited water resources available, having the most pollution among industrial activities and the need to comply with wastewater disposal standards in the environment necessitates wastewater treatment. This study was conducted by review-descriptive method using existing studies. In this article, a review of floating treatment wetland and its application in the wastewater treatment of the textile industry, the key factors affecting the treatment and the combined role of plants and bacteria for maximum purification of contaminated water are presented. Plant tissue in water, roots and rhizomes in sediments play a major role in pollutant treatment. Examining the results of the advantages and disadvantages of different methods in wastewater treatment of the textile industry shows that floating wetland technology is an alternative to traditional and expensive wastewater treatment methods. According to the researches, *Phragmites australis* is widely used in this technology. *Phragmites australis*, along with *Acinetobacter*, *Pseudomonas* and *Rhodococcus*, can reduce COD by 92%, BOD by 91%, dye by 86% and heavy metals by 87%.

**Keywords:** Bacteria, Floating treatment wetland, Plants, Pollutants, Textile effluent

لعبت تقوی<sup>۱\*</sup> و فاطمه گلریزخاتمی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۲

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### چکیده

صنعت نساجی از بزرگترین مصرف کنندگان آب و مواد شیمیایی است به طوری که در هر کیلوگرم محصول نساجی ۱۰۰-۲۰۰ لیتر آب نیاز است، بنابراین با توجه به محدودیت منابع آب در دسترس، دارا بودن بیشترین آلودگی در بین فعالیتهای صنعتی و الزام به رعایت استانداردهای دفع فاضلاب در محیط ضرورت تصفیه پساب ایجاد می شود. این مطالعه به روش مروری - توصیفی با استفاده از مطالعات موجود انجام شد. در این مقاله مروری بر تالاب تصفیه شناور و کاربرد آن در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی، عوامل کلیدی مؤثر در تصفیه و نقش ترکیبی گیاهان و باکتریها به منظور راندمان حداکثری آب آلوده انجام شده است. بافت گیاه در آب و ریشه ها و ریزوم ها در رسوبات نقش عمده ای در تصفیه آلاینده دارند. بررسی نتایج مزایا و معایب روش های مختلف در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی نشان می دهد فناوری تالاب شناور می تواند جایگزین روش های تصفیه سنتی و پرهزینه باشد. با توجه به بررسی های به عمل آمده، از گیاه نی در این فناوری به طور گسترده استفاده می شود. گیاه نی به همراه باکتری های آسینتوباکتر، سودوموناس و رودوکوکوس قادر به کاهش ۹۲ درصدی COD، ۹۱ درصدی BOD، ۸۶ درصدی رنگ و ۸۷ درصدی فلزات سنگین است.

**کلمات کلیدی:** تالاب تصفیه شناور، گیاهان، باکتری، فاضلاب صنعت نساجی، آلاینده



ایالات متحده آمریکا قرار دارد (Kiran et al., 2014; Ghaly et al., 2017). این صنعت از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب در جهان است، در بخش‌های تولید بخار، در دیگ‌های بخار به‌عنوان خنک‌کننده، چاپ، رنگ‌رزی، آهارزنی، آهارگیری، سفیدگری، شرب و بهداشت کارکنان و مراحل دیگر آب مصرف می‌کند. تقریباً به‌ازای هر کیلوگرم محصول نساجی ۱۰۰-۲۰۰ لیتر آب باکیفیت بالا می‌طلبد و در نتیجه مقدار زیادی فاضلاب رنگی تولید می‌کند. لذا از بزرگ‌ترین آلوده‌کنندگان آب‌های جهان نیز به‌شمار می‌رود (Yin et al., 2017). در جدول ۱ درصد مصرف آب، انرژی و مواد شیمیایی در بخش‌های اصلی فرآوری صنعت نساجی نشان داده شده است.

صنایع، نقشی کلیدی در توسعه پایدار کشورها ایفا کرده و اغراق نیست اگر گفته شود حیات یک ملت در گرو پویایی بخش تولید و صنعت آن کشور است. هرچه چرخ دنده‌های صنعت، سریع‌تر و پر قدرت‌تر بچرخد، اقتصاد کشور قدرتمندتر و پویاتر خواهد بود. از این‌رو، فعال شدن هرچه بیشتر صنایع، در صدر برنامه‌های اقتصادی دولت‌ها قرار دارد. صنعت نساجی تأثیر مثبتی بر توسعه اقتصادی در سراسر جهان دارد. حدود ۳۰ میلیون تن، تولید سالانه جهانی منسوجات است. چین مهم‌ترین صادرکننده انواع منسوجات است و پس از آن اتحادیه اروپا، هند و سپس

جدول ۱- مصرف آب، انرژی و مواد شیمیایی در بخش‌های اصلی فرآوری صنعت نساجی (Uddin, 2019)

| فرآیند                       | مصرف آب (%) | مصرف انرژی (%) | مصرف مواد شیمیایی (%) |
|------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|
| تولید نخ                     | ۲           | ۸              | ۲۲                    |
| تولید پارچه                  | ۱۰          | ۸              | ۱۲                    |
| پردازش مرطوب (رنگ‌رزی و چاپ) | ۸۶          | ۷۹             | ۶۵                    |
| تولید پوشاک                  | ۲           | ۵              | ۱                     |
| جمع                          | ۱۰۰         | ۱۰۰            | ۱۰۰                   |

فلزات سنگین، نمک‌ها و سورفاکتانت‌ها است بنابراین بیشترین آلودگی را در بین فعالیت‌های صنعتی دارد (Munagapati and Kim, 2016).

صنعت نساجی از صنایع شدیداً شیمیایی است. در جدول ۲ آلاینده‌های هر بخش صنعت نساجی نشان داده شده است. چون فاضلاب آن حاوی رنگ‌ها و رنگ‌دانه‌ها، جامدات محلول و معلق،

جدول ۲- مشخصات پساب فرآیندهای صنعت نساجی (Dey and Islam, 2012)

| فرآیند       | آلاینده                                 |
|--------------|-----------------------------------------|
| آهارزنی      | BOD, COD                                |
| آهارگیری     | BOD, COD, جامدات معلق و محلول           |
| سفیدگری      | قلیائیت و جامدات معلق                   |
| مرسریزه کردن | جامدات محلول، BOD                       |
| رنگ زنی      | فلزات سنگین، BOD، جامدات محلول و رنگ‌ها |
| چاپ          | رنگ، کمی قلیائیت، BOD                   |

فاضلاب صنعت نساجی در کشورهای مختلف را نشان می‌دهد. تالاب‌های تصفیه شناور (شکل ۱) انواع خدمات اکوسیستمی مربوط به فرآیندهای هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و بیوژئوشیمیایی را انجام می‌دهند. سابقه استفاده از تالاب شناور برای تصفیه آب آلوده به دوران کلاسیک بازمی‌گردد.

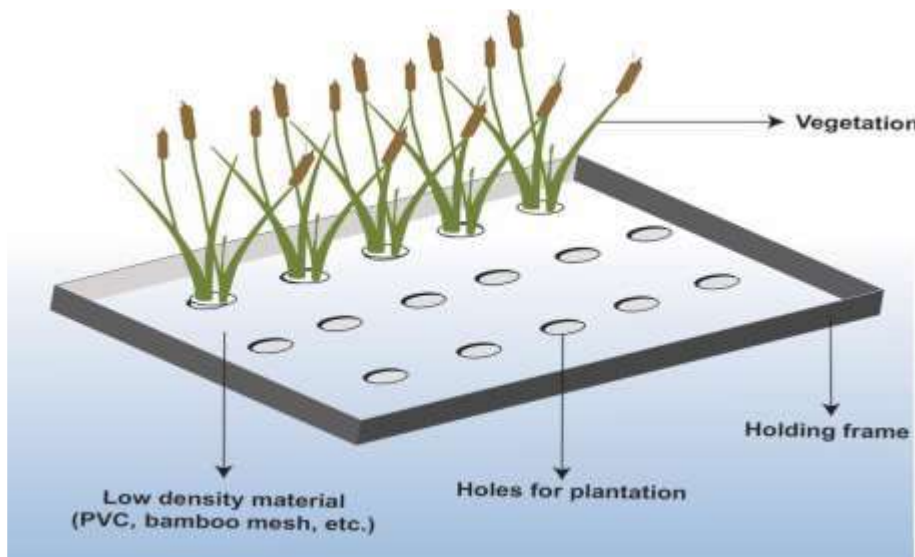
با توجه به رشد جمعیت و محدودیت منابع آب در دسترس، افزایش هزینه آب و الزام به رعایت استانداردهای دفع فاضلاب در محیط به‌منظور حفاظت از اکوسیستم و امکان بازیافت بعدی پساب تصفیه‌شده برای آبیاری یا استفاده مجدد در فرآیندهای کارخانه نساجی تصفیه پساب‌های آن ضروری است (Yaseen and Scholz, 2019; Yin et al., 2019). جدول ۳ استانداردهای

جدول ۳- استانداردهای فاضلاب صنعت نساجی در کشورهای مختلف (Ghaly et al., 2014)

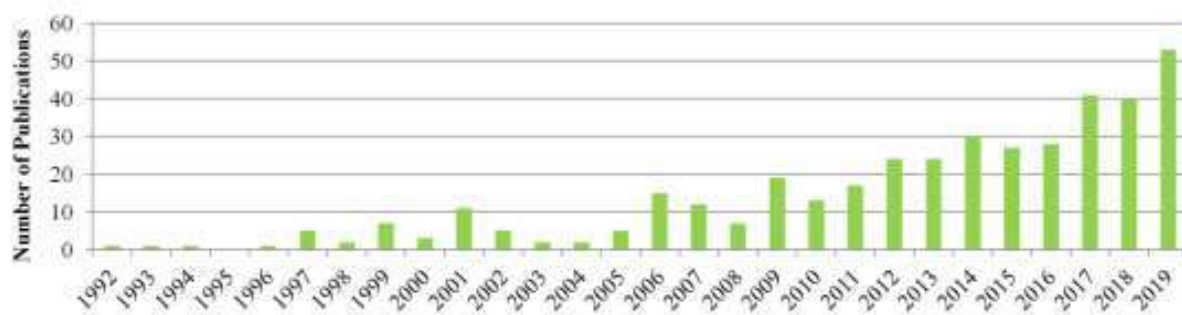
| پارامتر                 | شورای وزیران محیط زیست کانادا | چین  | دفتر استاندارد هند | هنگ کنگ      | سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا | مکزیک | تایلند        | فیلیپین        | اندونزی | بنگلادش       | سریلانکا |
|-------------------------|-------------------------------|------|--------------------|--------------|-------------------------------|-------|---------------|----------------|---------|---------------|----------|
| pH                      | ۶/۵-۸/۵                       | ۶-۹  | ۵/۵-۹              | ۶-۱۰         | ۶-۹                           | ۶-۸/۵ | ۵-۹           | ۶-۹            | ۶-۹     | ۶/۵-۹         | ۶-۸/۵    |
| دما (C°)                | ۳۰                            |      | ۵۰                 | ۴۳           | ۴۰                            |       |               | ۴۰             |         | ۴۰-۴۵         | ۴۰       |
| رنگ (Pt-Co)             | ۱۰۰                           | ۸۰   |                    | ۱ (Lovibond) | ۷ (Lovibond)                  |       |               | -۲۰۰<br>۱۰۰    |         |               | ۳۰       |
| TDS (mg/L)              | ۲۰۰۰                          |      | ۲۱۰۰               |              | ۲۰۰۰                          |       | -۵۰۰۰<br>۲۰۰۰ | ۱۲۰۰           |         | ۲۱۰۰          | ۲۱۰۰     |
| TSS (mg/L)              | ۴۰                            | ۱۵۰  | ۱۰۰                | ۸۰۰          | ۳۰                            |       | ۳۰-۱۵۰        | ۹۰             | ۶۰      | ۱۰۰           | ۵۰۰      |
| سولفید (µg/L)           | ۲۰۰                           | ۱۰۰۰ | ۲۰۰۰               | ۱۰۰۰         | ۲۰۰                           |       |               |                |         | ۱۰۰۰          | ۲۰۰۰     |
| کلر آزاد (µg/L)         | ۱۰۰۰                          |      | ۱۰۰۰               |              | ۱۰۰۰                          |       |               | ۱۰۰۰           |         |               |          |
| COD (mg/L)              | ۸۰                            | ۲۰۰  | ۲۵۰                | ۲۰۰۰         | ۸۰                            | < ۱۲۵ | ۱۲۰-۴۰۰       | -۳۰۰<br>۲۰۰    | ۲۵۰     | ۲۰۰           | ۶۰۰      |
| BOD <sub>5</sub> (mg/L) | ۵۰                            | ۶۰   | ۳۰                 | ۸۰۰          | ۵۰                            | < ۳۰  | ۲۰-۶۰         | ۳۰-۲۰۰         | ۸۵      | ۱۵۰           | ۲۰۰      |
| روغن و چربی (mg/L)      |                               |      | ۱۰                 | ۲۰           | ۱۰                            |       | ۳۰۰           | ۵-۱۵           | ۵       | ۱۰            | ۳۰       |
| اکسیژن محلول (µg/L)     | ۶۰۰۰                          |      |                    | ≤ ۴۰۰۰       |                               |       |               | -۲۰۰۰<br>۱۰۰۰  |         | -۸۰۰۰<br>۴۵۰۰ |          |
| نیترات (µg/L)           | ۱۳۰۰۰                         |      | ۱۰۰۰۰              |              | ۲۰۰۰۰                         | ۱۰۰۰۰ |               |                |         | ۱۰۰۰۰         | ۴۵۰۰۰    |
| آمونیاک (µg/L)          | ۰/۱                           |      |                    | ۵۰۰          | ۰/۲                           |       |               |                |         | ۵۰۰۰          | ۶۰       |
| فسفات (µg/L)            | < ۴۰۰۰                        | ۱۰۰۰ | ۵۰۰۰               | ۵۰۰۰         | ۵۰۰۰                          |       |               |                | ۲۰۰۰    |               | ۲۰۰۰     |
| کلسیم (µg/L)            |                               |      |                    |              | ۲۰۰۰۰۰                        |       |               | ۲۰۰۰۰۰         |         |               | ۲۴۰۰۰    |
| منیزیم (µg/L)           | ۲۰۰۰۰                         |      |                    |              | ۲۰۰۰۰۰                        |       |               |                |         |               | ۱۵۰۰۰۰   |
| کروم (µg/L)             | ۱                             |      | ۱۰۰                | ۱۰۰          | < ۱۰۰                         | ۵۰    | ۵۰۰           | ۵۰-۵۰۰         | ۵۰۰     | ۲۰۰۰          | ۵۰       |
| آلومینیم (µg/L)         | ۵                             |      |                    |              | < ۱۰۰۰                        | ۵۰۰۰  |               |                |         |               |          |
| مس (µg/L)               | < ۱۰۰۰                        | ۱۰۰۰ | ۳۰۰۰               | ۱۰۰۰         | < ۱۰۰۰                        | ۱۰۰۰  | ۱۰۰۰          | ۱۰۰۰           | ۲۰۰۰    | ۵۰۰           | ۳۰۰۰     |
| منگنز (µg/L)            | ۵                             | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۰               | ۵۰۰          | ۵                             | ۲۰۰   | ۵۰۰۰          | -۵۰۰۰<br>۱۰۰۰  |         | ۵۰۰۰          | ۵۰۰      |
| آهن (µg/L)              | ۳۰۰                           |      | ۳۰۰۰               | ۱۵۰۰         | ۲۰۰۰۰                         | ۱۰۰۰  |               | -۲۰۰۰۰<br>۱۰۰۰ | ۵۰۰۰    | ۲۰۰۰          | ۱۰۰۰     |
| روی (µg/L)              | ۳۰                            | ۵۰۰۰ | ۵۰۰۰               | ۶۰۰          | < ۱۰۰۰                        | ۱۰۰۰۰ |               |                | ۵۰۰۰    | ۵۰۰۰          | ۱۰۰۰۰    |
| جیوه (µg/L)             | ۰/۰۲۶                         |      | ۰/۰۱               | ۱            | ۰/۰۵                          |       | ۵             | ۵              |         | ۱۰            | ۱        |

صنعتی و غیره استفاده می‌شود (Shahid et al., 2018). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود دو کشور ایالات متحده آمریکا و چین نسبت به سایر کشورها بیشترین مطالعات (بیش از ۵۲٪) را در این حیطه در دوره مورد بررسی (از ۱۹۹۲ تا سپتامبر ۲۰۱۹) انجام داده‌اند (Colares et al., 2020).

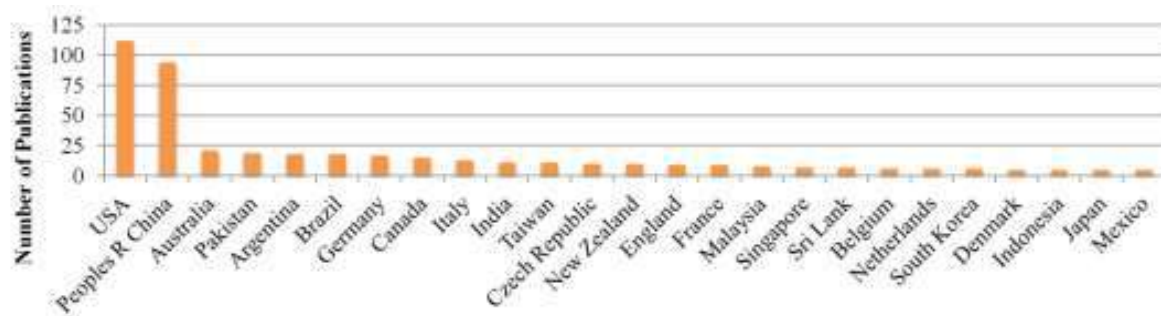
اولین بار برای پاک‌سازی دریاچه‌ها و رودخانه‌های یوتروپیک در آلمان و ژاپن به کار رفت. در حال حاضر از این فناوری برای تصفیه فاضلاب خانگی، فاضلاب شهری، آب‌های سطحی و زیرزمینی آلوده، زهاب اسیدی معادن، تصفیه آب غنی از مواد مغذی رواناب کشاورزی، فاضلاب کشتارگاه مرغ و خوک، فاضلاب



شکل ۱- شمایی از تالاب تصفیه شناور (Shahid et al., 2018)



(الف)



(ب)

شکل ۲- واژه «تالاب تصفیه شناور» از پایگاه داده Web of Science: (الف) تعداد انتشارات در هر سال؛ و (ب) کشورهایی که بیشترین مطالعات را انجام داده‌اند (Colares et al., 2020)

در تصفیه و نقش ترکیبی گیاهان و باکتری‌ها به‌منظور افزایش راندمان حذف مواد آلاینده است.

هدف از این مطالعه مروری بر فناوری تالاب تصفیه شناور و کاربرد آن در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی، عوامل کلیدی مؤثر

## ۲- روش تحقیق

بوده است.

### ۳- مبانی نظری تحقیق

#### ۳-۱- فناوری‌های موجود برای تصفیه فاضلاب نساجی

از فناوری‌های مختلف شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی برای تصفیه فاضلاب صنعت نساجی می‌توان استفاده کرد، اما هریک از این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی است که در جدول ۴ به آن‌ها اشاره شده است.

این مطالعه به روش مروری-توصیفی بر روی مطالعات انجام‌شده در خصوص فناوری تالاب تصفیه شناور و نقش آن در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی بر مبنای مرور مقالات موجود در پایگاه‌های گوگل اسکولار، ساینس دایرکت، ریسرچ گیت، مگیران، سیویلیکا و سید جمع‌آوری شد. معیار ورود اطلاعات، مقالات مرتبط با موضوع و حاوی کلمات کلیدی تحقیق تالاب تصفیه شناور، گیاهان، باکتری‌ها، فاضلاب صنعت نساجی و آلاینده‌ها

جدول ۴- معایب فناوری‌های موجود برای تصفیه فاضلاب نساجی (Wei et al., 2020)

| نوع     | تکنیک                                       | معایب                                                                                                               |
|---------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| شیمیایی | روش ترکیبی انعقاد الکتریکی                  | در طول فرآیند pH باید کم‌تر از ۶ نگه‌داشته شود                                                                      |
|         | انعقاد و جذب با آلوم                        | افزایش غلظت سولفات و سولفید                                                                                         |
|         | ازن زنی                                     | ظرفیت کاهش COD پایینی دارد                                                                                          |
|         | انعقاد شیمیایی                              | یک تکنیک آهسته است و مقدار زیادی لجن تولید می‌شود                                                                   |
|         | اکسیداسیون الکتروشیمیایی                    | نمک به‌عنوان آلودگی ثانویه                                                                                          |
|         | تکنولوژی الکتروشیمیایی                      | تولید محصولات جانبی نامطلوب که می‌توانند برای محیط‌زیست مضر باشند                                                   |
|         | روش مبادله یونی                             | در حذف همه رنگ‌ها مؤثر نیست                                                                                         |
|         | سونولیز فوتوشیمیایی                         | نیازمند مقدار زیادی اکسیژن حل‌شده، هزینه بالا و تولید محصولات جانبی نامطلوب است                                     |
|         | انعقاد-فتوکاتالیستی نانو ذرات               | تولید لجن، مشکل میزان نفوذ نور در فاضلاب‌های تیره و رنگی، هزینه بالای تهیه نانو ذرات و محدودیت استفاده از نانو ذرات |
|         | فرآیند فنتون و فوتو-فنتون                   | تولید رسوب، تجمع یون‌های آهنی بلااستفاده و حفظ pH                                                                   |
| فیزیکی  | کربن فعال تجاری                             | هزینه بالای مواد، عملیات پرهزینه، ممکن است در حذف برخی رنگ‌ها و فلزات کار نکند، عملکرد بستگی به نوع مواد دارد       |
|         | جذب                                         | یک فرآیند پرهزینه است                                                                                               |
|         | تصفیه مبتنی بر غشا                          | نقص غشا ممکن است اتفاق بیفتد و روش پرهزینه‌ای است                                                                   |
| زیستی   | بیوفیلتر در مقیاس پایلوت                    | فیلتر زیستی به دلیل محدودیت‌های انتقال انبوه، قابلیت پایینی برای متابولیسم کردن ترکیبات آلی فرار هیدروفوبیک دارد    |
|         | استفاده از قارچ‌های سفید همراه با بیوراکتور | زمان‌ماند هیدرولیکی طولانی دارد و به راکتورهای بزرگی نیاز دارد                                                      |
|         | ریز جلبک‌ها                                 | شرایط سخت نگهداری و انتخاب جلبک مناسب ضروری است                                                                     |
|         | برکه‌های جلبک                               | حذف مؤثر فلزات سنگین                                                                                                |

### ۳-۲- مزایای تالاب تصفیه شناور

از مزایای تالاب تصفیه شناور آن است که نیاز به حفاری و زمین اضافی ندارد. حجم ذخیره‌سازی تالاب را به‌دلیل طبیعت شناور آن کاهش نمی‌دهد. به ابزار تکنولوژیکی پیچیده‌ای برای نصب نیاز ندارد. برای اجرای عملیات و نگهداری آن به هیچ ورودی شیمیایی مصنوعی نیاز ندارد. بنابراین، سرمایه کم و هزینه‌های عملیاتی حداقل/هیچ، این فناوری را یک روش مقرون‌به‌صرفه و کاربردی، در مقایسه با فناوری‌های متداول تصفیه فاضلاب به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، برای تصفیه فاضلاب صنعتی

می‌سازد. می‌تواند در مناطق سیل‌خیز استفاده شود، چون نوسان یا طغیان به‌دلیل طبیعت شناور آن‌ها هیچ اثر زیان‌آوری بر روی تالاب تصفیه شناور ندارد. می‌تواند زیستگاه حیات وحش پایدار برای ماهی‌ها، پرندگان و بی‌مهرگان فراهم کند. می‌تواند به‌طور مؤثر برای حل مشکلات مرتبط با یوتریفیکاسیون به‌کار رود. به‌دلیل ارزش زیبایی‌شناسی بالا به‌عنوان یک تکنولوژی زیست‌محیطی امیدوارکننده ظاهر شد که می‌تواند با استفاده از گیاهان گل‌دار بیشتر افزایش یابد (Shahid et al., 2018).

### ۳-۳- محدودیت‌های تالاب تصفیه شناور

نیاز به پشتیبانی برای اطمینان از شناوری بستر یا گیاهان بر روی آن در سطح آب دارد. برای عملکرد مناسب تالاب تصفیه شناور، حداقل عمق آب باید حفظ شود تا از رشد ریشه‌های گیاه به سمت رسوبات در تالاب تصفیه شناور جلوگیری شود. اگر آب هنگام طوفان بالا بیاید، بستر شناور در آب فرو رفته و منجر به مرگ ماکروفیت‌ها و همچنین آسیب شدید به ساختار شناور می‌شود. اندازه بزرگ بسترهای شناور ممکن است منطقه را برای فعالیت‌های تفریحی مانند قایقرانی و ماهیگیری کاهش دهد. گیاهان باید به طور متناوب برداشت شوند. برداشت مناسب و مدیریت ماکروفیت‌ها نیاز به کارگر دارد. گیاهان مهاجم و نامطلوب ممکن است به ماکروفیت‌ها در تالاب تصفیه شناور آسیب بزنند و کارایی آن را به حداقل برسانند (Shahid et al., 2018). رشد بیش از حد گیاهان آبی ریشه‌دار به خصوص در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری سبب ایجاد طعم، بو و رنگ در منابع آب، انسداد جریان آب، انسداد پمپ‌های آبیاری و اختلاف در طرح‌های برق‌آبی، تأخیر در رشد گیاهان آبی بزرگ نظیر برنج می‌شود (تک‌دستان و همکاران، ۱۳۸۵).

### ۳-۴- مراقبت و نگهداری از تالاب تصفیه شناور

حصیرهای شناور باید به اندازه کافی قوی باشند تا بار آلودگی گیاهان در محیط رشد را پشتیبانی کنند و در برابر آسیب ناشی از آفتاب، آب و باد سنگین برای پایداری طولانی مدت مقاوم باشند. با استفاده از انواع مختلف مواد شامل لوله‌های پلی‌وینیل کلرید، بامبو، فوم پلی استایرن، شبکه سیمی، مواد فیبری مانند فیبر نارگیل و بسیاری دیگر ساخته می‌شوند. باید مراقب بود که محیط کشت توانایی نگهداری آب کافی برای جذب گیاه و گردش هوا را داشته باشد تا شرایط هوازی را حفظ کند، در برابر غرقابی مقاوم باشد و pH ایده‌آل برای رشد گیاه داشته باشد. گیاهان می‌توانند بر روی بسترهای شناور با کاشت مستقیم و بذریابی دانه‌های گیاهان ایجاد شوند. انتخاب روش به نوع گونه‌های گیاهی، ساختار بستر شناور و شرایط محیطی و در دسترس بودن گیاهان بستگی دارد. بذریابی مستقیم می‌تواند روشی مقرون به صرفه و سریع برای پوشش گیاهی شبکه‌های بزرگ باشد و منجر به استقرار سریع گیاهان و نرخ رشد بالا شود. در منطقه بادی، احتمال گردش بیش از حد بسترهای شناور را می‌توان با نصب بسترهای شناور کوچک به جای بسترهای بزرگ با پوشش گیاهی ارتفاع کم، به حداقل رساند. در آب‌وهوای گرم‌تر، پوشش گیاهی بر روی بسترهای شناور ممکن است محل زندگی

پشه و دیگر حشرات مشابه شود. این مشکل می‌تواند با حفظ شرایط هوازی، اسپری آب روی گیاهان، برداشت مکرر گیاهان و با استفاده از عوامل کنترل شیمیایی و بیولوژیکی تأیید شده برای این حشرات کنترل شود (Shahid et al., 2018).

### ۳-۵- نقش گیاهان در تالاب تصفیه شناور

کاهش جریان آب و آشفتگی سبب تثبیت بستر تالاب می‌شود. به دلیل تعلیق آزاد ریشه‌ها در ستون آب، تماس مستقیم بین آلاینده‌ها و جامعه میکروبی مربوط به ریشه ایجاد می‌شود، در فرآیندهای بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها مواد آلی را به مواد مغذی ساده تجزیه می‌کنند. در مقایسه بین گیاهان کامل و ریشه‌های گیاه، ریشه‌های گیاهی در تالاب تصفیه شناور درصد عالی حذف آلاینده را نشان دادند. این نشان می‌دهد که ریشه‌های گیاهان، برخی ترکیبات زیست فعال (آلکالوئیدها، فنیل پروپانوییدها، پلی کتیدها و ترپنوئیدها) را در آب آزاد و این ترکیبات زیست‌فعال به تغییر گونه‌های فلزی به شکل نامحلول کمک می‌کنند. ترشحات ریشه به دنیتریفیکاسیون کمک می‌کند. در آب‌های سطحی غنی از مواد مغذی کاهش‌دهندگان نیترات، نیترات را به گاز نیتروژن تبدیل کرده و آن را به اتمسفر آزاد می‌کنند. گونه‌های موجود در تالاب‌های شناور قادر به برداشت ازت به میزان ۲۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال هستند. ریشه‌های گیاه فضایی را برای رشد میکروبی که برای تصفیه آب ضروری هستند را ایجاد می‌کنند. تعاملات میکروب - گیاه نقش مهمی در تصفیه آب ایفا می‌کند (Wei et al., 2020).

### ۳-۶- انتخاب گیاه مناسب

گیاهان مورد استفاده باید گونه غیر مهاجم، بومی، چندساله، با سرعت رشد سریع، سیستم ریشه گسترده، دائمی، قادر به تحمل سیل، عملکرد زیست‌توده بالا، تحمل بالا به آلاینده‌ها، توانایی بالای جذب و تجمع آلاینده‌ها را داشته باشند و بتوانند در محیط هیدروپونیک رشد کنند. بسیاری از انواع علف‌ها به‌خاطر ساختار متراکم ریشه خود که می‌توانند یک جامعه میکروبی را در خود جای دهند، در تالاب تصفیه شناور انتخاب می‌شوند. تولید اگزودای ریشه و کیفیت آن نیز حتی در ژنوتیپ‌های نزدیک به هم بسیار متفاوت است. این امر منجر به تفاوت‌های اساسی در جامعه میکروبی مرتبط و تحریک آن‌ها می‌شود. گونه‌های گیاهی خشکی، در مقایسه با گیاهان آبی شناور، ساختارهای ریشه‌ای طولانی و گسترده‌تری دارند و سطح وسیعی را برای فرآیند حذف آلاینده فراهم می‌کنند اما کمتر استفاده می‌شوند، زیرا توانایی گیاهان



فلزات سنگین که جز مهمی از فاضلاب نساجی است دارد (۸۷ تا ۹۹ درصد به دلیل زیست توده بالا) (Wei et al., 2020). نتایج بررسی بازافکن و همکاران (۱۳۹۴) نشان می دهد از روپیا ماریتیمما از تیره روپیا س که گیاهی با تحمل بالای شوری، سرعت بالای رشد، بومی ایران، دسترسی آسان و قدرت بالای حذف نیتروژن و فسفر را دارد می توان استفاده کرد.

برای رشد هیدروپونیک برای به دست آوردن حداکثر حذف آلاینده توسط تالاب تصفیه شناور مهم هست. گیاهان مختلف ظرفیت های آلاینده متفاوتی دارند که از یک گونه به گونه دیگر تغییر می کنند. گیاه نی<sup>۱</sup> فراوان ترین گونه مورد استفاده در تالاب های تصفیه شناور و پس از آن تیفا آنگستیفلیا<sup>۲</sup> و لویی<sup>۳</sup> هستند. گیاه *Phragmites australis* ظرفیت بالایی برای حذف

جدول ۵- استفاده از گونه های مختلف ماکروفیت در تالاب های تصفیه شناور (Wei et al., 2020)

| کشور     | گیاه                                                                                                  | فاضلاب                           | قابلیت حذف                                                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| آرژانتین | <i>Typha domingensis</i>                                                                              | رواناب سینتیک                    | دستیابی به ۹۵٪ حذف فسفر کل، فسفر واکنش پذیر محلول، $NH_4^+$ و $NO_3^-$                                       |
| استرالیا | <i>Carex appressa</i>                                                                                 | رواناب منطقه مسکونی با تراکم کم  | عملکرد حذف آلاینده ها برای TSS ۸۰٪، فسفر کل ۵۳٪، نیتروژن کل ۱۷٪                                              |
| چین      | <i>Iris pseudacorus</i>                                                                               | مرحله ثانویه تصفیه سینتیک        | حذف ۸۹/۴ درصدی TN در یک روز                                                                                  |
| اندونزی  | <i>Chrysopogon zizanioides</i>                                                                        | فاضلاب نساجی                     | میانگین نرخ حذف کروم، BOD و COD به ترتیب ۴۰٪، ۹۸/۴۷٪ و ۸۹/۰۵٪ بود                                            |
| نیوزلند  | <i>Carex virgate</i>                                                                                  | فاضلاب طوفان                     | ۴۱٪ TS، ۴۱٪ روی، ۳۹٪ مس و ۱۶٪ حذف مس حل شده بیشتر از برکه های بدون تصفیه شناور بود                           |
| نیوزلند  | <i>Carex virgate</i>                                                                                  | فاضلاب خانگی                     | نرخ حذف فسفر به ترتیب ۴۴/۹ و ۲۹/۷ درصد بود                                                                   |
| پاکستان  | <i>Phragmites australis</i>                                                                           | فاضلاب سینتیک آلوده به سوخت نفتی | غلظت هیدروکربن به ۹۵/۸٪، COD به ۹۸/۶٪، BOD به ۹۹/۷٪ و فنول به ۹۸/۹٪ کاهش یافت                                |
| پاکستان  | <i>Phragmites australis</i> , <i>T. domingensis</i> , <i>Leptochloa fusca</i> , <i>Brachia mutica</i> | گودال تثبیت آلوده به نفت         | کاهش میزان COD، BOD، TDS، هیدروکربن ها و فلزات سنگین به ترتیب ۹۷/۴٪، ۹۸/۹٪، ۸۲/۴٪، ۹۹/۱٪ و ۸۰٪ گزارش شده است |
| پاکستان  | <i>Brachia mutica</i> , <i>Phragmites australis</i>                                                   | فاضلاب تولید شده در میدان نفتی   | میزان COD، BOD به ترتیب ۹۳٪، ۹۷٪ و ۹۷٪ کاهش یافت                                                             |
| پاکستان  | <i>Phragmites australis</i> , <i>Typha domingensis</i>                                                | فاضلاب نساجی                     | رنگ، COD و BOD به ترتیب تا ۹۷٪، ۸۷٪ و ۹۲٪ کاهش یافتند                                                        |
| پاکستان  | <i>Brachia mutica</i>                                                                                 | فاضلاب                           | میزان COD، BOD و نفت تقریباً تا ۸۰٪، ۹۵٪ و ۵۰٪ کاهش یافت.                                                    |
| پاکستان  | <i>Typha domingensis</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Eichhornia crassipes</i>                     | فاضلاب نساجی                     | متوسط نرخ کاهش رنگ، COD و BOD به ترتیب ۵۷٪، ۷۲٪ و ۷۸٪ بود                                                    |
| پاکستان  | <i>Phragmites australis</i> , <i>T. domingensis</i> , <i>Leptochloa fusca</i> , <i>Brachia mutica</i> | گودال تثبیت آلوده به نفت         | میزان COD، BOD و TDS تا ۷۹٪، ۸۸٪ و ۶۵٪ کاهش یافت                                                             |
| سريلانكا | <i>Eichhornia crassipes</i>                                                                           | فاضلاب                           | نرخ حذف TP و TN به ترتیب ۷۴/۸ و ۵۵/۸ درصد بود                                                                |
| آمریکا   | <i>Spartina patens</i>                                                                                | تصفیه سینتیک فاضلاب آبی پروری    | غلظت TP از ۱۷ تا ۴۰٪ کاهش یافت                                                                               |
| آمریکا   | <i>Pontederia cordata</i> , <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>                                     | رواناب شهری                      | غلظت TP و TN در فاضلاب تصفیه شده به ۶۰٪ و ۴۰٪ کاهش یافت                                                      |

هر دو گونه گیاهی رنگ، مواد آلی و فلزات سنگین را به مقدار زیاد از فاضلاب نساجی حذف کردند و پس از دوره هشت روزه بیشترین حذف توسط *P. australis* با کاهش ۹۲ درصدی COD، ۹۱ درصدی BOD، ۸۶ درصدی رنگ و ۸۷ درصدی فلزات همراه بود.

### ۳-۷- هم افزایی گیاه باکتری در تالاب تصفیه شناور

(Tara et al. (2019 مطالعه ای به منظور بررسی پتانسیل تالاب تصفیه شناور بر روی *P. australis* و *Typha domingensis* در ترکیب با باکتری های *Pseudomonas-Acinetobacter junii* و *Rhodococcus sp.* انجام دادند. نتایج نشان داد

#### ۴- نتایج و بحث

با تابستان می‌تواند با هوادهی بهبود یابد.

#### ۴-۱-۱- عوامل مؤثر بر عملکرد تالاب تصفیه شناور

##### ۴-۱-۱-۱- عمق آب

حداقل ۱۰/۸ متر از عمق آب برای رشد افقی و عمودی ریشه موردنیاز است. افزایش عمق آب، عملکرد تصفیه را به دلیل افزایش زمان تماس آلاینده‌ها باریشه‌ها و بیوفیلم میکروبی افزایش می‌دهد. عواملی مانند نوع فاضلاب، هدف تصفیه و تغییرات جریان ورودی نیز انتخاب عمق آب را تعیین می‌کنند. به‌عنوان مثال، عمق کم آب برای حذف ذرات ریز و جامدات معلق به دلیل افزایش تماس بین ریشه‌ها، فاضلاب و میکروارگانیسم‌ها مناسب است. از سوی دیگر، عمق زیاد برای تصفیه جامدات معلق درشت مناسب‌تر است (Shahid et al., 2018).

##### ۴-۱-۲- فصل و دما

رابطه مثبت بین دما و حذف مواد مغذی گزارش شده است (Wei et al., 2020). مطالعات نشان داده است که حذف مواد مغذی در طول فصل رشد گیاهان (Jun-Oct) حداکثر و در زمستان (Nov-Mar) حداقل بود (Afzal et al., 2011). حذف نیتروژن مستقیماً به دما و فصل مربوط می‌شود. زیرا باکتری‌های درگیر در فرآیندهای نیترات سازی و نیترات‌زدایی به‌شدت به تغییرات دما حساس هستند. بیش‌ترین حذف TN در محدوده دمایی ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد ذکر شده است. افزایش دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش در مقدار TOC فاضلاب را نشان داد که نتیجه افزایش فعالیت میکروبی بود. در مقابل، بازده گیاهان برای حذف مواد آلی با تغییر دما از ۲۴ به ۴ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. عملکرد تصفیه برای تمام آلاینده‌ها تنها به دما بستگی ندارد. به‌عنوان مثال، تغییر دما تأثیر کمی بر فرآیند حذف فسفر دارد، یعنی حتی در محدوده دمایی ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد در طول تابستان و پاییز، حذف فسفر تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد (Shahid et al., 2018).

##### ۴-۱-۳- هوادهی

Park et al., (2019) گزارش کردند تالاب تصفیه شناور هوادهی شده در مقابل تالاب تصفیه شناور غیر هوادهی شده، حذف مواد آلی، نیتروژن و *ecoli* را از فاضلاب خانگی افزایش می‌دهد. Dunqiu et al. (2012) گزارش کردند حذف نیترات/نیتريت با افزایش نسبت گاز به آب از ۰ به ۵ واحد در تالاب تصفیه شناور از ۱/۷ به ۳۳/۸ درصد بهبود یافت. Ashraf et al. (2018) گزارش کردند کاهش COD در زمستان در مقایسه

#### ۴-۱-۴- تراکم پوشش گیاهی

نتایج مطالعات (Ibekwe et al., 2007) بر روی تالاب شناور دارای *reeds* و *cattails* نشان داد که نرخ حذف نیترات توسط جامعه میکروبی در زمین‌های مرطوب با ۵۰٪ پوشش گیاهی بیش از زمین‌های مرطوب دارای ۱۰۰٪ پوشش گیاهی بود. Chance and White, (2018) گزارش دادند که تالاب‌های شناور غیرهوازی با پوشش کاشت ۱۰۰٪، سطح اکسیژن محلول پایین‌تری نسبت به تالاب‌های شناور با پوشش کاشت ۵۰٪ داشتند. پوشش متراکم گیاه، تبادل گازی را محدود می‌کند.

#### ۴-۱-۵- برداشت گیاه

Yousaf et al. (2011) نشان داد که حدود نیمی از مواد مغذی در ساقه گیاهان تالابی جمع می‌شوند. از آن‌جا که ساقه‌های گیاه می‌توانند مواد مغذی بیشتری را در طول مرحله رویشی جمع کنند، زیست‌توده هوایی ارتباط مثبتی با حذف نیتروژن و فسفر دارد. مطالعه Wang et al. (2014) برای به‌دست آوردن حداکثر حذف مواد مغذی بر روی علف‌های هرز و ساقه نرم به‌ترتیب برداشت در August/July و October را توصیه کرد. برداشت در ماه‌های July و October برای حداکثر حذف فسفر و نیتروژن پیشنهاد شده است. در مطالعه‌ای که توسط Ahsan et al. (2017) در سنگاپور انجام شد نشان داده شد که مقدار فسفر و نیتروژن در بافت‌های ساقه گیاه *Chrysopogon zizanioides* و *T. angustifolia* هنگامی که ساقه‌ها بالغ شدند، کاهش یافت. بنابراین توصیه شد که ساقه‌ها باید قبل از اوج فصل رشد برداشت شوند تا به حداکثر حذف مواد مغذی برسند.

#### ۴-۲- حذف آلاینده‌های فاضلاب صنعت نساجی

میکروب‌ها جزء کلیدی چرخه بیوژئوشیمیایی و جریان انرژی در اکوسیستم آبی هستند. میکروب‌ها می‌توانند آلاینده‌های آلی/غیرآلی را تجزیه و غیرمعدنی کنند و نقش مهمی در حذف آلاینده‌ها از فاضلاب نساجی ایفا کنند (جدول ۶) (Wei et al., 2020).

کل فاضلاب تولیدی صنایع نساجی تهران حدود ۶۸۴۹۲۲۵ مترمکعب در سال و یا ۱۸۷۶۵ مترمکعب در روز است. نتایج بررسی کمی و کیفی فاضلاب صنایع نساجی واقع در منطقه ۲۱ تهران و مقایسه پساب آن با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست نشان داده است که صنعت نساجی بافت‌آزادی با  $1200 \text{ m}^3/\text{day}$ ، نساجی جامه‌گران با میزان فاضلاب تولیدی

در واحد صنعتی جنوب pH، EC، غلظت کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات و بی کربنات و در صنایع نساجی درخشان و تابان غلظت کلسیم، منیزیم، کلر و بی کربنات فراتر از حد مجاز غلظت این آلاینده‌ها بودند (رحمانی، ۱۳۸۲). نتایج بررسی Saharimoghaddam et al. (2019) بر روی پساب واحد نساجی کیمیای هم‌رنگ در استان البرز نشان داد کارایی گیاه *Phragmites australis* در حذف  $\text{NO}_3^-$ ، COD و TSS به ترتیب در محدوده ۴۰-۷۰، ۶۸-۷۲ و ۴۹-۷۱ درصد است. از آن‌جا که آلاینده‌های پساب صنایع نساجی مورد مطالعه در ایران از حد مجاز استاندارد فراتر است، از تکنولوژی تالاب تصفیه شناور می‌توان به عنوان روشی جدید، آسان، کارآمد و بی‌خطر استفاده نمود (جدول ۷).

۳۰۰ m<sup>3</sup>/day و پاتن جامه با میزان فاضلاب تولیدی ۲۵۰ m<sup>3</sup>/day بیشترین سهم را در تولید فاضلاب دارند. بیشترین میزان pH پساب خروجی از صنایع منتخب در صنعت کاشی‌بافی شعله با میزان (۱۰/۵) و در محدوده قلیایی است. بیشترین میزان BOD و COD پساب خروجی از صنایع منتخب متعلق به شرکت هم‌رنگ به میزان ۴۰۰ mg/L و ۹۲۸ mg/L است. صنعت نساجی مرصده مقادیری از TDS در حدود بالاتر از ۵۰۰۰ mg/L وارد محیط‌زیست می‌کند (Rahmani and Gholami, 2013).

نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی و غلظت برخی عناصر سنگین در پساب واحدهای صنعتی نساجی شهر یزد نشان داد که در یزدباف غلظت کلسیم، منیزیم، کلرور، سولفات و بی کربنات،

جدول ۶- کاربرد باکتری‌ها برای حذف رنگ از فاضلاب نساجی (Wei et al., 2020)

| رنگ                                              | باکتری                                                                                                           |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reactive Blue 160                                | <i>Bacillus firmus</i>                                                                                           |
| Acid Red 14                                      | <i>Ps Oerskovia paurometabola</i>                                                                                |
| Reactive Yellow 14                               | <i>Pseudomonas aeruginosa</i><br><i>Thiosphaera pantotropha</i>                                                  |
| Crystal Violet                                   | <i>Enterobacter</i> sp. CV-S1                                                                                    |
| Reactive Yellow 2                                | <i>Serratia</i> sp. RN34                                                                                         |
| Reactive Violet 5                                | <i>Paracoccus</i> sp. GSM2                                                                                       |
| Acid Orange                                      | <i>Staphylococcus hominis</i> RMLRT03                                                                            |
| Orange II (Acid Orange 7)                        | <i>Bacillus cereus</i> RMLAU1                                                                                    |
| Acid Orange 7                                    | <i>Enterococcus faecalis</i> strain ZL                                                                           |
| Orange 3R (RO3R)                                 | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> strain BCH                                                                         |
| Reactive Black 5                                 | <i>Anoxybacillus pushchinoensis</i> ,<br><i>Anoxybacillus kamchatkensis</i><br><i>Anoxybacillus flavithermus</i> |
| Reactive Red 180                                 | <i>Citrobacter</i> sp. CK3                                                                                       |
| Disperse Blue 79 (DB79)<br>Acid Orange 10 (AO10) | <i>Bacillus Fusiformis</i> kmk 5                                                                                 |
| Red BLI                                          | <i>Pseudomonas</i> sp. SUK1                                                                                      |
| Toluidine Blue dye (TB)                          | <i>Brevibacillus</i> sp.                                                                                         |
| Acid Orange 7                                    | Bacterial strains 1CX and SAD4i                                                                                  |
| Azo Dye RP2B                                     | <i>Pseudomonas luteola</i>                                                                                       |

جدول ۷- حذف مواد آلی، مواد جامد، مواد مغذی و فلزات سنگین موجود در فاضلاب نساجی با استفاده از تالاب تصفیه شناور

| پارامتر     | نتیجه                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | منبع                                              |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| مواد آلی    | کارایی تالاب تصفیه شناور برای حذف COD و BOD به ترتیب از ۱۷ تا ۸۴ درصد و ۳۶ تا ۹۰ درصد متغیر است.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Rehman et al. (2018)                              |
| مواد جامد   | با استفاده از تالاب تصفیه شناور کاهش TSS را از ۳۹۱ به ۱۴۱ میلی گرم در لیتر، TDS را از ۴۵۶۹ به ۱۶۳۲ میلی گرم در لیتر و TS را از ۴۹۶۱ به ۱۷۳۳ میلی گرم در لیتر در تصفیه فاضلاب نساجی گزارش کردند                                                                                                                                                                                     | Tara et al. (2019)                                |
| مواد مغذی   | نرخ حذف فسفر را ۰/۰۸۶ گرم بر مترمربع در روز تحت شرایط کنترل شده در مطالعه تالاب تصفیه شناور گزارش دادند. تالاب تصفیه شناور در مدت زمان هفت روز ۴۸٪ فسفر را از فاضلاب نساجی حاوی مواد مغذی حذف کرد.                                                                                                                                                                                 | Singh et al. (2014)<br>Harrison and Wilson (1985) |
| فلزات سنگین | جذب Ni و Zn را در برگ و ریشه گونه‌های <i>Juncus</i> و <i>Carex</i> رشد یافته در تالاب تصفیه شناور مورد بررسی قرار دادند. غلظت نیکل در برگ‌های این دو گونه به ترتیب ۳۱-۲۳ میکروگرم در گرم و در ریشه ۱۱۳-۱۳۱ میکروگرم در گرم بود. تجمع روی در برگ‌ها ۴۵-۸۰ میکروگرم در گرم و در ریشه‌ها ۲۱۰ و ۱۶۸ میکروگرم در گرم بود. نسبت ریشه به برگ، برای نیکل و روی به ترتیب بین ۲/۶ و ۵/۷ بود. | Ladislav et al. (2015)                            |

ارزش غذایی گیاهان، آلاینده‌های تجمع یافته در بخش‌های گیاه و تأثیر نهایی بر محصولات حیوانی و انتقال در زنجیره غذایی دارد.

#### ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- *Phragmites australis*
- 2- *Typha angustifolia*
- 3- *Typha latifolia*

#### ۷- مراجع

بازافکن، م.ح.، احمدی مقدم، م.، صاکی، ح.، و تکدستان، ا. (۱۳۹۴)، "بررسی کارایی گیاه روپیا ماریتیما در حذف TN، TSS، COD و TP از فاضلاب شور"، کنگره بین‌المللی پایداری در معماری و شهرسازی معاصر خاورمیانه، دب، امارات متحده عربی.

تکدستان، ا.، جعفر زاده حقیقی، ن.ا.، فاخری رئوف، ف.، و رئیسی، ط.، (۱۳۸۵)، "بررسی مشکلات ناشی از گیاهان آبی ریشه‌دار (علف‌های هرز آبی) در منابع تأمین آب و روش‌های مختلف کنترل آن‌ها"، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران.

رحمانی، ح.ر.، (۱۳۸۲)، "خصوصیات شیمیایی و غلظت برخی عناصر سنگین در پساب واحدهای صنعتی نساجی شهر یزد"، محیط‌شناسی، ۳۱-۳۶.

Afzal, M., Yousaf, S., Reichenauer, T.G., Kuffner, M., and Sessitsch, A., (2011), "Soil type affects plant colonization, activity and catabolic gene expression of inoculated bacterial strains during phytoremediation of diesel", *Journal of Hazardous Materials*, 186(2), 1568-1575.

Ahsan, M.T., Najam-ul-haq, M., Idrees, M., Ullah, I., and Afzal, M., (2017), "Bacterial endophytes enhance phytostabilization in soils contaminated with uranium and lead", *International Journal of Phytoremediation*, 19(10), 937-946.

Ashraf, S., Afzal, M., Rehman, K., Naveed, M., and Zahir, Z., (2018), "Plant-endophyte synergism in constructed wetlands enhances the remediation of tannery effluent", *Water Science and Technology*, 77(5), 1262-1270.

Chance, L.M.G., and White, S.A., (2018), "Aeration and plant coverage influence floating treatment wetland remediation efficacy", *Ecological Engineering*, 122, 62-68.

Colares, G.S., Dell'Osbel, N., Wiesel, P.G., Oliveira, G.A., Lemos, P.Z., da Silva, F.P., Lutterbeck, C.A., and Kist, L.T., (2020), "Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis", *Science of the Total Environment*, 714, 136776.

نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی و غلظت برخی عناصر سنگین در پساب واحدهای صنعتی نساجی شهر یزد نشان داد که در یزد باف غلظت کلسیم، منیزیم، کلرور، سولفات و بی‌کربنات، در واحد صنعتی جنوب pH، EC، غلظت کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات و در صنایع نساجی درخشان و تابان غلظت کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات فراتر از حد مجاز غلظت این آلاینده‌ها بودند (رحمانی، ۱۳۸۲). نتایج بررسی (Saharimoghaddam et al. (2019) بر روی پساب واحد نساجی کیمیای همرنگ در استان البرز نشان داد کارایی گیاه *Phragmites australis* در حذف  $\text{NO}_3^-$ ، COD و TSS به ترتیب در محدوده ۴۰-۷۰، ۶۸-۷۲ و ۴۹-۷۱ درصد است. از آن‌جا که آلاینده‌های پساب صنایع نساجی مورد مطالعه در ایران از حد مجاز استاندارد فراتر است، از تکنولوژی تالاب تصفیه شناور می‌توان به عنوان روشی جدید، آسان، کارآمد و بی‌خطر استفاده نمود.

#### ۵- نتیجه‌گیری

تالاب تصفیه شناور می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب و جایگزین روش‌های تصفیه سنتی و پرهزینه تصفیه فاضلاب نساجی باشد. ترکیب توأم گیاهان و بیوفیلم در تالاب‌های تصفیه شناور می‌تواند ذرات جامد، ماده آلی، رنگ‌ها، رنگ‌دانه‌ها و فلزات سنگین را حذف کند. *P. australis* و *T. Domingensis* به طور گسترده در تصفیه فاضلاب نساجی به روش تالاب تصفیه شناور استفاده می‌شوند. تالاب‌های تصفیه شناور مقرون به صرفه هستند، اما برای عملکرد بلندمدت به مراقبت و نگهداری مناسب نیاز دارند. به منظور افزایش راندمان می‌توان در ویژگی‌هایی مانند انتخاب گیاه، بیوفیلم و هوادهی تغییراتی اعمال نمود. تحقیقات بیشتری به منظور شناسایی گونه‌های باکتریایی که قادر به تشکیل کلونی برای تصفیه پساب نساجی با توجه به بار آلاینده هستند، مورد نیاز است. بیشتر مطالعات انجام شده در تصفیه پساب نساجی با کمک تالاب‌های تصفیه شناور در مقیاس آزمایشگاهی و برای مدت زمان کوتاهی انجام شدند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در مقیاس وسیع کاربرد تالاب‌های تصفیه شناور در تصفیه فاضلاب نساجی در شرایط محیط طبیعی بررسی شود. باید به طور عمیق عملکرد تالاب‌های تصفیه شناور تحت تغییرات دما، بارش و دیگر شرایط محیطی مورد تحلیل قرار بگیرد. تحقیقات گسترده برای دفع ایمن آلاینده‌های استخراج شده از فاضلاب تصفیه شده و دفع مناسب زیست توده گیاهی برداشت شده و لاش برگ نیاز است. استفاده از علف‌های برداشت شده به عنوان علوفه دام نیاز به بررسی دقیق

- with dye-degrading bacteria for the remediation of textile industry wastewater", *Journal of Cleaner Production*, 217, 541-548.
- Uddin, F., (2019), "Introductory chapter: Textile manufacturing processes", In: *Textile Manufacturing Processes*, IntechOpen.
- Wang, C.-Y., Sample, D.J., and Bell, C., (2014), "Vegetation effects on floating treatment wetland nutrient removal and harvesting strategies in urban stormwater ponds" *Science of the Total Environment*, 499, 384-393.
- Wei, F., Shahid, M.J., Alnusairi, G.S.H., Afzal, M., Khan, A., El-Esawi, M.A., Abbas, Z., Wei, K., Zaheer, I.E., and Rizwan, M., (2020), "Implementation of floating treatment wetlands for textile wastewater management: A review", *Sustainability*, 12(14), 5801.
- Yaseen, D.A., and Scholz, M., (2019), "Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 1193-1226.
- Yin, H., Guo, H., Qiu, P., Yi, L., and Li, J., (2017), "Case analysis on textile wastewater subjected to combined physicochemical-biological treatment and ozonation", *Desalination and Water Treatment*, 66, 140-148.
- Yin, H., Qiu, P., Qian, Y., Kong, Z., Zheng, X., Tang, Z., and Guo, H., (2019), "Textile wastewater treatment for water reuse: a case study", *Processes*, 7(1), 34.
- Yousaf, S., Afzal, M., Reichenauer, T.G., Brady, C.L., and Sessitsch, A., (2011), "Hydrocarbon degradation, plant colonization and gene expression of alkane degradation genes by endophytic *Enterobacter ludwigii* strains", *Environmental Pollution*, 159(10), 2675-2683.
- Dey, S., and Islam, A., (2012), "A review on textile wastewater characterization in Bangladesh", *Resources and Environment*, 5(1), 15-44.
- Dunqiu, W., Shaoyuan, B., Mingyu, W., Qinglin, X., Yinian, Z., and Hua, Z., (2012), "Effect of artificial aeration, temperature, and structure on nutrient removal in constructed floating islands", *Water Environment Research*, 84(5), 405-410.
- Ghaly, A.E., Ananthashankar, R., Alhattab, M., and Ramakrishnan, V.V., (2014), "Production, characterization and treatment of textile effluents: A critical review", *Chemical Engineering and Process Technology*, 5(1), 1-18.
- Harrison, R.M., and Wilson, S.J., (1985), "The chemical composition of highway drainage waters III. Runoff water metal speciation characteristics", *Science of the Total Environment*, 43(2), 89-102.
- Ibekwe, A.M., Lyon, S.R., Leddy, M., and Jacobson-Meyers, M., (2007), "Impact of plant density and microbial composition on water quality from a free water surface constructed wetland", *Journal of Applied Microbiology*, 102(4), 921-936.
- Kiran, S., Adeel, S., Nosheen, S., Hassan, A., Usman, M., and Rafique, M.A., (2017), "Recent trends in textile effluent treatments: A review", *Advanced Materials for Wastewater Treatment*, 29, 29-49.
- Ladislav, S., Gerente, C., Chazarenc, F., Brisson, J., and Andres, Y., (2015), "Floating treatment wetlands for heavy metal removal in highway stormwater ponds", *Ecological Engineering*, 80, 85-91.
- Munagapati, V.S., and Kim, D.S., (2016), "Adsorption of anionic azo dye Congo Red from aqueous solution by Cationic Modified Orange Peel Powder", *Journal of Molecular Liquids*, 220, 540-548.
- Park, J.B.K., Sukias, J.P.S., and Tanner, C.C., (2019), "Floating treatment wetlands supplemented with aeration and biofilm attachment surfaces for efficient domestic wastewater treatment", *Ecological Engineering*, 139, 105582.
- Rahmani, Z., and Gholami, M., (2013), "Determination of quality and quantity textile industry wastewater located in 21 area (zone) and comparison their effluent with environmental protection organization standards in 1389", *Iran Occupational Health*, 10(4), 25-32.
- Saharimoghaddam, N., Massoudinejad, M., and Ghaderpoori, M., (2019), "Removal of pollutants (COD, TSS, and  $\text{NO}_3^-$ ) from textile effluent using *Gambusia* fish and *Phragmites australis* in constructed wetlands", *Environmental Geochemistry and Health*, 41(3), 1433-1444.
- Shahid, M.J., Arslan, M., Ali, S., Siddique, M., and Afzal, M., (2018), "Floating wetlands: An innovative tool for wastewater treatment", *Clean Soil Air Water*, 46(10), 1800120.
- Singh, B., Guldhe, A., Rawat, I., and Bux, F., (2014), "Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 216-245.
- Tara, N., Arslan, M., Hussain, Z., Iqbal, M., Khan, Q.M., and Afzal, M., (2019), "On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented



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

### Study of the Impact of Aerobic Digestion on the Waste Sludge Dewaterability of SBR System of Yazd Wastewater Treatment Plant

Masoud Taheriyoun<sup>\*1</sup>, Behzad Aghababaei<sup>2</sup>, Sajjad Mohammadi Esfarjani<sup>2</sup>, Vahid Ghelman<sup>3</sup> and Akbar Salehi Vaziri<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

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

3- Senior Expert, Yazd Water and Wastewater Company, Yazd, Iran.

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

Received: 18/09/2021

Revised: 11/12/2021

Accepted: 30/12/2021

© IWWA

### بررسی اثر هضم هوازی لجن بر کیفیت آبگیری لجن مازاد سیستم SBR تصفیه‌خانه شهر یزد

مسعود طاهریون<sup>\*۱</sup>، بهزاد آقابابایی<sup>۲</sup>، سجاد محمدی اسفرجانی<sup>۲</sup>،

سید وحید غلمان<sup>۳</sup> و اکبر صالحی وزیری<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- کارشناس ارشد، شرکت آب و فاضلاب استان یزد، یزد، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

## Abstract

Sludge treatment and disposal processes in wastewater treatment plants account for a significant portion of the total treatment costs. One of the most expensive parts of sludge treatment is chemical conditioning. Study of the effect of process chain on the conditioning and dewaterability can effectively optimize and reduce operating costs and increase the quality of effluent sludge. This paper investigates the impact of aerobic digestion of waste sludge in Yazd wastewater treatment plant by SBR method on its dewaterability. For this purpose, the waste sludge sample of the plant was aerated in the laboratory at different residence times from 1.5 to 7 days. Then the dewaterability of the sludge was measured by two methods of Specific Resistance to Filtration (SRF) and Tests of Time of Filtration (TTF) in two cases with and without chemical conditioning with cationic polyacrylamide. The results showed that sludge aeration for up to 3 days without conditioning led to the best sludge dewaterability. The best results were obtained at 1.5 days aeration for the conditioning mode with polymer, which improved the dewaterability up to 4.5 times in the optimum polymer dosage. In this case, the polymer dosage decreased by 30% compared to the non-aerated conditioned sludge. It indicates the effect of digestion retention time on dewaterability. At the beginning of the process, the decomposition of cellular material improves the release of water from solid particles. Still, its continuation reduces the dewatering capability due to reduced particle size and conversion to colloidal materials.

**Keywords:** Aerobic digestion, Conditioning, Sludge dewatering, Specific resistance to filtration (SRF)

## چکیده

فرآیندهای تصفیه و دفع لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بخش زیادی از هزینه‌های کل تصفیه را شامل می‌شوند. یکی از بخش‌های پرهزینه تصفیه لجن، آمایش شیمیایی است. بررسی تأثیر زنجیره فرآیندی بر آمایش و قابلیت آبگیری در بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش کیفیت لجن خروجی می‌تواند مؤثر باشد. در این مقاله تأثیر هضم هوازی لجن مازاد تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد به روش SBR بر قابلیت آبگیری آن مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور نمونه لجن مازاد تصفیه‌خانه در آزمایشگاه در زمان‌های ماند مختلف از ۱/۵ تا ۷ روز هوادهی شد. سپس قابلیت آبگیری لجن به دو روش آزمایش مقاومت ویژه فیلتراسیون (SRF) و زمان فیلتراسیون (TTF) در دو حالت با و بدون آمایش شیمیایی با پلی آکریل آمید کاتیونی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد هوادهی لجن تا ۳ روز بدون آمایش بهترین قابلیت آبگیری لجن را ایجاد می‌کند. برای حالت آمایش با پلیمر بعد از هوادهی بهترین نتیجه تا زمان ۱/۵ روز به دست آمد که موجب شد در دوز بهینه قابلیت آبگیری لجن تا ۴/۵ برابر بهبود پیدا کند. در این حالت مقدار دوز پلیمر نسبت به حالت آمایش لجن هوادهی نشده کاهش ۳۰ درصد را نشان داد. این مسئله بیانگر اثر زمان ماند هضم بر کیفیت آبگیری است که در ابتدای فرآیند، تجزیه مواد سلولی موجب بهبود آزاد شدن آب از ذرات جامد شده ولی ادامه آن به دلیل کاهش اندازه ذرات و تبدیل به مواد کلوئیدی، قابلیت آبگیری را کاهش می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** هضم هوازی، آبگیری لجن، آمایش، مقاومت ویژه فیلتراسیون

هوازی شده است (Metcalf, 2014). در تحقیقی اثر پلی‌الکترولیت بر لجن هضم شده به‌روش بی‌هوازی نشان داد در روزهای اولیه هضم توانایی آبدگیری افزایش و مقدار دز مصرفی منعقدکننده را نیز افزایش می‌دهد (Bruus et al., 1993). در تحقیقی اثر فرآیند فنتون بر لجن هضم شده هوازی بررسی شد که نشان از بهبود ویژگی‌های آبدگیری از لجن نسبت به لجن اولیه شد (Barbusiński and Filipek, 2000). Jie Ni et al. (2019) در مطالعه‌ای بر روی لجن هضم شده، اثر پرسولفات و نانو ذرات صفر ظرفیتی آهن را بر میزان آبدگیری لجن بررسی کردند. نتایج، بهبود آبدگیری لجن با استفاده از این مواد را تا ۸۰ درصد نشان می‌دهد. Turovskiy (2001) نشان داد آبدگیری لجن با غلظت جامدات کم (تا ۱/۵ درصد) در روزهای ابتدایی هوادهی بهبود و از روز ۵ به بعد کاهش یافت که زمان بهینه برای آبدگیری روز سوم بود. برای لجن با غلظت بالای جامدات (۲ درصد و بیشتر)، آبدگیری با افزایش زمان هوادهی لجن کاهش می‌یافت. در پژوهش دیگر اثر پلی‌الکترولیت بر آبدگیری لجن فعال و لجن فعال هضم هوازی شده نشان از بهبود آبدگیری پس از هضم هوازی لجن نسبت به لجن اولیه داشت. در حالی که افزودن پلی‌الکترولیت به لجن هضم شده هوازی باعث کاهش آبدگیری آن شد (Cyzdik et al., 2020).

Zhang et al. (2016) اثر هوادهی لجن در زمان‌های کوتاه بر آبدگیری بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان آبدگیری لجن در زمان ۳ ساعت هوادهی بیشترین افزایش را دارد. در پژوهش حاضر تأثیر هضم هوازی لجن تصفیه‌خانه فاضلاب یزد به‌روش SBR بر قابلیت آبدگیری آن برای لجن هوادهی نشده و هوادهی شده در زمان‌های مختلف با و بدون پلیمر زنی و با استفاده از روش مقاومت ویژه فیلتراسیون و زمان فیلتراسیون بررسی می‌شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دستگاه جارتست برای انعقاد و لخته‌سازی، پمپ هوا برای هوادهی به لجن، پلی‌اکریل آمید کاتیونی (CPAM) ساخت شرکت ZETAG آلمان به‌عنوان پلی‌الکترولیت مورد استفاده در تصفیه‌خانه یزد (جدول ۱)، دستگاه کیف بوختر مطابق شکل ۱ برای تعیین پارامترهای SRF و TTF استفاده شد.

ابتدا ۵۰۰ میلی‌لیتر لجن را در بشر یک لیتری ریخته و محلول ۰/۰۵٪ از مواد آمایش‌دهنده پلی‌اکریل آمید کاتیونی ساخته می‌شود و به‌مقدار مشخص (براساس دوز در نظر گرفته شده) به بشر اضافه می‌شود. سپس بشر را در دستگاه جار تست قرار داده (براساس استاندارد ASTM D-2035) و محلول آمایش‌دهنده به

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌روش لجن فعال، تصفیه و دفع لجن یک بخش پرهزینه است که در حدود ۳۵ تا ۵۰ درصد کل هزینه‌های بهره‌برداری را به‌خود اختصاص می‌دهد (امانعلی‌خانی و همکاران، ۱۳۹۴). هدف استفاده از سیستم‌های تثبیت و هضم لجن جلوگیری از فساد پذیری لجن، کاهش بو و کاهش پاتوژن‌ها و تولید لجنی پایدار و بی‌خطر برای دفع است. طبق گزارش‌ها، حدود ۴۵ درصد از هضم لجن در آمریکا به روش هوازی صورت می‌گیرد (Woo, 2008). از جمله مزایای سیستم تثبیت هوازی آسان بودن بهره‌برداری، کاهش بیشتر مواد آلی موجود در لجن نسبت به سیستم‌های بی‌هوازی و پتانسیل کمتر برای تولید بو است (Turovskiy, 2006). فرآیند خودخوری میکروارگانیسم‌ها در هضم هوازی علاوه بر کاهش بار آلی و پاتوژن‌ها، جرم و حجم لجن را کاهش می‌دهد و نسبت به هضم بی‌هوازی اثربخشی بهتر در زمان کمتر دارد (Liu and Wu, 2020).

برای کاهش هزینه‌های راهبری تاسیسات تصفیه و دفع لجن لازم است حجم لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کاهش یابد. حدود ۹۵ تا ۹۹ درصد لجن حاصل از تصفیه فاضلاب از آب تشکیل شده است. معمولاً جداسازی آب از لجن به‌منظور تغلیظ یا آبدگیری آن به آسانی قابل انجام نیست. یکی از روش‌های کاهش حجم لجن استفاده از مواد منعقدکننده به‌منظور افزایش آبدگیری از لجن است (Turovskiy, 2006). هدف از آمایش لجن، افزایش آبدگیری لجن با صرف انرژی کمتر، کاهش هزینه‌های حمل و نقل و دفع لجن و کاهش خطرات محیط‌زیستی است. آمایش لجن سبب تجمع ذرات ریز پراکنده و کلوئیدی موجود در لجن و آزاد شدن آب پیوندی موجود میان آن‌ها می‌شود.

امروزه پلی‌الکترولیت‌ها در تصفیه آب و فاضلاب کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند (Wang et al., 2012). به‌دلیل مصرف مداوم این مواد آمایش شیمیایی یکی از بخش‌های پرهزینه تصفیه لجن در تصفیه‌خانه‌ها است. بررسی تأثیر زنجیره فرآیندی بر آمایش و قابلیت آبدگیری در بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش کیفیت لجن خروجی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. یکی از سوال‌های موجود در بحث تثبیت و آبدگیری لجن، اثر هاضم‌های هوازی بر میزان آبدگیری لجن فاضلاب شهری است. تحقیقات انجام شده اغلب نشان می‌دهد استفاده از هاضم‌های هوازی و بی‌هوازی باعث کاهش میزان آبدگیری از لجن می‌شود (Turovskiy, 2006). هم‌چنین برخی مراجع از بهبود خاصیت آبدگیری در هضم بی‌هوازی و کاهش خاصیت آبدگیری در هضم

نگه‌داشته می‌شود. پس از آن مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از لجن آمایش یافته را جدا کرده و برای تست SRF به دستگاه قیف بوخنر انتقال داده می‌شود.

آن اضافه می‌شود. با توجه به تفاوت ماهیت لجن و آب در آزمایش جارتست براساس Wang et al. (2018) برای اختلاط سریع دستگاه روی دور تند به مدت ۲۰ ثانیه در سرعت ۱۷۰ دور در دقیقه و برای اختلاط آرام، دور کند به مدت ۳ دقیقه در سرعت ۷۰

جدول ۱- مشخصات ماده منعقدکننده (پلی‌الکترولیت) استفاده شده در پژوهش

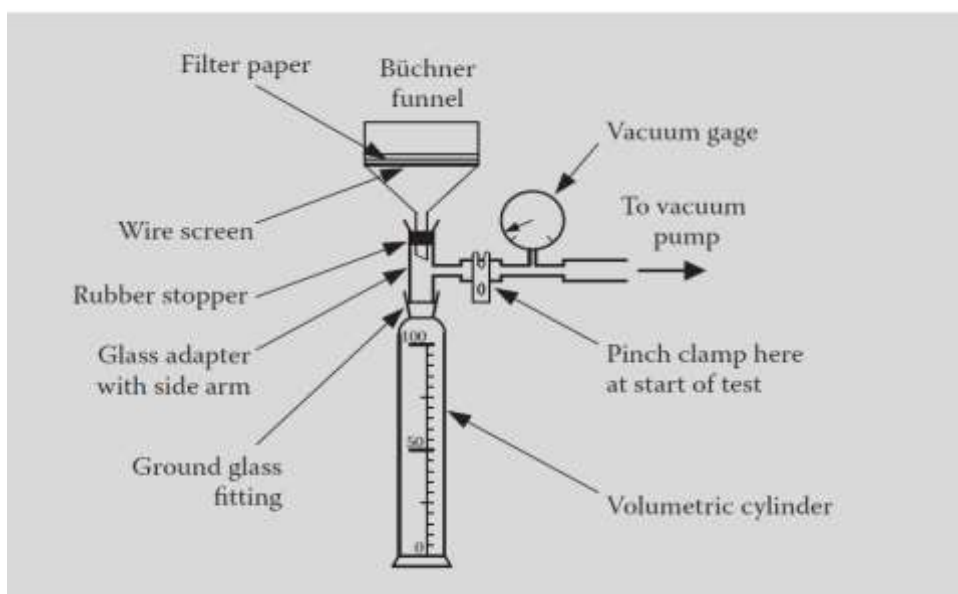
| نوع ماده                     | شرکت سازنده                  | فرمول شیمیایی                                       | وزن مولکولی (g/mol) |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|
| پلی‌اکریل‌آمیدکاتیونی (CPAM) | BASF (Germany)<br>Zetag 8167 | [CH <sub>2</sub> CHCONH <sub>2</sub> ] <sub>n</sub> | ۸ میلیون            |

## ۱-۲- آزمایش مقاومت ویژه در برابر فیلتراسیون

$$SRF = \frac{2 \times S \times P \times A^2}{\mu \times w} \quad (1)$$

که  $S$ : شیب نمودار،  $t/v$ : نسبت زمان به حجم آب جمع شده تا زمان  $t$  برحسب  $(s/m^6)$ ،  $p$ : فشار مکش برحسب  $(Pa)$ ،  $A$ : سطح مقطع قیف بوخنر  $(m^2)$ ، غلظت جامد خشک لجن  $(kg/m^3)$ ، لزجت مایع جمع شده در استوانه مدرج برحسب  $(N.S/m^2)$  است. نهایتاً  $SRF$  برحسب (ترا متر بر کیلوگرم)  $(Tm/kg)$  به دست می‌آید.

$SRF^1$  یا پارامتر مقاومت ویژه در برابر فیلتراسیون، یکی از پارامترهای مهم برای اندازه‌گیری قابلیت آبیگری از لجن است. دستگاه مورد استفاده برای آزمایش  $SRF$  دستگاه قیف بوخنر است که اجزای این دستگاه شامل: پمپ خلاء، فشار سنج، قیف بوخنر، سه راهی، شیر قطع و وصل جریان هوا، استوانه مدرج و کاغذ صافی (واتمن شماره ۴۰ یا ۴۳) است. نمایی از دستگاه آزمایش قیف بوخنر در شکل ۱ آورده شده است. فرمول کلی محاسبه  $SRF$  به صورت رابطه (۱) است (Turovskiy, 2006).



شکل ۱- دستگاه قیف بوخنر برای آزمایش  $SRF$  و  $TTF$

میلی‌لیتر می‌رسد. به عبارت دیگر  $TTF$  زمان لازم برای عبور نصف حجم لجن اولیه از کاغذ صافی است. در این پژوهش از ۱۰۰ میلی‌لیتر لجن برای به دست آوردن  $TTF$  استفاده شد (APHA et al., 2017). آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت.

## ۲-۲- آزمایش زمان برای فیلتراسیون

$TTF^2$  یا زمان برای فیلتراسیون نیز یکی از پارامترهای مفید در ارزیابی قابلیت آبیگری از لجن است.  $TTF$  زمان لازم برای فیلتر شدن ۱۰۰ (یا ۲۰۰) میلی‌لیتر لجن به وسیله دستگاه قیف بوخنر در فشار خلاء ۵۰ kPa است، وقتی حجم آب عبوری از کاغذ صافی (حجم آب جمع شده در استوانه مدرج) به ۵۰ (۱۰۰)

شده به مدت ۶ ماه انباشته می‌شود.

## ۲-۴- مراحل آزمایش

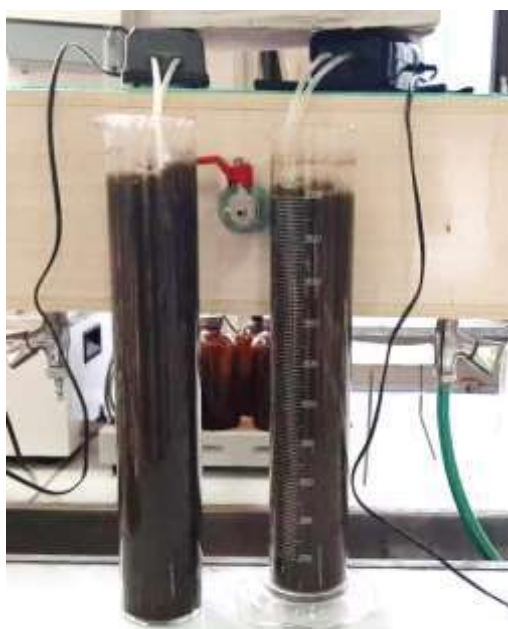
لجن مورد استفاده در این پژوهش از لجن ثانویه سیستم SBR تصفیه‌خانه یزد برداشت شد و بلافاصله برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه دانشکده عمران انتقال یافت. در آزمایشگاه، لجن مربوطه در دو استوانه مدرج هر کدام به حجم ۲ لیتر به‌وسیله پمپ هوا به‌صورت عمقی و پیوسته تا ۷ روز هوادهی شد (شکل ۲). آزمایش‌های SRF, TTF بر روی لجن خام و لجن هوادهی شده پس از زمان‌های ۱/۵، ۳ و ۷ روز در دو حالت با افزودن پلیمر و بدون پلیمر انجام گرفت. برای هر آزمایش سه تکرار انجام و میانگین آن گزارش شد. محدوده زمان هوادهی لجن با توجه به زمان ماند ۴ روز پیش‌بینی شده در طراحی سیستم برای هضم جزئی لجن در نظر گرفته شد. بنابراین به‌طور خلاصه مراحل آزمایش به شرح زیر است:

- ۱- تست SRF, TTF برای نمونه لجن خام و هوادهی شده در زمانهای مختلف تا ۷ روز؛
- ۲- آماده‌سازی محلول پلیمر و آزمایش SRF, TTF با دوزهای مختلف پلیمر برای لجن خام و هوادهی شده تا ۷ روز.

## ۲-۳- فرآیند تصفیه فاضلاب و لجن شهر یزد

سیستم تصفیه فاضلاب یزد از نوع راکتور ناپیوسته متوالی SBR است که برای تصفیه دبی روزانه فاضلاب ۳۱۹۵۰ مترمکعب بر روز طراحی شده است. فاضلاب ابتدا از آشغالگیری و دانه‌گیری عبور نموده و به داخل راکتور SBR تخلیه می‌شود. پس از پر شدن راکتور (Filling) عملیات تصفیه شروع می‌شود. پس از انجام عملیات اختلاط و هوادهی و آنوکسیک، مراحل تصفیه بیولوژیکی پایان یافته و عملیات ته‌نشینی شروع می‌شود و این وضعیت تا تخلیه کامل پساب رویی (Draining/Decanting) ادامه می‌یابد. لجن مازاد در هر تناوب کاری از سیستم تخلیه می‌شود.

لجن اضافی خروجی از سیستم SBR به بخش تغلیظ لجن به‌روش تغلیظ نواری ثقلی انتقال می‌یابد. قبل از آن پلیمر به لجن اضافه می‌شود. پس از آن هاضم‌هوازی به‌صورت هوادهی عمقی و با زمان ماند متوسط ۴ روز به‌منظور دستیابی به لجن نیمه هضم شده در نظر گرفته شده است. هوادهی به‌صورت عمقی با بلوئر هوا انجام می‌شود. لجن خروجی از هاضم با پلیمر کاتیونی مخلوط شده و به سیستم ترکیبی (combined) تغلیظ و آبیگری لجن به‌روش نواری ثقلی و نواری فشاری منتقل می‌شود. لجن آبیگری شده خروجی از سیستم بت پرس به مدت ۳ ماه به بسترهای لجن خشک کن منتقل می‌شود و نهایتاً در زمین مجاور لجن خشک



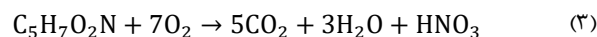
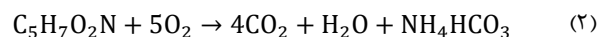
شکل ۲- هوادهی نمونه لجن توسط پمپ هوا در آزمایشگاه

## ۳- نتایج و بحث

(۲) است که در آن ماده سلولی به آب و دی اکسید کربن و آمونیوم تبدیل می‌شود. در صورت ادامه شرایط هوازی نیتریفیکاسیون نیز مطابق رابطه (۳) انجام شده و موجب تولید

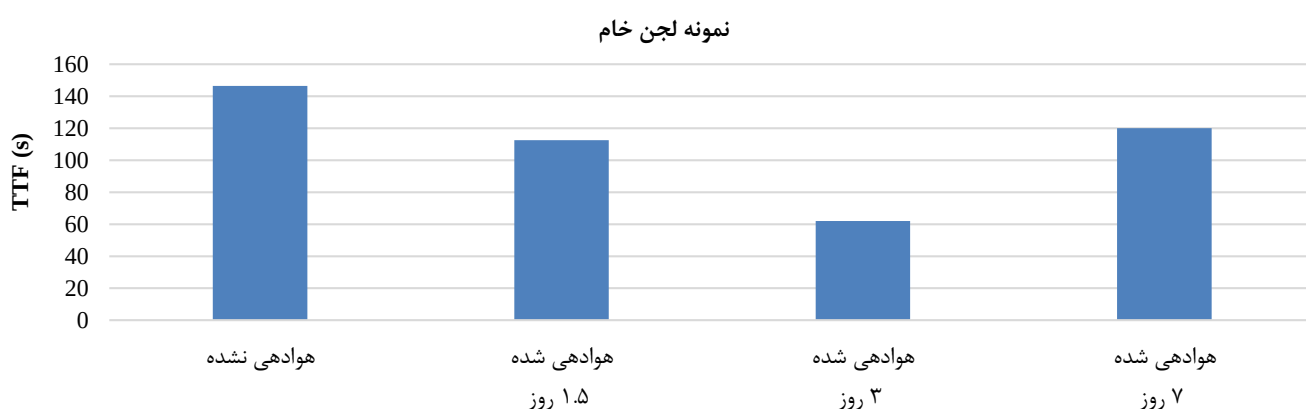
به‌طور کلی واکنش هضم لجن در شرایط هوازی به شرح معادله

نیتрат و کاهش pH می‌شود.

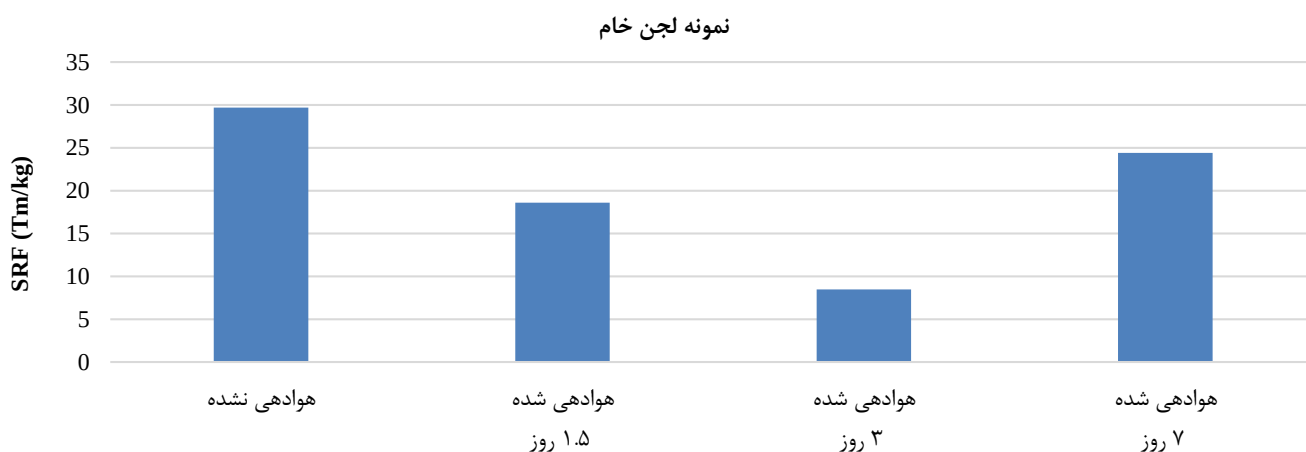


در شکل‌های ۳ و ۴ اثر زمان هوادهی بر مقادیر TTF و SRF برای لجن بدون آمایش نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد خواص آبگیری لجن پس از سه روز هوادهی بهبود می‌یابد و سپس برای نمونه با ۷ روز هوادهی مجدداً به وضعیت اولیه برمی‌گردد. این مطلب نشان‌دهنده آن است که زمان هوادهی لجن بر تغییر خواص آبگیری تأثیر دارد. کاهش مقاومت ویژه آبگیری تا زمان ۳

روز را می‌توان با توجه به معادلات (۲ و ۳) توضیح داد. با هضم لجن، تجزیه مواد آلی و توده سلولی انجام شده و تبدیل به آب و گاز و مواد معدنی می‌شود. در نتیجه علاوه بر افزایش آب، ساختار پیوندی آب و جامدات شکسته می‌شود و آب راحت‌تر از توده جامد جدا می‌شود. یکی از نتایج تجزیه مواد آلی در فرآیند هضم، یکنواخت شدن ساختار دانه‌های جامد لجن بوده است. ضمن این که در این فرآیند اندازه دانه‌های لجن کاهش یافته و میزان ذرات کلئیدی در لجن افزایش می‌یابد (Turovskiy, 2006). به همین دلیل انتظار می‌رود مقاومت ویژه لجن در ابتدای فرآیند هضم کاهش و سپس با افزایش درجه هیدراسیون و تولید ذرات کلئیدی افزایش یابد.



شکل ۳- اثر هوادهی بر پارامتر TTF برای نمونه لجن بدون آمایش



شکل ۴- اثر هوادهی بر پارامتر SRF برای نمونه لجن بدون آمایش

در مورد مقادیر جامدات معلق کل و فرار کاهش این مقادیر در اثر هوادهی و فرآیند هضم مشهود است به‌صورتی که نسبت جامدات فرار به کل از ۷۰٪ به ۶۳٪ پس از ۷ روز رخ داده است. به عبارت دیگر مقدار جامدات معلق فرار (VSS) در حدود ۳۴٪ (از mg/L ۴۵۶۴ به ۳۴۱۸) پس از ۷ روز کاهش یافته است

در جدول ۲ مقادیر پارامترهای کیفیت لجن مشاهده می‌شود. سطر اول مربوط به مشخصات لجن خام است. کاهش مقادیر هدایت الکتریکی در حدود ۵٪ در لجن هوادهی می‌تواند به دلیل مصرف مواد معدنی محلول در آب توسط فرآیند خودخوری باکتری‌ها باشد. مقدار pH کاهش بسیار کمی را نشان داده که می‌تواند به دلیل انجام بسیار کم نیتریفیکاسیون (معادله ۲) باشد.



جدول ۲- مقادیر پارامترهای کیفیت لجن نمونه‌ها

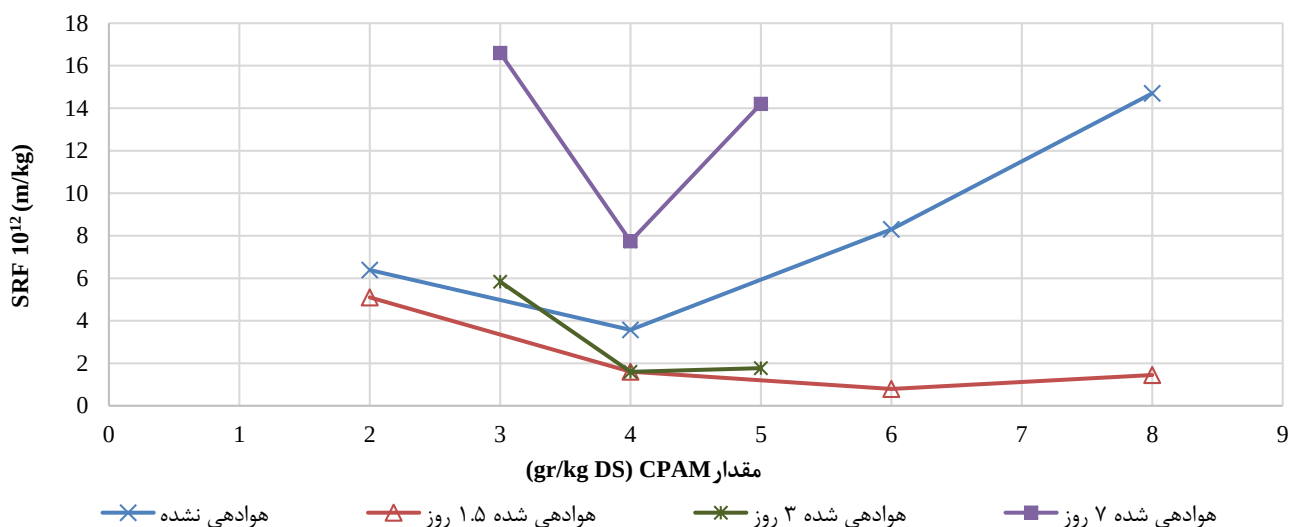
| VSS/TSS | VSS    | TSS    | EC                   | pH   | نوع نمونه             |
|---------|--------|--------|----------------------|------|-----------------------|
|         | (mg/L) | (mg/L) | ( $\mu\text{s/cm}$ ) |      |                       |
| 70%     | 4564   | 6520   | 1416                 | 7.04 | هوادهی نشده (لجن خام) |
| 67%     | 3803   | 5676   | 1348                 | 7.16 | هوادهی شده ۱/۵ روز    |
| 64%     | 3418   | 5341   | 1320                 | 7.03 | هوادهی شده ۳ روز      |
| 63%     | 3003   | 4767   | 1310                 | 6.8  | هوادهی شده ۷ روز      |

خواص آبیگری لجن آمایش یافته بعد از زمان هوادهی ۱/۵ روز است. به این ترتیب هوادهی لجن تا ۱/۵ روز موجب شده که در دوز بهینه قابلیت آبیگری لجن تا ۴/۵ برابر بهبود پیدا کند.

توجیه دلایلی این روند کاهشی و افزایش مقاومت ویژه لجن مشابه دلایلی است که در بخش لجن بدون آمایش ذکر شد. تنها تفاوت در تغییر زمان هوادهی بهینه است که برای لجن بدون آمایش ۳ روز و برای لجن با مصرف پلیمر ۱/۵ روز به دست آمد. البته باید توجه داشت که در هضم هوازی ۱/۵ روزه مقدار مصرف بهینه پلیمر بیشتر است، ولی در مجموع آبیگری بهتر انجام می‌شود.

نتایج آمایش لجن پس از آماده سازی محلول ۰/۵ g/L (۰/۰۵٪) پلیمر پلی‌اکریل آمید کاتیونی، دوزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ به دو نوع لجن هوادهی نشده و هوادهی شده تزریق شد و نتایج SRF و TTF آن مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود لجن هوادهی شده برای دو زمان ۱/۵ و ۳ روز خصوصیات آبیگری بهتری داشته به‌طوری‌که لجن هوادهی نشده در دوز ۴ g/kg مقدار SRF برابر ۳/۵۷ و لجن هوادهی شده تا ۱/۵ روز در دوز ۶ g/kg مقدار SRF ۰/۷۹ را نتیجه داده است. این مقادیر پس از زمان‌های ۳ و ۷ روز هوادهی به‌ترتیب به اعداد ۱/۶ و ۷/۷ افزایش یافته‌اند که نشان از کاهش



شکل ۵- مقایسه نتایج SRF لجن هوادهی شده و هوادهی نشده

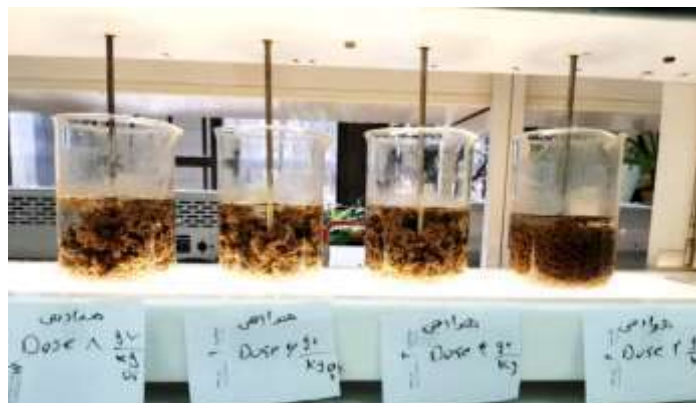
Sivamani et al. (2020) هر دو فرآیند هوازی و بی‌هوازی را عامل کاهش خواص آبیگری دانسته است. Christensen et al. (2015) نتایج مشابه این تحقیق را به دست آوردند. نتایج تحقیق Turovskiy (2001) در تأیید نتایج به دست آمده تحقیق حاضر نشان داد کمترین مقدار SRF برای لجن با غلظت‌های کم با ۳ روز هوادهی به دست آمده و پس از ۳ روز مقدار SRF افزایش یافت. میزان VSS کاهش تا ۳۰ درصد در زمان ماند ۵ روز به دست آمده بود.

شکل ۶ نتایج جارتست آمایش لجن هوادهی نشده و شکل ۷ لجن هوادهی شده بعد از ۱/۵ روز را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کیفیت لخته‌های تولید شده تأیید کننده نتایج به دست آمده است.

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در صورتی‌که که هضم هوازی توسط هوادهی مکانیکی انجام شود موجب شکسته شدن لخته‌ها و کاهش خواص آبیگری لجن می‌شود. به همین دلیل هضم هوازی عامل کاهش خواص آبیگری و هضم بی‌هوازی عامل بهبود آن دانسته می‌شود (Techobanoglous et al., 2014).



شکل ۶- آمایش لجن هوادهی نشده پس از اختلاط



شکل ۷- آمایش لجن هوادهی شده پس از اختلاط

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله تأثیر هضم هوازی لجن تصفیه‌خانه یزد بر قابلیت آبگیری آن مورد بررسی قرار گرفت و آزمایش مقاومت ویژه فیلتراسیون و زمان فیلتراسیون برای لجن هوادهی نشده و هوادهی شده بعد از زمان‌های ۱/۵، ۳ و ۷ روز در دو حالت با آمایش و بدون آمایش انجام شد. نتایج برای لجن بدون آمایش نشان داد که هوادهی لجن تا روز سوم موجب بهبود قابلیت آبگیری لجن و پس از آن باعث کاهش قابلیت آبگیری لجن می‌شود. دلیل این مسئله تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات جامد لجن در اثر فرآیند تجزیه مواد آلی و هیدراسیون است که این تغییر روند را نتیجه می‌دهد، به‌طوری‌که در ابتدای فرآیند، تجزیه مواد سلولی موجب بهبود آزاد شدن آب از ذرات جامد شده ولی ادامه آن موجب کاهش اندازه ذرات و تبدیل به مواد کلونیدی

می‌شود که قابلیت آبگیری را کاهش می‌دهد. این پدیده برای لجن آمایش شده نیز به‌شکل مشابه مشاهده شد. به این صورت که در مرحله دوم آزمایش‌ها به نمونه لجن هوادهی نشده و هوادهی شده در سه زمان مذکور پلیمر در دوزهای ۲ تا ۸ g/kg اضافه شد. نتایج نشان داد هوادهی لجن و سپس آمایش آن تا زمان ۱/۵ روز خصوصیات آبگیری بهتری به‌دست می‌دهد. به‌طوری‌که لجن هوادهی نشده در دوز ۴ g/kg مقدار SRF برابر ۳/۵۷ Tm/kg و لجن هوادهی شده تا ۱/۵ روز در دوز ۶ g/kg مقدار SRF ۰/۷۹ را نتیجه داده است. این مقادیر پس از زمان‌های ۳ و ۷ روز هوادهی به‌ترتیب به اعداد ۱/۶ و ۷/۷ افزایش یافته‌اند که نشان از کاهش خواص آبگیری لجن آمایش یافته بعد از زمان هوادهی ۱/۵ روز است. به این ترتیب هوادهی لجن تا ۱/۵ روز موجب شده که در دوز بهینه قابلیت آبگیری لجن تا ۴/۵ برابر بهبود پیدا کند. خلاصه نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج نهایی به‌دست آمده از آزمایش‌ها

| با آمایش |             |                  | بدون آمایش |             | نوع نمونه          |
|----------|-------------|------------------|------------|-------------|--------------------|
| TTF(s)   | SRF (Tm/kg) | دوز بهینه (g/kg) | TTF (s)    | SRF (Tm/kg) |                    |
| 20       | 3.57        | 4                | 147        | 29.1        | هوادهی نشده        |
| 17       | 0.79        | 6                | 113        | 18.6        | هوادهی شده ۱/۵ روز |
| 30       | 1.6         | 4                | 62         | 8.5         | هوادهی شده ۳ روز   |
| 72       | 7.7         | 4                | 120        | 21.4        | هوادهی شده ۷ روز   |

## ۵- سپاسگزاری

این مقاله در قالب بخشی از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی میزان تأثیر افزایش بار آلی ورودی بر میزان حجم لجن مازاد خروجی از سیستم تصفیه‌خانه SBR شهر یزد" به شماره ۹۷/۲۶/۹۸۳۹ تحت حمایت شرکت آب و فاضلاب استان یزد تهیه شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های مسئولین شرکت آب و فاضلاب و مدیریت تصفیه‌خانه یزد تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Specific Resistance to Filtration
- 2- Time to Filter

## ۷- مراجع

- امانعلی‌خانی، ش.، سلمانی ندوشن، م.، احرام پوش، م.، و مختاری، م. (۱۳۹۴)، "بررسی کارایی کمک منعقدکننده پلی آکريل امید اصلاح‌شده با نانو ذرات آلومنیوم اکسید در آگیری لجن تولیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد"، *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*, ۱(۴), ۵۳-۶۳.
- APHA, AWWA, and WEF, (2017), *Standard methods for the examination of wastewater*, America Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 23th Edition.
- Barbusiński, K., and Filipek, K., (2000), "Aerobic sludge digestion in the presence of chemical oxidizing agents part II. Fenton's reagent", *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(3), 145-149.
- Bruus, J.H., Christensen, J.R., and Rasmussen, H., (1993), "Anaerobic storage of activated sludge: effects on conditioning and dewatering performance", *Water Science and Technology*, 28(1), 109-116.
- Christensen, M.L., Keiding, K., Nielsen, P.H., and Jørgensen, M.K., (2015), "Dewatering in biological wastewater treatment: a review", *Water Research*, 82, 14-24.
- Cydzik-Kwiatkowska, A., Nosek, D., Wojnowska-Baryła, I., and Mikulski, A., (2020), "Efficient dewatering of polymer-rich aerobic granular sludge with cationic polymer containing hydrocarbons", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1), 361-370.
- Liu, C., and Wu, B., (2020), "Ultrasound enhanced zero-valent iron-activated peroxymonosulfate oxidation for improving dewaterability of aerobically digested sludge", *Chemical Engineering Journal*, 392, 124850.
- Ni, B.J., Yan, X., Sun, J., Chen, X., Peng, L., Wei, W., Wang, D., Mao, S., Dai, X., and Wang, Q., (2019),

"Persulfate and zero valent iron combined conditioning as a sustainable technique for enhancing dewaterability of aerobically digested sludge", *Chemosphere*, 232, 45-53.

Sivamani, S., Binnal, P., Cuento, A., Al-Shahri, A., Al-Mahri, M., Rafeet, M., Shamas, M., and Al-Awaid, A., (2020), "A comprehensive review of experimental studies on aerobic digestion of wastewater sludge", *Removal of Toxic Pollutants Through Microbiological and Tertiary Treatment*, Book Chapter, Science Direct Publication, 211-231.

Takdastan, A., Mehrdadi, N., Azimi, A.A., Torabian, A., and NABI, B.G.R., (2009), "Investigation of the excess sludge reduction in SBR by oxidizing some sludge by ozone", *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 28(4), 95-104.

Techobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D., (2014), *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, McGraw-Hill.

Turovskiy, I.S., and Mathai, P.K., (2006), *Wastewater sludge processing*, John Wiley and Sons.

Turovskiy, I.S., (2001), "Technological improvements for the aerobic digestion of sludge", *Water Engineering and Management*, Available on: [https:// files.wwdmag.com/s3fs-public/ Sludge Digestion8\\_01WEM.pdf](https://files.wwdmag.com/s3fs-public/Sludge_Digestion8_01WEM.pdf)

Wang, J., Chen, C., Gao, Q., Li, T., and Zhu, F., (2012), "Relationship between the characteristics of cationic polyacrylamide and sewage sludge dewatering performance in a full-scale plant", *Procedia Environmental Sciences*, 16, 409-417.

Wang, X.M., Wang, X., Yang, M.H., and Zhang, S.J., (2018), "Sludge conditioning performance of polyaluminum, polyferric, and titanium xerogel coagulants", *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 39(5), 2274-2282.

Woo, B., (2008), "Sludge stabilization sustainability of aerobic digestion processes", Research Document, USA, Available on: <https://www.semanticscholar.org/paper/Sludge-Stabilization-Sustainability-of-Aerobic-Woo/5c09f4f05e4654b30774556b1e4785bb5ff29803>.

Zhang, Z., Zhou, Y., Zhang, J., Xia, S., and Hermanowicz, S.W., (2016), "Effects of short-time aerobic digestion on extracellular polymeric substances and sludge features of waste activated sludge", *Chemical Engineering Journal*, 299, 177-183.

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

## Numerical Analysis of Land Subsidence due to Water Withdrawal from Pumping Well in Urban Areas

## تحلیل عددی نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه پمپاژ در نواحی شهری

Mojtaba Ansari Shad<sup>1</sup> and Majid Noorian-Bidgoli<sup>\*2</sup>

1- M.Sc. in Mining Engineering, Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran.  
2- Assistant Professor, Division of Mining Engineering, Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran.

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

مجتبی انصاری شاد<sup>۱</sup> و مجید نوریان بیدگلی<sup>\*۲</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.  
۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

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

Received: 26/09/2021  
Revised: 19/12/2021  
Accepted: 05/01/2022  
© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴  
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵  
© انجمن آب و فاضلاب ایران

### Abstract

### چکیده

Land subsidence is defined as equal to the vertical displacement of the ground over a specified time. Declining water table elevation is one of the main causes of subsidence that can cause irreparable damage to surface and subsurface structures, especially in urban areas. In this research, the magnitude of subsidence due to water withdrawal from the pumping well has been estimated, and the factors affecting it have been determined. For this purpose, by collecting data from two water wells located in Kashan city, the subsidence analysis was performed based on the finite element numerical method using PLAXIS2D software. The results show that the water pumping during one year causes a decrease in the water table elevation and, as a result, the land subsidence by a few centimeters, but under a constant flow rate of water withdrawal from the well, the magnitude of subsidence in the studied wells is heterogeneous. Also, increasing the water withdrawal flow rate from wells up to 700 m<sup>3</sup>/day and the depth of wells up to 500 meters has increased subsidence, but after that, the amount of subsidence remains constant. Therefore, it can be concluded that the flow rate and depth of water withdrawal from the well are effective on the land subsidence and must be managed.

نشست زمین برابر با مقدار جابه‌جایی قائم زمین در یک بازه زمانی مشخص است. افت سطح ایستابی در چاه‌های برداشت آب، یکی از عوامل وقوع نشست است که می‌تواند باعث خسارات جبران ناپذیری به سازه‌های سطحی و زیرسطحی به‌ویژه در مناطق شهری شود. در این تحقیق میزان نشست ناشی از برداشت آب از چاه پمپاژ و تعیین عوامل موثر بر آن تخمین زده می‌شود. به این منظور با جمع‌آوری اطلاعات دو چاه برداشت آب واقع در محدوده شهر کاشان، تحلیل نشست براساس روش عددی المان محدود و به کمک نرم‌افزار PLAXIS2D انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پمپاژ آب طی یک سال باعث افت سطح ایستابی و در نتیجه نشست زمین در حد چند سانتی‌متر شده، ولی تحت شدت جریان ثابت برداشت آب از چاه، مقدار نشست در چاه‌های مورد مطالعه ناهمگن و متفاوت است. همچنین افزایش شدت جریان برداشت آب از چاه تا ۷۰۰ مترمکعب در روز و افزایش عمق چاه برداشت تا ۵۰۰ متر باعث افزایش نشست شده، ولی بعد از آن مقدار نشست ثابت باقی می‌ماند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که شدت جریان و عمق برداشت آب از چاه، بر میزان نشست زمین موثر بوده و باید مدیریت شود.

**Keywords:** Finite element method (FEM), Ground water, Kashan city, Land subsidence, PLAXIS software.

**کلمات کلیدی:** نشست زمین، آب زیرزمینی، روش المان محدود، شهر کاشان، نرم‌افزار PLAXIS.



در سال‌های اخیر با توجه به کاهش نزولات جوی، افزایش درجه حرارت و در نتیجه کاهش جریان آب‌های سطحی، سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و خانگی محسوب می‌شود، لذا حفظ و صیانت از این منابع بسیار مهم و ضروری است. از طرفی گسترش شهرنشینی، رشد سریع جمعیت، صنعتی شدن جامعه و عدم مدیریت صحیح در بخش مصرف موجب شده در بسیاری از مناطق کشور به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی، منابع آب زیرزمینی با بحران و تهدید جدی مواجه شود. در این خصوص افزایش بهره‌برداری به‌دلیل برداشت بیش از حد آب از چاه‌های آب‌کشی (پمپاژ) بدون در نظر گرفتن توان آبی هر منطقه، باعث تهی شدن هرچه بیشتر سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه افت سطح تراز آب در منطقه می‌شود. از جمله پیامدهای افت سطح آب زیرزمینی، پدیده نشست زمین است که وقوع آن می‌تواند باعث خسارات زیادی به تأسیسات سطحی و زیرسطحی موجود در منطقه، از جمله تخریب لوله جدار چاه‌های برداشت آب شود (آل خمیس و همکاران، ۱۳۸۵).

نشست به‌عنوان یک پدیده مخرب زمین‌شناسی به فرورفتگی و تغییر شکل سطح زمین اطلاق می‌شود. راستای نشست در زمین قائم و به سمت پایین است که معمولاً بدون محدودیت در سرعت و بزرگی ایجاد می‌شود. در اکثر موارد وقوع نشست باعث فروریزش سطح زمین در مقیاس بزرگ می‌شود که عامل به‌وجود آمدن آن می‌تواند متفاوت باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در بین عوامل مؤثر در ایجاد نشست، برداشت منابع آب زیرزمینی و در نتیجه افت سطح ایستابی علاوه بر کاهش کمیت و کیفیت آب منطقه، باعث نشست زمین می‌شود (Barends et al., 1995).

گزارش‌های منتشر شده از مناطق مختلف ایران نظیر کرمان (رحمانیان، ۱۳۶۵)، دشت رفسنجان (عباس‌نژاد، ۱۳۷۷؛ Solaimani and Mortazavi, 2008)، دشت تهران (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴؛ توسلی و همکاران، ۱۳۹۸)، دشت مشهد (لشکری پور، ۱۳۸۴؛ انوری و نورالهی، ۱۳۸۶)، دشت نیشابور (لشکری پور، ۱۳۸۶)، دشت کاشمر (لشکری پور، ۱۳۸۷)، استان اصفهان (قیومی و همکاران، ۱۳۸۸؛ جاودانیان و احمدی دارانی، ۱۳۹۵)، دشت کاشان (مصلحی و قاضی فرد، ۱۳۸۹)، رستاق میبد (زارع مهرجردی، ۱۳۹۰)، دشت درمیان (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۰)، دشت علی آباد قم (مقدم فردویی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Rajabi, 2018)، دشت سیرجان (عباس‌نژاد و شاهی، ۱۳۹۲) و

مناطق مختلف جهان نظیر ایالات متحده آمریکا (Galloway et al., 2004; Leake, 1999; al., 1999)، سوژو چین (Chen et al., 2003)، راونای ایتالیا (Teatini et al., 2005)، بانکوک تایلند (Phien-Wej et al., 2006)، تایپه تایوان (Chen et al., 2007)، باندونگ اندونزی (Abidin et al., 2009)، قاهره مصر (Aly et al., 2009)، سمارانگ اندونزی (Pratikso et al., 2017) و کره (Lee et al., 2018) حاکی از رشد روز افزون این پدیده در سال‌های اخیر است. لذا پیش‌بینی و تخمین مقدار نشست زمین موضوعی با اهمیت و ضروری است. به‌منظور پیش‌بینی و تخمین نشست زمین، روش‌های متعددی مانند استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور (Ilia et al., 2018) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) وجود دارد که از برای تخمین نشست ناشی از برداشت آب در مناطقی از ایران نظیر دشت مشهد (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸؛ Motagh et al., 2007) و دشت رفسنجان (Rahnama, 2001; Mousavi et al., 2009) and Moafi, 2009) و سایر نقاط جهان نظیر اوجیا ژاپن (Sato et al., 2003)، پینگتانگ تایوان (Hu et al., 2005; Hou et al., 2006)، کلکته هند (Chatterjee et al., 2006) و دشت پو ایتالیا (Baldi et al., 2009) استفاده شده است. در این خصوص، امروزه مدل‌سازی به‌کمک روش‌های عددی به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین و سریع‌ترین روش‌های ارزیابی نشست محسوب می‌شود که با توجه به نوع منطقه و اطلاعات موجود می‌توان از آن‌ها بهره برد (Gambolati, 1975). به‌عنوان مثال از این روش‌ها در پیش‌بینی نشست در شهر لوس بانوس کالیفرنیا (Larson et al., 2001) و مکزیکو سیتی (Ortega-Guerrero et al., 1999) استفاده شده است. مطالعات نشان داده است که از بین روش‌های عددی، روش المان محدود (FEM) در مسائلی که دارای فیزیک، هندسه و شرایط مرزی پیچیده‌تری هستند، کارا تر هستند (Pacheco et al., 2006). لذا نرم‌افزارهایی مبتنی بر این روش، نظیر PLAXIS که شامل معادلات تحکیم مواد تحت فشار آب منفذی است، می‌تواند به‌خوبی در مدل‌سازی نشست زمین استفاده شود.

با توجه به این‌که برداشت آب از چاه‌های پمپاژ موجود در مناطق شهرها باعث کاهش سطح ایستابی می‌شود، معمولاً برآورد درستی از میزان برداشت مجاز آب از این چاه‌ها وجود ندارد. مسلماً با مدیریت میزان برداشت آب از این چاه‌ها می‌توان نشست زمین را بهتر کنترل نمود. بررسی‌های میدانی در سطح شهر کاشان نشان داده که نشست زمین در حوالی چاه‌های برداشت آب رخ داده است. به‌همین دلیل در این تحقیق سعی شده برای اولین بار به‌طور علمی میزان نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه‌های بهره‌بردار واقع در این منطقه، با هدف تعیین مقدار



حداکثر نشست زمین و بررسی تأثیر شدت جریان (دبی) برداشت آب بر روی نشست، بررسی شود. به این منظور، پس از جمع‌آوری اطلاعات میدانی و داده‌های ژئوتکنیکی منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی عددی نشست ناشی از برداشت آب از دو چاه بهره‌بردار موجود در منطقه به کمک نرم‌افزار المان محدود PLAXIS2D انجام شده است.

## ۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان کاشان واقع در شمال استان اصفهان، یکی از مناطق کویری و خشک در مرکز ایران است که طی سال‌های گذشته به دلیل خشکسالی و کاهش میزان بارندگی و از طرفی رشد

جمعیت و صنعتی شدن باعث افزایش استفاده از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه افت زیاد و سریع سطح تراز آب منطقه شده است. لذا بررسی نشست زمین ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی از طریق پمپاژ آب چاه‌ها به ویژه در نواحی شهری از موضوعات مهم و راهبردی در مبحث برنامه‌ریزی شهری، مدیریت بحران و توسعه پایدار این منطقه است. بررسی‌های میدانی در منطقه نشان داده که در محدوده چاه‌های پمپاژ آب در نواحی شهری (شکل ۱-الف) و خارج شهری (شکل ۱-ب) نشست سطح زمین به اندازه چند سانتی‌متر رخ داده است. با این وجود متأسفانه توجه زیادی به این مسأله مهم نشده و اقدامی نیز به‌منظور تعیین، جلوگیری و یا کند کردن سرعت این پدیده صورت نگرفته است. موضوعی که انگیزه و هدف اصلی انجام این تحقیق بوده است.



(ب)



(الف)

شکل ۱- وضعیت نشست زمین در محدوده چاه‌های پمپاژ آب واقع در کاشان

دانشگاه آزاد و اداره راه و شهرسازی شهرستان کاشان جمع‌آوری شده است. به‌طور کلی از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه رسوبی است. البته رسوبات تشکیل‌دهنده به دلیل وضعیت پالئوژئوگرافی منطقه یکنواخت نبوده و به‌صورت تناوبی از رسوبات عدسی شکل ریزدانه بین رسوبات درشت‌دانه یا مخلوط رسوبات شن و ماسه به‌همراه مقادیر متفاوتی از رس ریزدانه هستند. در عمق زمین نیز رسوبات آبرفتی غالباً رسوبات مارنی-رسی و تبخیری دوره میوسن و گاهی کنگلومرای پلیوسن است.

## ۳- مدل‌سازی عددی نشست زمین

معمولاً تخلیه هر نوع سیال (آب، نفت، گاز) از عمق زمین، به‌ویژه در مناطق سست، باعث ایجاد جابجایی لایه‌های زمین شده و می‌تواند به‌صورت نشست در زمین ظاهر شود. در برداشت آب به کمک چاه، مقدار و سطح تأثیر نشست به‌میزان دبی برداشت،

لازم به ذکر است با توجه به بافت قدیمی و تاریخی شهر کاشان تحلیل نشست اهمیت بسیار زیادی دارد چون می‌تواند باعث خسارات جبران ناپذیری مانند تخریب خانه‌های قدیمی و تاریخی، تخریب تأسیسات زیرزمینی شهری، از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی و راه‌های ارتباط شهری و ... شود. به این منظور برای تخمین نشست زمین، دو چاه پمپاژ آب واقع در محدوده شهری کاشان انتخاب شده است. مطابق شکل ۲، این دو چاه در فاصله حدوداً دو کیلومتری از همدیگر، یکی در میدان پلیس (چاه شماره یک) و دیگری در میدان آب (چاه شماره دو) شهر کاشان واقع شده است. قطر دهانه هر دو چاه ۲۴ اینچ و عمق آن در چاه شماره یک و دو به ترتیب برابر با ۱۸۰ و ۱۵۰ متر است. هم‌چنین تراز سطح ایستابی در زمان انجام این مطالعه (سال ۱۳۹۸) در این دو چاه به ترتیب ۹۶ و ۹۰ متر پایین‌تر از سطح زمین بوده است. مشخصات این دو چاه و اطلاعات ژئوتکنیکی دو چاه مذکور از گزارش‌های موجود در مدیریت منابع آب و آزمایشگاه‌های خاک

فشار آب حفره‌ای ایجاد شده، تغییر شکل‌های را در نقاط مختلف محاسبه نماید. لذا برای افزایش دقت در محاسبات، در ساخت مدل از المان‌های مثلثی ۱۵ گره‌ای استفاده شده است. همچنین به منظور مدل‌سازی چاه آب‌کشی از مقطع دو بعدی و حالت کرنش صفحه‌ای استفاده شده است. در این حالت محدوده اطراف چاه، یک محیط پیوسته، همگن و همسان فرض شده است.

عمق چاه و جنس مواد بستگی دارد. لذا باید قبل از استخراج سیال، تأثیر برداشت سیال از چاه پیش‌بینی شود. در این تحقیق با مدل‌سازی نحوه برداشت آب از چاه در مقیاس محلی، مقدار نشست زمین تعیین می‌شود. بدین منظور از نرم‌افزار PLAXIS برای تحلیل تنش-جابجایی زمین استفاده شده است. نرم‌افزار مذکور قادر است برای هر المان مدل، با توجه به نیروهای وارده و



شکل ۲- موقعیت مکانی دو چاه بهره‌بردار آب در شهر کاشان

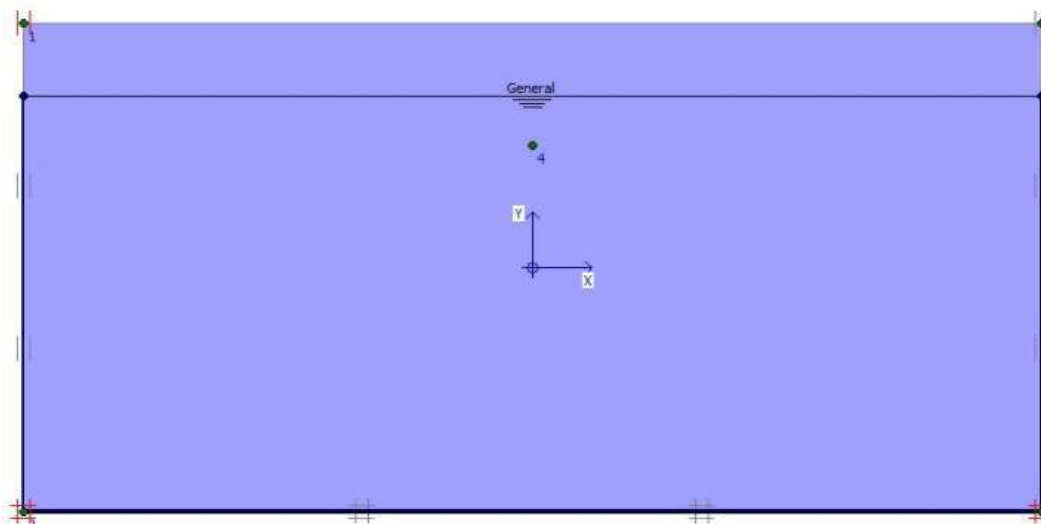
همچنین مرز بالایی مدل به عنوان سطح زمین، کاملاً آزاد در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به موقعیت قرارگیری چاه‌های مذکور در منطقه، به دلیل این که توپوگرافی سطح زمین در دهانه هر دو چاه مسطح بوده، لذا تنش‌های برجای افقی موجود در منطقه نسبت به تنش‌های قائم ناچیز است. بنابراین برای تعیین شرایط اولیه مدل، تنش‌های اولیه اعمال شده به مدل، معادل با نیروی ثقل ناشی از وزن طبقات در نظر گرفته شده است.

در جدول ۱ مقادیر پارامترهای مکانیکی خاک در برگیرنده دو چاه که در مدل‌سازی استفاده شده، مشخص شده است. با توجه به وضعیت زمین شناسی و اطلاعات موجود از لایه‌های زمین در منطقه مورد مطالعه، معیار شکست موهر-کلمب برای مدل رفتاری خاک در مدل‌سازی انتخاب شده است. بر این اساس، پارامترهای مورد نیاز در مدل شامل پارامترهای اصلی مقاومتی و

برای انتخاب بهترین ابعاد محدوده مدل، از تحلیل حساسیت استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا پنج محدوده با طول‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ متر برای ابعاد مدل انتخاب شده و محاسبات نشست در آن‌ها انجام شده است. نتایج تحلیل نشان داد که تقریباً در هر دو چاه افزایش طول مدل از ۵۰۰ متر به بالا، تأثیری در میزان نشست ندارد، لذا در کلیه مدل‌های ساخته شده، طول محدوده مدل برابر با ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. در شکل ۳، هندسه مدل ساخته شده نشان داده شده است. مطابق این شکل، به منظور اعمال شرایط مرزی به مدل، مرزهای قائم مدل (دو دیواره سمت راست و چپ) دارای محدودیت تغییر مکان در راستای افق (درجه آزادی فقط در جهت قائم) و مرز پایینی ثابت و با تکیه‌گاه‌هایی بدون درجه آزادی در نظر گرفته شده است تا از تغییر مکان‌های غیرواقعی جلوگیری شود.

همچنین به منظور بررسی حالت بحرانی نشست زمین، خاک به صورت اشباع در نظر گرفته شده است.

تغییر شکل پذیری خاک یعنی؛ متوسط وزن مخصوص در حالت خشک ( $\gamma_{dry}$ ) و اشباع ( $\gamma_{sat}$ )، مدول الاستیسیته ( $E$ )، چسبندگی ( $C$ )، زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) و نسبت پواسون ( $\nu$ ) است.



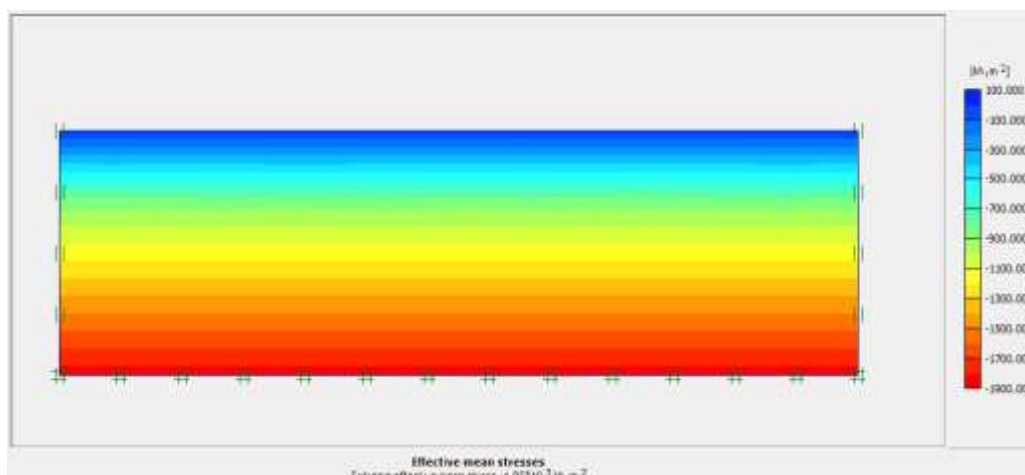
شکل ۳- هندسه و شرایط مرزی مدل عددی ساخته شده

جدول ۱- پارامترهای مکانیکی خاک مورد استفاده در مدل سازی (انصاری شاد، ۱۳۹۵)

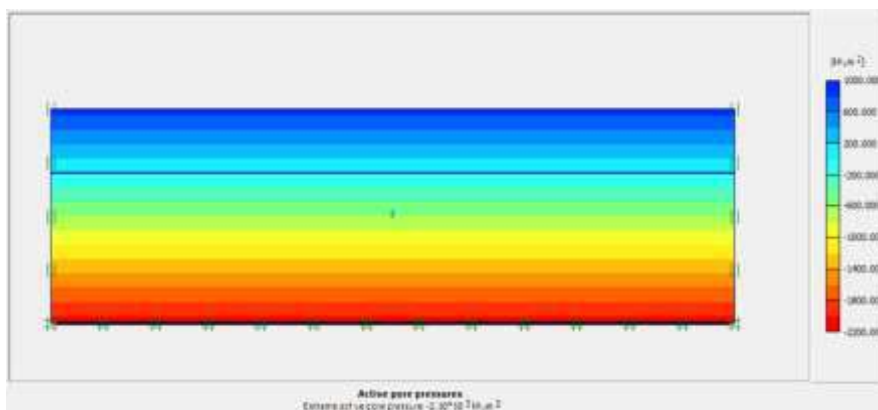
| پارامتر     | $\gamma_{dry}$<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma_{sat}$<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | $E$<br>(KN/m <sup>2</sup> ) | $C$<br>(KN/m <sup>2</sup> ) | $\phi$<br>(°) | $\nu$ |
|-------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|-------|
| چاه شماره ۱ | 16.5                                   | 18.8                                   | $5.25 \times 10^4$          | 12.1                        | 31.2          | 0.375 |
| چاه شماره ۲ | 15.2                                   | 17.3                                   | $1.93 \times 10^4$          | 32.7                        | 32.9          | 0.375 |

به دلیل عدم فعال بودن چاه، ثابت و یکنواخت باقی مانده و تقریباً جریانی به وجود نمی آید. به عنوان مثال، شکل های ۴ و ۵ به ترتیب وضعیت توزیع تنش مؤثر استاتیکی و فشار آب حفره ای طی تحلیل تنش-جابجایی چاه شماره یک را در این مرحله، که در واقع حالت به تعادل رسیدن مدل است را نشان می دهد.

با ساخت هندسه مدل، اعمال شرایط اولیه و مرزی به مدل و تعیین پارامترهای مکانیکی مواد تشکیل دهنده مدل، تحلیل نشست در دو مرحله انجام شده است. به این منظور در مرحله اول، چاه پمپاژ در مدل غیرفعال شده تا به مدل اجازه تغییر شکل تحت تنش استاتیکی ناشی از وزن روباره داده شود و همچنین فشار آب حفره ای اولیه ایجاد شود. در این حالت سطح آزاد آب (ایستایی)،



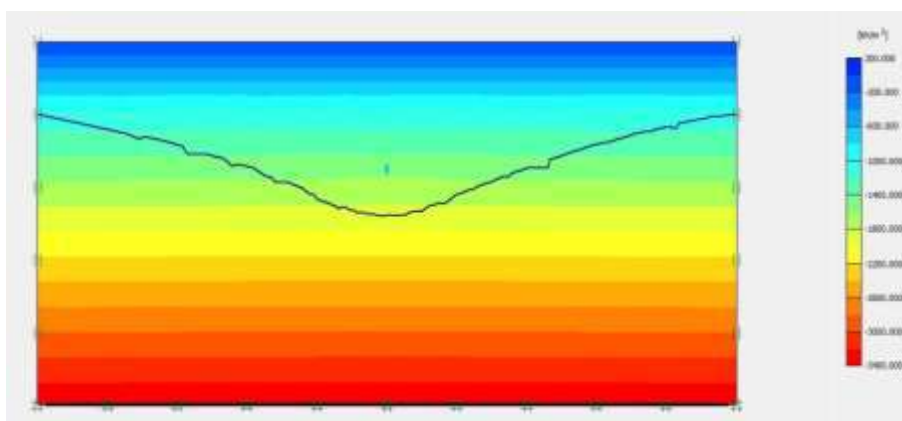
شکل ۴- توزیع تنش مؤثر استاتیکی اولیه مدل در چاه شماره یک



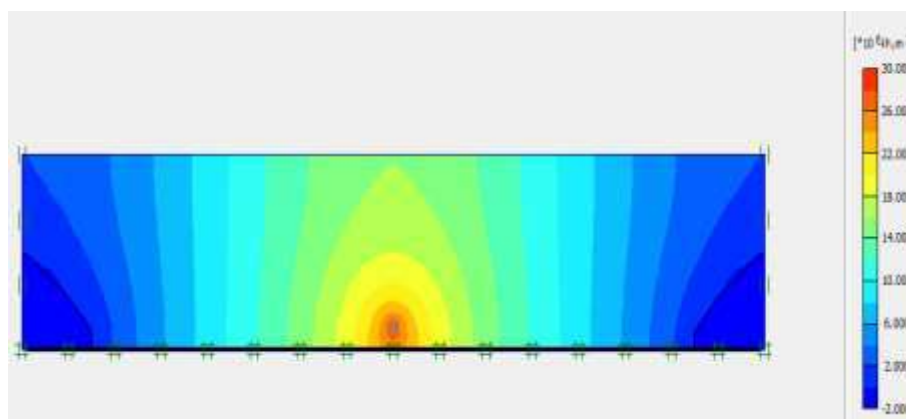
شکل ۵- توزیع فشار آب حفره‌ای اولیه مدل در چاه شماره یک

تحقیق کلیه تحلیل‌های نشست برای یک سال (سال ۱۳۹۸) طی ۳۶۵ روز انجام شده است. بنابراین بعد از اتمام این مدت نشست ناشی از پمپاژ آب در هر مدل به‌دست آمده است. لازم به ذکر است که به‌منظور مدل‌سازی چاه پمپاژ در نرم‌افزار می‌توان از دو نوع چاه در حالت تخلیه و تغذیه استفاده نمود. در این تحقیق از حالت تخلیه آب از محیط برای تعریف چاه در مدل استفاده شده است. در این حالت می‌توان میزان شدت جریان آب پمپاژ شده از چاه را در هر مرحله تعیین و تحلیل نشست را انجام داد.

پس از به تعادل رسیدن مدل، در مرحله دوم، چاه در مدل فعال شده تا تأثیر تخلیه آب از محیط بر روی رفتار خاک اعمال شود. در این مرحله که چاه فعال می‌شود و در واقع پمپاژ آب از چاه صورت می‌گیرد، لذا سطح آزاد آب اولیه دچار افت می‌شود. به‌عنوان مثال شکل‌های ۶ و ۷ نیز به‌ترتیب نشان‌دهنده نحوه توزیع تنش مؤثر استاتیکی و فشار آب حفره‌ای مدل بعد از فعال شدن چاه و پمپاژ آب چاه از شماره یک است. همان‌طور که در شکل مشخص است در این حالت سطح ایستابی طی اجرای مدل تغییر می‌کند. از آن‌جا که نشست زمین تابع زمان است، در این



شکل ۶- توزیع تنش مؤثر استاتیکی مدل بعد از پمپاژ چاه شماره یک

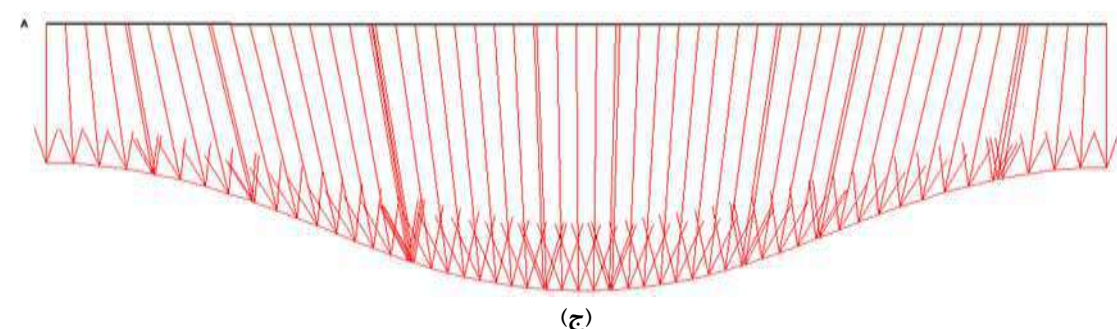
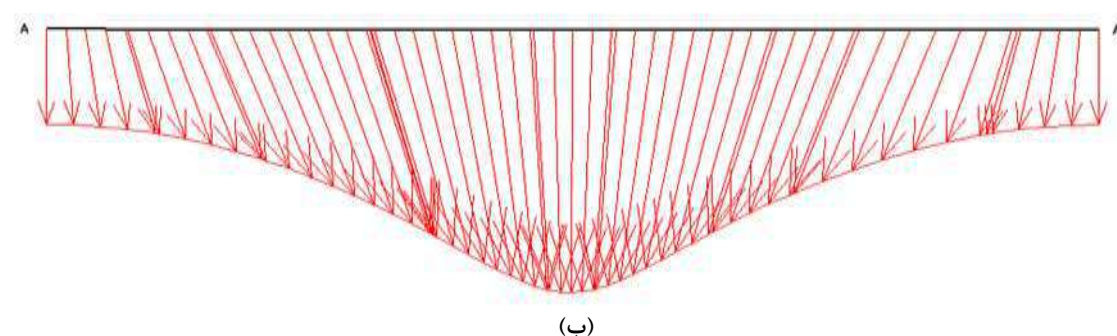
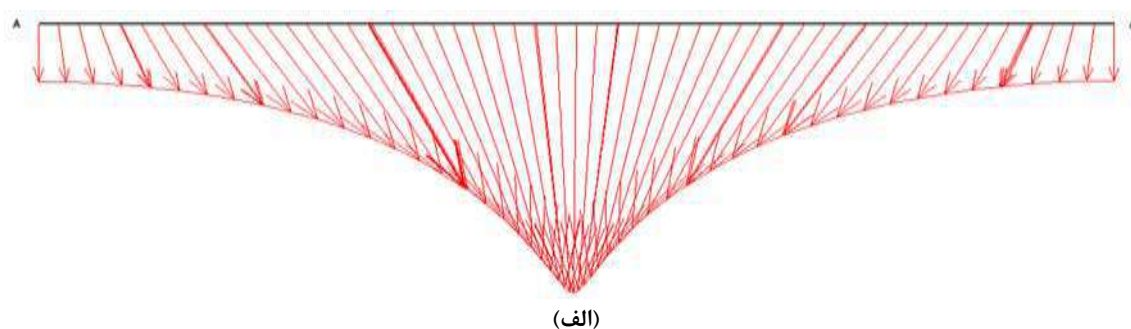


شکل ۷- توزیع فشار آب حفره‌ای مدل بعد از پمپاژ چاه شماره یک



نقطه متمرکز نمی‌شود، لذا در این حالت مقدار متوسط نشست در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با افزایش شدت جریان برداشت آب از چاه، نوع نشست از حالت بحرانی (حداکثر نشست در یک نقطه) به حالت فوق بحرانی (حداکثر نشست در یک سطح) تبدیل می‌شود. لازم به ذکر است در واقعیت دبی برداشت آب از چاه‌های شماره ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۵۶۰ و ۴۷۵ مترمکعب در روز است. لذا به منظور تحلیل حساسیت نشست نسبت به شدت جریان برداشت آب از چاه پمپاژ، تحلیل نشست با مقادیر شدت جریان کمتر و بیشتر از مقادیر مذکور انجام شده است.

در پایان اجرای مدل، میزان نشست را می‌توان معادل با مقدار جابه‌جایی‌ها در راستای قائم تعیین نمود. بدین منظور مقدار تغییر شکل‌های مذکور که معادل نشست زمین است را می‌توان به صورت بردارهای جابجایی (شکل ۸) یا به صورت مقادیر عددی به دست آورد. در شکل‌های ۸ بردارهای جابه‌جایی قائم یا پروفیل نشست ایجاد شده در چاه شماره یک با دبی‌های برداشت ۱۰۰ (شکل ۷-الف)، ۴۰۰ (شکل ۷-ب) و ۷۰۰ (شکل ۷-ج) مترمکعب در روز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش دبی برداشت، در هر دو چاه نقاط بیشتری به حداکثر نشست می‌رسند و حداکثر نشست موجود تنها در یک



شکل ۸- بردارهای جابه‌جایی و منحنی نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه شماره ۱ تحت شدت جریان: (الف) ۱۰۰؛ (ب) ۴۰۰؛ (ج) ۷۰۰ مترمکعب در روز

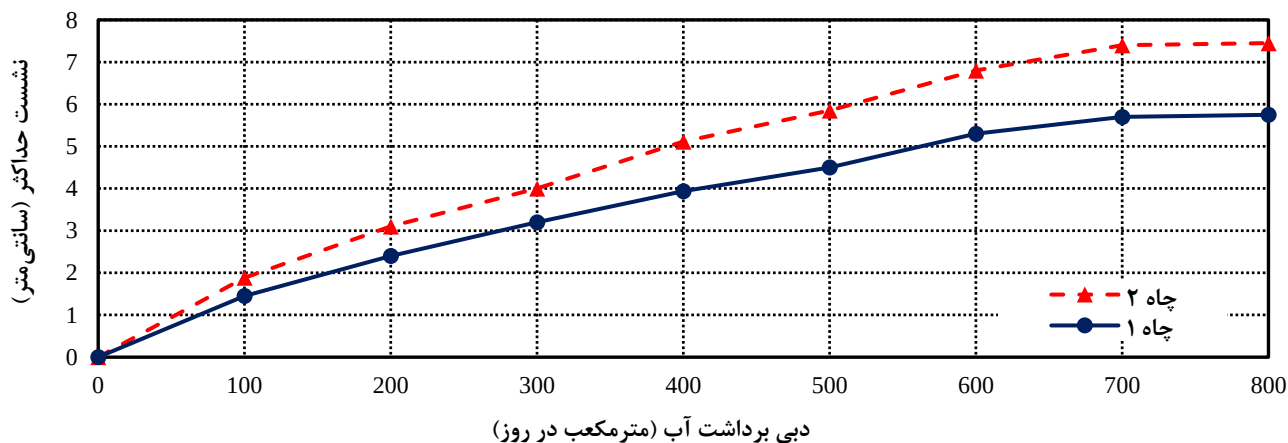
حداکثر مقدار نشست چند سانتی‌متر است. همچنین مقدار نشست در چاه شماره ۲ کمی بیشتر از چاه شماره ۱ است. نمودار نشان می‌دهد که افزایش شدت جریان تا تقریباً ۷۰۰ مترمکعب

شکل ۹ نمودار تغییرات حداکثر نشست زمین به دست آمده در شدت جریان‌های مختلف برداشت را در هر دو چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این حالت بسته به میزان شدت جریان برداشت،



بیشتر از مقدار ثابت (۷۰۰ مترمکعب در روز)، تنها منجر به افزایش تنش بین دانه‌ها شده و با توجه به سرعت بالای آب در شدت جریان‌های بالاتر، افزایش دبی برداشت از ۷۰۰ مترمکعب به بالا تأثیری بر نشست نخواهد داشت.

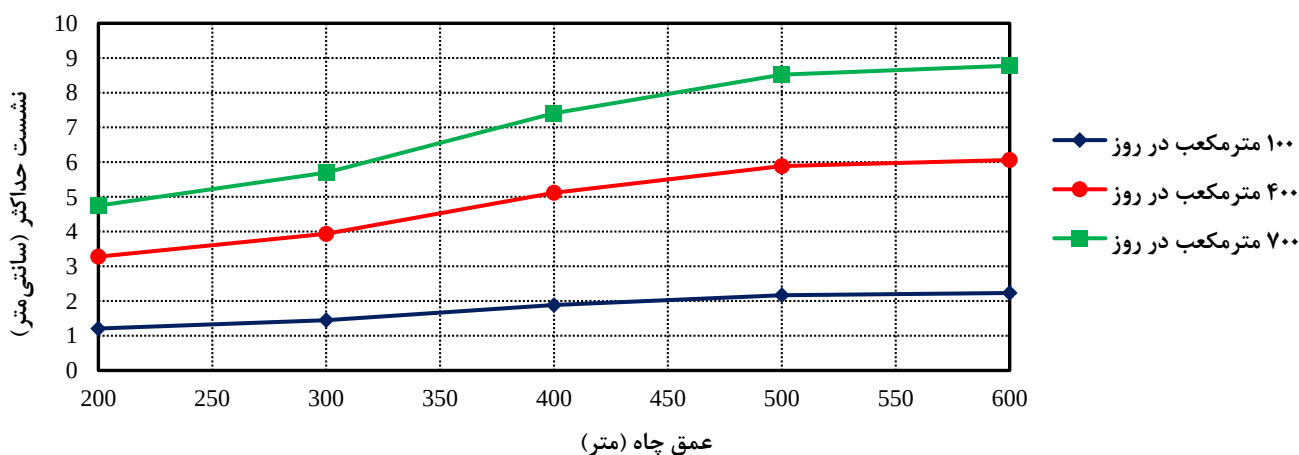
در روز باعث افزایش نشست شده و بعد از آن تقریباً مقدار نشست ثابت می‌شود. در این حالت افزایش شدت جریان برداشت از چاه، منجر به تخلیه بیشتر آب در مدت زمان برابر شده و در نتیجه باعث افزایش نشست سطح زمین می‌شود. ولی به دلیل ثابت بودن اندازه و تعداد حفره‌های موجود در خاک، با افزایش شدت جریان



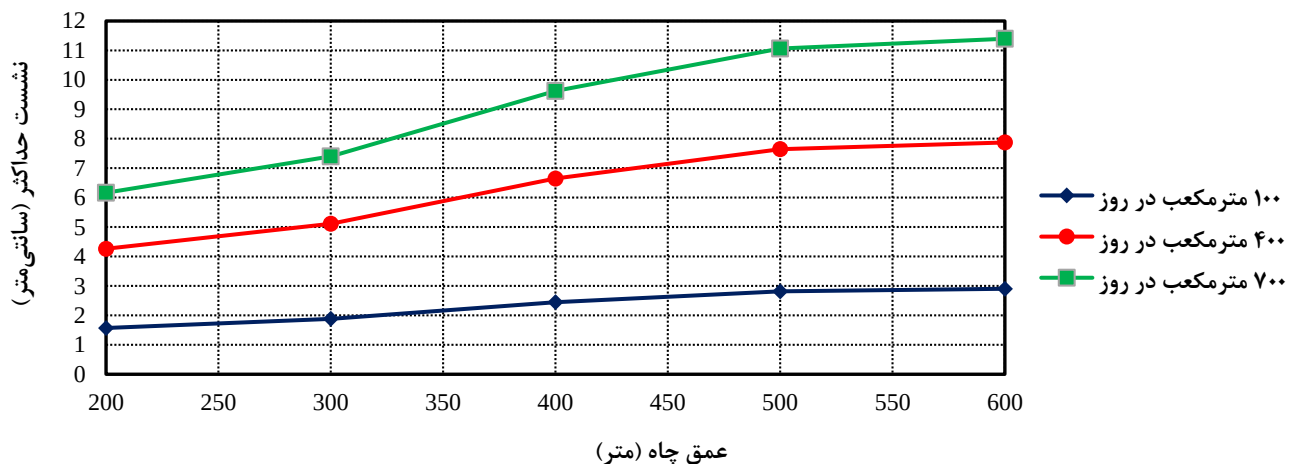
شکل ۹- تغییرات حداکثر نشست زمین نسبت به شدت جریان برداشت آب از چاه‌های برداشت

این است که با افزایش عمق، حجم توده خاک و به طبع آن حجم آب موجود در این توده نیز افزایش می‌یابد. با توجه به این که چاه از این حجم آب برای تخلیه استفاده می‌کند، در صورت بالا بودن مقدار آب در خاک، قابلیت برداشت بیشتر وجود داشته و منجر به نشست بیشتر سطح زمین می‌شود. ولی با افزایش عمق و در نتیجه میزان بارسنگ میزان جابجایی‌ها به حدی است که دیگر نشست بیشتر از یک حد مشخصی افزایش نمی‌یابد و ثابت می‌ماند. در واقع با افزایش عمق چاه، فشار آب حفره‌ای مثبت (مکشی) بیشتر شده و تأثیر عمق چاه بهتر و کامل‌تر در مدل مشخص می‌شود. افزایش فشار آب حفره‌ای مثبت باعث ایجاد نیروی کششی بیشتر و به طبع آن نشست بیشتر زمین در مدل می‌شود.

در ادامه نیز به منظور تأثیر عمق چاه پمپاژ در میزان نشست، تحلیل حساسیت نشست انجام شده است. بدین منظور با ساخت مدل‌های متعدد، میزان نشست در عمق‌های مختلف چاه (از عمق ۲۰۰ متر تا ۶۰۰ متر، به فواصل ۱۰۰ متری) و تحت دبی‌های پمپاژ آب مختلف (۴۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ مترمکعب در روز) در دو چاه مورد مطالعه تعیین شده است. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات نشست حداکثر نسبت به عمق چاه در چاه‌های شماره ۱ و ۲ است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، ضمن این که با افزایش دبی پمپاژ میزان نشست زمین بیشتر می‌شود، در هر دو چاه، افزایش عمق چاه تا ۵۰۰ متر باعث افزایش مقدار نشست و بعد از آن تقریباً ثابت می‌شود. علت آن



شکل ۱۰- تغییرات حداکثر نشست زمین نسبت به عمق چاه تحت دبی‌های مختلف برداشت آب در چاه شماره ۱



شکل ۱۱- تغییرات حداکثر نشست زمین نسبت به عمق چاه تحت دبی‌های مختلف برداشت آب در چاه شماره ۲

#### ۴- نتیجه‌گیری

می‌شود مکش ایجاد شده ضمن پمپاژ آب بیشتر شده و در نتیجه نشست بیشتری رخ دهد. لذا به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نشست زمین به دلیل افت سطح ایستابی کمیته ناهمگن است که مقدار آن به میزان دبی یا شدت جریان برداشت آب، عمق چاه برداشت آب و جنس مواد دربرگیرنده چاه بستگی دارد. در این تحقیق به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات ژئوتکنیکی کامل منطقه، جنس مواد دربرگیرنده در طول چاه یکسان فرض شده است، لذا انجام آزمایش‌های برجا و نمونه‌گیری در عمق‌های مختلف زمین به منظور تعیین دقیق‌تر پارامترهای ژئوتکنیکی لایه‌های زمین و میزان نشست زمین پیشنهاد می‌شود.

#### ۵- مراجع

- اکبری، م.، جرگه، م.ر.، و مدنی سادات، ح.، (۱۳۸۸)، "بررسی افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۶(۴)، ۶۳-۷۸.
- آل خمیس، ر.، کریمی نسب، س.، و آریانا، ف.، (۱۳۸۵)، "بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار"، نشریه آب و فاضلاب، ۱۷(۴)، ۷۷-۸۸.
- انصاری شاد، م.، (۱۳۹۵)، "گزارش آزمایشگاه مکانیک خاک کاشان"، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان.
- انواری، م.ع.، و نوراللهیان، ح.، (۱۳۸۶)، "نگرشی نو به فرونشست دشت مشهد"، همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.
- رحمانیان، د.، (۱۳۶۵)، "نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آب‌های زیرزمینی در کرمان"، نشریه آب، ۶(۲)، ۲۸-۳۵.

تحلیل نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه‌های پمپاژ و تعیین عوامل موثر بر آن هدف اصلی انجام این تحقیق بود. به این منظور از اطلاعات دو چاه پمپاژ آب واقع در شهر کاشان استفاده شد و با مدل‌سازی عددی به کمک نرم‌افزار PLAXIS2D، میزان نشست زمین ناشی از برداشت آب از چاه‌های مذکور طی مدت زمان یک سال به دست آمده است. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش شدت جریان برداشت آب از چاه، با افت سطح ایستابی میزان نشست زمین بیشتر می‌شود. لذا به منظور کنترل و کاهش نشست زمین باید میزان برداشت آب از چاه‌های بهره‌بردار در حد مجاز انجام گیرد. در این حالت نشست به صورت جابجایی قائم گودی شکل در مرکز چاه حداکثر بوده و به سمت بیرون گسترش می‌یابد. از آن‌جا که حداکثر میزان نشست زمین که در حد چند سانتی‌متر بوده در مرکز چاه اتفاق افتاده، لذا پایداری و نگهداری دهانه و دیواره چاه برداشت پیشنهاد می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که از شدت جریان برداشت ۷۰۰ مترمکعب در روز به بعد مقدار نشست افزایش نیافته و ثابت باقی می‌ماند که نشان از حداکثر میزان جابجایی زمین است. تحلیل حساسیت نیز نشان داده با افزایش عمق چاه، میزان نشست سطح زمین بیشتر می‌شود. در این حالت از یک عمق مشخصی (عمق ۵۰۰ متر در این تحقیق)، افزایش عمق چاه تأثیری بر مقدار نشست سطح زمین نداشته و مقدار آن تقریباً ثابت می‌ماند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در تمام موارد، تحت دبی ثابت برداشت آب از چاه‌های پمپاژ، مقدار نشست چاه شماره ۲ از چاه شماره ۱ بیشتر است. دلیل این موضوع می‌تواند بیشتر بودن مقدار چسبندگی خاک اطراف چاه شماره ۲ نسبت به چاه شماره ۱ باشد که باعث

- مهندسی عمران و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.
- مقدم فردویی، ر.، محمد احمدآبادی، ر.، و علی مددی، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی فرونشست در دشت علی آباد قم"، سی/مین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- نوروزی، غ.ر.، احمدی دستگرد، ع.، رهنما راد، ج.، و درمیانی، ع.، (۱۳۹۰)، "افت سطح آب زیرزمینی و بررسی نشست زمین در دشت درمیان"، سی/مین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Wangsaatmaja, S., Fukuda, Y., and Deguchi, T., (2009), "Land subsidence and groundwater extraction in Bandung Basin, Indonesia", *IAHS Publication*, 20, 145.
- Aly, M.H., Zebker, H.A., Giardino, J.R., and Klein, A.G., (2009), "Permanent scatterer investigation of land subsidence in Greater Cairo, Egypt", *Geophysical Journal International*, 178(3), 1238-1245.
- Baldi, P., Casula, G., Cenni, N., Loddo, F., and Pesci, A., (2009), "GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy)", *Earth and Planetary Science Letters*, 288(1-2), 204-212.
- Barends, F.B., Brouwer, F.J., and Schroeder, F.H., (1995), "Land subsidence-by fluid withdrawal, by solid extraction, theory and modelling, environmental effects and remedial measures", *In proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence*, 16-20, Hague.
- Chatterjee, R.S., Fruneau, B., Rudant, J.P., Roy, P.S., Frison, P.L., Lakhera, R.C., Dadhwal, V.K., and Saha, R., (2006), "Subsidence of Kolkata (Calcutta) city, India during the 1990s as observed from space by differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technique", *Remote Sensing of Environment*, 102(1-2), 176-185.
- Chen, C., Pei, S., and Jiao, J., (2003), "Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou city, China", *Hydrogeology Journal*, 11(2), 275-287.
- Chen, C.T., Hu, J.C., Lu, C.Y., Lee, J.C., and Chan, Y.C., (2007), "Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan", *Engineering Geology*, 95(1-2), 30-47.
- Ili, I., Loupasakis, C., and Tsangaratos, P., (2018), "Land subsidence phenomena investigated by spatiotemporal analysis of groundwater resources, remote sensing techniques, and random forest method: The case of Western Thessaly, Greece", *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 1-19.
- Galloway, D.L., Jones, D.R., and Ingebritsen, S.E., (1999), "Land subsidence in the United States", Vol. 1182, US Geological Survey, United States.
- Gambolati, G., (1975), "Numerical models in land subsidence control", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 5(2), 227-237.
- Hou, C.S., Hu, J.C., Shen, L.C., Wang, J.S., Chen, C.L., Lai, T.C., Huang, C., Yang, Y.R., Chen, R.F., Chen, توسلی، ا.، کاربین، ج.، ترابی، م.، و عساکره، ع.، (۱۳۹۸)، "بررسی عوامل مؤثر بر فرونشست دشت جنوب شرقی تهران بر اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۴(۲)، ۵۸-۷۲.
- جاودانیان، ج.، و احمدی دارانی، م.، (۱۳۹۵)، "برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و نشست منطقه‌ای: مطالعه موردی شهر دامنه، اصفهان"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۱(۱)، ۴۹-۶۰.
- زارع مهرجردی، ا.ع.، (۱۳۹۰)، "بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در منطقه رستاق جنوب میبد"، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۳)، ۱۵۵-۱۶۶.
- شمشکی، ا.، بلورچی، م.ج.، و انتظام سلطانی، ا.، (۱۳۸۴)، "فرونشست زمین در دشت تهران و عوامل مؤثر در شکل‌گیری آن"، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- عباس‌نژاد، ا.، (۱۳۷۷)، "بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی محیط‌زیست دشت رفسنجان"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد، ۳۰۳-۳۱۰.
- عباس‌نژاد، ا.، و شاهی دشت، ع.، (۱۳۹۲)، "بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه"، نشریه جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، ۳(۷)، ۸۵-۹۶.
- قیومی محمدی، ج.، رامشت، م.ج.، و مرادی، ی.، (۱۳۸۸)، "بررسی فرآیندهای مورفوتیک تأثیرگذار بر نشست زمین در استان اصفهان"، دومین همایش اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.
- لشگری پور، غ.ر.، غفوری، م.، سوزی، ز.، و پیوندی، ز.، (۱۳۸۴)، "افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد"، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.
- لشگری پور، غ.ر.، غفوری، م.، کاظمی گلپان، ر.، و دم شناس، م.، (۱۳۸۶)، "نشست زمین در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت نیشابور"، پنجمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، تهران.
- لشگری پور، غ.ر.، غفوری، م.، و رستمی بارانی، ج.ر.، (۱۳۸۷)، "بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر"، نشریه مطالعات زمین‌شناسی، ۱(۱)، ۹۵-۱۱۱.
- مصلحی، ع.، و قاضی فرد، ا.، (۱۳۸۹)، "بررسی فرونشست زمین و پهنه‌بندی خطر فرونشست در دشت کاشان"، همایش ملی

measured land subsidence in Ojiya city, Niigata prefecture, Japan”, *Engineering Geology*, 67(3-4), 379-390.

Solaimani, K., and Mortazavi, S.M., (2008), “Investigation of land subsidence and its consequences of large groundwater withdrawal in Rafsanjan, Iran”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11, 265-269.

Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., Bertoni, W., and Gonella, M., (2005), “A century of land subsidence in Ravenna, Italy”, *Environmental Geology*, 47(6), 831-846.



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

Y.G., and Angelier, J., (2005), “Estimation of subsidence using GPS measurements, and related hazard: The Pingtung Plain, Southwestern Taiwan”, *Comptes Rendus Geoscience*, 337(13), 1184-1193.

Hu, J.C., Chu, H.T., Hou, C.S., Lai, T.H., Chen, R.F., and Nien, P.F., (2006), “The contribution to tectonic subsidence by groundwater abstraction in the Pingtung area, southwestern Taiwan as determined by GPS measurements”, *Quaternary International*, 147(1), 62-69.

Larson, K.J., Başağaoğlu, H., and Marino, M.A., (2001), “Prediction of optimal safe ground water yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman city area, California, using a calibrated numerical simulation model”, *Journal of Hydrology*, 242(1-2), 79-102.

Leake, S.A., (2004), “Land Subsidence from Ground-Water Pumping”, United States Geological Survey, Available On: <https://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside>.

Lee, I., Choi, Y.T., Lee, M., and Yune, C.Y., (2018), “Effect of groundwater level variation on residual settlement of Korean high-speed railway on soft ground”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(9), 3312-3320.

Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T.R., Wetzel, H.U., Zschau, J., and Arabi, S., (2007), “Land subsidence in Mashhad Valley, Northeast Iran: Results from InSAR, levelling and GPS”, *Geophysical Journal International*, 168(2), 518-526.

Mousavi, S.M., Shamsai, A., Naggar, M.H.E., and Khamsehchian, M., (2001), “A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(3), 452-464.

Ortega Guerrero, A., Rudolph, D.L., and Cherry, J.A., (1999), “Analysis of long-term land subsidence near Mexico City: Field investigations and predictive modeling”, *Water Resources Research*, 35(11), 3327-3341.

Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., and Ochoa, G., (2006), “Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Querétaro valley, México”, *Engineering Geology*, 84(3-4), 143-160.

Phien-Wej, N., Giao, P.H., and Nutalaya, P., (2006), “Land subsidence in bangkok, Thailand”, *Engineering Geology*, 82(4), 187-201.

Pratikso, P., Soedarsono, S., and Kurniawan, A., (2017), “Analysis of land subsidence (land subsidence) affects against water puddle in Semarang city”, *International Conference on Coastal and Delta Areas*, Vol. 3, 313-321.

Rahnema, M.B., and Moafi, H., (2009), “Investigation of land subsidence due to groundwater withdraws in Rafsanjan plain using GIS software”, *Arabian Journal of Geosciences*, 2(3), 241-246.

Rajabi, A.M., (2018), “A numerical study on land subsidence due to extensive overexploitation of groundwater in Aliabad plain, Qom-Iran”, *Natural Hazards*, 93(2), 1085-1103.

Sato, H.P., Abe, K., and Ootaki, O., (2003), “GPS-



Research Paper

مقاله پژوهشی

## Improvement of Saline Effluent Quality Using Phytoremediation

## بهبود کیفیت زه آب های شور به روش گیاه پالایی

Jahangir Abedi-Koupai<sup>\*1</sup>, Amir Qods Motahhari<sup>2</sup> and Niloufar Najafi<sup>3</sup>

1- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- M.Sc. in Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

3- M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

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

Received: 28/11/2021

Revised: 28/12/2021

Accepted: 04/01/2022

© IWWA

جهانگیر عابدی کوپایی<sup>۱\*</sup>، امیر قدس مطهری<sup>۲</sup> و نیلوفر نجفی<sup>۳</sup>

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

### Abstract

Phytoremediation is one of the innovative, economical as well as eco-friendly desalination methods. The current study was aimed at investigating the amount of uptake and removal of some contaminants and nutrients from saline waters by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty). This research was performed as multi-factorial in a completely randomized design including three different levels of saline effluent (1, 10 and 14 dS/m) and two planting densities (10 and 20 vetiver plants) with three replications. The vetiver grass was cultivated in 220-liter tanks with a cross-section of 0.23 square meters located in the educational farm at Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran. Moreover, parameters changes including electrical conductivity (EC), cations (Ca, Mg and Na) as well as nutrients (N, P, and K) were measured with a residence time of 3, 7, and 14 days. The obtained results indicate that the vetiver grass can reduce EC (14-15.88%), cations (Ca (32.94-41.67%), Mg (29.51-57.14%), and Na (5.59-14.36%) as well as nutrients N (31-44.03%), P (44.15-51.54%), and K (24.37-56.32%)) from different salinity levels during 14 days. Furthermore, there is no significant difference between 10 and 20 vetiver plants in terms of uptake of contaminants due to high plant growth.

**Keywords:** Desalination, Hydroponic cultivation, Sustainable water resources management, Vetiver grass

### چکیده

گیاه پالایی یکی از روش های شوری زدایی نوین، اقتصادی و در عین حال دوستدار محیط زیست است. هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان جذب و حذف برخی از عوامل آلاینده و مغذی موجود در آب های شور توسط گیاه وتیور گراس (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) است. این پژوهش در قالب یک طرح آزمایش کاملاً تصادفی به شکل چند عاملی در سه سطح مختلف شوری زه آب (۱، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر) و دو سطح تراکم کشت گیاه (۱۰ و ۲۰ بوته وتیور) با سه تکرار انجام شد. کشت گیاه وتیور در مخازن ۲۲۰ لیتری با سطح مقطع ۰/۲۳ مترمربع واقع در مزرعه آموزشی دانشگاه صنعتی اصفهان صورت گرفت. هم چنین، تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی، کاتیون های کلسیم، منیزیم، سدیم به همراه عناصر مغذی نیتروژن، فسفر و پتاسیم با زمان ماند های ۳، ۷ و ۱۴ روز اندازه گیری شدند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که گیاه وتیور قادر است در مدت ۱۴ روز هدایت الکتریکی زه آب را در محدوده ۱۴-۱۵/۸۸ درصد و کاتیون های سدیم، کلسیم، منیزیم، نیترات، فسفات و پتاسیم را به ترتیب در محدوده ۱۴/۳۶-۵/۵۹، ۴۴/۶۷-۳۲/۴۱، ۲۹/۵۷-۵۱/۱۴، ۴۴-۳۱/۰۳، ۴۴/۱۵-۵۱/۵۴ و ۲۴/۵۶-۳۷/۳۲ درصد در سطوح شوری مختلف کاهش دهد. تراکم های ۱۰ و ۲۰ بوته گیاه وتیور به دلیل رشد زیاد گیاه با هم تفاوت معناداری از نظر جذب آلاینده ها نشان ندادند.

**کلمات کلیدی:** شوری زدایی، وتیور گراس، کشت هیدروپونیک، مدیریت پایدار منابع آب



(Li et al., 2021)، علاوه بر حذف بسیاری از آلاینده های آلی و معدنی از خاک و آب، می تواند این آلاینده ها را در بافت خود سم زدایی کند (Panja et al., 2020). از طرف دیگر، گیاه وتیور به طور گسترده در چندین بخش از جهان برای تثبیت سواحل و حاشیه های رودخانه ها، جلوگیری از فرسایش خاک و احیای اکولوژیکی استفاده شده است (Panja et al., 2020)؛ عابدی کوپایی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین ویژگی های منحصر به فرد فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی این گیاه منجر به اجرای موفقیت آمیز فرآیند گیاه پالایی شده است (Davamani et al., 2021)؛ عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۹۹).

Jayashree et al. (2011) پژوهشی در راستای بهبود کیفیت پساب حاصل از نساجی با استفاده از سیستم وتیور انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان نیتروژن کل کجلا، هدایت الکتریکی توسط گیاه وتیور به ترتیب ۸۶، ۸۳ و ۹۴ درصد کاهش یافته است. پژوهشی توسط Keshtkar et al. (2016) مبنی بر بررسی کاربرد سیستم وتیور در تصفیه و بهبود کیفیت آب های نامتعارف شامل پساب معدن و آب های بسیار شور زیرزمینی موجود در محدوده معدن در مدت زمان ۴ هفته صورت گرفت. براساس نتایج این پژوهش، راندمان حذف سختی، کل مواد جامد معلق و هدایت الکتریکی برای پساب به ترتیب ۴۶، ۳۱/۵ و ۲۸/۳ درصد و برای آب شور زیرزمینی به ترتیب ۴۵/۱، ۳۳ و ۲۸ درصد به دست آمد. همچنین نتایج حاصل نشان داد که گیاه وتیور قادر به جذب بالا از عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم است. در نهایت یافته های به دست آمده مبین آن است که سیستم تصفیه وتیور پتانسیل بالایی در تصفیه آب های نامتعارف دارای املاح و شوری بسیار بالا و کاهش آلاینده ها دارد. Gholipour et al. (2020) در پژوهشی عملکرد گیاه وتیور در بهبود کیفیت پساب ورودی و خروجی در طی ۱۸ روز مورد بررسی قرار دادند. مطابق نتایج حاصل از بررسی کیفیت پساب، میزان کاهش نیترات توسط گیاه وتیور ۹۰ درصد گزارش شده است. همچنین این گیاه قادر به کاهش کاتیون هایی نظیر سدیم، کلسیم و منیزیم بوده است. Davamani et al. (2021) در پژوهشی بهبود کیفیت پساب توسط گیاه وتیور را بررسی کردند. مطابق با نتایج پژوهش میزان راندمان حذف نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵۹/۲۴، ۴۷/۷۸ و ۵۴/۶۴ مشاهده شد. همچنین با استفاده از گیاه وتیور هدایت الکتریکی، کل نمک های محلول و کل مواد جامد معلق به ترتیب ۳۹/۳۹، ۸۱/۱۹ و ۵۶/۱۹ درصد کاهش یافت. در یکی از پژوهش های اخیر عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۹۹) بهبود کیفیت شیرابه های حاصل از پسماند شهری به منظور استفاده در

در حال حاضر، در مقیاس جهانی ۲/۲ میلیارد نفر به آب سالم دسترسی ندارند (UN Water, 2019) و ۱۷ کشور از جمله ایران با کمبود شدید آب مواجه هستند؛ بدین معنی که ۶۷٪ از جمعیت جهانی حداقل ۱ ماه از سال را تحت کمبود شدید آب زندگی می کنند (Goldberg et al., 2021). از این رو، تشدید رقابت جهانی برای دسترسی مطمئن و مقرون به صرفه به آب سالم، مدیریت پایدار منابع آب را به یکی از بزرگترین چالش های قرن ۲۱ تبدیل کرده است (Qu et al., 2013). شکی نیست که امنیت آب در حال حاضر به یک اولویت ملی تبدیل شده است که برنامه ریزی استراتژیک مدیریت منابع آب نقش برجسته ای در مذاکرات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی ملتها و دولت های حاکم دارد (Madani, 2014). یکی از راه کارهای مناسب در راستای مدیریت جامع آب شیرین، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران که با محدودیت این منابع روبه رو است؛ تصفیه و استفاده مجدد از آب های نامتعارف است (Keshtkar et al., 2016). آب های شور، زه آب های شور کشاورزی و پساب های شور صنایع مختلف از جمله منابع آب نامتعارف هستند. روش های تصفیه پساب شور مبتنی بر روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است (Chua et al., 2012). در میان تجارب و تحقیقات گوناگون انجام شده، استفاده از پتانسیل های فیزیولوژیکی گیاهان تحت عنوان گیاه پالایی را می توان از روش های موثر تصفیه شوری دانست (Keshtkar et al., 2016).

گیاه پالایی یک روش اقتصادی، دوستدار محیط زیست و نوآورانه است که به طور گسترده در آسیا، آمریکا و اروپا در مواجهه با آلودگی های محیطی، به ویژه آلودگی آب استفاده می شود (Salt et al., 1998; Valderrama et al., 2013; Banerjee et al., 2016). در این روش از گونه های گیاهی خاص برای تصفیه و بهبود کیفیت آب و پساب استفاده می شود و کاربردهای محیط زیستی متنوعی دارد (Suelee et al., 2017; Seroja et al., 2018). Keshtkar et al., 2016). این گیاهان می توانند به عنوان یک فیلتر عمل کنند و علاوه بر جذب و تثبیت ترکیبات نیتروژن، فسفات و فلزات سنگین، باعث افزایش اکسیژن محلول و کاهش کدورت آب نیز شوند (Gholipour et al., 2020; Parnian and Furze, 2021). گیاه وتیور به دلیل داشتن شبکه ریشه گسترده (Raman and Gnansounou, 2018; Li et al., 2021) و سازگاری با شرایط محیطی سخت نظیر سطوح بالای عناصر سمی، شوری و وجود بیش از حد ترکیبات نیتروژن و فسفر (Gholipour et al., 2020)

چسبیده به‌منظور استقرار آن در محیط هیدروپونیک از بین برود.

## ۲-۲- مشخصات محل اجرای طرح و محل تهیه زه‌آب

این تحقیق در محل مزرعه آموزشی واقع در طول جغرافیایی ۲۸° ۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۲° ۳۲' شمالی دانشگاه صنعتی اصفهان و جنب واحد تصفیه‌خانه دانشگاه انجام گرفت. با توجه به اهداف طرح، در این پژوهش اقدام به تهیه زه‌آب مورد نیاز از دو محل شد:

- الف- چاه منابع طبیعی، که مشخصات این آب و برخی از ویژگی‌های شیمیایی آن در قسمت نتایج و بحث آمده است.
- ب- زه‌آب خروجی از زهکش‌های واقع در ایستگاه تحقیقات شوری رودشت وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان. آنالیز مشخصات این زه‌آب در قسمت نتایج و بحث آمده است.

## ۲-۳- روش تحقیق

این پژوهش در قالب یک طرح آزمایش کاملاً تصادفی در سه سطح شوری (۱، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر) و دو سطح تراکم کشت گیاه (۱۰ بوته و ۲۰ بوته وتیور) با ۳ تکرار انجام شد. مجموع ۶ تیمار (D10-EC1، D10-EC10، D10-EC14، D20-EC1، D20-EC10 و D20-EC14) در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین تیمارهای آب کم شور (EC1) به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شده و مشاهدات بر پایه آن‌ها گزارش شدند.

جدول ۱- نوع زه‌آب (عابدی، ۱۳۸۱؛ نی‌ریزی، ۱۳۷۷)، نام‌گذاری و طبقه‌بندی تیمارهای آزمایشی

| کدهای نمونه | EC (dS/m) | تیمار               |               |
|-------------|-----------|---------------------|---------------|
|             |           | طبقه‌بندی نوع زه‌آب | تراکم         |
| D10-EC1     | ۱/۰۱      | آب کم شور           | ۱۰ گیاه (D10) |
| D10-EC10    | ۱۰/۰۱     | آب شوری متوسط       |               |
| D10-EC14    | ۱۴/۳۳     | آب شور              |               |
| D20-EC1     | ۰/۹۹      | آب کم شور           | ۲۰ گیاه (D20) |
| D20-EC10    | ۹/۶۷      | آب شوری متوسط       |               |
| D20-EC14    | ۱۴/۳۱     | آب شور              |               |

پالایندگی زه‌آب و با توجه به سطح مقطع مخازن (۰/۲۳ مترمربع) ۲ تراکم کشت ۲۰ بوته (۸۷ بوته به ازای ۱ مترمربع) و ۱۰ بوته (۴۴ بوته به ازای ۱ مترمربع) وتیور انتخاب شد. به‌منظور شناورسازی و استقرار گیاهان در سطح زه‌آب درون مخازن یونولیت‌هایی به قطر دهانه مخازن فراهم شد و گیاهان درون آن‌ها جایگذاری شد.

آبیاری فضای سبز با استفاده از کشت هیدروپونیک گیاه وتیور را بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که گیاه وتیور توانایی کاهش  $BOD_5$ ، COD، نیترات و فسفات به‌ترتیب به‌میزان ۶۸، ۶۰، ۸۲ و ۸۳ درصد پس از ۲۱ روز را دارد. هم‌چنین عابدی کوپائی و همکاران (۱۴۰۰) عملکرد سیستم وتیور در تصفیه دو نوع فاضلاب شهری را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه وتیور توانایی حذف کارآمد ترکیبات  $BOD_5$ ، COD، آمونیوم، نیترات، فسفات و پتاسیم را به‌ترتیب به‌میزان ۴۲، ۵۵، ۹۱، ۶۶، ۸۹ و ۹۷ درصد داشته است.

اگرچه در پژوهش‌های قبلی تمرکز بر روی بررسی عملکرد گیاه وتیور در توانایی تصفیه و بهبود کیفیت فاضلاب بوده است، پژوهش‌های کمی بر روی شوری زدایی پساب‌ها صورت گرفته است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی کاهش میزان شوری و جذب پارامترهای مختلف آلاینده منابع آب تحت سه سطح مختلف شوری زه‌آب توسط گیاه وتیور است.

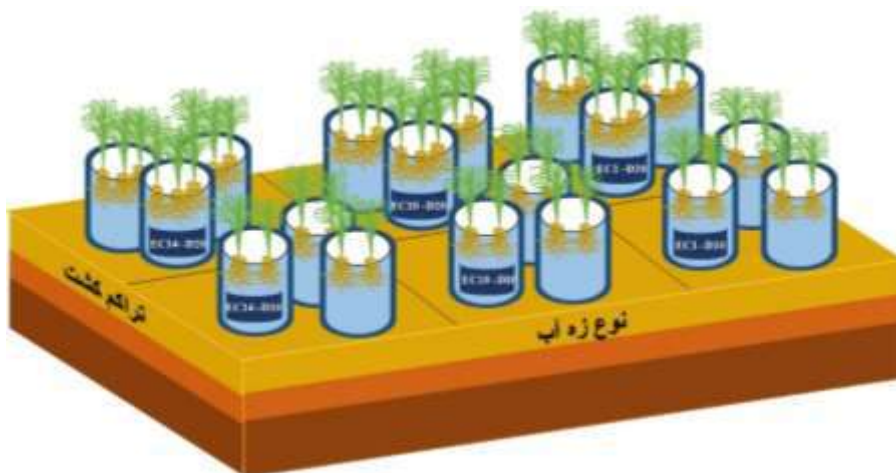
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- انتخاب و آماده‌سازی گیاه

گیاه وتیور از نوع *Chrysopogon zizanioides* L. Roberty به‌عنوان گونه مورد مطالعه انتخاب شد. گونه وتیور موردنظر به‌تعداد ۷۵ گلدان (۳۰۰ بوته وتیور) از استان خوزستان تهیه و به دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شد. سپس گیاهان وتیور از خاک تکثیر خارج شده و سطح آن را با آب مقطر استریل کرده تا خاک

برای انجام آزمایش تعداد ۱۸ مخزن ۲۲۰ لیتری فلزی با سطح مقطع ۰/۲۳ مترمربع از محل پالایشگاه اصفهان تهیه شد. به‌دلیل تماس سطح داخلی مخازن با زه‌آب و به‌منظور جلوگیری از زنگ‌زدگی و تأثیر مخرب ورود فلزات اکسید شده بر روی انجام پروژه، سطح داخلی مخازن با استفاده از ۲ لایه رنگ مناسب پوشش داده شد. برای بررسی اثر تراکم کشت گیاه بر میزان

طی فصل رشد رسیدند. لازم به ذکر است به صورت ماهیانه اقدام به نمونه برداری از زه آب شده و مجدداً اقدام به تعویض زه آب می شد. در نهایت، از ابتدای مهر ۱۳۹۴ با تعویض زه آب ها و پس از تعیین میزان آلاینده گی اولیه با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز اقدام به نمونه برداری و ارسال به آزمایشگاه صورت گرفت. نحوه چیدمان مخازن حاوی گیاه و تیور در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمای شماتیک از مخازن (پایلوت) حاوی گیاهان و تیور

میزان شوری زه آب و اثر تراکم، در طی زمان و اثرات متقابل آن ها سنجش شد. جدول ۲ آنالیز واریانس کلیه پارامترهای اندازه گیری شده را نمایش می دهد.

تجزیه و تحلیل پارامترهای اندازه گیری شده نشان داد که فاکتورهای نوع زه آب و زمان ماند، دارای اثر معنی داری در سطح ۱ درصد هستند که به دلیل وجود اختلاف چشمگیری که در خصوصیات کیفی زه آب ها است. همچنین زمان ماند مختلف، به دلیل مصرف گیاه از مواد مغذی و کاتیون ها و آنیون های مختلف، هدایت الکتریکی کاهش پیدا کرده و اثرات آن در سطح ۱ درصد معنی دار است، اما تراکم اثر معنی داری بر نتایج آزمایش نداشته است. نتایج حاصل بدین علت می تواند باشد که رشد سریع و انبوه گیاه و تیور موجب جبران اثر کم بودن تراکم آن شده در حالی که گیاهانی که با تراکم بیشتر کشت شده اند به دلیل رقابت، رشد کمتری داشته اند. از میان اثرات متقابل فاکتورها در موارد (نوع زه آب × تراکم) و (نوع زه آب × تراکم × زمان) معنادار نشده اند؛ در حالی که اثرات متقابل (نوع زه آب × زمان) به جز در آب با شوری کم (EC1) بقیه معنی دار شده است که می تواند به دلیل اثر زیاد تراکم کشت بر کاهش معنی داری آزمایش ها و بیانگر کاهش هدایت الکتریکی با گذشت زمان باشد.

از ابتدای خرداد ماه ۱۳۹۴ به منظور استقرار گیاهان و انجام آزمایش، اقدام به پر کردن هر کدام از مخازن مطابق با طرح آزمایش مورد نظر توسط زه آب در سه سطح شوری شد. از ابتدای تیرماه به هر یک از تیمارها کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ (که حاوی عناصر پر مصرف مورد نیاز گیاهان، نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، هر یک با غلظت ۲۰٪ بوده و همچنین حاوی عناصر ریزمغذی نظیر بر، مس، آهن، منگنز، مولیبدن و روی است) به میزان ۲۰ گرم داده شد. گیاهان در شهریور ۱۳۹۴ به حداکثر رشد خود در

پارامترهای کیفی زه آب نظیر هدایت الکتریکی، یون های کلسیم، منیزیم، سدیم و همچنین عناصر مغذی نیتروژن، فسفر و پتاسیم مطابق با استاندارد (APHA, 1998) در آزمایشگاه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه گیری شدند. درصد حذف مقادیر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است (Parnian and Furze, 2021).

$$R = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که  $R$ : درصد حذف، پارامترهای  $C_0$  و  $C_t$ : به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده پارامترهای کیفی زه آب در زمان صفر و در زمان ماندهای مختلف (۳، ۷ و ۱۴ روز) هستند. نتایج پژوهش با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم افزار SAS 9.4 آنالیز شدند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مشخصات زه آب اولیه قبل از انجام گیاه پالایی

برای تعیین میزان حذف عوامل شوری از زه آب دو فاکتور

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

| میانگین مربعات   |                  |                 |                               |                              |                |          | درجه آزادی | متغیرها                  |
|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|----------|------------|--------------------------|
| Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | K <sup>+</sup> | EC       |            |                          |
| ** ۱۲۲۸۴/۹۹      | ** ۳۱۱۳/۱۷       | ** ۲۵۴۱۲۷۴      | ns ۷۰/۹۲                      | ** ۵۹۶۷۱/۹۷                  | ** ۵۱۵۲/۰۱     | * ۶۷۷/۰۸ | ۲          | نوع زه‌آب                |
| ns ۹۷/۰۱         | ns ۴/۰۰۵         | ns ۱۳۰۴/۶۷      | ns ۱۱۳/۰۸                     | ns ۱/۹۵                      | ns ۲۴۳/۷۵      | ns ۰/۰۰۶ | ۱          | تراکم                    |
| ns ۲۳/۷۷         | ns ۱/۳۹          | ns ۱۰۹۰/۳۵      | ns ۹۲/۰۹                      | ns ۵۳۱/۵۱                    | ns ۳۹/۹۹       | ns ۰/۱۳  | ۲          | نوع زه‌آب × تراکم        |
| ۵۲/۰۶            | ۸۵/۲۴            | ۵۰۶۹/۷۳         | ۲۸۹/۲۶                        | ۳۱۱۹/۱۵                      | ۳۵۹/۴۵         | ۰/۳۷     | ۸          | خطای آزمایش              |
| ** ۳۰۶/۴۱        | ** ۷۸/۲۶         | ** ۲۰۳۴/۳۴      | ** ۱۲۷۴/۳۳                    | ** ۱۳۱۰۹/۹۴                  | ** ۲۷۶۵/۰۰۵    | ** ۳/۵۱  | ۳          | زمان                     |
| ** ۶۱/۸۴         | ** ۲۶/۹          | ** ۳۰۹/۳۵       | ns ۳/۴۱                       | ns ۲۲۲/۸۵                    | ** ۹۷/۸۳       | ** ۰/۷   | ۶          | نوع زه‌آب × زمان         |
| ns ۰/۵۷          | ns ۰/۵           | ns ۲۳/۷         | ns ۰/۴۹                       | ns ۱۰۵/۴۵                    | ns ۴/۹۶        | ns ۰/۰۴  | ۳          | تراکم × زمان             |
| ns ۲/۲۷          | ns ۰/۴۵          | ns ۱۶/۷۶        | ns ۱/۸۷                       | ns ۵/۸۳                      | ns ۵/۰۸        | ns ۰/۰۱  | ۶          | نوع زه‌آب × تراکم × زمان |
| ۱۷/۴۲            | ۲/۶۲             | ۱۷/۵۵           | ۶/۹۵                          | ۱۷۱/۱۱                       | ۱۳/۵۸          | ۰/۰۴     | ۲۴         | خطای نمونه‌گیری          |
| ۱۵/۰۲            | ۱۱/۱             | ۱/۰۸            | ۷/۲۷                          | ۷/۲                          | ۴/۵۲           | ۲/۵      | -          | Cv (%)                   |
| ۹۸/۴۵            | ۹۹/۱۷            | ۹۹/۹۹           | ۹۷/۵۸                         | ۹۷/۹                         | ۹۸/۵۶          | ۹۹/۹۳    | -          | R <sup>2</sup> (%)       |

ns: معنی‌دار نیست. \* در سطح ۵٪ معنی‌دار است. \*\* در سطح ۱٪ معنی‌دار است.

یافته است. همچنین به دلیل کمتر بودن مقدار شوری آب از سایر تیمارها کاهش شوری چشمگیر نبوده است. نکته حائز اهمیت این است که گیاه وتیور توانایی زیادی در محیط‌های شور دارد، به‌طوری‌که بیشترین میزان رشد و کاهش شوری را در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر داشته و در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش عملکرد داشته که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. نتایج به‌دست آمده از میزان کاهش هدایت الکتریکی با نتایج (Chua et al., 2012) که گزارش کرده‌اند گیاه وتیور مقاومت بسیار زیادی در محیط شور دارد، مطابقت دارد. همچنین پژوهش‌های دیگری کاهش هدایت الکتریکی و مقاومت گیاه وتیور در محیط‌های شور را گزارش داده‌اند (Keshtkar et al., 2016; Davamani et al., 2021).

### ۲-۲-۲- بررسی میزان تغییرات زه‌آب بعد از انجام گیاه‌پالایی

#### ۱-۲-۳- بررسی میزان تغییرات هدایت الکتریکی

جدول ۳ بیانگر روند تغییرات و میزان درصد کاهش هدایت الکتریکی توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندنهای ۷ و ۱۴ روز است. مطابق جدول ۳، با افزایش زمان ماندن درصد کاهش شوری زه‌آب نیز افزایش می‌یابد و در غالب موارد در زمان‌ماندهای یکسان بین تیمارهای با آب ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دیده نمی‌شود. این موضوع می‌تواند به معنی عدم تأثیر شوری تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بر عملکرد گیاه است. در تیمارهای با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر برخلاف سایر تیمارها تراکم بیشتر عملکرد کمتری در حذف شوری داشته است. این موضوع می‌تواند به مواد آزاد شده از ریشه گیاه مربوط باشد که با افزایش تراکم میزان آن نیز افزایش

جدول ۳- روند تغییرات و درصد کاهش هدایت الکتریکی در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰     | ۳     | ۷     | ۱۴    | تیمار | ۳                 | ۷                   | ۱۴                 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|--------------------|
| D20-EC1 (dS/m)  | ۱     | ۰/۹۶  | ۰/۹۲  | ۰/۸۶  |       | ۴ <sup>e</sup>    | ۸ <sup>d</sup>      | ۱۴ <sup>ab</sup>   |
| D10-EC1 (dS/m)  | ۰/۹۹  | ۰/۹۸  | ۰/۹۲  | ۰/۸۴  |       | ۱/۰۱ <sup>e</sup> | ۷/۰۷ <sup>de</sup>  | ۱۵/۱۵ <sup>c</sup> |
| D20-EC10 (dS/m) | ۱۰/۰۱ | ۹/۳۶  | ۸/۸۴  | ۸/۴۲  |       | ۶/۴۹ <sup>d</sup> | ۱۱/۶۹ <sup>c</sup>  | ۱۵/۸۸ <sup>b</sup> |
| D10-EC10 (dS/m) | ۹/۶۷  | ۹/۱۵  | ۸/۶۶  | ۸/۳۹  |       | ۵/۳۸ <sup>d</sup> | ۱۰/۴۴ <sup>bc</sup> | ۱۳/۲۴ <sup>a</sup> |
| D20-EC14 (dS/m) | ۱۴/۳۳ | ۱۳/۴۷ | ۱۲/۸۴ | ۱۲/۱۳ |       | ۶ <sup>d</sup>    | ۱۰/۴ <sup>c</sup>   | ۱۵/۳۵ <sup>b</sup> |
| D10-EC14 (dS/m) | ۱۴/۳۱ | ۱۳/۵۱ | ۱۲/۹۱ | ۱۲/۵۷ |       | ۵/۵۹ <sup>d</sup> | ۹/۷۸ <sup>c</sup>   | ۱۲/۱۶ <sup>a</sup> |

حروف یکسان در هر ردیف به معنی عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین گروه‌ها است (P > 0.05).

### ۲-۲-۳- بررسی غلظت عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم

جدول ۴ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت نیترات توسط

گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندنهای ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۴، با افزایش شوری درصد

کاهش غلظت سدیم بین تیمارهای مختلف تغییر معنی‌داری نداشته است. این موضوع نشان‌دهنده مقاومت گیاه وتیور در برابر ورود یون سدیم به داخل آن است. همچنین در تمامی تیمارها به‌جز تیمار آب با شوری کم میزان کاهش سدیم در تیمار با تراکم بیشتر، زیاده‌تر از تراکم کمتر است. البته بین تراکم‌های کم و زیاد در اکثر موارد اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. بر طبق آزمایش‌های انجام شده و تراکم‌های ۴۴ بوته گیاه در ۱ مترمربع

در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر گیاه وتیور در مدت ۱۴ روز به‌طور متوسط ۱۰ گرم نمک را در بافت‌های خود ذخیره می‌کند. این موضوع از آن‌جهت حائز اهمیت است که با توجه به سطح کشت شده این گیاه می‌تواند در صورت بارگذاری حدود ۸۰ گرم در لیتر سدیم کلرید میزان ۱۰ گرم از آن را در مدت ۱۴ روز حذف نماید.

جدول ۴- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت سدیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰      | ۳      | ۷      | ۱۴     |           | ۳                  | ۷                  | ۱۴                 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| D20-EC1 (mg/L)  | ۶۱/۶۵  | ۵۹/۵۹  | ۵۵/۰۲  | ۵۲/۸   | دسی‌زیمنس | ۳/۳۴ <sup>cd</sup> | ۱۰/۷۵ <sup>b</sup> | ۱۴/۳۶ <sup>a</sup> |
| D10-EC1 (mg/L)  | ۶۰/۶۸  | ۵۸/۹۵  | ۵۵/۷۱  | ۵۳/۱۳  |           | ۲/۸۵ <sup>cd</sup> | ۸/۱۹ <sup>b</sup>  | ۱۲/۴۴ <sup>a</sup> |
| D20-EC10 (mg/L) | ۲۷۴/۲۵ | ۲۶۹/۶۴ | ۲۵۲/۸۱ | ۲۳۸/۹۹ |           | ۱/۶۸ <sup>de</sup> | ۷/۸۳ <sup>c</sup>  | ۱۲/۸۶ <sup>b</sup> |
| D10-EC10 (mg/L) | ۲۷۰/۹۱ | ۲۶۴/۷۴ | ۲۵۹/۹۸ | ۲۴۷/۱۲ |           | ۲/۲۸ <sup>e</sup>  | ۴/۰۳ <sup>b</sup>  | ۸/۷۸ <sup>a</sup>  |
| D20-EC14 (mg/L) | ۷۹۰/۴  | ۷۷۹/۱  | ۷۵۵/۸۴ | ۷۴۶/۲۵ |           | ۱/۴۳ <sup>e</sup>  | ۴/۳۷ <sup>cd</sup> | ۵/۵۹ <sup>c</sup>  |
| D10-EC14 (mg/L) | ۸۱۶/۴۱ | ۸۰۷/۲۱ | ۷۸۴/۹۲ | ۷۷۲/۴۳ |           | ۱/۱۳ <sup>e</sup>  | ۳/۸۶ <sup>c</sup>  | ۵/۳۹ <sup>c</sup>  |

جدول ۵ بیانگر روند تغییرات و درصد کاهش غلظت کلسیم توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندگی ۳، ۷ و ۱۴ روز است. همان‌طور که در جدول مشخص است، بیشترین میزان جذب کلسیم با مقدار ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر در تیمار (D20-EC14) مشاهده شد. همچنین با افزایش شوری تا ۱۰

دسی‌زیمنس بر متر جذب کلسیم افزایش داشته و در شوری بیشتر کاهش جذب و یا عدم معنی‌داری در تغییرات دیده شد. طبق جدول، کشت گیاه وتیور با تراکم ۴۴ بوته در مترمربع می‌تواند در مدت ۱۴ روز میزان ۴۴۸ میلی‌گرم کلسیم را در زه‌آبی با غلظت ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر جذب نماید.

جدول ۵- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت کلسیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰     | ۳     | ۷     | ۱۴    |           | ۳                  | ۷                   | ۱۴                  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|
| D20-EC1 (mg/L)  | ۱/۲   | ۱/۱۵  | ۱/۰۵  | ۰/۷   | دسی‌زیمنس | ۴/۱۷ <sup>e</sup>  | ۱۲/۵ <sup>e</sup>   | ۴۱/۶۷ <sup>d</sup>  |
| D10-EC1 (mg/L)  | ۱/۳   | ۱/۱۵  | ۱/۱   | ۱     |           | ۱۱/۵۴ <sup>f</sup> | ۱۵/۳۸ <sup>e</sup>  | ۲۳/۰۸ <sup>a</sup>  |
| D20-EC10 (mg/L) | ۱۵/۳  | ۱۳/۴۶ | ۱۱/۶۶ | ۱۰/۲۶ |           | ۱۲/۰۳ <sup>e</sup> | ۲۳/۷۹ <sup>d</sup>  | ۳۲/۹۴ <sup>cd</sup> |
| D10-EC10 (mg/L) | ۱۴/۳  | ۱۲/۷۵ | ۱۰/۸۵ | ۱۰/۱۰ |           | ۱۰/۸۴ <sup>e</sup> | ۲۴/۱۳ <sup>d</sup>  | ۲۹/۳۷ <sup>bc</sup> |
| D20-EC14 (mg/L) | ۳۳/۶۶ | ۳۰/۳۳ | ۲۶    | ۲۱/۶۶ |           | ۹/۸۹ <sup>e</sup>  | ۲۲/۷۶ <sup>de</sup> | ۳۵/۶۵ <sup>ab</sup> |
| D10-EC14 (mg/L) | ۳۲    | ۲۸/۷۵ | ۲۶/۵  | ۲۰/۵  |           | ۱۰/۱۶ <sup>e</sup> | ۱۷/۱۹ <sup>d</sup>  | ۳۵/۹۴ <sup>ab</sup> |

باتوجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی جذب منیزیم توسط گیاه وتیور، جدول ۶ بیانگر کاهش جذب منیزیم در شوری زیاد توسط گیاه است، به‌طوری‌که در زمان ماندگی مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. مطابق این جدول، گیاه وتیور با تراکم کشت ۴۴ گیاه در واحد سطح می‌تواند ۳۱۲ میلی‌گرم بر لیتر منیزیم را از زه‌آبی با غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر جذب نماید. بدیهی است با کاهش شوری میزان جذب منیزیم توسط گیاه می‌تواند تا ۳ برابر این مقدار افزایش یابد.

یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش Gholipour et al. (2020)

در بررسی میزان حذف کاتیون‌ها از پساب در طی ۱۸ روز حاکی از آن است که گیاه وتیور توانسته است به‌ترتیب ۴۳، ۲۱ و ۱۴ درصد از غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم بکاهد. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط Gholipour et al., (2020) مطابقت نزدیکی دارد و ترتیب میزان حذف کاتیون‌ها از بیشتر به کمتر به این‌صورت است:  $Ca > Mg > Na$ .

### ۳-۲-۳- بررسی غلظت نیترات

جدول ۷ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت نیترات توسط



گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. بیشترین میزان حذف نیترات مربوط به زه‌آب با شوری کم بوده و با افزایش شوری از میزان آن کاسته می‌شود اما این کاهش معنی‌دار نیست.

جدول ۶- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت منیزیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰     | ۳     | ۷     | ۱۴    | تیمار            | ۳                   | ۷                   | ۱۴                  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| D20-EC1 (mg/L)  | ۱/۴   | ۰/۸۵  | ۰/۶   | ۰/۶   | کاهش غلظت منیزیم | ۳۹/۲۹ <sup>d</sup>  | ۵۷/۱۴ <sup>bc</sup> | ۵۷/۱۴ <sup>a</sup>  |
| D10-EC1 (mg/L)  | ۱/۴   | ۰/۹۵  | ۰/۷   | ۰/۳۵  |                  | ۳۲/۱۴ <sup>cd</sup> | ۵۰ <sup>ab</sup>    | ۷۵ <sup>ab</sup>    |
| D20-EC10 (mg/L) | ۳۰/۴۷ | ۲۵/۱۷ | ۲۰/۳۳ | ۱۴/۹۷ |                  | ۱۷/۳۹ <sup>e</sup>  | ۳۳/۲۸ <sup>de</sup> | ۵۰/۸۷ <sup>bc</sup> |
| D10-EC10 (mg/L) | ۳۴/۷  | ۲۸/۹  | ۲۳/۶۵ | ۱۷/۲۵ |                  | ۱۶/۷۱ <sup>e</sup>  | ۳۱/۸۴ <sup>de</sup> | ۵۰/۲۹ <sup>bc</sup> |
| D20-EC14 (mg/L) | ۶۱    | ۵۳    | ۴۷/۶۷ | ۴۳    |                  | ۱۳/۱۱ <sup>f</sup>  | ۲۱/۸۵ <sup>e</sup>  | ۲۹/۵۱ <sup>e</sup>  |
| D10-EC14 (mg/L) | ۶۳    | ۵۸/۲۵ | ۵۲    | ۴۹/۵  |                  | ۷/۵۴ <sup>ef</sup>  | ۱۷/۴۶ <sup>e</sup>  | ۲۱/۴۳ <sup>de</sup> |

جدول ۷- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت نیترات در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰      | ۳      | ۷      | ۱۴     | تیمار            | ۳                   | ۷                   | ۱۴                  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| D20-EC1 (mg/L)  | ۱۴۶/۱۱ | ۱۱۲/۹۳ | ۹۶/۹۳  | ۸۱/۷۸  | کاهش غلظت نیترات | ۲۲/۷۱ <sup>e</sup>  | ۳۳/۶۶ <sup>cd</sup> | ۴۴/۰۳ <sup>bc</sup> |
| D10-EC1 (mg/L)  | ۱۳۵/۱۷ | ۱۱۳/۸۵ | ۹۸/۳۱  | ۸۵/۹۶  |                  | ۱۵/۷۷ <sup>d</sup>  | ۲۷/۲۷ <sup>bc</sup> | ۳۶/۴۱ <sup>a</sup>  |
| D20-EC10 (mg/L) | ۲۴۵/۷۹ | ۲۱۰/۷۷ | ۱۸۵/۳۹ | ۱۵۲/۴  |                  | ۱۴/۲۵ <sup>e</sup>  | ۲۴/۵۷ <sup>d</sup>  | ۳۸ <sup>bc</sup>    |
| D10-EC10 (mg/L) | ۲۵۲/۴۲ | ۲۲۱/۷۸ | ۱۹۹/۴۴ | ۱۶۷/۰۲ |                  | ۱۲/۱۴ <sup>de</sup> | ۲۰/۹۹ <sup>c</sup>  | ۳۳/۸۳ <sup>ab</sup> |
| D20-EC14 (mg/L) | ۲۶۳/۷۴ | ۲۳۳/۴۶ | ۲۰۸/۴۹ | ۱۸۱/۹۸ |                  | ۱۱/۴۸ <sup>e</sup>  | ۲۰/۹۵ <sup>d</sup>  | ۳۱ <sup>c</sup>     |
| D10-EC14 (mg/L) | ۲۴۵/۹۶ | ۲۲۲/۲۸ | ۲۰۱/۹۸ | ۱۸۰/۱۸ |                  | ۹/۶۳ <sup>e</sup>   | ۱۷/۸۸ <sup>d</sup>  | ۲۶/۷۴ <sup>c</sup>  |

متر حذف نماید که رقم قابل‌توجهی است. نتایج حاصل از آزمایش‌های Davamani et al. (2021) در بررسی روند حذف فسفات از پساب خام، مشابه این پژوهش بوده به‌طوری‌که در طی دوره به‌صورت میانگین به‌میزان ۴۷/۷۸ درصد کاهش یافته است.

### ۳-۲-۵- میزان غلظت پتاسیم

جدول ۹ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت پتاسیم توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، گیاه وتیور با روند خوبی توانسته پتاسیم را مصرف کند. به‌طوری‌که در زه‌آب شور در روز ۱۴ به‌طور میانگین ۵۰ درصد از پتاسیم محلول را مصرف کرده است. هم‌چنین این جدول بیانگر کاهش معنی‌دار جذب پتاسیم با افزایش شوری است. برطبق نتایج آزمایش‌ها گیاه وتیور با تراکم ۴۴ گیاه در مترمربع توانایی حذف حدود ۳۵ گرم پتاسیم را از زه‌آبی با شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر دارد. نتایج پژوهش‌های دیگر محققان نشان داد که گیاه وتیور قادر است مقدار زیادی از سه عنصر نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) را مصرف کند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ghars et al., 2009; Gholipour et al., 2020; Davamani et al., 2021).

طبق جدول ۷، گیاه وتیور با تراکم کشت ۴۴ بوته گیاه در ۱ مترمربع در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر قادر است میزان ۲۷ گرم نیترات را در زه‌آب طی مدت ۱۴ روز کاهش دهد. بدیهی است که با کاهش میزان شوری، جذب نیترات افزایش می‌یابد. (Truong and Hart (2001) نیز در آزمایش‌های خود به کاهش ۸۰ درصدی این ترکیبات در محیط تالابی دست یافتند. هم‌چنین یافته‌های حاصل از پژوهش (Parnian and Furze (2021) در سیستم عمودی وتیور حاکی از کاهش ۳۶/۴۱ درصدی از میزان نیترات برای بهبود کیفیت پساب با میزان جریان عبوری ۱۶۰ لیتر در روز است.

### ۳-۲-۴- میزان غلظت فسفات

جدول ۸ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت فسفات توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. طبق جدول، بیشترین میزان کاهش با ۵۱ درصد کاهش در زه‌آب لب‌شور انجام شده که البته نتایج تجزیه واریانس این تیمار (D20-EC10) بیانگر تفاوت عدم معنی‌داری آن با تیمارهای دیگر در همان مرحله نمونه برداری است. طبق نتایج به‌دست آمده گیاه وتیور می‌تواند ۳۴ گرم فسفات را در واحد سطح در مدت ۱۴ روز با شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر

جدول ۸- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت فسفات در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰     | ۳     | ۷     | ۱۴    |           | ۳     | ۷     | ۱۴    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| (mg/L) D20-EC1  | ۴۷/۸۹ | ۳۷/۱۶ | ۳۰/۱۲ | ۲۴/۹  | درصد کاهش | ۴۱/۲۲ | ۳۷/۱۱ | ۴۸/۰۱ |
| (mg/L) D10-EC1  | ۴۹/۲۶ | ۴۰/۱۸ | ۳۱/۶۶ | ۲۶/۶۸ |           | ۴۳/۱۸ | ۳۵/۷۳ | ۴۵/۸۴ |
| (mg/L) D20-EC10 | ۴۳/۱۷ | ۳۳/۹۷ | ۲۶/۲۱ | ۲۰/۹۲ |           | ۳۱/۲۱ | ۳۹/۲۹ | ۵۱/۵۴ |
| (mg/L) D10-EC10 | ۵۱/۸۲ | ۴۲/۱۲ | ۳۳/۰۸ | ۲۷/۸۸ |           | ۱۸/۷۲ | ۳۶/۱۶ | ۴۶/۲  |
| D20-EC14 (mg/L) | ۵۰/۴۶ | ۴۲/۱۱ | ۳۴/۸۷ | ۲۸/۱۸ |           | ۱۶/۵۵ | ۳۰/۹  | ۴۴/۱۵ |
| D10-EC14 (mg/L) | ۴۷/۶۴ | ۴۰/۶۶ | ۳۴/۶۶ | ۲۸/۸  |           | ۱۴/۶۵ | ۲۷/۲۵ | ۳۹/۵۵ |

جدول ۹- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت پتاسیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

| زمان ماند (روز) | ۰      | ۳      | ۷     | ۱۴    |           | ۳     | ۷     | ۱۴    |
|-----------------|--------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| (mg/L) D20-EC1  | ۷۹/۶۴  | ۶۶/۴۱  | ۵۲/۴۷ | ۳۴/۷۹ | درصد کاهش | ۶۱/۱۶ | ۳۴/۱۲ | ۵۶/۳۲ |
| (mg/L) D10-EC1  | ۸۲/۶۷  | ۷۰/۶۴  | ۵۹/۷۳ | ۴۴    |           | ۱۴/۵۵ | ۲۷/۷۵ | ۴۶/۷۸ |
| (mg/L) D20-EC10 | ۱۱۱/۶۲ | ۱۰۱/۴۱ | ۸۹/۳۳ | ۷۵/۳۳ |           | ۹/۱۵  | ۱۹/۹۷ | ۳۲/۵۱ |
| (mg/L) D10-EC10 | ۱۱۳/۳۷ | ۱۰۱/۲۳ | ۹۲/۳۷ | ۷۴/۲۷ |           | ۱۰/۷۱ | ۱۸/۵۲ | ۳۴/۴۹ |
| D20-EC14 (mg/L) | ۹۲/۷۵  | ۸۶/۶۵  | ۷۹/۵۳ | ۷۰/۱۵ |           | ۵۸/۶  | ۱۴/۲۵ | ۲۴/۳۷ |
| D10-EC14 (mg/L) | ۹۷/۱۷  | ۹۲/۷۸  | ۸۵/۱۶ | ۷۷/۹۳ |           | ۴۵/۲۴ | ۱۲/۳۶ | ۱۹/۸  |

## ۴- نتیجه گیری

ار این میزان کاسته شد.

ج- کلسیم در زه آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۴۴

درصد کاهش یافت که به افزایش شوری به مقدار ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن نسبت به بقیه تیمارها حدود ۹ درصد کاهش یافت، اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف شوری مشاهده نشد.

د- منیزیم به میزان ۵۷ درصد در زه آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که با افزایش شوری به مقدار شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن کاهش یافت.

ه- یون نیتراژ به میزان ۴۴ درصد در زه آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که با افزایش شوری به مقدار شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن کاسته شد، اما اختلاف جذب آن در شوری‌های مختلف معنی‌دار نشد.

و- فسفات به میزان ۵۱ درصد در زه آب با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که با افزایش شوری به مقدار ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن نسبت به بقیه تیمارها حدود ۱۰ درصد کاهش یافت.

ز- پتاسیم در زه آب‌های با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر ۵۰ درصد کاهش یافت که با افزایش شوری به مقدار ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن به میزان حدود ۵ درصد کاسته شد.

در نهایت با توجه به عملکرد خوب سیستم وتیور در این پژوهش پیشنهاد می‌شود از این گیاه به عنوان مرحله تکمیل‌کننده تصفیه‌خانه‌ها و یا به صورت ترکیبی با سایر روش‌های تصفیه و

در این پژوهش میزان کاهش شوری و عوامل مغذی زه آب‌های شور توسط گیاه وتیور بررسی شد. نتایج مشاهدات به خوبی گویای مقاومت زیاد گیاه وتیور در برابر شرایط بد محیطی و شوری زیاد است و جذب عناصر آلاینده نیز به خوبی توسط گیاه صورت گرفته است. هم‌چنین تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته گیاه وتیور به دلیل رشد زیاد گیاه با هم تفاوت معنی‌داری از نظر جذب آلاینده‌ها نشان ندادند. محدوده کاهش هدایت الکتریکی در مدت ۱۴ روز در زه آب‌های با سطوح شوری مختلف ۱۴-۱۵/۸۸ در تراکم‌های کشت ۲۰ بوته مشاهده شد. محدوده کاهش سدیم، کلسیم و منیزیم در مدت ۱۴ روز با سطوح شوری مختلف به ترتیب ۱۴/۳۶-۵/۵۹، ۴۱/۶۷-۳۲/۹۴ و ۲۹/۵۱-۵۷/۱۴ درصد در تراکم‌های کشت ۲۰ بوته گزارش شد. طبق مشاهدات از میزان نیتراژ، فسفات و پتاسیم اولیه به ترتیب در محدوده ۴۴/۰۳-۵۱/۵۴-۴۴/۱۵ و ۲۴/۳۷-۵۶/۳۲ درصد در مدت ۱۴ روز با سطوح شوری مختلف کاسته شد. بنابراین، برطبق نتایج به دست آمده بیشترین میزان کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده در طی ۱۴ روز برای کشت ۲۰ بوته گیاه را می‌توان بدین صورت عنوان کرد که:

الف- هدایت الکتریکی در زه آب‌های با شوری ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۱۵ درصد کاهش یافت.

ب- سدیم شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۱۴ درصد کاهش یافت که با افزایش شوری تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر

- Raghimi, M., Seyedkhademi, S., Karimi, E., and Sadeghipour, H.R., (2020), "Facilitated decrease of anions and cations in influent and effluent of sewage treatment plant by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*): The uptake of nitrate, nitrite, ammonium, and phosphate", *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21506-21516.
- Goldberg, K., Peigney, A., Rahal, S., and Boinet, A., (2021), *Water against epidemics*, 7th Edition, Water, Hygiene and Sanitation Barometer, Solidarités International.
- Jayashree, S., Rathinamala, J., and Lakshmanaperumalsamy, P., (2011), "Determination of heavy metal removal efficiency of *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver) using textile wastewater contaminated soil", *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(5), 543-551.
- Keshtkar, A.R., Ahmadi, M.R., Naseri, H.R., Atashi, H., Hamidifar, H., Razavi, S.M., Yazdanpanah, A., Karimpour Reihan, M., and Moazami, N., (2016), "Application of a vetiver system for unconventional water treatment", *Desalination and Water Treatment*, 57(53), 25474-25483.
- Li, J., Fang, X., Yang, M., Tan, W., Zhang, H., Zhang, Y., Li, G., and Wang, H., (2021), "The adsorption properties of functionalization vetiver grass-based activated carbon: The simultaneous adsorption of phosphate and nitrate", *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30), 40544-40554.
- Madani, K., (2014), "Water management in Iran: What is causing the looming crisis?", *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315-328.
- Panja, S., Sarkar, D., and Datta, R., (2020), "Removal of tetracycline and ciprofloxacin from wastewater by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) as a function of nutrient concentrations", *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34951-34965.
- Parnian, A., and Furze, J.N., (2021), "Vertical phytoremediation of wastewater using *Vetiveria zizanioides* L.", *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 64150-64155.
- Qu, X., Alvarez, P.J.J., and Li, Q., (2013), "Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment", *Water Research*, 47(12), 3931-3946.
- Raman, J.K., and Gnansounou, E. (2018), "A review on bioremediation potential of vetiver grass", In: Varjani, S., Gnansounou, E., Gurunathan, B., Pant, D., Zakaria, Z. (eds), *Waste Bioremediation, Energy, Environment, and Sustainability*, Springer, Singapore, 127-140.
- Salt, D.E., Smith, R.D., and Raskin, I., (1998), "Phytoremediation", *Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 643-668.
- Seroja, R., Effendi, H., and Hariyadi, S., (2018), "Tofu wastewater treatment using vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) and zeliac", *Applied Water Science*, 8(1), 1-6.
- Suelee, A.L., Hasan, S.N.M.S., Kusin, F.M., Yusuff, F.M., and Ibrahim, Z.Z., (2017), "Phytoremediation
- بهسازی زه‌آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مدیریتی کارآمد و دوست‌دار محیط‌زیست برای کاهش تنش آبی استفاده شود.
- ### ۵- سپاسگزاری
- از دانشگاه صنعتی اصفهان برای حمایت مالی و تدارکاتی از انجام این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می‌شود.
- ### ۶- مراجع
- عابدی کوپایی، ج.، جمالیان، م.ع.، و درافشان، م.م.، (۱۳۹۹)، "بهبود کیفیت شیرابه محل دفن پسماند شهر اصفهان به‌روش گیاه‌پالایی با استفاده از گیاهان وتیور و نی به‌منظور استفاده در آبیاری فضای سبز"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۳)، ۱۰۱-۱۱۱.
- عابدی کوپایی، ج.، حکیمیان، م.ح.، معتمدی، ا.، و قدس مطهری، ا.، (۱۴۰۰)، "عملکرد سیستم وتیور در تصفیه تکمیلی پساب شهری"، *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۱(۲)، ۲۷۵-۲۹۰.
- عابدی، ج.، نیریزی، س.، ابراهیمی، ن.، ماهرانی، م.، مهرداد، ن.، خالدی، ه.، و چراغی، ع.، (۱۳۸۱)، "استفاده از آب‌شور در کشاورزی پایدار"، *کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران*، ۲۲۴.
- نیریزی، س.، (۱۳۷۷)، "نگرشی بر استفاده از آب‌های شور و لب شور در کشت آبی"، *مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران*.
- APHA, (1998), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association. Washington DC.
- Banerjee, R., Goswami, P., Pathak, K., and Mukherjee, A., (2016), "Vetiver grass: An environment clean-up tool for heavy metal contaminated iron ore mine-soil", *Ecological Engineering*, 90(1), 25-34.
- Chua, L.H.C., Tan, S.B.K., Sim, C.H., and Goyal, M.K., (2012), "Treatment of baseflow from an urban catchment by a floating wetland system", *Ecological Engineering*, 49(1), 170-180.
- Davamani, V., Indhu Parameshwari, C., Arulmani, S., Ezra John, J., and Poornima, R., (2021), "Hydroponic phytoremediation of paperboard mill wastewater by using vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 1-8.
- Ghars, M.A., Debez, A., and Abdelly, C., (2009), "Interaction between salinity and original habitat during germination of the annual seashore Halophyte *Cakile Maritima*", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40 (19-20), 3170-3180.
- Gholipour, M., Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A.,

- ptential of Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for treatment of metal-contaminated water", *Water, Air, and Soil Pollution*, 228 (4), 1-15.
- Truong, P., and Hart, B.H.M.E.C., (2001), "Vetiver system for wastewater treatment", Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok.
- UN Water, (2019), *WHO and UNICEF launch updated estimates for water, sanitation and hygiene*, United Nations Water.
- Valderrama, A., Tapia, J., Peñailillo, P., and Carvajal, D.E., (2013), "Water phytoremediation of cadmium and copper using *Azolla filiculoides* Lam. in a hydroponic system", *Water and Environment Journal*, 27(3), 293-300.



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



جناب آقای دکتر محمدرضا کاویانپور

استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی و

رئیس موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

موسسه را به خصوص در زمینه آب و و فاضلاب بیان کنید.

- علی‌رغم جایگاه و اهمیت پژوهش در این حوزه و نقش آن در حل مشکل بحران آبی و موثر در حفاظت کیفی و کمی منابع آبی متأسفانه مرکز تحقیقات آب و فاضلاب مورد توجه قرار نگرفته بود و لذا در اوایل دوران پذیرش مسئولیت در موسسه تحقیقات آب سعی شد که مرکز تحقیقات آبفا که تا پیش از مسئولیت اینجانب دچار ایستایی و روزمرگی شده بود، فعالیت خود را از نو آغاز کند و با جذب نیروهای متخصص در این زمینه و به‌کارگیری آن‌ها در این مرکز برنامه‌های خود را توسعه دهد. لذا محیط فیزیکی مناسب به این مرکز اختصاص یافت و برای افزایش بازدهی فعالیت‌های این مرکز، آزمایشگاه شیمی نیز در زیر مجموعه آن مرکز قرار گرفت.

هم‌چنین برای اجرایی نمودن پروژه‌های تحقیقاتی مرکز به‌منظور ارائه نتایج کاربردی فضایی مناسب برای راه‌اندازی پایلوت‌های آزمایشگاهی در این حوزه اختصاص یافت. طراحی این فضا با همکاری امور مهندسی و پشتیبانی موسسه انجام شد. هم‌چنین در طول تصدی اینجانب دو نقشه راه فناوری نمک‌زدایی و تصفیه فاضلاب به اتمام رسید و حسن انجام کار از کارفرما دریافت شد. امید است فاز اجرایی آن عملیاتی شود. مذاکرات مستمری نیز با شرکت مهندسی آب و فاضلاب صورت گرفته و امید است برنامه پژوهش در این حوزه توسط مرکز مطالعه و جمع‌بندی شود. امید است با گسترش فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی خود در این حوزه این مرکز به یک مرکز تخصصی و معتبر علمی کشور تبدیل شود.

**\* به‌نظر شما موسسه تحقیقات آب و انجمن آب و فاضلاب چه تعاملاتی می‌توانند با یکدیگر داشته باشند؟ چرا تفاهم‌نامه همکاری فی مابین که آخر سال ۱۳۹۸ امضا شده عملیاتی نشد؟**

- با توجه به اساسنامه انجمن آب و فاضلاب ایران و اهمیت روز افزون تصفیه آب و فاضلاب، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب موسسه و این انجمن می‌توانند در شناخت نیازهای صنعت در این حوزه و انجام تحقیقات علمی و پایلوتی (با توجه به وجود فضای مناسب در موسسه) همکاری گسترده داشته باشند. از طرفی با توجه به فضای فیزیکی مناسب موسسه، انجمن و موسسه می‌توانند میزگرد، سمینار و سایر رویدادهای علمی مشترک برگزار نمایند. حتی انجمن می‌تواند از امکانات موسسه در نشر کتاب و نشریات علمی و تحقیقات علمی نیز استفاده کند. در حقیقت می‌توان گفت که انجمن و مرکز تحقیقات آبفا با انجام طرح‌های پژوهشی می‌توانند پاسخگوی بسیاری از نیازهای اساسی پژوهش در زمینه

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

- اینجانب تحصیلات کارشناسی و کارشناسی ارشد را در دانشگاه صنعتی امیرکبیر گذرانده و تحصیلات دکتری در دانشگاه یومیس‌ت منچستر انگلستان در رشته مهندسی عمران آب در سال ۱۳۷۶ به پایان رساندم. از همان سال به‌عنوان عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در آن مجموعه همکاری نموده و اکنون استاد تمام دانشکده مهندسی عمران این دانشگاه هستم.

زمینه‌های فعالیت اینجانب در حوزه مهندسی عمران آب، سازه‌های هیدرولیکی، منابع آب، مدل‌سازی‌های فیزیکی، عددی، مفهومی، مدیریت و مدل‌سازی سیلاب را دربر گرفته است. در همین راستا تعداد ۱۴۰ مورد راهنمایی پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد، تعداد ۱۷ مورد راهنمایی پایان‌نامه‌های دکتری تخصصی، تعداد ۲۰۰ مورد مقاله علمی منتشرشده به زبان فارسی، تعداد ۱۲۳ مورد مقاله علمی منتشرشده به زبان انگلیسی انجام پذیرفته است.

هم‌چنین در ۲۰ مورد پروژه‌های فنی اجراشده و یا در دست اجرا مجری اصلی و در ۳۵ مورد به‌عنوان مشاور عالی در زمینه مهندسی عمران آب همکاری داشته‌ام. هم‌اکنون نیز به‌عنوان رئیس موسسه تحقیقات آب و مأمور از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی انجام‌وظیفه می‌نمایم.

**\* با توجه به مسئولیت ریاست موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو لطفاً مختصری از وظایف و دستاوردهای این**



تصفیه آب و فاضلاب باشند و با حمایت از مبتکران و نواندیشان و اقشار فرهیخته دانشگاهی در عرصه پژوهش‌های نوین کاربردی پیشقدم باشند.

تا جایی که بنده اطلاع دارم نماینده‌هایی از مرکز تحقیقات آبفا با جناب آقای دکتر تابش رئیس هیئت مدیره انجمن جلسه‌ای داشته‌اند و پیرامون عملیاتی نمودن تفاهم‌نامه نیز صحبت شده بود. اما به نظر می‌رسد با توجه به شرایط مرکز تحقیقات آبفا در آن سال و نبود حمایت و عدم دانش کافی به اهمیت موضوع، این تفاهم‌نامه متأسفانه به مرحله اجرایی نرسید. اما مهم این است که در حال حاضر موسسه با جدیت این مسئله را دنبال می‌کند و اهمیت موضوع را درک کرده و هر کمکی در جهت ارتقای دانش و جایگاه این صنعت انجام می‌دهد.

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

– مستحضرید که مقوله آب و فاضلاب اگرچه باید به صورت یکپارچه بررسی شود ولی در بسیاری از موارد عملاً موضوعاتی مجزا هستند. یکی از مهم‌ترین موضوعات در خصوص آب، تامین آب آشامیدنی سالم و بهداشتی با توجه به استانداردهای ملی و بین‌المللی در کشور و حفظ منابع آبی کشور (با توجه به کاهش آب تجدید پذیر کشور در سالهای اخیر) است.

از آن‌جا که در مرکز تحقیقات آب و فاضلاب در سال‌های پیش نقشه راه تصفیه فاضلاب تدوین و ارایه شد، چالش‌های این صنعت به طور دقیق و کارشناسی و با برگزاری چندین جلسه در سطوح مختلف با مدیران، متخصصان و ذی‌نفعان در این حوزه احصا شد. می‌توان به طور خلاصه به بهره‌گیری کم از فناوری‌های نوین در تصفیه فاضلاب، پردازش لجن در تصفیه‌خانه‌ها، مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌ها، بهره‌برداری نادرست از تصفیه‌خانه‌ها، نبود محصولات با کیفیت ملی مرتبط در تصفیه‌خانه‌ها، نبود اعتبارات لازم در توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، نبود استانداردهای به‌روز در پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها و معضلات محیط‌زیستی وابسته به آن و عدم تجهیز تصفیه‌خانه‌ها به پایش آنلاین و نبود طراحی‌های بومی در سیستم‌ها و عدم توجه به پساب در به‌کارگیری آن در کشاورزی و صنعت اشاره نمود. در کنار این‌ها مسایل فرهنگی و آموزشی را نیز نباید نادیده گرفت.

### \* به نظر شما آیا طرح‌های پرهزینه‌ای که این روزها در برنامه وزارت نیرو قرار گرفته از جمله انتقال آب

### بین‌حوضه‌ای، شیرین‌سازی آب دریا و انتقال به فلات مرکزی و آب‌های ژرف، جزو اولویت‌های اصلی امروز این بخش آب هستند؟

– به‌رحال یکی از منابع مهم در عرصه تامین آب در کشور بهره‌گیری از منابع آب نامتعارف هست که در حال حاضر در بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به‌منظور حفظ منابع آبی خود در حال اجرا است. با رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، مدیریت ناکارآمد آب و بهره‌گیری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی ناچار هستیم به سمت استفاده از آب‌های نامتعارف حرکت کنیم. اما در عین حال مشخص کردن اولویت‌ها و پرداختن به ضعف‌ها و توجه به فرصت‌ها و تهدیدها در این مقوله امری بسیار مهم و ضروری است که وزارت نیرو در این سمت و سو تلاش‌های فراوانی کرده و می‌کند.

برای این که اهمیت موضوع بیشتر روشن شود در کشوری مثل سنگاپور، در حال حاضر ۵۵ درصد تقاضای آب از منابع آب نامتعارف تامین می‌شود و پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۶۰ این میزان به ۷۰ درصد برسد. در منطقه منا پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۴۰ میزان تولید آب شیرین از نمک‌زدایی ۱۳ برابر بیشتر از میزات تولیدی در سال ۲۰۱۴ باشد. در کنار این موارد البته توجه به بهینه‌سازی مصرف و افزایش بهره‌وری نیز حائز اهمیت است.

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

– امروزه بر کسی پوشیده نیست که مدیریت تقاضا خیلی مهم‌تر از مدیریت عرضه است. اما باید توجه کرد که مدیریت تقاضا یعنی توجه به مصرف و یا اتلاف آب و یا به عبارتی هر چیزی که راندمان مصرف را افزایش بدهد و یا از آلوده شدن آب جلوگیری کند در این مقوله گنجانده می‌شود. حالا ما چه کار کرده‌ایم؟ ما در این زمینه کم کار نکرده‌ایم. باید دید کجا بوده‌ایم و در حال حاضر کجا هستیم. شاید در مقایسه با کشورهای پیشرفته اروپایی عقب هستیم اما نسبت به جایگاهی که بوده‌ایم پیشرفت‌هایی هم حاصل شده. برای مثال بسیاری از استانداردهای ملی تجهیزات خانگی آب بر تدوین شده و در برخی جاها اجرا هم شده است. از شیرآلات بهداشتی تا ماشین لباس‌شویی و یا فلاش تانک‌ها. شما فرض کنید که فلاش تانک‌های قدیمی گنجایش ۱۵ لیتری داشته و با تدوین استانداردها به ۶ لیتر رسیده و با فرضیاتی که می‌شود در این باره انجام داد در یک خانواده ۴ نفری در روز به‌ازای هر نفر، ۴۶ درصد آب صرفه‌جویی می‌شود. در حال حاضر این استانداردها در فلاش

درگیر کرد.

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

- همان‌طور که گفتیم یکی از چالش‌های اساسی در امر تصفیه فاضلاب عدم توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. شاید یکی از عوامل مهم در عدم توسعه، نبود اعتبارات مالی لازم در این خصوص است. همچنین نبود زیرساخت‌های لازم در حمایت از بخش خصوصی در این حوزه می‌تواند یکی از موانع در گسترش طرح‌های شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب باشد. شاید اگر نظام‌نامه‌ای تدوین شود تا به‌طور کامل مالکیت پساب را به تصفیه‌خانه سپرده و دست بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری را برای فروش پساب و استحصال درآمد برای بهره‌برداری بهینه باز بگذارد، در گسترش طرح‌های مرتبط گامی موثر باشد.

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

- یکی از دلایل مهم در فراگیر نبودن بازچرخانی آب، عدم وجود آمار و اطلاعات مفید در این زمینه است. بدین معنا که اطلاعات پساب تولیدی در بخش‌های مختلف، براساس تخمین و ضرایب تبدیل آب برآورد شده است و اندازه‌گیری صحیح و دقیقی در مورد میزان پساب تولیدی وجود ندارد. پایش منسجم برای تعیین کیفیت آب ورودی و پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ناکافی است. مطالعات تخصصی براساس نوع پساب خروجی، کیفیت پساب و نوع صنعت و نوع کشت در مناطق مختلف انجام نشده تا بتوان به‌طور موثر از پساب در کشاورزی و صنعت استفاده کرد.

از طرفی تعرفه پساب با تامین هزینه‌های بهره‌برداری و ارتقای تصفیه‌خانه‌ها متناسب نیست. زیرساخت‌های لازم در این موضوع هم وجود ندارد. لزوم استفاده از آب خاکستری در ساختمان‌های بلندمرتبه و مسکونی بارها مورد توجه قرار گرفته، استانداردها نیز تدوین شده اما جز در موارد بسیار کم در کشور عملیاتی نشده است. این موضوع به همکاری بسیاری از نهادها نیاز دارد. مثلاً برای اجرایی نمودن تصفیه آب خاکستری در منازل، همکاری بین مقامات و ارگان‌های مختلف از جمله شهرداری، محیط‌زیست، شورای شهر، نظام مهندسی ساختمان، شرکت‌های آب و فاضلاب

تانک‌ها اجرا می‌شود. اما باید اذعان نمود که در این زمینه راه بس طولانی تا وضعیت مطلوب باقی‌مانده و تلاش و همکاری تمامی ارگان‌های ذی‌ربط را نیاز دارد. به‌هرحال کاهش فشار در شبکه، نوع سیستم توزیع آب در شهر و لوله‌کشی در منازل و استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف آب همه از عوامل مدیریت تقاضا است که باید با ابزار مالی، قانونی و فنی و آموزش همگانی پیگیری شود. شاید کمبود درک مفاهیم و دانش در این عرصه و پایین بودن قابلیت پذیرش جامعه و کمبود آموزش برای اجرای فعالیت‌های مدیریت تقاضا و عدم همکاری‌های لازم بین نهادهای اجرایی یکی از مهم‌ترین عوامل در موانع اجرایی مدیریت تقاضا بوده است. توجه به مباحث اقتصادی، بخصوص بحث اقتصاد آب هم حتما کمک زیادی به رفع معضل مصرف خواهد نمود.

**\* چرا همواره درخصوص کیفیت آب تامین شده دغدغه‌هایی در میان مردم وجود دارد؟ برای اطمینان یافتن مردم از ایمنی و کیفیت آب چه اقداماتی باید انجام شود؟**

- همان‌طور که می‌دانید آب آلوده برای انتقال انواع بیماری‌ها و امراض در انسان توانایی زیادی دارد و طبق گزارشات سازمان بهداشت جهانی سالانه ۴۸۵ هزار نفر مرگ ناشی از بیماری‌های گوارشی حاصل از آب آلوده وجود دارد. پس طبیعی است که دغدغه‌های فراوانی در میان مردم در این موضوع وجود داشته باشد. در کشور ما نیز تامین آب آشامیدنی بر عهده شرکت‌های آب و فاضلاب زیر نظر وزارت نیرو است و نظارت بر کیفیت آب آشامیدنی از زمان آگیری تا محل مصرف بر عهده وزارت بهداشت بوده و این وظیفه در استان‌ها به معاونت بهداشتی دانشگاه‌های علوم پزشکی محول شده است. در این راستا در سال ۱۳۹۲ راهنما و دستورالعملی جامع (مربوط به دانشگاه‌های علوم پزشکی) مربوط به نظارت بر کیفیت آب در سامانه‌های تامین آب آشامیدنی برای کلیه ناظرین سلامت آب تدوین شد که در صورت اجرا ایمنی و سلامتی آب را در نقطه مصرف تضمین می‌کند. در این مقوله کلرسنجی و تعیین میزان کلر باقی‌مانده آزاد آب، کنترل‌های میکروبی و آزمایشات شیمیایی، بازدید از منابع و مخازن آب آشامیدنی و شبکه‌های آبرسانی و ... انجام می‌شود. به‌نظر می‌رسد با آگاهی دادن به مردم از طریق رسانه‌های عمومی و برگزاری نمایشگاه‌ها، سمینارها و ... و برگزاری رویدادهای فرهنگی در پارک‌ها و مدارس می‌توان جمع بیشتری از مردم را مطلع نمود. در حقیقت با ایجاد برنامه‌های سلامت آب، تامین کننده و ذی‌نفعان دیگر مثل مصرف کنندگان را در ایجاد و اجرای برنامه

لازم بوده و همچنین مستلزم تخصیص منابع کافی از سوی تصمیم‌گیران مربوطه برای نظارت و اجرای آن است. یکی دیگر از دلایل مهم در این زمینه، عدم حمایت کافی در ایجاد بازار تقاضا است. به نظر می‌رسد مباحث مرتبط با اقتصاد آب و بازاریابی در تخصیص منابع آبی به صنایع و دیگر ساختارهای مصرفی می‌تواند توجه به این بخش را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

**\* 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؟**

همان‌طور که مستحضرید هر ساله شرکت‌های آب و فاضلاب سراسر کشور اولویت‌های تحقیقاتی خود را به صورت سراسری منتشر می‌کنند و با گرفتن پروپوزال و طی شدن مراحل اداری و با توجه به بودجه خود پروژه را انجام می‌دهند. تعیین اولویت‌ها، فرایندی مهم در مدیریت پژوهش در این حوزه به شمار می‌رود که اهمیت آن به‌ویژه در زمانی که منابع مالی و انسانی محدود است، دو چندان می‌شود. توسعه و تعیین اولویت‌ها البته فقط به علاقه محققین بستگی ندارد و این اولویت‌ها وقتی کاربردی خواهند شد که علاقه در کنار نیازها قرار بگیرند. با توجه به این که صنعت آب و فاضلاب متناسب با شرایط خاص طبیعی، اقتصادی، اجتماعی هر منطقه‌ای با چالش‌های متفاوت روبرو است، مسایل و مشکلات در هر منطقه نیز راه‌حل‌های جداگانه‌ای را می‌طلبد. همین امر موجب می‌شود که محققین مجبور شوند پژوهش‌های خود را در حوزه خاص با چالش‌های هر منطقه متمرکز سازند. در همین راستا مرکز تحقیقات آب و فاضلاب با ارسال یک پروپوزال به شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور این موضوع را بررسی و پیشنهاد نموده است. برای جلوگیری از موازی کاری و اقدام برای انسجام پروژه‌های تحقیقاتی کشور در این حوزه اولویت‌های تحقیقاتی در هر منطقه و استان باید شناسایی شود و نقشه راه تعیین اولویت‌های پژوهشی و فناوری سالیانه شرکت‌های آب و فاضلاب کشور تدوین شود. بدین‌وسیله مسیر پژوهش‌های آب و فاضلاب در راستای اجرایی کردن طرح‌ها جهت‌دار شده و پژوهش‌ها در این حوزه با توجه به شرایط مختلف اقتصادی، اجتماعی و ... یکپارچه می‌شود.

**\* به نظر 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 به کار گرفته‌اند؟ چه قدر این شرکت‌ها توانسته‌اند داده‌های مورد نیاز طرح‌های تحقیقاتی دانشگاهی را تامین کنند؟

شواهد نشان می‌دهد که ارتباط صنعت و دانشگاه در هر حوزه می‌تواند تاثیر قابل توجهی در اقتصاد کشور داشته باشد و برای به روز ماندن صنعت آب و فاضلاب هم این صنعت ناچار هست از ظرفیت‌های علمی و انسانی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی استفاده کند. در چند سال اخیر حمایت‌هایی که از پایان‌نامه‌ها توسط شرکت‌های آب و فاضلاب شده است بر این امر تاکید می‌کند. کما این که در این موضوع تفاهم‌نامه‌هایی هم بین شرکت‌های آب و فاضلاب و دانشگاه‌ها در سرتاسر کشور منعقد شده است. از طرفی در کمیته تحقیقات شرکت‌های آب و فاضلاب اعضای هیئت علمی همان استان‌ها حضور دارند. همه این موارد می‌تواند بر بهره‌وری صنعت آب و فاضلاب تاثیر بگذارد و آن را افزایش دهد. حالا این که چه قدر شرکت‌های آب و فاضلاب می‌توانند از تحقیقات دانشگاهی بهره ببرند بستگی به وجود اعتبارات مالی و زیرساخت‌های لازم در این عرصه دارد که به طور قطع می‌توان گفت اگر شناخت و جهت‌دهی اولویت‌های تحقیقاتی در شرکت‌های آب و فاضلاب به درستی انجام شود، رفع مشکلات شرکت‌ها توسط تحقیقات دانشگاهی با درصد بالایی انجام خواهد گرفت. البته در کنار این موضوع نقش انجمن در ساماندهی و هدایت شرکت‌ها و مراکز دانشگاهی به حل موضوعات هدفمند نیز کلید مهمی در معضلات مرتبط است.

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

کاربردی شدن نتایج تحقیقات دانشگاهی و پایان‌نامه‌ها یک چالش کشور محسوب می‌شود. هدف بزرگ دانشگاه در حال حاضر همین مطلب یعنی کاربردی شدن نتایج تحقیقات دانشگاهی هست. چرا که دانش وقتی ارزش اقتصادی دارد که منجر به بهبود در عرضه تولیدات بشود. مطمئناً روابط موثر بین صنعت و دانشگاه، امکانات و در نهایت حمایت از آن‌ها با توجه به سیاست‌ها و قوانین موجود بیشترین تاثیر را بر تجاری‌سازی تحقیقات دانشگاهی خواهد گذاشت. البته ناگفته نماند ایجاد مهارت‌های شغلی مناسب و توانمندسازی دانشجویان و استادان دانشگاه در جهت توسعه ملی و حل مشکلات جامعه هم بی‌تاثیر نخواهد بود و می‌تواند در

کارآفرینی در صنایع مختلف راه‌گشا باشد.

متأسفانه در کشور ما آمار و اطلاعات و یا به عبارتی داده‌های واقعی به لحاظ در نظر گرفتن مسایل سیاسی، امنیتی و اجتماعی خیلی در دسترس نیست و همین امر باعث شده است که انتشار داده‌های غیرواقعی به سهولت انجام شود. اما با ایجاد تعاملات درست و منطقی بین صنایع مختلف و دانشگاه این امر می‌تواند به درستی انجام شود و دانشجویان و اساتید با حفظ موازین اخلاقی داده‌های واقعی را به کار گرفته و راه‌حل‌های مفیدی نیز ارائه دهند. ذکر این نکته ضروری است که موضوع نباید صرفاً به داده ختم شود. مشکلات صنعت آب و فاضلاب به توسعه روش‌ها و فناوری‌های نوین براساس شرایط کشور نیاز دارد و لذا جهت‌دهی در تحقیقات دانشگاهی و پرهیز از پژوهش‌های تکراری باید در دستور کار قرارگیرد.

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

از نظر بنده و با توجه به تجربیات خود، می‌توانم بگویم که انجمن آب و فاضلاب ایران یکی از انجمن‌های علمی فعال در کشور است که با برگزاری کارگاه‌های علمی، مسابقات و وبینارهای مختلف و همکاری موثر در برگزاری سمینارهای مرتبط توانسته در ارتقای دانش و توسعه در این حوزه به‌خوبی عمل نماید. سایت این انجمن به‌خوبی فعال است و تمامی رویدادها و اخبار مرتبط را انعکاس می‌دهد و از همه مهم‌تر این‌که این انجمن تقریباً در تمامی شبکه‌های اجتماعی هم فعال است. مطمئناً با ادامه فعالیت‌های خود و همچنین توسعه فعالیت‌ها در این حوزه و با هم‌اندیشی متخصصان، دانشجویان و اساتید دانشگاه‌ها می‌تواند نقش به‌سزایی در پژوهش، تولید و خلق اندیشه در این حوزه داشته باشد. همکاری سازمان یافته و مستمر با مرکز تحقیقات آفا در هدایت نیازها و ظرفیت‌های انسانی تاثیر قابل توجهی بر کیفیت فعالیت‌های این دو نهاد دارد.

### \* از آن‌جا که جنابعالی در کنگره سال ۱۳۹۹ انجمن مشارکت داشتید، لطفاً تاثیر این‌گونه برنامه‌های انجمن در تقدیر از پیشکسوتان، پایان‌نامه‌های برتر، مقالات برتر و غیره را بیان فرمایید.

یکی از ضعف‌های عمده کشور در عدم همبستگی بین نخبگان دولتی و غیردولتی و حتی نخبگان و مردم و عدم آگاهی از فعالیت‌های آن‌ها است. مسلماً معرفی این افراد در قالب

پیشکسوت و یا محقق برتر و ... می‌تواند جایگاه و نقش پژوهش و تحقیقات کاربردی در جامعه را ارتقا بخشد و ضعف وفاق بین ذی‌نفعان و محققان و متخصصان را در این صنعت بیش از پیش کمرنگ کند.

معرفی پایان‌نامه‌های برتر در این حوزه می‌تواند انگیزه مثبت در بین دانشجویان ایجاد کند و حتی دانشجویان را به انتخاب موضوع پایان‌نامه موثر در رفع مشکلات در این صنعت نیز ترغیب کند.

### \* با توجه به این‌که جنابعالی سردبیر یک نشریه علمی هستید، لطفاً نظر خود را در مورد نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (وابسته به انجمن آب و فاضلاب ایران) بیان کنید. آیا این نشریه توانسته است به رسالت خود برای ارتباط متقابل بین دانشگاه و صنعت دست یابد؟

ظاهراً این نشریه در سال ۱۴۰۰ موفق شده است که رتبه الف را کسب کند و این نشان از یک قدم مثبت و رو به جلو است و بیانگر فعالیت مثبت علمی این نشریه است. البته به نظر من نشریات علمی پژوهشی دارای زبان دانشگاهی هست و خیلی نمی‌تواند در برقراری ارتباط میان صنعت و دانشگاه کمک کند. این فقط مختص این نشریه نیست و سایر نشریه‌های علمی کشور را هم شامل می‌شود. ولی این نشریه با قراردادن یک قسمت به‌عنوان پیشگفتار و درج مطالب مفید علمی، تجربی و سودمند برای اساتید، متخصصان این حوزه در صنعت و حتی مدیران و کارشناسان بدنه دولت یک گام مهم در ارتباط متقابل دانشگاه و صنعت برداشته است که امیدواریم کماکان ادامه پیدا کند و حتی بیشتر از این نیز بشود. باید به نقطه‌ای برسیم که هر فردی بخواهد با یکی از دستاوردهای علمی در این حوزه آشنا بشود و بخواهد ببیند چه محصول و دستاوردهایی در این صنعت وجود دارد به نشریات علمی مراجعه کند. یکی از توصیه‌های من که به‌نظرم این نشریه می‌تواند آن را عملی سازد، تلاش در جهت ارتقای نام ایران اسلامی از طریق پیش رفتن در عرصه بین‌الملل است. این به‌معنی فراموش کردن نیازهای کشور نیست بلکه تلاش در جهت حل موضوعات اساسی صنعت و عرضه آن در دید جهانیان است که تاثیرگذاری مجله را ارتقا می‌بخشد.

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

انجمن علمی یکی از زیربناهای توسعه و رشد هر حوزه و صنعت

در این حوزه شود.

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

- یکی از مسائل مهم در بحث تحقیقات کشور، عدم پیوند قوی بین عرضه و تقاضا است. تدوین نقشه راه توسعه صنعت آب و فاضلاب و ارایه پژوهش‌های کاربردی برای رفع نیازها و چالش‌های اساسی استخراج شده از نقشه راه و سپس انتقال این برنامه‌ها به دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی مناسب و مرتبط با هر موضوع، کلید واژه رفع معضل دیرینه ارتباط صنعت و دانشگاه است. مطمئناً اگر صنعت دانشگاه‌ها را راهگشا بداند، منابع را نیز به سمت آن سرازیر خواهد نمود. دانشگاه‌ها هم اگر نظام فکری خود را در راستای این برنامه‌ها متمرکز نمایند سرشار از منابع خواهند شد. منفعتی که اقتصادی نیست بلکه دعای خیر یک ملت بزرگ را به دنبال دارد که از کیفیت منابع هم‌چون آب و محیط‌زیست سالم برخوردار شده است. مرکز تحقیقات آب و فاضلاب موسسه تحقیقات آب و انجمن آب و فاضلاب باید در کنار یکدیگر و به صورت منسجم و سازمان‌یافته همکاری و همفکری نمایند تا این پیوند بین دانشگاهیان و صنعت را جامعه عمل ببوشانند. شرایط خوبی بر هر دو مجموعه از حیث اراده و ساختار فکری حاکم است، باید از آن بهره برد.

محسوب می‌شود. بدون شک ارتباط متقابل و موثر بین ارگان‌های مختلف (مرتبط با صنعت آب و فاضلاب) با انجمن در ارتقا و پیشبرد دانش آب و فاضلاب موثر خواهد بود. دانشگاه‌ها و اساتید با برگزاری وبینارها و کارگاه‌های علمی و وزارت نیرو با بهره‌گیری از تخصص اعضای انجمن در انجام و مشاوره در پروژه‌های تحقیقاتی و کاربردی شرکت‌های ذی‌ربط خود باید از پتانسیل‌های این انجمن استفاده نمایند. موسسه تحقیقات آب هم نیز بر خود واجب می‌داند تا از این ظرفیت برای رفع مشکلات کشور استفاده کند. این پل ارتباطی بین فرهیختگان دانشگاهی و صنعت را ارج خواهیم داشت و نهایت استفاده را خواهیم برد.

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

- از آن‌جا که صنعت آب و فاضلاب دارای بخش‌های مختلفی از جمله کیفیت، تاسیسات، فرایند، اقتصاد، و موضوعات اجتماعی هست خیلی خوب است که این انجمن بتواند گروه‌های تخصصی مختلفی با این عناوین تشکیل بدهد و از اساتید و متخصصان هر گروه به عنوان مسئول کمیته و گروه دعوت به همکاری و هم‌اندیشی کند. چنان‌چه این گروه‌های تخصصی تشکیل شود هر گروه مختص یک بحث تخصصی خواهد شد و مطمئناً کارایی انجمن بیشتر از پیش خواهد شد. شاید اگر روابط بین‌الملل در این حوزه توسط انجمن بیشتر شود و این انجمن بتواند پل ارتباطی دانشگاه‌های خارج کشور و ایران شود و در انتقال علم و فناوری‌های نوین در این حوزه پیش‌قدم شده و این فناوری‌ها را به متخصصان و ذی‌نفعان معرفی کند در توسعه دانش آبفا نقش بسیار به‌سزایی خواهد داشت. در حقیقت این انجمن با تقویت دیپلماسی آب و فاضلاب می‌تواند در ایجاد و تقویت نهادهای منطقه‌ای در این حوزه تلاش گسترده داشته باشد و از این طریق مشارکت و همکاری‌های هدفمند در سطح منطقه‌ای و بین‌المللی جلب کند. این انجمن هم‌چنین می‌تواند با بهره‌گیری از فرصت‌ها و مشوق‌های بین‌المللی در این صنعت انتقال و توسعه فناوری‌ها را به کشور و با همکاری سایر نهادهای مرتبط ملی هموار کند. یکی از چالش‌های مهم در این صنعت عدم بومی‌سازی در طراحی و فناوری‌های مرتبط است که انجمن می‌تواند مطالعات و تحقیقات علمی را در این عرصه ارتقا دهد و با تعریف مسئله گامی موثر در این راستا بردارد.

این انجمن هم‌چنین می‌تواند با انجمن مطالعات درسی ایران همکاری داشته باشد و از این طریق بسیاری از آموزش‌های لازم را در قالب درس در مدارس ارائه نماید و موجب ارتقای فرهنگ





نشست تخصصی بازننگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران  
(برگزار شده در سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۴ تا ۶ آذرماه ۱۳۹۹، دانشگاه شیراز)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/ISgM7?playlist=31219788>



اعضای نشست:

دکتر مسعود تجریشی (استاد دانشگاه صنعتی شریف و معاون سازمان حفاظت محیط زیست)

دکتر ناصر طالب بیدختی (استاد دانشگاه شیراز و مدیر جلسه)

آقای مهندس فتحی (کارشناس ارشد سازمان حفاظت محیط زیست)

دکتر ایوب کریمی جشنی (دانشیار دانشگاه شیراز)

مهندس اعظم کوشیار واقفی (مدیر دفتر نظارت و کنترل کیفیت آب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)

دکتر علی مریدی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی و مدیرکل دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست)

دکتر سیمین ناصری (استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران)

دکتر حسین هاشمی (دانشیار دانشگاه شهید بهشتی)

هست. من شاخص یا معیار را یک غلطی می دانم که بعد از ورود  
آلاینده به محیط اثر سوئی را بر آن وارد می کند و اگر من این  
معیار را به یک عددی تبدیل کنم که به لحاظ قانونی برای ورود  
آلاینده به محیط محدودیت ایجاد کند به آن استاندارد می گویم.  
پس این تعریفی هست که وجود دارد. حالا سؤال این هست که  
برای نیل به چه هدفی، اگر من آب را می خواهم برای کشاورزی  
استفاده کنم یا شرب، آیا این معیار و استاندارد من باید یکی باشد؟  
که براساس نوع هدف می تواند این اعداد تغییر کنند. به اعتقاد من  
انتخاب مقدار عددی استاندارد باید براساس سه مولفه صورت  
بپذیرد، یکی به لحاظ فنی من بتوانم به آن دست پیدا کنم، در  
گذشته دور ما فقط کلرزی برای ضدعفونی کردن داشتیم و وقتی  
که کلر را داشتیم نمی آمدم بگویم کلر بد است یا حد و حدودی



دکتر تجریشی:

بسم الله الرحمن الرحيم، من هم خدمت سرور عزیز و گرامی، برادر  
عزیزم جناب آقای دکتر بیدختی سلام عرض می کنم و خدمت  
همه عزیزان. من سعی می کنم در مدتی که عزیزان اشاره کردند  
بیشتر از بعد نگاه سازمانی به موضوع نگاه کنم تا این که برگردم از  
لحاظ علمی. من سعی کردم هفت موضوع را به آن اشاره کنم.  
اولین سوال این هست که چه تفاوتی بین شاخص و استاندارد

می‌دانند، ۴۰ تا ۳۰ با یک قطره می‌تواند این عدد تغییر پیدا کند و یک‌بار در سه ماه هم اندازه‌گیری می‌کنیم و اگر بگوییم BOD ۳۵ بوده و آلاینده هست، یک درصد فروشش را باید بدهد به دولت. بنابراین دیدن احتمال وقوع و تکرارش و این‌که این اعدادی که انتخاب می‌کنیم چقدر می‌تواند برای صنعت مشکلات ایجاد کند، این از جمله مواردی هست که در عمل باید به آن توجه جدی شود، چون به‌هرحال مردم را دچار مشکل می‌کند و می‌تواند برای محیط هم متفاوت باشد. من سعی کردم در مهلت مقرر نکاتی که فکر می‌کردم مهم هست را خدمت عزیزان ارائه کنم. من در خدمتتان هستم.



دکتر هاشمی:

توضیحاتی پیرامون استاندارد کیفیت آب‌های ایران و شاخص کیفیت منابع آب ایران برایتان خواهم داشت. پیشینه این مستند به سال ۱۳۸۲ برمی‌گردد، زمانی که در قالب پروژه استراتژی کنترل و کاهش آلودگی منابع آب ایران که توسط دکتر ترابیان و من و سایر همکاران در دانشگاه تهران انجام شد. ما به این نتیجه رسیدیم که لازم است استاندارد برای کیفیت منابع آب ایران و هم‌چنین شاخص ملی کیفیت منابع آب ایران تدوین بشود. پس از آن به‌دنبال پیگیری‌هایی که دفتر آب و خاک داشت در سال ۱۳۹۰ ما شاخص ملی کیفیت منابع آب ایران را تدوین کردیم و در سال ۱۳۹۱ هم استاندارد کیفیت آب‌های ایران را نوشتیم. بعد از آن در طول سال ۱۳۹۱ و اوایل سال ۱۳۹۲ ما این استانداردها و شاخص‌ها را به نظرخواهی گذاشتیم. نظرات را دریافت کردیم، پاسخ دادیم و در مواردی که لازم بود اصلاحات مورد نیاز را انجام دادیم و جلسات متعددی را با دستگاه مرتبط برای جلب موافقت آن‌ها برای پیاده‌سازی استاندارد و شاخص برگزار کردیم. نهایتاً در سال ۱۳۹۲ این دو سند توسط کمیسیون زیربنایی هیئت دولت تصویب شد و بنا به پیشنهاد ما برای یک دوره دو ساله به‌صورت آزمایشی ابلاغ شد. در سال ۱۳۹۵ پس از طی دوره آزمایشی این دو سند به‌عنوان دو سند الزام‌آور ابلاغ شدند و توسط دستگاه‌های مختلف به اجرا گذاشته شد. اما چطور به این نتیجه رسیدیم که لازم هست یک استاندارد برای کیفیت آب‌های ایران تدوین بشود. زمانی که ما قوانین و مقررات را مرور می‌کردیم، رسیدیم به ماده یک آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب که در آن گفته شده بود آلودگی آب عبارت است از تغییر مواد محلول و یا معلق و یا تغییر

برایش مشخص بکنیم که می‌تواند باعث THM و سرطان بشود. چرا که نه UV داشتیم نه ازن، بنابراین به لحاظ تکنولوژی اول من باید بتوانم دستیابی پیدا بکنم به حد مجازمان. به لحاظ اقتصادی هم باید بتوانم به آن دست پیدا بکنم. هیچ کسی حاضر نیست به هر قیمتی یک تکنولوژی را استفاده کند و به آن مقدار برسد. اگر هم آن عدد انتخاب بشود مطمئناً کسی انجام نمی‌دهد و دچار مشکل می‌شویم. به لحاظ مقبولیت هم باید مقبولیت را داشته باشد. به‌عنوان مثال، شاخص اینگربرگ را WHO مشخص کرد که یک شاخص تخم انگل باشد در حالی که شما در کشور آمریکا، فلوریدا و کالیفرنیا دو تا عدد کاملاً متفاوتی را انتخاب می‌کنند. قانون گفته که حد مجاز را باید سازمان محیط‌زیست انتخاب کند، ما معمولاً چه کار می‌کنیم، ما معمولاً کات و پیست انجام می‌دهیم، یک عدد را از یکی می‌گیریم، یکی را از یکی دیگر می‌گیریم، با هم دیگر جمعش می‌کنیم. مثالش را ما در قانون هوا می‌بینیم. آمریکایی‌ها بعد از ۲۰ سال که قانون هوا را داشتند ازن را از ۷۴ به ۷۰ کاهش می‌دهند، ما که هنوز یک سال هم قانون هوا را نداشتیم ما هم سریعاً مقدار ازن را آوردیم ۷۰. بنابراین ما عمدتاً در داخل کشور به‌صورت کات و پیست هست، ولی چرا نباید به‌صورت بومی و براساس تجربه و دانش خودمان عمل کنیم. یک ردپایی ما الان داریم. ما الان در قانون هوای پاک استانداردهای منطقه‌ای را گذاشتیم، یعنی حدود مجاز می‌تواند منطقه‌ای باشد، رودخانه می‌تواند متفاوت باشد، رودخانه حفاظت شده داشته باشیم برای شرب استفاده می‌شود یا یک روخانه‌ای که حفاظت شده نباشد قانون این اجازه را به ما داده، که ما می‌توانیم از تجربه خودمان استفاده کنیم. چالش‌هایی که داریم، جدی هست. روی آلاینده‌های جدید کار خاصی را انجام ندادیم، بنابراین این از آن مواردی هست که باید به آن توجه کنیم. ما ریسک را در تدوین استانداردها نمی‌بینیم، مثلاً نیترات را نگاه می‌کنیم و به تاریخچه‌اش وقتی برمی‌گردیم، می‌بینیم اولین فردی که مشخصاً به این بیماری مبتلا شد یک خانم بود که بچه‌اش را شیر می‌داد و از کالباس زیاد استفاده می‌کرده و سدیم نیترات وارد بدنش می‌شده و از این طریق وارد بدن طفل شده و اولین بیماری در آن‌جا شناسایی می‌شود. این‌که من چقدر سدیم نیترات از غذاها می‌گیرم، چقدر از آب می‌گیرم، ورودی من چقدر هست، این موارد چیزهایی هستند که ما هنوز به آن توجه نکردیم. مورد آخری هم که من فکر می‌کنم خیلی هم مهمه، و باید به آن توجه بشود، ببینید ما این اعداد را می‌گیریم بعداً، چون استاندارد هست و جنبه قانونی دارد مردم را جریمه می‌کنیم. یک تصفیه‌خانه‌ای BOD فاضلابش بشود ۳۵، کسانی که BOD را اندازه‌گیری کردند

این استاندارد باعث شده بود که در فعالیتهای مربوط به پایش کیفیت منابع آب کشور به شکل سلیقه‌ای عمل بشود و هر دستگاه یا شخصی بنا به امکاناتی که در اختیار داشت یا برداشتهایی که از موضوع داشت در واقع فعالیتهای پایش را انجام می‌داد. برای تدوین استاندارد کیفیت آب‌ها دو روش وجود دارد، یک روش مبتنی بر کلاس‌بندی آب هست. شاید شنیده باشید که می‌گویند کلاس یک، کلاس دو، یا کلاس A، این رویکرد، رویکرد تقریباً قدیمی و منسوخ هست و رویکرد جدید رویکرد مبتنی بر کاربری آب بود و این رویکرد دوم، رویکردی بود که ما برای انتخاب کردیم. دلیلش دو موضوع بود: یکی این که رویکرد جدیدی بود و از نظر کارایی هزینه و امکان پیاده‌سازی بسیار کارآمدتر بود. نکته دوم برمی‌گشت به تعریفی که از آلودگی آب در ماده یک آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب انجام شده و به مصارف آب اشاره کرده بود. جالب است بدانید در ایران به‌طور معمول کاربری آب شرب، صنعت و کشاورزی هست، اما در واقع ۹ کاربری آب وجود دارد

در درجه حرارت و دیگر خواص فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی آب در حدی که آن را برای مصرفی که برای آن مقرر است مضر یا غیرمفید سازد. زمانی که پرسش‌وجو کردیم به این نتیجه رسیدیم که نه مصارف اصلاح شدند و نه حدود مجاز برای آن‌ها تعیین شده. در واقع هیچ مبنا و خط‌کشی برای این که بگوییم آبی آلوده هست وجود نداشت. منظور ما این‌جا از آب، منابع آب هستند، آبی که در محیط طبیعی موجود در داخل رودخانه، در داخل دریاچه، یا در زیرزمین است. این منجر به این شده بود که استانداردهای نامربوط مثل استاندارد ۱۰۵۳ که مربوط به آب شرب تصفیه شده است برای رودخانه‌ها به‌کار گرفته بشود، یا اشتباهات و تناقض‌های فراوان در ارزیابی‌ها و گزارش‌ها در زمینه کیفیت منابع آب کشور مشاهده می‌شد که ناشی از به‌کارگیری استانداردها و معیارهای متفاوت و گاهی متناقض بود. پس ما مواجه بودیم با این که یک استاندارد ملی و به‌روز برای ارزیابی و مدیریت کیفیت منابع آب کشور نداشتیم و از آن‌طرف نبودن خود



نیازمندی‌های پنج مورد اول را تأمین کنید در واقع دو مورد ۶ و ۷ هم الزاماتشان تأمین می‌شود و به‌جز این، بهبود فناوری‌هایی که در این دو مورد استفاده می‌شوند و ارتقای آن را در سال‌های اخیر به‌گونه‌ای که اجازه می‌دهد شما از آب‌های با کیفیت پایین‌تر هم بتوانید برای آن‌ها استفاده بکنید و خللی در کارکرد آن‌ها به‌وجود نمی‌آورد. در مورد هشتم ما مستقیماً چیزی را تعیین نکردیم، دلایل خاصی داشت. یکی این که بخشی از این پرورش آبزیان انتظار داریم از استانداردهای ثانویه پیروی کنند و این که بخشی از این پرورش ماهیان در واقع اعتقاد داریم باید از بسترهای طبیعی خارج بشوند. اما ردیف ۱ در واقع می‌تواند نیازمندی‌های ردیف ۸ را پوشش بدهد. ما برای تدوین این استاندارد آمدم منابع مختلف را بررسی کردیم. بیش از ۸۰ کشور در دنیا را ما مرور

که من این‌جا ۸ کاربری را نوشتم که براساس تقسیم‌بندی‌ای هست که کیفی آمریکا ارائه کرده. خود این کاربری‌ها به دو گروه مصرفی و غیرمصرفی تقسیم می‌شوند. مصرفی، آن‌هایی هستند که آب را از محیط خارج کرده و به مصرف می‌رسانند و غیرمصرفی‌ها آن‌هایی هستند که در کمینه آب تغییری تقریباً ایجاد نمی‌کنند و آب از بستر خودش یا محیط طبیعی خارج نمی‌شود. این کاربری‌ها حفظ محیط‌زیست، شرب، صنعت، کشاورزی، تفریح، حمل و نقل آبی، تولید انرژی الکتریکی و پرورش آبزیان هست که در این میان ما برای کاربری‌هایی که با رنگ آبی مشخص کردم، ۵ تای اول را استاندارد تعریف کردیم. برای دو مورد ۶ و ۷ ما استاندارد تدوین نکردیم. دلیلش این بود که این را اشاره کردیم در ضوابط ابتدایی استاندارد که اگر شما

کردیم، مبانی تدوین استانداردها و حدودشان را در آورديم و اين که چگونه اين حدود را تعيين کردند را هم بررسی کردیم. بسیاری از کشورهای دور و بر ما اين استانداردها را سالها قبل تدوين کرده بودند اما ايران اين استانداردها را نداشت. از آنجایی که امکان اين را نداشتیم که بياييم براساس مطالعات toxicologic و اکولوژیک حدود مقادير مجاز را تدوين بکنيم. ما آمديم مشابه خیلی از استانداردهای ديگر در ايران، استاندارد را اقتباس کردیم. از جمله ویژگیهای مهم استاندارد که تدوين شد، یکی اين بود که مبتنی بر رویکرد کاربری آب بود که پيشتر به آن اشاره کردم. برای تدوين آن ما از استانداردهای معتبر داخلی و بين المللی پذيرفته شده در کشور استفاده کردیم. برای مثال در بحث تفرج از WHO، برای کشاورزی از FAO، برای کاربری شرب از آخرين استانداردهای اتحاديه اروپا استفاده کردیم؛ چراکه بررسیهای ما نشان می داد فناوریهای تصفيه ای که در ايران برای شرب به کار گرفته شده اند عمدتاً مبتنی بر فناوریهای اروپایی هستند. همین طور برای استاندارد صنعت از نشریه ای که پيشتر وزارت نیرو منتشر کرده بود استفاده کردیم و در مواردی که لازم بود براساس نظرخواهی که انجام شده و یا نیازهایی که احساس شده بود اصلاحاتی بر روی اینها در جهت بهبودشان انجام شد. اين اصلاحات جزئی بودند و در هر مورد در خود سند، استاندارد که منتشر شده و اصلاحی که انجام شده و رفرنس مربوطه نوشته شد. در کنار اين استاندارد ما مجموعه ای از ضوابط را برای به کارگیری آن منتشر کردیم و همین طور برای اولین بار آمديم آبهای با کیفیت ویژه را تعريف کردیم و این آبهای باکیفیت ویژه را که به شکل طبیعی شور هستند نه تحت تأثیر دخل و تصرف انسانی، تکلیف اینها را با استاندارد معلوم کردیم. هم چنین شرایط مجاز عدول از استاندارد و جاهایی که شما نیازی نیست استاندارد را اعمال کنید معرفی کردیم. علاوه بر این به عنوان یک سوالی که از ما شده بود آمديم میزان تخطی احتمالی آبهای کشور را از استاندارد با استفاده از پایگاه داده های کیفیت منابع آب کشوری که خودمان تشکیل داده بودیم کنترل کردیم. هم چنین بررسی کردیم که تخطیها کجا رخ می دادند و آیا واقعاً این تخطیها مسئله ساز هستند یا نیستند. نکته مهم ديگر، اجماع دستگاههای مرتبط در کشور در پذیرش و به کارگیری استاندارد است. این موضوع بسیار مهم هست در تدوين و اجرای کردن استانداردها. این خلاصه ای بود از استانداردها، برويم سراغ شاخص. گفتیم در سال ۸۲ ما به این نتیجه رسیدیم که باید شاخص کیفیت ملی برای آب تعريف بکنيم. کاربردهایی که این شاخصها دارند تعيين اولويتها و تخصیص منابع، تحلیل کیفیت منابع آب، اعمال

استانداردها و ضوابط، ارزیابی اثربخشی برنامه ها و اقدامات آگاهی رسانی عمومی و پژوهشهای علمی هست که تقریباً تمام شاخصهایی که در دنیا منتشر شدند، که بیش از ۳۰۰ شاخصند به همین موارد اشاره کرده اند. چرا برای ايران نیاز داشتیم یک شاخص ملی تعريف کنیم؟ چون ما یک شاخص نداشتیم که همه از آن استفاده بکنند و کیفیت منابع آب کشور را ارزیابی کنند. هر کس از هر شاخصی استفاده می کرد. حالا به شکل صحیح یا غیر صحیح موارد داشتیم که از شاخصها استفاده می شد. در نتیجه نتایج با هم قابل مقایسه نبود و نتیجه گیریها هم که می شد گاهی با انتظاراتی که ما داشتیم یا برداشت هایی که از کیفیت منابع آب داشتیم اصلاً هم خوانی نداشت. از طرف ديگر بسیاری از شاخصها که استفاده می شد به مشکلات اساسی کیفیت منابع آب کشور اشاره یا توجه نداشتند. برای مثال وقتی شاخص را از ژاپن یا کانادا می گیرید در کانادا بحث مشکلاتی که ما در حوزه شوری مواجهه هستیم مواجه نیستید. یا در ژاپن با مشکلاتی که ما در بحث آلودگی باکتریولوژیکی آبها مواجه هستیم، روبرو نیستند. نه این که اینها در آنجا وجود ندارند، اما حدودی که ما با آنها مسئله داریم یا اولیوی که این مسائل برای ما دارد در آنجا به این فرم نیست. مشکلات ديگری که وجود داشت مشکل وجود نواحی ابهام و تاریکی و اشباع شدگی سریع بود در بسیاری از شاخصهای مورد استفاده در کشور در شاخصهایی که از کشورهای ديگر اقتباس شده بودند. مثالش شاخص NSF هست که بسیار رواج داشت در کشور و امروزه هم استفاده می شود و این شاخص هم مشکل ابهام، هم تاریکی و هم اشباع شدگی سریع را دارد. به همین دلایل رفتیم به دنبال این که شاخص ملی را تعريف کنیم. این شاخص ملی چه ویژگیهایی دارد؟ این شاخص دربرگیرنده مهم ترین پارامترهای کیفیت آب مرتبط با مسائل اصلی کیفیت منابع آب در کشور هست. منحنیهای رتبه بندی آن با استفاده از پایگاه داده های کیفیت منابع آب کشور توسعه یافتند. این پایگاه شامل بیش از یک و نیم میلیون داده کیفیت منابع آب کشور هست و همین طور مشکل اشباع سریع شاخص را با استفاده از منحنیهای جدیدی که تعريف کردیم برطرف کردیم. در تدوين آن ما از روشهای پیشرفته آماری مثل PCA، FA و سایر روشها همراه با روش دلفی برای غربالگری داده ها و توسعه شاخص استفاده کردیم. ما هم پوشانی پارامترهای کیفیت آب را براساس تحلیل های آماری همبستگی بين پارامترهای مختلف و همین طور براساس تحلیل سرنوشت مواد و سنتیکهایی که وجود داشت انجام دادیم. معادل توصیفی شاخص را در ۷ طبقه عرضه کردیم، عموماً ۵ طبقه است و به دلایلی که در گزارش

آب و بررسی امکانات و محدودیت‌های موجود در زمینه تأمین نیازهای اطلاعاتی پرداخته شده. برای انجام این کار بررسی اسناد و مدارک موجود در زمینه برنامه‌های ملی پایش کیفیت منابع ایران و همچنین استعلام از سازمان‌های ذیربط در زمینه امکانات برنامه‌های پایش کیفیت منابع آب انجام شده است.

۳- بررسی تحلیلی شاخص‌های فعلی کیفیت منابع آب ایران است، به این صورت که بررسی تطبیقی شاخص‌های فعلی کیفیت منابع آب ایران با شاخص‌های شناسایی شده که در بند یک به آن اشاره کردیم از حیث اهداف دامنه کاربرد، پیش‌زمینه، پیش‌نیازها و پارامترها و وزن‌دهی و تلفیق پرداخته شده. بی‌شک در انجام این کار نیاز به دریافت نظرات ذی‌مدخلان کلیدی و نخبگان صنعت و دانشگاه هست که لیست آن را اشاره خواهم کرد. برای انجام این کار پرسشنامه‌ای تهیه شد و به تمام ذی‌مدخلان کلیدی و نخبگان صنعت و دانشگاه ارسال شد. تحلیل نتایج پرسشنامه‌هایی که تکمیل شده بود توسط ذی‌مدخلان و نخبگان صنعت و دانشگاه به منظور استخراج نکات کلیدی انجام شد. نقاط قوت و ضعف راهنمای فعلی با توجه به نظرات دریافتی جمع‌بندی شد و مواردی که نیازمند جایگزینی یا اصلاح در راهنمای فعلی هست مشخص شد.

در این قسمت به لیستی که از ذی‌مدخلان اشخاص حقوقی و همچنین نخبگان منتخب دانشگاه و صنعت که اشخاص حقیقی بودند اشاره می‌شود. در رأس این لیست فرهنگستان علوم ایران، فرهنگستان پزشکی ایران، اساتید دانشگاه‌ها در رشته‌های آب و محیط‌زیست، شرکت‌های آب و فاضلاب و سازمان‌های آب منطقه‌ای، وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت مهندسی آب و فاضلاب، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، مراکز تحقیقاتی مرتبط، سازمان ملی استاندارد، شرکت‌های مهندسی مشاور مرتبط و تشکلهای مردمی محیط‌زیستی در سطح کشور جزو لیستی بود که پرسشنامه تهیه شده به آن‌ها ارسال شد. در پرسشنامه ۳۳ سوال در مورد شاخص کیفیت منابع آب ایران هم آب‌های سطحی و هم آب‌های زیرزمینی نظرسنجی شد و بعد از دریافت نقطه نظرات ذی‌مدخلان و اشخاص حقیقی و حقوقی اصلاح شاخص کیفی موجود برحسب نیاز انجام شد. در این راستا فهرست بلند شاخص‌های کیفیت منابع آب که از مرور مراجعه به منظور شناسایی جایگزین‌های مناسب برای موارد نیازمند اصلاح بود انجام شد. گروه‌بندی‌ها به تعداد شاخص‌ها مشخص شد. شاخص‌های جدید یا جایگزین نمودن شاخص‌های قبلی انجام شد. اصلاح تعداد به ماهیت پارامترهای کیفی مورد بررسی قرارگرفت و اصلاح اوزان و روش وزن‌دهی و تلفیق

مربوطه ارائه شده ما ۷ طبقه را انتخاب کردیم. همین‌طور ما دو گروه شاخص جداگانه برای آب‌های سطحی و زیرزمینی تعریف کردیم و در هر گروه پارامترهای سمی و متداول را از همدیگر تفکیک کردیم. بنابراین این مجموعه شامل چهار شاخص هست. این شاخص‌ها برای منابع آب سطحی، زیرزمینی، درون سرزمینی ایران و همچنین برای سایر کشورهای منطقه قابل استفاده هست. محاسبه و ارائه زیرشاخص‌ها به منظور تحلیل نتایج به‌دست آمده از شاخص انجام می‌شود. به راحتی می‌توانید ببینید عوامل افت کیفیت و میزان تأثیرگذاری آن‌ها به چه ترتیب است. از رابطه میانگین وزنی هندسی استفاده کردیم برای این که مشکل نواحی ابهام و تاریکی را برطرف کنیم. در آخر ما برای این شاخص در تمام این سال‌ها پشتیبانی علمی و فنی ارائه کردیم، درخواست‌های متعددی را از افراد مختلف داشتیم، کمک خواستند به آن‌ها کمک کردیم، در نحوه محاسبات، در نحوه تحلیل و سایر سوالاتی که داشتند را سعی کردیم پاسخ بدهیم. به منظور تسهیل محاسبات ما اولین ویرایش نرم‌افزار محاسبه شاخص را در محیط اکسل در سال ۹۲ را ارائه کردیم و ویرایش دوم را بنابر تقاضای برخی استفاده‌کنندگان در سال ۹۹ توسعه دادیم. نسخه اول در هر نوبت یک‌سری داده را دریافت و محاسبه میکرد. در نسخه دومی که توسعه دادیم هم‌زمان تا ۵۰۰ سری داده را دریافت و محاسبه می‌کند که البته قابل توسعه هم هست.

#### دکتر ایوب کریمی جشنی:

با عرض سلام. با اجازه حضار محترم به ارائه روند مطالعات بازنگری شاخص استاندارد کیفیت منابع آب ایران می‌پردازم. روند مطالعات بازنگری شاخص استاندارد کیفیت منابع آب شامل اقدامات زیر است که در حال انجام است:

۱- مرور منابع و مراجع برای تهیه فهرست بلند شاخص‌های کیفیت منابع آب ایران، در این مورد به شناسایی شاخص‌های معتبر در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی پرداخته شده که در آن بررسی اهداف، دامنه کاربرد، پیش‌زمینه‌ها، پیش‌نیازها و پارامترهای کیفی آب مورد استفاده در شاخص و روش‌های وزن‌دهی و تلفیق پارامترهای منفرد مورد بررسی قرار گرفت. در سطح ملی چهار شاخص کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی که دو مورد درباره آب‌های سطحی است و دو مورد درباره آب‌های زیرزمینی شناسایی شده. در سطح بین‌المللی هم ۳۷ شاخص کیفیت منابع آب مورد بررسی قرار گرفت.

۲- بررسی الزامات بازنگری شاخص کیفیت منابع آب ایران است، که در آن به شناسایی اهداف بازنگری شاخص‌های کیفیت منابع



لیستی که تهیه شد از افراد حقیقی و حقوقی شبیه همان لیستی بود که برای شاخص خدمتتان عرض کردم و پرسشنامه که تهیه شد شامل ۱۶ سوال بود که به نظرسنجی در خصوص استاندارد فعلی کیفی منابع آب ایران می‌پرداخت. با مجموعه اقداماتی که انجام شده هم‌اکنون پیش‌نویس استاندارد کیفیت منابع آب ایران در حال تدوین هست که پس از آن برای دریافت نظرات اصلاحی به ذی‌مدخلان کلیدی و نخبگان منتخب صنعت و دانشگاه ارسال می‌شود، جلساتی را با این ذی‌مدخلان کلیدی خواهیم داشت و بازخوردهای دریافتی جمع‌بندی و اصلاحات موردنیاز بر روی پیش‌نویس انجام خواهد شد و همراه با اسناد نهایی به سازمان محیط‌زیست تحویل خواهد شد. از توجه شما عزیزان سپاسگزارم.



**خانم دکتر ناصری:**

با عرض سلام و آرزوی سلامتی برای تک تک دوستان. سعی می‌کنم که در عرض ۵ دقیقه نکات مهمی را که به نظر من هست خدمت دوستان ارائه بدهم. آن چیزی که مطرح هست و همه همکاران هم در جریانش هستند، یکی از مهم‌ترین مسائلی که در کشور ما اتفاقاً به آن پرداخته نشده برنامه آمایش سرزمین هست. برنامه آمایش سرزمین دو سه بار در واقع تدوین شده ولی نگاه اجرایی ویژه‌ای به آن نشده. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در برنامه آمایش سرزمین اهمیت دارد همین مدیریت منابع آب کشور هست و این که آیا ما از حوضه آبریز قرار است که آب را منتقل کنیم به جای دیگر؟ همه این‌ها در واقع باید براساس آن برنامه آمایش سرزمین دیده بشود. راجع به استانداردها اولین سوالی که در واقع مطرح شده و آقای دکتر طالب بیدختی دوباره امروز برای من فرستادند وضعیت موجود این شاخص‌هاست. به‌هرحال زحماتی که کشیده شده، همکاران همین‌طور که ارائه داشتند در واقع روی این موضوع کار کردند. ما تجارب جهانی که داریم به‌هرحال در کنار WHO و EPA و بقیه جاهایی که اسم بردند، به‌عنوان مثال در اتحادیه اروپا هم یک نگاه در واقع سراسری به کل این مجموعه دیده شده که بد نیست به آن بپردازیم. راجع به بازنگری شاخص‌ها و استانداردهای ایران به‌هر حال می‌دانیم که استاندارد با Guideline فرق می‌کند و وقتی ما استاندارد را در واقع تدوین و مصوبه نهایی می‌کنیم، ضرورتش

پارامترهای منفرد برای هر شاخص برحسب نیاز انجام شد. خیلی از این موارد واقعاً در شاخص فعلی بسیار خوب تهیه شده و احتیاجی به اصلاح نداشت. مجموعه اقدامات انجام شده منجر شد که پیش‌نویس راهنمای محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران تهیه بشود. این پیش‌نویس باید با همکاری سازمان محیط‌زیست به افراد حقیقی و حقوقی و نخبگان صنعت و دانشگاه ارسال بشود تا نظرات اصلاحی پیرامون پیش‌نویس دریافت بشود و بعد از آن هم جلساتی برگزار بشود که حالا به شکل حضوری یا آنلاین با این ذی‌مدخلان کلیدی نظرات جمع‌بندی بشود، بازخوردهایی که هست مشخص بشود تا این که مجدداً پیش‌نویس تهیه شده اصلاح و همراه با اسناد نهایی به سازمان محیط‌زیست تحویل بشود. هم‌زمان با مطالعات شاخص، مطالعات بازنگری استاندارد کیفیت منابع ایران هم در دستور کار بوده که اقدامات زیر انجام شده: مرور ادبیات فنی و الگوهای منتخب خارجی که سازمان‌ها و نهادهای بین‌المللی، کشورهای منتخب خارجی لیستش تهیه شده، به تایید سازمان محیط‌زیست رسیده و برای هر کدام از این‌ها فهرست پارامترها، حدود استانداردها و روش‌های مورد تایید برای نمونه‌برداری مورد بررسی قرار گرفته و مبانی فرآیند استانداردهایی که آن‌ها تهیه کردند مشخص شده و نهایتاً به جمع‌بندی تحلیلی آموزه‌های الگوهای منتخب خارجی پرداخته شد. در قدم بعدی اسناد بالادستی و استانداردهای مشابه داخلی گردآوری و مورد بررسی قرار گرفته، تمام قوانین مقررات و آئین‌نامه‌ها و برنامه‌های ملی که در این راستا بودند مشخص شده و استانداردهای مشابه داخلی برای کاربردهای مختلف گردآوری و مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل استاندارد فعلی کیفیت منابع ایران انجام شده که درون بررسی تطبیقی استاندارد فعلی با الگوهای پیشنهادی توسط نهادهای بین‌المللی منطقه به کشورهای منطقه و کشورهای خارجی انجام شده. به‌عنوان مثال WHO, EPA, UNEP, استانداردهای کیفی محیط‌زیستی برای آلودگی آب در ژاپن، کره جنوبی، نیوزلند و استرالیا، کانادا، هندوستان، ترکیه و اردن چین، FAO و آفریقای جنوبی از جمله کشورها و سازمان‌های منتخب خارجی بودند که این بررسی تطبیقی با آن‌ها انجام شد. بررسی تطابق استاندارد با اسناد بالادستی وجود تشابه و تمایز با استانداردهای مشابه داخلی انجام شده، نظرات ذی‌مدخلان کلیدی نخبگان صنعت و دانشگاه پیرامون استانداردهای فعلی دریافت شده، این کار با تهیه پرسشنامه و ارسال پرسشنامه به این ذی‌مدخلان کلیدی و نخبگان منتخب صنعت و دانشگاه انجام شده. پرسشنامه‌های دریافتی مورد تحلیل قرار گرفته و نقاط قوت و ضعف استاندارد فعلی مشاهده شد.

نباشد که ما یک استاندارد را تعریف می‌کنیم حتی پیشنهاد می‌کنم که حالا بعضی جاها مثل کشور آمریکا ایالت‌های مختلفی استانداردهای خودشان رو دارند. ما حتی راجع به منابع آب اتفاقاً پیشنهاد می‌کنم که براساس مناطق مختلف و حوضه‌های آبریزمان اگر ضرورت دارد می‌توانیم شاخص‌ها و پارامترهای متنوع و مختلفی را در آن‌ها ببینیم. به‌هرحال باید در این سیستم در کنار هم باشیم، در کنار برنامه آمایش سرزمین و توسعه پایدار. من به یک نکته دیگری اشاره می‌کنم و آن هم بحث SDG (Sustainable Development Goal) هست که متأسفانه کشور ما علی‌رغم این‌که ما تا سال ۲۰۳۰ باید نتایج بسیار مثبتی روی اهداف مختلفمان داشته باشیم. به‌دلایلی SDG دارد کنار گذاشته می‌شود نگاه ما باید به بخش منابع آب و تأثیرش بر سلامت انسان و حتی از نقطه‌نظر اقتصادی و مسائل دیگر باشد. بنابراین این نکته ویژه را هم به دوستان اشاره می‌کنم که اگر علاقمند باشند روی این goalها توجه ویژه بشود. فعلاً صحبت‌هایم را جمع می‌کنم و اگر سوالی باشد در خدمتان خواهم بود.



دکتر مریدی:

با عرض سلام خدمت دوستان و همکاران گرامی. بنده خیلی وقت دوستان را نمی‌گیرم. فقط یک گزارش کار خدمت دوستان بگویم در رابطه با موضوعات مطرح شده و گزارشاتی که برخی همکاران خدمت شما دادند. از یک سال و نیم گذشته با توجه به چالش‌ها و مشکلاتی که در رابطه با موضوعات تخلیه فاضلاب به محیط داشتیم و همچنین شرایط کیفیت رودخانه‌ها و منابع آب سطحی و زیرزمینی به این نتیجه رسیدیم که استاندارد که تدوین شده علی‌رغم نقاط قوتی که دارد، الان کم‌کم داریم نزدیک می‌شویم به دوره‌ای که بد نیست با توجه به چالش‌ها و مشکلاتی که شناسایی شده، بازنگری‌ای در رابطه با آن داشته باشیم. مصداق‌ها و مثال‌هایی را خدمت شما عرض می‌کنم که بعد شنونده باشیم و راهنمایی‌هایی که دوستان عزیز خواهد کرد که انشاءالله یک نقشه راهی باشد که ما بتوانیم این پروژه پژوهشی‌ای که با دانشگاه شیراز تعریف شده به‌نحو احسن با آقای دکتر طالب بیدختی و همکارانشان به نتیجه برسانیم. چند نمونه از مصادیق و مثال‌ها را خدمت شما عرض می‌کنم. اولینش مطالعاتی بود که ما در رودخانه جاجرود انجام دادیم در رابطه با وضعیت کیفی رودخانه،

این است که در تمام مناطق کشور بتواند در واقع اجرایی بشود حالا این‌که هم راجع به منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی همه‌اش در واقع باید مورد مطالعه قرار بگیرد. اگرچه ممکن است چالش‌هایی ما داشته باشیم. مثلاً فرض کنید که ما امکانات و تجهیزات آنالیز دستگاهی را در همه جا نداشته باشیم، وقتی که استاندارد مصوب می‌شود باعث شود این امکانات فراهم بشود. ما یک مقدار چالش‌هایی در مورد استاندارد آب شرب، آب آشامیدنی داریم که در سراسر کشور در واقع بعضی جاها اجرایی نمی‌شود. بنابراین نگاه ما باید این باشد که اگر ما یک استاندارد ملی می‌خواهیم تعریف کنیم برای منابع آب، قابلیت اجرا داشته باشد. احتیاج به بودجه و منابع مالی خاصی دارد که باید صورت بگیرد. نکته دیگر این است که در تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری این استانداردها، به‌هرحال سازمان‌ها و نهادهای مختلف باید درگیرشان بشوند. مثلاً فرض کنیم وزارت کشاورزی و وزارتخانه‌ها و سازمان‌های دیگر باید در کنار سازمان محیط‌زیست قرار بگیرند و همین‌طور وزارت نیرو بخش منابع آب آن و این یکپارچگی در واقع دیده بشود. به‌چه دلیل؟ به این دلیل که اگر استاندارد ملی را ما می‌خواهیم تدوین و مصوب کنیم تمامی سازمان‌ها باید مسئولیت‌های خودشان را در اجرایی شدن آن بپذیرد. آن‌چه سوال شده بود که آیا شاخص‌های آب سطحی و زیرزمینی را ما باید از هم تفکیک بکنیم؟ از دیدگاه خود بنده در واقع این‌طوری نیست. چرا؟ به‌دلیل این‌که آب‌های سطحی وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند و برعکس. باید نگاه ویژه به همه آن‌ها داشته باشیم. در مورد آلاینده‌های نوظهور که من واژه نوپدید را برای آن استفاده می‌کنم. بله باید در واقع این پارامترها دیده بشود، حتی سموم، آفت‌کش‌ها و بقایای داروها. در ده سال گذشته از نانومواد بسیار استفاده شده و حالا ممکن است سیستم‌های دارویی باشد که در چارچوب نانو استفاده می‌شود یا موادی که برای کنترل آلاینده‌های منابع آب و فاضلاب استفاده می‌شود که خیلی مهم است. من یک موردی را هم به همکاران پیشنهاد می‌کنم که جزء پارامترهای کیفی منابع آب در استاندارد ببینند میکروپلاستیک‌ها هست و این میکروپلاستیک‌ها در همه منابع آب حضور دارند. این را اصلاً در بررسی نگاه ویژه‌ای داشته باشیم، در آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، در دریاچه‌ها و تالاب‌ها حضور دارند و بعد از آن‌ها استفاده می‌شود برای مواد غذایی و آب آشامیدنی. همه این‌ها اهمیت دارد و با توجه به نقش بسیار منفی که میکروپلاستیک‌ها در سلامت انسان‌ها دارند، این را هم به آن اضافه کنیم. نکته‌ای که برای من خیلی مهمه این است که نهادهای مختلف علمی باید در کنار این مجموعه قرار بگیرند. این‌طوری

فاضلاب را مدیریت کنیم و یکسری تخفیف‌هایی در برخی موارد داشته باشیم که ضربه به محیط‌زیست نزنند و دچار مخاطره نکنند آن‌ها، یک سری ملاحظات و تبصره‌هایی داشته باشیم با توجه به مسائل و مشکلاتی که طی این چند سال با آن‌ها درگیر بودیم.

موضوع بعدی که در دستور کار سازمان محیط‌زیست نیست ولی لازم است در این بحث‌ها و نشست‌ها طرح مسائل آن انجام شود و بعداً در مورد آن بررسی شود، بحث استفاده مجدد از فاضلاب به‌خصوص در بخش کشاورزی است. این موضوع یک موضوعی است که مغفول مانده. چون کاربری آب برای کشاورزی هست، معمولاً باید جهاد کشاورزی استانداردها را تعیین کند و بگوید که محصولات با چه مشخصاتی می‌توانند با پساب کشت بشوند و مورد استفاده قرار بگیرند. این‌ها در واقع موارد مهمی هست که باید مورد توجه قرار بگیرد در رابطه با استفاده مجدد از پساب و فاضلاب.

بحث دیگری که کمتر موردتوجه قرار گرفته بحث تالاب‌ها است. در رابطه با تالاب‌ها شاید لازم باشد بر روی یکسری متغیرهای کیفی حساسیت بیشتری نشان دهیم و آن‌جا برای برخی متغیرهای کیفی آستانه کمتری در نظر گرفته بشود، چون در تالاب باید بیشتر به بحث بار آلودگی توجه داشته باشیم تا غلظت. مجموعه‌ای از این علل و عوامل باید در این طرح پژوهشی و گزارش دانشگاه شیراز در نظر گرفته شود.



مهندس فتاحی:

عرض سلام و احترام دارم خدمت همه دوستان و همکاران و اساتید محترمی که در جلسه حضور دارند. خیلی متشکرم از شما که زحمت کشیدید برای برگزاری این جلسه. در بحث قوانین و مقررات به استناد ماده ۴۶ قانون توزیع عادلانه آب با صراحت اعلام کرده آلودگی آب ممنوع است و مسئولیت جلوگیری از آلودگی آب برعهده سازمان حفاظت محیط‌زیست است و آیین‌نامه‌ای براساس همین ماده با عنوان آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب به تصویب هیئت محترم وزیران رسیده. در این آیین‌نامه در ماده ۳ اشاره دارد که سازمان نسبت به بررسی و شناسایی کیفیت آب‌های ایران باید اقدام کند و در ماده ۴ و ۵ این آیین‌نامه اشاره شده به صراحت، به تدوین استانداردهای مربوط به آلودگی آب و در واقع ذکر قوانین و مقررات مرتبط با

شناسایی منابع آلاینده. آن‌جا به این جمع‌بندی رسیدیم که با توجه به وضعیت کیفیت رودخانه و استانداردهای موجود شرایط در رودخانه، شرایط نسبتاً معمول و متوسطی است. ولی وقتی به مخزن پایین دست رجوع می‌کنیم، سد لتیان و ماملو، آن‌جا متوجه می‌شویم که شرایط حادی هست و وضعیت آن‌ها که بعداً مورد استفاده آب شرب تهران قرار می‌گیرد، شرایط مناسبی ندارد. این موضوع بحث اول بود که مطرح شد در رابطه با استاندارد که جزو فرمایشات آقای دکتر تجریشی هم بود و ما در رابطه با غلظت باید توجه کرده و بررسی‌های لازم را داشته باشیم و در استانداردمان به این موضوع توجه ویژه داشته باشیم. شاید طبق استاندارد مقدار فسفر شرایط کیفی مناسبی در رودخانه داشته باشد و مشکلی ایجاد نکند ولی به‌صورت تجمعی می‌تواند این آلاینده‌ها در مخازن سدها در یک‌دوره یک‌ساله با توجه به لایه‌بندی‌ها باعث چالش‌هایی در رابطه با کیفیت آب شود، خصوصاً در رابطه با مسئله تغذیه‌گرایی. این یک موضوع مهم بود که در واقع در چندین جای مختلف با آن برخورد کردیم و این بحث به ذهن می‌رسد که در رابطه با بار آلودگی لازم است که بررسی بیشتری داشته باشیم.

موضوع بعدی که در فرمایشات خانم دکتر ناصری هم بود، ما یکسری آلاینده‌های نوظهور داریم که لازم است کم‌کم نسبت به این موضوعات توجه بیشتری داشته باشیم. نمی‌خواهم بگویم یک تقلیدی از کشورهای پیشرفته در این زمینه داشته باشیم و بلافاصله این موارد را وارد استانداردها مان کنیم و تبدیل بشود به یک موضوعی که ما خودمان در اجراش دچار مشکل شویم، چه از بعد پایش و چه از بعد مدیریت آن. ولی به این نتیجه رسیدیم که کم‌کم جایگاهی هست که به این موضوعات بیشتر توجه کنیم و در واقع آلاینده‌های نوظهور و آلاینده‌هایی که قبلاً کمتر مورد توجه قرار گرفته را وارد استاندارد کنیم یا حداقل توصیه‌هایی در موردش داشته باشیم تا مورد توجه قرار بگیرد تا به مرور پله و جایگاهی بشود در اطلاعات و بررسی‌ها تا در بازنگری‌های بعدی داده‌ها و اطلاعات لازم جمع‌آوری شده و وجود داشته باشد. نکته دیگری که در بررسی‌ها به آن رسیدیم و چند مورد چالش‌هایی هم داشتیم در مواردی مثل دریاچه ارومیه و امثال آن، که در رابطه با استاندارد محیط پذیرنده کمتر به آن توجه شده، هرچند که ما به‌عنوان تبصره، استاندارد داریم که در رابطه با برخی از متغیرهای کیفی به ما مجوز داده که اگر محیط پذیرنده، متغیر کیفی بیش از مقدار متغیر در فاضلاب بود، برخی مجوزها را برای تخلیه داده و این موضوع هم لازم هست بازنگری‌هایی انجام بشود. ما اگر جاهایی می‌توانیم با هزینه‌های کمتر برای صنایع بحث

از طریق فعالیت‌های صنعتی و یا کشاورزی به منابع پذیرنده ما وارد می‌شود، طبیعتاً باید مورد توجه قرار بگیرد. اما ما در حوزه سازمان حفاظت محیط‌زیست روی این آلاینده‌های نوظهور تصورمان این است که باید در استانداردهای تخلیه فاضلاب این‌ها دیده شوند. چرا که آن چیزی که سازمان حفاظت محیط‌زیست براساس قوانین و مقررات عمل می‌کند خروجی فاضلاب‌های تصفیه شده است که به منابع پذیرنده وارد شده و مورد پایش قرار می‌گیرد و هر آن‌چه که براساس استاندارد بالاتر از حد استاندارد قرار بگیرد به‌عنوان آلودگی قلمداد می‌شود. بنابراین آلاینده‌های نوظهور را باید در چارچوب استاندارد تحقیق فاضلاب پیش‌بینی کنیم و امیدوار هستیم که در برنامه‌هایی که سازمان برای بازنگری این استانداردها دارد بتوانیم از نظرات اساتید استفاده بکنیم. اگر شاخص‌ها و پارامترهای را تصور می‌کنند در ایران هم ممکن است جزو آلاینده‌هایی باشد که تا به حال در استانداردها دیده نشده و می‌تواند در نسخه بازنگری شده موردتوجه قرار بگیرد به ما اطلاع‌رسانی کنند که بتوانیم در بازنگری که در حال انجام است مورد استفاده قرار بدهیم. من عرض خاص دیگری ندارم.

#### دکتر هاشمی:

عرض سلام خدمت دوستان. در مورد آلاینده‌های نوپدید که تعریفشان در استانداردها آمده برنامه‌های روزانه پایش قرار ندارند و اثرات و سرنوشت آن‌ها در محیط شناخته شده نیست. درخصوص میکروپلاستیک‌ها خود من ۸ پروژه را انجام دادم. هیچ استاندارد برای نمونه‌برداری، آنالیز و تحلیل آن وجود ندارد و حتی اثر آن‌ها روی انسان و محیط‌زیست به درستی شناخته شده نیست. اخیراً در گزارش WHO اظهار نگرانی در مورد اثرات این‌ها کرده و اظهار کرده بود شواهدی در مورد اثرات منفی این‌ها در حال حاضر در اختیار نداریم. اگر قرار باشد در استاندارد بگنجد و حالا هر آلاینده و ماده‌ای که بخواهیم اضافه کنیم باید توجه داشته باشیم که در ابتدا برای آن ماده روش‌های نمونه‌برداری و سنجش و حدود مجاز را بتوانیم تعیین بکنیم و قابلیت تحلیل آن نتایج را داشته باشیم. مواردی مثل میکروپلاستیک‌ها توصیه شده مورد سنجش قرار بگیرند تا زمانی که این اطلاعات فراهم بشوند.

#### دکتر کریمی جشنی:

سلام دارم خدمت همه حضار محترم. قبل از این‌که به این سوال بپردازیم دوست دارم چند ثانیه‌ای وقت را بگیرم و روشنگری کنم. برخی مواردی که مطرح شد به استاندارد و ضوابط تخلیه فاضلاب به محیط‌های پذیرنده مربوط می‌شود. ما باید تفاوت قائل شویم

این استانداردها، با توجه به توضیحاتی که دکتر هاشمی دادند که ما در ارتباط با شاخص و استاندارد به‌چه صورت عمل کردیم. یک توضیح خیلی کوتاهی دارم خدمت عزیزان که ما برای تدوین این شاخص و کیفیت اقدام کردیم. در واقع جمع‌آوری تمامی اطلاعات کیفیت آبی که در کشور وجود داشت در مجموعه وزارت نیرو و هم پایش‌هایی که در سازمان حفاظت محیط‌زیست انجام شده بود و این اطلاعات را به‌صورت یک بانک اطلاعات ما جمع‌آوری کردیم. در مرحله بعد با همان روش‌ها و ساختاری که آقای دکتر هاشمی توضیحات‌شان را ارائه کردند ما شاخص‌های کیفیت آب را پیشنهاد دادیم و به استناد ماده ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب و به‌خصوص ماده ۶ که اعلام می‌کنند طبقه‌بندی منابع آب سطحی و زیرزمینی و دریاچه‌ها و آب‌های ساحلی بایس توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست با همکاری بقیه دستگاه‌ها تهیه و به اجرا در بیاید، به این شاخص‌ها رسیدیم که بر مبنای این شاخص‌ها ما می‌توانیم منابع آب را در محل منبع بعد از انجام نمونه‌برداری و سنجش طبقه‌بندی بکنیم و بر مبنای این طبقه‌بندی می‌توانیم پهنه‌بندی کیفیت منابع آب را در مسیر رودخانه‌ها و یا در محدوده آبخوان‌ها انجام بدهیم. این خلاصه‌ای بود از آن‌چه که انجام شده و آقای دکتر بیدختی و همکارانشان دارند زحمت می‌کشند برای به‌روز کردن و تصویب مجدد این استاندارد و شاخص‌های کیفیت آب. به‌خاطر این‌که استاندارد کیفیت آبی که تدوین و مصوبه هیئت وزیران شد، در این استاندارد آمده که این پیش‌نویس برای مدت دو سال به‌صورت آزمایشی اجرا خواهد شد و بعد از دو سال با توجه به مسائل و مشکلات و نکاتی که احتمالاً در اجرا ما خواهیم داشت نسبت به بازنگری این استانداردها اقدام می‌کنیم. در حال حاضر ما هر آن‌چه که از بازخورد اجرای این استانداردها هم در حوزه سازمان حفاظت محیط‌زیست و ادارات استانی ما که پایش‌هایی را به‌صورت فصلی بر روی رودخانه‌ها و منابع آب انجام می‌دهند و به‌صورت پراکنده روی آب‌های زیرزمینی پایش‌ها در حال انجام است، به اضافه همه آن‌چه که کارشناسان و خبرگان در استفاده از این استاندارد نکات و پیشنهادهایی داشتند را جمع‌آوری کردیم به‌عنوان بخشی از اطلاعات اجرایی این استاندارد در اختیار آقای دکتر و همکارانشان قرار دادیم. پرسشنامه‌هایی را که دوستان تهیه کردند را به کارشناسان صاحب‌نظر ارسال کردیم و بعد از این‌که پاسخ‌ها را دریافت کردند اساتید ما بتوانند نسبت به تهیه نسخه بازنگری شده اقدام کنند. امیدواریم تا پایان سال جاری این کار انجام بشود. یک اشاره‌ای روی آلاینده‌های نوظهور شد. ما هم متوجه این موضوع هستیم که طبیعتاً هر سال آلاینده‌های شیمیایی مختلف

بین استاندارد تخلیه فاضلاب به محیط‌های پذیرنده، شاخص کیفی آب و استاندارد کیفیت آب. این سه مبحث جداگانه است. شاخص کیفی در حقیقت طبقه‌بندی کیفیت آب هست که مطرح می‌کند این آب سالم هست؟ خوب هست؟ کیفیتش چطور هست و در چه سطحی است؟ استاندارد کیفیت آب، مناسب بودن آب را برای کاربری‌های متفاوت بررسی می‌کند. مواردی که دوستان مطرح می‌کنند در خصوص استاندارد تخلیه فاضلاب به محیط‌های پذیرنده است که آن خودش بحث جداگانه‌ای است و استاندارد جداگانه‌ای دارد که در یک مقطعی هم بازنگری شده. حالا به‌خاطر مسائلی که بوده و ابلاغ نشده و امیدواریم مجدداً بازنگری تکمیل شده و آن هم ابلاغ بشود. این مطلب که می‌خواستیم تفاوت قائل شویم چون یک‌سری سوالات دارد به این سمت می‌رود که ربطی به شاخص استاندارد ندارد. در خصوص آلاینده‌های نوظهور آقای دکتر هاشمی توضیح فرمودند. یکی از مشکلات اساسی که در این زمینه است بحث اندازه‌گیری این آلاینده‌های نوظهور است. بررسی‌هایی که ما کردیم مثلاً آلاینده‌های نوظهوری به‌عنوان مثال آنتی‌بیوتیک‌ها و داروهای هورمونی یا میکروپلاستیک‌ها، اندازه‌گیری آن‌ها در سطح استان‌ها نیست یا خیلی سخت و گران‌قیمت است و چیزی هست که به‌راحتی نمی‌توانیم آن را وارد شاخص و استاندارد کنیم. شاید باید توجه کنید که این مسئله اجرایی شدن دچار مشکل می‌شود اما درخصوص استفاده از فاضلاب در فعالیت‌های کشاورزی در جاهایی که ما با کمبود آب مواجه هستیم و مراکز جمعیتی یا صنعتی وجود دارد که تصفیه‌خانه دارند، تصفیه‌خانه باید فاضلاب را به‌حد مناسب برای تخلیه به محیط‌زیست چه آب‌های سطحی چه آب‌های زیرزمینی و یا استفاده در کشاورزی برساند. بنابراین ما فاضلاب را صرفاً به‌خاطر کشاورزی تصفیه نمی‌کنیم و به‌خاطر ضررهای محیط‌زیستی و بهداشت عمومی انجام می‌دهیم. حالا آبی که هست به‌جای این که دور بریزیم می‌توانیم برای کشاورزی و صنعت استفاده کنیم.

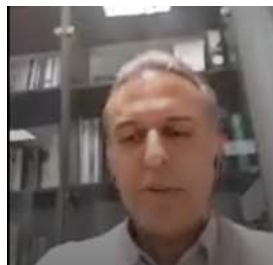
#### مهندس فتحی:

می‌خواستیم یک توضیح کوتاهی را عرض کنم در ارتباط با شاخص کیفیت آب و کاربردی که به لحاظ قانونی برای ما دارد این هست که شاخص کیفیت آب به ما نمی‌گوید که این آب آلوده است یا نه، بلکه طبقه‌بندی می‌کنند که این آب در چه محدوده کیفی قرار گرفته. در محدوده خیلی خوبه یا خیلی بده یا متوسط یا نسبتاً خوب یا نسبتاً بد. اما استاندارد می‌گوید این آب آلوده است. در چه پارامترهایی چقدر بالاتر از حدود استاندارد است یا چقدر

در واقع چند تا از پارامترها بالاتر از حدود استاندارد هستند. استاندارد به ما نمی‌گوید آب شما در چه رده‌ای قرار گرفته و آن چه در شاخص است به ما نمی‌گوید این آب آلوده است یا نه. می‌توانیم حدس بزنیم و گمان داشته باشیم که آب چقدر آلوده است یا نه، اما به‌صورت مستند در بحث شاخص نمی‌توان گفت آب آلوده است یا نه. هدفمان در ارتباط با طبقه‌بندی آب نهایتاً برنامه‌ریزی به‌منظور ارتقای کیفیت منابع آب است؛ استاندارد در واقع بررسی که انجام می‌دهد به‌منظور جلوگیری، پیشگیری، کاهش یا حذف و مقابله با آلودگی‌ها است.

#### خانم دکتر ناصری:

آقای دکتر حکمت‌زاده دو تا سوال پرسیده و توضیحاتی راجع به آن دادند. حقیقتش یکی از سوالاتشان این بود که فلزات سنگین در منابع آب و میکروپلاستیک‌ها اصلاً سنجش شده؟ این را خدمت شما دوستان عزیز بگویم که من خودم به‌شخصه از حدود ۳۰ سال پیش در استان خراسان جنوبی روی کروم کار کردم و دیدم که منابع آب زیرزمینی این مشکل را دارد. آقای مهندس واقفی هم می‌دانند که در سال‌های اخیر روی آرسنیک و بقیه فلزات سنگین هم کار شده و عمده‌تاً هم بیشتر به‌صورت طبیعی است. این‌طوری نیست که از سیستم‌های صنعتی وارد شده باشد. بیشتر نقش اصلی را خود معادنی که در خاک داریم آب‌های زیرزمینی به این ترتیب آلوده شدند. بنابراین فلزات سنگین نقش اصلی را دارد و حتماً باید در استاندارد بیاید. در رابطه با میکروپلاستیک‌ها که من پیشنهاد کردم به این دلیل است که با توجه به عوارض بسیار منفی که نه فقط روی خود کیفیت آب دارد بلکه آبزیان و ماهی‌هایی که آن‌جا هستند و کسانی که از این مواد غذایی دارند استفاده می‌کنند همین میکروپلاستیک‌ها وارد بدنشان می‌شود. می‌تواند وارد منابع آب شرب شود. بنابراین من هم‌چنان پیشنهاد می‌کنم که این را نگاه ویژه‌ای داشته باشیم.



#### مهندس واقفی

بسم الله الرحمن الرحيم. کاش همکاران در سازمان مدیریت منابع آب حضور داشتند چون بحث خیلی زیادی به‌خصوص در مورد استاندارد داشتند و نظرات خودشان را طی نامه‌ای اعلام کردند به سازمان استاندارد، ولی نمی‌دانم به‌جایی رسیده و یا نه. بحث



مهم و تأثیرگذاری هستند. در منابع آب زیرزمینی شاخص‌هایی مثل یون‌ها و یا فلزات سنگینی که خانم دکتر مطرح کردند، بعضی از مواردی که به‌عنوان شاخص‌های سمی ذکر شده به‌نظر من خیلی ضرورتی ندارد به‌عنوان شاخص سمی بیاید، مثل آهن و منگنز. می‌شود این‌ها را هم در همان شاخص‌های عمومی قرار داد. البته ما در مجموعه شرکت‌های آب و فاضلاب یک شاخص دیگری را که شاخص کانادایی بود برگرفته از WHO بیشتر استفاده کردیم که تحت عنوان شاخص DWQI است که خود آن به دو بخش تقسیم می‌شود. AWQI بحث مقبولیت است و HWQI مبنای سلامتی هست. این شاخص‌ها را بیشتر برای بخش آب شرب پسندیدم، به‌خاطر این‌که خیلی در این بخش کاربرد دارد. با آمار و اطلاعاتی که ما داریم و عدد و رقم‌هایی که به‌دست آوردیم نشان می‌دهد که بیشتر کاربرد دارد و بیشتر ما را راهنمایی می‌کند که با چه وضعیتی روبرو هستیم، هم در منابع آب و هم در منابعی که قرار است که تصفیه شده و در اختیار شبکه‌های توزیع آب قرار بگیرد. برمی‌گردم یک اشاره به بخش اول صحبت می‌کنم. استاندارد در مورد تخلیه فاضلاب‌ها به آب‌های پذیرنده بسیار اهمیت دارد و بسیار مهم هستند و حتماً باید باشد، که البته این‌هم به‌نظر می‌آید که نیاز به بازنگری دارد. ولی در مورد کیفیت منابع آب وقتی کلی داریم صحبت می‌کنیم به‌نظر من خیلی استفاده از کلمه استاندارد ضرورتی ندارد. اگر سوالی بود در خدمتم.

#### خانم دکتر ناصری:

در منابع آب به غیر از آب‌های سطحی و زیرزمینی، تالاب‌ها و دریاچه‌ها باید به‌صورت ویژه مدنظر قرار بگیرد و خواهم این است که دریای خزر و خلیج فارس را فراموش نکنیم. ما باید دریای خزر و خلیج فارس را جزو منابع خودمان ببینیم، چرا چون مجبور می‌شویم از آن‌ها استفاده و سعی کنیم که به‌خصوص دریای خزر را هم‌چنان با همان برنامه که قبلاً داشتیم چندین سال پیش، حفاظت کنیم و در اختیار بقیه کشورها قرار ندهیم.



#### دکتر تجربی:

ببینید این سوال دو قسمت هست. یک قسمت برمی‌گردد به این‌که من یک رودخانه دارم و می‌خواهم آن‌را در بازه‌های مختلف

این‌جا است که در کشورهای دیگر دنیا هم که بیشتر با طبقه‌بندی کیفی مواجه هستیم و در طبقه‌بندی کیفی ذکر می‌شود که این آب با این مشخصات که الان وجود دارد (که از شاخص‌ها به‌دست می‌آید البته) در طبقه‌بندی کیفی کجا قرار می‌گیرد و ضمناً ما کجا می‌توانیم از این آب استفاده کنیم. به‌عنوان مثال اگر خواستیم برای شرب استفاده بکنیم چه سیستم‌های تصفیه نیاز دارد که بشود این را به آب شرب تبدیل کرد. در استاندارد کیفیت منابع آب خیلی از موارد سختگیرانه بود. البته ما که خوشحال می‌شویم که سازمان مدیریت منابع آب چنین آبی با چنین مشخصاتی در اختیار شرکت‌های آب و فاضلاب بگذارد. ما با هزینه‌های بسیار بسیار کم می‌توانیم این آب را تصفیه کنیم و در اختیار مردم قرار بدهیم. در صورتی که اکثر جاها چنین آبی در اختیار ما قرار نمی‌گیرد و ما مجبور هستیم که با هزینه‌ای به مراتب بیشتر و گزاف‌تر این کار را انجام بدهیم. به‌خصوص در جایی که با آب شور مواجه هستیم از سیستم‌های پیشرفته باید استفاده کنیم و مثلاً در جایی که با مشکلات فلزات سنگین هم مواجه است. برای همین اگر این تبدیل به استاندارد شود استاندارد لازم‌الاجراست و به‌هرحال اگر در منبع آبی آب با چنین کیفیتی وجود داشته باشد قاعدتاً سیستم قضایی کشور می‌تواند ورود بکند و افراد را جریمه و یا مواخذہ کند. اما بحث طبقه‌بندی کیفیت متفاوت است. بنابراین من خیلی به استاندارد نمی‌پردازم و از استاندارد خارج می‌شوم. انشالله همکاران ما در سازمان مدیریت منابع آب بیشتر به این قضیه خواهند پرداخت. برمی‌گردم به شاخص، شاخص کیفی آبی که تهیه شد و زحمت زیادی کشیده شد که سعی شده از شاخص‌های بین‌المللی هم استفاده بشود به‌نظرم می‌رسید که الان با توجه به این‌که یک دوره این شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته و در پایش‌ها استفاده شده، نیاز به بازنگری دارد. البته آقای دکتر هاشمی در صحبت‌هایشان اشاراتی کردند مبنی بر این‌که این بازنگری شده، مواردش در سال ۹۹. من اطلاعی از آن ندارم. حتی همکاران دانشگاه شیراز هم اعلام کردند که در طی یک طرح، نظرسنجی کردند که بنده در جریان این نیستم ولی به‌هرحال امیدوارم این بازنگری انجام شده باشد. تا جایی که می‌دانم این شاخص دو بخش داشت، در خصوص آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی. واقعاً هم باید جدا باشد به‌خاطر این‌که یک سری پارامترها در آب‌های زیرزمینی موضوعیت ندارد. مثلاً شاخص BOD و COD خیلی در منابع آب زیرزمینی موردی ندارد. اما در منابع آب سطحی شاخص DO، شاخص کدورت و شاخص‌های BOD و COD شاخص‌های بسیار

که دارد اجرایی می‌شود که در تصفیه‌خانه فاضلاب سعی می‌کنیم با یک روشی که کمترین هزینه را می‌تواند داشته باشد میکروپلاستیک‌ها را بتوانیم خارج کنیم. میکروپلاستیک‌ها زمینه‌های مختلف و سایزهای مختلفی دارند. ما سعی می‌کنیم که روی همه این‌ها کار بکنیم و با یک روش خیلی کم‌هزینه این‌ها را حذف کنیم.

### دکتر تجریشی:

یکی از موضوعات مهم بحث کیفیت هست. در خصوص هوا قانون هوای پاک را داریم. به نظر می‌رسد الان قانون آب را دارد وزارت نیرو بازنگری می‌کند ولی به لحاظ کیفیت آب یکی از مهمترین چالش‌های ما هست. من انتظار دارم این نشست‌ها تکرار بشود و انتظار داشتم یک ارزیابی عملکردی از وضعیت آن‌چه که داریم بشود. آیا آن‌چه که داریم مطلوب است؟ آیا استانداردهایمان کفایت می‌کند؟ با چه چالش‌هایی برخورد کردیم؟ و بعد دیگران با این چالش چگونه برخورد کردند؟ خواهشی که دارم جنابعالی بتوانید این را ادامه دهید. یک ارزیابی و آسیب‌شناسی از وضعیت موجود داشته باشید. نگاه‌های متفاوت دوستان را جمع‌بندی کنیم. بعد آن چیزی که الان استاندارد و ضوابط جدید هست انشالله بتواند پایه و اساس حداقل ۱۰ سال آینده کشور شود. از جنابعالی و تمام عزیزانی که زحمت کشیدند این جلسه را برگزار کردند کمال را تشکر دارم.



### دکتر هاشمی:

امیدوارم این مسیر تدوین بازنگری شاخص به زودی به انجام برسد. دوستان اگر سوالی دارند می‌توانند از طریق ایمیل مطرح بفرمایند.

### دکتر مریدی:

سوالی که عزیزمان پرسیده بودند توصیه‌هایی بود که باید وجود داشته باشد که من یادداشت کردم در ارتباط با یکپارچه دیدن بحث تخلیه استاندارد و فاضلاب، استاندارد شاخص کیفیت آب و شاخص کیفیت منابع آب کاملاً صحیح است که نکات مهمی هستند باید دیده شوند. دو موضوع را خدمت شما عرض کنم، یکی بحث تالار گفتگویی هست که ما انشاءالله راه‌اندازیش

طبقه‌بندی کنم که ببینم وضعیت آن به چه صورت است، آن سیستمی که آقای دکتر هاشمی اشاره کردند به من کمک می‌کند بفهمم این بازه چگونه تغییر می‌کند و توانایی‌های خاص خودش رو دارد. مطمئناً ضعف‌هایی هم دارد. یک وقت هست من کارخانه‌ای دارم که می‌خواهد پسابش را وارد رودخانه بکند. می‌خواهم بدانم با چه کیفیتی می‌تواند وارد رودخانه بکند. یک وقت هست من آب را برای استفاده‌های سودمند می‌خواهم برداشت کنم. می‌خواهم بدانم این آب باید چه کیفیتی داشته باشد. همان‌طور که عزیزان در شرکت آب و فاضلاب اشاره کردند، وقتی استاندارد می‌شود، استاندارد دیگر جنبه قانون هست، پیگیری حقوقی و جریمه و عوارض دارد. بنابراین من فکر می‌کنم در ارائه این‌ها با هم مخلوط شد. بعضی از اوقات است که می‌خواهم تحلیلی انجام بدهم. یعنی مثلاً می‌خواهم ببینم وضعیت آلاینده‌گی سد لتیان که به این شکل است علتش چی است؟ چه عواملی باعث شدند؟ و هر کدام از این‌ها با چه اقداماتی می‌توانند چه میزان کاهش پیدا کنند؟

### دکتر کریمی جشنی:

سوالی که آقای دکتر ظهراپی کردند به نظر من برمی‌گردد به استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی. به درستی مطرح شد در حال حاضر ما محیط‌های پذیرنده‌ای که در استاندارد تخلیه فاضلاب داریم سه محیط پذیرنده کشاورزی، آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی را تعریف کردیم. در بحث کشاورزی بین فعالیت‌ها تفکیک نکردیم. در برخی از سبزی‌هایی که با فاضلاب در تماس هستند یا خام خورده می‌شوند یا آبیاری برای چمن‌ها یا پارک‌ها قاعدتاً حساسیت بیشتر هست. مرحله دوم می‌شود درختان میوه و سایر فعالیت‌های زراعی و مرحله سوم مثلاً درختان غیرمثمر خارج از شهر که در دسترس عموم قرار ندارند. در خیلی از کشورها این فعالیت‌های کشاورزی به ۵ بخش هم تقسیم‌بندی شده‌اند. در بازنگری ده سال پیش به سه دسته تقسیم شد که بشود به نگرانی‌های مطرح شده رسیدگی کرد. انشاءالله اگر آن بازنگری تکمیل بشود و در اختیار قرارگیرد بهتر خواهد شد و مشکلات برطرف می‌شود.

### خانم دکتر ناصری:

در رابطه با میکروپلاستیک‌ها سیستم‌های آنالیز دستگاهی خیلی گران قیمت است. ما از سال گذشته اتفاقاً داریم روی کیت‌های خاصی کار می‌کنیم که بتوانیم با انرژی کمتر و هم با قیمت کمتری انجام بدهیم. یک پروژه‌ای هم در خدمت دوستان هستیم

می‌کنیم و من از شما خواهش می‌کنم از طریق شما آقای دکتر طالب بیدختی این اطلاع‌رسانی بین همکاران و دوستانی که در این نشست بودند و احیانا عزیزانی که ما را همراهی نکردند ولی دلسوز این موضوع هستند آدرسش را من خدمت شما می‌فرستم. تالار آماده هست و خیلی از این نکاتی که امروز دوستان گفتند را آن‌جا به اشتراک بگذارند تا ما بتوانیم حداکثر استفاده را ببریم. موضوع دوم هم سامانه‌ای هست که ما تمام پایش‌های کشور را در آن گردآوری می‌کنیم و بخش‌هایی که در واقع طبقه‌بندی نداشته باشد را می‌توانیم با دوستان به اشتراک بگذاریم.

#### **مهندس فتحی:**

سوالی که پرسیده بودند در ارتباط با یکپارچه دیدن بحث تخلیه استاندارد و فاضلاب، استاندارد شاخص کیفیت آب و شاخص کیفیت منابع آب کاملاً صحیح است. امیدواریم سوالاتی از این قبیل که مطرح می‌شوند را بتوانیم به اتفاق جنابعالی و سایر اساتید در بازنگری نسخه‌ای که در حال انجام داریم بتوانیم آماده کنیم و تا قبل از پایان عمر دولت فعلی ما همه این‌ها را به صورت مصوبه برای اجرا ابلاغ می‌کنیم خیلی ممنون از زحماتی که کشیدید زنده باشید.

#### **مهندس واقفی:**

من هم تشکر می‌کنم از جنابعالی و همکارانتان که فرصت گفتگو در این تالار را فراهم کردید و به‌عنوان جمع‌بندی خدمتتان عرض کنم که در مجموع پایش‌هایی که در شرکت‌های آب و فاضلاب و سازمان‌های آب منطقه‌ای انجام شده، حجم اطلاعات زیادی هستند که با توجه به این اطلاعات امکان آن وجود داشته باشد که شاخص‌هایی که دارد تعریف می‌شود با دقت بیشتری تعریف بشود و خطای کمتری را ایجاد کند. ممنون از شما و بقیه عزیزان که در جلسه حضور داشتند.

#### **دکتر کریمی جشنی:**

خسته نباشید تشکر می‌کنم از همه عزیزانی که در این نشست حضور پیدا کردند و من خواهشی دارم اگر از بزرگواران کسی است که پرسشنامه و دعوت‌نامه ما را دریافت نکرده ما چون به تعداد بسیار زیادی فرستادیم، اگر کسی دریافت نکرده و علاقه دارد که نقطه نظراتش را به ما بگوید ما استقبال می‌کنیم و هنوز چیزی بسته نشده. خواهش می‌کنم با من یا آقای دکتر بیدختی تماس گرفته شود. ما پرسشنامه و فایل استاندارد کیفیت موجود را با ایمیل خدمتشان ارسال می‌کنیم. خیلی ممنون و خدا نگهدار شما.

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



دانشکده مکانیک، عمران و معماری

عنوان: حذف کروم از محیط‌های آبی با استفاده از زایدات واحدهای پرورش زنبور عسل و پر پرندگان و اصلاح آن توسط

پوشش‌های پلیمری

نگارش: سید علی حسینی

استاد راهنما: دکتر مجید ریاحی سامانی

استاد مشاور: دکتر داود طغرابی

تاریخ: تابستان ۱۳۹۹

## چکیده

اولیه کروم ۱۰۰ ppm بود. به عبارت دیگر با pH در محدوده ۶، افزایش زمان تماس و افزایش مقدار جاذب و افزایش غلظت اولیه کروم، درصد جذب افزایش داشت. ولی بهینه‌ترین درصد حذف زمانی به دست آمد که pH برابر ۶، زمان تماس در حد ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب ۲ گرم در لیتر و غلظت اولیه کروم ۱۰۰ ppm بود. نتایج حاصل از رسم هم‌دماهای جذب نیز نشان داد که معادله فروندلیچ به علت بالاتر بودن میزان  $R^2$  برازش بهتری نسبت به لانگمویر داشت. همچنین پارامترهای موثر بر فرآیند جذب برای کامپوزیت پلی‌آنیلین و زایدات زنبور عسل در حضور پلی اتیلن گلیکل، حاکی از آن بود که برای این کامپوزیت، بالاترین درصد جذب زمانی به دست آمد که pH برابر ۲، زمان تماس در حد ۱۲۰ دقیقه و مقدار جاذب ۸ گرم در لیتر و غلظت اولیه کروم ۱۰۰ ppm بود. به عبارت دیگر با کاهش pH، افزایش زمان تماس و افزایش مقدار جاذب و افزایش غلظت اولیه کروم، درصد جذب افزایش داشت، ولی بهینه‌ترین درصد حذف زمانی به دست آمد که pH برابر ۲، زمان تماس در حد ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب ۲ گرم در لیتر و غلظت اولیه کروم ۱۰۰ ppm بود. نتایج حاصل از رسم هم‌دماهای جذب نیز نشان داد که معادله فروندلیچ به علت بالاتر بودن میزان  $R^2$  برازش بهتری نسبت به لانگمویر داشت. در نهایت نتایج به دست آمده از احیا و واجذب بیان داشت که جاذب قابلیت جذب به‌طور پیوسته را دارد و احیا و بازیابی انجام گرفته است.

**کلمات کلیدی:** جذب کروم، کامپوزیت، پر شترمرغ، زایدات زنبور عسل، ایزوترم، جذب سطحی

امروزه، فلزات سنگین در اکثر پساب‌های صنعتی یافت می‌شوند و از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به حساب می‌آیند. کروم یکی از این فلزات سنگین است. در این تحقیق، هدف حذف کروم از محیط آبی با استفاده از پر پرندگان و زایدات زنبور عسل اصلاح شده به‌وسیله پوشش‌های پلیمری است. در آغاز، بعضی از خصوصیات جاذب توسط آنالیز XRD، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، دستگاه طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) انجام گرفت. آزمایش‌های جذب توسط جاذب‌های منتخب به شکل ناپیوسته به‌وسیله محلول‌های آزمایشگاهی دارای کروم انجام پذیرفت و شرایط بهینه جذب در اثر فاکتورهای مختلف pH، غلظت اولیه کروم، زمان تماس و مقدار جاذب بر میزان جذب در سطوح متفاوت مورد بررسی واقع شد و ایزوترم‌های جذب رسم شد. بعد از آن احیا و واجذب انجام گرفت. در نهایت مشخص شد که در میان کامپوزیت پرها، بالاترین درصد جذب مربوط به کامپوزیت پلی‌آنیلین و پر شترمرغ در حضور پلی اتیلن گلیکل، به مقدار ۸۷/۳۶ درصد و در میان کامپوزیت‌های زایدات زنبور عسل، بالاترین درصد حذف مربوط به کامپوزیت پلی‌آنیلین و زایدات زنبور عسل در حضور پلی اتیلن گلیکل، به مقدار ۵۰/۵۶ درصد بود. در ادامه این جاذب به‌عنوان بهترین جاذب انتخاب و برای انجام مراحل بعدی آزمایش برگزیده شد. در مرحله بعد پارامترهای موثر بر فرآیند جذب برای کامپوزیت پلی‌آنیلین و پر شترمرغ در حضور پلی اتیلن گلیکل، حاکی از آن بود که برای این کامپوزیت، بالاترین درصد جذب زمانی به دست آمد که pH برابر ۶، زمان تماس در حد ۱۲۰ دقیقه و مقدار جاذب ۸ گرم در لیتر و غلظت

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



عنوان: بررسی جذب و تجزیه میکرو/نانوپلاستیک‌ها در پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب توسط بیوجار حاصل از لجن

نگارندگان: دکتر مهتاب باغبان<sup>۱</sup>، الهام گودینی<sup>۲</sup>

۱- دکتری تخصصی نانو فناوری، مدیر مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران

۲- دانشجوی دکتری میکروبیولوژی، کارشناس آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان تهران

تاریخ: اسفند ۱۴۰۰

## چکیده

### مقدمه

سالانه مقدار زیادی پلاستیک وارد محیط‌های آبی می‌شود که دلیل اصلی آن مدیریت ضعیف ضایعات پلاستیکی است. میکروپلاستیک‌ها معمولاً به ذرات پلاستیکی با اندازه  $0.1 \mu m$  تا  $5 mm$  اطلاق می‌شود، در حالی که ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از  $0.1 \mu m$  به عنوان نانوپلاستیک تعریف می‌شوند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عنوان یک مسیر عمده انتشار میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی مطرح هستند. تقریباً ۳۵٪ میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی، الیاف مصنوعی حاصل از شستشوی پوشاک هستند. تخمین زده می‌شود که به ازای شستشوی هر کیلوگرم لباس ۳۰۸-۱۲۴ میلی گرم میکرو فیبر وارد سیستم فاضلاب می‌شود که معادل با ۱۵۰۰۰۰-۶۴۰۰۰۰ میکرو فیبر است. میکروپلاستیک و نانوپلاستیک آلاینده‌های خطرناک نوظهوری هستند که به محیط زیست، موجودات زنده و سلامت انسان آسیب می‌رسانند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ممکن است برخی از میکروپلاستیک‌ها را بسته به واحدهای تصفیه از بین ببرند. با این حال نشان داده شده است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند سیستم‌های تصفیه فاضلاب را دور بزنند، وارد محیط‌های آبی شده و در نهایت در محیط جمع شوند. تشخیص میکروپلاستیک‌ها در سیستم‌های تصفیه فاضلاب معمولاً شامل سه مرحله جمع‌آوری نمونه، پیش تیمار نمونه و تعیین خصوصیات میکروپلاستیک‌ها است. از آنجا که نمونه‌های به دست آمده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب ممکن است حاوی غلظت بالایی از مواد آلی یا مواد جامد غیر آلی باشند، روش‌های مختلفی برای

تصفیه و استخراج میکروپلاستیک‌ها از ماتریکس اصلی آن‌ها اعمال می‌شود. روش‌های فوق شامل: پراکسیداسیون کاتالیتیک با استفاده از  $NaClO$ ،  $H_2O_2$  و معرف فنتون، تخریب آنزیمی، تصفیه قلیایی و تصفیه اسیدی است.

تخمین زده می‌شود که یک تصفیه‌خانه فاضلاب می‌تواند تا  $10^{10}$  پارتیکل را در روز از طریق پساب خروجی آزاد کند. اگرچه ممکن است در بعضی موارد راندمان حذف به ۹۹٪ برسد، تعداد زیادی از میکروپلاستیک‌ها هنوز از طریق شبکه‌های تصفیه‌خانه در محیط زیست آزاد می‌شوند که منجر به آلودگی اکوسیستم‌های آبی می‌شود.

ذرات میکرو/نانوپلاستیکی طی فرآیندهای تصفیه فاضلاب با نیروهای برشی مختلفی که ناشی از اختلاط یا پمپاژ است روبرو می‌شوند که آن‌ها را به ذرات کوچکتر تقسیم کرده و باعث افزایش تعداد نانوپلاستیک‌های سمی آزاد شده در آب می‌شود. فرآیندهای تصفیه همچنین می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میکرو/نانوپلاستیک‌ها را تغییر داده و بر تعاملات بین این ذرات و سایر آلاینده‌های موجود در آب تأثیر بگذارند. مواد آلی در فرآیند لجن فعال نیز می‌توانند سطح میکرو/نانوپلاستیک‌ها را اکسید کرده و زبری و تخلخل آن‌ها را افزایش دهند و منجر به افزایش ده برابری جذب آلاینده‌های مختلف توسط آن‌ها شوند. بسترهای پلاستیکی به عنوان زیستگاه میکروبی برای میکروارگانیسم‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند که با ایجاد یک بیوفیلم در سطح میکروپلاستیک‌ها آن‌ها را کلونیزه می‌کنند. بیوفیلم‌ها همچنین می‌توانند ویژگی‌های سطحی میکروپلاستیک‌ها را با کاهش



هیدروفوبیسیته آن‌ها و افزایش زبری تغییر دهند. از این‌رو جذب آلاینده‌هایی مانند DDTs و PAHs تسهیل می‌شود و گسترش آلاینده‌ها را در محیط افزایش می‌دهد. از سوی دیگر فاضلاب خروجی حاوی جوامع میکروبی خاصی است که می‌تواند شامل پاتوژن‌های انسانی بالقوه و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک باشد. اگر میکروپلاستیک و پاتوژن‌های بالقوه به‌طور هم‌زمان آزاد شوند، ذرات میکروپلاستیک ممکن است یک جایگاه اکولوژیک برای پاتوژن‌های مشتق شده از فاضلاب فراهم کنند. از سوی دیگر ذرات پلاستیکی می‌توانند به‌عنوان بسترهای محافظ باکتری‌ها عمل کنند که می‌توانند در برابر فرآیند گندزدایی فاضلاب با استفاده از ازن، تابش اشعه ماوراء بنفش یا کلرزنی مقاومت کنند.

به‌دلیل مخاطرات ذکرشده در بالا، یک روش نهایی برای محدود کردن تعاملات بین میکروپلاستیک‌ها و سیستم‌های تصفیه، کاهش تعداد این ذرات و تخریب آن‌ها با استفاده از روش‌های کارآمد و با صرفه اقتصادی است. بیوچار یک ماده جامد غنی از کربن است که توسط فرآیند پیرولیز بیوماس تحت شرایط اکسیژن کم یا بدون اکسیژن به‌دست می‌آید و می‌تواند برای مصارف کشاورزی و محیطی استفاده شود. بیوچار معمولاً با استفاده از بقایای محصولات کشاورزی، بیومس چوب، بسترهای حیوانی و لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان ماده اولیه تولید می‌شود.

مدیریت و دفع بهداشتی لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب مسئله‌ای مهم و حساس است. از این‌رو یافتن راه‌حلی برای دفع موثر لجن یا ابزاری برای استفاده بهینه از این مواد برای مقاصد دیگر اهمیت دارد. از آنجایی که بیوچار به‌عنوان یک جاذب قوی به‌عنوان راه‌حلی در فرآیند پاکسازی بسیاری از آلاینده‌های محیطی پدیدار شده است، به‌نظر می‌رسد تبدیل لجن به بیوچار یک استراتژی جذاب در حذف کارآمد آلاینده‌ها و نیز مدیریت لجن تولید شده باشد. هم‌چنین فرآیند پیرولیز لجن سبب حذف آلاینده‌های آلی و پاتوژن‌ها و نیز کاهش حجم لجن می‌شود.

تلاش‌های تحقیقاتی قابل‌توجهی در زمینه جاذب‌های بر پایه بیوچار برای حذف آلاینده‌های آبی انجام شده است که می‌تواند اثرات سودمندی برای کنترل آلودگی منابع آبی اعمال کند. بیوچار به‌دلیل در دسترس بودن گسترده مواد اولیه خام، ارزان قیمت بودن و ویژگی‌های سطحی مطلوب فیزیکی/شیمیایی، پتانسیل زیادی در جذب آلاینده‌های آب به نمایش گذاشته است. برای تولید بیوچارهای با کیفیت بالا، پیرولیز آهسته اغلب به‌عنوان عملی‌ترین فرآیند تولید در نظر گرفته می‌شود. مطالعات نشان داده

است که مواد اولیه به‌طور قابل‌توجهی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ظرفیت جذب آلاینده‌ها توسط بیوچار تأثیر می‌گذارد. بنابراین، انتخاب ماده اولیه مناسب برای تولید بیوچار کارآمد بسیار مهم است. ترکیب فیزیکی و شیمیایی پیچیده و ناهمگن بیوچار یک بستر عالی برای حذف آلاینده‌ها از طریق فرآیند جذب ایجاد می‌کند.

اخیراً توجه گسترده‌ای به اصلاح بیوچار با ساختارها و خواص سطحی جدید به‌منظور افزایش اثربخشی قابلیت تصفیه و مزایای محیط‌زیستی معطوف شده است. روش‌های تغییر و اصلاح بیوچار را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد: اصلاح شیمیایی، اصلاح فیزیکی، اشباع‌شدن با جاذب‌های معدنی و اصلاح مغناطیسی.

اخیراً توجه زیادی به تحقیق در زمینه سنتز نانوکامپوزیت‌های برپایه بیوچار برای از بین بردن آلاینده‌های آبی معطوف شده است. سنتز یک نانو کامپوزیت برپایه بیوچار روشی برای به‌دست آوردن کامپوزیت جدید و ترکیب مزایای بیوچار با مزایای نانو مواد است. اخیراً مواد نانوکامپوزیتی برپایه سوبسترهای مختلف برای رفع آلودگی فاضلاب‌ها حتی فاضلاب هسته‌ای ساخته شده است. سنتز نانو کامپوزیت‌های برپایه بیوچار می‌تواند با اهداف حذف آلاینده‌ها و نیز مدیریت پسماند انجام شود. کامپوزیت‌های حاصل معمولاً به‌دلیل استفاده از نانو مواد، در عوامل موثر بر حذف آلاینده‌ها از جمله سطح ویژه، توزیع اندازه منافذ، حجم منافذ، وجود سایت‌های فعال سطحی، توانایی تخریب کاتالیتیک و قابلیت جداسازی آسان پیشرفت زیادی داشته‌اند. این کامپوزیت‌ها توانایی زیادی در جذب طیف وسیعی از آلاینده‌ها از محلول‌های آبی از جمله فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و سایر آلاینده‌های غیر آلی دارند. نانو کامپوزیت‌های برپایه بیوچار با مواد مختلف کاتالیتیک که در سطح بیوچار پراکنده شده‌اند، می‌توانند با جذب و تخریب هم‌زمان، آلاینده‌های آلی را از بین ببرند.

#### ایده پیشنهادی

بررسی پتانسیل استفاده از لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان ماده خام اولیه در تهیه بیوچار برای حذف آلاینده‌هایی نظیر میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب.

#### روش پیشنهادی

۱- تهیه بیوچار از لجن به‌عنوان ماده خام اولیه با استفاده از فرآیند پیرولیز آهسته تحت شرایط دمایی بالا (600-700°C) و دمایی پایین (300-400°C) و ارزیابی و مقایسه کارایی آن‌ها در

جذب و حذف میکرو/نانوپلاستیک‌ها؛

- ۲- مراحل شناسایی و آنالیز میکروپلاستیک‌ها شامل: جمع‌آوری نمونه‌های فاضلاب، استخراج میکروپلاستیک‌ها، شناسایی (با استفاده از استرئومیکروسکوپ، میکروسکوپ فلورسنس، FT-IR، GC-MS و یا کروماتوگرافی مایع؛
- ۳- بهینه‌سازی شرایط موثر در حذف میکروپلاستیک‌ها توسط بیوچارها نظیر pH، دما و ...؛
- ۴- اصلاح بیوچار توسط نانومواد و استفاده از نانوکامپوزیت‌های برپایه بیوچار برای جذب و حذف هم‌زمان میکروپلاستیک‌ها و مقایسه کارایی آن‌ها با بیوچار خام؛
- ۵- اصلاح بیوچار توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف (بهینه‌سازی) برای افزایش کارایی آن‌ها.

### سخن آخر

پلاستیک‌ها زمانی به‌عنوان "اختراع بزرگ قرن بیستم" مورد ستایش قرار گرفتند، اما اکنون آسیب ناشی از مدیریت نادرست محصولات پلاستیکی به‌طور فزاینده‌ای شناخته شده است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یک مسیر عمده برای انتشار میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین نیاز به ایجاد روش‌های ارزان‌قیمت، سازگار با محیط‌زیست و کارآمد برای پالایش آلاینده‌های میکرو/نانوپلاستیکی وجود دارد. مطابق با ایده پیشنهاد شده در این طرح، از لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان ماده خام اولیه در تهیه بیوچار استفاده می‌شود. به این ترتیب با استفاده از بیوچار به‌عنوان جاذب، علاوه بر حذف میکرو/نانوپلاستیک‌ها، مدیریت پسماند نیز صورت گرفته و منابع آلاینده محیط‌زیست به حداقل می‌رسند. از سوی دیگر، برای افزایش عملکرد بیوچار، اصلاح با نانومواد و نیز اصلاح تحت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف صورت گرفته و بهینه‌سازی انجام می‌شود. هم‌چنین با استفاده از بیوچار مهندسی شده جذب و تخریب هم‌زمان میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب صورت می‌گیرد. به‌علت قابلیت تهیه جاذب‌های بیوچار با استفاده از مواد اولیه فراوان و ارزان قیمت که به‌راحتی نیز در دسترس هستند، ایده مناسبی است که از فرآیند جذب برای حذف آلاینده‌هایی که در غلظت‌های کم موجود هستند استفاده شود. با توجه به ساختار منافذ خوب، ناحیه سطحی بالا و غنای گروه‌های عاملی سطح، کامپوزیت‌های بیوچار تهیه شده از لجن پتانسیل بسیار زیادی به‌عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌ها دارند.

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

- برگزاری نشست مشترک اعضای شورای سیاست‌گذاری کنگره و مدیرعامل محترم شرکت آب منطقه‌ای قم (۱۴۰۱/۰۴/۰۵)
- برگزاری جلسه مشترک اعضای شورای سیاست‌گذاری کنگره با مدیرکل پدافند غیرعامل استانداری قم (۱۴۰۱/۰۴/۰۵)
- برگزاری جلسه سوم شورای اجرایی کنگره (۱۴۰۱/۰۴/۰۵)
- برگزاری جلسه هشتم شورای سیاست‌گذاری کنگره (۱۴۰۱/۰۴/۰۵)
- برگزاری وبینار بیست و چهارم انجمن با عنوان "مدل‌سازی سیلاب و زهکشی شهری- اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن" توسط دکتر حامد توکلی فر و Dr. Duncan Kitts (۱۴۰۱/۰۴/۰۹)
- برگزاری چهارمین جلسه شورای اجرایی چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱/۰۴/۲۱)
- برگزاری جلسه شصت و چهارم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۴/۲۹)
- انتشار شماره هفتاد و ششم خبرنامه انجمن (تیرماه ۱۴۰۱)
- اعلام کسب رتبه A با مجموع امتیاز ۱۳۰۴/۲۵، توسط انجمن آب و فاضلاب ایران در ارزیابی فعالیت‌های سال ۱۴۰۰، توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (۱۴۰۱/۰۵/۰۱)
- اعلام کسب رتبه الف با مجموع امتیاز ۸۵۷، توسط نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در ارزیابی سال ۱۳۹۹ توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (۱۴۰۱/۰۵/۰۱)
- جلسه نمایندگان شورای سیاست‌گذاری کنگره در شرکت دانش بنیان بلندا (۱۴۰۱/۰۵/۰۳)
- برگزاری نشست مشترک اعضای شورای سیاست‌گذاری کنگره و رییس اتاق بازرگانی استان قم (۱۴۰۱/۰۵/۰۳)
- برگزاری نهمین جلسه شورای سیاست‌گذاری کنگره با حضور اعضای کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب قم (۱۴۰۱/۰۵/۰۳)
- برگزاری جلسه پنجم شورای اجرای کنگره (۱۴۰۱/۰۵/۰۳)
- برگزاری جلسه بیست و یکم کمیته تخصصی تلفات آب (۱۴۰۱/۰۵/۱۰)
- برگزاری اولین دوره از سری کارگاه‌های تخصصی انجمن با عنوان "طراحی مقدماتی تصفیه خانه فاضلاب" توسط آقای دکتر حسین ساسانی (۱۴۰۱/۰۵/۱۹ و ۲۰)
- برگزاری جلسه دهم کمیته تخصصی کیفیت آب (۱۴۰۱/۰۵/۲۵)
- برگزاری جلسه دوازدهم کمیته تخصصی بازیافت آب (۱۴۰۱/۰۵/۲۵)
- برگزاری جلسه شصت و پنجم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۵/۲۶)
- انتشار شماره هفتاد و هفتم خبرنامه انجمن (مردادماه ۱۴۰۱)
- برگزاری دهمین جلسه شورای سیاست‌گذاری کنگره در دانشگاه قم (۱۴۰۱/۰۶/۰۱)
- برگزاری جلسه پنجم شورای اجرای کنگره (۱۴۰۱/۰۶/۰۱)
- برگزاری وبینار بیست و پنجم انجمن با عنوان "کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا" توسط دکتر کامران امامی (۱۴۰۱/۰۶/۰۹)
- برگزاری اولین مدرسه تابستانی آب و محیط‌زیست با مشارکت موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو (۱۴۰۱/۰۶/۱۷-۱۲)
- برگزاری دومین دوره از سری کارگاه‌های تخصصی انجمن با عنوان "طراحی پیشرفته تصفیه خانه فاضلاب" توسط آقای دکتر حسین ساسانی (۱۴۰۱/۰۶/۱۶ و ۱۷ و ۲۴)
- برگزاری یازدهمین جلسه شورای سیاست‌گذاری کنگره در دانشگاه علوم پزشکی قم (۱۴۰۱/۰۶/۲۲)
- برگزاری جلسه ششم شورای اجرای کنگره (۱۴۰۱/۰۶/۲۲)
- برگزاری جلسه شصت و ششم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۱/۰۵/۳۰)
- انتشار شماره هفتاد و هشتم خبرنامه انجمن (شهریورماه ۱۴۰۱)

اطلاعات تماس:  
[info@ir-wva.ir](mailto:info@ir-wva.ir)  
 ۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰  
 نشانی پستی:  
 تهران، خیابان  
 لاله‌قانی، بین خیابان  
 دند و وصال، پلاک  
 ۴۲، طبقه ۴، واحد ۴  
 نشانی اینستاگرام:  
<https://www.instagram.com/irwva-ir-wva?igname=irwva>  
 نشانی تلگرام:  
<https://telegram.me/IRWVA94>  
 نشانی لینکدین  
<https://ir.linkedin.com/in-irwva-ir-wva-028454117>  
 نشانی آپارات:  
<http://www.aparat.com/>



- مطالب این شماره:
- اخبار انجمن
- معرفی استاندارد
- معرفی نرم افزار
- معرفی کتاب

مکاران این شماره:  
 کتر مسعود تابش  
 کتر جعفر یزدی  
 محمد شاه سوندی  
 رضا معاشری  
 محمد نجارزادگان  
 امید رضا حکیمیان

سخن اول:

**سخن اول:** تعبیرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی، تواتر و بزرگی وقایع حادی مانند سیلابها در بسیاری از شهرهای دنیا مستقوًش تغییر رفتار داده است. یکی از معضلاتی که سیلابها در بسیاری از شهرهای کشور از جمله تهران و اهواز پدیدار دارد، باران راننده رانندگی و پست نام و حواط منزلت) به کمک فاضلاب در از افواج علوب شبکه طرئف و کش خیابان را آذاشته و شبکه فاضلاب دچار یجاری زدی‌گی شده و فاضلاب از طریق سمول‌ها و کدرت‌های آب و معامر می‌شود. در نتیجه در کنار فاضلاب‌های مادی، نهیدجی جدی برای بهداشت عمومی شهروندان ایجاد شده است. در یک طرف، عدم توسعه شبکه فاضلاب نیز در برخی مناطق، سبب شده است که انواع فاضلابهای خانگی و صنعتی به‌طور غیرمجاز به کانال‌های آب‌راهی و سطحی تخلیه شود که در نهایت اثرهای آن در محیط زیست را به‌دلیل این است مسئله یکی از موضوعات مناقشه بین شرکتی‌های آب و فاضلاب عمومی متعلق به جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب با زیرمجموعه‌های شهرهای‌ها است که مستقیم جمع‌آوری و هدایت آب‌راهی و سطحی آب را بیان را به‌درد دارند به نظر می‌رسد جستجو و پیدامساری یک راه‌آزاد، پایدار و مانشی مناسب است (از جمله‌های ذکر شده)، به‌آتشکته باشد.

لطفا نظرات خود را به آدرس ایمیل  
comp.irwva@gmail.com تا ۲۱ شهریورماه  
ارسال فرمایید. در قسمت subject ایمیل،  
عنوان سابقه را وارد کنید. به قید قرعه  
هدیه‌ای به یکی از دوستان مشارکت کننده اعطا  
میشود.

اطلاعات تماس:  
[info@ir-wwa.ir](mailto:info@ir-wwa.ir)  
 ۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰  
 نشانی پستی:  
 روان، خیابان طالقانی  
 وین خیابان، قدس و  
 ۴، پلاک ۴۲۹، طبقه  
 ۴، واحد ۴  
 نشانی اینستاگرام:  
<https://www.instagram.com/ir-wwa.ir?r=namtag>  
 نشانی تلگرام:  
<https://t.me/ir-wwa>  
<https://www.linkedin.com/company/ir-wwa>  
 نشانی آیتار:  
<https://www.anat.ir/>



Cartoon : Javad Tarighi Akhbarpoor

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- معرفی استاندارد
- معرفی نرم افزار
- معرفی کتاب
- تازه های آپارات
- اعضای حقوقی

شمارگان این شماره:

سخن اول:

[illegible]

لطفاً نظرات خود را به آدرس ایمیل  
 competitions@gmail.com یا ۳۱  
 subject مرادنامه ارسال فرمایید در قسمت  
 ایمیل، عنوان مسابقه را وارد کنید. به قید  
 قرعه هدیهای به یکی از دوستان مشارکت  
 کننده اهدا خواهد شد.

اطلاعات تماس:  
[info@irwva.ir](mailto:info@irwva.ir)  
 ۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۸۰  
 نشانی پستی:  
 تهران خیابان  
 انقلابی، پهن خیابان،  
 دس و وصال، پلاک  
 ۴۲، طبقه ۴، واحد ۷  
 نشانی اینستاگرام:  
[https://www.instagram.com/irwva-irwa?utm\\_source=ig\\_web\\_profile\\_page](https://www.instagram.com/irwva-irwa?utm_source=ig_web_profile_page)  
 نشانی تلگرام:  
<https://t.me/irwva24>  
 نشانی لینکدین:  
<https://fr.linkedin.com/in/irwva-irwa-098454117>  
 نشانی وبسایت:  
[www.anaral.com](http://www.anaral.com)



مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- معرفی استاندرد
- معرفی نرم افزار
- معرفی کتاب
- تازه های آپارات
- اعضای حقوقی

همکاران این شماره:  
دکتر مسعود تابش  
دکتر جعفر یزدی  
محمد شاه‌سوئدی  
رضا معاشری  
محمد نجارزادگان  
میدر رضا حکیمیان

سخن اول:

[illegible][illegible]



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>دکتر ناهید نویدجوی ، نماینده انجمن در دانشگاه علوم پزشکی ارومیه</b></p> <p>دکتر ناهید نویدجوی از سال ۱۳۸۶ عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ارومیه بوده و دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط را از دانشگاه علوم پزشکی همدان اخذ کرده‌اند. پایان نامه دکترای ایشان در خصوص کاربرد سیستم های بیوالکتروشیمیایی سه محفظه‌ای در حذف آمونیوم و کربن از محلول های آبی و تولید هم‌زمان جریان بیوالکتریسته است. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان کاربرد روش‌های نوین و دوستدار محیط‌زیست در صنعت تصفیه آب و فاضلاب، کاربرد پیل‌های سوختی میکروبی، سیستم‌های بیو الکتروشیمیایی، الکترولیز میکروبی، بیوالکتروفنتون در حذف آلاینده‌های محیط‌زیستی مانند آمونیوم، آلاینده‌های آلی مقاوم و نوظهور، آلاینده‌های دارویی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک است. آموزش در حیطه‌های فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی آب و فاضلاب، شیمی و میکروبیولوژی محیط، مجری اصلی طرح‌های تحقیقاتی و کاربردی در دانشگاه‌های علوم پزشکی، مشاوره و راهنمایی پایان‌نامه های دانشجویان ارشد، چاپ و ارائه مقاله‌های معتبر متعدد در مجلات داخلی و بین‌المللی، ارائه مقاله و سخنرانی در همایش‌ها و کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی از جمله دستاوردهای ایشان محسوب می‌شود.</p>                                                                |    |
| <p><b>دکتر محمد محمد محمدی، نماینده انجمن در شرکت آب و فاضلاب استان ایلام</b></p> <p>دکتر محمد محمد محمدی دکترای مهندسی عمران، گرایش مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز در سال ۱۳۹۸ اخذ نمودند. ایشان کارشناسی ارشد مهندس تاسیسات آبیاری را از دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۸۱ و کارشناسی مهندسی آبیاری را از دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۷۸ و کارشناسی دوم خود را در رشته مهندسی عمران در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه پیام نور اخذ نموده‌اند. عنوان رساله دکترای ایشان، تولید برق از خطوط انتقال آب با استفاده از پمپ به جای توربین (مطالعه موردی خطوط انتقال آب و فاضلاب ایلام) و عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد ایشان، جریان بر روی سرریزهای زیگزاگی است. ایشان بیش از ۲۰ سال تجربه اجرایی در شرکت آب و فاضلاب ایلام با عناوین مدیر دفتر اجرای شبکه‌های آب و فاضلاب، معاون مهندسی و توسعه و نیز معاون بهره‌برداری فاضلاب و مدیر توسعه پایدار در کارنامه خود دارد. ایشان هم‌چنین بیش از ۱۷ سال سابقه تدریس دروس تخصصی عمران و آب و فاضلاب در دانشگاه های آزاد اسلامی و پیام نور ایلام دارند و تاکنون ۱۲ مقاله ISI، علمی پژوهشی و کنفرانسی نگارش کرده‌اند. هم‌چنین دو طرح تحقیقاتی را نیز انجام داده‌اند. زمینه مورد علاقه ایشان، انرژی، هیدرولیک شبکه و استفاده مجدد از پساب است.</p> |   |
| <p><b>دکتر جعفر مامی‌زاده، نماینده انجمن در دانشگاه ایلام</b></p> <p>دکتر جعفر مامی‌زاده عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام است. ایشان دکترای تخصصی خود را در رشته سازه‌های آبی از دانشگاه تربیت مدرس اخذ کردند. عنوان رساله دکترای ایشان بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه واگرایی و مشخصات هیدرولیکی رسوبی بر الگوی پیشروی دلتا در مخازن سدها بود. محور اصلی تحقیقاتی ایشان در زمینه مدل‌سازی و بررسی میدانی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب شهری و روستایی و طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی است. ایشان دارای سابقه همکاری پاره‌وقت با شرکت‌های مهندسی مشاور در زمینه مطالعات، طراحی و مدیریت طرح‌های آب و فاضلاب است. نتایج تحقیقات ایشان تاکنون در قالب ۲۰ مقاله در مجلات علمی-پژوهشی و ISI به چاپ رسیده است. ایشان ۲۴ مقاله کنفرانسی و ۴ طرح پژوهشی را نیز به انجام رسانده است. هم‌چنین ایشان تاکنون ۱۵ دانشجوی تحصیلات تکمیلی را راهنمایی کرده است.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |



## کنفرانس‌های داخلی

| عنوان کنفرانس                                                                            | برگزارکنندگان                                                     | محل برگزاری   | تاریخ برگزاری            | سایت کنفرانس                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران                                            | انجمن آب و فاضلاب ایران،<br>دانشگاه علوم پزشکی قم و<br>دانشگاه قم | دانشگاه قم    | ۱ تا ۳ آذرماه ۱۴۰۱       | <a href="https://iwwa-conf.ir">https://iwwa-conf.ir</a>                                                       |
| بیست و یکمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران                                                  | انجمن هیدرولیک، دانشگاه<br>شهید چمران اهواز                       | دانشگاه اهواز | ۱۸ و ۱۹ بهمن‌ماه<br>۱۴۰۱ | <a href="http://www.13ncce.ir/">http://www.13ncce.ir/</a>                                                     |
| هفدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران با محوریت آبخیزداری و امنیت پایدار غذایی | انجمن آبخیزداری ایران،<br>دانشگاه جیرفت                           | جیرفت         | ۹ و ۱۰ اسفندماه ۱۴۰۱     | <a href="https://wms1401.ujiroft.ac.ir/Home/Content?id=1">https://wms1401.ujiroft.ac.ir/Home/Content?id=1</a> |

## کنفرانس‌های خارجی

| عنوان کنفرانس                                                                                                                         | محل برگزاری                   | تاریخ برگزاری                 | سایت کنفرانس                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IWA World Water Congress & Exhibition 2022                                                                                            | Copenhagen, Denmark           | 11 – 15 September 2022        | <a href="http://www.worldwatercongress.org/">http://www.worldwatercongress.org/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 13th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation                                                                        | Beijing, China                | 11 – 15 October 2022          | <a href="https://iwa-network.org/events/13th-iwa-conference-on-instrumentation-control-and-automation/">https://iwa-network.org/events/13th-iwa-conference-on-instrumentation-control-and-automation/</a>                                                                                                                                             |
| IWA Conference on Sustainable Sludge Management                                                                                       | Beijing, China                | 18 – 20 October 2022          | <a href="https://iwa-network.org/events/iwa-conference-on-sustainable-sludge-management/">https://iwa-network.org/events/iwa-conference-on-sustainable-sludge-management/</a>                                                                                                                                                                         |
| 4th IWA Regional Conference on Diffuse Pollution & Eutrophication (DIPCON)                                                            | Turkey, Istanbul              | 24 – 28 October 2022          | <a href="https://iwadipcon2022.org">https://iwadipcon2022.org</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Water Loss Asia 2022, Virtual Conference                                                                                              | Malaysia                      | 15 – 17 November 2022         | <a href="https://www.waterlossasia.com">https://www.waterlossasia.com</a>                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 13th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation                                                                        | Beijing, China                | 17 – 21 October 2022          | <a href="https://www.iwa-ica2022.com/En/Default">https://www.iwa-ica2022.com/En/Default</a>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 4th IWA Regional Conference on Diffuse Pollution & Eutrophication (DIPCON)                                                            | Istanbul, Turkey              | 24 – 28 October 2022          | <a href="https://iwadipcon2022.org/">https://iwadipcon2022.org/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 11th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries                                                      | Gdansk, Poland                | 26 – 28 October 2022          | <a href="https://iwa-agro2022.org/">https://iwa-agro2022.org/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 17th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control                                                          | Lyon, France                  | 6 – 10 November 2022          | <a href="http://www.icws2022.insight-outside.fr/">http://www.icws2022.insight-outside.fr/</a>                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Water Loss Asia 2022                                                                                                                  | Malaysia (Virtual Conference) | 8 – 10 November 2022          | <a href="https://www.waterlossasia.com/">https://www.waterlossasia.com/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3rd IWA YWP Spain Conference Reunion                                                                                                  | Valencia, Spain               | 16 – 19 November 2022         | <a href="https://iwa-network.org/events/3rd-iwa-ywp-spain-conference-reunion/">https://iwa-network.org/events/3rd-iwa-ywp-spain-conference-reunion/</a>                                                                                                                                                                                               |
| Digital Water Summit                                                                                                                  | Bilbao, Spain                 | 29 November – 2 December 2022 | <a href="https://digitalwatersummit.org/">https://digitalwatersummit.org/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 8th International Water Association Specialist Conference on Natural Organic Matter (NOM8) and the IWA Particle Separation Conference | Boksburg, South Africa        | 5 – 10 December 2022          | <a href="https://iwa-network.org/events/8th-international-water-association-specialist-conference-on-natural-organic-matter-nom8-and-the-iwa-particle-separation-conference/">https://iwa-network.org/events/8th-international-water-association-specialist-conference-on-natural-organic-matter-nom8-and-the-iwa-particle-separation-conference/</a> |
| IWA Biofilms 2022 Conference – Processes in Biofilms, Fundamentals to Applications                                                    | Phuket, Thailand              | 6 – 8 December 2022           | <a href="http://iwabiofilms2020.org/">http://iwabiofilms2020.org/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 13th IWA International Conference On Water Reclamation and Reuse                                                                      | Chennai, India                | 15 – 19 January 2023          | <a href="http://iwareuse2023.com/">http://iwareuse2023.com/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



# کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

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



## محورهای کنگره:

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

محل برگزاری: دانشگاه قم

۱ الی ۳ آذرماه ۱۴۰۱

مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهرماه ۱۴۰۱

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

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

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

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

۰۲۵-۳۷۸۳۴۰۷۳

۰۲۵-۳۷۸۳۴۰۷۳

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

دبیرخانه: قم، میدان روح‌الله، دانشکده بهداشت

دانشگاه علوم پزشکی قم







## فراخوان هفتمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۷

### ویژه دانش آموختگان سال‌های ۱۳۹۸ به بعد



انجمن آب و فاضلاب ایران در هفتمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در حوزه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، پایان نامه‌های برتر در "مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری" را با اهدای **لوح تقدیر و جوایز نفیس** مورد تشویق قرار می‌دهد.

از علاقه‌مندان دعوت می‌شود تا فرم شرکت در مسابقه را از طریق سایت انجمن به نشانی **[IRWWA.IR](http://IRWWA.IR)** دریافت و پس از تکمیل، به همراه فایل‌های پایان نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۱** از طریق پست الکترونیکی به نشانی **[IWWA.Thesis.Competition@gmail.com](mailto:IWWA.Thesis.Competition@gmail.com)** ارسال نمایند.

جوایز نفرات برگزیده در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، هم‌زمان با برگزاری "چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران" که از ۱ تا ۳ آذرماه ۱۴۰۱ در دانشگاه قم برگزار می‌شود، اعطا می‌شود.



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

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

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹

۰۹۱۰۶۸۰۸۹۰۹



## سومین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۱

یادواره

مهندسی جلال آشفته

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

- ❖ گزینه اول: طراحی و بهره برداری شبکه های آب، فاضلاب و آب سطحی
- ❖ گزینه دوم: فرایندهای تصفیه، طراحی و بهره برداری تصفیه خانه های آب و فاضلاب

🏆 به نفر اول هر گزینه جایزه نفیسی اهدا خواهد شد.

🏆 برای اطلاع از آخرین تغییرات آیین نامه برگزاری المپیاد به سایت انجمن مراجعه فرمایید.

🏆 شرکت در المپیاد، برای عموم دانشجویان در تمامی مقاطع و متخصصین صنعت آب و فاضلاب مجاز است.

آخرین مهلت ثبت نام: **۲۰ آذرماه**

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

**۲۴ آذرماه ۱۴۰۱**

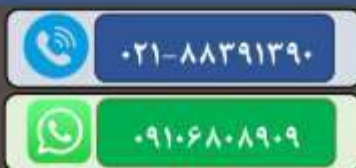
مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می شود)

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۷۵ هزار تومان

سایرین: ۱۰۰ هزار تومان



علاقه مندان می توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به  
وبسایت **انجمن آب و فاضلاب ایران** مراجعه کنند و یا  
با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند.





مهلت ارسال ایده  
۳۰ دی ماه ۱۴۰۱

## چهارمین دوره مسابقه ایده برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب

در محورهای هدررفت آب، بازیافت آب، کیفیت آب و سایر موضوعات مرتبط

همراه با جوایز نقدی، لوح تقدیر و چاپ ایده در مجله علمی "علوم و مهندسی آب و فاضلاب" برای رتبه‌های برتر

برای دریافت فرمت مربوطه و فرم مشخصات به سایت انجمن به

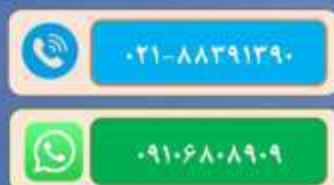
نشانی [irwwa.ir](http://irwwa.ir) مراجعه کرده و پس از تکمیل به ایمیل

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

ارسال گردد.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به وبسایت انجمن آب و

فاضلاب ایران مراجعه کنید و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایید.





|                                                                                                                            |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | <br>کوه مینا<br>شرکت مهندسی و ساخت<br>بویلر و تجهیزات مینا                           | <br>HANYCO                                          |
| <br>شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی | <br>آبساران مهندسين مشاور<br>Absaran Consulting Engineers<br>www.absaran-co.ir       | <br>شرکت مهندسی آب و فاضلاب آذر                     |
| <br>مهندسی برق و الکترونیک                | <br>بنیاد برکت<br>تأسیساتی فرمان حضرت امام (ره)                                      | <br>AZAR SIMAB<br>Private Joint Stock Co.           |
| <br>شرکت آب و فاضلاب یزد                 | <br>ABSUN ZOLAL<br>SUSTAINABLE & CREATIVE SOLUTIONS                                 | <br>مهندسين مشاور<br>آبساران                       |
| <br>شرکت آب و فاضلاب استان قزوین        | <br>شرکت آب و فاضلاب استان یزد<br>Yazd Water and Wastewater Co.<br>www.AbfaYazd.ir | <br>MARAM<br>مدیریت و نگهداری آب و فاضلاب (میرام) |
| <br>شرکت آب و فاضلاب شیراز              | <br>مهندسین مشاور پارس آبی آب                                                      |                                                   |
| <br>شرکت آب و فاضلاب تهران              | <br>وزارت نیرو<br>شرکت مدیریت منابع آب ایران<br>شرکت سهامی آب منطقه ای فارس        | <br>شرکت آب و فاضلاب جنوب فارس استان تهران        |
| <br>مهندسين مشاور<br>پارس فراز پارس     | <br>شرکت آب و فاضلاب استان تهران<br>Tehran Province Water & Wastewater             | <br>فراسان                                        |
| <br>بنیاد علمی آموزش                    | <br>مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب                                        | <br>توسعه و عمران پارس                            |

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>سازمان انرژی اتمی ایران                         | <br>شرکت پلیمر آریا ساسول<br>ARYA SASOL POLYMER COMPANY<br>سهامی خاص                 | <br>بنیاد فرسنگی موشی شاد                                                     |
|                                                     | <br>Mobarakeh Steel Co.                                                              | <br>شرکت پتروشیمی غدیر<br>Ghadeer Petrochemical Company (Private Joint Stock) |
| <br>شرکت فرآیند ارفام پارس                          | <br>شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲<br>Water and Wastewater Company<br>District 2 of Tehran | <br>فومن شیمی                                                                 |
| <br>شهرک فرجیه                                      | <br>شرکت آب و فاضلاب منطقه مرکزی<br>www.shfshahrak2i.ir                              | <br>شرکت لای ایران<br>COAL SERVICE                                            |
| <br>TALAYEH                                        | <br>BOLANDA<br>Automatic faucets                                                    | <br>چنوب<br>مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست                             |
| <br>SafBon                                        | <br>هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون<br>Hamoon Pipe Line Development Company Hapico  | <br>APDA<br>مهندسان مشاور آب و فاضلاب<br>استان فارس                         |
| <br>مهندس: مشاور داهه                             | <br>SMA                                                                            | <br>P O D<br>Persia Optimized Designing<br>شرکت بهینه طراحی پرشیا             |
| <br>Paya Pooshesh Ahoura                          | <br>شرکت مهندسی قرآب تدبیر                                                         | <br>Paya Pooshesh Ahoura                                                    |
| <br>طوس آب<br>شرکت مهندسی مشاور                   | <br>پادیاب                                                                         | <br>NIKA<br>International Inspection Services                               |
| <br>آوژه پالاش<br>water and water waste treatment | <br>فرداب                                                                          | <br>مهندسین مشاور<br>آینده                                                   |
|                                                                                                                                      | <br>فرداب                                                                          | <br>آوژه نو آوران مروارید پارسیان                                           |

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

#### حق عضویت اعضای حقیقی

| نوع                                                        | مبلغ (ریال) |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰<br>(به ازای هر سال) | ۶۰۰۰۰۰      |
| حق عضویت دو ساله (۱۴۰۱ - ۱۴۰۲)                             | ۱۸۰۰۰۰۰     |
| حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۱ - ۱۴۰۴)                           | ۳۲۵۰۰۰۰     |
| حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۱ - ۱۴۰۲)                    | ۱۳۰۰۰۰۰     |
| عضویت دائمی                                                | ۱۰۰۰۰۰۰۰    |

#### حق عضویت اعضای حقوقی

| نوع شرکت | حق عضویت سالانه (ریال) |
|----------|------------------------|
| کوچک     | ۷۰۰۰۰۰۰                |
| متوسط    | ۱۳۰۰۰۰۰۰               |
| بزرگ     | ۲۰۰۰۰۰۰۰               |

#### هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

\* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

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

#### مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

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

و در سایت اعلام کند.

#### ❖ فایل‌های لازم

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

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

#### ❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

#### ❖ نام نویسنده(گان):

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

#### ❖ نام مؤسسه:

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

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

#### ❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

#### ❖ انواع مقالات:

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



#### ❖ چکیده فارسی:

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

#### ❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

#### ❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

#### ❖ متن مقاله:

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

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

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

#### ❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب بعد از معرفی آن‌ها در متن مقاله در فایل word مقاله با کیفیت مناسب چاپ، ارائه می‌شوند. همه جدول‌ها و شکل‌ها شماره‌گذاری شده و عنوان جدول در بالای آن و عنوان شکل در زیر آن نوشته می‌شود. در عنوان جدول‌ها و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان‌های دبی آب خام در تصفیه خانه بابا شیخ علی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۵. در ضمن اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگری اخذ شده است، به مرجع موردنظر در آخر عنوان جدول یا شکل اشاره می‌شود و

مشخصات مأخذ در بخش مراجع درج می‌شود. هم‌چنین ارسال فایل اصلی شکل‌ها در محیط نرم‌افزاری به همراه کاربرگ داده‌های نمودار نیز ضروری است. در فایل pdf مقاله، تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در محل خودشان در متن مقاله جانمایی می‌شوند. - در صورتی که در مقاله از عکس استفاده شده باشد، ارسال فایل اصلی آن الزامی است.

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

#### ❖ معادلات:

معادلات به صورت خوانا با حروف و علائم مناسب با استفاده از Microsoft Equation تهیه می‌شوند. واحدها برحسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند. تمام پارامترهای هر معادله باید بلافاصله در زیر آن معرفی شوند.

#### ❖ مراجع:

نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت (نویسنده، سال) عمل می‌شود و در انتهای مقاله مرجع‌نویسی به صورت الفبایی است. ارجاع در داخل متن به بیش از یک مرجع در کنار هم، به این صورت است که مراجع با نقطه ویرگول (؛) از هم جدا می‌شوند. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن‌ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می‌شوند. تاکید می‌شود که در بخش فهرست مراجع، نام مجله، انتشارات، موسسه، کنفرانس و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری می‌شود. در متن مقاله نیز نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می‌شود. در صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که بیش از دو نفر باشند، از عبارت (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می‌شود.

#### ❖ مقاله فارسی:

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

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

#### ❖ مقاله غیر فارسی:

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

❖ مقاله منتشر نشده:

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

❖ کتاب:

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

❖ بخشی از کتاب:

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

❖ موسسه به جای نویسنده:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

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

❖ پایان نامه:

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

❖ سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

با توجه به افزایش شدید هزینه‌های پردازش و انتشار نشریه در سال‌های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۱ به مجله ارسال می شود باید مبلغ یک میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ سه میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۶۲۵۶-۰۰۱۲-۵۸۵۹-۸۳۷۰ به نام انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) واریز و فیش آن را به همراه فایل‌های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

# Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 7, No. 2, Summer 2022

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

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

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

## Editorial Board:

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



## Industrial Water and Wastewater Policy Council:

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

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

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





ISSN 2588-3941

# Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 7, No. 2, Summer 2022

|                                                                                                                                                                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Preface</b>                                                                                                                                                                                                                                 | <b>2</b>  |
| <b><u>Papers</u></b>                                                                                                                                                                                                                           |           |
| <b>A review on Thermodynamics in Water Cycle with Emphasizing on Entropy and Maximum Entropy Production Principle</b><br>Diba Ghonchepour and Abdolreza Bahremand                                                                              | <b>4</b>  |
| <b>Performance Evaluation of Hydrothermal Carbonation Treatment to Biogas Production from Anaerobic Digestion of Organic Waste</b><br>Reza Ghasemzadeh, Mohammad Ali Abdoli, Omid Bozorg-Haddad and Maryam Pazoki                              | <b>14</b> |
| <b>Investigation of Floating Treatment Wetland and its Role in Wastewater Treatment of Textile Industry</b><br>Lobat Taghavi and Fatemeh Golrizkhatami                                                                                         | <b>23</b> |
| <b>Study of the Impact of Aerobic Digestion on the Waste Sludge Dewaterability of SBR System of Yazd Wastewater Treatment Plant</b><br>Masoud Taheriyoun, Behzad Aghababaei, Sajjad Mohammadi Esfarjani, Vahid Ghelman and Akbar Salehi Vaziri | <b>34</b> |
| <b>Numerical Analysis of Land Subsidence due to Water Withdrawal from Pumping Well in Urban Areas</b><br>Mojtaba Ansari Shad and Majid Noorian-Bidgoli                                                                                         | <b>42</b> |
| <b>Improvement of Saline Effluent Quality Using Phytoremediation</b><br>Marzieh Farhadkhani, Mahnaz Nikaeen and Ghasem Yadegarfar                                                                                                              | <b>53</b> |
| <b><u>General Section</u></b>                                                                                                                                                                                                                  |           |
| <b>Interview</b>                                                                                                                                                                                                                               | <b>63</b> |
| <b>Round-Table</b>                                                                                                                                                                                                                             | <b>69</b> |
| <b>Best Thesis</b>                                                                                                                                                                                                                             | <b>82</b> |
| <b>Best Idea</b>                                                                                                                                                                                                                               | <b>83</b> |
| <b>IWWA News</b>                                                                                                                                                                                                                               | <b>86</b> |