

بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی - سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار^{۱،۲}

جواد بذرافشان^۳، علی خلیلی، کامران داوری، شاهرخ زند پارسا، علیرضا سپاسخواه، جواد فرهودی و امین علیزاده^۴

چکیده

این پژوهش با در نظر گرفتن پیامدهای تغییرهای اقلیمی و دگرگونی‌های اجتماعی - سیاسی بر منابع آب ایران، تشدید تنش آبی در ایران را واکاوی می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهند که گرمایش جهانی ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در پی فعالیت‌های انسانی، موجب تشدید رخدادهای حدی اقلیمی و تغییر الگوی بارش در کشور شده است. افزون بر این، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی، موجب کاهش شدید ذخیره‌های آب زیرزمینی در بیشتر حوضه‌ها و دشت‌های کشور شده است. پیش‌بینی‌ها نشانگر تشدید روندهای موجود در نبود سیاست‌های کارآمد است که پیامدهای گسترده‌ای را برای امنیت غذایی و ثبات بوم‌نظام در پی خواهد داشت. چالش‌های کلان شامل بروز تنش‌ها بر سر منابع آب مشترک و ناکارآمدی مدیریت مصرف آب در داخل کشور است. راهکارهای پیشنهادی بر سه محور بین‌المللی (همکاری‌های فنی و حقوقی)، ملی (بازطراحی نظام کشاورزی و بهینه‌سازی الگوی مصرف) و ارتقای نظام‌های مدیریت آب استوار است. بررسی حاضر بر ضرورت تدوین برنامه جامع سازگاری با تغییر اقلیم تأکید دارد که در آن ترکیبی از راهبردهای فناورانه، اقتصادی و نهادی پیشنهاد شده است. مانع‌های اصلی مؤثر، شامل ناهماهنگی بین‌سازمانی، نبود چارچوب حقوقی یکپارچه در رابطه با آب‌های فرامرزی و ایستادگی در برابر تغییر الگوهای سنتی مصرف شناسایی شده‌اند. **واژه‌های کلیدی:** آب‌های زیرزمینی، بحران آب، بهره‌وری آب کشاورزی، تغییر اقلیم، دیپلماسی آب.

مقدمه

گرمایش جهانی کنونی نتیجه مستقیم فعالیت‌های انسانی شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری زمین است. بر اساس گزارش تغییرهای آب و هوایی ششم^۵ (IPCC (2021) غلظت دی‌اکسیدکربن جو در سال ۲۰۱۹ به ۴۱۰ قسمت در میلیون رسید که بیشترین سطح در دو میلیون سال اخیر است. از دوره پیشاصنعتی تاکنون، دمای جهانی

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۱۹

۲- بخشی از طرح «اثرات تغییر اقلیم و تحولات اجتماعی- سیاسی جهانی بر کشاورزی و منابع طبیعی ایران و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار» گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج.ا. ایران.

۳- نویسنده مسئول: پست الکترونیک: jbazr@ut.ac.ir

۴- به ترتیب، دانشیار دانشگاه تهران (همکار مدعو)، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، استاد دانشگاه فردوسی مشهد (همکار مدعو)، استاد دانشگاه شیراز (همکار مدعو)، استاد دانشگاه شیراز (عضو پیوسته)، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته) و استاد دانشگاه فردوسی مشهد (عضو پیوسته). اعضای شاخه آبیاری، گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، فرهنگستان علوم، ج.ا. ایران.

۱/۱ درجه سلسیوس افزایش یافته و تراز آب دریاها ۲۰ سانتیمتر بالا آمده است. اقیانوس‌ها با گرم شدن لایه سطحی، اسیدی‌تر شدن و کاهش اکسیژن محلول روبه‌رو شده‌اند. تغییرهای اقلیم موجب تشدید رویدادهای حدی مانند بارش‌های سنگین، خشکسالی‌های کشاورزی-زیست‌بومی و موج‌های گرمایی انجامیده است که فراوانی و شدت آن‌ها در دهه‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است (IPCC, 2021). پیش‌نگری‌های IPCC براساس برنامه اقلیمی گزارش ششم نشان می‌دهد تا پایان سده ۲۱، دمای جهان ممکن است بین ۱/۸ (فرانامه خوش‌بینانه توسعه پایدار) تا ۵/۷ درجه سلسیوس (فرانامه بدبینانه بر اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی) افزایش یابد. هر یک درجه افزایش دما، به ترتیب شدت بارش‌های سنگین و میانگین بارش جهانی را ۷٪ و ۱۳٪ افزایش خواهد داد. این تغییرها، الگوهای مکانی بارش را دگرگون کرده، به‌طوری که منطقه‌های قطبی و استوایی بارش بیشتری دریافت می‌کنند و ناحیه‌های حاشیه گرمسیری مانند مدیترانه و استرالیا با کاهش رطوبت خاک و افزایش تبخیر روبه‌رو خواهند شد. ذوب زودرس برف‌ها و کاهش یخچال‌ها نیز جریان رودخانه‌ها را دچار اختلال می‌کنند و تراز آب دریاها را بین ۶۲ تا ۱۰۱ سانتیمتر بالا می‌آورد که تهدیدی جدی برای بوم‌نظام‌های ساحلی است (IPCC, 2021).

تغییر اقلیم با تأثیر بر کیفیت، کمیت و دسترسی به آب در ناحیه‌های مختلف جهان به‌طور مستقیم بر نیازهای اساسی بشر و دیگر موجودهای زنده تأثیر می‌گذارد. تغییر در چرخه آب همچنین خطرهایی را برای تولید انرژی، امنیت غذایی، سلامت انسان، توسعه اقتصادی و کاهش فقر به همراه خواهد داشت و دستیابی به هدف‌های توسعه پایدار را به طور جدی به خطر می‌اندازد. پیش‌بینی شده است که در ۳۰ سال آینده مصرف آب در جهان هرساله به تقریب ۱٪ رشد کند. این در حالی است که بشر هر روز بیشتر و بیشتر منابع آبی را آلوده کرده و از آن بهره‌برداری بی‌رویه می‌کند (UNESCO, UN-Water, 2020). در ۱۰ سال آینده بیشترین چالش‌های اجتماعی در جهان ناشی از کمبود آب خواهد بود و خاورمیانه با داشتن ۷٪ کل جمعیت جهان و در حالی که تنها از ۱/۵٪ منابع آب شیرین تجدیدپذیر دنیا برخوردار است، بیشترین مقدار تنش آبی را تجربه خواهد کرد. برخی از پیامدهای کم آبی برای مردم جهان شامل آلودگی به انواع بیماری‌ها، نابودی زیستگاه‌ها، افزایش فقر و گرسنگی، مهاجرت، کاهش تنوع زیستی و افزایش درگیری‌ها و برخوردها خواهد بود. بنابراین، برای کاهش بحران‌های ناشی از کمبود منابع آبی، باید به دنبال راه‌حل‌هایی برای مدیریت بحران آب و حفظ پایداری منابع آب بود (UNESCO, UN-Water, 2020).

در دو دهه اخیر، شناخت اثرهای تغییر اقلیم بر محصول‌های کشاورزی و همچنین، شناسایی راهکارهای مدیریتی برای کاهش خسارت‌های ناشی از تغییر اقلیم در بخش کشاورزی مورد توجه جدی کشورها قرار گرفته است. رویکردهای گوناگونی برای مدیریت پیامدهای تغییر اقلیم در جهان وجود دارد، که بیشتر در چهار دسته قرار می‌گیرند (Keller et al., 2021):

الف- تعدیل^۱- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای.

ب- سازگاری^۲- شامل ظرفیت‌سازی^۳ و افزایش تاب‌آوری^۴ بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی برای سازگاری با تغییر اقلیم.

پ- مهندسی اقلیم^۵- به معنای دستکاری عمدی در سامانه اقلیمی زمین با هدف کاهش یا حذف اثرهای ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای.

ت- گسترش دانش بنیادی- تلاشی برای درک بهتر سامانه اقلیم برای بهبود مدیریت بحران‌های اقلیمی.

در ایران، استفاده از رویکردهای تعدیل و مهندسی اقلیم نمی‌توانند راهکارهای موثری برای کاهش اثرهای زیانبار تغییر اقلیم بر کشاورزی و منابع طبیعی باشند، زیرا سهم ایران از مقدار کل انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای نزدیک به

بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار ۲٪ است. این درحالی است که چین ۲۸٪، آمریکا ۱۵٪ و هند ۷٪ گازهای گلخانه‌ای را انتشار می‌دهند (Ritchie et al., 2020). بنابراین، حتی اگر در ایران انتشار گازهای گلخانه‌ای به نصف کاهش یابد، در مقیاس جهانی تاثیر چندانی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش تأثیر تغییر اقلیم نخواهد داشت. راهکارهای مهندسی اقلیم (مانند مدیریت تابش رسیده به زمین با نصب آینه‌هایی در فضا، جنگل‌کاری با گیاهان غیربومی، ساخت لوله‌های عمودی در اقیانوس‌ها برای انتقال گرما به ژرفا) نیز بیشتر نیازمند فناوری بالا و صرف هزینه زیاد هستند و ضمن این‌که در شرایط حاضر قابل پیاده‌سازی نیستند، پیامدهای بلندمدت اتخاذ چنین روش‌هایی نیز مشخص نیست. البته، شاید کاشت جنگل با درختان غیربومی راهکار مناسبی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای باشد (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱)، اما در کشوری مانند ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و کمبود آب در دسترس، این راهکار در مقیاس گسترده پیشنهاد نمی‌شود. بنابراین، اتکاء به روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم (مانند تغییر در نوع محصول و الگوی کشت و تولید رقم‌های متحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، تنش شوری و تنش گرما) می‌تواند راهبرد مناسبی برای کاهش تأثیرهای محلی تغییر اقلیم یا رویارویی با آسیب‌های ناشی از بحران‌های اقلیمی در کشورهای کم‌آب مانند ایران باشد (حیدری، ۱۳۹۸). اهمیت سازگاری با تغییر اقلیم به اندازه‌ای زیاد است که پیش‌بینی شده است که منطقه خاورمیانه در صورت رویارویی با گرمایش ۲/۵ درجه سلسیوس، با کاهش ۴۰ درصدی در تولیدهای بخش کشاورزی روبه‌رو خواهد شد. این در حالی است که با استفاده از راهبردهای سازگاری حتی رشد ۱۰ درصدی در تولید محصول می‌تواند اتفاق بیافتد (Tol, 2002). تاکنون ۵۴ کشور برنامه سازگاری ملی^۱ خود را به سازمان ملل ارائه کرده‌اند. در حالی‌که، وضعیت ایران در گزارش سازمان ملل از نظر دارا بودن برنامه ملی سازگاری و حمایت و پشتیبانی از فعالیتهای مرتبط با سازگاری در داخل کشور، نامشخص اعلام شده است. با این حال، بررسی سندهای موجود نشان می‌دهد که دفتر طرح ملی تغییر اقلیم سازمان حفاظت محیط زیست کشور اقدام به تهیه اولین برنامه راهبرد ملی تغییر اقلیم (۱۳۹۶) در بخش‌های محیط زیست، منابع آب، کشاورزی، منابع طبیعی و بهداشت کرده است.

با توجه به آنچه پیشتر بیان شد، در بررسی حاضر هدف‌های زیر پی شده‌است:

- ❖ ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر شرایط هواشناسی و منابع آب ایران.
- ❖ بررسی راهکارهای کاهش اثرهای تغییر اقلیم بر منابع و مصرف آب کشاورزی با استناد به تجربه‌های ملی و بین‌المللی.
- ❖ ارزیابی چالش‌های فراوری کشاورزی و منابع طبیعی ایران و راهکارهای کاهش اثرهای آن‌ها از دیدگاه دشواری‌های آبی.

روش پژوهش

بررسی حاضر به شیوه کتابخانه‌ای و جستجو در پایگاه‌های استنادی علمی (فارسی و انگلیسی) انجام شده است و برای نگارش آن از مقاله‌ها، سندها و گزارش‌های دوره ۱۴ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳) بهره‌گیری شد. سعی شد از بررسی‌هایی که در مقیاس کل کشور انجام شده باشند بهره‌گیری شود. با وجود این، به دلیل فزونی پژوهش‌های انجام‌شده در مقیاس حوضه‌ای یا منطقه‌ای، نیم‌نگاهی نیز به نتایج این نوع بررسی‌ها خواهد شد.

اثرهای تغییر اقلیم بر هیدرواقلیم ایران

۱- تأثیر تغییر اقلیم بر عامل‌های اقلیمی ایران

بر پایه آمار و اطلاعات موجود، مقدار کل گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در ایران در سال ۲۰۱۹ در حدود ۸۹۴ میلیون تن گزارش شده است که این مقدار به تقریب ۵۹۰ میلیون تن بیشتر از سال ۱۹۹۰ است. از نظر مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای، چین با ۱۲/۶ میلیارد تن در سال ۲۰۱۹ در رتبه اول و ایران در رتبه هفتم پس از ژاپن قرار گرفته است (Ritchie et al., 2020). با سه برابر شدن مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور در ۳۰ سال، انتظار می‌رود که دمای هوا نیز افزایش چشمگیری داشته‌باشد. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی همدی^۱ چند مدلی با فرآیندهای مختلف گزارش ششم IPCC در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ مشخص شد که میانگین سالانه دما از ۱۷/۵ درجه سلسیوس در سال ۱۹۹۵ به ۱۸/۵ درجه سلسیوس در سال ۲۰۱۴ افزایش داشته‌است و انتظار می‌رود در انتهای سده حاضر در فرآیندهای مختلف بین ۱۸/۸ درجه سلسیوس تا ۲۴/۵ درجه سلسیوس تغییر کند (IPCC, 2021). پیش‌نگری‌ها نشان می‌دهند که حوضه‌های آبخیز کشور در ۲۰ سال آینده افزایش دمایی معادل ۰/۱ تا ۰/۶ درجه سلسیوس نسبت به دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ تجربه خواهند کرد (انصاری مهابادی و همکاران، ۱۴۰۱). در منطقه‌های مرتفع بیشترین افزایش دما و در ساحل‌های شمالی، شمال شرقی و جنوبی کشور کمترین افزایش دما اتفاق خواهد افتاد. همچنین، مقدار افزایش دما در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد خواهد بود (زرین و داداشی رودباری، ۱۳۹۹). همانند دمای میانگین، دو عامل دمای کمینه و بیشینه نیز در گذشته روندهای افزایشی را در ایستگاه‌های هواشناسی کشور نشان داده‌اند (Bazrafshan & Cheraghalizadeh, 2021). این بررسی روی ایستگاه‌هایی انجام شد که خارج از محدوده شهرها و توسعه شهری بودند و با تغییر اقلیم آینده نیز بر شدت روند آن‌ها افزوده خواهد شد. افزون بر این، روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه در منطقه‌های سردسیر شمال غربی ایران در سده حاضر بیشتر از دیگر ناحیه‌های سردسیر ایران خواهد بود (زرین و همکاران، ۱۴۰۱).

در بررسی انجام‌شده بر پایه فرآیندهای گزارش ششم (انصاری مهابادی و همکاران، ۱۴۰۱) مشخص شد که در حوضه‌های آبخیز درجه دو ایران، میانگین سالانه بارش بین ۱۲- تا ۱۹٪+ در ۲۰ سال آینده نسبت به دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ تغییر می‌کند و ناحیه غربی کشور بیشترین کاهش بارش را تجربه خواهد کرد. در بررسی دیگری در فرآیندهای گزارش پنجم، نشان داده‌شد که میانگین بارش سالانه کشور ۹/۵٪ نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد (Rahimi et al., 2020). نتایج بررسی‌های منطقه‌ای نیز نشانگر کاهش بارش در ناحیه‌های خشک (خزائی و همکاران، ۱۳۹۹) و غرب و شمال غرب (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵) کشور و افزایش بارش در ناحیه‌های مدیترانه‌ای و ساحلی خزر (Vaghefi et al., 2019) است. در شمال غرب کشور، بخش‌های غربی و جنوب غربی دریاچه ارومیه روند کاهشی بارش و بخش‌های جنوبی و شمال شرقی آن روند افزایشی بارش را نشان داده‌اند (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۶). زرین و همکاران (۱۴۰۱) فراوانی روزهای بارش سنگین (بیش از ۱۰ میلی‌متر) را در حوضه‌های آبخیز درجه ۱ کشور در چهار فرآیند گزارش ششم IPCC بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بارش‌های سنگین کشور در آینده دستکم ۱۰٪ نسبت به گذشته (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴) افزایش می‌یابد و بیشترین فراوانی‌ها به ترتیب در حوضه‌های دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره‌قوم اتفاق می‌افتد. در بررسی دیگری، مشخص شد که در همان ناحیه‌ها در حدود ۲۶ روز بر طول دوره خشکی در آینده نسبت به دوره پایه

بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ افزوده خواهد شد. در عوض، بر طول دوره مرطوب در بخش‌هایی از جنوب ایران افزوده می‌شود (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰).

۲- تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب

۲-۱- آب‌های سطحی- وضعیت آب‌های سطحی به ویژه دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی در دوره ۲۰ تا ۶۵ سال اخیر، بسیار نگران‌کننده گزارش شده‌است. در پژوهش وفاخواه و همکاران (۱۴۰۱)، مشخص شد که دبی سالانه بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی در حوضه آبریزه خلیج فارس و دریای عمان، کل ایستگاه‌های مطالعاتی در حوضه آبریزه دریاچه ارومیه و قره قوم و بیش از نیمی از ایستگاه‌های مطالعاتی در حوضه آبریز دریای خزر دارای روند کاهشی است و هیچ روند افزایشی معنی‌داری در داده‌های اندازه‌گیری شده وجود ندارد. کاهش ۱۳ تا ۶۱ درصدی حجم رواناب حوضه‌های آبریز ایران در ۲۰ سال تا ۱۳۹۷ نسبت به میانگین بلندمدت در بررسی سوری‌نژاد (۱۳۹۹) نیز گزارش شده است. با توجه به تصویری که مدل‌های اقلیمی از اقلیم بارشی و دمایی آینده ایران ارائه داده‌اند و شبیه‌سازی‌هایی که مدل‌های هیدرولوژیک نشان می‌دهند، تقاضا برای آب در کشور افزایش خواهد یافت. در همین راستا، پژوهشی روی تأثیر ترکیبی فعالیت‌های بشری و تغییر اقلیم (در فرآیندهای واداشت تابشی^۱ گزارش پنجم و همدادی ۲۵ مدل اقلیمی) بر مقدار دسترسی به آب در حوضه‌های ایران انجام و مشخص شد که به دلیل‌های کاهش بارش و افزایش بهره‌برداری از منابع آب سطحی در آینده، بیشتر حوضه‌های ایران با کمبود شدید آب روبه‌رو خواهند شد و حوضه دریاچه ارومیه بدترین شرایط را از نظر مقدار دسترسی به آب در میان حوضه‌های ایران خواهد داشت (کاهش ذخیره آبی ۸/۳ میلی‌متر در سال در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و ۶۱/۶ میلی‌متر در سال در دوره ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ نسبت به ۴ میلی‌متر در سال در دوره پایه ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵). بیشترین مقدار برداشت از ذخیره‌های آبی حوضه در دوره ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ مربوط به حوضه کارون به مقدار ۱۸۱/۵ میلی‌متر در سال گزارش شده است که سه برابر جریان پایه حوضه یاد شده‌است (Ashraf et al., 2021).

۲-۲- آب‌های زیرزمینی- به تازگی، ماهواره GRACE نقش مهمی در برآورد تغییرهای جرم سطح زمین، از جمله تغییرهای مربوط به ذخیره آب سطحی، برف، رطوبت خاک و آب‌های زیرزمینی داشته است (Li et al., 2020؛ Rateb et al., 2020). واسنجی‌های مجدد ماهواره که توسط اداره ملی هوانوردی و فضایی (NASA) ایالات متحده آمریکا و مرکز هوافضای آلمان (DLR) انجام شده است، برای دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ موفقیت‌آمیز بوده است. افزون بر این، از سال ۲۰۱۸، ماهواره GRACE-FO همچنان برآوردهای ماهانه دقیقی از تغییرهای ذخیره آب زمینی ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از داده‌های GRACE با روش برآورد مرسوم در ایران که کاهش میانگین سطح آب زیرزمینی را در آبدهی ویژه آبخوان (SY) ضرب می‌کند، ناهمخوانی کامل دارد. میانگین سطح آب زیرزمینی ایران (GWL) روند کاهشی چشمگیری به تقریب معادل $28 \pm 1/4$ سانتیمتر در سال را نشان داده است که همبستگی قوی با تغییر ذخیره آب زمینی دارد (Saemian, 2022). براساس برآوردهای میانگین آبدهی ویژه و تغییر سالانه سطح آب زیرزمینی در ۶۶۶ آبخوان، تغییر سالانه ذخیره آب زیرزمینی ایران معادل $-0/383$ سانتیمتر در سال (۶/۳۱- کیلومتر مکعب در سال) برآورد شده‌است (Noori et al., 2023). دیگر پژوهشگران (Ashraf et al., 2023؛ اسدی و عبدالمنافی، ۱۴۰۱؛ Safdari et al., 2022) با استفاده از همین روش، اما به دلیل تغییر روش برآورد آبدهی ویژه، مقدارهای متفاوتی برای تغییر ذخیره آب زیرزمینی به ترتیب معادل $0/382$ ، $-0/285$ و $-1/218$ سانتیمتر در سال که به ترتیب برابر $29/6$ ، $70/4$ و $7/20$ - کیلومتر مکعب در سال است را گزارش کردند.

الگوهای ملی و بین‌المللی سازگاری با تغییر اقلیم

۱- تجربه‌های بین‌المللی

در حال حاضر، نزدیک به نیمی از جمعیت جهان به دلیل عامل‌های اقلیمی و غیراقلیمی، کمبود شدید آب را دستکم در بخشی از سال تجربه می‌کنند. از دهه ۱۹۷۰ تاکنون، ۴۴٪ از بلاهای طبیعی مربوط به سیل بوده است. بنابراین، تعجیبی ندارد که بخش عمده‌ای از اقدام‌های سازگاری (۶۰٪) با اثرهای تغییر اقلیم، ویژه بحران‌های مربوط به آب باشد. مجمع بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC, 2022) واکاوی گسترده‌ای را روی نتایج اقدام‌های سازگاری در ۳۱۹ بررسی موردی از سراسر جهان (از جمله ایران) انجام داده است. بیشترین پاسخ‌ها و اقدام‌های سازگاری با تغییر اقلیم به ترتیب در قاره آفریقا، آسیا و اقیانوسیه است. مهمترین اقدام‌های سازگاری برای کاهش اثرهای تغییر اقلیم (اثرهای مرتبط با آب) در بخش کشاورزی در مقیاس جهانی عبارتند از:

الف- اقدام‌های حفاظت آب و خاک (مانند کم‌خاک‌ورزی و خاکپوش‌دهی)- این پاسخ سازگاری به تقریب در همه قاره‌های

جهان در ردیف اقدام‌های سازگاری برتر هستند. در کشورهای آفریقایی، آمریکای شمالی و مرکزی و اروپا از اقدام‌های حفاظت آب و خاک و کشاورزی حفاظتی به ویژه در کشت دیم، استفاده چشمگیری می‌شود (Jat et al., 2019). افزون بر این، به نظر می‌رسد این اقدام‌ها، سودمندی‌هایی از دید صرفه‌جویی در مصرف آب و شرایط بوم‌شناسی و فرهنگی-اجتماعی داشته باشند. **ب- تغییر در الگوی کشت، زمان کاشت و برداشت-** تنوع محصول (گرایش به سمت تولید محصول‌های تجاری)، تناوب کشت و استفاده از رقم‌های زراعی مقاوم در برابر خطرهایی مانند سیل و خشکسالی، در میان اقدام‌ها سازگاری برتر در آسیا و آفریقا قرار می‌گیرند. اثربخشی تغییر در الگوها و سامانه‌های کشت در کاهش اثرهای تغییر اقلیم محدود گزارش شده است (Brouziyne et al., 2018; Paymard et al., 2018). در صورت رخداد گرمایش کمتر از ۲ درجه سلسیوس در آینده، استفاده از تناوب محصول در سامانه‌های زراعی می‌تواند نیاز آبی محصول را به طور چشمگیری کاهش دهد. ثابت شده است که کشاورزی حفاظتی و کشاورزی هوشمند اقلیم-محور (از جمله تولید رقم‌های زراعی بهبودیافته و عملیات زراعی) موجب افزایش کربن خاک و مقدار محصول می‌شود (Ho & Shimada, 2019).

پ- استفاده از منابع آب نامتعارف- یکی دیگر از اقدام‌های مهم در این زمینه، استفاده از منابع آب نامتعارف (آب

نمک‌زدائی شده و پساب تصفیه‌شده) است که با هدف افزایش دسترسی و تامین آب مورد نیاز بخش کشاورزی انجام شده و در حال توسعه می‌باشد (DeNicola et al., 2015; Martinez-Alvarez et al., 2018; Morote et al., 2019). هرچند نمک‌زدائی پتانسیل بالایی در کاهش تنش آبی کشاورزی در منطقه‌های خشک ساحلی دارد، اما رعایت استانداردهای کیفیت آب آبیاری نمک‌زدائی شده برای اطمینان از ثبات یا افزایش بهره‌وری محصول ضروری است. با این حال، شیرین‌سازی آب افزون بر مصرف زیاد انرژی، نگرانی‌هایی مانند کاهش مواد معدنی، شوری بیشتر محیط‌زیست، سمیت بیشتر برای گیاه و سدیمی شدن خاک را به دنبال دارد (Martinez-Alvarez et al., 2018). پساب تصفیه‌شده (بدون اثرهای زیانبار بر بهداشت و محیط‌زیست) نیز می‌تواند به‌عنوان راهکاری در شرایط ناپایداری شدید منابع آب مورد استفاده قرارگیرد (Angelakis & Snyder, 2015). براساس برآوردها، سالانه ۳۸۰ کیلومتر مکعب فاضلاب در سراسر جهان تولید می‌شود که برابر با ۱۵٪ برداشت آب کشاورزی است. بازیافت نیتروژن، فسفر و پتاسیم از فاضلاب می‌تواند ۱۳/۴٪ از تقاضای کشاورزی جهانی برای این مواد غذایی را جبران کند (Fernández-Arévalo et al., 2017).

بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار

ت- تجارت آب مجازی- در کشورهای رو در رو با تنش آبی، بخشی از آب مورد نیاز از راه واردات محصول‌های کشاورزی آب‌بر (تجارت آب مجازی) تأمین می‌شود. بنابراین، تجارت آب مجازی یکی از راهکارهای افزایش امنیت غذایی است (Graham et al., 2020).

ث- آبیاری محصول- آبیاری یکی از متداول‌ترین اقدام‌های سازگاری در کشاورزی است و به‌عنوان راهکار افزایش مقدار محصول و مراقبت از محصول در شرایط گرمایش جهانی مورد توجه قرار گرفته‌است. با دو برابر شدن سطح زیر کشت آبی جهان در ۵۰ سال گذشته، به تقریب ۴۰٪ محصول‌های کشاورزی جهان از کشت آبی به دست می‌آید (FAO, 2018). پیش‌بینی می‌شود که با تبدیل ناحیه‌های دیم به آبی، سطح زیر کشت آبی جهان در شرایط تغییر اقلیم در آینده افزایش یابد (Huang et al., 2019). با این حال، به دلیل محدودیت منابع آب تجدیدپذیر، امکان توسعه کمی سطح زیر کشت آبی در همه منطقه‌ها به ویژه منطقه‌های کم آب وجود ندارد (Turner et al., 2019). بسته به ویژگی‌های خاص مکانی، زمانی و فنی، برآورد شده است که تا ۳۵٪ از سطح زیر کشت دیم فعلی می‌تواند به کشت آبی با اثرهای منفی محدود بر محیط‌زیست تبدیل شود (Rosa et al., 2020). در دشت‌های شمال چین، کاربرد یک بار آبیاری تکمیلی موجب می‌شود که مقدار محصول گندم در سال‌های دارای خشکسالی شدید تا ۱۲/۸٪ افزایش یابد (Wang et al., 2019).

در مجموع، در بررسی سندهای موجود مشخص شد که آبیاری و مدیریت آب در مزرعه، تنوع محصول و بهبود شیوه‌های زراعی در میان رایج‌ترین اقدام‌های سازگاری با اثرهای گرمایش جهانی در کشورهای مختلف دنیا بوده است. با این حال، با تشدید گرمایش جهانی (بیش از ۱/۵ درجه سلسیوس)، اثربخشی این روش‌ها کاهش می‌یابد (IPCC, 2022).

۲- تجربه‌های ملی

در شرایط کنونی و همچنین در شرایط تغییر اقلیم آینده، تأمین امنیت غذایی در کشور با توجه به دو عامل افزایش سرانه مصرف غذا و کاهش دسترسی به منابع آب (کاهش امنیت آبی)، با چالش‌های جدی روبه‌رو می‌باشد. در برنامه هفتم توسعه کشور، راهبردهای کلی برای برون‌رفت از دشواری‌های مربوط به امنیت آبی و غذایی مشخص و به دستگاه‌های اجرایی ابلاغ شده‌است. از آن جمله می‌توان به استقرار حکمرانی مطلوب در سطح ملی و محلی، توسعه پایدار و مدیریت یکپارچه منابع آب، استفاده از منابع آبی نامتعارف، افزایش بهره‌وری آب، اصلاح اقتصاد آب، الگوی بهینه کشت، حفاظت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی و کاهش صادرات آب مجازی و افزایش واردات محصول‌های آب‌بر اشاره کرد (سازمان برنامه و بودجه، ۱۴۰۲). افزون بر این، در سند برنامه راهبردی تغییر اقلیم (سازمان حفاظت محیط زیست کشور، ۱۳۹۶) راهبردهای پیشنهادی در بخش‌های مختلف کشور برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با تهدیدهای تغییر اقلیم و همچنین شیوه پایش و ارزیابی برنامه‌ها مشخص شده است.

در زمینه کشاورزی سازگار با اثرهای تغییر اقلیم (اثرهای وابسته به آب) پژوهش‌های بسیار زیادی در ایران انجام شده است. در برخی از بررسی‌ها، برای دستیابی به شیوه مناسب سازگاری از رویکرد پژوهش پرسشنامه‌ای استفاده شده است و بر اساس پاسخ کشاورزان و استفاده از آزمون‌های آماری، اولویت‌بندی روش‌ها انجام شده است (حیدری، ۱۳۹۸؛ هوشمندان مقدم فرد و همکاران، ۱۳۹۹؛ سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۰). در بررسی‌های دیگر، تأثیر شیوه‌های مختلف سازگاری با تغییر اقلیم و اثرهای آن بر تولید محصول با اتکا به آزمایش‌های مزرعه‌ای و مدل‌سازی رشد و نمو محصول، بررسی شده است (Moghaddam et al., 2023). گرچه نظر سنجی از کشاورزان و شبیه‌سازی تولیدهای کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم آینده، روش‌های ارزشمندی برای مقایسه اقدام‌های مختلف سازگاری محسوب می‌شوند، اما با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور و تشدید بحران آب در دو دهه اخیر، برای دستیابی به رویکردهای مناسب

سازگاری با تغییر اقلیم، بررسی‌های بیشتری در زمینه مدیریت آبیاری در مزرعه با هدف افزایش بهره‌وری آب مورد نیاز است. بر پایه بررسی‌های مرکز پژوهش‌های مهندسی کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، بهره‌وری آب آبیاری در کشور از ۰/۸۷ در سال ۱۳۸۴ به ۱/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۴ رسیده است. میانگین بهره‌وری آب آبیاری در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ معادل ۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است و مقرر شد که در انتهای برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله (۱۴۰۴)، به ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب برسد.

در سال‌های اخیر، مسئله افزایش بهره‌وری آب آبیاری مورد توجه جدی پژوهشگران دانشگاهی و مرکزهای پژوهشی کشور قرار گرفته است که در ادامه نتایج برخی از پژوهش‌های انجام شده ارائه می‌شوند. یافته‌های تأثیر برهمکنش آبیاری جویچه‌ای یک در میان و سطح‌های متفاوت نیتروژن بر محصول چغندرقد و شستشوی نیتروژن در یک دوره دو ساله در لایسمترهای کشت دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، نشان داد که روش‌های آبیاری یک در میان متغیر و ثابت به ترتیب موجب کاهش مصرف ۲۲ و ۲۵ درصدی ژرفای آبیاری نسبت به آبیاری معمولی شدند و آبشویی نترات در روش‌های یک در میان متغیر و ثابت به طور میانگین به ترتیب ۴۴ و ۵۰٪ نسبت به روش معمولی کاهش یافت. پیشنهاد شد که برای بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن و بازده مصرف و بهره‌وری اقتصادی آب چغندرقد، از روش آبیاری یک در میان متغیر با ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، استفاده شود (Barzegari et al., 2017) در بررسی مشابه دیگری، تأثیر برهمکنش آبیاری جویچه‌ای (یک در میان متغیر و معمولی)، سطح‌های مختلف نیتروژن و شیوه کشت بر رشد و مقدار محصول جو بررسی شد (Ghasemi-Agholaghi et al., 2018). نتایج نشان دادند که بیشینه بازده مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب، در روش آبیاری یک در میان متغیر با الگوی کشت در کف جویچه و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست می‌آید. در پژوهشی، تأثیر استفاده از آب شور برای آبیاری زعفران همزمان با کاربرد سطح‌های متفاوت از کود گاوی و روش کاشت کرتی و کف جویچه‌ای (به عنوان دو راهبرد برای کاهش و کنترل شوری) بر رشد و مقدار محصول زعفران در باجگاه استان فارس بررسی شد. نتایج نشان دادند که گرچه شوری موجب کاهش محصول زعفران می‌شود، اما استفاده از کود گاوی و کشت کف جویچه موجب افزایش محصول، بازده مصرف و بهره‌وری آب خواهد شد (Yarami & Sepaskhah, 2018). بررسی تأثیر تنش آبی و شوری و روش کاشت (روی پشته و درون جویچه) بر رشد و محصول گندم نشان داد که کاهش محصول دانه در شرایط کم‌آبیاری همراه ۲۰٪ آبشویی معنی‌دار نبوده است و کشت کف جویچه سبب افزایش بازده مصرف آب و مقدار محصول نسبت به کاشت روی پشته شده است (Mehrabi and Sepaskhah, 2018). اثرهای برنامه‌های متفاوت آبیاری، روش‌های کاشت و سطح‌های متفاوت کود نیتروژن بر رشد و مقدار محصول گندم زمستانه بررسی شد و نتایج نشان داد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در ترکیب با روش کاشت درون جویچه و روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر می‌تواند بازده مصرف آب، محصول دانه، شاخص‌های محصول و بازده مصرف نیتروژن برای گندم زمستانه را بهبود بخشد (Mosaffa and Sepaskhah, 2019). گزارش شده است که اثرهای منفی شوری آب آبیاری و کم‌آبیاری روی رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک زعفران می‌تواند با روش کشت درون جویچه کاهش یابد (Dastranji and Sepaskhah, 2019).

در پژوهشی، اثر برهمکنش سطح‌های متفاوت آب آبیاری و کود نیتروژن بر محصول و اجزای محصول کینوا^۱ (متحمل به تنش‌های محیطی) در منطقه باجگاه استان فارس بررسی شد و نتایج نشان دادند که کاربرد ۷۵٪ آبیاری کامل همراه با ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن موجب افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف آب، شاخص‌های رشدی و مقدار محصول می‌شود (Razzaghi et al., 2020). همچنین بررسی کشتزاری در باجگاه شیراز نشان داد که کشت مخلوط زعفران و

بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار
گندم زمستانه برای کشاورزان اقتصادی‌تر از حالت تک‌کشتی آن‌ها است و کاربرد کود گاوی و کود نیتروژن، کیفیت
زعفران را افزایش می‌دهد (Abbasi and Sepaskhah, 2022). بررسی‌های (Tavakoli et al., 2021) نشان می‌دهند که
به کمک شیوه‌های متفاوت برداشت آب باران و هدایت آن به سمت محدوده رشد درختان بادام، می‌توان محصول مناسبی
را در منطقه‌های خشک شمال غرب کشور تولید کرد. پیشنهاد شده است که در منطقه‌های کم‌آب، از ترکیب روش
نشاکاری و تراکم ۹۰۰۰۰ گیاه در هکتار با کم آبیاری (۷۵٪ آبیاری کامل) برای به‌دست آوردن محصول بهینه چغندرقد
استفاده شود (Khozaei et al., 2020).

چالش‌های منابع آب ایران

۱- چالش آب‌های مرزی

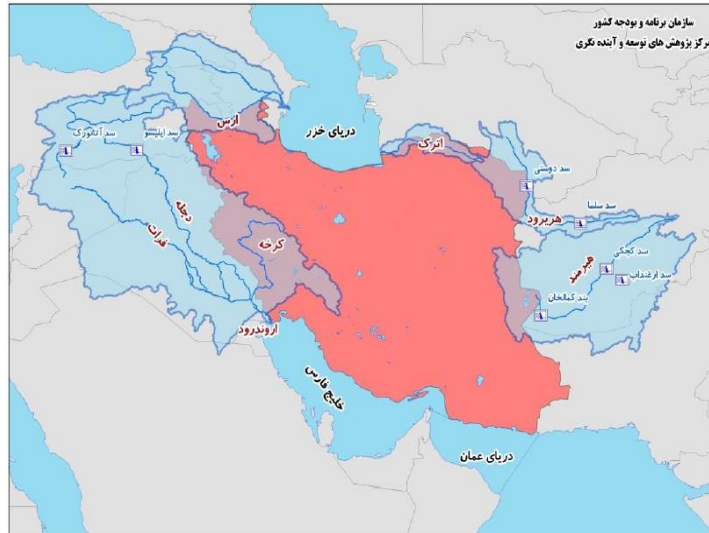
کشور ایران حدود ۸۷۵۵ کیلومتر مرز دارد که ۲۷۰۰ کیلومتر آن دریایی و ۴۱۳۷ کیلومتر خشکی است. نزدیک
به ۲۲٪ از مرز مشترک کشور را ۲۶ رودخانه کوچک و بزرگ تشکیل می‌دهند. بزرگترین مرز رودخانه‌ای مربوط به
رودخانه ارس به طول ۴۷۵ کیلومتر و کوچکترین آن مربوط به رودخانه دویرج به طول تنها ۲/۵ کیلومتر است. بر اساس
نتایج بیان دور دوم (میانگین بلندمدت ۴۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹) دفتر مطالعات پایه منابع آب کشور
(۱۳۹۰)، مقدار کل حجم سالانه جریان سطحی ورودی به داخل کشور در حدود ۲/۷۶ کیلومتر مکعب و مقدار کل حجم
جریان سطحی خروجی از کشور در حدود ۴۱/۲۴ کیلومتر مکعب است. ورود جریان‌های سطحی به داخل کشور و خروج
جریان‌های سطحی از کشور در پهنه رودخانه‌های مرزی انجام می‌شود. مهمترین رودخانه‌های مرزی ورودی به کشور
شامل رودخانه‌های هیرمند، هریرود، ساری‌سو، قره‌سو و ارس و مهمترین رودخانه‌های خروجی از کشور نیز شامل شاخه
رودخانه‌های شمال استان خراسان رضوی، اترک، آستارا چای و رودخانه‌های مرزی غرب کشور (زاب، سیروان، میمه،
دویرج، کنگیر و مانند این‌ها) است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۰).

حوضه‌های آبریز مشترک مرزی ایران با کشورهای همسایه در شکل ۱ نشان داده شده است که شامل ۵ حوضه آبریز
دجله-فرات-اروندرو، کورا-ارس، اترک، هیرمند و هریرود است. در ادامه، اقدام‌های کشورهای همسایه در این حوضه‌ها
و تهدیدهای ناشی از این اقدام‌ها بیان شده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۷):

❖ زیرحوضه آبریز دجله با چهار کشور ترکیه، ایران، عراق و سوریه مشترک است. تاکنون سدهای متعددی روی این
زیرحوضه احداث شده که مجموع ظرفیت آن‌ها بیش از ۱۱۶ کیلومتر مکعب است. افزون بر این، کشور ترکیه با شروع
پروژه گاپ قصد ساختن ۸ سد در این زیرحوضه را داشته که مهمترین آن سد ایلیسو با ظرفیت مخزن بیش از ۱۰
کیلومتر مکعب است. اگرچه کشور ایران سهم چشمگیری از منابع آب دجله و فرات ندارد، مهار آب‌های دجله و فرات با
اجرای این پروژه، اثرهای منفی بر کشور ایران داشته که از آن جمله می‌توان به افزایش گرد و غبار، تغییر اقلیم منطقه،
تهدید بوم‌نظام خلیج فارس، افزایش مهاجرت به داخل کشور و مسائل اجتماعی و امنیتی برای کشور، اشاره کرد.

❖ حوضه آبریز هیرمند یک حوضه بسته است که بخش‌های کوچکی از جنوب شرق ایران را در بر گرفته و آورد این
رودخانه در پابان، تالاب‌های هامون را تغذیه می‌نماید. تاکنون ۱۹ سد و ۳۴ بند انحرافی در این حوضه در کشور
افغانستان بنا شده و ساخت ۳۵ سد دیگر نیز در حال بررسی می‌باشد. حقایق ایران بر اساس معاهده ۱۳۵۱ شمسی
در یک سال نرمال حدود ۸۲۰ میلیون متر مکعب است که با آبیگری بند انحرافی کمالخان در سال‌های اخیر، دریافت
آن با چالش‌های جدی روبه‌رو شده است. این موضوع اثرهای منفی در محدوده جنوب شرق ایران به دنبال داشته که

از آن جمله می‌توان به خشک شدن تالاب بین‌المللی هامون، تغییر اقلیم منطقه، افزایش سرعت و مدت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، بیابان‌زایی و حرکت ماسه‌های روان، خالی شدن مرز از جمعیت و تهدید امنیت ملی کشور، تشدید مهاجرت و فقر، اشاره کرد.



شکل ۱- حوضه‌های آبریز پنج گانه مشترک ایران با کشورهای همسایه و رودخانه‌های اصلی این حوضه‌ها (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۷).

- ❖ حوضه آبریز هریرود میان سه کشور افغانستان، ترکمنستان و ایران مشترک است. پس از ساخت سد دوستی در مرز مشترک ایران و ترکمنستان، سد سلما در بالا دست سد دوستی توسط افغانستان ساخته شده و ساخت سه سد دیگر با ظرفیت هر یک در حدود ۲۰۰ میلیون متر مکعب در دستور کار این کشور می‌باشد. با اجرایی شدن این سدها، ورودی سد دوستی به عنوان منبع اصلی تامین آب شرب شمال شرق کشور و شهر مشهد زیر تأثیر قرار خواهد گرفت.
- ❖ حوضه آبریز اترک یکی دیگر از حوضه‌های مشترک مرزی ایران و ترکمنستان است که حدود ۷۹٪ از مساحت آن در خاک ایران است. کاهش کمیت و کیفیت منابع آب ناشی از خشکسالی، آلودگی ناشی از تزریق زهاب‌های کشاورزی و ایجاد کانون‌های گردوغبار متعدد در کشور ترکمنستان در شمال شرق کشور، از جمله اثرهای منفی محیط‌زیستی در آن است.
- ❖ حوضه آبریز کورا-ارس میان کشورهای ترکیه، ایران، ارمنستان، جمهوری آذربایجان و گرجستان مشترک می‌باشد که حدود ۲۳٪ مساحت آن در کشور ایران قرار دارد. مجموع ظرفیت سدهای ساخته شده در این حوضه آبریز بیش از ۲۵ کیلومتر مکعب است. دخالت‌های انسانی در سرشاخه‌های کورا و ارس به ترتیب موجب کاهش ۴۰ و ۲۷ درصدی جریان ورودی به دریای خزر از این رودخانه‌ها شده است. آلودگی رودخانه ارس به ویژه ناشی از فعالیت‌های صنعتی کشور ارمنستان و تغییر مسیر رودخانه از چالش‌های این حوضه آبریز است.

۲- چالش‌های آب‌های درون سرزمینی

برداشت آب شیرین برای کشاورزی، صنعت و استفاده شهری در جهان از سال ۱۲۸۰ شمسی تا به حال نزدیک به شش برابر شده و از دهه ۱۳۳۰ شمسی به بعد، مصرف به شدت افزایش یافته است. در ایران نیز با رشد جمعیت در سال‌های گذشته، توسعه اقتصادی مرتبط با کشاورزی فاریاب و تغییرهای برنامه غذایی موجب شده است تا مصرف آب

بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار

در سه دهه اخیر به شدت افزایش یابد. با کاهش بارش‌ها در سال‌های اخیر و وابستگی محصول‌های کشاورزی به مصرف آب، آب‌های تجدیدپذیر کاهش و برداشت آب از سهمیه محیط زیست به شدت افزایش یافته است. مصرف آب در ایران از چند دهه گذشته به طور پیوسته از تراز آستانه شروع تنش آبی یعنی یک چهارم آب تجدیدپذیر، به بیش از چهار برابر آن نزدیک شده است. با توجه به تفاوت زیاد بین برداشت آب زیرزمینی و تغذیه اندک آبخوان، ضروری است به مقدار زیادی از برداشت آب‌های زیرزمینی کاسته شود. شوربختانه در شرایط حاضر، با نبود داده‌های اندازه‌گیری برداشت آب‌های زیرزمینی، مقدار آب مصرفی گزارش شده از آب‌های زیرزمینی دارای اریبی است و در نتیجه مدیریت آن مشکل می‌شود. از سال ۱۳۸۱ تا کنون می‌توان با استفاده از ماهواره GRACE با دقت خوبی، تغییرهای آب‌های زیرزمینی در سطح‌های بزرگ (فاصله‌های یک درجه یا حدود ۱۱۰ کیلومتر) را برآورد کرد (زند پارسا و همکاران، ۱۴۰۳). براساس نتایج واکاوی ماهواره GRACE مقدار تخلیه سالانه منابع آب‌های زیرزمینی در ایران حدود ۱۵/۹۳ کیلومتر مکعب برآورد می‌شود که این عدد به اشتباه در گزارش‌های مختلف ۴/۷ کیلومتر مکعب در سال برآورد شده است. با استفاده از نتایج ماهواره GRACE، کسری مخازن آب‌های زیرزمینی در سال ۱۴۰۱ بر خلاف مقدار گزارش شده (۱۴۳ کیلومتر مکعب)، بیش از ۳۵۰ کیلومتر مکعب برآورد می‌شود. به دنبال مصرف بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، دشواری‌های زیادی مانند فرونشست‌ها و فروچاله‌ها، کاهش شدید جریان‌های چشمه‌سارها و جریان‌های سطحی، از بین رفتن جنگل‌ها و مرتع‌ها، از بین رفتن گونه‌های نادر گیاهی و جانوری، از بین رفتن تالاب‌ها و دریاچه‌های داخلی، هجوم آب شور به آب‌های زیرزمینی در زمین‌های کنار ساحل‌ها، افزایش شوری و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها در بیشتر منطقه‌های کشور به وجود آمده است (زند پارسا و همکاران، ۱۴۰۳).

راهکارها و فرصت‌ها

۱- سیاست آب‌های مرزی

شوربختانه در چند سال اخیر، بخش سیاست خارجی دولت، دیپلماسی فعالی در زمینه آب‌های مرزی نداشته است. براساس قرار بین‌المللی ثابت و مورد تاکید تمام کشورها (Puri, 2005)، هیچ دولتی حق ندارد در وضع طبیعی کشور خود تغییری بدهد که برای حالت طبیعی داخل کشور همجوارش زیان داشته باشد. به موجب این اصل بین‌المللی، دولت‌ها حق بستن و تغییر مسیر رودخانه‌هایی که از سرزمین آن‌ها عبور کرده و وارد سرزمین کشور همجوار می‌شود را ندارند. افزون بر این، استفاده از آب‌های این رودخانه‌ها به شیوه‌ای که موجب زیان دولت همجوار شود یا مانع استفاده مناسب از آب رودخانه‌ای شود که در سرزمین کشور همجوار جریان دارد، ممنوع است. به‌طور کلی، در مورد رابطه‌های آب‌های مرزی مشترک پنج اصل توسط کنوانسیون‌های بین‌المللی، تصمیم‌های قضائی و پیمان‌های بین‌المللی به رسمیت شناخته شده و پیوسته مورد استفاده قرار گرفته است: ۱- استفاده منصفانه و معقولانه آب، ۲- وارد نشدن خسارت شدید به دیگر کشورها، ۳- مشارکت و تبادل داده‌ها و اطلاعات، ۴- اطلاع‌رسانی، مشاوره و گفتگو، ۵- حل و فصل مسالمت‌آمیز اختلاف‌ها (شفیعی بافتی و سلیمانی، ۱۴۰۰). این اصول، اساس و بنیان قوانین مختلف بین‌المللی و بهره‌برداری از آبراهه‌ها را تشکیل می‌دهند که می‌تواند در دیپلماسی آب میان رودخانه‌های مرزی در قبال همسایگان مؤثر باشد. مدیریت در دیپلماسی آب موجب خواهد شد که از راه همکاری سیاسی با کشورهای همسایه و بدون درگیری و تنش، وضعیت پایدار در نظام بهره‌برداری از آب‌های مرزی ایجاد شود و این مهم جز با انعطاف‌پذیری کشورها و دوری از درگیری‌های سیاسی امکان‌پذیر نیست. در دیپلماسی آب‌های مرزی کشوری موفق‌تر است که الف- دارای قراردادهای و نهادهای بین‌المللی در زمینه آب

باشد. ب- سابقه‌ای از پروژه‌های همکاری و مشارکت بین‌المللی داشته باشد. پ- تاریخچه‌ای از پروژه‌های بین‌المللی هماهنگ شده داشته باشد. ت- ارتباط‌های بین‌المللی مثبت داشته باشد. ث- سطح بالاتری از توسعه اقتصادی را داشته باشد. بنابراین، سیاست فعال آب موجب افزایش جایگاه ایران در نظام بین‌الملل می‌شود و از اختلاف‌هایی که بر اثر نفوذ برخی از کشورها برای ضربه زدن به ایران و دامن زدن به تنش‌ها باشد جلوگیری می‌کند و امنیت پایدار بین بهره‌وران را به وجود می‌آورد (شفیعی بافتی و سلیمانی، ۱۴۰۰).

۲- کاهش برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی

با توجه به چالش‌های مربوط به بحران آب‌های درون سرزمینی، لازم است که مقدار چشمگیری از مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی را کاهش داد. در سال‌های پیش نیز افزایش مصرف آب در کشورهای دیگر اتفاق افتاده بود که برای کنترل و پیشگیری از خسارت به محیط زیست، برای نمونه، با کاهش تدریجی ۳۰٪ آب مصرفی در یک دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۹۷۵ تا ۱۹۸۵) در منطقه یوما در آمریکا یا در اسپانیا در یک دوره زمانی ۱۹ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۰۴) مصرف آب به حد تعادل نزدیک شد. در این کشورها پس از کاهش دادن مصرف آب به روش‌های مختلف و متناسب با شرایط اقلیمی، خاک، آب و محیط زیست هر منطقه، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب افزایش یافت (زند پارسا و همکاران، ۱۴۰۳). در ایران، برای متعادل کردن مصرف آب، در عمل از کاهش مصرف آب پرهیز شده است و در حقیقت، با ساخت سدهای زیاد و حفر فراوان چاه‌ها، آب بیشتری از سهمیه محیط‌زیست مصرف شده است. البته، تا حدودی با تشویق روش‌های آبیاری زیرفشار، برای بهبود بهره‌وری آب تلاش شده است، اما بدون کنترل فیزیکی و جدی آب توسط سازمان‌های دولتی مسئول، استفاده از این سیستم‌ها در سطح حوضه به افزایش مصرف آب انجامیده است. در نتیجه، بدون اندازه‌گیری آب تحویلی به مصرف‌کنندگان نمی‌توان برای همه منطقه‌های ایران با شرایط مختلف اقلیمی مصرف آن را مدیریت کرد. با توجه به بررسی‌های آرایه شده به نظر می‌رسد که:

- ❖ افزایش روند منفی کاهش آب‌های زیرزمینی گزارش شده پیشین از ۴/۷- به ۱۵/۹۳- کیلومتر مکعب حاضر موجب می‌شود که مقدار کاهش سالانه مصرف آب برای تعادل بخشی به ۳۶/۳ کیلومتر مکعب افزایش یابد. این کاهش مصرف باید تدریجی انجام شود و همزمان با کاهش تدریجی آب مصرفی با اندازه‌گیری مقدار برداشتی، دقت اطلاعات آرایه شده برای روند کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی به روزرسانی شود.
- ❖ پیشنهاد می‌شود در یک برنامه ۱۰ ساله، سالانه حدود ۴ کیلومتر مکعب از مصرف آب کاسته شود.
- ❖ کاهش مصرف آب، دشواری‌های فراوانی مانند کاهش چشمگیر تولیدهای کشاورزی، تامین منابع ارزی برای واردات آن‌ها و ایجاد مشاغل جایگزین برای کشاورزان مرتبط و گرانی شدید تولیدهای کشاورزی از جمله علوفه و صیفی جات و تولیدهای دامی را در پی دارد که برای موفقیت در انجام آن، نیاز به جلب همکاری و اطمینان از مشارکت‌های مردمی کشاورزان است.
- ❖ قیمت محصولات کشاورزی در صورت کاهش آب مصرفی به شدت افزایش خواهد یافت.
- ❖ با کاهش مصرف آب برای تأمین نیاز محصولات کشاورزی از راه واردات، باید ارزش کافی در نظر گرفته شود.
- ❖ پایداری در کاهش مصرف آب، نیازمند ایجاد شغل‌هایی دیگر برای کشاورزان است.
- ❖ اجرای برنامه کم کردن مصرف آب در ایران، ویژه فعالیت‌های یک یا دو وزارتخانه نیست و سایر وزارتخانه‌ها نیز به این مسئله مرتبط می‌باشند.

۳- استفاده از ظرفیت مشارکت‌های مردمی در مدیریت منابع آب

آب در تاریخ اجتماعی ایران باستان، همواره به عنوان یک منبع کمیاب محسوب می‌شده است و همچنین به خاطر کمیابی و شرایط ویژه برداشت آن، همواره به عنوان یک منبع مشترک در نظر گرفته می‌شده است. بنابراین، برداشت بهره‌برداری از آن به صورت جمعی بوده است و هیچ کس به تنهایی نمی‌توانسته به‌طور همزمان ادعای مالکیت و برداشت و بهره‌برداری از آن را به صورت انفرادی مطرح کند. به همین دلیل در فرهنگ باستانی ایران که در سده‌های گذشته رایج بوده، برخی از جامعه‌شناسان بر این باورند که فرهنگ یاریگری و تولید جمعی در بخش کشاورزی، به خاطر منبع آب بوده و کم به کم به سایر بخش‌های تولیدی در این بخش و همچنین سایر جنبه‌های زندگی گروهی و اجتماعی نیز وارد شده است. گروه‌های هم‌آب، بنه‌ها، هراسه‌ها و بسیاری از تشکلهای و نظام‌های بهره‌برداری جمعی، همه نمونه‌هایی از این نوع می‌باشند. این شیوه مدیریت منابع آب در نظام ارباب و رعیتی نیز در کشور بر اساس شرایط اجتماعی در هر منطقه و اقلیم و نوع مناسبت‌ها و روابط تولیدی و نوع نظام بهره‌برداری سنتی در هر منطقه، به طور دقیق رعایت می‌شده است. در دهه چهارم سده گذشته شمسی که شروع آن همزمان با انقلاب سفید و اجرای اصلاحات ارضی در کشور بود، نظام ارباب و رعیتی و مناسبت‌ها و نظام‌های تولیدی و نظام‌های بهره‌برداری در بخش کشاورزی در هم شکسته شد و در عوض، مالکیت خصوصی به جای مالکیت‌های جمعی، آن هم بر مبنای زمین گسترش یافت. می‌توان گفت که «بحران مدیریت آب» از همان زمان آغاز و شوربختانه تا به امروز دامنگیر این کشور شده است. از سوی دیگر، دولت با ملی کردن منابع طبیعی، خود را مالک تمامی منابع آبی کشور اعلام کرد و بر این باور بود که بهترین مالک در این زمینه مالکیت دولتی است و می‌تواند از این منابع به بهترین وجه محافظت کرده و آن‌ها را مدیریت کند. رویارویی بین بهره‌برداران و دولت نیز از همان زمان آغاز شد و رفته رفته بهره‌برداری بی‌رویه برای منافع شخصی و تغییر نگاه از آب به عنوان یک انگاره ارزشی، فرهنگی و اجتماعی به یک کالای اقتصادی شدت گرفت. در میانه دهه سوم نیمه دوم سده گذشته، در رابطه با منابع و محیط زیست و مدیریت و حفاظت از آن، رهیافت‌های جدیدی (مانند مدیریت یکپارچه منابع، مدیریت مشارکتی آبیاری، انتقال مدیریت آبیاری) مطرح شد و برداشت نوینی از توسعه، با عنوان توسعه پایدار شکل گرفت (حیاتی، ۱۴۰۲).

امروزه ایران با شکاف دیدگاهی مدیریت منابع آب روبه‌رو است. در یک سر این شکاف، متخصصان و دانشگاهیان قرار دارند که با درک کامل از بحران آب کشور، بر این باورند که چالش امروز در کشور بحران مدیریت منابع آب است و این بحران برطرف نخواهد شد، مگر این‌که مردم و بهره‌برداران از منابع آب در قالب نهادهای مدنی و ظرفیت‌سازی و توان‌افزایی و همچنین مشارکت، خود مدیریت منابع آب را بر عهده بگیرند و از این راه به سوی نظام حکمرانی آب پیش بروند. در سوی دیگر، سازمان‌های دولتی متولی و مسئولین منابع آبی قرار دارند که اگرچه در شعار، به این آموزه‌ها و دیدگاه‌های نوین باور دارند، اما در شرایط موجود خود به دنبال مدیریت بحران منابع آب هستند. تنش ناشی از تغییر اقلیم در کشور که بیش از یک دهه آغاز شده است و بیشترین نمود آن در منابع آب بوده و ادامه روند توسعه کشور را با چالشی جدی روبه‌رو کرده است، آن قدر جدی است که نمی‌توان با روش مدیریت بحران آب با آن روبه‌رو شد، بلکه باید از راهبرد بحران مدیریت منابع آب بهره جست تا بتوان خطرهای ناشی از این بحران را به کمینه ممکن رساند. در این راستا، چالش‌هایی که باید با آن‌ها روبه‌رو شد و برای آن‌ها چاره‌جویی کرد، به شرح زیر هستند (حیاتی، ۱۴۰۲):

❖ ناکارآمدی قانون‌ها در رابطه با برداشت، مدیریت و مشارکت بهره‌برداران از منابع آب، به گونه‌ای که قانون‌های موجود، اجازه مشارکت واقعی و همچنین واگذاری مدیریت منابع آب به مردم را نمی‌دهند.

- ❖ تغییر ارزش آب از یک کالای اقتصادی به یک کالای سیاسی و موضوع امنیت آب در کشور.
- ❖ ناپایداری معیشت‌های بر پایه کشاورزی و روش‌های متداول تولید در این بخش و لزوم توجه به تغییر معیشت بخش چشمگیری از کشاورزان و گذار به سمت معیشت پایدار روستایی و کشاورزی.
- ❖ ظرفیت‌سازی، توان‌افزایی و جلب مشارکت‌های مردمی در حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت منابع آب (سطحی و زیرزمینی) با حمایت و پشتیبانی از نظام ترویج و آموزش کشاورزی (خصوصی و دولتی).
- ❖ برداشت‌های نادرست از مفهوم مشارکت در میان مسئولین امور آب و همچنین نبود مشارکت در بین نهادهای دولتی متولی و مسئول آب و نبود هماهنگی میان تمام دستگاه‌های مسئول به گونه‌ای که نمود آن در مدیریت ناکارآمد و تضاد سیاستی در میان وزارتخانه‌ها و نهادها در رابطه با منابع آب کشور به طور کامل روشن است.

سپاسگزاری

مقاله حاضر از فاز سوم طرح کلان فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران با عنوان آینده‌نگری وضعیت کشاورزی و منابع طبیعی با توجه به تغییرات جهانی و روند رشد فناوری‌ها، استخراج شده است که بدینوسیله از حمایت مالی فرهنگستان علوم تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

- اسدی، مراد؛ عبدالمنافی، نرجس. (۱۴۰۱). تشدید بحران منابع آب زیرزمینی و لزوم مدیریت مصارف. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، گروه آب.
- انصاری مهابادی، ثمین؛ دهبان، حسین؛ زارعیان، محمدجواد؛ فرخ‌نیا، اشکان. (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوضه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برون‌داد مدل‌های CMIP6. پژوهش آب/ایران، ۱۶(۱)، ۱۱-۲۴.
- بی‌نام. (۱۳۹۰). شرکت مدیریت منابع آب/ایران، دفتر مطالعات پایه منابع آب. بیان منابع آب کشور منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰.
- بی‌نام. (۱۳۹۶). برنامه راهبرد ملی تغییر اقلیم. سازمان حفاظت محیط زیست (دفتر طرح ملی تغییرات آب و هوا).
- بی‌نام. (۱۳۹۷). بررسی تأثیرات برنامه‌های تنظیم آب کشورهای همسایه در حوضه‌های مشترک مرزی بر ایران، مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری، سازمان برنامه و بودجه کشور.
- بی‌نام. (۱۴۰۲). برنامه هفتم توسعه کشور. سازمان برنامه و بودجه کشور.
- حیاتی، داریوش. (۱۴۰۲). آسیب‌شناسی مشارکت‌های مردمی در مدیریت منابع آب (سنت و نوگرایی). گزیده سخنرانی در فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.
- حیدری، نادر. (۱۳۹۸). رویکردها و راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم از جنبه‌های مدیریت آب کشاورزی و امنیت غذایی. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، ۶، ۲۳-۳۶.
- خزائی، محمدرضا؛ خزائی، حدیث؛ ثقفیان، بهرام. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی مناطق خشک ایران. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۹)، ۳۱-۴۲.
- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۹). پیش‌نگری چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برون‌داد پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6) فیزیک زمین و فضا، ۴۶(۳)، ۶۰۲-۵۸۳.
- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی بر برون‌داد همادی مدل‌های تصحیح شده اریبی CMIP6 فیزیک زمین و فضا، ۴۷(۳)، ۵۶۱-۵۷۸.

- بررسی اثرهای تغییر اقلیم و دگرگونی‌های اجتماعی سیاسی جهانی بر منابع آب و راهبردهای سازگاری با آن‌ها با نگرش بوم‌سازگار
 زرین، آذر؛ یزدانی، دینا؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). پیش‌نگری دمای کمینه و بیشینه مناطق سردسیر ایران با
 استفاده از مدل مقیاس‌کاهی آماری SDSM. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۳(۱۰)، ۱۹-۳۲.
- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). مدیریت ریسک اقلیمی و ضرورت تدوین و اجرای برنامه‌های سازگاری
 ملی. *نشریه آب و توسعه پایدار*، ۹(۱)، ۸۵-۹۴.
- زندپارسا، شاهرخ؛ سپاسخواه، علیرضا؛ دیداری، شهره. (۱۴۰۳). کاهش تدریجی مصرف آب کشاورزی گامی مؤثر در
 سازگاری با کمبود آب در ایران. *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۹، ۱۹-۳۴.
- سلیمانی، مهرانگیز؛ رحیمی، داریوش؛ یزدان‌پناه، حجت‌الله. (۱۴۰۰). راهبردهای سازگاری با تغییرات اقلیم در بخش
 کشاورزی (شهرستان رستم). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰، ۱۹-۳۲.
- سوری نژاد، علی. (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی تجدیدپذیر سی حوضه آبخیز کشور. *پژوهش‌های
 جغرافیای طبیعی*، ۵۲(۳)، ۳۷۳-۳۵۱.
- شفیعی بافتی، نگین؛ سلیمانی، شیما. (۱۴۰۰). ارتباط میان اصل بهره‌برداری منصفانه و معقول و اصل منع آسیب در حقوق
 بین‌الملل آبراهه‌ها با تأکید بر کنوانسیون ۱۹۹۷. *فصلنامه مطالعات حقوق عمومی دانشگاه تهران*، ۵۱، ۱۵۷۹-۱۶۰۱.
- ناظری تهرودی، محمد؛ احمدی، فرشاد؛ خلیلی، کیوان. (۱۳۹۶). بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه
 ارومیه. *آب و خاک*، ۳۱(۲)، ۶۴۴-۶۵۹.
- ناظری تهرودی، محمد؛ خلیلی، کیوان؛ احمدی، فرشاد. (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه ای بارش نیم
 قرن اخیر کشور ایران. *آب و خاک*، ۳۰(۲)، ۶۴۳-۶۵۴.
- هوشمندان‌مقدم‌فرد، زهرا؛ شمس، علی؛ یعقوبی، جعفر؛ صبا، جلال؛ عساکره، حسین. (۱۳۹۹). بررسی عوامل مؤثر بر
 رفتارهای سازگاری کشاورزان با تغییرات اقلیمی در استان زنجان. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۰، ۲۳۱-۲۵۱.
- وفاخواه، مهدی؛ ذبیحی سیلابی، مصطفی، مدرسی طباطبایی، صدیقه، سروی صدرآباد، حسین، شفیع بافتی، آرزو،
 قادری‌دهکردی، نگین؛ ریاحی، محمدرضا؛ غیائی، سس‌دسعید. (۱۴۰۱). تحلیل روند دبی متوسط سالانه در ایران.
مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۵(۲)، ۳۱۴-۳۲۷.
- Abbasi, M.R. & Sepaskhah, A.R. (2022). Evaluation of saffron yield affected by intercropping with winter
 wheat, soil fertilizers and irrigation regimes in a semi-arid region. *International Journal of Plant
 Production*. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s42106-022-00194-4>.
- Angelakis, A.N. & Snyder, S.A. (2015). Wastewater treatment and reuse: past, present, and future. *Water*,
 7(9). Retrieved from: [doi:10.3390/w7094887](https://doi.org/10.3390/w7094887).
- Ashraf, S., AghaKouchak, A., Nazemi, A., Mirchi, A., Sadegh, M. et al. (2019). Compounding effects of human
 activities and climatic changes on surface water availability in Iran. *Climatic Change* 152(3), 379-391.
- Ashraf, S., Nazemi, A. & AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater
 depletion in Iran. *Scientific Reports*, 11(1), 9135.
- Barzegari, M., Sepaskhah, A.R. & Ahmadi, S.H. (2017). Irrigation and nitrogen managements affect
 nitrogen leaching and root yield of sugar beet. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 108(2): 211-230.
- Bazrafshan, J. & Cheraghalizadeh, M. (2021). Verification of abrupt and gradual shifts in Iranian
 precipitation and temperature data with statistical methods and stations metadata. *Environmental
 Monitoring and Assessment*, 193(3), 139.
- Brouziyne, Y., Abouabdillah, A., Hirich, A., Bouabid, R., Zaaboul, R. & Benaabidate, L. (2018). Modeling
 sustainable adaptation strategies toward a climate-smart agriculture in a Mediterranean watershed under
 projected climate change scenarios. *Agricultural System*, 162, 154-163.

- Dastranj, M. & Sepaskhah, A.R. (2019). Saffron response to irrigation regimes, salinity and planting method. *Scientia Horticulturae*, 251:215-234.
- DeNicola, E., Aburizaiza, O.S., Siddique, A., Khwaja, H. & Carpenter, D.O. (2015). Climate change and water scarcity: the case of Saudi Arabia. *Annal of Global Health*, 81(3), 342–353.
- FAO, (2018). World Food and Agriculture-Statistical Pocketbook 2018. Retrieved from: <http://www.fao.org/3/CA1796EN/ca1796en.pdf> . (Rome, 254). (Acessed on 18th December, 2020).
- Fernández-Arévalo, T., Lizarralde, I., Fdz-Polanco, F., Pérez-Elvira, S.I., Garrido, J.M. *et al.* (2017). Quantitative assessment of energy and resource recovery in wastewater treatment plants based on plant-wide simulations. *Water Research* 118, 272-288.
- Ghasemi-Aghbolaghi, S. & Sepaskhah, A.R. (2018). Barley (*Hordeum vulgare* L.) response to partial root drying irrigation, planting method and nitrogen application rates. *International Journal of Plant Production*, 12, 13-24.
- Graham, N.T., Hejazi, M.I., Kim, S.H., Davies, E.G.R., Edmonds, J.A. & Miralles-Wilhelm, F. (2020). Future changes in the trading of virtual water. *Nature Communications* 11, 3632.
- Ho, T.T. & Shimada, K. (2019). The effects of climate smart agriculture and climate change adaptation on the technical efficiency of rice farming—an empirical study in the Mekong Delta of Vietnam. *Agriculture*, 9(5), 99.
- Huang, Z., Hejazi, M., Tang, Q., Vemon, C. R., Liu, Y., Chen, M. & Calvin, K. (2019). Global agricultural green and blue water consumption under future climate and land use changes. *Journal of Hydrology*, 574, 242-256.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Retrieved from: [doi:10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896).
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., Retrieved from: [doi:10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).
- Jat, H.S., Sharma, P.C., Datta, A., Choudhary, M., Kakraliya, S.K. *et al.* (2019). Re-designing irrigated intensive cereal systems through bundling precision agronomic innovations for transitioning towards agricultural sustainability in North-West India. *Scientific Reports* 9, 17929.
- Keller, K., Helgeson, C. & Srikrishnan, V. (2021). Climate Risk Management. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 49: 95-116.
- Khozaei, M., Kamgar Haghighi, A.A., Zand Parsa, S., Sepaskhah, A.R., Razzaghi, F. *et al.* (2020). Evaluation of direct seeding and transplanting in sugar beet for water productivity, yield and quality under different irrigation regimes and planting densities. *Agricultural Water Management* 238, 106230.
- Li, B., Beaudoin, H. & Rodell, M. (2020). NASA/GSFC/HSL, GLDAS catchment land surface model L4 monthly 1.0 × 1.0 degree V2.1. *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC): Greenbelt, MD, USA*.
- Martínez-Alvarez, V., González-Ortega, M.J., Martín-Gorriz, B., Soto-García, M. & Maestre-Valero, J.F. (2018). 14 - Seawater desalination for crop irrigation—Current status and perspectives. In "Emerging Technologies for Sustainable Desalination Handbook" (V. G. Gude, ed.), pp. 461-492. Butterworth-Heinemann.
- Mehrabi, F. & Sepaskhah, A.R. (2018). Interaction effects of planting methods, irrigation regime and nitrogen application rates on yield, water and nitrogen use efficiencies of winter wheat (*Triticum aestivum*). *International Jornal of Plant Production*, 12(4), 267-283.
- Moghaddam, H., Oveisi, M., Mehr, M.K., Bazrafshan, J., Naeimi, M.H. *et al.* (2023). Earlier sowing combined with nitrogen fertilization to adapt to climate change effects on yield of winter wheat in arid environments: Results from a field and modeling study. *European Journal of Agronomy*, 146, 126825.

- Morote, Á.-F., J. Olcina & Hernández, M. (2019). The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in semi-arid regions: south-eastern Spain. *Water*, 11(1), 93.
- Mosaffa, H.R. & Sepaskhah, A.R. (2019). Performance of irrigation regimes and water salinity on winter wheat as influenced by planting methods. *Agricultural Water Management*, 216:444-456.
- Noori, R., Maghrebi, M., Jessen, S., Bateni, S.M., Heggy, E. *et al.* (2023). Decline in Iran's groundwater recharge. *Nature Communications*. Retrieved from: 14:6674. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42411-2>.
- Paymard, P., Bannayan, M. & Haghighi, R.S. (2018). Analysis of the climate change effect on wheat production systems and investigate the potential of management strategies. *Natural Hazards*, 91(3), 1237–1255, Retrieved from: [doi:10.1007/s11069-018-3180-8](https://doi.org/10.1007/s11069-018-3180-8).
- Puri, S. & Aureli, A. (2005). Transboundary aquifers: A global program to assess, evaluate, and develop policy. *Groundwater*, 43: 661-668.
- Rahimi, J., Laux, P. & Khalili, A. (2020). Assessment of climate change over Iran: CMIP5 results and their presentation in terms of Köppen–Geiger climate zones. *Theoretical and Applied Climatology* 141(1), 183-199.
- Razzaghi, F., Bahadori-Ghasroldashti, M.R., Henriksen, S., Sepaskhah, A.R. & Jacobsen, S.E. (2020). Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages—A field study from Southern Iran. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206, 390-404.
- Ritchie, H., Roser, M. & Rosado, P. (2020). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data*.
- Rateb, A., Scanlon, B.R., Pool, D.R., Sun, A., Zhang, Z. & Chen, J. (2020). Comparison of groundwater storage changes from GRACE satellites with monitoring and modeling of major U.S. aquifers. *Water Resources Research*, 56, e2020WR027556.
- Rosa, L., Chiarelli, D.D., Sangiorgio, M., Beltran-Peña, A.A., Rulli, M.C. *et al.* (2020). Potential for sustainable irrigation expansion in a 3 °C warmer climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 29526-29534.
- Safdari, Z., Nahavandchi, H. & Joodaki, G. (2022). Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data. *Water*, 14(1), 131.
- Saemian, P., Tourian, M.J., AghaKouchak, A., Madani, K. & Sneeuw, N. (2022). How much water did Iran lose over the last two decades? *Journal of Hydrology: Regional Studies* 41, 101095.
- Tavakoli, A.R., Oweis, T.Y., Sepaskhah, A.R., Mahdavi Moghadam, M. & Farayedi, Y. (2021). Growing fruit trees with rainwater harvesting in arid environments: the case of almond in Northwest Iran. *Water Harvesting Research* 4, 54-67.
- Tol, R.S.J. (2002). Estimates of the damage costs of climate Change: Part 1: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21(1): 47-73.
- Turner, S. W. D., Hejazi, M., Calvin, K., Kyle, P. & Kim, S. (2019). A pathway of global food supply adaptation in a world with increasingly constrained groundwater. *Science of The Total Environment* 673, 165-176.
- UNESCO, UN-Water (2020). United Nations World Water Development Report 2020:Water and Climate Change, Paris, UNESCO.
- Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A. *et al.* (2019). The future of extreme climate in Iran. *Scientific Reports*, 9(1), 1464.
- Wang, J., Yang, Y., Huang, J. & Adhikari, B. (2019) Adaptive irrigation measures in response to extreme weather events: empirical evidence from the North China plain. *Regional Environmental Change*, 19(4), 1009–1022, Retrieved from: [doi:10.1007/s10113-018-1442-3](https://doi.org/10.1007/s10113-018-1442-3).
- Yarami, N. & Sepaskhah, A.R. (2018). Water productivity and economic analysis of saffron under different irrigation water salinity, manure application rates and planting methods. *International Journal of Plant Production*, 12: 139- 147.

Effects of Climate Change and Global Socio-Political Developments on Iran's Water Resources and Strategies for Adapting to Them with an Ecofriendly Approach

Bazrafshan J. ¹, Khalili, A., Davary, K., Zand-Parsa, Sh., Sepaskhah, A.R., Farhoudi, J. and Alizadeh A. ²

This study examines the escalating water stress in Iran, analyzing the combined impacts of climate change and socio-political developments on the nation's water resources. Findings reveal that global warming—driven by increased greenhouse gas emissions due to human activities—has intensified extreme climate events and altered rainfall patterns across the country. Additionally, excessive water extraction, particularly within the agricultural sector, has led to a significant decline in groundwater reserves across most basins and plains. Projections suggest that without effective policy interventions, these trends will worsen, posing serious threats to food security and ecosystem stability. Key challenges include conflicts over transboundary water resources and domestic water mismanagement. The proposed solutions are organized around three pillars: international (technical and legal cooperation), national (restructuring agricultural practices and optimizing water use), and systemic improvements in water management. The study underscores the urgent need for a comprehensive climate adaptation plan that integrates technological, economic, and institutional strategies. Major barriers identified comprise inter-agency incoherence, the absence of a cohesive legal framework for transboundary waters, and resistance to modifying traditional consumption habits.

Key Words: Agricultural water productivity, Climate change, Groundwater, Water crisis, Water diplomacy.

1. Corresponding Author Email: jbazr@ut.ac.ir

2. Associate Professor of University of Tehran (Invited Scholar), Professor of University of Tehran (Associate Member), Professor of Ferdowsi University of Mashhad (Invited Scholar), Professor of Shiraz University (Invited Scholar), Professor of Shiraz University (Fellow Member), Professor of University of Tehran (Associate Member), Professor of Ferdowsi University of Mashhad (Fellow Member). Members of Irrigation Branch, Agricultural and Natural Resources Group, Academy of Science, I.R. Iran, respectively.