دوره (۱)
شماره (۱)
پیاپی (۱)
بهارو تابستان(۱۴۰۱)
شماره صفحه: ۵۷-۴۵

نشریه علمی پژوهش‌های نوین در مهندسی آب پایدار

کمبود و تنش آب در قرن بیستم و راهکارهـــایی برای دستیابی به امنیت جهانی آب

حسین رکنی زاده[۱]، سعید اسلامیان [۲]، موسی ملکی*[۳]

تاریخ ارسال: ۱۴۰/۰۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶
DOI: 10.22103/nrswe.2022.19246.1003

چکیده

با افزایش جمعیت، گرم‌شدگی کره زمین و تغییرات آب و هوایی، در آیندهای نه چندان دور به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا با مشکل کمبود آب مواجه خواهد شد که می‌تواند بحران‌های شدیدی را در زمینه‌های مختلف بوجود آورد. بنابراین لازم است تا با مطالعه رفتار آب در گذشته و ارائه راهکارهایی به منظور دستیابی به پایداری، تا حد زیادی از بروز مشکلات ناشی از کم‌آبی مانند بیابان‌زایی، توسعه فقر، تهدید امنیت غذایی، آلودگی هوا و دیگر آثار مخرب زیستمحیطی، اجتماعی و اقتصادی جلوگیری شود. در جهان دارای امنیت آب، اهمیت ارزش واقعی آب و اهمیت مصرف آب برای حیات و رفاه انسان، یکی می‌شوند. در جهان دارای امنیت آب، قدرت تولیدی آب تحت کنترل درآمده و نیروی تخریبی آن به حداقل می‌رسد. امنیت آب، به معنی اداره و رسیدگی به حفاظت زیستمحیطی از منظر مدیریت منابع آب و حذف یا کنترل اثرات منفی مدیریت ضعیف نیز می‌باشد. در امنیت آب، پایان دادن مسئولیت پراکنده آب و یکپارچه‌سازی مدیریت منابع آب در تمامی بخش‌ها از جمله امور مالی، برنامه‌ریزی، کشاورزی، انرژی، گردشگری، صنعت، آموزش و سلامت، مورد توجه قرار می‌گیرد. در این تحقیق در مورد روندهای مصرف و کمبود آب در مقیاس منطقه‌ای و جهانی و طبقه‌بندی کمبود آب برای سال‌های مختلف برای جهت‌دهی و تنظیم کارهای مدیریتی به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار بحث شده‌است که می-تواند باتوجه به اقلیم منطقه و شرایط آن، در شناسایی راه حل‌های احتمالی مناسب برای مقابله با کمبود آب و همچنین ارزیابی راهکارهای کاهنده مصرف، مفید واقع شود.

واژه‌گان کلیدی: اقلیم، پایداری، کمبود آب، گرم‌شدگی کره زمین، نمونه های اولیه

[۱] - دانشجوی کارشناسی مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. ایران.
[۲] - استاد و عضو هیات علمی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*[۳] - نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری مهندسی عمران، مؤسسه فناوری ایلینوی، شیکاگو، آمریکا، Email: mmaleki1@hawk.iit.edu

مقدمه

یک سوال اصلی برای آینده بشریت این است که آیا در سیستم جهانی آب کافی برای پاسخگویی به نیازهای جمعیت جهان فردا وجود دارد یا خیر. باتوجه به اینکه پاسخ این پرسش منفی است، اگر در حال حاضر اقدامی انجام نشود ناامنی آب احتمالاً به یک موضوع ژئوپلیتیک اساسی تبدیل خواهد شد که کل سیستم اقتصاد جهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این امر هم شامل استفاده از پتانسیل اجتماعی و تولیدی آب و هم محدود کردن اثرات مخرب آن است. همچنین آب در حیات سیاره نقش اساسی داشته و کمبود آن یک ناامنی مهمی است که باید در روند توسعه اجتماعی-اقتصادی بر آن غلبه کرد (Grey et al. 2013; Falkenmark 2013). کمبود آب یک نگرانی روز افزون در سراسر جهان است، اما اطلاعات کمی در مورد چگونگی تشدید آن در طول زمان وجود دارد. تحقیق حاضر یک ارزیابی از مصرف آب آشامیدنی در مقیاس ملی، در دسترس بودن آب شیرین تجدیدپذیر و کمبود آب در کل قرن بیستم را ارائه داده و کمبود آب را با استفاده از مفاهیم اساسی مثل کم‌آبی (سرانه پایین در دسترس) و تنش آب (مصرف زیاد) که به ترتیب بیانگر تامین نیازهای جمعیت و مصرف بی‌رویه منابع است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. میزان مصرف آب در طول سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰ چهار برابر شده‌است و این درحالی است که جمعیت دچار کمبود آب از ۰/۲۴ میلیارد (۱۴ درصد از جمعیت جهان) در سال ۱۹۰۰ به ۳/۸ میلیارد (۵۸ درصد) در سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است. بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب شیرین، امنیت غذایی و رفاه کلی بشر را در بسیاری از نقاط دنیا تهدید می‌کند. با توجه به افزایش نیاز جمعیت، تغییر الگوی مصرف آب و تغییرات آب و هوایی، پیش بینی می شود چالش حفظ میزان مصرف آب در سطوح پایدار در آینده نزدیک دشوارتر شود. مانند سایر گونه‌های کمیاب، کمبود آب را اساساً می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: کمبود و تنش آب. کمبود آب به میزان کمبود آب به ازای هر فرد اشاره دارد (Debaere and Kapral 2021). هنگامی که یک جمعیت زیاد مجبور به استفاده از منابع محدود باشند، ممکن است ظرفیت منابع برای تامین خواسته‌های متقاضیان پاسخگو نباشد و مشکل ساز شود. بنابراین با توجه به منابع و سرانه موردنیاز، کمبود آب را می‌توان ناشی از جمعیت دانست. ولی تنش آبی، به برداشت و مصرف زیاد از آب نسبت به میزان آب در دسترس اشاره دارد که استفاده از بخش بزرگی از منابع ممکن است منجر به بروز مشکلاتی در دسترسی به منابع و عوارضی چون تاثیرات اجتماعی و زیست محیطی شود. تنش آب را می‌توان کمبود نسبت به میزان تقاضا دانست و حتی اگر جمعیت آنقدر بزرگ نباشد که موجب کمبود شود، باز هم به طور بالقوه رخ می‌دهد. باوجود اینکه تحقیقات اولیه در زمینه مصرف بیش از حد و کمبود آب توسط فالکن‌مارک با برخی آثار ترکیب شده‌اند، اما این دو جنبه عموماً جدا از یکدیگر ارزیابی می‌شوند. با این حال، روش‌های متعددی برای تعریف هر یک از اصطلاحات وجود دارد که به دسته های مختلف شاخص‌های کمبود و تنش آب مربوط می شود. به عنوان مثال، بهره برداری آب می‌تواند به مصرف یا برداشت آن، و میزان دسترسی به آب ممکن است به منابع مختلف با کیفیت‌های متفاوت و یا در مقیاس‌های زمانی دهه‌ای، سالانه یا فصلی اشاره داشته باشد. نمونه های اولیه و اشکال سیر تکامل به عنوان مفاهیم جدیدی برای شناخت توسعه تاریخی کمبود آب، ارزیابی اثربخشی راه‌حل‌های کاهنده مصرف احتمالی و تعیین راهکارهایی برای پایداری معرفی می‌شوند. در روش شاخص‌های کمبود و تنش، میزان مصرف آب و در دسترس‌بودن آن، در مقیاس چند دهه‌ای و ملی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین آنها اثر طولانی مدت کمبود آب را نشان می‌دهند. اما درمورد نوسانات عرضه و تقاضای فصلی، تغییرات سالیانه و یا منطقه‌ای کاربردی ندارند. در این تحقیق روی کمبود آب آبی تمرکز شده‌است؛ به این معنی که مسائلی چون دسترسی حذف شده است و روی بهره برداری از آب دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی تجدید پذیر به جای آب "سبز" (آب خاک ناشی از بارش که مستقیم توسط گیاهان مصرف می‌شود) یا آب‌های زیرزمینی تجدید ناپذیر، تاکید می‌شود. همچنین تمرکز روی مصرف بدین معناست که آلودگی آب ناشی از جریان‌های برگشتی به عنوان بخشی از تنش در نظر گرفته نمی‌شود، اما به جای آن (به طور غیرمستقیم) بارهای آلاینده ناشی از جمعیت به عنوان بخشی از کمبود در نظر گرفته می شود (Kummu et al. 2016).

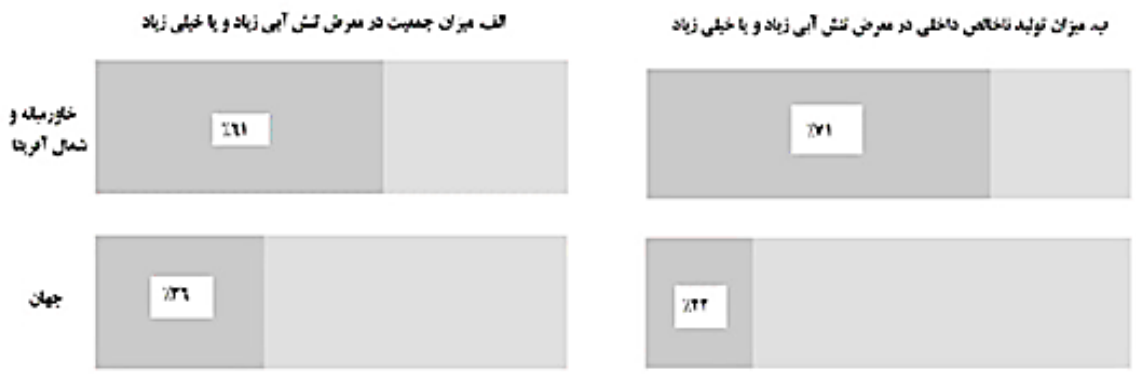
منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا کم‌آب‌ترین منطقه در جهان است. بیش از ۶۰ درصد جمعیت این منطقه در

مناطقی با تنش آب سطحی زیاد و یا بسیار زیاد، زندگی می‌کنند در حالی که میانگین جهانی تنش آبی برای مقایسه حدود ۳۵ درصد است (شکل ۱). بیش از ۷۰ درصد از تولید ناخالص داخلی ۴ منطقه در مناطقی با تنش آب سطحی زیاد یا بسیار زیاد ایجاد می‌شود درصورتی که در مقایسه با میانگین جهانی ۲۲ درصد می‌باشد (World Bank 2017).

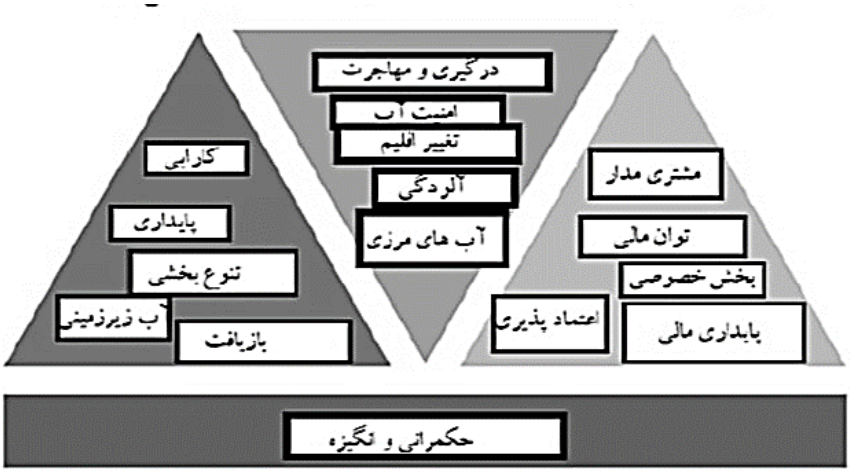
بهترین و مهمترین درسی که می توان از کمبود آب جهانی و منطقه‌ای گرفت این است که فناوری، سیاست و مدیریت نهادی باید یکدیگر را در جهت دستیابی به امنیت آب تکمیل کنند. استراتژی‌هایی که به دنبال "خروج از روش‌های ناامن آب" هستند، پیشرفت‌های کمی در جهت امنیت آب به دست آورده‌اند. یافته‌های جهانی نشان می‌دهد که کشورها و شهرها به‌طور مسلمی بر محدودیت های کمبود آب غلبه کرده‌اند، این را هم از طریق مدیریت جامع منابع آب (متعارف و غیرمتعارف) و هم با مدیریت خدمات آب و کاهش خطرات مربوط به آب انجام داده‌اند (شکل۲). این امر به طور مؤثری به آنها این امکان را داده تا به محدودیت‌های ناشی از منابع ناچیز آب طبیعی غلبه کنند.

مواد و روش‌ها

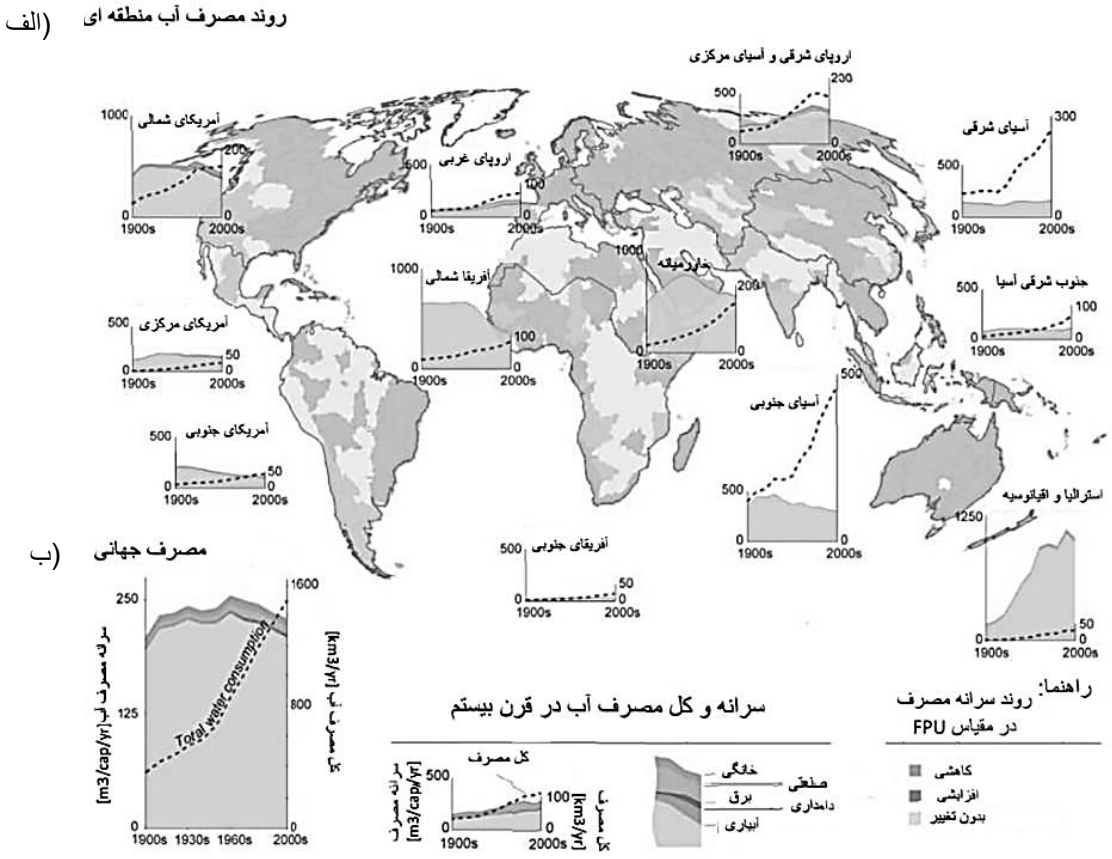
روند مصرف آب در طول قرن بیستم در سراسر جهان مشابه نبوده است. به نظر میرسد سرانه مصرف در بسیاری از مناطق از قبیل آفریقای جنوبی و آمریکای جنوبی نسبتاً پایدار بوده است، اما سرانه مصرف خاورمیانه (از دهه ۱۹۵۰)، آفریقای شمالی و آسیای جنوبی کاهش یافته-است. با این حال، سرانه مصرف در استرالیا و اقیانوسیه به سرعت افزایش یافته و در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۰۰ بیش از ۶ برابر شده‌است. اگرچه این افزایش‌ها در اروپای شرقی و آسیای مرکزی (تا سال ۱۹۹۰) و اروپای غربی نیز مشاهده شده، ولی سرعت افزایش آنها کمتر بوده است (شکل ۳ الف). جمعیت جهان در صد سال گذشته تقریباً چهار برابر شده‌است و تا سال ۲۰۰۰، به ۶/۵ میلیارد نفر رسیده است (نتایج، میانگین دهه‌های مشخص بوده و در این مطالعه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ مورد نظر است). در همان دوره، سرانه مصرف آب آبی سالانه با برخی تغییرات بین دهه‌ها و حداکثر ۲۵۶ مترمکعب در سال در دهه ۱۹۶۰، تنها از ۲۰۹ مترمکعب در سال در دهه ۱۹۰۰، به ۲۳۰ متر مکعب ظرفیت سالیانه در دهه ۲۰۰۰ افزایش یافته است. افزایش جمعیت و سرانه مصرف آب جمعاً منجر به افزایش کل مصرف آب از ۳۵۸ متر مکعب در سال در دهه ۱۹۰۰، به ۱۵۰۰ مترمکعب در سال در دهه ۲۰۰۰ شده است (شکل ۳ ب). در مقیاسFPU، داده‌ها نشان می‌دهند که روند مصرف سرانه آب نیز به طور قابل توجهی در مناطق گوناگون متفاوت است (شکل ۳ الف). یک مثال خوب آمریکای شمالی است، جایی که سواحل غربی روند کاهشی را تجربه کردند در حالی‌که در سواحل شرقی، مصرف سرانه آب افزایش یافته است. با اینکه مصرف سرانه آب بین مناطق گوناگون متفاوت است، اما با این حال به دلیل افزایش جمعیت، کل آب مصرفی در همه مناطق افزایش یافت‌هاست. به جز اروپای شرقی و آسیای میانه که از زمان فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۹۰ مصرف کل آنها اندکی (تقریبا ۷ درصد) کاهش یافته است (شکل ۳ الف). بیشترین افزایش در استرالیا و اقیانوسیه (۳۰ برابر افزایش) و بعد از آن در آمریکای مرکزی، آفریقای جنوبی و جنوب شرقی آسیا (تقریبا ۸ برابر) بود. در برخی از مناطق، میزان مصرف ۳-۴ برابر افزایش یافت که کمترین افزایش مربوط به شمال آفریقا با حدود سه برابر افزایش بود. (Kummu et al. 2016)



شکل (۱): میزان تولید ناخالص داخلی و جمعیت ساکن در مناطقی با تنش آبی زیاد و یا بسیار زیاد در خاورمیانه و شمال آفریقا در مقایسه با میانگین جهانی



شکل (۲): حکمرانی و انگیزه های دست یافتن به فرصتهای جدید در مدیریت منابع آب و ارائه خدمات آب و رفع خطرات مربوط به آب در خاورمیانه و شمال آفریقا



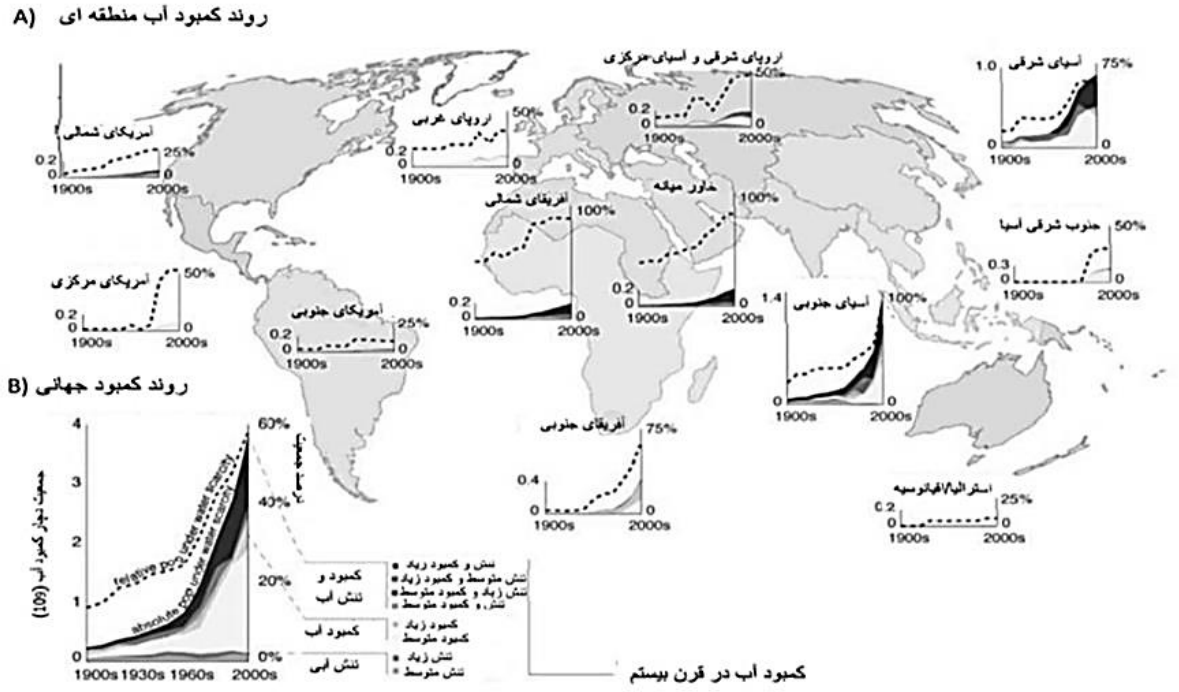
شکل (۳): روند مصرف آب منطقه ای (الف) و جهانی (ب) در طول قرن بیستم. ناحیه پر شده نشان دهنده روند مصرف سرانه آب است در حالی‌که خط چین روند مصرف آب کلی را نشان می‌دهد. سرانه مصرف به قسمت‌های مختلف استفاده از آب تقسیم می‌شود. روند مصرف سرانه در مقیاس FPU در قسمت راهنما نشان داده شده‌است (Kummu et al. 2016).

بیشترین سهم مصرف آب مربوط به جنوب آسیا (۹۶-۹۸ درصد) در سال ۲۰۰۰ به دلیل کشت وسیع برنج و خاورمیانه (۹۷-۹۹ درصد) به دلیل شرایط خشک بوده است. در اروپای غربی، سهم آبیاری از کل مصرف آب کمترین میزان (۶۲-۷۴ درصد) بود. زیرا شامل مناطقی می‌شود که آبیاری به طور گسترده برای تولید مواد غذایی انجام نمی‌شود و علاوه بر این، اقتصاد آن نسبت به آسیا صنعتی‌تر است. در مقیاس جهانی تا دهه ۱۹۹۰ دومین مصرف کننده عمده مربوط به بخش مصرف خانگی بود. اگر چه میزان مصرف آب صنعتی تا آخر دهه ۲۰۰۰ از مصرف آب خانگی پیشی گرفت (در دهه ۲۰۰۰ ؛ مصرف خانگی ۳/۷ درصد، مصرف صنعتی ۳/۴ درصد). دومین روند جهانی قابل توجه، ظهور مصرف آب به دلیل تولید الکتریسیته گرمایی (حدود ۱ درصد) است (Kummu et al. 2016). نتایج بدست آمده در مقیاس منطقه‌ای، تغییرات بیشتری را در سهم بخش‌های مختلف نشان می دهد، هرچند قضاوت درباره اهمیت واقعی تغییرات دشوار است.

کمبود آب جهانی و منطقه‌ای

باوجود تغییرات اندک مصرف سرانه آب در طول زمان (شکل ۳ الف)، افزایش سریع جمعیت و افزایش مصرف کل آب باعث افزایش تقریباً ۱۶ درصدی جمعیت دچار کمبود آب در قرن بیستم شد (شکل ۳ و ۴). در حالی‌که در دهه ۱۹۰۰ تنها کمی بیش از ۲۰۰ میلیون نفر (۱۴ درصد از جمعیت جهان) در مناطق دچار کمبود آب زندگی می‌کردند، این تعداد به بیش از دو میلیارد نفر (۴۲ درصد) در دهه ۱۹۸۰ و به ۳/۸ میلیارد نفر (۵۸ درصد) در دهه ۲۰۰۰ افزایش یافت (جدول۱ و شکل ۴ ب). همچنین پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ بسیاری از نقاط دنیا به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مثل

غرب آمریکا، شمال چین وخاورمیانه، دچار کمبود شدید آب باشند (Huang et al. 2021)



شکل (۴): روندهای کمبود آب منطقه‌ای (الف) و جهانی (ب). نمودارهای پر شده نمایانگر کل جمعیت دچار کمبود آب (به میلیارد) است در حالی که خطوط تیره نمایانگر جمعیت نسبت به کل جمعیت منطقه است (Kummu et al. 2016).

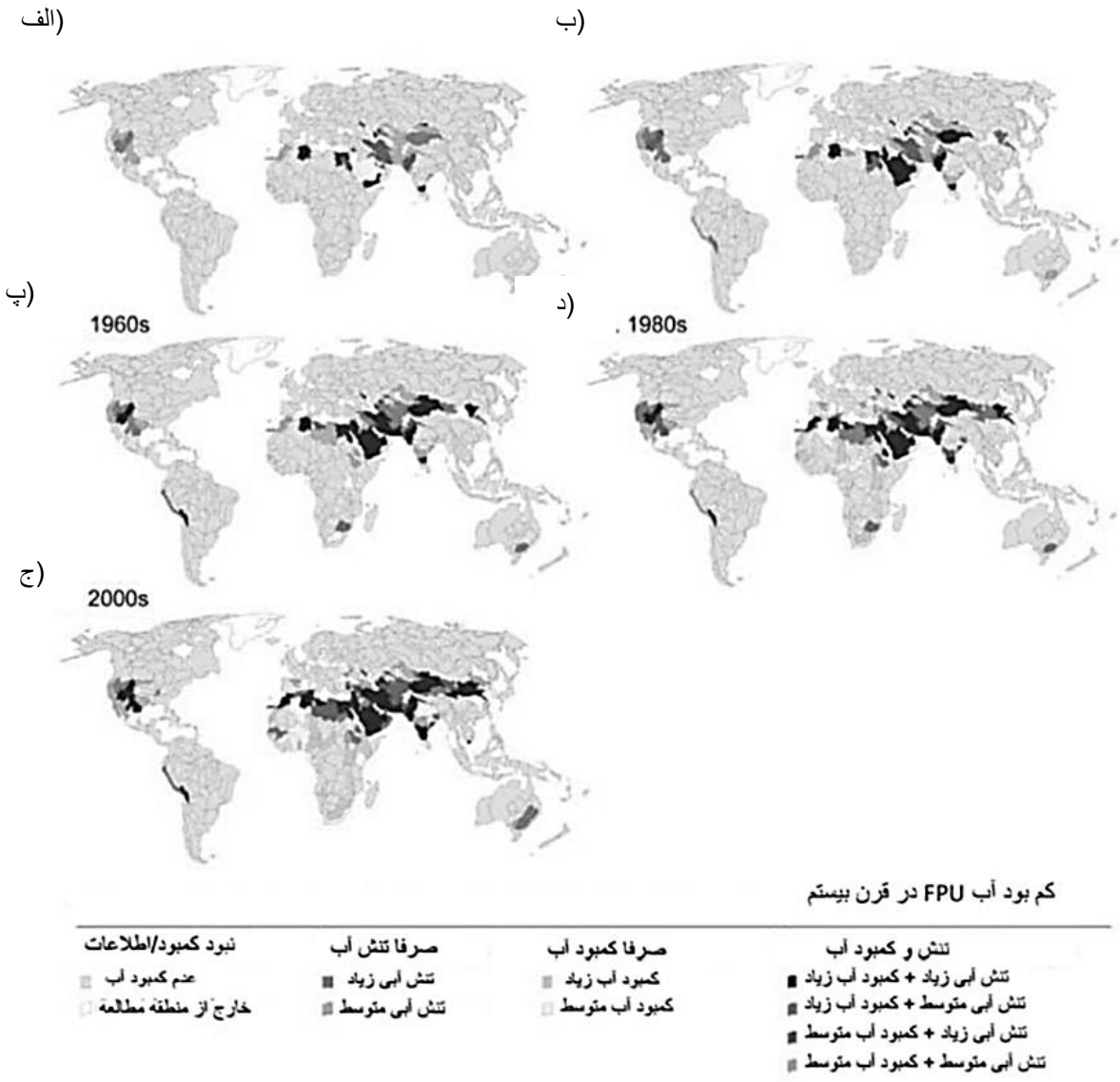
در دهه ۲۰۰۰، تقریباً نیمی از افرادی که کمبود آب داشتند از کمبود متوسط آب یا تنش متوسط آب رنج می برند (جدول۱). در حالی‌که نیمی دیگر در مناطقی زندگی می‌کردند که هم با تنش آبی و هم با کمبود آب روبرو بودند که از این تعداد، ۱/۱ میلیارد نفر (۱۷ درصد از جمعیت جهان) در مناطقی زندگی می‌کردند که هم با کمبود زیاد آب و هم با تنش شدید روبرو بودند (شکل ۴ ب). اغلب این افراد با ۶۱ تا ۸۹ درصد از جمعیت دچار کمبود آب، در جنوب و شرق آسیا، شمال آفریقا و خاورمیانه زندگی می‌کردند (شکل۴ الف). مناطق دارای کمترین جمعیت دچار کمبود آب، استرالیا و اقیانوسیه، آمریکای جنوبی، آمریکای شمالی و جنوب شرقی آسیا (۷-۲۹ درصد, شکل۴ الف) بودند. حدود نیمی از جمعیت در دهه ۲۰۰۰، بدون تنش آبی و فقط دچار کمبود آب بودند (جدول ۱ ؛ شکل۴ ب) این مناطق در جنوب صحرای آفریقا، آمریکای مرکزی، اروپا و جنوب و شرق آسیا واقع شده‌اند (شکل ۴ الف و ۵ ج). بخش کوچکی از جمعیت (۲ درصد) تنها دچار تنش آبی شدند (جدول۱) که بیشتر در آمریکای شمالی، خاورمیانه و استرالیا واقع شده است (شکل ۵ج).

امنیت آب زمانی وجود خواهد داشت که آب به طور کارآمد، پایدار و منصفانه مدیریت شود تا هم از پتانسیل تولیدی آن بهره برداری شود و هم پتانسیل‌های تخریبی آن کاهش یابند. امنیت آب به‌صورت "دسترسی به آب با کمیت و کیفیت قابل قبول برای سلامتی، معیشت، تولید و اکوسیستم، همراه با سطح قابل قبول خطرات مربوط به آب برای مردم، محیط و اقتصادها"، تعریف می‌شود (Grey and Sadoff 2007). بطوری‌که امنیت آب موضوعی است که از کمبود آب فراتر میرود و نه تنها سرمایه‌گذاری در منابع آب را مورد توجه قرار می‌دهد، بلکه فعالیت‌های تولیدی و حفاظتی را هم در برمی‌گیرد. برخی از کشورهای مواجه با بیشترین کمبود آب در جهان نیز بطور

بحث برانگیزی از مهمترین کشورهای ایمن از لحاظ آبی هستند، در حالی‌که برخی از کشورهای با منبع غنی از آب در جهان برای حفظ جمعیت خود در مقابل خطرات مربوط به آب تقلا می‌کنند تا دسترسی به آب آشامیدنی بهتر را فراهم کنند. کشورهایی که قادر به دستیابی به امنیت آب نباشند به دلیل زیاد شدن آسیب‌پذیری این کشورها به شوک هیدرولوژیکی از رشد بالقوه خود چشم‌پوشی می‌کنند که در نتیجه آن شکنندگی‌های سیاسی و اقتصادی به وجود می‌آید. انتظار می‌رود، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا بیشترین زیان‌های اقتصادی را از لحاظ کمبود آب متاثر از اقلیم را داشته باشد، که این امر حدود ۶ تا ۱۴ درصد از تولید ناخالص داخلی در سال ۲۰۵۰ برآورد می‌شود. در مکان‌هایی که سیستم پیش بینی و هشداردهنده ضعیف باشد، تأثیر کمبود و شوک های هیدرولوژیکی، مانند خشکسالی و سیل زیاد خواهد بود. در مناطق با مدیریت سیلاب و مدیریت آب شهری نامناسب، زیرساخت‌های آبیاری کم و آب ذخیره ناکافی در مخازن و آبخوان‌ها این اثرات افزایش می‌یابد. عدم توانایی دولت در تأمین خدمات آبرسانی و کاهش تأثیر بلایا و خطرات مربوط به آب می‌تواند مشروعیت را از بین ببرد و شکنندگی اجتماعی و سیاسی را افزایش دهد (World Bank 2016). روند نمودار کمبود جهانی آب (شکل۴ب) نشان می‌دهد که جمعیت دچار کمبود آب یا ترکیبی از تنش زیاد و کمبود آب از دهه ۱۹۶۰ به سرعت افزایش یافته است، در حالی که تنش آبی به تنهایی در کل دوره مطالعه نسبتاً کم باقی مانده‌است. اگرچه، تفاوت هایی در سیر تکامل منطقه‌ای وجود دارد. به عنوان مثال شکل (۴ الف) نشان می‌دهد که کمبود آب در خاورمیانه، شمال آفریقا و شمال آمریکا نسبت به بسیاری از مناطق دیگر (مثل آمریکای مرکزی، آفریقای جنوبی، آسیای جنوبی، جنوب شرقی و شرق آسیا) از سال ۱۹۶۰ به بعد، روند افزایش چشمگیری داشته‌است. FPU های مختلف، پویایی قابل تشخیص جمعیت، الگوهای آب و هوایی و تحولات مصرف سرانه آب را نشان می‌دهند. سیر تکامل طولانی مدت کم آبی FPU در طول زمان با استفاده از ماتریس فالکن‌مارک (شکل ۶) نشان می‌دهد که بین کمبود آب ناشی از جمعیت و تنش آبی ناشی از تقاضا تمایز قائل می‌شود و رابطه مصرف سرانه را با استفاده از خطوط مورب روی هم مشخص می‌کند. استراتژی‌های مناسب به میزان و نوع کمبود آب بستگی دارد که FPU آن‌ها را ارزیابی می‌کند (شکل۶ب).

سیر تکامل‌های کمبود آب FPU: نمونه های اولیه

مفهوم الگوی اولیه سیر تکامل کمبود آب، موضوعات مربوط به وضعیت کمبود آب و سرانه مصرف را شامل می‌شود. بنابراین، نمونه های اولیه سیر تکامل برای شناسایی راه‌حل‌های احتمالی مناسب در FPU نیز مفید هستند.



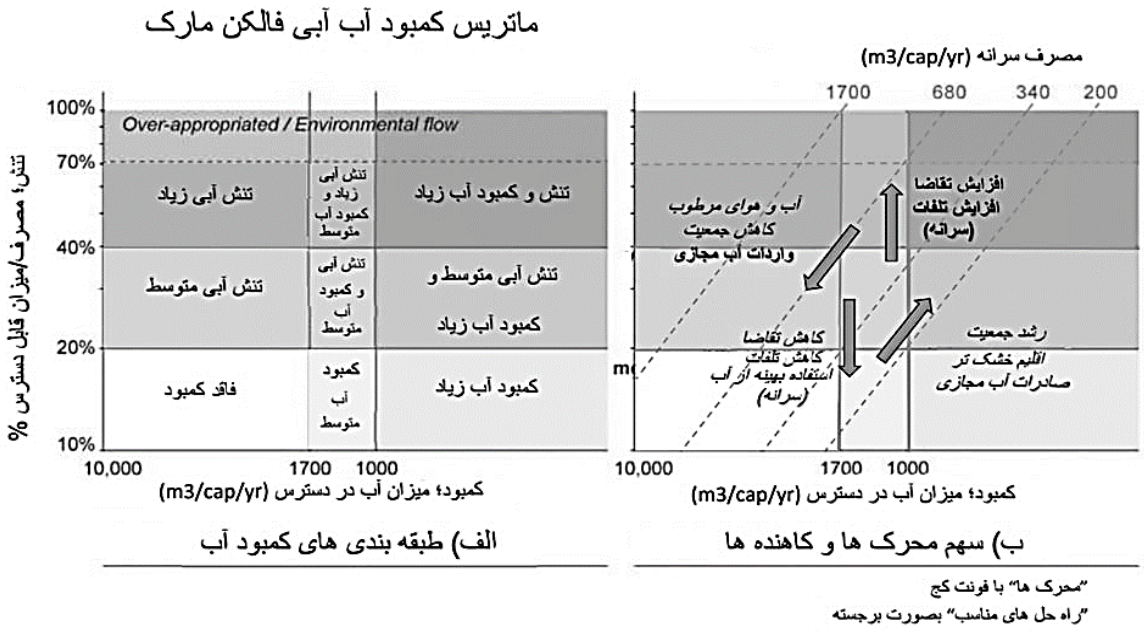
شکل (۵): طبقه‌بندی کمبود آب برای سال‌های ۱۹۰۵ (الف) ، ۱۹۳۵ (ب) ، ۱۹۶۵ (پ) ، ۱۹۸۵ (د) و ۲۰۰۵ (ج) ترسیم شده است که تعریف هر دسته از کمیابی در جدول ۱ و شکل ۶ (الف) آمده‌است (Kummu et al. 2016).

جدول (۱): جمعیت جهانی (به میلیون) دچار انواع مختلف کمبود آب در طول قرن بیستم.

شده‌است (Kummu et al. 2016)

جمعیت به میلیون (درصد کل)								
۲۰۰۰s	**۱۹۸۰s**	**۱۹۶۰s**	**۱۹۴۰s**	**۱۹۲۰s**	**۱۹۰۰s**	شرح	کمبود آب	تنش آب
۶۵۱۲	۴۸۶۹	۳۳۶۶	۲۴۱۸	۱۹۹۶	۱۷۱۱	جمعیت جهان		
۱۰۴ (۱/٪۶)	(۱/٪۲) ۵۹	۸۱ (۲/٪۴)	۵۸ (۲/٪۴)	۷۵ (۳/٪۸)	۴۵ (۲/٪۶)	M Wstr	>۱۷۰۰	۰/۲ -۰/۴
۱۹ (۰/٪۳)	(۱/٪۵) ۷۲	۵۹ (۱/٪۷)	۴۹ (٪۲)	۹ (۰/٪۴)	۳ (۰/٪۲)	H Wstr	>۱۷۰۰	>۰/۴
(۲۴/٪۱) ۱۵۶۹	(٪۱۸) ۸۷۱	۲۶۲ (۷/٪۸)	۲۰۷ (۸/٪۶)	۱۱۷ (۵/٪۹)	۴۸ (۲/٪۸)	M Wsh	۱۷۰۰-۱۰۰۰	<۰/۲
۴۶۸ (۷/٪۲)	۹۹ (٪۲)	۵۸ (۱/٪۷)	۱۰ (۰/٪۴)	۵۸ (۲/٪۹)	۷۷ (۴/٪۵)	H Wsh	<۱۰۰۰	<۰/۲
۲۰۴ (۳/٪۱)	(۰/٪۷) ۳۲	۳۳ (٪۱)	۷ (۰/٪۳)	۴ (۰/٪۲)	۵ (۰/٪۳)	H Wsh + M Wsh	۱۷۰۰-۱۰۰۰	۰/۲ -۰/۴
۱۰۳ (۱/٪۶)	(۳/٪۹) ۱۹۲	۳۸ (۱/٪۱)	۲۶ (۱/٪۱)	۲۳ (۱/٪۱)	۳۱ (۱/٪۸)	H Wstr + M Wsh	۱۷۰۰-۱۰۰۰	>۰/۴
۱۹۱ (۲/٪۹)	(۵/٪۱) ۲۴۹	۵۹ (۱/٪۷)	۹۶ (٪۴)	۳۶ (۱/٪۸)	0 (۰/٪۰)	H Wstr + H Wsh	<۱۰۰۰	۰/۲ -۰/۴
(۱۷/٪۴) ۱۱۳۳	(۹/٪۸) ۴۷۷	۲۳۱ (۶/٪۹)	۸۰ (۳/٪۳)	۵۱ (۲/٪۶)	۲۹ (۱/٪۷)	H Wstr + H Wsh	<۱۰۰۰	>۰/۴
۳۷۹۱ (۵۸/٪۲)	۲۰۵۳ (٪۴۲)	۸۲۲ (۲۴/٪۴)	(۳/٪۳) ۵۳۳	۲۷۳ (۱۸/٪۷)	۲۳۸ (۱۳/٪۹)	مجموع	۱۷۰۰>یا	>۰/۲

WStr به تنش متوسط آب، M WSh به کمبود متوسط آب و H WSh به کمبود زیاد آب اشاره دارد که در شکل۶ ماتریس کلاس‌های کمیابی نشان داده شده‌است.



شکل (۶): ماتریس کمبود آب (الف) طبقه‌بندی‌های کمبود آب و (ب) محرک‌ها و اقدامات کاهش‌دهنده. خطوط مورب در قسمت (ب) به خطوط هم‌بار سرانه مصرف اشاره دارد (Kummu et al. 2016; Falkenmark 2013)

برای تنش اولیه و نمونه‌های اولیه آن، نیاز به مدیریت تقاضا به جای اقدامات جانبی عرضه با توجه به دیدگاه ایدئولوژیک رایج مبنی بر کاهش سرانه مصرف بالای آب ایجاد می‌شود. اگرچه در عمل به نظر می‌رسد که در ابتدا تمایل به برآوردن تقاضا وجود دارد، مانند سیر تکامل‌های با شکل ثابت سرانه تقاضا که بر اساس روش هیدرولیکی رایج در سراسر جهان در قرن بیستم توجیه پذیر است و هدف کلی آن تسلط بر طبیعت به منظور افزایش تولید مواد غذایی و فراهم‌کردن امنیت آب و غذا است که با تأکید بیشتر بر ارزیابی تأثیرات اجتماعی و محیطی تا حدودی کنترل شده‌است. در حالت ایده‌آل، استراتژی‌های مناسب ابتدا باید برافزایش بهره‌وری آب (خانگی، کشاورزی و صنعتی) یا گرایش به سمت کالاها با نیاز آبی و خدمات کمتر متمرکز شود و مورد دوم می‌تواند شامل کاهش صادرات و یا افزایش واردات آب مجازی باشد. در مواردی‌که کمبود قبل از تنش رخ می‌دهد، در واقع گزینه های عرضه ترجیح داده می‌شوند. زیرا مصرف کمتر سرانه آب، پتانسیل کمتری برای عمل تقاضا نسبت به زمانی که ابتدا تنش رخ می‌دهد فراهم می‌کند. با این حال دو راهکار افزایش آب قابل دسترس و محدودکردن جمعیت برای مقابله با کمبود آب وجود دارد. آب موجود را می‌توان با استفاده از نمک زدایی (در مناطق ساحلی)، انتقال فیزیکی آب و یا کاهش تبخیر غیر مولد، افزایش داد. افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی احتمالاً نقش کمتری در مقیاس دهه ای ایفا می‌کند، اما یک راه‌حل رایج برای افزایش میزان آب فصلی یا سالانه است. مهاجرت و کاهش نرخ زاد و ولد ممکن است باعث کاهش جمعیت شود، اما شاید بهتر باشد به جای راهکارهای صریح کمبود آب، عوارض جانبی سایر راهکارها مورد بحث قرار گیرد. علاوه بر این، یک منطقه با استفاده از راهکارهایی برای کاهش سرانه مصرف آب، از جمله آبیاری موثرتر، کاهش تلفات غذایی، کاهش کالاهای آب بر و کاهش نشتی در سیستم‌های تامین آب می‌تواند خود را با کمبود آب تطبیق دهد. بیشتر تنش‌های ناشی از مصرف سرانه بالا (۹۰ درصد FPUها) یا تنش به تنهایی (۸۲ درصد FPUها) در مناطق خشک رخ می دهند، زیرا نیاز آبی گیاه در این مناطق بیشتر است. کمبود به تنهایی معمولاً در مناطق مرطوب (۵۰ درصد FPUها) با تقاضای کم آب و فشار بالای جمعیت اتفاق می افتد. در حقیقت به نظر می‌رسد تا زمانی که تنش رخ ندهد، کمبود آب به طور مستقیم اتفاق نمی‌افتد. می‌توان کمبود متوسط را با مصرف کم آب و یا استفاده از سایر منابع مثل واردات آب مجازی، آب سبز و یا آبخوان‌های قدیمی کنترل کرد. این امر از پرداختن به بحث اساسی افزایش جمعیت صرف نظر می‌کند که بعد از مدتی تنش

ایجاد می‌شود. به عنوان مثال در شمال شرقی چین، برخی از FPUها قبل از ۱۹۰۵ و برخی دیگر بعد از ۱۹۲۵ و ۱۹۷۵ کمبود آب داشته‌اند(شکل ۳) که سال‌ها یا دهه‌ها بعد از افزایش جمعیت، دچار تنش آب نیز شدند. آب‌های زیرزمینی و تعدادی انتقالات بین حوضه‌ای هنوز در حال استفاده هستند و سایر انتقالات جنوب به شمال در حال توسعه است. FPUها نمونه‌های خوبی هستند که سرانه مصرف آب آبی آن‌ها به اندازه‌ای پایین است که کمبود درابتدا ایجاد می‌شود. اگرچه پتانسیل قابل توجهی در صادرات آب مجازی وجود دارد که اگر کاهش یابد می تواند باعث عدم نیاز به انتقالات بین حوضه‌ای شود.

واردات آب مجازی به عنوان امنیت آبی

کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا واردکنندگان خالص آب مجازی هستند. آب مجازی آب مورد نیاز برای تولید یک کالای خاص است. با استفاده از مفهوم آب استفاده شده در محصولات، دانشمندان جریان آب مجازی بین کشورها یعنی حجم آب مجازی "جریان یافته" با محصولات معامله شده را تجزیه و تحلیل می‌کنند (Allan 2001). هفت کشور در این منطقه جزو ۳۰ کشور اول واردکننده آب مجازی در جهان قرار دارند: مصر، عربستان سعودی، الجزایر، جمهوری اسلامی ایران، اسرائیل، اردن و تونس (Hoekstra and Hung, 2003). صادرات سطح آب مجازی در این منطقه بسیار پایین است. هیچ کشور خاورمیانه یا شمال آفریقا در میان ۳۰ کشور برتر صادر کننده آب مجازی قرار ندارد. تجارت آب مجازی به امنیت غذایی کمک می‌کند. در صورتی‌که درآمدهای محلی به اندازه کافی بالا باشد تا بتوانند واردات را برای تامین آب و کمبود مواد غذایی پوشش دهند، تجارت آب مجازی یک گزینه قابل قبول است (McLaughlin and Kinzelbach 2015).

نتایج و بحث

ارزیابی کمبود و تنش آب طی چندین دهه اطلاعات بیشتری در مورد کمبود آب ارائه می‌دهد. سیر تکامل‌های سطح FPU علاوه بر تفاوت منابع و تاریخ، به شباهت‌ها (مشکلات مشترک و انتشار راه حل ها) نیز اشاره می‌کند که نشان‌دهنده موضوع مهم همکاری جهانی برای رفع این مشکل است. طبقه‌بندی خطوط راهنمای کمبود آب در سطح ملی بر اساس نمونه های اولیه کمک می‌کند تا بسته به میزان مصرف سرانه آب، اقدامات مناسب احتمالی برای مقابله با کمبود و یا تنش آب صورت گیرد. همچنین طبقه‌بندی سیر تکامل‌ها بر اساس شکل آنها کمک زیادی به برجسته‌سازی رویکردهای مختلف برای قرار دادن FPU ها در یک سیر تکامل پایدار می‌کند. تقریباً همه FPUها با افزایش جمعیت، کم‌آبی را در طول زمان نشان می‌دهند که منجر به درک اقدامات مناسب کم‌آبی و سیر تکامل های پایداری در آینده می‌شود. سیر تکامل‌ها اساس مشترکی را ارائه می‌دهند که از طریق آن می‌توان از تکرار اشتباهات جلوگیری و موفقیت‌های گذشته را تکرار کرد و همچنین با چالش‌های آینده کمبود آب بهتر آشنا شد .

نتیجه‌گیری

تغییرات آب و هوایی کمبود آب منطقه‌ای و جهانی را به میزان قابل توجهی تشدید می‌کند بگونه‌ای که افزایش دمای جهانی به اندازه‌ی ۲ درجه سانتی‌گراد تقریباً ۱۵ درصد از جمعیت جهان را با کاهش شدید منابع آب مواجه می‌کند (Schewe et al. 2014). جمعیت دچار کمبود آب از دهه ۱۹۰۰ به بعد تقریباً ۱۶ برابر شده است. اگرچه کل جمعیت در همان بازه زمانی تنها ۴ برابر افزایش یافته است. همچنین سرانه مصرف آب تنها افزایش ناچیز و نامنظمی را در طول قرن گذشته نشان می‌دهد و این در حالی است که توسعه کمبود آب عمدتاً با تأثیرات توزیع مکانی رشد جمعیت نسبت به منابع آب توضیح داده می‌شود. نمونه‌های اولیه و اشکال سیر تکامل کمبود آب قادرند آب را در طول زمان توصیف کرده و با ارائه راه حل هایی (مثل واردات آب مجازی، استفاده بهینه از آب و ...) کم‌آبی را کاهش داده و موجب افزایش پایداری شوند که امیداست با توجه سیاست گذاران به مدیریت منابع آب و کنترل عرضه و تقاضا، علاوه بر حفاظت از منابع طبیعی و کاهش فقر آب در مناطق خشک دنیا، از آثار سوء ناشی از کمبود آب در آینده نیز تا حد زیادی جلوگیری شود (Kummu et al. 2016; Mu et al. 2022)

منابع

1. Allan, J. A. 2001. The middle east water questions. Hydropolitics and the GlobalEconomy.London: IB Tauris.
2. Debaere P., and Kapral A., 2021. The potential of the private sector in combating water scarcity: The economics. Water Security, 13, p.100090.
3. Falkenmark M. 2013. Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371(2002), p.20120410.
4. Grey D., Garrick D., Blackmore D., Kelman J., Muller M. and Sadoff, C. 2013. Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371(2002), p.20120406.
5. Grey D., and Sadoff C. 2007. Sink or Swim? Water Security for Growth and Development. Water Policy 9 (6): 545–71.
6. Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q., 2003, February. Virtual water trade. In Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade ,12:. 1-244.
7. Huang Z., Liu X., Sun S., Tang Y., Yuan X. and Tang Q. 2021. Global assessment of future sectoral water scarcity under adaptive inner-basin water allocation measures. Science of the Total Environment, 783, p.146973.
8. Kummu M., Guillaume J.H., de Moel H., Eisner S., Flörke M., Porkka M., Siebert S., Veldkamp T.I. and Ward P.J. 2016. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. Scientific reports, 6(1):.1-16.
9. McLaughlin D., and Kinzelbach W. 2015. Food security and sustainable resource management. Water Resources Research, 51(7): 4966-4985.
10. Mu L., Liu Y. and Chen S. 2022. Alleviating water scarcity and poverty through water rights trading pilot policy: A quasi-natural experiment based approach. Science of The Total Environment, 823, p.153318.
11. Schewe J., Heinke J., Gerten D., Haddeland I., Arnell N.W., Clark D.B., Dankers R., Eisner S., Fekete B.M., Colón-González F.J. and Gosling S.N. 2014. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(9) :3245-3250.
12. World Bank. 2016. High and dry: Climate change, water, and the economy. The World Bank.
13. World Bank. 2017. Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa. The World Bank, pp.9-10

Vol (1)
No (1)
Serial Number (1)
Spring-Summer (2022)
Pages: 45-57

New Researches in Sustainable Water Engineering

Water Scarcity and Stress in the Twentieth Century and Solutions to Achieve Global Water Security

Hosein Roknizadeh[۱], Saeid Eslamian[۲], Mousa Maleki[۳*]

DOI: 10.22103/nrswe.2022.19246.1003

Abstract

With the increase in population, global warming and climate changes, in the not too distant future, especially in arid and semi-arid regions of the world, there will be a problem of water shortage, which can cause severe crises in various fields. Therefore, it is necessary to study the behavior of water in the past and provide solutions in order to achieve sustainability, to a large extent prevent the occurrence of problems caused by water scarcity such as desertification, development of poverty, threats to food security, air pollution and other destructive environmental, social and economic effects. . In a world with water security, the importance of the real value of water and the importance of water consumption for human life and well-being become one. In a world with water security, the productive power of water is under control and its destructive force is minimized. Water security also means managing and dealing with environmental protection and the negative effects of poor management. In water security, ending the scattered responsibility of water and integrating the management of water resources in all sectors including finance, planning, agriculture, energy, tourism, industry, education and health are considered. In this research, examining the trends of water consumption and scarcity on a regional and global scale, and classifying water scarcity for different years in order to direct and regulate management work in order to achieve the goals of sustainable development, trajectory archetypes have been discussed which can be useful in identifying suitable possible solutions to deal with water shortage, as well as evaluating solutions to reduce consumption, according to the climate of the region and its conditions.

Keywords: Climate, Sustainability, Water shortage, Global warming, Archetype

[۱] - BS student in Water Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

[۲] - Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

[۳*] - Corresponding author, Civil Engineering PhD Student, Department of Civil Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, USA, Email:mmaleki1@hawk.iit.edu