دوره‌ی۳۵، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۵، تابستان ۱۴۰۱، صفحه‌های ۸۷-۷۱
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.354544.1412

پژوهش‌های آبخیزداری

مقاله‌ی پژوهشی

CC BY

ارزیابی وضعیت امنیت آب در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی ایران

محمدعلی ذاکری
دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
سیدخلاق میرنیا
دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
حمیدرضا مرادی
(نویسنده مسئول)* استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
همراه: ۰۹۱۲۳۸۷۵۳۱۱

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: hrmoradi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۳۱ مرداد ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۷ آبان ۱۴۰۰

چکیده

از آن‌جا که ایران در کمربند خشک جهان است و تاکنون ارزیابی جامع و دقیقی از وضعیت امنیت آب در کشور نشده است، بررسی تغییرپذیری آن که یکی از متغیرهای مهم اثرگزار بر امنیت ملی است برای تدوین الگوهای مناسب مدیریتی مهم و اجتناب‌ناپذیر است. این پژوهش در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی که وسعت و جمعیت آن زیاد است اجرا شد. هشت زیرشاخص مهم سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر، شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب، بهره‌وری آب، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب، کیفیت آب، دست‌رسی به آب آشامیدنی، و مدیریت آلودگی و بازچرخانی آب، تغییر پهنه‌ی پوشش سبز و پهنه‌های آبی بزرگ در دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله با فاصله‌ی زمانی ۵ ساله (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵) به‌کار گرفته‌شد. نتیجه‌ی اندازه‌های به‌دست آمده برای امنیت آب در سال‌های پژوهش ۰/۳۵۶، ۰/۳۳۰، ۰/۳۶۳، ۰/۲۹۱ و ۰/۲۹۱ واحد برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، و میانگین آن در بیست سال پژوهش ۰/۳۲۶ واحد بود. اولویت بندی عامل‌های مؤثر بر امنیت آب نشان داد که بیش‌ترین اندازه‌ی اثرگزاری بر امنیت آب از سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر و شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب بود. لازم است با کاربرد مدیریت پایدار بر اندوخته‌های آبی، ضمن درنظر گرفتن بایدهای سیاسی، اجتماعی و اقتصادی و توجه دادن نهادهای اجرایی و قانون‌گزار به امنیت آب برای روی‌کرد به آن در افزایش دادن امنیت ملی، تعادل مناسبی در بهره‌گیری از اندوخته‌های آبی و بهبود امنیت آب، و پی‌رو آن امنیت ملی ایجاد شود.

واژگان کلیدی: امنیت ملی، توسعه‌ی پایدار، دیپلماسی آب، سیاست آب، مدیریت جامع اندوخته‌های آب، اقتصادی-اجتماعی

مقدمه

گسترش شهرنشـــینی و تمرکز جمعیت سبب نیاز به داشته‌ها و اندوخته‌های گوناگونی می‌شـــود کـــه آب مهم‌ترین یا یکی از مهم‌ترین آن‌ها اســـت. این نیاز که بـــا توزیع ناهمگون زمانی و مکانـــی اندوخته‌های آبی و بارندگی‌ها در جهان همراه اســـت، سبب به‌وجود آمدن تنش‌های پرشماری در تأمین اندوخته‌های آبی شـــده اســـت (مرادی و همکاران ۲۰۱۱). بـــه این ترتیب امنیت آب چالشی نوظهور در امنیت است که بر محیط‌زیست، سیاست، اقتصاد و اجتماع مهم و اثرگزار شده، و به‌خصوص در دو دهه‌ی گذشـــته توجه ویژه‌یی به آن شده است (وُرُزمارتی و همکاران ۲۰۲۱).

امنیت آب تراز تحمل‌شدنی از خطرهای مربوط به آب برای جامعه اســـت (گِری و همکاران ۲۰۱۳). از دیدگاه برنامه‌ی مشـــارکت جهانی آبَ (۲۰۰۰)، امنیت آب هدفی اساسی تعریف شده است که در آن هر فرد باید به اندازه‌ی کافی و با قیمت مناسب به آب سالم برای زندگی پاک، سالم، مولد و تضمین‌کننده‌ی حفاظت و بهبود محیط‌زیســـت دست‌رسی داشـــته باشد. امنیت آب به معنی دست‌رســـی به کمیت و کیفیتـــی پذیرفتنی از آب برای تن‌درســـتی، گذران زندگی، نیازهای زیست‌بوم، و تولید همراه بـــا ترازی پذیرفتنی از خطرهای مربوط به آب برای جامعه‌های انســـانی، محیط‌زیست و اقتصاد اســـت. تأمین امنیت آب برای رفاه مردم، کشاورزی، انرژی و دیگر بخش‌ها حیاتی است، و به همین دلیل یکی از چالش‌های عمده‌ی قرن بیســـت و یکم از دید علمی، اجتماعی و سیاســـی است (گِری و سادوف ۲۰۰۷). بولنز و ســـیمن (۲۰۱۴) نیز امنیت آب رَا دست‌رسی پایدار به اندازه‌های کمی و کیفی مناســـب برای جامعه و زیســـت‌بوم در برابر تغییرهای جهانی نامشخص تعریف کرده‌اند.

یکی از مهم‌ترین عامل‌ها در توســـعه‌ی هر کشور اندوخته‌های آبی آن اســـت. پایه‌ی ارزیابـــی تصمیم‌گیری‌هـــا در مدیریت اندوخته های آب، ارزیابی وضعیت امنیت آب در هر کشـــور یا منطقه اســـت (لی و همکاران ۲۰۱۶، بابِل و همکاران ۲۰۲۰). امنیت آب در ســـال‌های گذشته توجه فزاینده‌یی به خود جلب کرده‌است. محدودیت اندوخته‌های آب موجب کاهش چشم‌گیر تولید مواد غذایی و درنتیجه اثرهای ناخواسته بر امنیت غذایی و رفاه انسان شده است (رزگرنت و همکاران ۲۰۰۹). ناامنی آب اثرهای جبران‌ناپذیری بر تولید مواد خام، فرصت‌های شـــغلی، توســـعه و مانند آن خواهد داشت، و هر کنشی در کشاورزی بی درنظر گرفتن دست‌رســـی مناسب به آب بیهوده و ناقص است (میرنیا و همکاران ۱۹۹۶، تیلور ۲۰۱۵).

امنیت آب زیربنای همه‌ی جنبه‌های ســـلامت و رفاه انســـان و پایه‌ی تولید انرژی و غذا اســـت (یانـــگ و همکاران ۲۰۲۱). کشـــورهای توســـعه‌یافته نیز از دیرباز ســـرمایه‌گذاری وسیعی در زمینه‌ی زیرســـاخت‌های مرتبط بـــا آب و افزایش ظرفیت ســـازمانی و قانونی نهادهای مرتبط بـــا آب و فاضلاب کرده‌اند، اما این خلأ زیربنایی و نهادی، هنوز یکی از فوریت‌های اساسی در کشورهای توسعه‌یابنده اســـت (فرون و فرون ۲۰۱۵، لیو و همکاران ۲۰۲۱). اگرچه سامانه‌ی مدیریت آب و دانش بومی در ایران پیشرفته‌تر از بسیاری از کشورهای خاورمیانه است، مانند دیگر کشورهای منطقه بحران جدی آب را می‌گذراند. برخی از نهادهای مرتبط، علت‌های اصلی این بحران را تغییر آب و هوا، خشک‌ســـالی‌های پی‌درپی، و تحریم‌های بین‌المللی می‌دانند و اعتقاد دارند که مشـــکل کم‌بـــود آب دوره‌یی و مقطعی خواهد بود. یکی از دشواری‌های جدی و چشم‌گیر بحران آب در ایران در دهه‌های گذشـــته برنامه‌ریزی نامنسجم و نزدیک‌بینی‌های مدیریتی است. به نظر می‌رســـد ایران گرفتار الگویی مدیریتی بر پایه‌ی علامت‌ها اســـت، که به‌طور عمـــده به‌جای تمرکز بر عامل اصلی مشـــکل بر درمان علامت‌ها تمرکز دارد. علت‌های عمده‌ی بحران آب در ایران رشد سریع و توزیع مکانی نامناسب جمعیت، کشاورزی ناکارآمد، مدیریت بد، و تشنگی بسیار برای توسعه است (مدنی ۲۰۱۴).

این علت‌ها و بســـیاری دیگـــر همگی نشـــان‌دهنده‌ی نیاز به مدیریـــت علمی و یکپارچه بـــر اندوخته‌هـــای طبیعی به‌ویژه اندوخته‌های آبی بـــرای افزایش دادن امنیت ملی و رســـیدن به هدف‌های پیشـــرفت اســـت. بی تردید نبودِ مدیریت درست در این کار ســـبب عقب‌ماندگی و ایجاد خســـارت‌هایی خواهد شـــد که برخی از آن‌ها جبران‌پذیر نیســـت، و این ممکن است عاملی منفی در مســـیر توسعه‌ی کشور باشد. کمّی‌سازی برخی مفهوم‌های عام و کیفی مانند امنیت آب از یک‌ســـو سبب درک بهتر موضوع و مشـــکل برای مردم به‌ویژه مسئولان شده است، و از دیگر سو همراه شـــدن بررسی‌های محیط زیستی و توجه بـــه متغیرهای اقتصادی و اجتماعی، امکان مقایســـه و ارزیابی این شـــاخص را در ترازهـــای کلان مدیریتی فراهم می‌کند. به این دلیل‌ها، ارزیابی وضعیت امنیت آب و بررســـی تغییرپذیری آن در دوره‌ی زمانی مناســـب برای روشن شدن وضعیت رو به رشد یا کاهش، و شناختن عامل‌های مهم از دید تأثیر مثبت و منفی، برای تمرکزدادن کنش‌ها و تدوین‌کردن الگوهای مناسب مدیریتی مهم و اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. ازاین‌رو پژوهش کنونی طراحی و اجرا شد.

پژوهش‌گران بر امنیت آب تأکید کرده و به بررســـی جنبه‌های نظری و مفهوم‌های مرتبط با آن پرداخته‌اند (لوندکوئیســـت و همـــکاران ۲۰۰۳، جان و یونگ یانـــگ ۲۰۰۸، زیتون ۲۰۱۱، گارفین و همکاران ۲۰۱۶، زیتون و همکاران ۲۰۱۶). در برخی پژوهش‌ها نیز ارتباط امنیت آب با کشـــاورزی و امنیت غذایی بررسی شـــد (فرون و فرون ۲۰۱۵، ملکیان و همکاران ۲۰۱۷) که نشان‌دهنده‌ی اهمیت و تأثیرگزاری امنیت آب بر شکل‌های گوناگون امنیت است.

برخی پژوهش‌گران نیز با بهره‌گیری از شـاخص‌های گوناگون و دست‌رس، به بررسـی امنیت آب پرداختند (بابِل و همکاران ۲۰۲۰). نتیجه‌ی بررسی گِری و سادوف (۲۰۰۷) نشان می‌دهد که سـاختار آب‌شناسی در بیش‌تر کشـورهایی که امنیت آب ندارند پیچیده‌تر است، و به همین دلیل نیاز به درک، شناخت، مسـئولیت‌پذیری اجتماعی و محیط‌زیسـتی، و سرمایه‌گذاری اقتصـادی در آن‌هـا به اندازه‌ی چشـم‌گیری بیش‌تر اسـت. بوگاردی و همکاران (۲۰۱۲) محدودیت دست‌رسـی به آب و کاهش کیفیت آن را از عامل‌های مؤثر بر امنیت آب دانسته‌اند. فیشـر و همکاران (۲۰۱۵) با بررسـی وضعیت امنیت آب در جهان ، کشورها را به چهار دسته‌ی اقتصاد ضعیف-پیچیدگی‌های آبـی کـم، اقتصـاد قوی-پیچیدگی‌هـای آبی کـم، اقتصاد قوی-پیچیدگی‌های آبـی زیاد و اقتصاد ضعیف-پیچیدگی‌های آبی زیاد رده‌بندی کردند، که در آن ایران در گروه کشورهای با اقتصاد ضعیف و پیچیدگی‌های آبی زیاد است. جیانگ (۲۰۱۵) برای بررسـی وضعیت امنیت آب در منطقه‌هایی از چین، پنج جنبه‌ی کلیدی دست‌رسـی به آب، الگوهای مصرف آب، تولید فاضـلاب و مهار آلودگـی، نهادها و مدیریت آب، و سـلامت سـامانه‌های آبی و آسـیب‌پذیری اجتماعی را بـه‌کار گرفت. یافته‌های گِین و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان می‌دهد که امنیت آب در کشورهای آفریقایی، جنوب آسیا و خاورمیانه کم است، و نیاز به راه‌بردی جامع برای رسـیدن به هدف‌های توسـعه‌ی پایدار در آن‌ها به‌خوبی حس می‌شـود. بـر پایه‌ی نتیجه‌ی لی و همکاران (۲۰۱۶) که با پنج شـاخص اصلی امنیت چرخه‌ی آب، امنیت محیط زیسـتی، بوم‌شناختی، اجتماعی، و اقتصادی آب، مدلی برای ارزیابی امنیت آب ایجاد کردند، وضعیت آن در چین در سـال‌های گوناگون در افت‌وخیز و به‌طورکلی افزایشی و رو به بهبود است.

بر پایه‌ی یافته‌های سرینیواسـان و همکاران (۲۰۱۷)، امنیت پویای آب ناشـی از همیـاری دو طرفه‌ی آب و جامعه اسـت کـه نمایانگر فضای عملی ایمن از اندوخته‌ها، زیرسـاخت‌ها و گزینه‌های اقتصادی اسـت. نتیجه‌ی پژوهش برگیر و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشـان داد که جنگل‌زدایی آمازون تأثیر عمیقی بر امنیت آب و حفاظت از خدمت‌های زیست‌بوم داشت. کیساکای و بروگن (۲۰۱۸) نیز تأکید کردند که تا سال ۲۰۷۰ امنیت آب بیـش از ۵۰٪ کاهش خواهد یافت. بر پایه‌ی یافته‌های کاریرا و همکاران (۲۰۱۸) شکاف زیربنایی امنیت آب در امریکای لاتین با سـرمایه‌گذاری‌هایی به اندازه‌ی ۰/۳٪ تولید ناخالص داخلی (موازی با بهبود در مدیریت خدمات) تا سال ۲۰۳۰ تا اندازه‌ی زیادی برطرف‌شدنی است.

در پژوهش دوبـی و همکاران (۲۰۲۰) تأکید شـد که امنیت آب فقط به دسـت‌رس بودن آن محدود نمی‌شـود، که فراتر از آن اسـت و محدوده‌ی حقوق فردی تا حقوق مالکیت ملی در آب را در بر می‌گیرد، و شـامل نقش دولت در تقسیم عادلانه و قیمت مناسـب آب نیز می‌شود. بر پایه‌ی پژوهش هرمانسیوقلو و همکاران (۲۰۲۰) مشکل اساسی درک ارتباط میان پایداری، اندوخته‌های آب و توسـعه اسـت. تصورهای غلـط در باره‌ی این پیوندها و کاسـتی‌هایی کـه در جنبه‌های نهادی و قانونی مدیریت آب در این کشور است، توسعه‌ی سیاست‌های صحیح برای تصمیم‌گیری در مدیریت را کند کرده اسـت. پژوهش در باره‌ی این موضوع به مدت طولانی در تراز دانشـگاهی مانده، و پاسخ‌های اولیه‌ی نهادی بسیار کند بوده است.

در ایـران نیـز تاکنون پژوهـش مدون و جامعی در بررسـی شـاخص‌های مرتبط با امنیت آب نشده است، اما پژوهش‌گران پراکنـده و کیفـی به بررسـی برخـی پرسـش‌های امنیت محیط‌زیسـت و آب پرداخته‌انـد. لطفی و همـکاران (۲۰۱۱) خشـک شـدن پهنه‌های آبی داخلی و سـیل را از عامل‌هایی می‌دانند که مسـتقیم بر امنیت ملی اثرگزار اسـت. بر پایه‌ی نتیجه‌ی میان‌آبـادی (۲۰۱۲) مفهوم‌هایی چـون بحران آب، جنـگ آب و رودهای مرزی از عامل‌هـای مؤثر بر امنیت ملی اسـت؛ در حالی که بسیاری از مسئولان استانی و کشوری تنها از دیدگاه نظامی یا سیاسـی به امنیـت می‌نگرند. جاجرمی و همـکاران (۲۰۱۳) کم‌بود آب و خشک‌سـالی را چالشـی در امنیت ملی توصیف کردند و به دشـواری‌هایی مانند محدودیت و نبود تـوازن در تأمین آب و مصرف آن، آلودگی اندوخته‌های آب، بحران‌های طبیعی مانند سیل، سیاست‌های نامشخص در بهره‌برداری از آب‌های مرزی مشـترک، الگوی مصرف نامناسب و بهره‌وری کم آب در کشـاورزی اشـاره کردنـد. در پژوهش صادقـی و نـادری (۲۰۱۶) بر بحران کم‌آبـی همچون یکی از زیرشـاخه‌های مهم سویه‌ی محیط زیسـتی امنیت ملی تأکید شده اسـت. اندوخته‌های آب تاکنون کالایی اقتصادی دانسته شده‌اسـت، اما در سـال‌های آینده به‌دنبال افزایش نیاز به‌ویژه در کشـورهای خاورمیانه، به کالای امنیتی تبدیل خواهد شد، که شکل‌گیری و تشـدید تنگناهای امنیتی را به دنبال خواهد داشـت. کاویانی‌راد و همـکاران (۲۰۱۹) امنیت آب را عاملی در هم‌بسـتگی و وابسـتگی، یا اهرمی در فشـار و درگیری در مقیاس‌های گوناگون محلی، ملی و بین‌المللی دانسته‌اند.

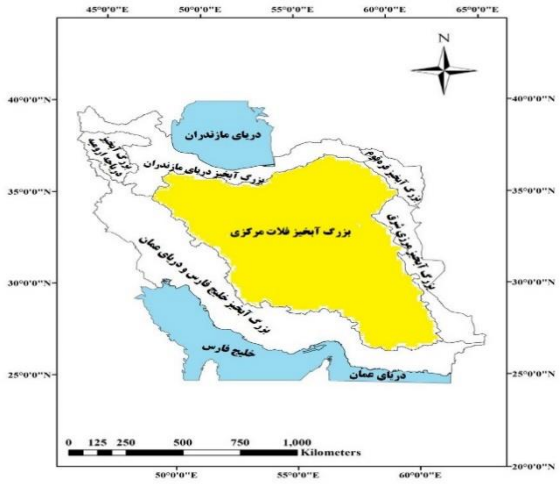
پژوهش‌های امنیت آب نشـان‌دهنده‌ی نبود چارچوبی مدون و تفـاوت در اهمیت برخی متغیرهای بررسـی وضعیت آن در منطقه‌های گوناگون اسـت. پژوهش‌گران بـا پایه‌های نظری و دست‌رسـی به داده‌ها، شـاخص‌های گوناگونی را برای بررسی امنیـت آب در جاهای گوناگون جهـان در مقیاس کلان به‌کار برده‌انـد. ارزیابی ایـن عامل‌ها نشـان‌دهندی نقش پراهمیت متغیرهای محیط‌زیسـت، اندوخته‌های آب و مسائل اقتصادی و اجتماعی در امنیت آب اسـت. از دیگر سـو، بررسـی برخی پژوهش‌های بین‌المللی در زمینه‌ی امنیت آب نشـان می‌دهد

کـــه وضعیت آن در برخی جاها از جمله خاورمیانه نامناســـب اســـت. در نظر گرفتن هم‌زمان چند شاخص مهم و اثرگزار بر امنیت آب با به‌کاربردن برخی شـــاخص‌های جدید، و تعمیق شـــاخص‌های به‌کاررفته در گذشـــته از کارهای انجام‌نشده‌یی است که پرداختن به آن ضرورت است.

از سوی دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در امنیت آب به ویژه در ایران، عموماً نظری و توصیفی اســـت. گاه به‌شکل پراکنده به برخی از شـــاخص‌های آن پرداخته شده‌است. ازاین‌رو محاسبه و ارزیابی شـــاخص‌های مهم امنیـــت آب در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی ایران به دلیل وسعت و جمعیت زیاد آن برای اولین بار در این پژوهش در بازه‌ی ۲۰ ســـاله با فاصله‌ی زمانی پنج‌ساله انجام شد، که نشـــان‌دهنده‌ی نقطه‌های ضعف و قوت در این بازه، و بازگوینده‌ی بینش مدیریتی مناســـب است. بهره‌گیری هم‌زمان از هشت شاخص تأثیرگزار در امنیت آب، و وزن‌دهی عامل‌ها، و شناخت اولویت شاخص‌ها از دیگر جنبه‌های نوآوری و تمایز این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سطح بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی ایران انجام‌شد. بر پایه‌ی تقسیم‌بندی ســـازمان برنامه و بودجه و وزارت نیرو، سطح کشور بر پایه‌ی مشخصه‌های پستی‌بلندی و ویژگی‌های آبی به شـــش بزرگ‌آبخیز تقسیم شده اســـت (شکل ۱). این بزرگ آبخیزها به ترتیب وســـعت عبارت اســـت از بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی، خلیج فارس و دریـــای عمان، دریای مازندران، شـــرق ایران، دریاچه‌ی ارومیه و بزرگ‌آبخیز قره‌قوم (سازمان مدیریـــت و برنامه‌ریـــزی ۲۰۱۲). بزرگ‌آبخیـــز فلات مرکزی بزرگ‌ترین آبخیز اصلی ایران در مرکز کشـــور با بیش از نیمی از وســـعت ایران است (حدود ۵۱ ٪). بخش زیادی از جمعیت کشـــور نیز در این بزرگ‌آبخیز زندگـــی می‌کند (حدود ۴۶٪). بلندترین رود این بزرگ آبخیز، زاینده‌رود است که حدود ۴۰۰ کیلومتر طول دارد و از بلندی‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرد و سرانجام به تالاب گاوخونی می‌ریزد.



شکل ۱- موقعیت بزرگ‌آبخیزهای شش‌گانه‌ی ایران و بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی.

برای بررسی و ارزیابی امنیت آب، شاخص‌هایی در تراز بین‌المللی معرفی و بررسی شده است. این شاخص‌ها ترکیبی از جنبه‌های گوناگـــون مرتبط با امنیت آب مانند اقتصـــاد آب، روی‌دادهای اجتماعی مرتبط با آب، محیط‌زیست و اندوخته‌های آب است. در این پژوهش هشت شاخص مهم برای دوره‌یی ۲۰ ساله (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵) با فاصله‌ی زمانی پنج‌ســـاله (۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵) بررســـی، تعیین و ارزیابی شد. این شاخص‌ها عبارت اســـت از ســـرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر، شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب، بهره‌وری آب، ســـرمایه‌گذاری در زیرســـاخت‌های مربوط به آب، کیفیت آب، دسترســـی به آب آشـــامیدنی و مدیریت آلودگی و بازچرخانی آب، تغییر وســـعت پوشش سبز، و تغییر وسعت پهنه‌های آبی بزرگ.

ســـرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر، بیشـــینه‌ی اندازه‌ی آب دســـترس (تجدیدپذیر) برای منطقه در ســـالی معین نسبت به جمعیت همان منطقه در همان ســـال است (جیانگ ۲۰۰۹، فیشـــر و همکاران ۲۰۱۵، جیانگ ۲۰۱۵). هرگاه این اندازه به کم‌تر از m^3 ۱۰۰۰ برای هر نفر در ســـال برسد کم‌بود آب روی داده اســـت (فالکنمـــارک و همـــکاران ۱۹۸۹، گِین و همکاران ۲۰۱۶). شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب اندازه‌ی بهره‌گیری از آن (تقاضا) نسبت به اندازه‌ی آب دست‌رس است. این شاخص نشـــان‌دهنده‌ی اندازه‌ی تنش آبی است. هرگاه از ۴۰٪ (سازمان ملل ۱۹۹۷) فراتر رود آســـتانه‌ی تنش آبی شـــدید رخ می‌دهد

(کومو و واریس ۲۰۱۱، فیشر و همکاران ۲۰۱۵). این شاخص نمایان‌گر شدت بهره‌گیری انسان از اندوخته‌های محدود آبی است و با محاسبه‌ی آن اندازه‌ی فشار بر اندوخته‌های آبی تعیین شد. بهره‌وری آب یا تغییر تولید ناخالص داخلی در برابر مصرف آب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی در امنیت آب است. باید دانست که سهم هر بخش عمده‌ی اقتصادی (کشاورزی و صنعت) در بهره‌گیری از اندوخته‌های آب نسبت به سهم هر بخش در تولید ناخالص داخلی در سال چه اندازه است. این شاخص بیان‌کننده‌ی بازده اقتصادی آب در بخش‌های عمده‌ی اقتصادی است (رسول ۲۰۱۴، جیانگ ۲۰۱۵، لی و همکاران ۲۰۱۶). در این بخش، تغییر تولید ناخالص داخلی در برابر $1\ m^3$ در سال بررسی شد. از آمارهای مرکز ملی آمار ایران و سازمان برنامه و بودجه بهره‌گیری شد. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مربوط به آب مبنایی برای بهبود وضعیت امنیت آب و نیز توسعه‌یافتگی است. در کشورهای توسعه‌نیافته و کم‌تر توسعه‌یافته به‌دلیل نبود زیرساخت‌ها، کم‌بود زیادی هست، و نیاز به سرمایه‌گذاری وسیعی در زیرساخت‌های مربوط به آب است، اما این کشورها به علت توانایی کم اقتصادی، روزبه‌روز وضعیت وخیم‌تری در امنیت آب خواهند داشت. در کشورهای توسعه‌یافته که در گذشته سرمایه‌گذاری‌های کلانی در امنیت آب کرده‌اند، امروزه با اندک سرمایه‌گذاری در ترمیم و ایجاد زیرساخت‌های جدید، رشد به نسبت بیش‌تری دیده می‌شود (گِری و سادوف ۲۰۰۷). برای بررسی این شاخص بودجه‌ی سالانه‌ی دولت بررسی، و داده‌های سرمایه‌گذاری در بخش‌های مرتبط با آب (کشاورزی و منابع طبیعی، محیط‌زیست، اندوخته‌های آب) از ردیف اعتبار طرح‌های تملک دارایی‌های سرمایه‌یی استخراج، و نوع سرمایه‌گذاری‌ها و نسبت آن به کل اندازه‌ی اعتبارها بررسی شد. به این ترتیب وضعیت سرمایه‌گذاری‌ها از دید نوع (برای نمونه سد، آبخیزداری، انتقال آب) و نسبت به کل بودجه و کل اعتبارهای عمرانی محاسبه شد. شاخص کیفیت آب یکی از عامل‌های مهم در امنیت آب است (گین و همکاران ۲۰۱۶، لی و همکاران ۲۰۱۶). برای تعیین آن، کیفیت آب رودهای قره‌چای، زاینده‌رود و هلیل‌رود که مهم‌ترین رودهای بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی است بررسی شد (مرادی و همکاران ۲۰۱۱). در این رودها نزدیک‌ترین ایستگاه به خروجی آبخیز با داده‌های مناسب در دوره‌ی پژوهش انتخاب شد، که نشان‌دهنده‌ی برآیند وضعیت کیفی حوزه است. کیفیت آب این رودها به دو روش تعیین کیفیت برای آشامیدن از روش شولر (شولر ۱۹۵۵، شولر ۱۹۶۷) (با در نظر گرفتن کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، مجموع نمک‌های محلول، سولفات، بیکربنات، سختی کل) و تعیین کیفیت برای کشاورزی از روش ویلکوکس (ویلکوکس ۱۹۵۵) (با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم) محاسبه شد. در باره‌ی آب زیرزمینی هم مشکل اصلی و غالب آب‌های زیرزمینی کشور افت تراز ایستآبی به دلیل برداشت بی‌رویه و در نتیجه بالا آمدن جبهه‌های آب شور است. برای شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، هدایت الکتریکی که مهم‌ترین عامل در ارتباط با اندازه‌ی شوری است با نمودارهای معرف دشت‌های بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی استخراج و بررسی شد. برای آگاهی از شاخص کلی کیفیت، بر پایه‌ی وزن‌های تعیین‌شده در روش ANP برای زیرمعیارهای کیفیت آب زیرزمینی و سطحی به ترتیب ضریب‌های ۰/۵۸۴ و ۰/۴۱۶ در نظر گرفته شد.

در بخش دست‌رسی به آب آشامیدنی و مدیریت آلودگی و بازچرخانی آب دو زیر شاخص مهم درصد دست‌رسی مردم به آب آشامیدنی سالم، و درصد جمعیت دارای پوشش شبکه‌ی فاضلاب بررسی شد. نتیجه‌ی این بررسی اندازه‌ی اهتمام در مدیریت آلودگی و بازچرخانی آب را نمایش می‌دهد (جیانگ ۲۰۱۵، لی و همکاران ۲۰۱۶). تغییر پوشش گیاهی از عامل‌های تعیین‌کننده‌ی امنیت آب (لی و همکاران ۲۰۱۶) که اهمیت آن در نقش گیاهان در حفاظت از اندوخته‌های آبی و افزایش اندازه‌ی نفوذ است، در سطح بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی برای دوره‌ی ۲۰ ساله با تصویرهای ماهواره‌یی و روش‌های سنجش از دور محاسبه شد، از تصویرهای ماهواره‌یی NOAA برای سال ۱۹۹۶ (به دلیل نبود تصویرهای MODIS برای این سال) و MODIS برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ بهره‌گیری شد. شاخص تفاضلی بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) برای بررسی تغییر وضعیت پوشش گیاهی به‌کار برده شد (مرادی و همکاران ۲۰۱۱). وسعت پهنه‌های آبی اصلی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی شامل دریاچه‌ی بختگان، دریاچه‌ی جازموریان، دریاچه‌ی نمک، و تالاب گاوخونی با تصویرهای ماهواره‌یی (Landsat) و روش‌های سنجش از دور بررسی و تغییر آن رصد شد (محمدی و همکاران ۲۰۱۵).

داده‌های جمعیت، اندازه‌ی دست‌رسی به آب آشامیدنی و اندازه‌ی توسعه‌ی شبکه‌ی فاضلاب از مرکز آمار ایران (مراجعه‌ی حضوری و با اطلاعات صفحه‌ی اینترنتی این مرکز) دریافت شد. اطلاعات بودجه‌ی سالانه، اعتبار طرح‌های تملک دارایی‌های سرمایه‌یی و تولید ناخالص داخلی از سازمان برنامه و بودجه گرفته شد. بخشی از این آمار از دفتر آب، کشاورزی و منابع طبیعی این سازمان و بخش دیگر نیز از کتابخانه‌ی این سازمان است. اطلاعات آب (بارندگی، اندوخته‌ها و مصرف‌ها) و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی برای دشت‌ها و رودها از دفتر پژوهش‌های پایه‌ی منابع آب وزارت نیرو گرفته شد.

تصویرهای ماهواره‌یی NOAA و سنجنده‌ی MODIS برای بررسی تغییر وضعیت پوشش گیاهی، و ماهواره‌ی Landsat برای بررسی تغییر سطح پهنه‌های آبی بزرگ دریاچه‌ی

بختـــگان، جازموریان، نمـــک، و تالاب گاوخونـــی از صفحه‌ی اینترنتی آن‌ها دریافت شد.

پس از محاســـبه‌ی شـــاخص‌ها و تعیین آن بـــرای زمان‌های گوناگون، با روش فرآیند تحلیل شـــبکه وزن‌دهی شـــد. برای وزن‌دهی و تعیین اولویت شـــاخص‌ها از پرسشنامه بهره‌گیری شـــد. هشت شـــاخص اصلی برای بررسی وضعیت امنیت آب و زیرمعیارهای مرتبط با هر شـــاخص تعیین، و شـــبکه تشکیل شـــد. این معیارها و زیرمعیارها به روش زوجی مقایســـه شد. پرســـش‌نامه برای اســـتادان دانشگاه، دانشـــجویان تحصیلات تکمیلی در رشـــته‌های مرتبط، کارشناسان بخش آب و محیط زیســـت ســـازمان برنامه و بودجه، کارشناســـان وزارت جهاد کشـــاورزی، و اداره‌های منابع طبیعی، کارشناسان وزارت نیرو و اداره‌های آب منطقه‌یی در جاهای گوناگون کشور فرستاده، و چند بار نیز به روش حضوری (مصاحبه‌ی مستقیم) تکمیل شد. در مجموع ۶۸ پرسش‌نامه تکمیل و نتیجه‌ی آن ارزیابی شد.

بر پایه‌ی وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر هشت شاخص، شاخص کلی امنیت آب محاســـبه شد. هر شـــاخص بر پایه‌ی دامنه‌ی اندازه‌های موجود به چند گروه رده‌بندی شـــد (شـــیکلومانوف ۲۰۰۰، فیشر و همکاران ۲۰۱۵). برای هر رده امتیاز ۰ تا ۱ در نظر گرفته شد (فیشر و همکاران ۲۰۱۵).

رده‌بندی متغیرها و تعیین ضریب برای آن‌ها بر پایه‌ی یافته‌های پژوهش‌های دست‌رس و اصول منطقی و توجیه‌پذیر انجام‌شد. در باره‌ی متغیر ســـرانه‌ی اندوخته‌های آب، رده‌بندی اندازه‌ها بر پایـــه‌ی روش فالکن‌مـــارک و همـــکاران (۱۹۸۹) به چهار رده‌ی صفـــر تا m^3 ۵۰۰ (فوق بحرانـــی)، m^3 ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ (بحرانـــی)، m^3 ۱۰۰۰ تـــا ۱۷۰۰ (تنـــش آبـــی) و بیـــش از m^3 ۱۷۰۰ (بهنجـــار) در برابر هر نفر در ســـال انجام شـــد، و امتیازهای متناظر رده‌ها نیز در نظر گرفته و به کار برده شـــد. از آن‌جا که بر پایه‌ی آمار بانک جهانی اندازه‌ی بیشـــینه‌ی این شاخص در ایســـلند و بیش از m^3 ۵۰۰۰۰۰ است، و به دلیل این که انتخاب این عدد برای بیشـــینه‌ی رده‌ی بهنجار، تغییر عددهای محدوده‌ی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی ایران را به‌خوبی نمایـــش نخواهد داد، عدد m^3 ۱۰۰۰۰ یعنی دو برابر میانگین جهانی، عدد بیشینه‌ی این شاخص تعیین شد.

اندازه‌ها برای شـــدت بهره‌گیـــری از اندوخته‌های آب بر پایه‌ی روش ســـازمان ملل متحد (UN ۱۹۹۷) و بر پایه‌ی نســـبت مصرف به اندوخته‌ها به چهار رده‌ی ۰ تا ۱۰ ٪ (بی تنش)، ۱۰ تا ۲۰ ٪ (تنش اندک)، ۲۰ تا ۴۰ ٪ (تنش متوســـط) و بیش از ۴۰ ٪ (تنش شدید) رده‌بندی شد.

بیشینه‌ی بهره‌وری آب در جهان بر پایه‌ی آمارهای بانک جهانی در حدود ۴۰ دلار در برابر مصرف m^3 ۱ است.

اندازه‌ی ســـرمایه‌گذاری در زیرســـاخت‌های مربـــوط به آب بر حسب تغییر ســـرمایه‌گذاری نســـبت به دوره‌ی قبل برحسب عدد ثابت محاسبه شده و نوع ســـرمایه‌گذاری (سرمایه‌گذاری در بخش‌هـــای گوناگـــون مرتبط با آب) نیـــز در روش ANP وزن‌دهی شد.

در تعیین و محاسبه‌ی متغیر کیفیت آب دو بخش آب سطحی و زیرزمینی در نظر گرفته شـــد. اندازه‌هـــای آب زیرزمینی بر پایـــه‌ی روش ویلکوکس به چهار دســـته‌ی μScm^{-1} ۲۲۵۰ تا ۵۰۰۰ (شـــوری خیلـــی زیـــاد)، μScm^{-1} ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ (شـــوری زیاد)، μScm^{-1} ۲۵۰ تا ۷۵۰ (شـــوری متوســـط) و μScm^{-1} ۰ تا ۲۵۰ (شـــوری کم) رده‌بندی شد، و امتیازهای متناظر رده‌ها نیز در نظر گرفته و به کار برده شـــد. اندازه‌های آب سطحی نیز بر پایه‌ی دو روش ویلکوکس و شولِر رده‌بندی شد.

برای متغیر دست‌رســـی به آب آشامیدنی و مدیریت آلودگی و بازچرخانی آب، درصد دست‌رسی جمعیت به آب آشامیدنی و درصد جمعیت در پوشش شـــبکه‌ی فاضلاب مبنای رده‌بندی گرفته شد.

برای تغییر وســـعت پهنه‌هـــای آبی، درصد کاهش مســـاحت پهنه‌های آبی نســـبت به مساحت اصلی و متداول آن‌ها در نظر گرفته شد.

برای تغییر وســـعت پوشش سبز، بر پایه‌ی اندازه‌های NDVI، وضعیت پوشـــش گیاهی بـــه چهار گروه بی پوشـــش گیاهی، پوشش گیاهی تنک، پوشش گیاهی معمولی، و پوشش گیاهی متراکم رده‌بندی، و امتیازهای متناظر رده‌ها در نظر گرفته شد.

با ضرب‌کردن وزن هر شاخص (محاسبه شده به روش ANP) در امتیـــاز مربوط به رده‌بندی آن، عددی به‌دســـت آمد که با جمع جبـــری این عددها (برای هر شـــاخص یـــک عدد و در مجموع هشت عدد) امتیاز امنیت آب ۰ تا ۱ محاسبه شد.

عدد ۱ و ۰ به‌ترتیب نشـــان‌دهنده‌ی بهترین و بدترین وضعیت امنیـــت آب، و اندازه‌هـــای میـــان آن‌هـــا نیز نشـــان‌دهنده‌ی وضعیت‌های گوناگونی از امنیت آب اســـت. به این ترتیب برای هر ســـال عددی میان ۰ و ۱ محاسبه شد که می‌توان وضعیت این شـــاخص را در ۲۰ ســـال گذشـــته (با فاصله‌ی زمانی پنج ساله) بررســـی کرد. رســـم نمودارها و فرآیندهای آماده‌سازی داده‌هـــا، رده بنـــدی، تبدیـــل و تغییـــر واحدها بـــا نرم‌افزار Microsoft Excel و پـــردازش و تحلیل‌هـــای تصویرهای ماهواره‌یی در نرم‌افزار ENVI و ArcGIS انجام شد.

نتایج و بحث

برای محاسبه‌ی سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر دو عامل جمعیت و اندازه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر محاســـبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- سرانه‌ی اندوخته‌های آبی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در دوره‌ی پژوهش.

متغیر	سال				
	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
جمعیت (میلیون نفر)	۲۷/۶	۳۰/۷	۳۲/۷	۳۵/۰	۳۷/۴
اندوخته‌های آب تجدیدپذیر (میلیارد متر مکعب)	۲۴/۴	۲۴/۱	۲۳/۴	۲۲/۲	۲۲/۰
سرانه‌ی اندوخته‌های آبی (متر مکعب در برابر هر نفر)	۸۸۳	۸۱۱	۷۳۸	۶۴۹	۶۰۲

با رده‌بندی فالکن‌مارک (فالکنمارک و لوندکوئیست ۱۹۹۸، گِین و همکاران ۲۰۱۶) عدد سرانه‌ی m^3 ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ در برابر هر نفر نشان‌دهنده‌ی وضعیت بحرانی سرانه‌ی اندوخته‌های آبی در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی و حرکت به سوی شرایط فوق بحرانی است. از آن‌جا که نزدیک به نیمی از جمعیت کشور (در حدود ۴۶ ٪) در این بزرگ‌آبخیز زندگی می‌کنند این مسئله اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند. به عبارت دیگر هم‌اکنون در حدود ۴۶ ٪ از جمعیت کشور در وضعیت بحرانی سرانه‌ی اندوخته‌های آبی است. اثر جمعیت و اندوخته‌های آبی، باعث کاهش سرانه‌ی اندوخته‌های آبی در گذر زمان شده است.

افزایش جمعیت از یک‌سو و کاهش اندازه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر از سوی دیگر سبب شده‌است که این شاخص مهم و اثرگزار بر امنیت آب، رو به کاهش باشد. این یافته با نتیجه‌ی یانگ و همکاران (۲۰۰۳) هم‌خوانی دارد. مدیروس و همکاران (۲۰۱۷) نیز عامل‌هایی مانند افزایش جمعیت، زیرساخت‌های ناکافی یا نامناسب، و تنش‌های جمعیتی را از عامل‌های تهدیدکننده‌ی امنیت آب دانسته اند.

نتیجه‌ی بررسی نسبت برداشت (مصرف) آب به اندازه‌ی اندوخته‌های آبی تجدیدپذیر (منابع) در سال‌های پژوهش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب (نسبت مصرف به اندوخته).

	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب (٪)	۶۵/۹	۷۱/۵	۷۴/۷	۸۰/۸	۸۶/۶

این شاخص نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی تنش آبی است. بر پایه‌ی نظر سازمان ملل متحد، هرگاه برداشت از اندوخته‌های آبی کشور از ۴۰ ٪ فراتر رود آستانه‌ی تنش آبی شدید رخ می‌دهد (کومو و واریس ۲۰۱۱، فیشر و همکاران ۲۰۱۵). در همه‌ی سال‌های دوره‌ی پژوهش، بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی از دیدگاه مصرف آب در تنش آبی شدید بود. بر پایه‌یِ یافته‌های مک ناب (۲۰۱۹) شکاف در گسترش و احتمالاً تحمل‌نانشدنی میان عرضه و تقاضای آب در سال ۲۰۳۰ در بخش‌های گوناگونی از جهان پیش بینی شد، که با نتیجه‌ی این پژوهش هم‌خوانی دارد.

در جدول ۳ نتیجه‌ی تغییر تولید ناخالص داخلی در برابر m^3 ۱ آب در سال‌های بررسی‌شده آورده شده است. این تغییر از ۱/۶ دلار در سال ۱۳۷۵ به ۲/۹ دلار در سال ۱۳۹۵ رسید، که نشان‌دهنده‌ی وضعیت روبه‌رشد و افزایشی در این شاخص است (۸۰ ٪ افزایش). بر پایه‌ی یافته‌های جیانگ (۲۰۱۵) در چین مصرف آب در برابر هر هزار یوآن، از m^3 ۶۱۰ در سال ۲۰۰۰، به m^3 ۱۰۹ در سال ۲۰۱۳ رسید، که نشان‌دهنده‌ی بهبود بهره‌وری در این شاخص در ۱۳ سال است (۵۶۰ ٪ افزایش).

جدول ۳- تغییر تولید ناخالص داخلی در برابر m^3 ۱ آب در دوره‌ی پژوهش.

متغیر / سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
تولید ناخالص داخلی (دلار)	۱/۶	۱/۸	۲/۳	۲/۷	۲/۹

سهم هریک از بخش‌های عمده‌ی اقتصادی مانند کشاورزی و صنعت در بهره‌گیری از اندوخته‌های آب نسبت به سهم آنان در تولید ناخالص داخلی مهم است. آمارهای گوناگونی در باره‌ی مصرف آب در بخش‌های عمده آورده شده‌است. یکی از رایج‌ترین این آمارها، که وزارت نیرو و سازمان برنامه و بودجه نیز آن را تأیید می‌کنند، نشان می‌دهد که مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، خانگی و صنعت به‌ترتیب ۹۲، ۶ و ۲٪ از مجموع اندوخته‌های آبی است. با این پیش‌فرض، نتیجه‌ی بازده اقتصادی آب در این بخش‌ها محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۴- بازده اقتصادی آب در بخش‌های عمده‌ی اقتصادی.

متغیر/سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
سهم ارزش افزوده‌ی کشاورزی در GDP (٪)	۱۴/۷۹	۱۱/۲۲	۸/۸۱	۸/۰۰	۹/۵۷
سهم ارزش افزوده‌ی صنعت و معدن در GDP (٪)	۲۹/۳۴	۲۹/۶۹	۳۴/۴۱	۳۰/۹۳	۲۹/۴۱
تغییر GDP به‌ازای مصرف یک واحد آب در کشاورزی (٪)	+۰/۱۶	+۰/۱۲	+۰/۰۹	+۰/۰۸	+۰/۱۰
تغییر GDP به‌ازای مصرف یک واحد آب در صنعت‌ومعدن (٪)	+۱۴/۶۷	+۱۴/۸۴	+۱۷/۲۰	+۱۵/۴۶	+۱۴/۷۰

نتیجه‌ی جدول ۴ نشـان‌دهنده‌ی اختلاف بسـیار زیاد بازده اقتصادی آب در کشـاورزی و صنعت اسـت (میانگین ۰/۱۱ در کشـاورزی و ۱۵/۳۷ در صنعت و معدن). این نتیجه نشان می‌دهند که اثر مصرف یک واحد آب در صنعت‌ومعدن نسبت به کشـاورزی، ۱۳۹/۷ برابر افزایش GDP اسـت؛ به‌عبارت دیگـر، اگر مصرف یک واحد آب در کشـاورزی باعث افزایش یک واحد GDP شود، در صنعت‌ومعدن باعث افزایش ۱۳۹/۷ واحد GDP می‌شـود. این یافته نشان‌دهنده‌ی لزوم روی‌کرد به افزایش بازدهی آب در کشـاورزی اسـت، که بزرگ‌ترین بخش مصرف‌کننده‌ی آب است.

نتیجـه‌ی نسـبت سـرمایه‌گذاری در بخش‌هـای مرتبط با آب شـامل آب و خاک و آبخیـزداری، بیابان‌زدایی و تثبیت، فراهم‌کردن آب، مهندسـی رود و ساحل، بهبود بهره‌برداری و حفاظت از اندوخته‌های آب، مطالعه و پژوهش‌های کاربردی، و دیگر در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- نسبت سرمایه‌گذاری در بخش‌های مرتبط با آب در دوره‌ی پژوهش (٪).

	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
آب و خاک	۷/۶	۵/۲	-	-	-
آبخیزداری	۱/۲	۰/۹	۳/۶	۳/۳	۷/۲
بیابان‌زدایی و تثبیت	۰/۰	۰/۰	۰/۲	۰/۲	۲/۱
فراهم‌کردن آب	۸۲/۱	۸۰/۷	۶۹/۰	۶۸/۴	۷۰/۶
مهندسی رود و ساحل	۳/۱	۳/۱	۱/۱	۱/۸	۴/۳
بهبود بهره‌برداری و حفاظت از اندوخته‌های آب	۲/۱	۳/۶	۴/۱	۲/۲	۱۵/۸
توسعه‌ی اندوخته‌های آب مشترک	-	-	۲۱/۶	۲۳/۶	۰/۰
پژوهش‌های کاربردی	۳/۰	۲/۲	۰/۴	۰/۵	-
دیگر	۰/۹	۴/۳	۰/۱	۰/۱	-
مجموع	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰

بیش‌ترین سـرمایه‌گذاری در بخش‌هـای مرتبط با آب، در فراهم‌کردن آب (ساخت سد، انتقال آب، شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی) بود. آبخیزداری و حفاظت آب و خاک عاملی نرم و با اثر بلندمدت در بهبود وضعیت امنیت آب اسـت که به‌طور میانگین در حدود ۶ ٪ از مجموع بودجه‌ی بخش‌های مرتبط با آب را می‌گیرد. سـهم بخش بیابان‌زدایی و تثبیت نیز که عامل مهمی در بهبود وضعیت امنیت آب است (اثر نامستقیم پوشـش بر افزایش اندوخته‌های آبی به‌دلیل تسـهیل‌کردن نفوذ و جلوگیری از تبخیـر) از مجموع بودجه‌ی بخش‌های مرتبط با آب در برش زمانی ۱۳۹۵ افزایش بسیار داشت، که عاملی مثبت دانسته می شود.

یکی از روی‌دادهـای مثبت در زمینـه‌ی تخصیص بودجه، افزایش نسـبت بودجه‌ی بخش بهبود بهره‌برداری و حفاظت از اندوخته های آب (بازسـازی و تجهیز ساختارهای آبی) در دوره‌ی پژوهش بود که ممکن اسـت سـبب بهبود وضعیت کیفی بهره‌برداری از اندوخته‌های آب شـود. سرمایه‌گذاری در زیرسـاخت‌های مرتبـط با آب نه‌تنهـا موجب هدررفت اندوخته‌های اقتصادی کشور نخواهد شد، بل‌که در درازمدت باعث سـوددهی و بازگشـت سـرمایه‌ی اولیه خواهد شد. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آب در بخش‌های گوناگون از جمله کشـاورزی و صنعت منجر به رشد اقتصادی خواهد شد.

از آن‌جا که ایران جزو ده کشـــور اول جهان در روی‌داد سیل اســـت، لازم است ســـرمایه‌گذاری‌های مناســـبی در زمینه‌ی زیرســـاخت‌های مهندسی رود و ســـاحل انجام شود. بر پایه‌ی نتیجه‌ی گِری و ســـادوف (۲۰۰۷) اندازه‌ی زیان‌های ناشی از ســـیل در ژاپن در ســـال‌های پیش از ۱۹۵۰ بیش از ۱۰ ٪ از تولید ناخالص داخلـــی بود (تقریباً به اندازه‌ی زیان‌های جنگ جهانی دوم). از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۵ در حدود ۲ تریلیون پوند در زیرساخت‌های رودخانه‌یی در این کشور سرمایه‌گذاری شد، که نتیجه‌ی آن کاهش زیان‌های سیل به کم‌تر از ۱ ٪ از تولید ناخالص داخلی اســـت. اگرچه هم‌اکنون ژاپن نیز وضع خوبی در این بخش دارد، این ســـرمایه‌گذاری‌ها هنوز ادامه دارد. این نتیجه نشـــان‌دهنده‌ی لزوم تلاش بیش‌تر برای سرمایه‌گذاری در این بخش اســـت تا دشواری‌های پیشـــین و خسارت‌های ناشی از سیل در کشور کاهش یابد. نتیجه‌ی گِری و همکاران (۲۰۱۳) نیز این یافته را تایید می‌کند.

نتیجه‌ی کیفیت بررســـی رودهای اصلـــی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی با دو روش شولر و ویلکوکس در جدول ۶ آمده است. هدایـــت الکتریکی اندوخته‌هـــای آب زیرزمینی با نمودارهای معرف دشت‌های بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی استخراج و بررسی شد (جدول ۷).

جدول ۶- کیفیت اندوخته‌های آب سطحی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی.

	رود	قره‌چای	زاینده‌رود	هلیل‌رود
	ایستگاه	جلایر	ورزنه	حسین‌آباد
۱۳۷۵	شولر	متوسط	کاملاً نامناسب	متوسط
	ویلکوکس	متوسط	نامناسب	متوسط
۱۳۸۰	شولر	متوسط	ناآشامیدنی	متوسط
	ویلکوکس	نامناسب	نامناسب	متوسط
۱۳۸۵	شولر	متوسط	کاملاً نامناسب	متوسط
	ویلکوکس	نامناسب	نامناسب	متوسط
۱۳۹۰	شولر	نامناسب	ناآشامیدنی	متوسط
	ویلکوکس	نامناسب	نامناسب	نامناسب
۱۳۹۵	شولر	نامناسب	ناآشامیدنی	نامناسب
	ویلکوکس	نامناسب	نامناسب	نامناسب

جدول ۷- اندازه‌ی شوری (EC) آب‌های زیرزمینی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در دوره‌ی پژوهش (µS/cm)

سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	میانگین
شوری	۲۴۷۳	۲۴۹۶	۲۵۷۷	۲۷۲۰	۲۷۳۹	۲۶۰۱

در مجمـــوع، وضعیـــت کیفـــی اندوخته‌های آب ســـطحی و زیرزمینـــی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در ســـال‌های بررســـی (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵) کاهشـــی بود. در ایـــن زمینه پژوهش‌های پرشماری، از جمله میرعباسی و همکاران (۲۰۰۸) در آبخوان دشت سیرجان و رحمانی و همکاران (۲۰۰۸) در سیمینه‌رود همدان انجام‌شـــده اســـت. در همه‌ی این پژوهش‌ها با روش شولر و ویلکوکس، کیفیت اندوخته‌های آب در دوره‌ی بررسی کاهشـــی گزارش شـــد، که با نتیجه‌ی پژوهـــش ما هم‌خوانی دارد. این نشـــان می‌دهد که بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی علاوه بر کمّیت اندوخته‌هـــای آبی، در کیفیت آب نیز با چالش‌های فراوانی روبه‌رو اســـت. بوگاردی و همـــکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود محدودیت دست‌رســـی به آب و کاهش کیفیت آن را از عامل‌های خطرناک برای همه سودمندان دانسته‌اند.

نتیجه‌ی بررسی اندازه‌ی دست‌رســـی مردم به آب آشامیدنی ســـالم و درصد جمعیت در پوشش خدمت‌رسانی جمع‌آوری و دفع بهداشـــتی فاضلاب در دوره‌ی پژوهش در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- دسترسی جمعیت به آب آشامیدنی و خدمت‌رسانی جمع‌آوری فاضلاب

سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
دسترسی جمعیت به آب آشامیدنی (٪)	۷۹	۸۱	۸۴	۸۷	۸۸
جمعیت در پوشش جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب (٪)	۱۰	۱۶	۲۰	۲۹	۳۹

بر پایه‌ی آمار بانک جهانی جمعیت در پوشش جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب در تراز جهانی از ۲۸/۲ ٪ در سال ۲۰۰۰ به ۴۵/۰ ٪ در سال ۲۰۱۶، و در خاورمیانه و شمال آفریقا در همین مدت از ۲۳/۱ ٪ به ۳۴/۷ ٪ افزایش یافت. این جمعیت در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در سال ۲۰۰۱ (۱۳۸۰) ۱۶ ٪ بود که از دو اندازه‌ی جهانی و منطقه‌یی کم‌تر بود؛ اما وضعیت رو به رشد آن در دو دهه‌ی گذشته سبب افزایش و پیشی گرفتن از میانگین منطقه‌یی شده است (جدول ۸). ایوانز و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی هزینه‌ها و سودمندی‌های بهبود آب و فاضلاب در تراز جهانی نشان دادند که بخش بهداشت نمی‌تواند و نباید انتظار داشت که با بودجه‌ی ناچیزی که در بیش‌تر کشورهای توسعه‌یابنده دارد، هزینه‌ی پیشرفت آب و فاضلاب را بدهد، اما ممکن است با داشتن نقش مهم نرم‌افزاری، یعنی آموزش تغییر رفتار در کنار همکاری‌های سخت‌افزاری (سهم مالی و فنی و محدود) منجر به تغییر و بهبود آن شود. بنابراین نباید به این بخش تنها با دیدگاه سخت‌افزاری و پرهزینه نگریسته شود، بل‌که می‌توان با فراهم کردن زیرساخت‌های آموزشی و فرهنگی مناسب و کم‌هزینه نیز تا حدودی موجب بهبود این شاخص شد. این نکته با نقش سرمایه‌گذاری و هزینه‌کرد در بخش آب و فاضلاب ناهمخوان نیست، بل‌که عاملی تسهیل‌گر در کنار روش‌های سخت‌افزاری و در نبود آن‌ها است، و نباید از نقش آن غافل شد.

پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر تصویرهای ماهواره‌یی، نقشه‌های پهنه‌های آبی تعیین‌شده بر پایه‌ی تصویرهای Landsat و با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان تهیه شد (جدول ۹).

جدول ۹- تغییر مساحت پهنه‌های آبی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی.

	۱۳۷۵–۸۰	۱۳۸۰–۸۵	۱۳۸۵–۹۰	۱۳۹۰–۹۵
دریاچه‌ی نمک (٪)	-۱۱/۰	-۶/۴	-۱۱/۵	+۵/۴
دریاچه‌ی بختگان (٪)	-۶/۱	-۳۰/۴	-۳۹/۶	+۵۲/۳
دریاچه‌ی جازموریان (٪)	-۴۰/۲	-۲۱/۳	-۱۳/۷	-۱۵/۱
تالاب گاوخونی (٪)	-۱۴/۹	-۸/۴	-۳۴/۹	-۵۲/۴

بررسی پهنه‌های آبی گوناگون نشان‌دهنده‌ی وضعیت کاهشی در وسعت آن‌ها است. در برخی از پهنه‌ها وضعیت تناوبی کاهشی- افزایشی بود، اما به‌طورکلی حرکت در دوره‌ی بررسی‌شده به سوی خشک شدن و کاهش وسعت بود. بر پایه‌ی یافته‌های لطفی و همکاران (۲۰۱۱) خشک شدن پهنه‌های آبی داخلی از عامل‌های اثرگزار بر امنیت ملی است.

نتیجه‌های ما با یافته‌های ابطحی و همکاران (۲۰۱۲)، ابطحی و سیف (۲۰۱۴) و شیخ و همکاران (۲۰۱۹) در باره‌ی خشک‌سالی‌های آبخیز و دریاچه‌ی نمک، برداشت بی‌رویه آب از منطقه‌های اطراف و فعالیت‌های انسانی، نتیجه‌ی هاشمی تنگستانی و همکاران (۲۰۱۳) و ارسنجانی و همکاران (۲۰۱۵) از کاهش وسعت دریاچه‌ی بختگان به‌دلیل خشک‌سالی، آب‌کشی از چاه‌ها در آبخیز، برداشت مستقیم با کِشنده (پمپ) از رود کر و سیوند، سد ملاصدرا و سیوند، برداشت بیش از حد از آب‌راه‌های برگرفته از رود کر، و ساخت چاه‌های پرشمار پیرامون دریاچه، نتیجه‌ی قادری‌نسب و رهنما (۲۰۱۹) از خشک شدن و کاهش وسعت تالاب جازموریان بر اثر تبخیر زیاد، بهره‌گیری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، ساخت سد روی رودهایی که تالاب را آب‌دهی می‌کند، و تأثیر خشک‌سالی و تغییر آب‌وهوا و تبدیل آن به یکی از سرچشمه‌های اصلی تولید گرد و غبار در جنوب شرقی ایران، و نتیجه‌ی هنرجو و همکاران (۲۰۱۷) از کاهش پهنه‌ی تالاب گاوخونی به‌علت تبدیل‌شدن زمین‌های مرتعی و جنگلی به زمین‌های کشاورزی، و بهره‌گیری از آب زاینده‌رود در زمین‌های بالادست برای آبیاری این زمین‌ها هم‌خوانی دارد.

بررسی وضعیت تغییر پوشش گیاهی از عامل‌های تعیین‌کننده‌ی امنیت آب است. این تغییر در سطح بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی برای دوره‌ی ۲۰ ساله محاسبه شد. اهمیت این موضوع در نقش گیاهان در حفاظت از اندوخته‌های آبی و نیز افزایش نفوذ است.

پوشش گیاهی بر پایه‌ی شاخص تفاضلی بهنجارشده‌ی پوشش گیاهی به چهار دسته‌ی بی پوشش، پوشش تنک، پوشش معمولی و پوشش متراکم (به ترتیب با اندازه‌های شاخص تفاضلی بهنجار شده‌ی پوشش گیاهی ۱- تا ۰/۰۵، ۰/۰۵ تا ۰/۱، ۰/۱ تا ۰/۵ و ۰/۵ تا ۱) تقسیم می‌شود. نتیجه‌ی بررسی پوشش گیاهی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰- درصد فراوانی رده‌های پوشش گیاهی بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی بر پایه‌ی یافته‌های تصویرهای ماهواره‌یی.

پوشش/ سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
بی پوشش	۱/۱	۱/۵	۰/۶	۰/۹	۰/۵
پوشش تنک	۶۳/۹	۶۴/۵	۷۰/۳	۶۵/۹	۶۹/۹
پوشش معمولی	۳۴/۷	۳۳/۹	۲۸/۸	۳۳/۰	۲۹/۵
پوشش متراکم	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۱

وضعیت رده‌ی پوشش معمولی از ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ کاهشی بود، که در دوره‌ی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ شدت بیش‌تری از ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ داشت. افت کیفیت پوشش گیاهی در دوره‌های گوناگون به‌ویژه ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ ممکن است یکی از نتیجه‌های تشنگی بسیار برای توسعه‌ی بی‌قیدوشرط بوده باشد، زیرا همیشه اندوخته‌های طبیعی یکی از بخش‌هایی است که قربانی پیشرفت‌های عصر جدید است.

نتیجه‌ی وزن‌دهی و تعیین اولویت شاخص‌های مؤثر بر امنیت آب در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱۱- وزن‌های تعیین‌شده برای معیارها بر پایه‌ی روش ANP.

معیار	وزن در مدل ANP	اولویت
سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر	۰/۱۶۴	۱
شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب	۰/۱۴۳	۲
تغییر اندازه‌ی پهنه‌های آبی بزرگ	۰/۱۰۱	۷
تغییر تولید ناخالص داخلی در برابر مصرف آب	۰/۱۲۳	۵
سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مربوط به آب	۰/۱۳۱	۴
کیفیت اندوخته‌های آب سطحی و زیرزمینی	۰/۱۳۷	۳
دست‌رسی به آب آشامیدنی و مدیریت آلودگی	۰/۱۱۵	۶
تغییر وسعت پوشش گیاهی	۰/۰۸۶	۸
نرخ ناسازگاری = ۰/۰۶		

نتیجه‌ی وزن‌دهی و تعیین اولویت‌های هشت شاخص برای وضعیت امنیت آب (جدول ۱۱) نشان می‌دهد که شاخص سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر و شاخص شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۱۶۴ و ۰/۱۴۳، اولویت اول و دوم را از دیدگاه اثرگزاری بر امنیت آب داشت. کیفیت اندوخته‌های آب سطحی و زیرزمینی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مربوط به آب با وزن‌های ۰/۱۳۷ و ۰/۱۳۱، در اولویت سوم و چهارم بود. تغییر تولید ناخالص داخلی در برابر مصرف آب، دست‌رسی به آب آشامیدنی و مدیریت آلودگی، تغییر وسعت پهنه‌های آبی بزرگ، و تغییر وسعت پوشش گیاهی نیز به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۱۲۳، ۰/۱۱۵، ۰/۱۰۱ و ۰/۰۸۶ در اولویت‌های پنجم تا ششم بود.

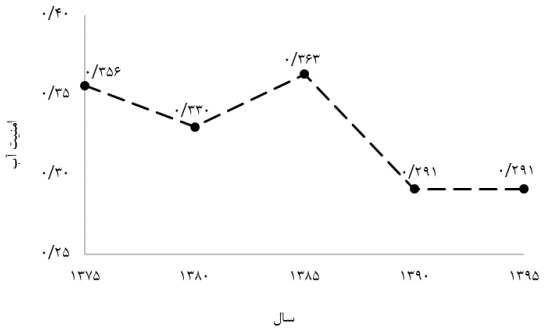
نتیجه‌ی بخش تعیین اولویت شاخص‌های هشت‌گانه نشان می‌دهد که سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر و شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب در اولویت اول و دوم اثرگزاری بر مقوله امنیت آب است، که بر پایه‌ی نقش گسترده و اثر مستقیم این دو بر وضعیت امنیت آب تفسیر می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌های امنیت آب نیز بر نقش سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر و شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب تأکید شده است (کومو و واریس، ۲۰۱۱؛ فیشر و همکاران، ۲۰۱۵؛ جیانگ، ۲۰۱۵). سرانه‌ی اندوخته‌های آب تجدیدپذیر نشان‌دهنده‌ی میزان دست‌رسی، و شدت بهره‌گیری از اندوخته‌های آب نشان دهنده‌ی اندازه‌ی

تقاضا اســت، که هر دو از عامل‌های پایه و تعیین‌کننده است و مدیریت صحیح و کارآمد این دو ممکن اســت نقش مؤثری بر بهبود وضعیت امنیت آب داشــته باشــد. در پژوهش گِین و همکاران (۲۰۱۶) نیز از میان چهار عامل دســترس بودن، دسترســی به خدمات، ایمنی و کیفیت و مدیریت، دسترس بــودن (ســرانه‌ی اندوخته‌های آب) اولویــت و وزن بیش‌تری (۰/۴۵) از دیگر عامل‌های مؤثر بر امنیت آب داشــت. در حالی که در پژوهش لــی و همکاران (۲۰۱۶)، از میان عامل‌های در نظر گرفته شــده برای ارزیابی امنیــت آب چین، کیفیت آب اندوخته‌های سطحی در رتبه‌ی اول و سرانه‌ی اندوخته‌های آب در رتبه‌ی دوم اثرگزاری بر امنیت آب این کشــور بود. از آن‌جا که ســرانه‌ی اندوخته‌های آب در چین در سال ۲۰۱۴ بیش از ۲۰۰۰ m^3 در سال در برابر هر نفر بود، و جمعیت کشور رو به کاهش است، و از آن‌جا که منبع اصلی تأمین آبی آشامیدنی در چین اندوخته‌های آب سطحی است، طبیعی است که کیفیت اندوخته‌های آب سطحی اولویت بیش‌تری از سرانه‌ی آب دارد. وزن‌دهــی بــا ANP، رابطــه‌ی محاســبه‌ی امنیــت را به‌دست داد (رابطه‌ی ۱).

(۱)

$$WS=0.164(RWRPC)+0.143(IWU)+0.137(WQ)+0.131(IWI)+0.123(WP)+0.115(ADWPM)+0.101(CWBA)+0.086(GCA)$$

WS امنیــت آب، RWRPC ســرانه‌ی اندوخته‌هــای آب تجدیدپذیر، IWU شــدت بهره‌گیــری از آب، WQ کیفیت آب، IWI سرمایه‌گذاری در زیرســاخت‌های آب، WP بازده اقتصادی آب، ADWPM دسترســی به آب آشــامیدنی و مدیریت آلودگی، CWBA تغییرهای وســعت پهنه‌های آبی و GCA وســعت پوشش سبز است. عدد امنیت آب در بازه‌ی ۰ تا ۱ محاســبه می‌شــود. عدد ۱ و ۰ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی بهتریــن و بدترین وضعیت امنیت آب، و اندازه‌های میان آن‌ها نشــان‌دهنده‌ی وضعیت‌هــای گوناگونی از امنیت آب اســت. وضعیت امنیت آب و اندازه‌های محاسبه‌شــده‌ی امنیت آب در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- وضعیت شاخص امنیت آب در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در سال‌های پژوهش.

تغییر اندازه‌های محاسبه‌شــده برای امنیت آب در ســال‌های پژوهش (جدول ۱۲) نشان می‌دهد که روند وضعیت امنیت آب بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در دوره‌ی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ کاهشی، در دوره‌ی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ افزایشــی، در ســال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ دوباره کاهشی، و در دوره‌ی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ ثابت بود. بیش‌تریــن اندازه‌ی کاهش امنیت آب در بازه‌ی ۹۰-۱۳۸۵ با ۰/۰۷۲ واحــد کاهش بود. مجموع اندازه‌ی کاهش در مجموع دوره‌ی بیست‌ســاله‌ی پژوهش از ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ نیز ۰/۰۶۵ واحد بود. میانگین امنیت آب نیز ۰/۳۲۶ واحد بود.

بــر پایه‌ی پژوهش گِین و همکاران (۲۰۱۶) به روش میانگین وزنی، امنیت آب در کشورهای خاورمیانه از جمله ایران ضعیف است. بر پایه‌ی نقشه‌های داده‌شده در این پژوهش، امنیت آب در جاهــای گوناگون ایران بر پایــه‌ی عامل‌های چهارگانه در محدوده‌ی ۰/۱۵ تا ۰/۶۵ گزارش شــد. در برخی جاها مانند بخش‌هایــی از ایالات متحده، اســترالیا و جنوب اروپا، اگرچه کمبود آب (ضعف دسترســی به آب) هست، به دلیل کارکرد خوب در بخش‌های مدیریت، ایمنی و کیفیت، و دسترســی به خدمات، امنیت آب وضعیت بهتــری از خاورمیانه دارد. بر پایــه‌ی نتیجه‌ی لی و همکاران (۲۰۱۶) ارزیابی امنیت آب در چیــن با داده‌های کلان اقتصادی ســال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ نشــان می‌دهد که امنیت آب در این کشــور بهبود یافت و از ۰/۲۴۹ به ۰/۸۲۷ رسید.

نتیجه‌ی به‌دســت آمده نشــان‌دهنده‌ی کاهــش امنیت آب

در مجموع ۲۰ سال پژوهش است، که با نتیجه‌ی برخی از پژوهشگران از جمله کاریرا و همکاران (۲۰۱۸)، بِسبِس و همکاران (۲۰۱۹)، بابل و همکاران (۲۰۲۰) و یانگ و همکاران (۲۰۲۱) که کاهش امنیت آب را در جاهای گوناگون جهان نشان دادند هم‌سو است. این نتیجه‌ها نشان‌دهنده‌ی شرایط متغیر و حتا پیچیده‌ی حاکم بر وضعیت امنیت آب است. از همین رو است که فیشر و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهش خود در دسته بندی کشورها بر پایه‌ی شاخص‌های آبی- اقتصادی ایران را در گروه کشورهای با اقتصاد ضعیف و پیچیدگی‌های آبی زیاد گذاردند.

نتیجه‌گیری

به‌دلیل اهمیت ویژه‌ی اندوخته‌های آبی که عاملی حیاتی در توسعه و پیش‌رفت جامعه است، در این پژوهش جنبه‌های گوناگونی از وضعیت امنیت آب در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی در یک دوره‌ی ۲۰ ساله (۱۳۷۵–۱۳۹۵) بررسی شد. بر پایه‌ی خلأ پژوهشی در این زمینه به‌ویژه در کشور، شاخص‌های گوناگون و جامعی برای بررسی امنیت آب درنظر گرفته و افق مناسبی از وضعیت فعلی ترسیم شد. در مجموع می‌توان گفت که نتیجه‌ها نشان‌دهنده‌ی وضعیت گوناگون و بیش‌تر کاهشی برای شاخص‌های گوناگون امنیت آب در بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی است.

از آن‌جا که بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی بخش عمده‌یی از جمعیت و وسعت کشور را در خود دارد، می‌توان تایید کرد که هم‌اکنون بخش زیادی از جمعیت کشور با دشواری‌های مرتبط با امنیت آب روبه‌رو اند، که در سال‌های گذشته نیز نشانه‌های ناامنی آب را در جاهای گوناگونی از کشور شاهد بوده‌ایم. نشست زمین در دشت‌های کشور، روی‌داد سیل در جاهای گوناگون، پایین رفتن تراز ایست‌آبی، افزایش اندازه‌ی شوری و کاهش کیفیت آب، خشک‌شدن و کاهش وسعت بسیاری از دریاچه‌ها و پهنه‌های آبی کشور، و کم‌بود اندوخته‌های آبی نشانه‌هایی از این دشواری است که به بزرگ‌آبخیز فلات مرکزی نیز محدود نمی‌شود.

بر پایه‌ی این یافته‌ها لازم است با کاربرد مدیریت پایدار بر اندوخته‌های آبی، ضمن درنظر گرفتن شرایط سیاسی، اجتماعی و اقتصادی، تعادل مناسبی در بهره‌گیری از اندوخته‌های آبی و بهبود شاخص‌های مؤثر بر امنیت آب ایجاد شود، تا از بحران های احتمالی آینده جلوگیری شود و وضعیت امنیت آب در کشور بهبود یابد، زیرا امنیت آب یکی از پایه‌های مهم امنیت ملی و پشتیبان آن است، و برای پیش‌رفت و توسعه، توجه به امنیت ملی و ثبات بسیار ضروری است.

فهرست منابع

Abtahi M, Saif A, 2014. Investigation of the last Quaternary climate from the geomorphic evidence in Namak Lake basin, Central Iran. Journal of Geography and Regional Planning. 5(3): 91–111. (In Persian).

Abtahi SM, Safe A. 2012. Precipitation and temperature trends in Namak Lake Basin (Iran) during the last half-century. International Journal of Science and Nature. 3(1): 137–146.

Arsanjani TJ, Javidan R, Nazemosadat MJ, Arsanjani JJ, Vaz E. 2015. Spatiotemporal monitoring of Bakhtegan Lake›s areal fluctuations and an exploration of its future status by applying a cellular automata model. Computers & Geosciences. 78(1): 37–43.

Babel MS, Shinde VR, Sharma D, Dang NM. 2020. Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. Environmental Research. 185(1): 1–12.

Bergier I, Assine ML, McGlue MM, Alho CJ, Silva A, Guerreiro RL, Carvalho JC. 2018. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. Science of the Total Environment. 619(1):1116–1125.

Besbes M, Chahed J, Hamdane A. 2019. Water security, food security and the national water dependency. In National Water Security. Springer, Cham. pp. 219–255.

Boelens R, Seemann M. 2014. Forced engagements: Water security and local rights formalization in Yanque, Colca Valley, Peru. Human Organization. 73(1): 1–12.

Bogardi JJ, Dudgeon D, Lawford R, Flinkerbusch E, Meyn A, Pahl-Wostl C, Vielhauer K, Vörösmarty C. 2012. Water security for a planet under pressure: Interconnected chal-

lenges of a changing world call for sustainable solutions. Current Opinion in Environmental Sustainability. 4(1): 35–43.

Carrera J, Arroyo V, Rojas F, Mejia A. 2018. Water security in Latin America: Tthe urban dimension. Empirical evidence and policy implications from 26 cities. In Global Water Security. Springer, Singapore. pp. 217–232

Dubey SK, Sharma D, Babel MS, Mundetia N. 2020. Application of hydrological model for assessment of water security using multi-model ensemble of CORDEX-South Asia experiments in a semi-arid river basin of India. Ecological Engineering. 143(1): 35–48.

Evans B, Hutton G, Haller L. 2017. Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at a global level. (No. WHO/SDE/WSH/04.04). Geneva: World Health Organization. 13(6): 642–658.

Falkenmark M, Lundqvist J. 1998. Towards water security: political determination and human adaptation crucial. Natural Resources Forum. 22(1): 37–51.

Falkenmark M, Lundqvist J, Widstrand C. 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. Blackwell Publishing Ltd. Natural Resources Forum. 13(4): 258–267.

Fischer G, Hizsnyik E, Tramberend S, Wiberg D. 2015. Towards indicators for water security-A global hydro-economic classification of water challenges. International Institute for Applied System Analysis. Interim Report IR-15-013, 24 p.

Frone DF, Frone S. 2015. The importance of water security for sustainable development in the romanian agri-food sector. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 6(1): 674–681.

Gain AK, Giupponi C, Wada Y. 2016. Measuring global water security towards sustainable development goals. Environmental Research Letters. 11(12): 1–13.

Garfin GM, Scott CA, Wilder M, Varady RG, Merideth R. 2016. Metrics for assessing adaptive capacity and water security: common challenges. diverging contexts, emerging consensus. Current Opinion in Environmental Sustainability. 21(1): 86–89.

Global Water Partnership. GWP. 2000. Towards water security: A framework for action. GWP, Stockholm, 111 p.

Grey D, Garrick D, Blackmore D, Kelman J, Muller M, Sadoff C. 2013. Water security in one blue planet: Twenty-first century policy challenges for science. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371(2002): 1–10.

Grey D, Sadoff CW. 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. Water Policy. 9(6): 545–571.

Harmancioglu NB, Cetinkaya CP, Barbaros F. 2020. Sustainability issues in water management in the context of water security. Water Resources of Turkey. 6(1): 1867–1891.

Honarjoo N, Ziaei HR, Jalalian A. 2017. Investigation of changes in the level of Gavkhoni Wetland during the years 1335 to 1394 with the help of aerial photographs and satellite data. 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan, Iranian Soil Science Association, Isfahan University of Technology. (https://civilica.com/doc/729801) (In Persian).

Jajarmi K, Pishgahi Fard Z, Mahkuei H. 2013. Assessment of environmental threats to Iran›s national security. Iranian Journal of Strategy. 22(67): 193–230. (In Persian).

Jiang Y. 2009. China›s water scarcity. Journal of Environmental Management. 90(11): 3185–3196.

Jiang Y. 2015. China›s water security: Current status, emerging challenges and future prospects. Environmental Science & Policy. 54(1): 106–125.

Jun X, Yongyong Z. 2008. Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. Physics and Chemistry of the Earth. 33(5): 359–363.

Kaviani Rad M, Sasanpour F, Nosrati HR. 2019. Analysis of the concept of water security from the perspective of political geography. Iranian Journal of Geopolitic. 15(53): 23–59. (In Persian).

Kisakye V, Van der Bruggen B. 2018. Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems. Resources, Conservation and Recycling. 138(1): 49–63.

Kummu M, Varis O. 2011. A world by latitudes: A global analysis of human population, development level and environment across the north-south axis over the past half-century. Applied Geography. 31(2): 495–507.

Li XS, Peng ZY, Li TT. 2016. An evaluation index system of water security in China based on macroeconomic data from 2000 to 2012. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 39(1): 1–16.

Liu B, Zhang F, Qin X, Wu Z, Wang X, He Y. 2021. Spatiotemporal assessment of water security in China: An integrated supply-demand coupling model. Journal of Cleaner Production. 321(1): 73–88.

Lotfi H, Nami MH, Hasanpour J, Boheiraei H. 2011. Environmental security and national security policy. Iranian Journal of New Attitudes in Human Geography. 3(4): 121–144. (In Persian).

Lundqvist J, Appasamy P, Nelliyat P. 2003. Dimensions and approaches for Third World city water security. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences. 358(1440): 1985–1996.

Madani K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. Journal of Environmental Studies and Sciences. 4(4): 315–328.

Malekian A, Hayati D, Aarts N. 2017. Conceptualizations of water security in the agricultural sector: Perceptions, practices, and paradigms. Journal of Hydrology. 544 (1): 224–232.

Management and Planning Organization. 2012. Instructions for classification and coding of catchments and study areas in the country. 127 p. (In Persian).

McNabb DE. 2019. Global pathways to water sustainability. Springer. 171 p.

Medeiros AS, Wood P, Wesche SD, Bakaic M, Peters JF. 2017. Water security for northern peoples: review of threats to Arctic freshwater systems in Nunavut, Canada. Regional Environmental Change. 17(3): 635–647.

Mianabadi H. 2012. Water, security and border rivers, National Conference on Border Cities and Security, Challenges and Approaches. Sistan and Baluchestan University. 2012(1): 2342–2360. (In Persian).

Mirabbasi R, Mazloumzadeh SM, Rahnama MB. 2008. Evaluation of irrigation water quality using fuzzy logic. Research Journal of Environmental Sciences. 2(5): 340–352.

Mirnia SK, Mirabzade M, Keshavarz A. 1996. Development and environment. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development. 11(1): 107–118. (In Persian).

Mohammady M, Moradi HR, Zeinivand H, Temme A. 2015. A comparison of supervised, unsupervised and synthetic land use classification methods in the north of Iran. International Journal of Environmental Science and Technology. 12(5): 1515–1526.

Moradi HR, Fazelpur MR, Sadeghi HR. 2011. Assessing land use changes in Ardakan Area using remote sensing. Journal of Geography and Regional Planning. 4(2): 77–86.

Moradi HR, Rajabi M, Faragzadeh M. 2011. Investigation of meteorological drought character-

istics in Fars Province, Iran. Catena. 84(1–2): 35–46.

Moradi HR, Taghavi N, Bahramifar N. 2011. The effect of different uses on the quality of surface water resources, a case study of Siahrood Ghaemshahr Watershed. Environmental Erosion Research. 1(4): 21–31. (In Persian).

Qaderi Nasab F, Rahnama MB. 2019. Developing restoration strategies in Jazmurian Wetland by remote sensing. International Journal of Environmental Science and Technology.17(5): 2767–2782.

Rahmani AR, Samadi MT, Heydari M. 2008. Water quality assessment of Hamadan-Bahar Plain Rivers using Wilcox diagram for irrigation. Agriculture Research. 8(1): 27–35. (In Persian).

Rasul G. 2014. Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region. Environmental Science & Policy. 39(1): 35–48.

Rosegrant MW, Ringler C, Zhu T. 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. Annual Review of Environment and Resources. 34(1): 205–222.

Sadeghi SS, Naderi M. 2016. Analysis of the dimensions of government security in 21st century Iran. Iranian Journal of Government Research. 2(5): 165–202. (In Persian).

Schoeller H. 1955. Géochemie des eauxsouterraines. Rev Inst Fr Pétrol. 10(1): 230–244.

Schoeller H. 1967. Hydrodynamique dans le karst. Chronique d›Hydrogéologie. 10(1): 7–21.

Sheikh Z, Yazdani M, Moghaddam NA. 2019. Evaluation of spatio-temporal changes of flow duration curve seasonal indexes (FDCSI) in Four Decades in Namak Lake Basin. Iran-Water Resources Research. 15(2): 39–56.

Shiklomanov I. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. Water International. 25(1): 11–32.

Srinivasan V, Konar M, Sivapalan M. 2017. A dynamic framework for water security. Water Security. 1(1): 12–20.

Tangestani MH, Beyranvand S, Tayyebi MH. 2013. Change detection of bakhtegan lake, Fars Province, during 1956–2007. Journal of Environmental Studies. 39(3): 43–44.

Taylor A. 2015. Large-scale land and acquisitions in Tanzania: A critical analysis of their implications on water security. Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. 152 p.

UN. 1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Economic and Social Council. Fifth Session, 5–25 April., New York: United Nations. 54 p.

Vörösmarty CJ, Stewart-Koster B, Green PA, Boone EL, Flörke M, Fischer G, ... & Stifel D. 2021. A green-gray path to global water security and sustainable infrastructure. Global Environmental Change. 70(1): 56–71.

Wilcox LV. 1955. Classification and use of irrigation waters. US Department of Agriculture. Cire. 969, Washington D.C. USA. 19 p.

Yang H, Reichert P, Abbaspour KC, Zehnder AJB. 2003. A water resources threshold and its implications for food security. Environmental Science & Technology. 37(14): 3048–3054.

Young SL, Frongillo EA, Jamaluddine Z, Melgar-Quiñonez H, Pérez-Escamilla R, Ringler C, Rosinger AY. 2021. Perspective: The importance of water security for ensuring food security, good nutrition, and well-being. Advances in Nutrition. 12(4): 1058–1073.

Zeitoun M. 2011. The global web of national water security. Global Policy. 2(3): 286–296.

Zeitoun M, Lankford B, Krueger T, Forsyth T, Carter R, Hoekstra AY, Swatuk L. 2016. Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges. Global Environmental Change. 39(1): 143–154.

Watershed Management Research

VOL. 35, No.2, Ser. No: 135, Summer 2022, pp. 71 -87
DOI: 10.22092/WMRJ.2021.354544.1412

Research Paper

Water Security Assessment in Large Watershed of Central Plateau of Iran

Mohamad Ali Zakeri
Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran
Seyed Khallagh Mirnia
Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran
Hamid Reza Moradi
(Corresponding Author)* Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

Corresponding Author Email: hrmoradi@modares.ac.ir
Received: 22 August 2021 Accepted: 08 November 2021

Abstract
Given Iran›s location in the dry belt of the world and the lack of a comprehensive and accurate assessment of water security in the country, the study of variability in this category as one of the important dimensions of national security to develop appropriate management models seems important and inevitable. The present study aims to investigate and evaluate the water security in the large watershed of Central Plateau due to its large size and high population in terms of eight important sub-indicators including per capita renewable water resources, the intensity of water use, water productivity, investment in water infrastructure, water quality, access to drinking water and water pollution management, green cover changes and changes in large water bodies were established and implemented over a 20-years with 5-year intervals (1996 to 2016). The calculated values for water security are 0.356, 0.330, 0.363, 0.291, and 0.291 respectively for 1996, 2001, 2006, 2011, and 2016 and the average during the twenty years of research was 0.326 units. The results also show that per capita renewable water resources and index of water use have the greatest impact on water security based on the prioritization of factors affecting water security. It is necessary to establish sustainable management of water resources while taking into account political, social, and economic requirements and paying attention to the issue of water security by the executive and legislative bodies in order to promote national security to establish a proper balance in the use of water resources and water security and Consequently, national security will be improved.

Keywords: **Comprehensive water resources management, national security, socio-economic, sustainable development, water diplomacy, water policy**