فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال بیست و ششم، شماره ۱۰۱، بهار ۱۴۰۳، صص.۲۳-۱

تربیت مهندسان T-شکل برای حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب

بنفشه زهرایی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۴

DOI: 10.22047/ijee.2024.412154.2005

چکیده: نیروی انسانی متخصص، مهم‌ترین ظرفیت مورد نیاز برای مواجهه با بحران‌هاست. ناپایداری کمی و کیفی منابع آب و تشدید روزافزون کم‌آبی، به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط زیستی کشور تبدیل شده و زیست‌پذیری بخش‌هایی از کشور را به مخاطره انداخته است. عده‌ای از متخصصان رویکرد فن‌سالارانه توسط فارغ‌التحصیلان رشته‌های مرتبط با مهندسی آب را از عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و تداوم بحران آب در کشور می‌دانند. در این مقاله، توانمندی‌هایی که یک مهندس آب برای مواجهه با چالش‌هایی که امروز داشته باشد، بررسی و نقاط ضعف نظام آموزشی موجود در کشور در تقویت این توانمندی‌ها، نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، برنامه‌های آموزشی مهندسی آب در برخی از دانشگاه‌های پیشرو در سایر کشورها به سمت تربیت متخصصان T-شکل اصلاح شده است. این نوع از متخصصان در زمینهٔ خاص مهندسی آب دارای دانش عمیق هستند و در سایر زمینه‌های تخصصی مرتبط، سطح محدودی از اطلاعات دارند که آنها را برای کار در گروه‌های کاری با تخصص‌های مختلف توانمند می‌کند. علاوه بر این، متخصصان T-شکل درک بهتری از ارتباطات همبستی بین سامانه‌های آب، غذا، انرژی، محیط زیست و اقلیم دارند و برای مدیریت و راهبری نیز توانمند شده‌اند. در این تحقیق ضمن تبیین اجزای دانشی شخصیت حرفه‌ای T-شکل، نحوه طراحی برنامه‌های آموزشی برای تربیت چنین مهندسانی تبیین شده است. دستاوردهای این تحقیق می‌تواند در ارتقای برنامه‌های آموزشی مهندسی آب در کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مهندسی آب، متخصص T-شکل، تحصیلات تکمیلی، آموزش بین‌رشته‌ای

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول). bzahraie@ut.ac.ir

۱. مقدمه

از ابتدای انقلاب صنعتی تاکنون، آموزش مهندسی تحولات زیادی را پشت سر گذاشته است (Yazdani & Yaghoubi, 2023). در سال‌های اخیر، یکی از موضوعات مورد توجه در توسعهٔ آموزشی مهندسی در سطح جهانی، توانمندی سازی دانش‌آموختگان برای دستیابی به توسعه پایدار بوده است. اهمیت آموزش در دستیابی به توسعه پایدار، همواره مورد تأکید جوامع علمی جهان بوده است. به طور نمونه، در دستور کار ۲۰۳۰ برای توسعه پایدار که در سال ۲۰۱۵ توسط همه کشورهای عضو سازمان ملل متحد به تصویب رسید، مجموعه‌ای از اهداف توسعه بین‌المللی برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۰ تعیین شده است و تضمین آموزش با کیفیت، به عنوان یکی از اهداف زیربنایی که خود پیش‌نیاز دستیابی به سایر اهداف نیز هست، مشخص شده است (United Nations, 2015). در همین راستا، در تحقیقات مختلف بر ضرورت توجه به توسعه پایدار و محیط زیست به عنوان دغدغه‌های عصر حاضر در فرایند بازنگری و برنامه‌ریزی آموزش مهندسی در کشور نیز تأکید شده است (Zohoor et al., 2019). دستیابی به این مهم، بدون تحولات بنیادی در آموزش مهندسی قابل حصول نیست.

علاوه بر آموزش، آب سالم و بهداشتی نیز به عنوان یکی از عناصر زیربنایی در اهداف توسعه پایدار مطرح شده است (UN-Water, 2016). منابع آب قابل بهره‌برداری برای تأمین نیازهای مردم جهان ثابت است، در حالی که جمعیت روبه‌افزایش جهان، تقاضا برای آب را مستمراً افزایش داده است. عدم توازن منابع و مصارف آب به دلیل رشد جمعیت و توسعه اقتصادی به مرور زمان در بسیاری از مناطق تشدید شده است. برخی مداخلات انسانی در طبیعت، از جمله تغییر اقلیم نیز این چالش‌ها را تشدید کرده است و باعث شده است که بسیاری از مردم جهان، در حال حاضر دسترسی به آب سالم و کافی برای رفع نیازهای اساسی و گذران زندگی خود ندارند. از سوی دیگر، با افزایش تقاضای انسان و همچنین افزایش ارزش خدمات نظام‌مندبوم‌سازگان[۱]، رقابت بر سر منابع موجود نیز افزایش یافته است. این رقابت نه تنها بین انسان و محیط زیست وجود دارد، بلکه بین بخش‌های مختلف اقتصاد و بین گروه‌های مختلف جامعه نیز رو به تزاید است (Srinivasan et al., 2017).

علاوه بر چالش‌های ذکرشده در حوزهٔ آب، به‌هم‌پیوستگی و هم‌بست بین سامانه‌های آب، غذا و انرژی باعث شده است تا امنیت این منابع نیز به‌نوعی، به یکدیگر وابسته باشد و راه‌حل‌ها برای مواجهه با چالش‌های یک حوزه، بر سایر حوزه‌های سه‌گانهٔ هم‌بست نیز اثرگذار باشد (Ravar et al., 2020). علاوه بر رشد جمعیت، شهری شدن، رشد اقتصادی و تغییر اقلیم نیز از محرک‌های اصلی هستند که موجب افزایش نیاز به منابع آب، غذا و انرژی و برهم‌تنیدگی بین چالش‌ها و راهکارهای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، غذا و انرژی شده‌اند (World Economic Forum Water Initiative, 2011).

۱- بوم‌سازگان برابرنهاده فرهنگستان برای واژه اکوسیستم است.

با توجه به همین شرایط، راهکارهای حل مسائل آب نیز تغییر کرده و رویکردهای مبتنی بر هم‌بست، روزبه‌روز کاربردهای بیشتری در کشورهای مختلف پیدا کرده‌اند (Wade et al., 2020; Dehnavi & Al-Saidi, 2020).

در ایران نیز عوامل ذکرشده در کنار توزیع نامناسب جمعیت بدون توجه به منابع طبیعی موجود در نقاط مختلف کشور و مدیریت نامناسب منابع و مصارف، به ویژه منابع آب، باعث برهم‌خوردن تعادل بین منابع و مصارف و به خطر افتادن امنیت منابع آب شده است (Salemi Sarmast & Zahraie, 2021). راهکارهای اتخاذشده برای کاهش تبعات بحران آب در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر، نظیر ترویج آبیاری مدرن در اراضی کشاورزی، نه تنها منجر به کاهش مصرف آب نشده است بلکه بارگذاری اضافی بر سامانه‌های آسیب‌پذیر تأمین انرژی را نیز به دنبال داشته است (Kiani & Shaker, 2019). علاوه بر جزئیات هم‌بست آب-غذا-انرژی، مجموعه گسترده‌ای از تحقیقات در زمینه مدیریت آب تأکید بر ضرورت درک بهتر و مدیریت تغییرات نهادی و سازمانی در کنار راهکارهای فناورانه برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در حوزهٔ آب دارند (McIntosh & Taylor, 2014). با تشدید اثرات تغییر اقلیم و افزایش نیازهای آبی ناشی از فرایندهای توسعهٔ جمعیتی و اقتصادی در ایران و بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه واقع در مناطق خشک و کم‌آب، توجه به رویکردهای جامع‌نگرانه فراتر از حوزهٔ مهندسی بیشتر شده و همین امر، ضرورت ظرفیت‌سازی نیروی انسانی با این نگاه را بیشتر کرده است (Mbah et al., 2022).

به نظر می‌رسد با توجه به روندهای موجود در تشدید کم‌آبی در بسیاری از نقاط جهان در قرن بیست‌ویکم، تربیت متخصصانی که بتوانند از مرزهای تخصصی، عملکردی و سازمانی عبور کنند و با ابتکار عمل در همکاری با متخصصان از زمینه‌های مختلف و بهره‌مندی از توانمندی‌های راهبری، حل مسائل غیرمعمول آب را به عهده بگیرند، به یک ضرورت بنیادی برای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار تبدیل شده است (Wade et al., 2020). به عبارت دیگر، متخصصانی که بدون توجه به جنبه‌های تفکر نظام‌مندنظام‌مند، تنوع موضوعات تخصصی بین‌رشته‌ای و گوناگونی شرایط فرهنگی و اجتماعی تربیت شده باشند، از توانمندی‌های لازم برای مواجهه با چالش‌های توسعه پایدار برخوردار نخواهند بود (Dehnavi & Al-Saidi, 2020). این امر البته منحصر به حوزه‌های آب یا محیط زیست نیست و کم‌وبیش در تمام رسته‌های مهندسی موضوعیت پیدا می‌کند. روند توسعه و پیشرفت جهان به سمتی پیش می‌رود که پژوهشگران از حوزه‌های مختلف گرد هم می‌آیند تا با هم‌اندیشی و تضارب آرا، به درک بهتری از راه‌حل‌ها برای مسائل پیچیده دنیای امروز برسند. در واقع، با انبوهی از علوم میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای روبه‌رو هسگروه که با هدف حل مجموعه مسائلی ایجاد شده‌اند که به دانشی همه‌جانبه و چندین‌وجهی نیاز دارند (Zohoor et al., 2019).

تا کنون تحقیقات مختلفی برای ارزیابی جامعیت راهکارهای مهندسی برای حل چالش‌های آب

کشور صورت گرفته است. یکی از علل ناکارآمدی راه‌حل‌های مهندسی که تا کنون برای مواجهه با بحران آب در کشور به کار گرفته شده، ساختار نظام آموزشی است که کارشناسان آب کشور، به خصوص در رستهٔ مهندسی و مدیریت منابع آب را پرورش می‌دهد و این زمینه‌ای است که تا کنون کمتر بر آن تمرکز شده است (Karami et al., 2020; Davari & Esfandiari, 2024). در نظام آموزشی موجود، توجه به زمینه‌های میان‌رشته‌ای و توانمندی‌های فردی لازم برای کار در گروه‌های کاری، متشکل از افراد با تخصص‌های مختلف و همچنین تعامل با گرودارن کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

متخصصان بر اساس نوع آموزشی که دیده‌اند، می‌توانند اطلاعات عمیقی در یک یا چند زمینه یا اطلاعات کلی در زمینه‌های مختلف داشته باشند. همچنین سطح توانمندی‌های مدیریتی و راهبری و برقراری ارتباط با دیگر متخصصان یا گرودارن آن‌ها را نسبت به دیگران متمایز می‌کند. بر همین اساس می‌توان متخصصان و به طور خاص مهندسان را به دسته‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. در سوابق تحقیقاتی در این حوزه، شکل‌های مختلف از جمله I، Dash، H، Comb و T برای تبیین تفاوت در حوزه‌های دانشی و سایر توانمندی‌های متخصصان مورد اشاره قرار گرفته است (Demirkan & Spohr-er, 2015). این دسته‌بندی و خصوصیات متخصصان هر دسته، در قسمت‌های بعدی مقاله تشریح خواهد شد. در این تحقیق، ضمن بررسی نظام‌مند سوابق تحقیقاتی ملی و بین‌المللی، بررسی ترکیب دروس و برنامهٔ آموزشی دوره‌های تحصیلات تکمیلی مهندسی و مدیریت منابع آب در دانشگاه‌های ایران، به تحلیل محصولات این دوره‌ها از منظر تربیت متخصصان با سطح تنوع در حوزه‌های دانشی ذکرشده پرداخته می‌شود و پیشنهاداتی به منظور ارتقای برنامه‌های آموزشی، با توجه به نیازهای موجود در کشور، ارائه می‌شود. در ادامه، ابتدا روش‌شناسی تحقیق مورد اشاره قرار گرفته و سپس به بررسی خصوصیات متخصصان T-شکل در حوزهٔ مهندسی آب پرداخته شده است. پس از آن، کارکردها و بسترهای تربیت متخصصان مهندسی آب در کشور مورد اشاره قرار گرفته است و در پایان، پیشنهاداتی برای ارتقای نظام آموزش عالی کشور برای تربیت متخصصان T-شکل با توانمندی‌های مورد نیاز ارائه شده است.

۲. روش‌شناسی

این مقاله از نوع مروری نظام‌مند است که در آن سوابق تحقیقاتی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا ترکیب بهترین شواهد موجود در رابطه با پرسش ویژه پژوهش ارائه شود (Dickson et al., 2017). در واقع مرور نظام‌مند، مبتنی بر چکیده‌ای از ادبیات پژوهش است که بر یک یا چند پرسش مشخص متمرکز شده است. این روش تحقیق از سه مرحله برنامه‌ریزی، بررسی سوابق و تهیه گزارش نتایج ارزیابی تشکیل شده است (Torres-Carrión et al., 2018). مرحله اول، شامل تبیین نیاز به انجام بررسی و تدوین نظام جستجوست. در این مرحله، آخرین وضعیت تحقیقات انجام‌شده مرتبط با مسئله مورد نظر،

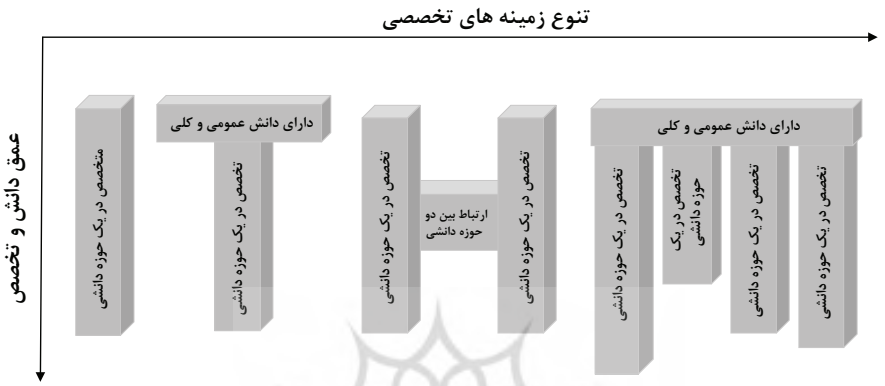
مورد بررسی قرار می‌گیرد و به استناد این بررسی، سؤال (های) پژوهش مشخص می‌شود. سپس برای جستجو در تحقیقات منتشرشده قبلی، معیارهای انتخاب و عدم انتخاب منابع مشخص می‌گردند و بعضاً منابع مورد نظر، برای جستجو غربالگری می‌شوند. در مرحله دوم، برای بررسی تحقیقات قبلی، لازم است تحقیقات اصلی مرتبط شناسایی شوند و همچنین منابع مختلف، قبل از بررسی مورد ارزیابی از منظر کیفیت قرار گیرند. در گام آخر، محتوای منابع منتخب در ارتباط با موضوع تحقیق تحلیل می‌شوند و نتیجه‌گیری بر اساس ترکیب بهترین شواهد و ایده‌های مطرح‌شده در منابع بر اساس تجربه و دانش محقق صورت می‌گیرد (Khan et al., 2011; Rezaei 2023).

سؤال‌های اصلی این پژوهش عبارتند از اینکه که اجزای دانشی شخصیت حرفه‌ای T-شکل برای مهندسان آبی که قادر به مواجهه با چالش‌های روز آب و محیط زیست کشور باشند، چیست؟ و برنامه‌های آموزشی برای تربیت چنین متخصصانی باید چه خصوصیاتی داشته باشند؟

۳. دسته‌بندی متخصصان بر اساس حوزه‌های معلومات و توانمندی‌های حرفه‌ای

(Demirkan & Spohrer, 2015) به استناد مطالعات پیشین، متخصصان را بر اساس محدوده اطلاعات، مهارت‌ها و توانایی‌ها، به شکل‌های مختلف از جمله I، Dash، H، Comb و T تشبیه و دسته‌بندی کردند. به طور مثال، متخصصانی که در دستهٔ I-شکل قرار می‌گیرند، دارای دانش عمیق در یک زمینه خاص هستند و در آن موضوع خاص، متخصص محسوب می‌شوند (Bierema, 2019). اکثر نظام‌های آموزشی در دانشگاه‌ها، از گذشته برای تربیت متخصصان گروه I طراحی شده‌اند (Demirkan & Spohrer, 2018). به طور خاص، مهندسان گروه I در شرایط در حال تغییر جهان کنونی و فناوری‌هایی که در حال پیشرفت و توسعهٔ مداوم هستند، از کارایی کمتری نسبت به گذشته برخوردارند و همین امر باعث شده است که کارایی دانشگاه‌ها در تربیت متخصصان مورد نیاز در بازار کار، مکرراً مورد نقد قرار گیرد (Bierema, 2019). نقطه مقابل متخصصان دستهٔ I، افرادی هستند که به آنها Dash-شکل گفته می‌شود. این نوع از متخصصان در زمینه‌های متنوعی دارای اطلاعات محدود هستند و قادر به همکاری با متخصصان زمینه‌های مختلف هستند و به همین دلیل، در موضوعاتی که نیاز به همکاری گروهی بین متخصصان رشته‌های مختلف وجود دارد، می‌توانند نقش‌آفرینی کنند. البته بررسی سوابق تحقیقاتی نشان می‌دهد، برخی نظیر (Babatope, 2020) معتقدند که متخصصان Dash-شکل ممکن است، در نهایت کارایی محدودی داشته باشند چون در هیچ زمینه‌ای، اطلاعات عمیق در حد کافی ندارند. متخصصان H-شکل دارای تخصص عمیق در دو زمینه هستند و می‌توانند زمینه ارتباط متخصصان دو حوزه را با هم فراهم کنند. متخصصان Comb-شکل دارای تخصص‌های مختلف با عمق‌های متفاوت در زمینه‌های متنوع هستند. متخصصان T-شکل، ترکیبی از خصوصیات دو دسته I و Dash را دارند، به این معنی که در یک زمینه تخصصی دانش عمیق دارند ولی در زمینه‌های مرتبط دیگر، دانش سطحی

دارند که می‌تواند به آنها در برقراری ارتباط با متخصصان مختلف و کار در گروه‌های متشکل از رشته‌های مختلف کمک کند (Ninan et al., 2022). شکل ۱ به صورت شماتیک، دسته‌بندی متخصصان بر اساس حوزه‌های دانشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. دسته‌بندی متخصصان بر اساس تنوع حوزه‌های تخصصی (از چپ به راست: نمای شماتیک متخصصان با اشکال I، T، H و Comb)

۴. خصوصیات متخصصان T-شکل در حوزهٔ مهندسی آب

اصطلاح متخصصان T-شکل، اولین‌بار در سرمقاله روزنامه لندن که توسط David Guest در سال ۱۹۹۱ منتشر شد، مطرح گردید. این اصطلاح اولین‌بار، در متون دانشگاهی توسط (Hansen & von Oetinger, 2001) مطرح شد. آن‌ها تأکید کردند که متخصصان T-شکل، برای حل مشکلات و مدیریت تغییرات، عمداً ورای مرزهای واحدهای کاری و سازمانی را مورد توجه و تمرکز قرار می‌دهند. دانش عمیق آنها در زمینه تخصصی خودشان، به آنها فرصت طراحی راه‌حل‌های کارآمد را می‌دهد ولی در عین حال، توانمندی‌های آنها در زمینه‌های دیگر، نظیر فنون ارتباط با سایر متخصصان و مهارت‌های فنی، به آنها کمک می‌کند که در گروه‌های کاری، متشکل از تخصص‌های مختلف، فعال‌تر و مفیدتر از متخصصان I-شکل واقع شوند (Harris, 2009). نینان و همکاران توانمندی‌های متخصصان T-شکل را به صورت زیر دسته‌بندی کرده‌اند (Ninan et al., 2022):

- دانش تخصصی عمیق در یک حوزهٔ مشخص
- توانمندی درک زمینه‌های تخصصی مختلف و کار و تعامل با گروه‌های کاری متنوع و متخصصان مختلف
- توانمندی تصمیم‌گیری
- انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات و توانمندی سازگاری با تحولات

- علاقه‌مندی به یادگیری مادام‌العمر

این ویژگی‌ها به دلایلی که توضیح داده خواهد شد، به طور خاص برای حوزهٔ مهندسی آب مهم هستند. بسیاری از متخصصان و محققان، مسائل آب را از جنس مسائل بدخیم[1] می‌دانند. این گونه مسائل تعریف مشخصی ندارند و افراد مختلف متناسب با دیدگاه خود نسبت به مسئله، می‌توانند تعاریف و راه‌حل‌های مختلفی برای آن ارائه کنند. مهم‌ترین ویژگی در برخورد با چنین مسائلی، آن است که به حدی گسترده‌اند که مرزهای مشخصی برای پرداختن به آنها وجود ندارد و بدون مشارکت متخصصان از رشته‌های مختلف (Ledford, 2015) و همه گروداران نمی‌توان این مسائل را تعدیل کرد (Mdee et al., 2022). محققان مختلفی تأکید کرده‌اند که پرداختن به مسائل بدخیم، نیازمند جامع‌نگری عمیق فراتر از مرزهای حوزه‌های خاص دانشی ((Harris et al., 2010; Irwin et al., 2018 و بهره‌مندی از تفکر نظام‌مندنظام‌مند است (Bazilian et al., 2011; Garcia & You, 2016). برخی از پیچیدگی‌هایی که مسائل آب را به مسائل بدخیم تبدیل می‌کنند و خصوصیات مورد نیاز برای پرداختن به آنها، به شرح زیر هستند (Reed & Kasprzyk, 2009; Balint et al., 2011):

- فرایندها به‌هم‌پیوسته هستند و تحولات فناورانه و تغییر شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی باعث دگرگونی مداوم فرایندها و راه‌حل‌های مناسب می‌شود. بنابراین سازگارشونده و یادگیرنده بودن، از خصوصیات مهم مورد نیاز برای مهندسان آب هستند.
- عدم قطعیت‌ها، پیش‌بینی شرایط آتی را دشوار می‌کنند و توانمندی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت ضروری است.
- گروداران متعددی با منافع متضاد حضور دارند که بدون تعامل سازنده با آنها، نمی‌توان راه‌حل‌ها را تعریف و عملیاتی کرد. بنابراین توانمندی کار و تعامل با متخصصان مختلف، یک قابلیت کلیدی است.
- راه‌حل بهینه برای اکثر مسائل آب وجود ندارد و راه‌حل‌ها معمولاً خود بستری برای ایجاد معضلات جدید هستند. نیاز به راه‌حل‌های مرحله‌ای وجود دارد و به دلیل ایجاد معضلات جدید پس از اجرای هر مرحله، حل مسئله به یک فرایند بی‌پایان تبدیل می‌شود در این شرایط، انعطاف‌پذیر بودن و توانمندی سازگاری با شرایط در حال تغییر، اهمیت قابل توجهی پیدا می‌کند.

در ایران، بحران آب سابقه‌ای چند ده‌ساله دارد و سیطره همه‌جانبه مهندسان بر حوزه‌های مختلف مطالعه، اجرا و مدیریت آب قابل انکار نیست. این در حالی است که در این مدت، نظام

1- Wicked problems

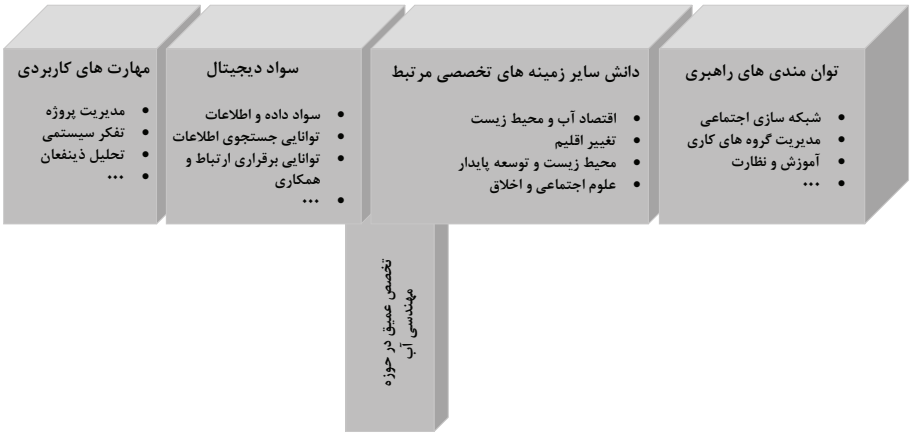
آموزش عالی کشور، رشد کمّی بسیار قابل‌ت وجهی را در ظرفیت پذیرش دانشجو در مقاطع تحصیلات تکمیلی در گرایش‌های مرتبط با مهندسی آب تجربه کرده است. بنابراین، ناکارآمدی برنامه‌های آموزشی گرایش‌های مرتبط با مهندسی آب، در تربیت نیروهای متخصصی که بتوانند زمینه‌ساز کاهش چالش‌های حوزهٔ آب کشور شوند، مسئله‌ای است که بعضاً مطرح شده (Karami et al, 2020; Davari & Esfandiari, 2024) و نیازمند بررسی دقیق است.

به طور خلاصه، برخی از مهم‌ترین دلایل عدم توفیق در راهکارهایی که تا کنون برای حل بحران آب کشور به عنوان یک مسئله بدخیم دنبال شده (و نقاط ضعف محتمل متخصصان که زمینه‌ساز این ناکارآمدی‌ها شده است) را می‌توان در موارد زیر دسته‌بندی کرد:

- بخشی‌نگری در طراحی راهکارهای مواجهه با بحران آب و ضعف در جلب مشارکت گروداران در طراحی و پیاده‌سازی راه‌حل‌ها (خلع جامع‌نگری و تعامل با گروداران)
- عدم تناسب راهکارها با واقعیت‌های میدانی در زمینه‌های محیط زیستی و اجتماعی - اقتصادی (ناسازگاری با تحولات، خلع نگرش نظام‌مند، عدم تناسب دانش تخصصی مهندسان با شرایط روز و تمرکز بر راهکارهای مهندسی بدون اشراف به جنبه‌های غیرمهندسی)
- عدم توجه به درهم‌تنیدگی سامانه‌های اقلیم، آب، غذا و انرژی و اثرات متقابل این سامانه‌ها بر یکدیگر (خلع نگرش نظام‌مند)
- تمرکز بر راهکارهای فناورانه و عدم توجه به ساختارهای نهادی و سازمانی و راهکارهای معطوف به این ظرفیت‌ها (خلع نگرش نظام‌مند و ناتوانی در تعامل با گروداران)
- کم‌توجهی به عدم قطعیت‌ها و نبود سازوکارهای درازمدت برای اصلاح راه‌حل‌ها با توجه تغییرات محیط و شرایط (ضعف در تصمیم‌گیری و ضعیف بودن توان سازگاری با تحولات)

با توجه به موارد فوق، به نظر می‌رسد تقویت توانمندی‌های ذکرشده برای متخصصان T-شکل در برنامه‌های تحصیلات تکمیلی مهندسی آب کشور ضروری باشد. سؤالی که در این مسیر مطرح می‌شود این است که زمینه‌های دانشی مرتبط که مهندسان آب باید با اطلاع از آنها بتوانند با متخصصان سایر رشته‌ها و زمینه‌های تخصصی ارتباط برقرار کنند، چه مواردی هستند؟ به این سؤال در بخش بعدی پاسخ داده خواهد شد.

با توجه به موارد ذکرشده، ساختار T-شکل مهندسان آب می‌تواند مطابق شکل (۲) طراحی شود. در این شکل دانش عمیق در حوزه مهندسی آب، در کنار ۴ دسته دانش با عمق کمتر نشان داده شده است. این ترکیب دانشی، امکان دید جامع نگرانه‌تر به جنبه‌های مختلف توسعه پایدار را نیز فراهم می‌کند.



شکل ۲. ساختار T-شکل برای توانمندی‌های مهندسان آب

دسته اول از چهار دسته دانش غیرعمیق نشان‌داده‌شده در شکل (۲) مرتبط با «دانش سایر زمینه‌های تخصصی مرتبط» است که دلایل انتخاب زمینه‌های تخصصی ذکرشده، در بخش بعدی ارائه شده است.

۴-۱. زمینه‌های تخصصی مرتبط برای مهندسان آب T-شکل

بررسی سوابق تحقیقاتی نشان می‌دهد که حوزه‌های تخصصی زیر، از جمله مواردی هستند که با اکثر راه‌حل‌های مهندسی آب دارای درهم‌تنیدگی هستند:

- محیط زیست و توسعه پایدار (Vehmaa et al., 2018)
- علوم اجتماعی و اخلاق (Rezaei, 2023; Lund, 2015)
- اقتصاد آب و محیط زیست (Abdul-Talib et al., 2014)
- تغییر اقلیم (Vehmaa et al., 2018)

با توجه به نقش کلیدی که مهندسان در شکل‌گیری فرایند توسعه جوامع مختلف دارند، آموزش مهندسی برای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار، از اهمیت زیادی برخوردار است. با این حال، آموزش مهندسی به طور سنتی، بیشتر بر مهارت‌های محاسباتی و حل مشکلات فنی تمرکز کرده است (Vehmaa et al., 2018) و به همین دلیل بسیاری از دانش‌آموختگان دوره‌های مهندسی از درک عمیق نسبت به جوانب مختلف توسعه پایدار برخوردار نیستند. ناپایداری منابع آب، شاید یکی از مخرب‌ترین جلوه‌های توسعهٔ ناپایدار، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نظیر بخش بزرگی از کشور ایران باشد. اگر چه مهندسان به طور کلی و مهندسان آب به طور خاص، پایدار بودن و توسعه پایدار را به عنوان مفاهیم مهم و مثبت در نظر می‌گیرند اما به نظر می‌رسد، نگاه جامع‌نگرانه‌ای به آن ندارند.

دانشجویان اغلب توسعه پایدار را در چهارچوب مباحث محیط زیستی در نظر می‌گیرند و به جنبه‌های اجتماعی آن بی‌توجهی می‌کنند (Vehmaa et al., 2018). تحول در نظام‌های آموزشی، برای ترکیب دانش و مهارت‌های مرتبط با جنبه‌های مختلف توسعه پایدار فراتر از صرف محیط زیست، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و پیش‌نیاز آن، انتقال دانش (نه در حد دانش عمیق تخصصی) در زمینه‌های مختلفی است که در این بخش به آن پرداخته شده است.

آینده آموزش مهندسی در گروی تغییر نظام‌های آموزشی به سمت حل مسائل پیچیده انسانی است. به عبارت دیگر، توجه به بعد انسانی-فرهنگی مسائل مهندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و فرهنگ مردم و تعاملات آنها باید بخشی از تعریف، راه‌حل و ارزیابی مسائل پیچیدهٔ انسانی باشد که مهندسان به دنبال راه‌حل برای آنها هستند (Habbal et al., 2024). نحوه تعامل انسان و فناوری‌های مختلف ابداع‌شده توسط مهندسان و دانشمندان در زمان‌ها و مکان‌های مختلف بسیار متفاوت است و تا حد زیادی تابع هنجارهای اخلاقی حاکم بر جوامع محلی است. بنابراین حل مسائل پیچیده‌ای، نظیر ناپایداری توسعه، بدون آموزش مهندسان به در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی و اخلاقی میسر نیست (Habbal et al., 2024). مدیریت آب، شامل هزاران یا حتی میلیون‌ها تصمیم ناظر بر فرایندهای عملیاتی، مالی، برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و مصرف است که در مقیاس‌های مختلف ساعتی تا چند ساله انجام می‌شود. اکثر تصمیمات توسط مصرف‌کنندگان آب و بهره‌برداران گرفته می‌شود و تعداد نسبتاً کمی، توسط مدیران نظام اتخاذ می‌شود. هماهنگی این تعداد زیاد از تصمیمات در یک سامانه آبی پیچیده با اجزای کاملاً وابسته به یکدیگر، نیاز به یک چهارچوب اجتماعی و اقتصادی مؤثر و یک نظام اجتماعی و اقتصادی بزرگ‌تر برای حمایت از آن دارد. در واقع این جامعه است که باید برای حفظ منابع آب و پایداری سامانه‌های آبی اقدام کند (Lund, 2015).

فرایندهای اجتماعی، سه جنبه اصلی مدیریت آب را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند: مصرف آب، روش‌های مدیریت آب و مؤسسات مدیریت‌کنندهٔ آب. ایده‌های اقتصادی، به‌ویژه در این زمینه‌ها کاربردهای گسترده‌ای یافتند، شاید به این دلیل که منابع آب عمدتاً برای اهداف اقتصادی نظیر تولید صنعتی، تولید غذا و انرژی و حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hanemann, 2006). مهندسان آبی که قادر نباشند از مبانی علوم اجتماعی و اقتصادی برای تحلیل درهم‌تنیدگی‌های ذکرشده استفاده کنند، نمی‌توانند مسیر رسیدن به هدف غایی توسعه پایدار را هموار کنند.

آثار منفی تغییر اقلیم، دهه‌هاست که مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است و امروز مهندسان، دانشمندان و حتی عامه مردم، کم‌وبیش از تبعات منفی پدیده تغییر اقلیم بر سلامت و فعالیت‌های اقتصادی خود آگاه هستند. بشر امروز با دو چالش اصلی مواجه است: ۱) تغییر سامانه‌های انرژی به سامانه‌های کم‌کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ۲) کاهش آثار منفی این پدیده بر جوامع مختلف، به خصوص اقشار آسیب‌پذیر. توانمندسازی مهندسان برای مواجهه با این چالش‌ها نیازمند

تحول در در هر دو وجه چهارچوب‌های فناورانه و فلسفی آموزش مهندسی است. به طور خاص مهندسان باید: ۱) درک کنند تا چه حد اقلیم و پایداری به طرح‌های مهندسی مرتبط هستند، ۲) قادر به لحاظ کردن علوم مختلف در طرح‌های مهندسی خود باشند، ۳) اخلاق و عدالت در طرح‌های مهندسی را درک کنند و ۴) قادر به تعامل و همکاری با جوامع محلی از فرهنگ‌ها و نژادهای مختلف باشند (Martin et al., 2022). آثار منفی تغییر اقلیم بر سامانه‌های آبی بسیار متنوع است و بازه وسیعی از تحولات کمی و کیفی در منابع و مصارف آب و عملکرد زیرساخت‌های آبی را شامل می‌شود. مهندسان آب به طور خاص باید برای چهار مورد ذکرشده آموزش ببینند و قادر باشند، اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم را بر طرح‌های مهندسی خود و جوامع ذی‌نفع در این طرح‌ها، درک و برای حصول آنها برنامه‌ریزی کنند.

بنابراین به نظر می‌رسد متخصصان حوزهٔ مهندسی و مدیریت منابع آب، علاوه بر دانش عمیق در حوزهٔ مهندسی آب باید از حداقل دانش تخصصی در چهار زمینهٔ ذکرشده برخوردار باشند تا بتوانند پیچیدگی‌ها، عدم قطعیت‌ها و ابهامات را در تحلیل‌های خود لحاظ کنند و بتوانند در گروه‌های متخصصان از زمینه‌های مختلف، به‌راحتی کار کنند و با گروداران، به شکل مؤثری ارتباط برقرار کنند. دانش سطحی از این علوم، این امکان را برای مهندسان آب فراهم می‌کند که بتوانند با متخصصان این زمینه‌ها ارتباط برقرار کنند و پیشنهادها و نظرات آنها را درک کنند. اینکه بتوانند دانش عمیق خود را در یک زمینه علمی با زمینه‌های علمی دیگر ترکیب کنند، به آنها کمک می‌کند تا در طراحی راه‌حل‌های مهندسی در شرایط متغیر از انعطاف‌پذیری و ذهن باز برخوردار باشند و توان تحلیل نقادانه راه‌حل‌ها را داشته باشند. همچنین بتوانند سامانه‌های پیچیده و به‌هم‌پیوستهٔ آب، غذا، انرژی، اقلیم و محیط زیست را بهتر تحلیل کنند. در اختیار داشتن سطحی از اطلاعات و دانش در چهار زمینه ذکرشده همچنین این فرصت را فراهم می‌کند که مهندس بتواند به عنوان نوعی مترجم[1] بین متخصصان I-شکل از رشته‌های ذکرشده ایفای نقش کند و زمینه همکاری‌ها در گروه‌های کاری متشکل از متخصصان رشته‌های مختلف را فراهم کند (Schwarz, 2023).

۴-۲. سایر توانمندی‌ها و مهارت‌های پیشنهادی برای مهندسان آب T-شکل

در شکل ۲، دسته دوم مهارت‌های پیشنهادی برای مهندس آب T-شکل "سواد دیجیتال[2] و ارتباطات" است که به توانایی درک و استفاده از اطلاعات در قالب‌های مختلف از منابع مختلف، وقتی که از طریق رایانه ارائه می‌شود و همچنین استفاده از توانمندی‌های کار با رایانه و ابزارهای دیجیتال برای برقراری ارتباط و همکاری با سایرین اشاره دارد. سواد داده[3] که ذیل این دسته در شکل ۲ مورد اشاره قرار گرفته

1- Translator
2- Digital literacy
3- Data literacy

است، ناظر بر توانایی خواندن، درک، ایجاد و انتقال داده‌ها به عنوان اطلاعات قابل استفاده در تحلیل مسائل و تصمیم‌گیری‌هاست (Martínez-Bravo et al., 2022). همانند سواد به عنوان یک مفهوم کلی، سواد داده بر شایستگی‌های مورد نیاز برای کار با داده‌ها تمرکز دارد.

با توجه به اینکه مسائل حوزهٔ آب معمولاً با طیف وسیعی از سامانه‌های مختلف و گستره‌های بزرگی از زمان و مکان مرتبط هستند، معمولاً حجم زیادی از داده‌های مختلف، در حل این مسائل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که در طی برنامه‌های آموزشی مرتبط با مهندسی آب در نظام آموزش عالی کشور، دانشجویان کمتر با بانک‌های داده و اطلاعات متنوع موجود در سطح ملی و بین‌المللی آشنا می‌شوند و معمولاً صرفاً در چارچوب انجام پروژه‌های مقطع کارشناسی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد یا رساله دکتری و در حیطهٔ تخصصی آن، از داده‌ها و اطلاعات استفاده می‌کنند. تقویت این توانمندی در دانشجویان در برنامه‌های درسی، که به ضرورت تقویت این توانمندی توجه داشته‌اند، معمولاً از طریق انجام پروژه‌های درسی و استفاده از بانک‌های اطلاعاتی و نرم‌افزارهای مدیریت و تحلیل داده‌ها انجام شده است. عمدهٔ توانمندی‌های این دسته باید در مقطع کارشناسی به دانشجویان مهندسی منتقل شود ولی در شکل فعلی برنامه‌های مهندسی به طور عام و مهندسی عمران به طور خاص، کمتر به این زمینه‌ها پرداخته شده و بنابراین استفاده از فرصت مقاطع تحصیلات تکمیلی برای تقویت این زمینه‌ها توصیه می‌شود.

دسته سوم یعنی مهارت‌های کاربردی، شامل ترکیبی از مهارت‌های مدیریتی و معلوماتی است که برای نوآوری در حل مشکلات و کار گروهی ضروری است. این مهارت‌ها حتی می‌تواند تابع شرایط و حوزه‌های کاری مهندسان باشد ولی مواردی که با توجه به توضیحات ارائه‌شده در بخش‌های قبلی برای مهندسان آب مستقل از زمینه کاری به طور کلی مورد نیاز هستند، شامل مدیریت پروژه، تفکر نظام‌مند و تحلیل گرواران[1] است (McIntosh & Taylor, 2014). از این میان، مدیریت پروژه و تفکر نظام‌مند، دو حوزه‌ای هستند که معمولاً از طریق ارائه دروس مرتبط در برنامه‌های آموزشی به دانشجویان آموزش داده می‌شوند. در برنامه‌های آموزشی مرتبط با مهندسی آب در ایران، مدیریت پروژه معمولاً در مقطع کارشناسی آموزش داده می‌شود و به ندرت در برنامه‌های درسی مقاطع تحصیلات تکمیلی مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد استفاده از ظرفیت دروس به شکل مرسوم آن، برای انتقال مفاهیم و آموزش فرایند مدیریت پروژه مناسب باشد ولی در مورد تفکر نظام‌مند، صِرف استفاده از ظرفیت کلاس‌های درس کافی نیست و بهره‌مندی از ظرفیت درگیر شدن دانشجو در پیدا کردن راه‌حل برای مسائل پیچیدهٔ آب در دنیای واقعی ضرورت داشته باشد.

از دیگر توانمندی‌هایی که در شکل ۲ مورد اشاره قرار گرفته، تحلیل گرواران است. همان طور که پیش‌تر گفته شد، یکی از خصوصیاتی که منجر به بدخیم شدن مسائل حوضه آب می‌شود، تنوع

1- Stakeholder analysis

گروداران با خصوصیات و سطوح قدرت متفاوت است که در ایجاد و حل مشکلات حوزهٔ آب نقش‌آفرینی می‌کنند. تحلیل گروداران یکی از موضوعات بسیار مهمی است که تقریباً در برنامه‌های آموزشیِ در حال اجرا در دانشگاه‌های کشور مغفول مانده است و لازم است با بازنگری در برنامه‌های آموزشی، فضای کافی برای ارتقای دانش و تخصص دانشجویان در این زمینه فراهم شود.

دستهٔ دیگری از توانمندی‌ها که در شکل ۲ مورد اشاره قرار گرفته، توانمندی‌های راهبری است که یکی از اجزای کلیدی یک مهندس آب T-شکل است. اهمیت این توانمندی ریشه در سه دلیل زیر دارد (McIntosh & Taylor, 2014): اول اینکه آغاز تغییرات و تحقق نوآوری برای دستیابی به پایداری سامانه‌های منابع آب، نیازمند راهبری برای ایجاد تعهد نسبت به موفقیت جمعی است. دوم، شکل‌های خاصی از راهبری برای مواجهه با چالش‌های پیچیدهٔ آب که حتی از مرزهای کشورها عبور می‌کنند و تنوع بسیار گسترده‌ای از گروداران را درگیر می‌کنند، لازم است. سوم، تحقیقات اجتماعی در حوزهٔ آب، نشان داده است که تنوعی از راهبران و یا شبکه‌هایی از راهبران برای تحول از روش‌های سنتی مهندسی و مدیریت آب به روش‌های پایدارتر مدیریت آب مورد نیاز است (Meijerink & Huitema 2010). رهبر گروه شرایطی را فراهم می‌کند که منجر به تولید ایده‌های جدید و راه‌حل‌های خلاقانه می‌شود. پل‌هایی را بین افراد و سازمان‌ها برای تبادل اطلاعات، اندیشه‌ها و افکار ایجاد می‌کند و تولید خلاقیت و نوآوری را هدف قرار می‌دهد.

شبکه‌سازی اجتماعی و مدیریت گروه‌های کاری با تخصص‌های مختلف نیازمند خصوصیات فردی و توانمندی‌های متنوعی است که از آن جمله می‌توان به بردباری، اعتماد به نفس، کنجکاوی، مدیریت تنش، طبع موشکافانه، حساسیت، خودآگاهی، امیدواری به تغییر در کنار واقع‌بینی و تاب‌آوری اشاره کرد. کسب این توانمندی‌ها البته نیازمند فرایندی درازمدت است که از بدو تولد در خانواده آغاز می‌شود و در حین تحصیل و کار و تجربه‌اندوزی، ادامه پیدا می‌کند. مهم‌ترین نقش آموزش عالی در کمک به دانشجویان برای کسب این توانمندی‌ها، آگاهی‌بخشی به آنها در مورد ضرورت نهادینه کردن این خصوصیات در شخصیت یک مهندس آب است. علاوه بر موارد ذکرشده، در تحقیقات پیشین تأکید زیادی بر توانمندی‌های «تفکر انتقادی[1]»، «برقراری ارتباط[2]»، «همکاری[3]» و «خلاقیت[4]» برای توفیق حرفه‌ای در محیط‌های کاری پیشرفته شده است (Thornhill-Miller et al., 2023). توانمندی‌های برقراری ارتباط و همکاری البته همان طور که پیش‌تر ذکر شد و در شکل ۲ نشان داده شده است، سواد دیجیتال می‌تواند زمینه مناسبی برای تقویت دو توانمندی «برقراری ارتباط» و «همکاری» فراهم کند.

اگر چه که تقویت تمام توانمندی‌های ذکرشده و انتقال دانش‌های عمیق و غیرعمیق در یک برنامه آموزشی تحصیلات تکمیلی ممکن است میسر نباشد ولی مهم است که مشخص شود، کدام یک

1- Critical thinking
2- Communication
3- Collaboration
4- Creativity

از این جنبه‌ها در برنامه‌های آموزشی دانشگاه‌ها و در چه مقطعی پوشش داده می‌شود تا برنامه‌ریزی برای پوشش دادن به خلع‌ها در سایر مقاطع تحصیلی یا آموزش حین خدمت فراهم شود.

۵. کارکردها و بسترهای تربیت متخصصان مهندسی آب در ایران

در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه و کشورهای منطقه خاورمیانه، مدیریت آب عمدتاً توسط مهندسان آب صورت می‌گیرد (Dehnavi & Al-Saidi, 2020) که متمرکز بر مسائل فنی و جنبه‌های مرتبط با توسعهٔ زیرساخت‌های تنظیم، توزیع و تصفیه آب و مدیریت فاضلاب هستند (Grigg, 2016). ایران هم از این قاعده مستثنی نبوده است و بدنهٔ کارشناسی بخش آب دولت و شرکت‌های مهندسی مشاور فعال در حوزهٔ آب، عمدتاً تحت سیطره مهندسان آب و در حد محدودتری فارغ‌التحصیلان رشته‌های زمین‌شناسی، مهندسی محیط زیست و مهندسی کشاورزی است.

در نظام آموزش عالی ایران، تربیت متخصصان حوزهٔ مهندسی آب عمدتاً در دانشکده‌های مهندسی عمران و محیط زیست و کشاورزی صورت گرفته است. گرایش سازه‌های هیدرولیکی که بعداً به مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی تغییر نام داد، از دهه شصت در برخی از دانشگاه‌های کشور اجرا شده و در مقاطع کارشناسی‌ارشد و دکتری، فارغ‌التحصیلان زیادی به بازار کار کشور ارائه کرده است. عمدهٔ تمرکز مباحث این گرایش بر اندرکنش بین آب و سازه‌های هیدرولیکی، اصول طراحی این سازه‌ها و مهندسی رودخانه و رسوب است. برنامهٔ درسی این گرایش در مقطع کارشناسی ارشد حاوی ۱۲ واحد دروس اجباری و ۱۲ واحد دروس اختیاری است که تماماً بر جنبه‌های فنی حوزه‌های هدف این گرایش متمرکز هستند.

مهندسی و مدیریت منابع آب یکی از گرایش‌های رشتهٔ مهندسی عمران در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری است که به دلیل داشتن سابقهٔ نسبتاً طولانی، بستر تربیت بسیاری از متخصصان حوزهٔ مدیریت منابع آب در کشور بوده است. هدف این گرایش تربیت افرادی است که با شناخت کافی از جنبه‌های مختلف مهندسی، مدیریتی و محیط زیستی، قادر باشند زیرساخت‌های موجود برای بهره‌برداری از منابع آب را مدیریت کنند، از منابع آب موجود حفاظت کنند و برای توسعهٔ بهره‌برداری از منابع آب با رعایت اصول توسعه پایدار برنامه‌ریزی کنند. تاریخچهٔ تأسیس این گرایش به راه‌اندازی گروه‌های مهندسی آب در برخی از دانشگاه‌های کشور در اوایل دههٔ ۷۰ باز می‌گردد. بعدها این گرایش در اوایل دههٔ ۹۰ بر اساس مصوبه وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب تغییر عنوان داد و در ترکیب دروس آن نیز بازنگری شد. در برنامه مصوب این گرایش، ۱۲ واحد دروس اجباری و ۱۲ واحد دروس اختیاری در سه خوشهٔ "مبانی ریاضی و هیدرولیک"، "مهندسی منابع آب" و "برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب" در نظر گرفته شده است. دروس تخصصی گرایش مهندسی آب و پس از آن گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، تماماً مرتبط با حوزه‌های فنی مهندسی آب بوده

است و عمدتاً محصول نگاه فن‌سالارانه به حوزهٔ مهندسی آب است. رویکرد نظام‌مند در قالب یکی از دروس اجباری این گرایش تا حدی مورد توجه قرار می‌گیرد ولی به نظر می‌رسد، این سطح از آموزش تفکر نظام‌مند، با انتظارات مطرح‌شده از مهندسان T-شکل مناسب مسائل روز آب که در بخش‌های قبل تشریح شد، تناسبی ندارد. ضمن اینکه به نظر می‌رسد استفاده بیشتر از متخصصان مهندسی سامانه‌ها برای تدریس در این گرایش لازم باشد.

برای رفع معضل نگاه فن‌سالارانه در طراحی برنامه‌های درسی مهندسی آب و با هدف تقویت نگاه بین‌رشته‌ای به برنامه مهندسی آب، رشته علوم و مهندسی آب توسط شاخه مهندسی کشاورزی، تدوین و از سال ۱۳۹۳ جایگزین رشته مهندسی کشاورزی- آب در دانشگاه‌ها شد. این تحول البته فقط یک تغییر عنوان نبود بلکه برنامه درسی این رشته، به طور کامل مورد بازنگری اساسی قرار گرفت و در بهمن‌ماه ۱۳۹۱ به تصویب شورای برنامه‌ریزی آموزش عالی رسید. در برنامه درسی رشته علوم و مهندسی آب، ۱۳ خوشه تخصصی تعریف شده و در هر خوشه بین ۲۲ تا ۲۴ واحد درسی پیش‌بینی شده است که دانشجو می‌تواند بنا به علاقه خود و شرایط دانشگاهی که در آن تحصیل می‌کند، یکی از این خوشه‌ها را انتخاب کند. خوشه‌های درنظرگرفته‌شده در این رشته، عبارتند از آبیاری و زهکشی، سازه‌های آبی، مدیریت منابع آب، هواشناسی کشاورزی، آب و فناوری اطلاعات، آب و مهندسی محیط زیست، آب و کشاورزی، آب و توسعه، آب و اقتصاد، آب و حکمرانی، آب و حقوق، آب و مهندسی سامانه و همچنین مهندسی آثار و سازه‌های تاریخی آبی. در مقطع کارشناسی ارشد نیز گرایش‌های متناظر این خوشه‌ها مصوب شده است و دانشجویان می‌توانند پس از اتمام مقطع کارشناسی، حسب زمینهٔ مورد علاقه خود، در این خوشه‌ها ادامه تحصیل دهند. البته ذکر این نکته ضروری است که تعداد محدودی از این خوشه‌ها، در اکثر دانشگاه‌های کشور فعال شده است که عمده‌ترین دلیل آن، مشکل در تأمین استاد برای ارائه دروس و هدایت فعالیت‌های تحقیقاتی بوده است.

به نظر می‌رسد در حوزهٔ برنامه‌ریزی برای توسعهٔ آموزش عالی در حوزه مهندسی آب، توجه کمتری به ظرفیت‌سازی در تأمین استاد و شیوه‌های متنوع آموزش در حوزه‌های بین‌رشته‌ای شده است و عمدتاً به بازنگری در ترکیب دروس و تعریف خوشه‌ها اکتفا شده است. این در حالی است که در بسیاری از دانشگاه‌های پیش‌رو در سایر کشورها، با جذب دانشجو و استاد از رشته‌های مختلف و حتی کشورهای مختلف و تعریف پروژه‌هایی مبتنی بر مسائل واقعی که دانشجویان به صورت گروهی روی آنها کار می‌کنند، تفکر نظام‌مند، کار گروهی، توجه به نقاط تمایز فرهنگی و اجتماعی و نگاه بین‌رشته‌ای به صورت ضمنی در دانشجویان تقویت می‌شود (Dehnavi & Al-Saidi, 2020). به روز بودن برنامه‌های آموزشی مهندسی آب، متناسب با تحولات فناورانه و شرایط محیطی، نیازمند ایجاد انعطاف‌پذیری برای تحول مداوم در برنامه‌های آموزشی است. یکی از ضرورت‌ها در این مسیر، ارتباط مستمر دانشگاه‌ها با گرودارن مهم، دانشجویان و دانش‌آموختگان است (Uhlenbrook & de Jong, 2012) تا تحولات در بازار

کار و توانمندی‌های مورد نیاز برای رفع چالش‌های آبی شناسایی شود.

بررسی ترکیب دروس در گرایش‌های مختلفی که مورد اشاره قرار گرفت، نشان می‌دهد که به جز رشتهٔ علوم و مهندسی آب که تا حدی از نظر آموزش‌های تخصصی به اهداف تربیت شخصیت حرفه‌ای T-شکل نزدیک می‌شود، سایر گرایش‌های مرتبط با مهندسی آب، علی‌رغم اینکه بعضاً تلاش شده است تا در قالب درس‌های اختیاری، تنوع موضوعات اشاره‌شده و حوزه‌های هم‌بستی در آنها در نظر گرفته شود ولی به دلایل مختلف، خصوصاً فراهم نبودن استاد برای تدریس دروس بین‌رشته‌ای، عمدتاً تمرکز بر زمینه‌های مهندسی در یک‌رشته خاص صورت گرفته است و بنابراین خروجی گرایش‌های ذکرشده، بیشتر از نوع I-شکل هستند. حوزه‌های توانمندی‌های مدیریتی و راهبری و سواد دیجیتال هم به طور مستقیم در برنامه‌های آموزشی فعلی مرتبط با مهندسی آب مورد توجه قرار نگرفته‌اند و بعضاً ممکن است در قالب انجام پروژه‌های درسی یا پایان‌نامه/رساله، برخی از این توانمندی‌ها کسب شود.

۶. سواد دیجیتال و سواد داده و اطلاعات در برنامه‌های آموزشی

همان طور که قبلاً اشاره شد، سواد داده و اطلاعات ناظر به توانمندی درک، استفاده و مدیریت داده و اطلاعات است. آموزش دانشجویان در این حوزه باید هر دو حوزهٔ استفاده از داده و اطلاعات و مدیریت آن را پوشش بدهد. اگر چه، سواد دیجیتال هم تا حد زیادی به سواد داده و اطلاعات مرتبط است ولی این دو، وجوه افتراقی نیز با هم دارند که باعث شده است در طراحی ساختار T-شکل مستقل از یکدیگر مورد توجه قرار گیرند. در طراحی برنامه‌های آموزشی تفاوت‌های زیر بین این دو حوزه باید مورد توجه قرار گیرد:

- مهارت‌ها و توانمندی‌های حوزهٔ سواد داده و اطلاعات: یافتن، تحلیل، ارزیابی، استفاده و مدیریت داده و اطلاعات
- مهارت‌ها و توانمندی‌های حوزهٔ سواد دیجیتال: یافتن، سازمان‌دهی، درک، ارزیابی و تولید اطلاعات با استفاده از فناوری‌های دیجیتال

اگر چه در رشته‌های مهندسی عمران و محیط زیست، در بسیاری از دانشگاه‌ها هنوز به شکل سنتی از ظرفیت پروژه‌های مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی برای ارتقای سواد داده و اطلاعات و سواد دیجیتال استفاده می‌شود ولی برخی از دانشگاه‌های سایر کشور، این موارد را به طور خاص در قالب درس‌های مشخص به برنامه‌های درسی اضافه کرده‌اند. به طور مثال دانشگاه ملی سنگاپور[1]، که جزو ۱۰ دانشگاه برتر جهان در حوزهٔ مهندسی است، در سال ۲۰۲۱ برنامه آموزشی مقطع کارشناسی رشته مهندسی محیط زیست را مورد بازنگری قرار داده و دروس «سواد داده و اطلاعات» و «سواد

1- National University of Singapore

دیجیتال» را به دروس اصلی این رشته اضافه کرده است و با در نظر گرفتن دو درس مستقل برای این دو مبحث، تفکیک مباحث تخصصی دو حوزه نیز مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد در ایران نیز، اضافه‌کردن این مباحث به دروس اجباری مقاطع کارشناسی در رشته‌های مهندسی عمران و سایر رشته‌های مرتبط با آب، مثل مهندسی محیط زیست، ضروری باشد.

۷. انتقال توانمندی‌های مدیریت و راهبری و جامع‌نگری در برنامه‌های آموزشی مهندسی آب

بر خلاف سایر زمینه‌های مطرح‌شده، به نظر می‌رسد در برنامه‌های آموزشی مرتبط با مهندسی آب در ایران، کمترین توجه به انتقال توانمندی‌های مدیریت و راهبری به دانشجویان شده است. به جز مدیریت پروژه که در بعضی برنامه‌های آموزشی در درسی مشخص تا حدی پوشش داده می‌شود، در اکثر برنامه‌های آموزشی ارائه‌شده در کشور، برنامه مدونی برای انتقال سایر توانمندی‌های ذکرشده در این دو حوزه که در شکل (۲) نشان داده شده است، وجود ندارد.

بررسی تحقیقات انجام‌شده در سطح بین‌المللی نشان می‌دهد در برنامه‌های آموزشی مهندسی آب، روش‌های مختلفی برای انتقال این توانمندی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که به طور خلاصه، به شکل زیر قابل دسته‌بندی هستند (Dehnavi & Al-Saidi, 2020):

- استفاده از مدرسان با حوزه‌های تحصیلی مختلف و تا حد امکان از کشورها و فرهنگ‌های گوناگون
- استفاده از مثال‌های دنیای واقعی
- استفاده از آموزش پژوهش‌محور[1]
- استفاده از مدرسان مدعو از صنعت
- بازدیدهای میدانی
- پروژه‌هایی که کار گروهی برای انجام آنها ضروری باشد

استفاده از مثال‌های دنیای واقعی باعث ایجاد درک بهتری از مبانی نظری و کاربردهای آن در دنیای واقعی می‌شود. استفاده از مثال‌های دنیای واقعی، پیچیدگی‌های مسائل آب و راه‌حل‌های آنها و وابستگی‌شان به سایر سامانه‌های غذا، انرژی، اقلیم و محیط زیست را بهتر نشان می‌دهد و دانشجویان را برای کنجکاوی در شناخت این به‌هم‌پیوستگی‌ها و اثرات متقابل ترغیب می‌کند. محیط‌های آموزشی که افراد از فرهنگ‌های مختلف اعم از دانشجو و استاد در آن حضور دارند و پروژه‌های درسی به صورت گروهی انجام می‌شوند، زمینه تقویت توانمندی‌های برقراری ارتباط، درک متقابل و همکاری را فراهم می‌کنند. استفاده از آموزش پژوهش‌محور و بازدیدهای میدانی، کمک زیادی به تمرین تفکر نظام‌مند و انتقادی می‌کنند.

1- Inquiry Based Learning (IBL)

سابقه تحقیقات گسترده‌ای در مورد نحوه تقویت خصوصیات راهبردی در مهندسان وجود دارد که لازم است مورد واکاوی دقیق‌تر قرار بگیرد و با بررسی تطبیقی با شرایط مقاطع مختلف آموزشی مهندسی آب در کشور، خلع‌های موجود شناسایی شود و زمینه‌های ارتقای این توانمندی‌ها مورد واکاوی قرار گیرد.

۸. تجربیات بین‌المللی در طراحی برنامه‌های آموزشی برای تربیت متخصصان T-شکل

در این بخش صرفاً به عنوان نمونه، مشخصات چند دوره آموزشی تحصیلات تکمیلی مرتبط با مهندسی آب که با هدف تربیت متخصصان T-شکل در دانشگاه‌های سایر کشورها طراحی و اجرا شده‌اند، معرفی می‌گردند. بررسی جزئیات این دوره‌ها می‌تواند درس‌آموخته‌های مفیدی برای بازنگری در برنامه‌های آموزشی موجود در کشور داشته باشد.

۸-۱. دوره کارشناسی ارشد مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب در دانشگاه Griffith استرالیا

در توضیحات این برنامه آموزشی در تارنمای دانشگاه Griffith، به اهداف برشمرده در بخش‌های پیشین این مقاله از جمله تربیت متخصصان T-شکل و تقویت توانمندی‌های مربوط به راهبردی و کار در گروه‌های کاری چندتخصصه اشاره شده است. فهرست دروس اجباری این دوره که در جدول (۱) آورده شده است، به طور مشخص، ارتقای توانمندی‌های مدیریتی و راهبردی و تقویت دانش غیرعمیق در زمینه‌های تغییر اقلیم، اقتصاد و تعامل با گروداران را هدف قرار داده است. همچنین در توضیحات این دوره ذکر شده است که در ارائه دروس، از ترکیبی از اساتید دانشگاه، متخصصان صنعت و فعالان در سازمان‌های مردم‌نهاد استفاده می‌شود.

جدول ۱. ترکیب دروس اجباری و اختیاری دوره کارشناسی ارشد مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب در دانشگاه Griffith استرالیا

دروس اجباری	دروس اختیاری در خوشه خدمات آب و فاضلاب	دروس اختیاری در خوشه مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب	دروس اختیاری در خوشه نوآوری و سازگاری در آب
Project management	WASH: Water supply, sanitation and hygiene	Water accounting	Innovation for impact
Catchment ecology	Urban futures: Delivering water sensitive cities	Water, agricultural landscapes and food security	یک درس اختیاری از سایر خوشه
Water governance and policy	Community, livelihoods, levelopment and water	Community, livelihoods, development and water	
Public involvement and community development			
Climate adaptation theory and practice			
Economics for water resource management			

۸-۲. دوره کارشناسی ارشد آب و توسعه پایدار در دانشگاه IHE-Delft هلند

دانشگاه IHE-Delft بزرگ‌ترین دانشگاه تخصصی حوزه آب است. در توضیحات ارائه‌شده در تارنمای این دانشگاه، تأکید شده است که در تربیت دانشجویان در مقاطع تحصیلات تکمیلی، اهمیت زیادی به توانایی‌های راهبردی، مهارت‌ها و سواد دیجیتال و کار در حوزه‌های بین‌رشته‌ای داده شده است. دوره کارشناسی ارشد آب و توسعه پایدار در این دانشگاه در قالب چهار خوشه تخصصی سازمان‌دهی شده است:

- آب، غذا و انرژی
- مخاطرات آبی، خطرها و اقلیم
- آب و سلامتی
- سلامتی و ایمنی منابع آب و بوم‌سازگان‌ها

همان طور که از عناوین خوشه‌ها مشخص است، اهمیت خاصی به حوزهٔ هم‌بست آب، غذا و انرژی داده شده است و همچنین موضوع اقلیم و خطرهای مرتبط به تغییر اقلیم، در خوشه دوم مورد تأکید قرار گرفته است. جزئیات دروس ارائه‌شده در این خوشه‌ها، از حوصله این مقاله خارج است ولی بررسی ترکیب این دروس، نشان می‌دهد که دروس، به پنج دسته مختلف "علوم مهندسی"، "حکمرانی و مدیریت"، "محیط زیست"، "نوآوری دیجیتال و هیدروانفورماتیک" و "بهداشت" تقسیم‌بندی شده‌اند. در این تقسیم‌بندی، ضرورت پرداختن به جنبه‌های مدیریتی و محیط زیستی و همچنین سواد دیجیتال در طراحی دوره‌های کارشناسی ارشد مهندسی آب مورد توجه قرار گرفته است. این دانشگاه همچنین تأکید زیادی بر یادگیری مادام‌العمر دارد و تعداد زیادی درس را به صورت برخط و حضوری برای تقویت یادگیری مستمر در دانش‌آموختگان رشته‌های مهندسی آب ارائه می‌کند.

۹. جمع‌بندی و پیشنهادات

به نظر می‌رسد که دانشگاه‌های کشور برای دستیابی به خصوصیات دانشگاه نسل سوم و چهارم در حال تلاش هستند. در دنیای امروز دانشگاه‌های نسل اول و دوم، دیگر نمی‌توانند حرف چندانی برای گفتن داشته باشند و به‌رغم حفظ ماهیت اصلی دانشگاه، تغییر پارادایم و تحولات بنیادی برای حرکت به سمت دانشگاه کارآفرین و تربیت دانش‌آموختهٔ ماهر که بتواند در محیط در حال تغییر کنونی، جایگاه خود را به عنوان یک متخصص حرفه‌ای حفظ کند، ضروری است. دانشگاهی که بتواند بر فرایند توسعه و بخش‌های اقتصادی کشور اثرگذار باشد، نمی‌تواند بر برنامه‌های آموزشی صلب و شیوه‌های آموزشی سنتی و قدیمی متکی باشد.

در شرایطی که آب، به عنوان یک چالش مهم در کشور مطرح شده است و توسعه پایدار تا حد

زیادی به اصلاح روش‌های مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب کشور گره خورده است، برنامه‌های آموزشی رشته‌های مرتبط با مهندسی آب در دانشگاه‌های کشور نیازمند تحولات بنیادی هستند. یکی از قدم‌های اساسی در طراحی رشته‌های مهندسی مرتبط با آب، شناخت خصوصیات مورد انتظارِ دانشی و شخصیت حرفه‌ای فردی است که از این رشته‌ها فارغ‌التحصیل می‌شود. در این مقاله ضمن بررسی الگوهای مختلف دانشی و توانمندی‌های مورد انتظار از دانش‌آموختگان رشته‌های مرتبط با مهندسی آب، الگوی T-شکل به عنوان الگوی مناسب انتخاب شده و زمینه‌های مورد انتظار برای کسب دانش عمیق و دانش غیر عمیق پیشنهاد شده است. این در حالی است که اکثر برنامه‌های آموزشی کشور در حوزه‌های مهندسی آب، شخصیت I-شکل تربیت می‌کنند. توجه به ارتقای توانمندی‌های مدیریت و راهبری و سواد داده و اطلاعات و سواد دیجیتال و ساماندهی دانش و مهارت‌های قابل انتقال به دانشجویان در قالب درس‌ها و پروژه‌های موجود در برنامه درسی، نیاز به برنامه‌ریزی و هماهنگی دارد (Weissbrodt et al., 2020). بازنگری در برنامه‌های آموزشی کشور برای تربیت مهندسان آبی که بتوانند با متخصصان محیط زیست، توسعه پایدار، تغییر اقلیم، اقتصاد، علوم اجتماعی و اخلاق مهندسی ارتباط برقرار کنند و در گروه‌های کاری متشکل از این تخصص‌ها نقش همکاری و راهبری ایفا کند، ضروری است.

علاوه بر محتوای آموزشی، شیوه‌های آموزش نیز نیاز به بازنگری دارند. تقویت ارتباط با صنعت و استفاده از ظرفیت کارشناسان خبرهٔ صنعت و انجام بازدیدهای میدانی، علاوه بر فراهم‌کردن زمینه آشنایی با مسائل دنیای واقعی، دیدگاه‌های گرودارن و ذی‌مدخلان را نیز به دانشجویان منتقل و در آموزش توانمندی‌های ارتباطی نیز مؤثر است. استفاده از مدرسان مدعو از صنعت نیز دانشجویان را با تعبیرهای مختلف از مسائل و راه‌حل‌هایی که گرودارن گوناگون مطرح می‌کنند، آشنا می‌کند و فرصتی فراهم می‌کند تا دانشجویان بتوانند برقرار ارتباط با گرودارن حوزهٔ آب را در عمل تجربه کنند (Uhlen-brook & de Jong, 2012). استفاده از رویکرد آموزش پژوهش‌محور با بهره‌گیری از مسائل واقعی متنوع، به‌کرات برای آموزش دانشجویان در موضوعاتی نظیر مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب[1] توصیه شده است چراکه این شیوه از آموزش، کنجکاوی دانشجویان را برای یادگیری مباحث جدید تحریک می‌کند و توفیق در هدایت دانش‌آموختگان در مسیر یادگیرنده‌های مادام‌العمر را افزایش می‌دهد.

بدون ارتقای سبک و محتوای برنامه‌های آموزشی مهندسی آب نمی‌توان انتظار داشت، فضای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در کشور و به‌تبع آن روند توسعه ناپایدار از منظر بهره‌برداری از منابع طبیعی تغییر چندانی بکند. در واقع نظام آموزش عالی کشور باید متوجه ضرورت این تغییر و اهمیت اقدام سریع در این مورد باشد. اولین قدم در این مسیر، حذف نظام متمرکز طراحی و تصویب برنامه‌های آموزشی و ایجاد انعطاف در طراحی برنامه‌های درسی دوره‌های کارشناسی و تحصیلات تکمیلی است.

1- Integrated water resources management

References

- Abdul-Talib, S., Tay, C.-C., Zakaria, N.A., Ab-Ghani, A., Mohd-Sidek, L., and Chan, N.W. (2014). Water and environmental engineering: embracing multi-disciplinary approach through advanced and integrated technologies for sustainability. *Journal of Asian Scientific Research*, 4(4), 194-206. Retrieved from https://archive.aessweb.com/index.php/5003/article/view/3625.
- Babatope A. (2020). Competence-driven engineering education: a case for T-shaped engineers and teachers, *Int. J. Eval. Res. Educ.*, 9 (1), pp. 32-38.
- Balint, P. J., R. E. Stewart, A. Desai and L. C. Walters (2011). Wicked environmental problems: Managing uncertainty and conflict. Washington, DC: Island Press.
- Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Steduto, P., Mueller, A., Komor, P., Tol, R.S.J. and Yumkella, K.K. (2011). Considering the energy, water, and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy* 39(12): 7896-7906. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039.
- Bierema, L. L. (2019). Enhancing employability through developing T-shaped professionals, Fostering employability in adult and higher education: An International Perspective, 2019(163), pp. 67-81, https://doi.org/10.1002/ace.20342.
- Cheetham, G. and Chivers, G. (1996). Towards a holistic model of professional competence. *Journal of European Industrial Training*, Vol. 20 No. 5, pp. 20-30. https://doi.org/10.1108/03090599610119692.
- Davari, K. and A. Esfandiari (2024). Water scarcity and sustainability. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(4), 30 [In Persian].
- Dehnavi, S., and M. Al-Saidi (2020). Educating water professionals for the Arab world: Archetypes, change agents and complex realities, *Energy Reports*, Volume 6, Supplement 8, pp. 106-113.
- Demirkan, H. & J. Spohrer (2015). T-shaped innovators: identifying the right talent to support service innovation, *Research-Technology Management*, 58:5, 12-15, DOI: 10.5437/08956308X5805007.
- Dickson, R., M. G. Cherry, and A. Boland (2017). Carrying out a systematic review as a Master's thesis. In Book: Doing a systematic review: A student's guide. 2nd edition. Sage Publication, London, UK.
- Garcia, D.J. and You, F. (2016). The water-energy-food nexus and process systems engineering: A new focus. *Comput Chem Eng*, 91: 49-67. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.03.003.
- Grigg NS. (2016). Capacity-building for IWRM: Education, training, and research. In: Grigg NS, editor. Integrated water resource management: An interdisciplinary approach. London: Palgrave Macmillan UK, p. 395-408. http://dx.doi.org/10.1057/978-1-137-57615-6_21.
- Habbal, F., A. Kolmos, R. G. Hadgraft, J. E. Holgaard, K. Reda, (2024). Reshaping engineering education: addressing complex human challenges. Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore.
- Hanemann, M. (2006). The economic conception of water, in water crisis: myth or reality?. edited by P. P. Rogers, M. R. Llamas, and L. Martinez-Cortina, pp. 61-92, Taylor and Francis, London, U. K.
- Hansen, M. T., B. Von Oetinger (2001). Introducing T-shaped managers. Knowledge management's next generation. *Harv. Bus. Rev.*, 79 (3), pp. 106-116.
- Harris, P. (2009). Help Wanted: "T-shaped" skills to meet 21st Century needs. *TD Magazine*, 63 (9) (2009), pp. 42-47.
- Harris, J, Brown, VA and Russell, J. (2010). Tackling wicked problems: Through the transdisciplinary imagination. Taylor & Francis. Available at https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19390459.2011.604553. https://doi.org/10.4324/9781849776530.
- Irwin, E.G., Culligan, P.J., Fischer-Kowalski, M., Law, K.L., Murtugudde, R. and Pfirman, S. (2018). Bridging barriers to advance global sustainability. *Nature Sustainability* 1(7): 324-326. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0085-1.
- Karami, Sh., K. Fathi Vajargah, A. A. Khosravi Babadi, M. Farajzadeh Asl (2020). Green curriculum in the higher education of Iran: Water crisis, climate change, sources of knowledge. *Quarterly Journal of Environmental*

Education and Sustainable Development, 9(1), 81-94.

- Khan, Kh. S., R. Kunz, J. Kleijnen, G. Antes (2003). Systematic reviews to support evidence-based medicine: How to review and apply findings of healthcare research. Royal Society of Medicine Press, London.
- Kiani, A. K. and M. Shaker (2019). An analyses of the problems and barriers to development pressurized irrigation systems. *Water Management in Agriculture*, 6(1), 65-74 [In Persian].
- Ledford, H. (2015). How to solve the world's biggest problems. *Nature* 525(7569), 308-311. https://doi.org/10.1038/525308a.
- Lund, J. R. (2015). Integrating social and physical sciences in water management. *Water Resources Research*, 51(8), 5905-5918.
- Martin, M. J., Diem, S. J., Karwat, D. M. A., Krieger, E. M., Rittschof, C. C., Bayon, B., Aghazadeh, M., Asensio, O., Zeilkova, T. J., Garcia-Cazarin, M., Alvelo Maurosa, J. G., & Mahmoud, H. (2022). The climate is changing. Engineering education needs to change as well. *Journal of Engineering Education*, 111(4), 740-746. https://doi.org/10.1002/jee.20485.
- Martínez-Bravo, M. C., Ch. S. Chalezquer, and J. Serrano-Puche (2022). Dimensions of digital literacy in the 21st Century competency frameworks. *Sustainability*, 14(3), 1867. https://doi.org/10.3390/su14031867.
- Mbah, M.F., Shingruf, A. & Molthan-Hill, P. (2022). Policies and practices of climate change education in South Asia: towards a support framework for an impactful climate change adaptation. *Climate Action*, 1 (28), https://doi.org/10.1007/s44168-022-00028-z.
- McIntosh, B. S., and A. Taylor (2014). Developing T-shaped water professionals: building capacity in collaboration, learning, and leadership to drive innovation, *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 150(1), pp. 6-17, https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2013.03143.x.
- Mdee, Anna, Alesia Ofori, Gabriela Lopez-Gonzalez, Lindsay Stringer, Julia Martin-Ortega, Sara Ahrari, Andrew Dougill, Barbara Evans, Joseph Holden, Paul Kay, Victor Kongo, Pedi Obani, Martin Tillotson, Miller Alonso Camargo-Valero, The top 100 global water questions: Results of a scoping exercise, *One Earth*, 5 (5), pp. 563-573.
- Meijerink, S. and D. Huitema (2010). Policy entrepreneurs and change strategies: Lessons from sixteen case studies of water transitions around the globe. *Ecology and Society* 15(2): 1-21.
- Ninan, J., M. and Hertogh, Y. Liu (2022).Educating engineers of the future: T-shaped professionals for managing infrastructure projects, Project Leadership and Society, Volume 3, 100071, https://doi.org/10.1016/j.plas.2022.100071.
- Oskam, I. F. (2009). T-shaped engineers for interdisciplinary innovation: an attractive perspective for 30 young people as well as a must for innovative organizations. *37th Annual Conference on Attracting students in Engineering*, Rotterdam, The Netherlands, 1-4 July 2009.
- Ravar, Z., B. Zahraie, A. Sharifinejad, H. Gozini, S. Jafari (2020). System dynamics modeling for assessment of water-food-energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. *Ecological Indicators*, 108, 105682, https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105682.
- Reed, P. M., J. Kasprzyk (2009). Water resources management: The myth, the wicked, and the future, ASCE *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135 (6), 411-413.
- Rezaei, M. (2022). Water ethics, *Journal of Water and Sustainable Development*, 9(4), 59-76 [In Persian].
- Salemi Sarmast, S., Zahraie, B. (2021). Assessment of water security in Iran at provincial level using a hybrid index. *Water and Irrigation Management*, 11(3), pp. 617-632. doi: 10.22059/jwim.2021.327554.903.
- Schwarz, J. (2023). Climate change, human displacement, and STEM education: Toward a more transdisciplinary and inclusive culture of science. In: Murray, B., Brill-Carlat, M., Höhn, M. (eds) Migration, displacement, and higher education. Political Pedagogies. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-12350-4_18.
- Srinivasan, V., M. Konar, M. Sivapalan (2017). A dynamic framework for water security, Water Security, Volume 1, pp. 12-20, https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.03.001.
- The World Economic Forum Water Initiative, (2011). Water security: The water-food-energy-climate nexus, 14

U. Denv. Water L. Rev. 418.

- Thornhill-Miller, Branden, Anaëlle Camarda, Maxence Mercier, Jean-Marie Burkhardt, Tiffany Morisseau, Samira Bourgeois-Bougrine, Florent Vinchon, Stephanie El Hayek, Myriam Augereau-Landais, Florence Mourey, Cyrille Feybesse, Daniel Sundquist, and Todd Lubart (2023). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st Century skills for the future of work and education, *Journal of Intelligence* 11, no. 3: 54. https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054.
- Torres-Carrión, P. V., C. S. González-González, S. Aciar and G. Rodríguez-Morales (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education, (2018) *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Santa Cruz de Tenerife, Spain, pp. 1364-1373, doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363388.
- Uhlenbrook, S. and de Jong, E. (2012). T-shaped competency profile for water professionals of the future. *Hydrol. Earth Syst. Sci.,* 16, 3475-3483, https://doi.org/10.5194/hess-16-3475-2012.
- United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf (last accessed April 1st, 2024).
- UN-Water (2016). Monitoring water and sanitation in the 2030 agenda for sustainable development: An executive briefing. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/05/1_Monitoring-Water-and-Sanitation-in-the-2030-Agenda-An-executive-briefing_2016-06-24.pdf (last assessed April 1st, 2024).
- Vehmaa, Anu, Meeri Karvinen, and Marko Keskinen. 2018. Building a more sustainable society? A case study on the role of sustainable development in the education and early career of water and environmental engineers. Sustainability, 10(8), 2605. https://doi.org/10.3390/su10082605.
- Wade, A. A., A. Grant, S. Karasaki, R. Smoak, D. Cwiertny, A. C. Wilcox, L. Yung, K. Sleeper and A. Anandhi (2020). Developing leaders to tackle wicked problems at the nexus of food, energy, and water systems. *Elementa Science of Anthropocene*, 8:11. DOI: https://doi.org/10.1525/elementa.407.
- Weissbrodt, D. G., M. K. H. Winkler and G. F. Wells (2020). Responsible science, engineering and education for water resource recovery and circularity, *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 6, 1952-1966, https://doi.org/10.1039/D0EW00402B.
- Yazdani, H., M. Yaghoubi (2019). Engineering education for sustainable development: Futures, literature review, and holistic framework proposal. *Iranian Journal of Engineering Education*, 24(96), 69-91 [In Persian].
- Zohoor, H., J. Towfighi, P. Jabehdar Maralani, P. Davami, A. Kaveh, H. Nadimi, M. Yaghoubi (2019). Status analysis of engineering sciences in the country for future consideration: A summary of studies of specific groups, The IR Iran Academy of Sciences. *Iranian Journal of Engineering Education*, 21(84), 85-101 [In Persian].

بنفشه زهرایی: دارای مدرک دکترای مهندسی عمران در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و هیئت‌علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران است. وی علاوه بر آموزش و تحقیقات در زمینه‌های تخصصی مرتبط با مهندسی آب، در زمینه ارتقای سواد آبی فعالیت داشته و مسئول کارگروه ارتقای سواد آبی انجمن آموزش مهندسی ایران نیز هست. ایشان همچنین در فاصله سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۳ دبیر کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی کشور بوده است. علایق پژوهشی وی در زمینه‌های مدلسازی بیلان آب، مدلسازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و سازگاری با کم‌آبی و تغییر اقلیم است.