مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۹ شماره ۱ صفحه‌های ۱۹ تا ۳۴ (۱۴۰۳)

کاهش تدریجی مصرف آب کشاورزی گامی مؤثر در سازگاری با کمبود آب در ایران[۱]

شاهرخ زندپارسا[۲]، شهره دیداری و علیرضا سپاس‌خواه[۳]

چکیده

رشد جمعیت در سال‌های گذشته، توسعه اقتصادی مرتبط با کشاورزی فاریاب و تغییر رژیم غذایی موجب افزایش شدید مصرف آب در ایران در سه دهه اخیر شده‌است. مصرف آب در ایران نسبت به آب تجدیدپذیر از چندین دهه گذشته پیوسته بیشتر از ۴ برابر حد آستانه شروع تنش آبی رسیده است. برابر نتایج واکاوی ماهواره GRACE[۴]، مقدار تخلیه سالانه منابع آب‌های زیرزمینی حدود ۱۵/۹ میلیارد مترمکعب برآورد شد که این عدد به اشتباه توسط دیگر متخصصان، ۴/۷ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده‌است. در پژوهش حاضر، با استفاده از نتایج ماهواره GRACE، کسری مخزن آب‌های زیرزمینی در سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ بر خلاف مقدار گزارش شده یعنی ۱۴۳ میلیارد مترمکعب، بیش از ۳۵۰ میلیارد مترمکعب برآورد شد. در ایران، برای متعادل کردن مصرف آب، در عمل از کاهش مصرف آب پرهیز شده است و در واقع، با ساخت سدهای زیاد و حفر فراوان چاه‌ها، آب بیشتری از سهمیه محیط‌زیست مصرف شده است. برای جلوگیری از رسیدن به شروع تنش آبی شدید یا مصرف ۶۰٪ آب تجدیدپذیر، توصیه می‌شود که ۴۴٪ از مصرف آب کشاورزی کاسته شود. این کاهش زیاد، دشواری‌های بسیار زیادی مانند جلب موافقت و همکاری کشاورزان برای مشارکت در کاهش مصرف آب، تحویل حجمی آب، تأمین ارز کافی برای واردات محصول‌های کشاورزی، ایجاد شغل‌هایی مستقل از آب و آبیاری برای کشاورزان و افزایش شدید قیمت محصول‌های کشاورزی را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: آب شرب، آب کشاورزی، آب زیرزمینی، آب صنعت، ماهواره GRACE.

مقدمه

برداشت آب شیرین برای کشاورزی، صنعت و مصرف‌های شهری در جهان از سال ۱۹۰۰ تا به حال به تقریب به ۶ برابر رسیده که از دهه ۱۹۵۰ به بعد، مصرف به‌شدت افزایش یافته است. در ایران نیز با رشد جمعیت در سال‌های گذشته، توسعه اقتصادی مرتبط با کشاورزی فاریاب و تغییرهای رژیم غذایی موجب شده است تا مصرف آب در سه دهه اخیر به شدت افزایش یابد. با کاهش بارش‌های جوی در سال‌های اخیر و وابستگی محصول‌های کشاورزی به

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۱

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: zandparsa@yahoo.com

۳- به‌ترتیب استاد دانشگاه شیراز (عضو مدعو فرهنگستان علوم)، استادیار دانشگاه شیراز و استاد دانشگاه شیراز (عضو پیوسته فرهنگستان علوم).

4. Gravity recovery and climate experiment

مصرف آب، آب‌های تجدیدپذیر کاهش یافته‌است و برداشت آب از سهمیه محیط زیست به شدت افزایش یافته است. مصرف آب در ایران از چندین دهه گذشته به‌طور مداوم از حد آستانه شروع تنش آبی یعنی یک چهارم آب تجدیدپذیر به تقریب به بیشتر از ۴ برابر آن رسیده است. شناخت و داشتن اطلاعات به نسبت دقیق از بخش‌های مختلف منابع آب شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی برای توسعه پایدار کشاورزی و حفاظت از محیط زیست لازم است.

در سال‌های پیش نیز افزایش مصرف آب در کشورهای دیگر اتفاق افتاده بود که برای کنترل و جلوگیری از خسارت‌های وارده به محیط‌زیست، کاهش مصرف آب در پیش گرفته‌شد. برای نمونه، کاهش تدریجی ۳۰٪ آب مصرفی در دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۹۷۵ تا ۱۹۸۵) در منطقه یوما در آمریکا (Frisvold *et al*, 2018) و کاهش تدریجی ۱۵٪ آب مصرفی در دوره زمانی ۱۹ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۰۴) در اسپانیا (De Stefano *et al*., 2015) موجب شد تا به مقدار مصرف متعادل نزدیک شوند. در این کشورها پس از کاهش مصرف آب به روش‌های مختلف و متناسب با شرایط اقلیمی، خاک، آب و محیط‌زیست هر منطقه، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب افزایش داده شد.

در ایران، میانگین حجمی بارندگی سالانه در دوره ۴۵ ساله از سال آبی ۱۳۴۵ تا ۱۳۴۶ و ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ برابر ۳۹۶ میلیارد مترمکعب بوده است، که از کل بارندگی بخش زیادی صرف تبخیر شده و باقیمانده حجم آب تجدیدپذیر کشور (تولیدشده در داخل کشور) را تشکیل می‌دهد. میانگین مقدار آب تجدیدپذیر در این دوره برابر ۱۱۰ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شد و در این دوره حجم کل برداشت آب برای مصرف‌های مختلف از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور برابر ۹۸/۹ میلیارد مترمکعب و مصرف بخش کشاورزی برابر ۸۵/۸ میلیارد مترمکعب در سال گزارش شد (کشاورز و همکاران، ۱۴۰۰ به گفته شرکت مدیریت منابع آب کشور). بر اساس آخرین آماربرداری بیلان منابع و مصرف‌های آب در کشور، در دوره ۴۵ ساله پیش از ۱۳۹۵، مصرف آب به ترتیب در کل کشور و بخش کشاورزی برابر ۹۶/۳۷ و ۸۵/۶ میلیارد مترمکعب در سال گزارش شده است. به علت کاهش بارندگی در سال‌های اخیر در دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ مقدار آب تجدیدپذیر ۸۸ میلیارد مترمکعب در سال گزارش شده است. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت کمبود آب در ایران، برنامه‌ریزی گسترده‌ای را برای تعیین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی انجام داده است. در این راستا، در آغاز مؤلفه‌های بیلان آب در چرخه هیدرولوژی کشور برآورد شد و بر اساس آن، حجم مصرف آب در بخش کشاورزی برآورد شده است (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹). برای دو دوره ۵۱ ساله (بلندمدت) و هفت ساله (کوتاه‌مدت)، حجم مصرف آب در بخش کشاورزی به ترتیب معادل ۱۸ ±۶۷ و ۵ ± ۷۲ میلیارد مترمکعب برآورد شده است (به ترتیب برابر ۵۲ و ۷۱٪ از کل آب به دست آمده). همان‌طور که دیده می‌شود عددها و رقم‌های ارائه شده برای حجم آب به دست آمده از بارندگی، حجم آب تجدیدپذیر و آب اختصاص‌یافته به کشاورزی تفاوت زیادی دارند و در مورد درستی آن‌ها به ویژه برآورد حجم برداشت از آب‌های زیرزمینی بدون اندازه‌گیری، تردید جدی وجود دارد. آن‌چه مشخص است، دشواری‌های موجود در بسیاری از منطقه‌های ایران مانند خشک‌شدن دریاچه‌های ارومیه، طشک و بختگان، تالاب گاوخونی و دیگر دریاچه‌ها و فرونشست‌ها و فروچاله‌های ایجاد شده در بیشتر دشت‌های ایران، به دلیل رعایت نکردن سهمیه محیط زیست در مصرف آب و حتی مصرف آب بیشتر از مقدار آب تجدیدپذیر است. با مصرف بیش از حد آب‌های زیرزمینی، میانگین سالانه کسری آبخوان‌های کشور برابر ۴/۷ میلیارد مترمکعب با مقدار تجمعی ۱۴۳ میلیارد مترمکعب برآورد

شده است (اسدی و عبدالمنافی، ۱۴۰۱). برای برون‌رفت نسبی از این بحران باید با گزینش راهبرد ملی و اجرای دقیق آن در سطوح مدیریت آب، تا حد ممکن از پیامدهای این بحران کاست (سپاس خواه، ۱۴۰۰).

منابع آب زیرزمینی در کشور بعنوان یکی از منابع مهم برای تأمین آب مورد نیاز در کشاورزی، شرب و صنعت است. برآورد حجم برداشت مجاز و پایدار آب‌های زیرزمینی برای هر منطقه بستگی به عامل‌های محلی ویژگی‌های آبخوان، کیفیت آب، ویژگی‌های خاک زمین‌های کشاورزی، اقلیم و شرایط محیط‌زیست منطقه دارد که با توجه به اندازه‌گیری عامل‌های مختلف، قابل بررسی می‌باشد. برآورد بیلان به روش‌های مختلف شامل مدل‌های آب زیرزمینی و نوسان‌های سطح ایستابی صورت می‌گیرد. بررسی کاربرد این روش‌ها برای دشت‌های کشور نشان می‌دهد که روش‌های حاضر برای برآورد بیلان آب زیرزمینی، زیاد قطعیت نداشتن حتی تا چند برابر را به همراه دارد (کتابچی و محمودزاده، ۱۳۹۷). برای حفظ و استفاده پایدار از منابع آب، مدیریت علمی در مصرف آب و استفاده از فناوری‌های نوین، ضروری است. در منطقه‌های خشک یا منطقه‌های کوهستانی، به دست آوردن تغییرپذیری منابع آب‌های زیرزمینی از چاه‌ها دشوار است، زیرا چاه‌های مشاهده‌ای محدود هستند (Cao *et al.*, 2015). در این راستا، استفاده از داده‌های ماهواره GRACE برای تعیین تغییر منابع آب زیرزمینی برای شناخت مقدار مصرف ذخیره‌های آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارد.

به تازگی با استفاده از ماهواره GRACE می‌توان تغییر جرم لایه سطحی زمین یا تغییر ذخیره آب سطحی، برف، رطوبت خاک و آب زیرزمینی را برآورد کرد. این ماهواره توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا[1] و مرکز هوا فضای آلمان[2] از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ و از سال ۲۰۱۸ تاکنون نیز ماهواره GRACE-FO با موفقیت واسنجی‌شده و تغییر جرم ماهانه لایه سطحی زمین را برآورد می‌کند. با بهره‌گیری از ارسال موج‌های ماکروویو بین دو ماهواره، فاصله بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود که بر پایه آن تغییرهای میدان گرانش زمین و در نتیجه تغییر جرم لایه سطحی زمین برآورد می‌شود. در واقع از تغییر جرم لایه سطحی زمین، تغییر ذخیره آب برآورد می‌شود. از سال ۲۰۰۲ تغییرهای ماهانه ذخیره یخ‌های قطبی و یخچال‌های طبیعی، ذخیره‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین تغییر ارتفاع سطح دریاها با استفاده از ماهواره GRACE پایش شده‌است و از زمان راه‌اندازی GRACE-FO نیز تغییرهای ذخیره آب در لایه سطحی زمین در واکنش به تأثیر گرمای شدید و خشکسالی در اروپا و استرالیا و همچنین رخدادهای بارندگی شدید در ایالات متحده آمریکا و خاورمیانه و شدت کاهش جرم یخچال‌های گرینلند، همگی با موفقیت برآورد شدند (Landerer *et al.*, 2020). نتایج کاربرد ماهواره GRACE در منطقه‌های مختلف دنیا به ویژه در خاورمیانه نشانگر درستی بالای داده‌های ماهواره GRACE می‌باشد (Vishwakarma *et al.*, 2018; Landerer *et al.*, 2020; Hasan *et al.*, 2021; Panday & Kumar, 2023;) در ایران نیز نتایج کاربرد داده‌های ماهواره GRACE توسط رحیمی‌زاده و بزرگ حداد (۱۳۹۷) نشان داد که طرح‌های انتقال آب بین استان‌ها، مشکل‌های تأمین آب را از استان‌های مرکزی و شرقی به سمت استان‌های غربی و شمالی تشدید می‌کنند. روند کاهش ذخیره آب زیرزمینی به‌دست آمده از داده‌های ماهواره GRACE و هماهنگی آن‌ها با داده‌های اندازه‌گیری‌شده کاهش سطح ایستابی برای دوره خشکسالی ۱۳۸۴ تا اسفند ۱۳۹۰ در شش حوضه اصلی ایران شامل خزر، خلیج فارس و دریای عمان، ارومیه، مرکزی، هامون و سرخس

1. National Aeronautics and Space Administration (NASA)
2. German Aerospace Center (DLR)

مشخص شده است (Forootan *et al.*, 2014). همچنین، نشان داده شده است که مقدار اندازه‌گیری‌شده فرونشست زیاد در برخی از منطقه‌های کشور (بیش از چند دسی‌متر در سال) با مقدار کاهش شدید آب زیرزمینی برآوردشده با ماهواره GRACE هماهنگی دارد (Hinderer *et al.* (2020).

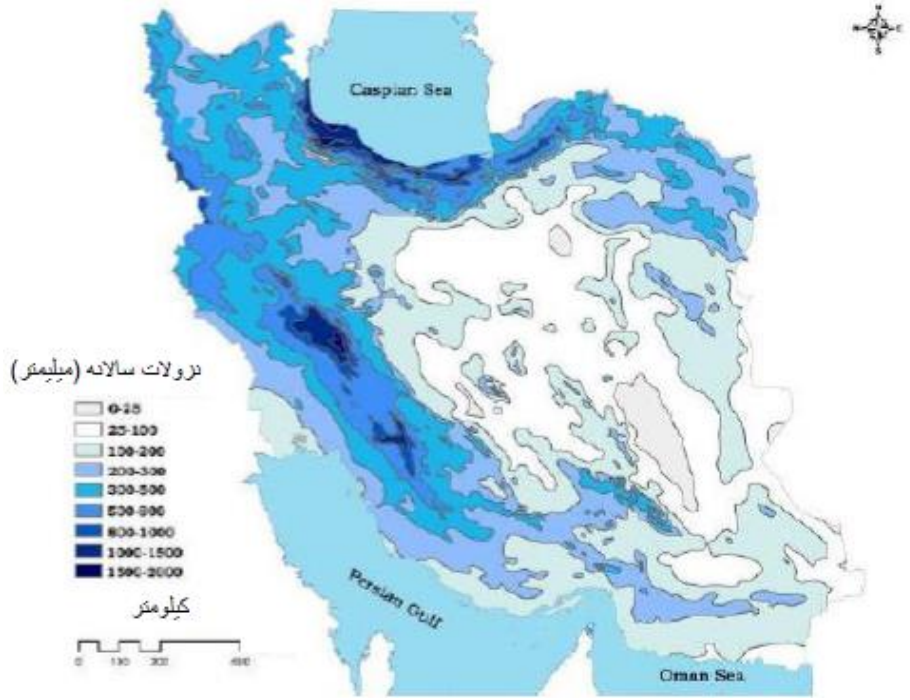
هدف‌های پژوهش حاضر شامل برآورد تغییر سالانه آب‌های زیرزمینی ایران، برآورد مقدار تجمعی آب زیرزمینی تخلیه‌شده از آبخوان‌های کشور با استفاده از نتایج ماهواره GRACE /GRACE-FO، ارائه مقدار کاهش تدریجی مصرف آب کشاورزی برای ممانعت از مصرف ناپایدار آن و بررسی دشواری‌های ناشی از کاهش مصرف آب در ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بررسی نتایج بیلان آب در ایران

حدود ۹۸٪ از مساحت ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که مرداد ماه و دی ماه به‌ترتیب، به‌عنوان خشک‌ترین و مرطوب‌ترین ماه‌های سال به شمار می‌روند (Mesgaran *et al.*, 2017). برابر شکل ۱، مقدار سالانه میانگین بارش در ایران از ۱۳ میلی‌متر در مرکز کویر لوت تا ۲۰۰۳ میلی‌متر در جنوب غربی دریای خزر متغیر است (Khalili & Rahimi, 2018). مقدار منابع آب تجدیدپذیر کشور از ۱۳۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۷۳ به حدود کمتر از ۱۰۹ میلیارد متر مکعب در آخرین بیلان منابع آب کشور تا پایان سال آبی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ و در سال ۱۳۹۹ به ۹۲/۷ میلیارد متر مکعب رسیده است که به ترتیب ۶۲/۷ میلیارد متر مکعب و ۴۴/۲ میلیارد متر مکعب را برای آب تجدیدپذیر سطحی و زیرزمینی منظور نمودند (اسدی و همکاران، ۱۴۰۰).

در بررسی استفاده پایدار از منابع آب در ایران، می‌توان با اندازه‌گیری عامل‌های مختلف مانند ویژگی‌های هیدرولیک آبخوان شامل ضریب‌های ذخیره و هدایت هیدرولیکی اشباع، ضخامت سنگ کف، ارتفاع سطح ایستابی، بارندگی، تبخیر-تعرق واقعی از سطح حوضه، جریان‌های ورودی و خروجی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین مقدار آب پمپاژشده از چاه‌ها، مقدار تغییر آب آبخوان را برآورد کرد. از آن‌جا که بیشتر این عامل‌های اندازه‌گیری نمی‌شوند و تغییرپذیری مکانی زیادی نیز دارند، در برآورد مقدار آب ذخیره‌شده با روش بیلان در حوضه‌های بزرگ، خطای زیادی به وجود می‌آید. در بررسی گزارش‌های بیلان در دشت‌های کشور مشخص شد که برآورد بیلان آب زیرزمینی با روش‌های موجود و بدون اندازه‌گیری مقدار تغذیه و تخلیه از آبخوان، ضریب آب برگشتی کشاورزی، ضریب ذخیره آبخوان و حتی آب‌های محاسبه‌نشده برداشت‌های غیرمجاز، موجب نبود قطعیت زیادی -تا چند برابر مقدار واقعی- می‌شود (کتابچی و همکاران، ۱۳۹۷). برآورد اشتباه مقدار آب موجود در آبخوان‌ها و تغییر آن نسبت به زمان، موجب مدیریت نادرست منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. در ایران در بیشتر آبخوان‌ها، مقدار آب پمپاژ شده اندازه‌گیری نمی‌شود، اما خوشبختانه ژرفای سطح ایستابی و کیفیت آب به صورت ماهانه گزارش می‌شود. با بررسی نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری ارتفاع سطح ایستابی می‌توان وجود شرایط ناپایدار کاهش سطح ایستابی و کم‌شدن منابع آب‌های زیرزمینی را نشان داد. به هر حال، با توجه به نداشتن مقدار آب پمپاژشده نمی‌توان مقدار بیش‌برداشت را به درستی برآورد کرد.

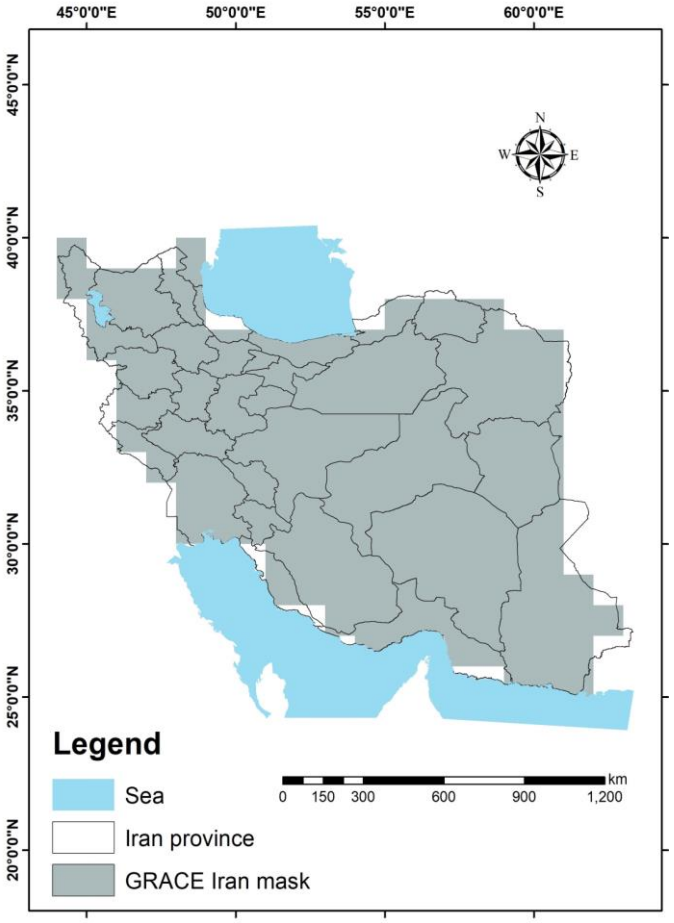


شکل ۱- نقشه هم‌بارش میانگین بارندگی‌های سالانه ایران (Khalili & Rahimi, 2018).

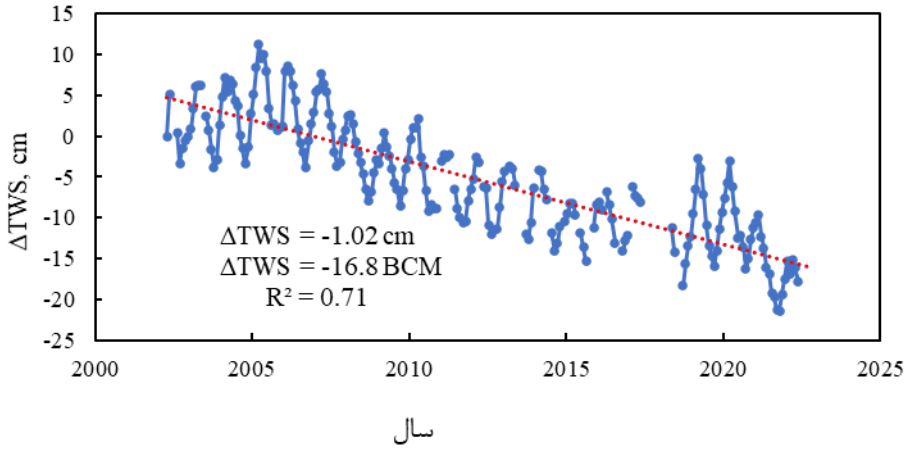
استفاده از داده‌های ماهواره GRACE برای برآورد برداشت آب زیرزمینی در ایران

داده‌های ماهواره GRACE تغییرهای ذخیره کل آب[1]را بصورت یک سیستم ذخیره‌سازی یکپارچه عمودی نشان می‌دهند که از آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، رطوبت خاک، آب برف و آب زیستی تشکیل شده است. از این‌رو، داده‌های این ماهواره را می‌توان در تکمیل داده‌های اندازه‌گیری‌شده و برای پرکردن کمبودها در مقیاس مکانی و زمانی و یا جایگزینی آن‌ها در منطقه‌های بدون اطلاعات، استفاده کرد(Miro & Famiglietti, 2018). داده‌های ماهواره GRACE به‌صورت شبکه‌ای در مقیاس زمانی ماهانه با دقت مکانی °1×1° در طول و عرض جغرافیایی تولید می‌شوند. در پژوهش حاضر، داده‌های تولیدشده در مرکز پژوهش‌های فضایی[2] مورد استفاده قرار گرفت. داده GRACE/GRACE-FO از پایگاه https://podaac.jpl.nasa.gov/GRACE دریافت شد. به منظور استخراج داده‌ها در محدوده جغرافیایی ایران، تصویر ماسک کشور تهیه شد (شکل ۲). می‌توان مقدار تغییرهای ژرفای آب معادل موجود در سلول‌های با فاصله‌های یک درجه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ و از سال ۲۰۱۷ تاکنون را بدست آورد. به علت تغییرهای زیاد در کاهش ارتفاع سطح دریای خزر در شمال و تغییرهای اندک در افزایش ارتفاع سطح آب دریای عمان و خلیج فارس تلاش شد تا این سطح‌های آبی تداخلی با سلول‌های گزینش شده نداشته باشند. در شکل ۳ میانگین تغییرهای ژرفای آب معادل از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ نشان داده شده است. با شروع بارش‌ها در آغاز پاییز تا بهار به جرم آب موجود در ایران اضافه می‌شود و سپس با کاهش بارش‌های جوی تا ابتدای پاییز به علت تبخیر- تعرق حاصله، از جرم آب موجود کاسته می‌شود.

1. Total Water Storage (ΔTWS)
2. U. Texas / Center for Space Research (CSR)



شکل ۲- ویژگی‌های تصویر ماسک کشور ایران برای دریافت تغییرهای کل آب ذخیره‌شده.



۳- شکل تغییر ژرفای کل آب معادل (ΔTWS) در ایران.

نتایج

برآورد مقدار کاهش ذخیره آب زیرزمینی در ایران

همانطور که در شکل ۳ نشان داده می‌شود، به دلیل زیادبودن مقدار قابل توجه تبخیر-تعرق واقعی از مقدار بارش‌های جوی در ایران، میانگین روند منفی تغییر با مقدار۱/۰۲- سانتیمتر در سال (۱۶/۸- میلیارد متر مکعب در سال)، نشانگر کاهش شدید و نجومی کل منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد.

داده‌های GRACE منبع با ارزشی برای بررسی تغییر آب در لایه سطحی زمین (ΔTWS) می‌باشد و بصورت مجموع تغییره آب ذخیره‌شده در لایه سطحی زمین بصورت زیر بیان می‌شود:

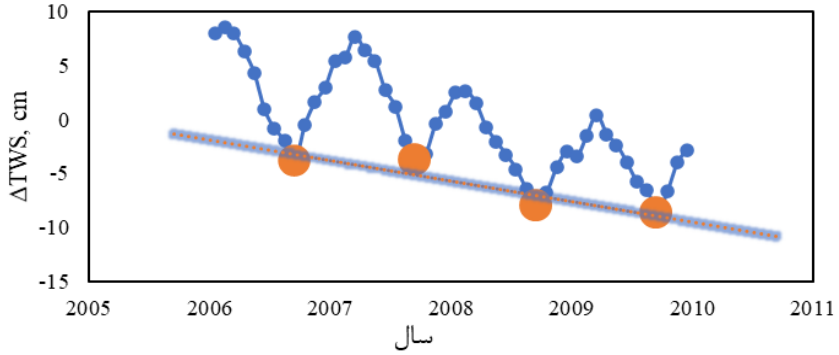
$$\Delta TWS = \Delta SWS + \Delta SMS + \Delta GWS + \Delta SNS$$ معادله ۱

که در آن ΔSWS :تغییر ماهانه آب سطحی، ΔSMS: تغییر ماهانه ذخیره رطوبت خاک، ΔGWS : تغییر ماهانه ذخیره آب زیرزمینی و ΔSNS نشانگر تغییرهای ماهانه پوشش برف است. با برآورد بارش‌های جوی و تبخیر-تعرق واقعی ماهانه، با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و اندازه‌گیری یا برآورد ماهانه مقدار تغییر آب سطحی ΔSWS و برف ΔSNS، مقدار تغییرها در ذخیره آب زیرزمینی (ΔGWS) را می‌توان از معادله ۱ برآورد کرد (Xanke & Liesch, 2022). از آن‌جا که داده‌های GRACE نشانگر شبکه‌های ۱×۱ درجه می باشد، در مساحت‌های کمتر از۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع ممکن است نتایج نادرست باشند. روند تغییر ΔGWS در کشورهای اروپا و خاورمیانه با برآورد ΔSWS، ΔSMS و ΔSNS در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ برآورد شده است (Xanke & Liesch, 2022).

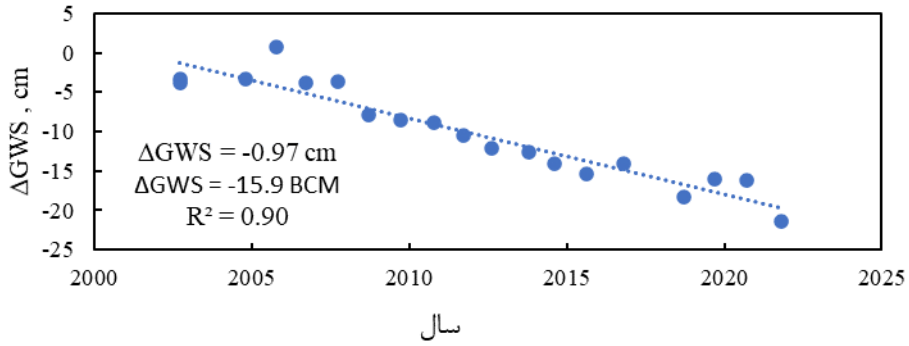
در منطقه‌های خشک و نیمه خشک به علت کم‌بودن بارش‌های ماهانه و تلف‌شدن بیشتر آن به صورت تبخیر-تعرق از سطوح حوضه‌ها و خطای زیاد در برآورد آن، ممکن است در برآورد تغذیه آب‌های زیرزمینی خطای زیادی به وجود آید. در پایان سال آبی، با تبخیر رطوبت خاک سطح زمین، از بین رفتن ذخیره‌های برف و کم‌شدن ذخیره‌های آب سطحی، جرم کل آب موجود به کمترین مقدار خود می‌رسد که تغییر این جرم آب با مقدار آن در سال پیش (ΔTWS_y) را برپایه معادله ۱ می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\Delta GWS_y = \Delta TWS_y - \Delta SWS_y - \Delta SMS_y - \Delta SNS_y$$ معادله ۲

که در آن ΔSWS_y : تغییرهای سالانه آب سطحی، SMS_y: تغییر سالانه ذخیره رطوبت خاک، ΔGWS_y :تغییر سالانه آب زیرزمینی و ΔSNS_y: تغییر سالانه پوشش برف است. در شرایط آب و هوایی ایران می‌توان با خطای کمی از تغییر سالانه ΔSNS_y، ΔSMS_y و ΔSMS_y در پایان سال آبی صرف نظر کرد و مقدار تغییرسالانه ذخیره آب زیرزمینی (ΔGWS_y) را برابر تغییر مقدارهای کمینه (دوسال مورد نظر) ΔTWS_y در نظرگرفت. برابر شکل ۴، در سال‌های کم بارش که بخش زیادی از مخزن‌های سطحی خالی می‌شوند این فرضیه دقت بیشتری دارد، اما برابر شکل ۵ برای سال‌های پربارش، خطا اندکی افزایش می‌یابد. برابر شکل ۵، مقدار روند تغییر آب‌های زیرزمینی برابر ۰/۹۷- سانتیمتر در سال (۱۵/۹- میلیارد متر مکعب در سال) می‌شود که قدر مطلق آن کمتر از کل تغییر آب برابر شکل ۳ (۱/۰۲- سانتیمتر یا-۱۶/۸- میلیارد متر مکعب در سال) می‌شود.



شکل ۴- تغییر ماهانه ژرفای معادل آب (ΔTWS) و نمایش روند تغییرکمینه آن برای تغییرهای سالانه (●) در سال‌های کم بارش (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰) در ایران.



شکل ۵- روند تغییرهای سالانه ژرفای معادل آب آب‌های زیرزمینی (ΔGWS) در ایران.

بحث

در مقایسه با مقدار میانگین تغییرهای زیاد ΔGWS در ایران (۰/۹۷- سانتیمتر در سال)، با استفاده از رابطه ۱ میانگین تغییرهای ΔGWS در دیگر کشورهای خاورمیانه برای عراق ۰/۸۸-، سوریه ۰/۶۰-، کویت ۰/۷۵-، اردن (۰/۴-، ترکیه ۰/۳- و عربستان سعودی ۰/۳۹- سانتیمتر در سال برآورد شده است (Xanke & Liesch, 2022). همچنین برای کشورهای اروپای غربی، مرکزی و شرقی بیشترین کاهش به ترتیب در سوئیس ۰/۵۷-، مجارستان ۰/۵۷- و اتریش ۰/۵۱- سانتیمتر در سال‌گزارش شد. کشورهای منطقه بالکان نیز روندهای منفی میانگین را از خود نشان می‌دهند که از اسلوونی ۰/۴۷ تا روندهایی با شدت کمتر در مقدونیه شمالی ۰/۱۹- سانتیمتر در سال است. در جنوب اروپا، وضعیت دوسویه است و روندهای منفی به نسبت شدید در ایتالیا ۰/۲-و روند منفی ضعیف در اسپانیا ۰/۰۳- و یونان ۰/۰۱ - سانتیمتر در سال را برآورد کردند.

به دلیل نبود تعادل بین آب تجدیدپذیر در منطقه‌های مختلف کشور و مصرف بسیار زیاد آن، لازم است برای رسیدن به شرایط پایدار، مصرف آب به‌صورت متناسب در هر منطقه کاهش یابد. با افزایش بهره‌وری و راندمان آبیاری نمی‌توان تأثیرهای مخرب مصرف زیاد آب‌های تجدیدپذیر کشور را کنترل کرد. اگرچه در سیستم‌های نوین آبیاری، به مقدار چشمگیری در مصرف آب در سطح کشتزار صرفه‌جویی می‌شود، اما اثربخشی کلی آن‌ها در کاهش مصرف آب در سطح حوضه و در کل کشور کم است و آب صرفه‌جویی‌شده به صورت‌های مختلف مصرف می‌شود.

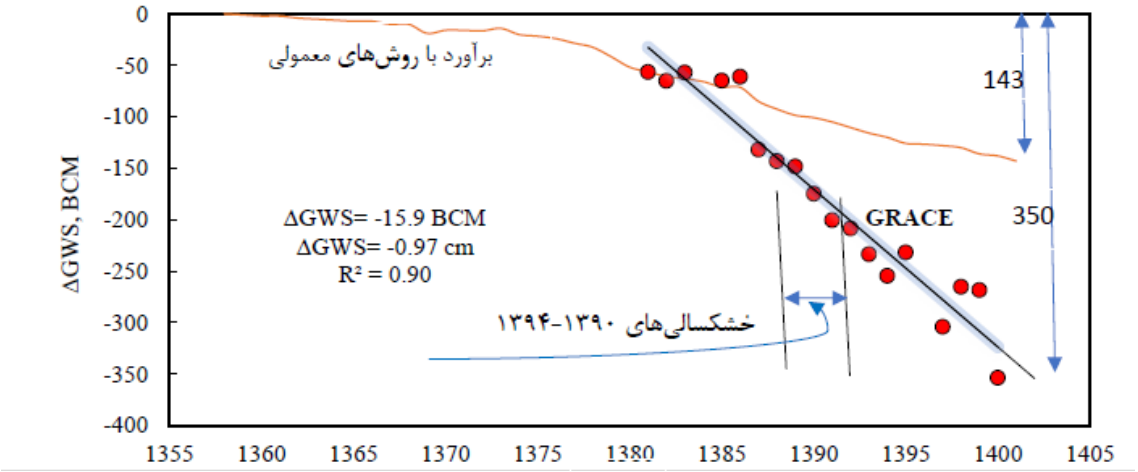
با وجود حمایت از کاشت محصول‌های زمستانه مانند گندم، افزایش تولید علوفه و محصول‌های تابستانه رشد بیشتری داشتند. میانگین تولید گندم در ایران در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ حدود ۸ میلیون تن بوده است و در مقایسه با میانگین تولید ۱۱ میلیون تن در سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ حدود ۱۲٪ رشد داشته است و در همین مدت تولید ذرت سیلویی و محصول‌های تابستانه به ترتیب ۷۰۰٪ و ۲۰۰٪ رشد داشته‌اند (بی نام، ۱۳۹۲). حتی در مقایسه سطح زیر کشت گندم آبی با برنج، سطح زیر کشت گندم آبی نیز در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۲ رشدی معادل ۲/۵٪ در سال داشته است، امادر مقایسه آن در این مدت سطح زیر کشت برنج به عنوان یک محصول پرمصرف، رشدی برابر ۳/۲۵٪ در سال داشته است (زارع فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۵). روند افزایش سطح کشت این محصول‌های پرمصرف، به علت آب مصرفی زیاد، پیامدهای ناگواری بر منابع آبی ایران تحمیل کرده است. بنابراین، مقدار آبی که می‌توان از راه بهبود مدیریت و ارتقاء سیستم‌های آبیاری و ترویج کاشت گیاهان کم‌مصرف و زمستانه صرفه جویی کرد، در مقایسه با مقدار فراوان آبی که لازم است برای کاهش بحران صرفه‌جویی نمود، بسیار ناچیز می‌باشد. با توجه به این موارد، لازم است همزمان با بهبود مدیریت آب در مزرعه، برای ارتقای سیستم‌های آبیاری و افزایش بهره‌وری آب برای کاهش تدریجی استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی، اقدام کرد.

مقدار کاهش مصرف آب در ایران

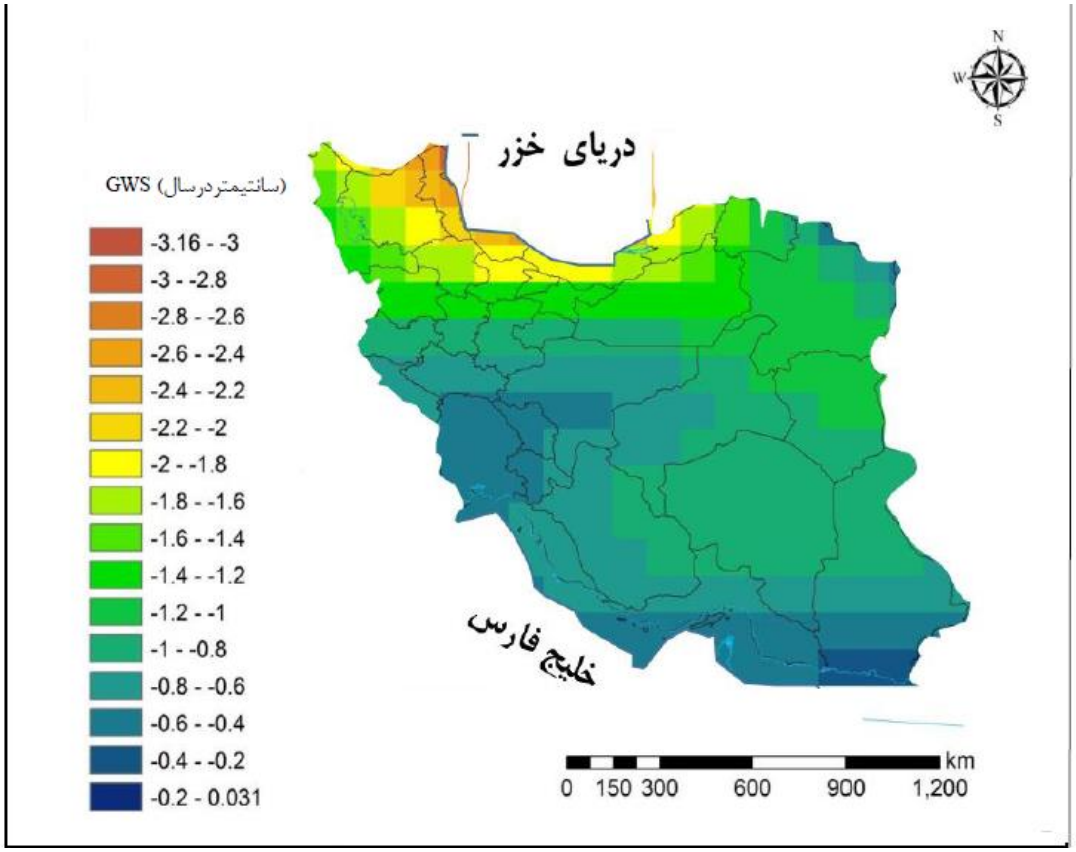
برابر نتایج واکاوی ماهواره GRACE مقدار تخلیه سالانه از ذخیره منابع آب‌های زیرزمینی در ایران حدود ۱۵/۹۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که این عدد به اشتباه در گزارش‌های مختلف برابر ۴/۷ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است (اسدی و عبدالمنافی، ۱۴۰۱). با استفاده از نتایج ماهواره GRACE، کسری مخزن آب‌های زیرزمینی در سال ۱۴۰۱ برخلاف مقدار گزارش‌شده یعنی ۱۴۳ میلیارد مترمکعب، به بیش از ۳۵۰ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (شکل ۶). برابر شکل ۷، روند کاهش سالانه کمینه ژرفای معادل آب‌های زیرزمینی (سانتی‌متر درسال) به دست آمده از داده‌های ماهواره GRACE در قسمت‌های مختلف ایران نشان داده شده‌است. برابر شکل ۷، روند منفی منابع آب‌های زیرزمینی در همه منطقه‌های کشور در دوره ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ مشخص می‌شود. در استان‌های شمالی و شمال غربی و حتی شمال شرقی، ذخیره آب‌های زیرزمینی با مقدار خیلی زیادی (بیشتر از ۱/۲ تا ۲/۵ سانتی‌متر در سال) نسبت به استان‌های جنوبی کشور کاهش می‌یابد. بیشتر بودن نرخ کاهش کل منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در استان‌های شمالی و غربی کشور نیز توسط رحیمی‌زاده و بزرگ‌حداد (۱۳۹۷) در دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ بیان شده بود. بیشترین روند میانگین منفی ذخیره آبهای زیرزمینی در کشورهای مجاور و خاورمیانه را Xanke, & Liesch (2022) با استفاده از معادله ۱ برای عراق (۰/۸۸- سانتیمتر در سال) برآورد شده است (Xanke, & Liesch, 2022). در منطقه Wadi As-Sirhan در شمال عربستان سعودی (ناحیه کشاورزی گسترده با آبیاری عقربه‌ای)، مقدار روند کاهش ΔTWS برابر ۱/۳۸- سانتیمتر در سال برآورد شد (Alshehri & Mohamed, 2023). در این منطقه، با حذف ذخیره‌های برف و آب سطحی به شرح زیر:

$$\Delta TWS = \Delta SMS + \Delta GWS$$ معادله ۳

با برآورد بارندگی و تبخیر-تعرق واقعی منطقه با استفاده از روش سنجش از دور، مقدار ΔSMS برابر ۰/۰۰۰۸+ سانتیمتر در سال و مقدار ΔGWS برابر سانتیمتر در سال ۱/۳۸- برآورد شد (Alshehri & Mohamed, 2023).



شکل ۶- برآورد تغییرهای ذخیره آب‌های زیرزمینی (ΔGWS) با استفاده از بیلان منابع آب و داده‌های GRACE.



شکل ۷- روند کاهش سالانه کمینه ژرفای معادل آب‌های زیرزمینی (GWS) به دست آمده از داده‌های ماهواره GRACE در قسمت‌های مختلف ایران.

با توجه به شرایط بحرانی کنونی مصرف آب‌های زیرزمینی، مشکل زیادی مانند فرونشست‌ها و فروچاله‌ها، کاهش شدید جریان‌های چشمه‌سارها و جریان‌های سطحی، از بین رفتن جنگل‌ها و مرتع ها، از بین رفتن گونه‌های کمیاب 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 و دیگر موردها، لازم است که بخش چشمگیری از مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی را کاهش داد.

در گزارش مظاهری (۱۴۰۲) در بررسی بیلان آب زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز درجه یک کشور، مقدار کل کاهش سالانه منابع آب‌های زیرزمینی ایران ۵/۸۶ میلیارد مترمکعب یا ۰/۳۶- سانتی متر گزارش شده‌است. مطابق شکل ۸، مقدار کاهش منابع آب‌های زیرزمینی در واحد سطح در همه حوضه‌های درجه یک تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند. در حوضه‌های دریاچه ارومیه و دریای مازندران، مقدارهای سالانه کاهش آب‌های زیرزمینی با کمترین مقدار، به ترتیب برابر ۰/۰۹ و ۰/۱۰ سانتی‌متر در سال برآورد شده‌اند که حتی کمتر از مقدار به دست‌آمده در بسیاری از کشورهای اروپایی مانند ایتالیا و فرانسه است. مطابق شکل ۸ این مقدار در حدود ۲۰ برابر کمتر از مقدار به دست آمده از واکاوی داده‌های GRACE برآورد شده‌اند.

حوضه درجه ۱	بیلان (MCM)	GWS cm
دریای مازندران	-180	-0.10
خلیج فارس و دریای عمان	-849	-0.20
دریاچه ارومیه	-46	-0.09
فلات مرکزی	-4251	-0.51
هامون	-176	-0.17
سرخس	-356	-0.81
کل ایران	-5858	-0.36

شکل ۸ – کاهش سالانه آب‌های زیرزمینی حوضه‌های آبریز درجه‌یک کشور (مظاهری،۱۴۰۲).

برداشت متعادل آب در ایران

بر اساس گزارش اسدی و همکاران (۱۴۰۰) مقدار سالانه آب‌های تجدیدپذیر زیرزمینی و سطحی به ترتیب برابر ۴۴/۲ و ۶۵/۷ میلیارد متر مکعب و کل آب‌های تجدیدپذیر در مجموع برابر ۱۰۹/۹ میلیارد متر مکعب برآورد شده است. در جدول ۱، با در نظر گرفتن بیش‌برداشت سالانه آب‌های زیرزمینی (۱۵/۹ میلیارد متر مکعب)، مقدار آب

تجدیدپذیر برابر ۹۳ میلیارد متر مکعب برآورد می‌شود که بدون منظور کردن هیچ کاهشی در مقدار آب شرب و صنعت، مقدار کاهش برداشت آب کشاورزی تا حد بحران شدید (۶۰٪ آب تجدیدپذیر) برابر ۳۶/۳ میلیارد متر مکعب یا ۴۴٪ مصرف آب کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

در ایران، برای متعادل کردن مصرف آب، در عمل از کاهش مصرف آب پرهیز شده است و در واقع، با ساخت سدهای زیاد و حفر فراوان چاه‌ها، آب بیشتری از سهمیه محیط‌زیست مصرف شده است. با تشویق روش‌های آبیاری زیر فشار تا حدودی برای بهبود بهره‌وری آب تلاش شده است، اما بدون کنترل فیزیکی و جدی آب توسط سازمان‌های مسئول دولتی، استفاده از این سیستم‌ها در سطح حوضه به افزایش مصرف آب انجامیده است.

جدول ۱- مقدارهای برآورد و درصد برداشت آب مطابق گزارش (اسدی وهمکاران، ۱۴۰۰) با آب تجدیدپذیر ۱۰۹/۹ میلیارد مترمکعب در سال و مقدارهای بدست‌آمده با منظور کردن بیش‌برداشت سالانه آب‌های زیرزمینی (۱۵/۹ میلیارد مترمکعب) و آب تجدید پذیر ۹۴/۰ (میلیارد مترمکعب).

نوع مصرف	برداشت*	درصد*	مصرف مجاز+	کاهش مصرف	درصد کاهش
	(BCM)	(%)	(BCM)	(BCM)	(%)
کشاورزی	82.0	88.5	45.7	36.3	44
شرب و بهداشت	8.3	9.0	8.3	0.0	0
صنعت	2.4	2.6	2.4	0.0	0
مجموع	92.7	100	56.4	36.3	

BCM : میلیارد مترمکعب

* مطابق گزارش اسدی وهمکاران، (۱۴۰۰)

+ مقدارهای بدست‌آمده با منظور کردن بیش‌برداشت سالانه آب‌های زیرزمینی (۱۵/۹ میلیارد مترمکعب) و آب تجدیدپذیر ۹۴/۰ (میلیارد مترمکعب)

با توجه به اهمیت مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در ایران، لازم است عامل‌های مختلف بیلان آب در آبخوان هر منطقه اندازه‌گیری و برای مدیریت نوسان سطح آب زیرزمینی، مقدار برداشت آب کنترل گردد. برای نمونه عزیزی و نجاتیان (۱۳۹۹)، با اندازه‌گیری ورودی‌ها و خروجی‌های آبخوان دشت ورامین، به وسعت ۸۴۹ کیلومتر مربع، مقدار کسری آبخوان را برابر ۳۹/۵۹- میلیون متر مکعب در سال گزارش کردند. مقدار کاهش ژرفای آب زیرزمینی دشت ورامین با وسعت حوضه آبریز برابر ۱۷۲۰ کیلومتر مربع، برابر ۲/۳- سانتی‌متر در سال محاسبه می‌شود که برابر شکل ۷ قدر مطلق آن بیشتر از مقدار به دست آمده از برآورد با ماهواره GRACE (۱/۴- سانتیمتر در سال) برای سطوح بیشتر از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع می‌شود. بنابراین، بدون پژوهش در بیلان آب حوضه و اندازه‌گیری آب تحویلی به مصرف‌کنندگان نمی‌توان برای همه منطقه‌های ایران با شرایط مختلف اقلیمی مصرف آن را مدیریت کرد.

با توجه به بررسی‌های ارائه‌شده به نظر می‌رسد که:

- افزایش روند منفی کاهش آب‌های زیرزمینی گزارش شده پیشین از ۴/۷- به ۱۵/۹- میلیارد متر مکعب در سال می‌رسد و مقدار کاهش مصرف آب برای تعادل‌بخشی از ۲۶/۷ به ۳۶/۳ میلیارد متر مکعب در سال افزایش می‌یابد. این کاهش

باید به طور تدریجی انجام شود و هم‌زمان با کاهش تدریجی آب مصرفی با اندازه‌گیری مقدار برداشتی، دقت اطلاعات ارائه‌شده برای روند کاهش آب‌های زیرزمینی به‌روزرسانی شود.

- پیشنهاد می‌شود در یک برنامه ۱۰ ساله، سالانه ۱۰٪ مقدار کل بیش‌برداشت (حدود۳/۶ میلیارد متر مکعب) از مصرف آب کاسته شود.
- کاهش مصرف آب، دشواری‌های فراوانی از جمله کاهش قابل توجه تولیدهای کشاورزی، تأمین منابع ارزی برای واردات آن‌ها و گرانی شدید تولیدهای کشاورزی از جمله علوفه و محصول‌های تابستانه و تولیدهای دامی را در پی خواهد داشت.
- برای تعیین دقیق و زمان واقعی تغییرها و روند کاهش منابع آب‌های زیرزمینی در سطح دشت‌های کشور، ضروری است برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری لازم برای استفاده از فناوری‌های هوشمند در اندازه‌گیری و پایش فراسنجه‌های چرخه‌های آبی فراهم شود.
- با توجه به این‌که التزام به قانون یکی از اصول مهم حکمرانی آب در سطح ملی به شمار می‌آید، لازم است از هر نوع قانون‌گریزی در مدیریت منابع آب، به ویژه در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و افزایش آلودگی آن به طور جدی جلوگیری به عمل آید.
- یکپارچه کردن کانون‌های تصمیم‌گیر و سیاستگذار منابع آب کشور از الزام‌های جدی است که در شرایط فعلی، می‌تواند با تغییر ساختار، اقتدار و ارتقاء جایگاه شورای عالی آب با حضور قوای سه گانه، کاربران منابع و مصرف‌های آب و تاکید بر مشارکت جدی بهره‌برداران موثر بر و متاثر از منابع آب عملی شود تا ضمن هماهنگی درآمد و هزینه منابع آب کشور، سیاستگذاری، اجرا و نظارت و پایش فرایندها، از موازی کاری‌ها جلوگیری شود.
- تهیه آمار هوشمند و به هنگام منابع و مصرف آب، آموزش (و گفتگوی شفاف با) کاربران و آب‌بران، اطلاع‌رسانی شفاف در سطوح منطقه‌ای و محلی در زمینه سیاست‌ها و برنامه‌های منابع آب، شناسایی و آموزش و توجیه بهره‌برداران ، توجه به ارزش واقعی آب در بخش‌های مصرف، الزام به رعایت حقابه محیط زیست و بوم سامانه‌های آبی کشور، ارزیابی راهبردی مدیریت یکپارچه منابع آب کشور باید از الزام‌های برنامه باشد.
- با توجه به شرایط حاکم بر منابع آب کشور و حفظ حقوق نسل آتی و تاب‌آوری منابع آب برای تضمین امنیت غذایی و اجتماعی جامعه، ضرورت دارد تا نسبت مصرف‌ها به منابع آب تجدیدپذیر در سطحی قابل قبول تنظیم و حفظ شود.
- برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی، لازم است تا سازوکارهای مناسب برای فعال شدن ظرفیت مشارکت‌های مردمی، به عنوان یکی از ضروری‌ترین پایه‌های موثر بر حکمرانی آب، پیش‌بینی و اجرایی شود.
- برای اعتلای سطح آگاهی و ارشاد کشاورزان برای رسیدن به سطح مطلوب بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی، تهیه و اجرای برنامه‌های ترویج و آموزش کشاورزی ضرورت زیادی دارد.
- همزمان با کاهش برداشت آب‌های زیر زمینی، سرمایه‌گذاری برای توسعه کشت‌های گلخانه‌ای و سامانه‌های آبیاری موضعی برای افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط اقلیمی کشور مورد تاکید است.
- برای مقابله با دشواری‌های معیشتی کشاورزان بر اثر کاهش برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی، لازم است برنامه‌ریزی برای ایجاد شغل‌های جایگزین در روستاها صورت گیرد.

- با توجه به هدرروی چشمگیری تولیدهای کشاورزی به صورت ضایعات، لازم است تا برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری برای کاهش آن‌ها سازماندهی شود. لازم است تا تمرکز صنایع و جمعیت بر اساس آمایش سرزمین در ساحل‌های جنوبی کشور انجام شود.

نتیجه گیری

برآورد اشتباه مقدار آب موجود در آبخوان‌های کشور و تغییرهای آن نسبت به زمان، موجب مدیریت نادرست منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. با اندازه‌گیری تغییرهای ژرفای سطح ایستابی و روند کاهشی در کشور، مشخص می‌شود که از این منابع برداشت بیش از حد صورت می‌گیرد. با توجه به نبود اندازه‌گیری مقدار آب پمپاژ شده، مقدار بیش‌برداشت سالانه به اشتباه ۴/۷ میلیارد متر مکعب برآورد شد. با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE، با صرف نظر کردن از تغییرهای سالانه ΔSNS_y، ΔSMS_y و ΔSMS_y در پایان سال آبی، مقدار تغییرهای سالانه ذخیره آب زیرزمینی (ΔGWS_y) برابر تغییرهای سالانه ΔTWS_y برابر ۱۵/۹- میلیارد متر مکعب برآورد شد. با استفاده از نتایج ماهوار GRACE، کسری مخزن‌های آب‌های زیر زمینی در سال ۱۴۰۱ بر خلاف مقدار گزارش‌شده یعنی ۱۴۳ میلیارد متر مکعب، به بیش از ۳۵۰میلیارد متر مکعب برآورد شد.

برای متعادل کردن برداشت آب‌های زیرزمینی با مقدار تغذیه، لازم است سالانه به مقدار۳۶/۳ میلیارد متر مکعب در سال (۴۴٪ از آب کشاورزی) از سهمیه آب کشاورزی کم شود. برای موفقیت در این زمینه لازم است مصرف آب به صورت تدریجی در مدت ۱۰ سال، سالانه ۳/۶ میلیارد متر مکعب کاهش یابد و همزمان با کاهش تدریجی، با اندازه‌گیری مقدار برداشت آب، دقت اطلاعات ارایه‌شده برای روند کاهش مصرف به روز رسانی شود.

منابع

اسدی، مراد؛ مظاهری، مهدی؛ عبدالمنافی، نرجس. (۱۴۰۰). بررسی بحران آب و پیامدهای آن در کشور. دفتر مطالعات زیربنایی.

بی‌نام. (۱۳۹۲). بررسی آمار سطح برداشت و میزان تولید ۳۶ سال محصولات زراعی (سال ۱۳۵۷ لغایت ۱۳۹۲). مرکزفناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی. تهران – تهران.

اسدی، مراد؛ عبدالمنافی، نرجس. (۱۴۰۱). تشدید بحران منابع آب زیرزمینی و لزوم مدیریت مصارف. مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی، گروه آب.

رحیمی‌زاده، محمد رضا؛ بزرگ‌حداد، امید. (۱۳۹۷). بررسی اثرهای انتقال آب بین حوضه‌ای بر منابع آب ایران. *مجله پژوهشهای راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی* . ۳(۱) ،۴۲-۲۷.

زارع‌فیض‌آبادی، احمد؛ کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی. (۱۳۸۵). بررسی روند ۵۰ ساله تغییرات سطح زیر کشت، عملکرد و تولید غلات در کشور و پیش بینی وضعیت آینده. *مجله پژوهشهای زراعی ایران*،۴(۱): ۶۹-۴۹.

سپاس خواه، علیرضا. (۱۴۰۰). هشدار در مورد غیرقابل بازگشت بودن وضعیت منابع آب کشور. *مجله پژوهشهای راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی* ۶(۲) ،۲۰۵-۲۰۳.

عباسی، نادر؛ عباسی، فریبرز. (۱۳۹۹). سیمای منابع و مصارف آب ایران. وزارت جهادکشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی. کشاورزی.

عزیزی، حمیدرضا؛ نجاتیان، نیلوفر . (۱۳۹۹). محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت ورامین جغرافیا و روابط انسانی. ۳ (۳)۱۸۹-۲۰۴.

کتابچی، حامد؛ محمودزاده، داود. (۱۳۹۷). نقدی بر برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی در کشور ایران: راهکارها و پیشنهادها. معاونت پژوهشهای زیر بنایی و تولیدی، دفتر مطالعات زیربنایی.

مظاهری، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی بیلان آب زیر زمینی در حوضه های آبریز درجه یک کشور. گزارش ارائه شده به: مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی، گروه آب.

کشاورز، عباس؛ ملکیان، راحله؛ نژندعلی، عاطفه؛ بیگی، اعظم. (۱۴۰۰). تبیین وضعیت آب کشور، مجموعه اسناد مرتبط با سند ملی و راهبردی تحول امنیت غذایی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی.

Alshehri, F., & Mohamed A. (2023) Analysis of groundwater storage fluctuations using GRACE and remote sensing data in Wadi As-Sirhan, northern Saudi Arabia. *Water*. 15, 282.

Cao, Y., . Nan, Z., & Cheng, G. (2015) GRACE gravity satellite observations of terrestrial water storage changes for drought characterization in the arid land of northwestern China, *Remote Sensing*, 7(1), 1021–1047.

De Stefano, L., Fornés, J.M., López-Geta, J.A., & Villarroya. F. (2015) Groundwater use in Spain: an overview in light of the EU Water Framework Directive. 2015. *International Journal of Water Resources Development*. 31, (4), 640–656, http://dx.doi.org/10.1080/07900627.2014.938260.

Forootan, E., Rietbroek, R., Kusche, J., . Sharifi, M.A ,. Awange, J.L , Schmidt, M., Omondi, P., & Famiglietti, J. (2014) Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data. *Remote Sensing of Environment*. 140, 580–595.

Frisvold, G., C. Sanchez, N. Gollehon, S.B. Megdal, & P. Brown. (2018) Evaluating gravity-flow irrigation with lessons romYuma, Arizona, USA. *Sustainability . 10*, 1548; doi:10.3390/su10051548 .

Hasan, E., Tarhule, A.M., & Kirstetter, P.E. (2021) Twentieth and twenty-first century water storage changes in the Nile river basin from GRACE/GRACE-FO and modeling. *Remote Sensing*. 13, 953. https://doi.org/10.3390/rs13050953.

Hinderer, J. Saadat, A., Cheraghi, H., Bernard, J.D., Djamour, Y., Amighpey, M., Arabi, S., Nankali, H., & Tavakoli, F. (2020). Water Depletion and Land Subsidence in Iran Using Gravity, GNSS, InSAR and Precise Levelling Data. *International Association of Geodesy Symposia*, https://doi.org/10.1007/1345_2020_125.

Khalili, A. & Rahimi, J. (2018). *Climate, In: The soils of Iran (M.H. Roozitalab, H. Siadat, & A. Farshad)*, the First Edition, Springer International Publishing.

Landerer, F.W.' Flechtner, F.M., Save, H., Webb, F.H., Bandikova, T., Bertiger, W.I.,Bettadpur, S.V.. Byun, S.H., Dahle, C., & Dobslaw, H., (2020). Extending the global mass change data record: GRACE Follow- On instrument and science data performance. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL088306. https://doi.org/10.1029/2020GL088306.

Mesgaran, M. B., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2017). Iran's Land Suitability for Agriculture. *Scientific Reports* 7, 7670.

Miro, M. E., & Famiglietti, J. S. (2018). Downscaling GRACE remote sensing datasets to high-resolution groundwater storage change maps of California's Central Valley. *Remote Sensing*, 10(1), 143.

Panday, D.P., & Kumar, M. (2023) Application of remote sensing techniques to deal with scale aspects of GRACE data to quantify groundwater levels. *MethodX*. 10, 102108.

Vishwakarma, B.D., Devaraju, B., & N. Sneeuw, (2018) What Is the Spatial Resolution of GRACE satellite products for hydrology?. *Remote Sensing*. 10, 852;doi:10.3390/rs10060852.

Xanke, J., & Liesch, T. (2022) Quantification and possible causes of declining groundwater resources in the Euro-Mediterranean region from 2003 to 2020. *Hydrogeology Journal*. 30:379–400.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 9(1):19-34 (2024)

Gradual Reduction of Agricultural Water Withdrawal an Effective Step in Adapting to Water Scarcity in Iran

Zad-Parsa, S., Didari S. and Sepaskhah A.R.[1,2]

In recent decades, Iran has witnessed a noteworthy surge in agricultural water consumption due to population growth, economic development accompanied by irrigated agricultural lands, and changes in dietary habits. Unfortunately, the ratio of consumption to renewable water has consistently exceeded four times the threshold of water stress for several decades. A recent analysis of annual groundwater depletion using the GRACE satellite observations was estimated to be about 15.9 BCM/year, significantly higher than the previously estimated value of 4.7 BCM/year obtained using the conventional estimation methods. In fact, this research estimated that the accumulated depletion of groundwater supply in 2021 could be more than 350 BCM, contrary to the reported amount of 143 BCM. Despite the severity of the situation, water consumption in Iran has not been adequately reduced to balance the low recharge rate of its water resources. In fact, by building many dams and digging many wells, more water than the share of the environment has been consumed. To prevent environmental severe water stress or consumption of 60% of renewable water, a 44% reduction in agricultural water consumption is necessary. However, achieving this significant reduction in agricultural water consumption, it poses several social and economic challenges, such as gaining the consent and cooperation of farmers to participate in reducing water usage, ensuring accurate measurement of water delivery, securing sufficient foreign currency for importing agricultural products, creating alternative job opportunities for farmers, and leading to a significant increase in the price of agricultural products.

Keywords: Agricultural water, Drinking water, GRACE, Groundwater, Industrial water.

1. Corresponding author, Email: zandparsa@yahoo.com

2. Professor of Shiraz University (Invited Member of I.R. Academy of Sciences), Assistant Professor of Shiraz University and Professor of Shiraz University (Fellow of I.R. Academy of Sciences), respectively.