Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 4, PP. 4-14, Winter 2022
DOI: 10.22112/JWWSE.2021.273237.1260

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۴، صفحات ۴-۱۴، زمستان ۱۴۰۰

Review Paper

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

Seyyed Mohammad Hadi Meshkati[1*], Nazanin Hamnabard[2], Alireza Valipour[3] and Abbas Akbarzadeh[4]

1- Assistant professor, Department of Hydraulic Engineering and Hydro-Environment, Water Research Institute, Tehran, Iran.
2- Research Expert, Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.
3- Ph.D., Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.
4- Assistant professor, Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.
*Corresponding Author, Email: h_meshkati@yahoo.com

Received: 20/02/2021
Revised: 07/07/2021
Accepted: 31/07/2021
© IWWA

Abstract

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

Keywords: Technology development, Wastewater treatment, Strategic plan

مقاله مروری

راهبردها و سیاست‌های توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب در ایران

سیدمحمدهادی مشکاتی[۱*]، نازنین هم‌نبرد[۲]، علیرضا ولی‌پور[۳] و عباس اکبرزاده[۴]

۱- استادیار، پژوهشکده مهندسی هیدرولیک و محیط‌های آبی، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
۲- کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
۳- دکتری تخصصی، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
۴- استادیار، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: h_meshkati@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

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

کلمات کلیدی: توسعه فناوری، تصفیه فاضلاب، سند راهبردی

۱- مقدمه

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

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

امروزه با گذشت زمان، کشورهای مختلف با توجه به امکانات و محدودیت‌های خود، روش‌های مختلف و متنوعی را برای تصفیه فاضلاب و با رویکرد افزایش کارایی و بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها اجرایی نموده‌اند. در این روش‌ها، تجهیزات و ابزارهای جدید و پیشرفته نیز نقش مهمی را در تحول این حوزه به دنبال داشته‌اند. در کشور ایران، پس از تصویب و ابلاغ قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب در دی ماه ۱۳۶۹، توجه جدی و اهتمام ویژه‌ای به موضوع جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شده است. مطابق آمار و اطلاعات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در پایان سال ۱۳۹۸، ۵۲/۴ درصد از جمعیت شهرها (حدود ۳۳ میلیون نفر) تحت پوشش تأسیسات فاضلاب شهری در ۲۳۷ تصفیه‌خانه بوده که شامل حدود ۷ میلیون مشترک فاضلاب خانگی و حدود ۷۰۰ هزار مشترک فاضلاب غیرخانگی است. حجم کل فاضلاب جمع‌آوری‌شده حدود ۵/۷ میلیون مترمکعب در شبانه‌روز بوده که با شبکه‌ای به‌طول ۶۴ هزار کیلومتر جمع‌آوری شده و درحدود ۵/۳ میلیون مترمکعب از آن تصفیه می‌شود (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۸).

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

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

۲- آینده‌پژوهی در تصفیه فاضلاب

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

خود همواره با مشکلات مختلفی روبرو بوده است که مهم‌ترین آن‌ها شامل مواردی هم‌چون بازچرخانی فاضلاب و فاکتورهای بهینه‌سازی، اتوماسیون پایش، آنالیز فاضلاب، کاهش آلودگی فلزات سنگین، تغییرات الگوی مصرف انسان، سیستم مدیریتی و زیرساخت‌ها است. بر همین اساس همواره لازم است فن‌آوری‌های مورد استفاده در تصفیه فاضلاب، به‌روزرسانی و ارتقا یابند. پیش‌رو بودن در فن‌آوری امری مهم است و باید در طول زمان کسب شود.

بررسی‌ها و مطالعات آینده‌پژوهی صورت‌گرفته در این تحقیق از مجموعه‌ای از کشورهای مختلف نشان داد که عموماً فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب در جستجو و تحول در خصوص پنج روند اساسی شامل موارد ذیل می‌شود (Reardon et al., 2013; Roeleveld et al., 2010; Zhang et al., 2016; Tong and Elimelech, 2016; Neczaj and Grosser, 2018).

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

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

- تعامل جامعه: روند فعلی برای افزایش مشارکت ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری‌های مربوط به ابزارهای اقتصادی که بر تأسیسات فاضلاب یا هزینه خدمات تأثیر می‌گذارد باید ادامه یابد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود عوامل متعددی بر آینده حوزه تصفیه فاضلاب تأثیرگذار هستند و لذا نقشه راه توسعه این حوزه باید انعطاف‌پذیری لازم برای پاسخگویی به این عوامل تأثیرگذار در آینده را داشته باشد. هم‌چنین نقشه راه باید به امکانات موجود، نقاط قوت و ضعف اساسی و مهم‌ترین نیازها و فرصت‌های تغییر توجه نماید. لذا برای احصای سیاست‌ها و تدوین نقشه راه مناسب در تحقیق حاضر، به نکات فوق‌الذکر توجه ویژه‌ای شده است.

۳- تبیین چشم‌انداز و اهداف

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

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

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

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

۴- شاخص‌های توسعه فناوری تصفیه فاضلاب

یکی از مهم‌ترین نکات در نقشه‌راه توسعه فناوری، تدوین شاخص‌هایی برای دستیابی به اهداف کلان سند بوده تا از این طریق، قابل ارزیابی باشند. به کمک این شاخص‌ها و در کنار اهداف، تصویر آینده کشور در افق طرح ترسیم می‌شود. در تحقیق حاضر ضمن مرور اسناد بالادستی شاخص‌های کیفی ذیل برای توسعه فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب تعیین شده است.

- واقعی شدن قیمت آب و تخصیص درآمد برای توسعه فن‌آوری‌های اولویت‌دار در این حوزه؛
- مدیریت یکپارچه آب و پساب از طریق بازتخصیص پساب به بخش کشاورزی، صنعت و فضای سبز؛
- تقویت سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی با خرید تضمینی پساب تصفیه‌شده؛
- بومی‌سازی تأسیسات و فن‌آوری‌های اولویت‌دار تصفیه فاضلاب؛
- توسعه سیستم‌های تصفیه با تمرکز بر استحصال انرژی، تولید مواد ارزشمند و افزایش بهره‌وری؛
- ارتقای سیستم‌های تصفیه فاضلاب با هدف کاهش لجن تولیدی و انرژی مصرفی؛
- ارتقای کیفیت پساب و افزایش بهره‌وری سیستم با توجه به نحوه مصرف آن در کشور؛
- توسعه فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب با بهره‌گیری از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر.

از سوی دیگر در این تحقیق با بهره‌گیری از تجارب سایر کشورها و وضعیت موجود کشور سعی شده شاخص‌های کمّی اهداف نیز استخراج شود. بر همین اساس استانداردهای تخلیه پساب به آب‌های سطحی کشورهای پیشرفته (مجمع جهانی اروپا، امریکا و کشور چین) و هم‌چنین چند کشور منتخب (ترکیه و اردن) که در متون علمی مورد استناد قرار گرفته بود بررسی و استخراج شد. مقادیر مجاز و استاندارد برای پارامترهای مهم به‌منظور تخلیه پساب به آب سطحی در سه رده بنیادی (سطح ۱: وضعیتی که باید در سال ۲۰۲۰ حاصل شده باشد)، پیشرفته (سطح ۲) و آرمانی (سطح ۳) به‌همراه موقعیت فعلی استانداردهای ایران و کشورهای یادشده در جدول ۱ مقایسه شده است. سلول‌های خاکستری‌رنگ در این جدول به حداقل مقادیر پارامترهای کیفی پساب در سه سطح مذکور اشاره دارد. لازم‌به ذکر است در کشور چین با توجه به نوع مصارف پساب، سه سطح و درجه کیفی برای پارامترها تعریف شده که G1-A مربوط به استفاده مجدد، G1-B و G2 به تخلیه پساب به آب سطحی اشاره دارد. هم‌چنین عدم نمایش کشورها در یک پارامتر (هم‌چون کلیفرم و چربی و روغن) به‌معنای عدم وجود استاندارد مشخص در آن کشور برای آن پارامتر است (سازمان حفاظت از محیط‌زیست، ۱۳۷۳؛ Arslan-Alaton et al., 2007; Act EP, 2002; Margane and Steinel, 2011; Dalahmeh and Baresel, 2014; Angelakis and Snyder, 2015; Lu et al., 2016; Zhou et al., 2018)

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

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

راه، ابتدا با توجه به فرض توزیع نرمال روند رشد اهداف، تعیین و سپس با نظر خبرگان تدقیق شد (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۸). افزایش جمعیت در این جدول با درنظر گرفتن رشد ۱/۵ درصد سالانه جمعیت شهری نسبت به آخرین سال آماری با اطلاعات در دسترس در مرکز آمار ایران، محاسبه شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹). افزایش جمعیت تحت پوشش با توجه به برنامه‌های راهبردی وزارت نیرو (افق ۱۴۰۴) و افزایش راندمان انرژی با توجه به اهداف برنامه ششم توسعه (ارتقای ۳۰ درصد بهره‌وری) و برون‌یابی تا سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی شده است (برنامه تفصیلی بخش آب و آبفا، ۱۳۹۷). لازم به‌ذکر است اگرچه در حال حاضر تخمین دقیقی از میزان تاثیرگذاری حوزه تصفیه فاضلاب بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور وجود ندارد. لیکن با توجه به مراجع و توصیه‌های ارائه‌شده در این خصوص و توصیه ناظرین محترم پروژه، این مقادیر با توجه به مراجع موجود در این زمینه برای افق نقشه راه تعیین شده‌اند (Nayeb et al., 2019).

۵- چالش‌ها و سیاست‌ها

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

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

نام پارامتر	بنیادی (سطح ۱)	پیشرفته (سطح ۲)	آرمانی (سطح ۳)
BOD	۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰	۲۵، ۲۰، ۱۵	۱۰، ۵
COD	۱۷۰، ۱۶۰، ۱۵۰	۱۰۰، ۹۰، ۸۰	۷۰، ۵۰، ۴۰
TP	۱۰، ۶، ۳	۲، ۱، ۰/۵	۰/۳، ۰/۲، ۰/۱
TN	۷۰، ۳۰، ۲۰	۱۵، ۱۰	۷، ۵
NH4	۲۰، ۱۰	۲/۵، ۱	۰/۵
T. Coliform in 100 ml	۱۰۰۰، ۴۰۰	۲۰۰، ۱۰۰	۴۰، ۲۵
TSS	۶۰، ۴۰	۳۵، ۲۰، ۱۵	۱۰، ۵
چربی و روغن	۱۰	۲	۰/۵

ترکیه، اردن، Act, EP، چین G2، اروپا، چین G1-B، ایران، چین G1-A

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

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

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

ابعاد چشم‌انداز	عنوان شاخص		مقدار شاخص	
			سال ۱۳۹۸	سال ۱۴۲۰
توانمندی در مدیریت فاضلاب	افزایش جمعیت تحت پوشش شبکه فاضلاب شهری (٪)		۵۲/۴	۹۰
	افزایش جمعیت روستایی برخوردار از سیستم مدرن فاضلاب (٪)		۰/۴۹	۱۵
توسعه فن‌آوری‌های نوین	رتبه در تولید علم در زمینه تصفیه فاضلاب در منطقه خاورمیانه		۲	۱
سازگار و هم‌افزا با محیط‌زیست	افزایش راندمان انرژی در تصفیه‌خانه آب و فاضلاب (ارتقای ۳۰٪ بهره‌وری) برحسب درصد		۸/۷	۱۰۰
	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (٪)	N_2O	-	۷۲
		CH_4	-	۶۰
		CO_{2T}	-	۳۷

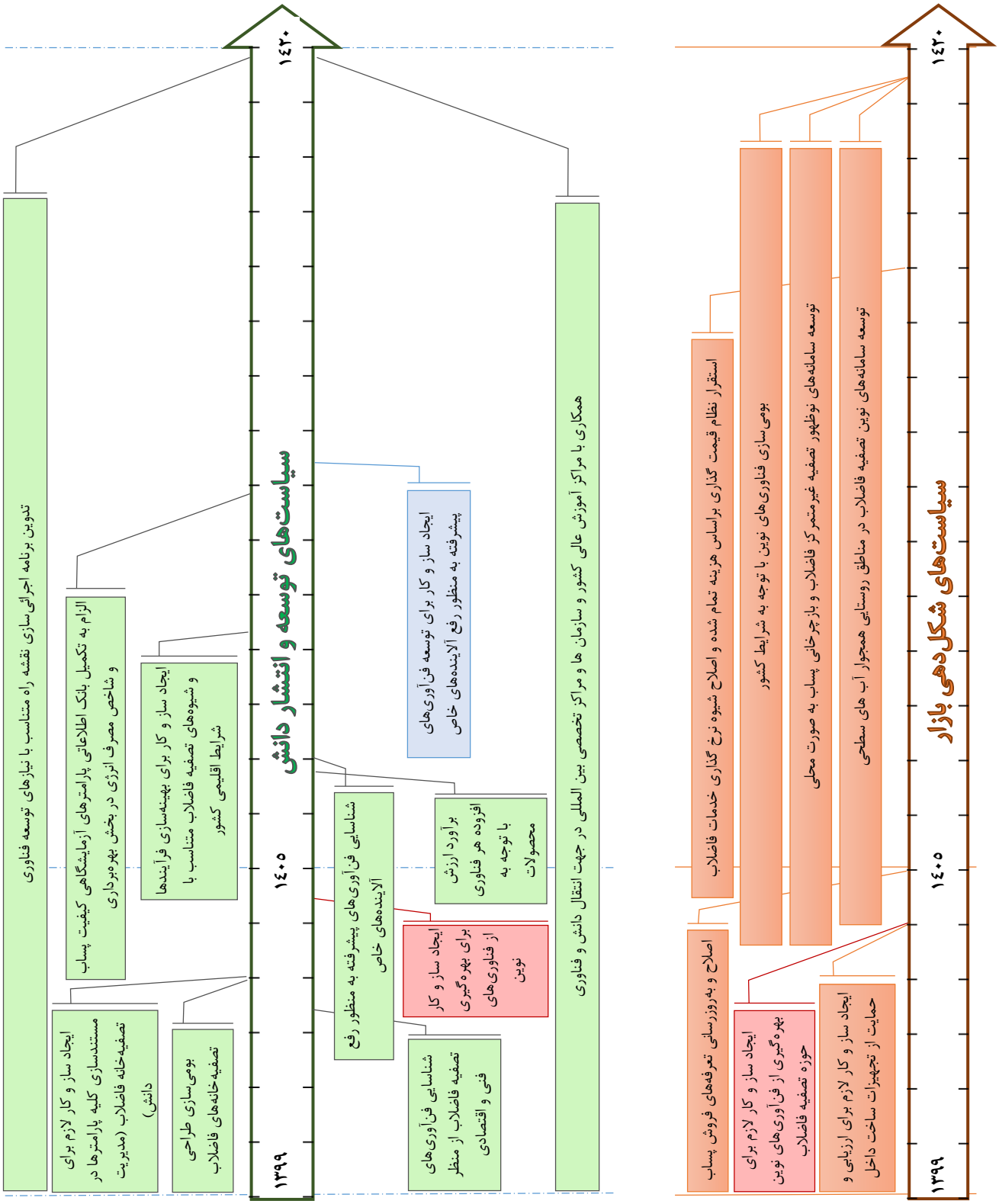
در این تحقیق از شش کارکرد این نظام شامل فعالیت‌های توسعه و انتشار دانش، کارآفرینی، تأمین و تخصیص منابع، شکل‌دهی بازار، مشروعیت‌بخشی و جهت‌دهی استفاده و چالش‌ها و سیاست‌ها در قالب این فعالیت‌ها احصاء شد (Hekkert and Negro, 2009). برای این منظور ضمن شناسایی وضعیت موجود توسعه فن‌آوری در کشور، موتور محرک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

در مرحله بعد، موانع موجود مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری در کارکردهای با اولویت از طریق برگزاری جلسات و مصاحبه با متخصصان و خبرگان آشنا با حوزه تصفیه فاضلاب شامل مدیران و کارشناسان شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و برخی شرکت‌های تابعه، شرکت‌های مهندسین مشاور و اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها، تعیین و چالش‌های شناسایی‌شده پالایش و جمع‌بندی شد. در مرحله آخر نیز سیاست‌های پیشنهادی برای رفع چالش‌ها و موانع توسعه فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب ارائه شد. در ادامه، چالش‌ها و سیاست‌های احصا شده به تفکیک کارکردهای نظام نوآوری فن‌آورانه طی شکل‌های ۱ تا ۶ ارائه شده است. این شکل‌ها، چالش‌های هر کارکرد (در ستون سمت چپ) و سیاست‌های مربوطه (با رنگ تفکیک‌شده) را نشان می‌دهد. هم‌چنین محور افقی، زمان اجرای سیاست‌ها بوده و زمان شروع و پایان هر بسته سیاستی در آن مشخص شده و سیاست‌هایی که لازم است از زمان شروع، دائما پیگیری شوند به انتهای افق طرح (سال ۱۴۲۰) متصل شده‌اند. هم‌چنین سیاست‌هایی که پیش‌نیاز یک سیاست در کارکرد دیگر بوده‌اند با تفکیک رنگ در همان کارکرد تجمیع شده‌اند. در این شکل‌ها رنگ‌های سبز، آبی، بنفش، نارنجی، زرد و قرمز به‌ترتیب به کارکردهای شش‌گانه توسعه و انتشار دانش، کارآفرینی، تأمین منابع، شکل‌دهی بازار، مشروعیت‌بخشی و جهت‌دهی به سیستم اشاره دارد.

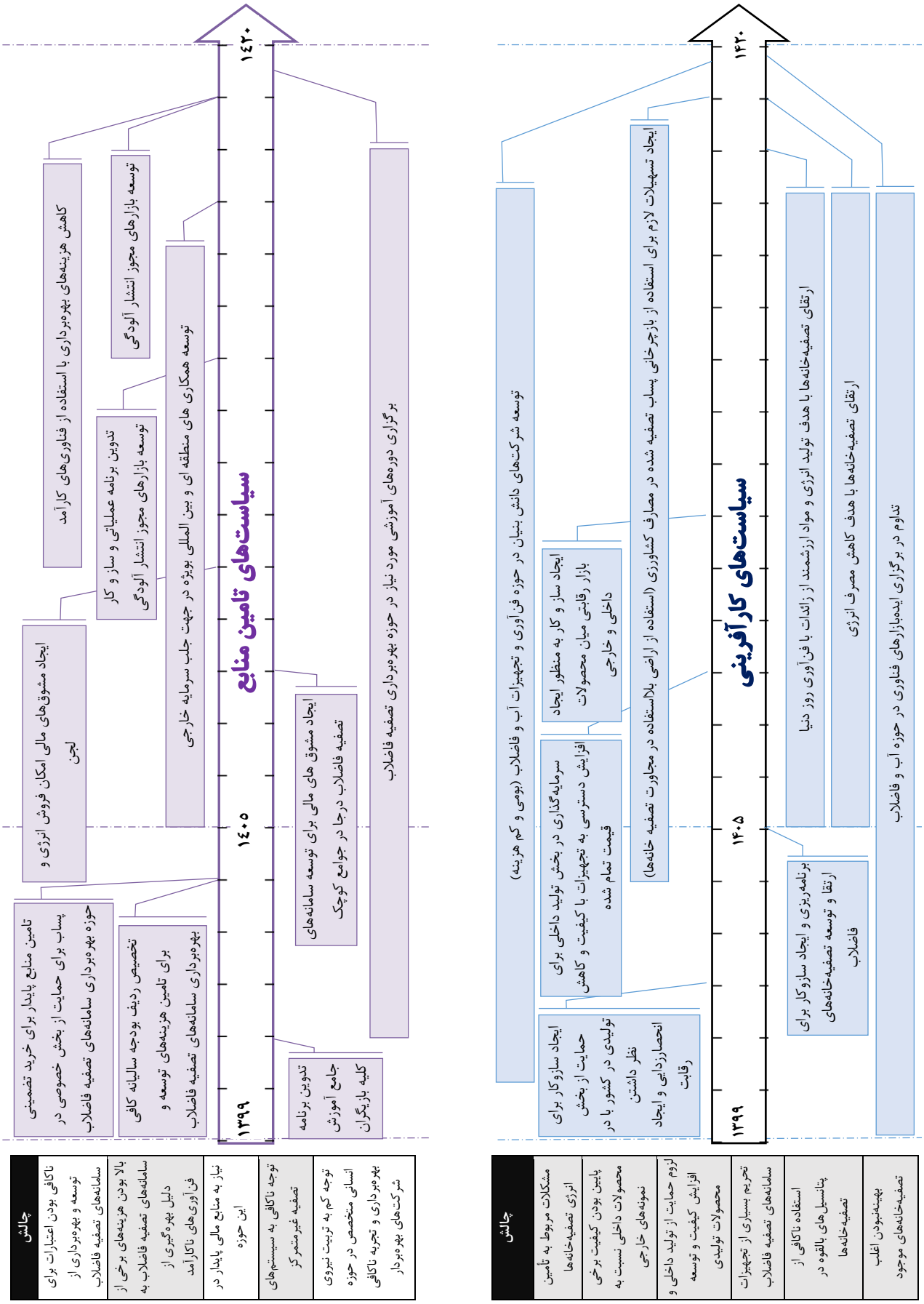
۶- نتیجه‌گیری

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

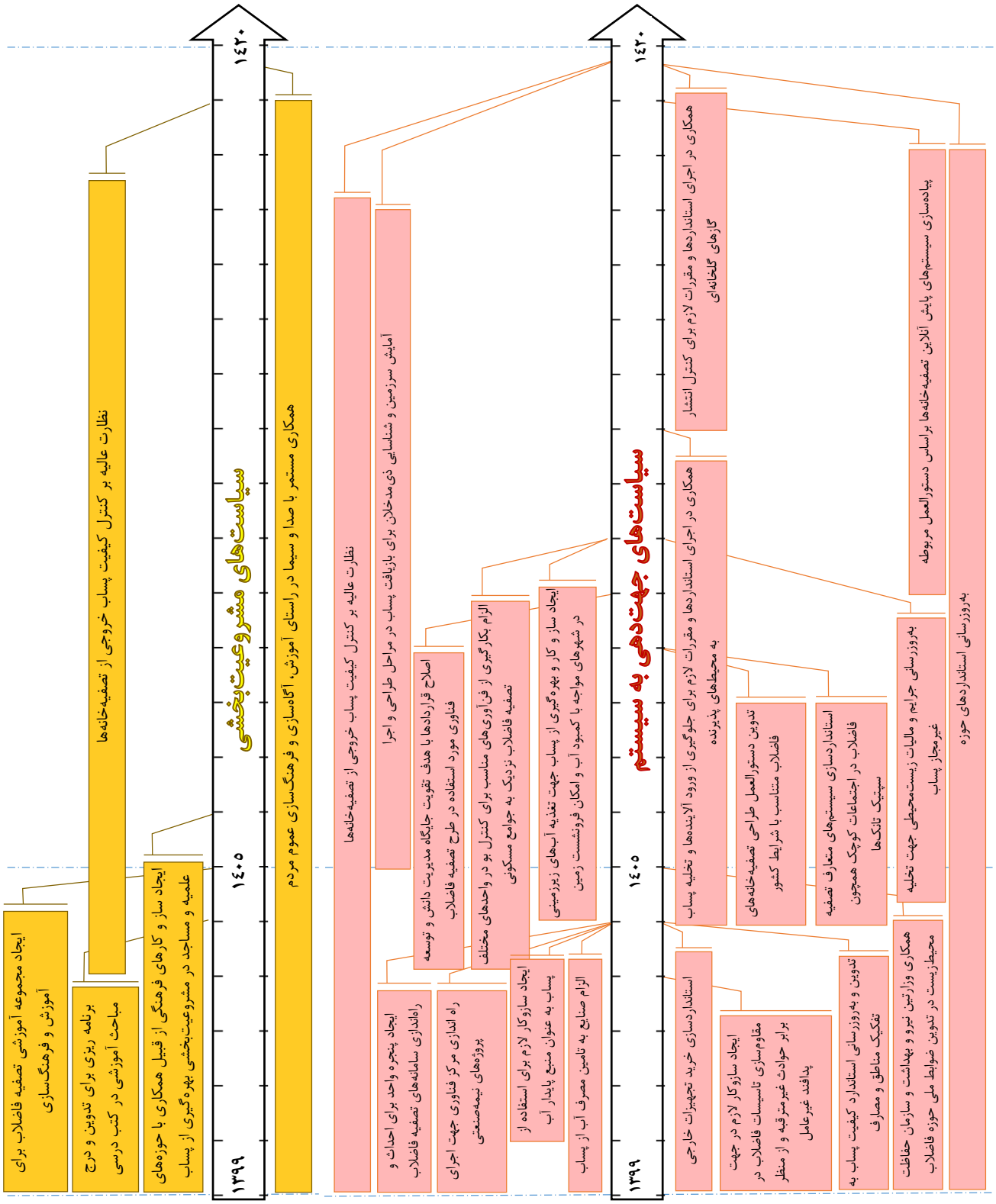
۱) اگرچه توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به مدیریت جامع منابع، گریزناپذیر است، لیکن نقش جهت‌دهی به سیستم در راستای بهره‌برداری از فناوری‌های کارآمد، مسئله مهمی در این راستا است. ایجاد پنجره واحد برای احداث و راه‌اندازی سامانه‌های تصفیه به‌عنوان گام آغازین تأمین زیرساخت‌ها بسیار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



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



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



شکل ۳- بسته‌های سیاستی و چالش‌های کارکرد مشروعیت‌بخشی (چپ) و کارکرد جهت‌دهی به سیستم (راست)

۲) نقش شکل‌دهی به بازار در راستای توسعه فناوری‌های کارآمد و بهره‌برداری از آن‌ها، مسئله مهمی در این خصوص است. برای این منظور باید با ایجاد ساز و کارهای ارزیابی و حمایت از تجهیزات داخلی، به توسعه سامانه‌های نوظهور، نوین و بومی‌سازی آن‌ها پرداخت. این امر با استقرار نظام قیمت‌گذاری و به‌روزرسانی تعرفه‌ها و الزامات حاکمیتی درخصوص پیوست فناوری در حین عقد قراردها (حتی قراردادهای BOO) میسر می‌شود.

۳) منابع مالی و انسانی از مهم‌ترین ارکان حوزه آب و فاضلاب بوده که ناکافی‌بودن اعتبارات، بالابودن هزینه‌ها و دانش ناکافی بهره‌برداران از چالش‌های این کارکرد محسوب می‌شوند. در این راستا لازم است ضمن تأمین منابع پایدار و بودجه سالانه، با استفاده از کاهش هزینه‌ها، جلب سرمایه‌گذاران بین‌المللی و مشوق‌های مالی (هم‌چون بهره‌گیری از بازارهای تجارتی)، تصفیه‌خانه‌ها را به‌مرور به واحدهای خودکفا و درآمدزا تبدیل نمود. از سوی دیگر آموزش جامع برنامه‌ریزی‌شده در سطوح مختلف (مدیران، کارشناسان، بهره‌برداران و غیره) باید پیاده‌سازی شود.

۴) مهم‌ترین چالش در راستای کارآفرینی، لزوم ارتقای کیفی محصولات داخلی در کنار حمایت از آن‌ها در قیاس با محصولات خارجی بوده که لازم است با توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان و تداوم برگزاری ایده‌بازارهای فناوری مدیریت شود. هم‌چنین ایجاد ساز و کار رقابتی میان محصولات داخل و خارج در کنار ارائه تسهیلات (به مواردی هم‌چون بازچرخانی پساب) توصیه می‌شود.

۵) از دیگر چالش‌های اولیه در بخش آب و فاضلاب، ضعف مدیریت دانش و عدم دسترسی به مستندات کافی درخصوص پارامترهای تصفیه‌خانه‌های حاضر و یا فقدان آن‌ها بوده که باید با الزام به مستندسازی آن‌ها و تهیه پایگاه جامع اطلاعات در این خصوص اقدام نمود. همچنین شناسایی فناوری‌های نوظهور (از جمله فناوری‌های مرتبط با آلاینده‌های خاص) و توسعه دانش مربوطه و ایجاد ساز و کار برای بهره‌برداری از آن‌ها به ارزش افزوده شایسته‌ای منتج خواهد شد.

۶) یکی دیگر از چالش‌های حوزه تصفیه فاضلاب و توسعه فناوری‌های مربوطه به عدم پذیرش عمومی از بهره‌گیری مجدد پساب (به‌عنوان منبع پایدار مالی حاصل از فروش آن) مربوط بوده که لازم است با آموزش، اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی در سطوح مختلف مرتفع شود. آموزش دانش‌آموزان از طریق کتب درسی، آموزش عمومی از طریق صدا و سیما و فرهنگ‌سازی از طریق مساجد از جمله این سطوح آموزشی است.

۷- تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه موسسه تحقیقات آب با عنوان «تدوین سند راهبردی و نقشه‌راه توسعه فناوری‌های تصفیه فاضلاب» استخراج شده است. در این راستا از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور که حمایت مالی پروژه را برعهده داشته‌اند سپاسگزاری می‌شود. هم‌چنین از مدیرکل دفتر تحقیقات، توسعه فن‌آوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و کارشناسان این دفتر که نظارت و راهبری طرح را برعهده داشته‌اند تشکر می‌شود.

۸- مراجع

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۸)، *سالنامه آماری سال ۱۳۹۸صنعت آب و فاضلاب* - بخش شهری، دفتر برنامه‌ریزی و بودجه معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی، Viewed 3 Jan 2022, https://www.nww.ir/statistics-and-information.

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۸)، *سالنامه آماری سال ۱۳۹۸ صنعت آب و فاضلاب* - بخش روستایی، دفتر برنامه‌ریزی و بودجه معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی، Viewed 3 Jan 2022, https://www.nww.ir/statistics-and-information.

سازمان حفاظت از محیط زیست، (۱۳۷۳)، استانداردهای خروجی فاضلاب به استناد ماده ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب، Viewed 3 Jan 2022, https://wsm.doe.ir/portal/home/?114886/%D9%81%D8%A7%D8%B6%D9%84%D8%A7%D8%A8

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۷)، برنامه تفصیلی بخش آب و آبفا جهت ارائه به کمیسیون عمران مجلس شورای اسلامی، Viewed 3 Jan 2022, https://www.moe.gov.ir/Rules_and_Regulations_Issue/Water_and_Wastewater?page=3

مرکز آمار ایران، (۱۳۹۹)، *ویژگی‌های جمعیتی، اجتماعی و اقتصادی کلان شهرها براساس سرشماری سال‌های ۱۳۹۰و ۱۳۹۵*، انتشارات مرکز آمار ایران، ۱۴۲ صفحه.

Act, Environmental Protection, (2002). *Standards for effluent discharge regulations*, General Notice No. 44 of 2003.

Angelakis, A.N., and Snyder, S.A., (2015), "Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future", Water 7(9), 4887-4895.

Arslan-Alaton, I., Tanik, A., Ovez, S., Iskender, G.,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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