2019, Vol.6, No.1, Pages 61 to 66
Journal of Water and Sustainable Development

سال ششم، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحات ۶۱ تا ۶۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Conceptual/ Technical Note

نوع مقاله: مفهومی/ یادداشت فنی

Deep Water Resources: Opportunities and Challenges

F. Keykhaei[1*], F. Abbasi[2]

1- Research Instructor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation, Karaj, Iran. 2- Research Professor of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation, Karaj, Iran.

*(Corresponding Author Email: keykhaei80@gmail.com)

Received: 25-03-2018
Accepted: 03-03-2019

Abstract

More than 96% of the world's freshwater (excluding snow and glaciers) is groundwater which has turned this essential resource into the most important reservoir of freshwater on the planet. Nowadays, exploitation of groundwater resources has been developed for agricultural, industrial, and drinking uses. Due to the water shortage crisis, various solutions have been proposed. Exploring and using unconventional waters such as deep waters is one of these solutions. Groundwater resources are strategic assets of a country in which deep water resources are also included. In this paper, a review of deep water resources including quantity and quality, depth, spatial distribution, and the extraction cost of these resources has been discussed.

Keywords: Deep waters, Fossil waters, Renewable, Non-renewable.

منابع آب ژرف: فرصت‌ها و چالش‌ها

فاطمه کیخایی[1*]، فریبرز عباسی[2]

۱- مربی پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی ،کرج، ایران. ۲- استاد پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: keykhaei80@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۲

چکیده

بیش از ۹۶ درصد آب شیرین کره زمین (به جز برف و یخچال‌ها) در آب زیرزمینی قرار دارد که این منبع حیاتی را به مهمترین ذخیره آب شیرین بر روی کره زمین تبدیل نموده است. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب توسعه زیادی پیدا کرده است. باتوجه‌به بحران کم آبی، راهکارهای متعددی برای رفع این بحران ارائه شده که یکی از آن‌ها اکتشاف و استفاده از منابع آب‌های غیرمتعارف همچون آب‌های ژرف برای مصارف مختلف است. آب‌های زیرزمینی سرمایه‌های استراتژیک یک کشور محسوب می‌شوند و منابع آب ژرف نیز جز این سرمایه‌ها هستند. در این مقاله مروری بر منابع آب ژرف شامل کمیت و کیفیت، عمق، توزیع مکانی و هزینه استحصال این منابع انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های ژرف، آب‌های فسیلی، تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر.

DOI: 10.22067/jwsd.v6i1.71804

مقدمه

آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب است و در صورت وقوع ابرخشکسالی به یگانه منبع تامین آب تبدیل خواهد شد. این منابع به دلیل اطمینان‌پذیری بالا به‌عنوان ذخیره استراتژیک برای شرایط تنش آبی شناخته می‌شود. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی به حجمی از آب زیرزمینی شیرین گفته می‌شود که باید به‌عنوان ذخیره برای فعالیت‌های مختلف به‌ویژه شرب در آبخوان حفظ شود. بی‌توجهی به ظرفیت تجدیدپذیری آب زیرزمینی و عدم توجه به حفظ ذخیره استراتژیک می‌تواند خسارات جبران ناپذیری را به همراه داشته و موجب تغییر مسیر سرنوشت یک جامعه شود (درخشان و همکاران، ۱۳۹۶). آب‌های ژرف به‌عنوان بخشی از منابع آب زیرزمینی جز سرمایه‌های استراتژیک یک کشور محسوب می‌شود. هر نوع آب زیرزمینی که از عمقی بیش از بیشینه عمق معمول برداشت شود یا در عمقی پایین‌تر از سفره‌های معمول آب زیرزمینی منطقه باشد آب ژرف به‌شمار می‌آید. در تعریفی دیگر منابع آب ژرف به آب‌های زیرزمینی عمیقی اطلاق می‌شود که در عمق ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ متر قرار داشته باشد. دانستنی‌ها در خصوص هیدرولوژی آب‌های ژرف بسیار ناچیز است. این منبع آب به دلیل شوری زیاد و وجود مواد جامد محلول در آب (بیشتر از ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر) اغلب برای شرب مناسب نیستند ولی برای فعالیت‌های کشاورزی مناسب هستند. این منبع در کشورهایی که اقلیم خشک و بیابانی دارند منابع با ارزشی هستند (Shamrukh، ۲۰۱۲). آب‌های ژرف به دو دسته آب‌های نیمه‌فسیلی و فسیلی تقسیم می‌شوند که به شرح ذیل می‌باشد:

الف: آب‌های نیمه‌فسیلی: سفره‌های آبی در اعماق زمین هستند و به این دلیل که امکان تغذیه از بارش‌ها، آب‌های سطحی و زیرزمینی را دارند تجدیدپذیر و به کمک مطالعات آب‌شناسی، هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی منطقه قابل شناسایی هستند. تجدیدپذیری منابع آب ژرف به تراوایی رسوبات و سازندها، میزان بارش و زمان ماندگاری آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. تجدیدپذیری به معنا تجدید هر سال آب نیست ممکن است دوره تجدید به ۵۰،۱۰۰، ۱۰۰۰ ویا یک میلیون سال برسد اما در نهایت تجدیدپذیر است (Foster و Louks، ۲۰۰۶). برخلاف تعریف ذکر شده آبی که هر سال توسط بارش تجدید شود را تجدیدپذیر و اگر زمان تجدیدپذیری آب در مقایسه با عمر انسان بیشتر باشد تجدیدناپذیر نامیده می‌شود (Birka، ۲۰۱۸).

ب: آب‌های فسیلی: آب‌های زیرزمینی قدیمی هستند و سنی بیش از چندین هزارسال دارند؛ این منابع در سفره‌های آب کاملا محبوس هستند و از هیچ منبعی تغذیه نمی‌شوند. به عبارت دیگر این منابع تجدیدپذیر نیستند بلکه به نوعی ذخیره نهایی آب به حساب می‌آیند (Foster و Louks، ۲۰۰۶). این ذخایر آبی در برخی از کشورها مانند آفریقا، استرالیا، لیبی و... شناسایی و بهره‌برداری می‌شوند. اقلیم مناطقی که این آب‌ها را تغذیه می‌کنند می‌تواند با اقلیم منطقه موجود این سفره‌ها بسیار متفاوت باشد. به‌طور مثال آبخوان دیسی که قادیسی به آن اطلاق می‌شود به‌عنوان یك منبع ذخیره آبی بسیار عظیم برای کشورهایی که بر روی آن قرار دارند تلقی می‌شود این آبخوان شامل بخشی از جنوب اردن و شمال و شمال غرب عربستان می‌باشد و سن آن از طریق آزمایش‌های ایزوتوپی به حداقل ۳۰۰۰۰ سال مربوط می‌شود .این آبخوان ماسه سنگی در حدود ۳۲۰ کیلومتر پهنا دارد که ضخامت آن ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر می‌باشد (Macoun و El Naser، ۱۹۹۹). براساس تشابهات زمین‌شناسی، لیتولوژی، تکتونیکی، هیدرولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی این آبخوان بخشی از آبخوان نوبین آبخوانی بزرگ واقع در جنوب غربی مصر می‌باشد (Gaber و Salameh، ۱۹۹۲). در بسیاری اوقات آب‌های ژرف وارد اقیانوس‌ها می‌شوند و تا ده‌ها کیلومتربه اعماق زمین نفوذ می‌کنند. باتوجه‌به اینکه عمق سفره به شرایط هیدروژئولوژیکی محلی-ناحیه‌ای وابسته است معیار پذیرفته و کاملی برای تفکیک سفره آب ژرف از غیرژرف نیست. اختلاف بار هیدرولیکی بین دو سفره و وجود آب زیرزمینی با هیدروشیمی متفاوت در دو سفره و یا سفره آب‌های زیرزمینی با گسترش چند کیلومتر مربع تا چند میلیون کیلومتر مربع می‌تواند ویژگی منابع آب ژرف تلقی شود (Jasechko، ۲۰۱۷).

آب‌های تجدیدپذیر دو نوع هستند. آب‌هایی که در رسوبات آبرفتی و کواترنری[1] وجود دارند و اگر بیش از حد از آن‌ها بهره‌برداری شود احتمال نشست زمین وجود دارد. در برنامه بهره‌برداری از منابع آب ژرف این نوع آب مورد نظر نمی‌باشد. اما آب‌های پهنه‌های گسلی آب‌های برون حوزه‌ای هستند که از یک حوزه دیگر وارد ایران می‌شوند. این منابع در خارج از مرزهای ایران در عمق بیش از ۷۰۰ متری زمین قرار دارند. استفاده از این آب‌ها باعث نشست زمین و تهدیدات زیست‌محیطی نمی‌شود؛ زیرا استحصال آب از گسل‌های فعال و عمیق خطر فرو نشست ندارد و این منابع در صورت عدم برداشت از کشور خارج می‌شوند (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰).

آب‌های فسیلی آب‌های ژئوترمال[2] (زمین گرمایی) و آب‌های نفتی تجدیدناپذیر هستند. تمام آب گرم‌هایی که در مناطق مختلف کشور از جمله سرعین، فردوس و نایبند طبس وجود دارند منابع آب ژرف هستند و از درون به سطح زمین جریان دارند. این آب‌ها تجدیدناپذیر هستند و مانند ذخایر نفتی یک منبع زیرزمینی آبی بسیار مهم و تجدیدناپذیر تلقی می‌شوند (Foster، ۲۰۰۶). می‌توان آبخوان‌های فسیلی را آبخوان‌های یکبار مصرف نامید و در شرایط خشکسالی شدید و طولانی مدت از آن‌ها استفاده نمود هرچند که مزارع و شهرهایی که به این نوع منابع متکی هستند سرانجام با مشکل خشک شدن منابع بهره‌برداری خویش مواجه خواهند شد و از بین خواهند رفت.

• عمق منابع آب ژرف

عمق قرارگیری آب‌های ژرف در مناطق مختلف جهان متفاوت و نسبی است. در بعضی کشورها مانند بنگلادش به‌دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی منابع آب ذخیره شده در عمق بیش از ۱۵۰ متر جز آب‌های ژرف به‌شمار می‌آیند. در کشورهای خشک مانند اردن، لیبی و الجزایر به آب‌های ذخیره شده در عمق‌های ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر منابع آب ژرف گفته می‌شود. در کالیفرنیا واسترالیا آبخوان ۳۰۰ تا ۵۰۰۰ متری را آبخوان ژرف می‌نامند (رمضانی سربندی و همکاران، ۱۳۹۴). براساس برآوردهای صورت گرفته منابع آب سفره‌های آب سطحی بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیارد مترمکعب و آب موجود در سفره‌های ژرف ایران بین ۵۰ تا۶۰ هزار میلیارد برآورد شده است که بخشی از این منابع آب تجدیدپذیر و بخشی آب‌های فسیلی، شور و هیدروترمال[۳] هستند.

• کیفیت و کاربرد منابع آب ژرف

برخی از منابع آب ژرف به‌دلیل عبور از سازندهای مختلف ممکن است دارای کیفیت پایین، شور، تحت فشار، با درجه حرارت بالا و گاهی دارای آلودگی‌های رادیواکتیو هم باشند. ارزش املاح برخی سفره‌های آب زیرزمینی ژرف با کیفیت پایین بیشتر از آب آن‌ها است. املاح این منابع باتوجه‌به اینکه با لایه‌های مختلف زمین در تماس هستند با املاح آب دریا متفاوت می‌باشد. مطالعات انجام شده در برخی مناطق اروپا نشان می‌دهد منابع آب ژرف از منابع کانی‌زایی به‌وجود آمده است؛ بنابراین برای بررسی ترکیبات این منابع از سیستم چند ایزوتوپی استفاده می‌شود. در یک منطقه زمین‌شناسی ممکن است دو یا چند آبخوان وجود داشته باشد اما هرکدام از آن‌ها می‌توانند ترکیبات ایزوتوپی متفاوتی ناشی از تأثیر سبک ایجادشدن، ارتفاع حوزه آبخیز و زمان تشکیل داشته باشد. ازآنجایی‌که چشمه‌ها از آبخوان‌ها نشأت گرفته‌اند ممکن است درجاتی از مواد محلول داشته باشند می‌توانند به ردیابی ایزوتوپی کمک کنند (Khaska و همکاران، ۲۰۱۵). آب‌های فسیلی علاوه‌بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی کاربردهای دیگری دارد که به شرح ذیل می‌باشد:

در جزیره میدلند شرقی در انگلیس از ماسه سنگ‌های تریاس آب بسیار با کیفیت و با مقادیر پایین TDS استخراج می‌شود. به‌دلیل عدم خورندگی از این آب به‌عنوان آب خنک‌کننده در ایستگاه‌های تولید برق استفاده می‌شود (Vaikmae و همکاران، ۲۰۰۱). اگر آب‌های فسیلی شور یا تلخ مزه به درستی استخراج شوند و در حین استخراج از آلودگی شیمیایی صنعتی و بیولوژیکی حفظ شوند، می‌توانند یك منبع آبی مناسبی برای نمك‌زدایی و تولید آب شیرین باشند. در برخی مناطق خشك یا جزایری که با کمبود آب شیرین مواجه هستند از طریق استخراج آب فسیلی و نمك‌زدایی آن آب مصرفی را تأمین می‌کنند. از آبخوان‌های فسیلی بسیار شور که قابلیت مصرف در هیچ زمینه‌ای ندارند برای استحصال گازهای طبیعی استفاده شده است و میکرو حباب‌های دی‌اکسیدکربن به این نوع آبخوان ها تزریق شده و بر اثر این تزریق یك سری واکنش‌های شیمیایی در آبخوان فسیلی شور انجام می‌شود که نتیجه این واکنش‌ها گازهایی طبیعی همچون متان از آبخوان استحصال می‌شود (Koide و همکاران، ۱۹۹۳). چون اکثر آب‌های فسیلی در اعماق قرار دارند بنابراین دمای بالایی دارند. این ویژگی به‌منظور استفاده از پتانسیل حرارتی در مناطق سردسیر می‌تواند مزیتی برای استفاده از آب‌های فسیلی باشد. بنابراین برخی از آب‌های هیدروترمال جز آب‌های فسیلی محسوب می‌شوند (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰).

• نحوه شناسایی و هزینه برداشت از منابع آب ژرف

علاوه‌بر روش‌های ژئوفیزیکی یکی از روش‌های اکتشاف آب‌های فسیلی استفاده از تکنیك سنجش از دور است. این تکنیك که یك روش نسبتاً نوپا بوده و از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از رادارها، اشعه مادون قرمز و تصاویر ماهواره‌ای مناطقی که پتانسیل وجود آب فسیلی را دارند قابل اجرا است. در شمال غرب منطقه دارفور در کشور سودان از طریق تحلیل نقشه‌های ماهواره‌ای یك آبخوان فسیلی کشف شد و اکنون به‌عنوان یك منبع آبی ارزشمند در اختیار اهالی دارفور قرار دارد (Oa، ۱۹۸۶). رمضانی سربندی و همکاران (۱۳۹۴) امکان استفاده و وجود آب‌های فسیلی در فلات مرکزی ایران را در مقایسه با فلات عربستان بررسی نمودند. هزینه اکتشاف و بهره‌برداری از منابع آب ژرف از هزینه انتقال بین حوزه‌ای و یا شیرین‌سازی آب با نمک‌زدایی و یا انتقال آب در مسیرهای طولانی کمتر است. اکتشاف و استحصال یک چاه آب ژرف با میانگین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متر عمق حدود ۳۰۰ میلیارد ریال و هزینه‌های نگهداری سالانه آن کمتر از یک میلیارد ریال برآورد شده است (آریامنش، ۱۳۹۶).

• ملاحظات خاص در استخراج منابع آب‌ژرف

- درصورتی‌که امکانات مهندسی، کارشناسی و بررسی‌های اقتصادی اجازه می‌دهد ضروری است منابع آب ژرف مطالعه، بررسی و پهنه‌بندی شوند. به‌دلیل پیچیدگی اکتشاف منابع آب ژرف باید در مطالعات منابع آب ژرف از تخصص‌های مختلف بهره گرفته شود. تخصص‌های هیدروژئولوژی، هیدرولوژی، هیدروژئوشیمی، تکتونیک، ژئوفیزیک، ژئومورفولوژی، چاه‌نگاری، آمار و حفاری مواردی هستند که باید در مطالعه منابع آب ژرف استفاده شوند.

- به‌دلیل وجود آلودگی در برخی از منابع آب ژرف ازجمله آلودگی‌های اتمی و یا شوری بیش از حد این منابع قابل استفاده نیستند. باتوجه‌به اهمیت مباحث اقتصادی در استحصال آب باید پس از ارزیابی این موارد حفاری انجام شود. برهم خوردن بیلان آب شور و شیرین و زیست‌بوم منطقه از جمله پیامدهای این تفکرات در برخی پروژه‌های استخراج آب‌های ژرف می‌باشد.

- ایجاد و یا احتمال وجود گازها از فاکتورهایی است که استحصال آب و نمونه‌برداری از این‌گونه منابع را پیچیده می‌کند. آبخوان ممکن است در حین پمپاژ، تحت‌فشار و گازها و میکرو ارگانیسم‌های موجود آن ناشناخته سمی و یا قابل اشتعال باشند (William و همکاران، ۲۰۱۴).

اقدامات انجام شده در خصوص منابع آب ژرف در ایران

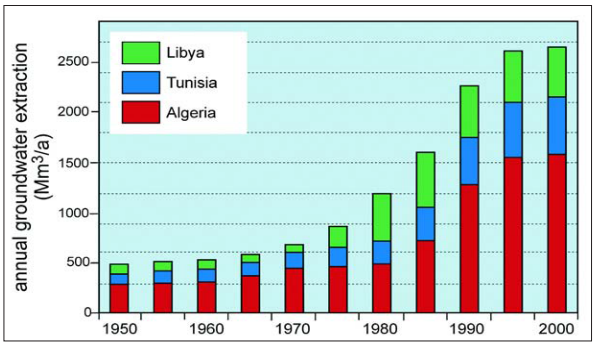
در ایران بحث اکتشاف منابع آب ژرف مورد توجه است. سازمان زمین‌شناسی گسل‌های فعال و اصلی کشور را شناسایی نموده است. از آن جمله می‌توان به گسل‌هایی مانند گسل گلمرد، شتری طبس و اسفندیار، نایبند و زاگرس، تهران و میامی در استان سمنان اشاره نمود. در کویر ایران این گسل‌ها پراکنده هستند. در مناطقی مانند دشت لوت که خشک و کویری است گسل‌هایی شناسایی شده است. ازآنجایی‌که اطلاعات کاملی از منابع آب فسیلی در کشور موجود نیست برای ردیابی اولیه این منابع ارزشمند در کشور از طریق تشابهات زمین‌شناسی و ... با آبخوان‌های فسیلی کشورهای همسایه اقدام شده است. کویر عربستان دارای حجم عظیمی از آب‌های فسیلی است؛ اکثر کشورهایی که در این کویر قرار دارند از جمله عربستان، اردن، قطر، امارات و بحرین از این آب‌ها استفاده می‌نمایند. این کشورها تشابه زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، تکتونیکی با محیط‌های رسوبی ایران تا اواخر دوران دوم زمین‌شناسی را دارند (آقانباتی، ۱۳۸۳). آب فسیلی در سازندهای ضخیم ماسه سنگی دوران دوم (غیرسیمانی) در مناطق غیرفعال تکتونیکی ایران وجود دارد. باتوجه‌به این شواهد علاوه‌بر مناطق زاگرس و البرز از ایران مرکزی مناطقی چون طبس و یزد که سازندهای ماسه‌ای و به لحاظ تکتونیکی تقریباً غیرفعال دارند، به‌عنوان مناطق محتمل وجود آب فسیلی درنظر گرفته می‌شود (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰). این پهنه‌ها فعال هستند و آب در این مناطق شناسایی شده است. در استان فارس، استان‌های ساحلی و در بستر خلیج فارس و دریای عمان، استان‌های آذربایجان، گیلان، خراسان جنوبی، یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان و رشته کوه‌های زاگرس و البرز احتمال رسیدن به آب ژرف وجود دارد؛ لذا مطالعه و شناخت این منابع ضروری است. طرح مطالعاتی منابع آب ژرف ایران با مشارکت و سرمایه‌گذاری روس‌ها درحال انجام است. مطالعات در دو منطقه هزار مسجد خراسان و زابل سیستان و بلوچستان شروع شده است. براساس مطالعات انجام شده و اکتشافات اخیر مشخص شد در سیستان امکان استخراج از آب‌های ژرف وجود دارد. عملیات حفاری آب‌های ژرف در دشت سیستان از سال ۱۳۹۶ آغاز شد (دهمرده، ۱۳۹۶). مطالعات آب‌های ژرف در سیستان در تیرماه ۱۳۹۷ با استحصال آب از عمق دو هزار و پانصد متری ادامه یافت و وزیر کشور در نشست شورای اداری منطقه با اشاره به استخراج آب از این چاه بیان نمودااستحصال آب از این منابع نتایج خوبی به همراه دارد (رحمانی فضلی، ۱۳۹۷).

اقدامات سایر کشورها در خصوص منابع آب ژرف

تاکنون حوزه‌های متعددی در مناطقی از آسیا و آفریقا در کشورهایی مانند سومالی، سودان، مصر، لیبی، توباگو و بوستوانا شناسایی شده‌اند. در مطالعه اکتشافی این آب‌ها آنالیز داده‌های مختلف مانند میزان بارش، توزیع بارش، میزان نفوذ و در مجموع بیلان آب منطقه و ساختار ناحیه‌ای و جنس سازندهای زمین‌شناسی اهمیت زیادی دارد. در بسیاری از کشورها مانند سودان، الجزایر، اردن، استرالیا، مصر، عربستان، لیبی، آمریکا و انگلیس از سال‌ها پیش مطالعات آب‌های ژرف آغاز شده و در مواردی به مرحله بهره‌برداری رسیدند. به‌طوری‌که در حوضه آبریز Sahara[۴] با مساحت یک میلیون کیلومتر مربع که بین کشورهای لیبی، الجزایر و تونس مشترک است ۸۸۰۰ حفاری انجام شده که ۶۵۰۰ مورد در الجزایر، ۱۲۰۰ مورد در لیبی و ۱۱۰۰ مورد حفاری در جنوب تونس می‌باشد. در ۳۰ سال اخیر سالانه ۰/۶ تا ۲/۵ بیلیون مترمکعب آب از این حوضه استخراج شده است (Mamou و همکاران، ۲۰۰۶). ۸۰ درصد آب این حوضه آبریز برای کشاورزی مصرف می‌شود با افزایش برداشت از منابع آب ژرف در برخی مناطق نظیر جنوب کشور تونس کیفیت این آب‌ها کاهش یافته و شوری آب به حدود ۶ گرم در لیتر رسیده است .این حوضه دارای دو آبخوان با عنوان CT[۵] و CI[۶] می‌باشد که دارای آب‌های عمیق هستند و در آبخوان CT کاهش کیفیت آب گزارش شده است (Zammouri و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات منابع آب ژرف در کشور عربستان نیز انجام شده است. در این کشور به‌دلیل بارش سالانه ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۲۵۰۰ تا ۴۵۰۰ میلی‌متر استفاده شدید از منابع آب زیرزمینی به‌خصوص منابع آب ژرف مورد توجه قرار گرفته است. در دهه‌های اخیرافزایش رشد جمعیت عربستان افزایش تقاضای آب را به همراه داشته است. به‌طوری‌که آب شیرین‌کن‌ها و منابع آب ژرف در سال‌های اخیر سهم زیادی در تامین این آب داشته‌اند. آب‌های ژرف حدود ۶۶ درصد از کل نیازهای ملی را درسال ۲۰۰۰ تأمین کرد. حجم این آب‌ها از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۲۶۰ میلیارد مترمکعب بوده است که حدود ۱۲ درصد کل مخازن آب زیرزمینی با عمق بیش از ۳۰۰ متر بوده است (Foster و Louks، ۲۰۰۶). در کشورهایی که حوضه‌های آبی مشترک دارند مشکل برداشت از منابع آب ژرف پیچیده تر است. مدیریت استخراج و بهره‌برداری از این منابع در طول زمان و ارزیابی ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان اهمیت زیادی دارد. از طرف دیگر مطالبات برای استفاده از این آب‌ها به‌دلیل رشد جمعیت و اقتصاد افزایش می‌یابد. این کشورها باید با یکدیگر متحد و راهی برای مدیریت مشترک حوضه پیدا کنند و برنامه‌ای برای استخراج سالانه کل حجم قابل برداشت و مدت بهره‌برداری برای این منابع ارائه دهند. نمونه‌ای از این هماهنگی بین سه کشور لیبی، الجزایر

و تونس در حوضه NWSAS که دارای منابع آب ژرف بسیار زیادی است وجود داشته است (Puyoo، ۲۰۰۷). مقامات این سه کشور با آگاهی از خطرات پیش‌رو، مطالعات مشترکی را تحت نظارت OSS[۷] در سال ۱۹۹۸ با حمایت آژانس توسعه سوئیس، صندوق بین‌المللی توسعه کشاورزی (IFAD)[۸] و سازمان جهانی غذا و کشاورزی (FAO) آغاز کردند. از اهداف اصلی این آژانس ارتقا اطلاعات هیدروژئولوژی و ارائه مدل ریاضی بر اساس اطلاعات ۵۰ ساله پیزومترهای شوری و مقادیر بهره‌برداری از آبخوان می‌باشد. در شکل (۱) روند استخراج آب‌های ژرف درحوضه مشترک سه کشور ارائه شده است (Mamou و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۱- روند استخراج آب‌های ژرف در حوزه آبریز NWSAD گزارش شده توسط Mamou و همکاران (۲۰۰۶)

پیشنهادها

قبل از برنامه‌ریزی برای استخراج آب‌های ژرف لازم است موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد:

• بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع آب موجود افزایش یابد.

• باید به تجارت آب مجازی به‌عنوان راهکاری جهت ذخیره آب در سطح جهان توجه نمود؛ زیرا ممکن است آب مجازی هر محصول در مکان و زمان‌های مختلف متفاوت باشد. همچنین واردات محصولات آب‌بر به صرفه‌جویی منابع آبی کشور کمک خواهد نمود.

• استفاده و بهره‌برداری از منابع آب ژرف در دستور کار قرار گیرد؛ با این وجود مطالعه، شناخت و توسعه فناوری‌های مرتبط با منابع آب ژرف ضروری است.

• اگر هزینه استخراج منابع آب ژرف در مقایسه با هزینه نمک‌زدایی و انتقال آب دریا کمتر باشد استفاده از منابع آب ژرف، آب دریا و آب شور (به‌صورت مستقیم یا پس از نمک‌زدایی) مشروط به استفاده پایدار و خردمندانه برای توسعه و بهبود معیشت مردم امری عقلایی و ضروری است.

• اقدامات برخی کشورها از جمله تونس به‌عنوان الگو استفاده شود. تونس با میانگین بارش حدود ۲۰۷ میلی‌متر درسال و ۱۰۰ میلی‌متر، بخش‌های جنوبی آن دچار کم‌آبی است و منابع آبی آن نیز کیفیت پایینی دارد. این کشور توانسته با سیاست‌های مناسب در امور زیربنایی در سال ۲۰۱۵ به بالاترین میزان دسترسی به خدمات آبرسانی و بهداشت در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا دست یابد. از سال ۱۹۶۰ مطالعات استفاده مجدد از فاضلاب را انجام داده و درحال حاضر ۷۰۰۰ هکتار کشت از فاضلاب تصفیه شده آبیاری می‌شود. میزان اتصال به شبکه‌های فاضلاب در مناطق شهری تونس در سال ۲۰۰۷ به ۸۱/۶ درصد افزایش یافته است (Omrani، ۲۰۰۹).

• در مرز ایران و افغانستان، مرز ایران و پاکستان و مناطق دیگر گسل‌های زیادی وجود دارد که با حفر چاه‌های ۳۰۰ تا ۴۰۰ متری در پهنه‌های گسلش هیچ آسیبی وارد نمی‌شود. در صورت عدم استخراج این آب‌ها از مرز خارج می‌شوند (آریامنش، ۱۳۹۶).

• راه‌حل‌های پیشنهادی برای کاهش مشکل کمبود آب در کشور از جمله استخراج منابع آب ژرف، انتقال آب از دریای عمان و خلیج فارس به مرکز کشور و شیرین کردن آب، انتقال آب از دریای خزر و غیره اغلب راه‌حل‌های سازه‌ای است که با هزینه‌های هنگفت همراه می‌باشد. راه‌حل اصلی برای عبوراز مشکل کم‌آبی کشور تغییر شیوه مدیریت منابع آبی به‌وسیله اصلاح الگوی مصرف، مدیریت و کاهش مصرف آب، تنظیم کلیه واردات و صادرات مبتنی بر آب مجازی پیشنهاد می‌شود.

• منابع آب ژرف منابع تقریباً تجدیدناپذیر هستند بنابراین برای حفظ عدالت بین نسل‌ها پیشنهاد می‌شود این منابع تنها در شرایط خشکسالی شدید به‌عنوان آخرین گزینه استحصال شود.

• در صورت استخراج منابع آب ژرف به‌منظور پایداری اجتماعی معیارهای زیر در نظر گرفته شود:

۱- استخراج این منابع منجر به بهبود وضعیت اجتماعی و اقتصادی شود.

۲- بیلان بین منافع و مضرات اقتصادی و اجتماعی در دراز مدت و کوتاه‌مدت مثبت باشد.

۳- استراتژی کشور درصورتی‌که آبخوان کاملاً تخلیه شود، تبیین شود.

۴- موضوع عدالت بین نسل‌ها در نظر گرفته شود.

پی‌نوشت

1- Quaternary
2- Geothermal
3- Hydrothermal
4- North Western Sahara Aquifer System(NWSAS)
5- Complex Terminal
6- Continental Intercalary
7- Observatories du Sahara ET du Sahel
8- International Fund for Agricultural Development

منابع

آریامنش، م.ر. ۱۳۹۶. تهیه آب ژرف از عمق ۱۰۰۰ متری. سایت تحلیلی خبری عصرایران. کدخبر ۵۵۲۷۵۵. تاریخ خبر: ۱۹ مرداد ۱۳۹۶.
www.asriran.com/fa/news/552755

آقانباتی، س.ع. ۱۳۸۳. کتاب زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران. ۱۳۸۳. شماره کتاب‌شناسی ملی: م۸۳- ۵۷۸۰.

رحمانی فضلی، ع.ا. ۱۳۹۷. بهره برداری از منابع آب بسیار عمیق در سیستان. روزنامه اطلاعات. کد خبر: ۳۷۶۳۹۹ تاریخ خبر: ۱۹ تیر ۱۳۹۷.
www.ettelaat.com/etiran/?p=376399.visited10August 2018.

رمضانی سربندی، م.، شریفی فدیجی، م.، شهریاری، آ. و طاهری، ا. ۱۳۹۴. امکان‌سنجی استفاده از آب‌های فسیلی در فضای سبز شهری. اولین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.

درخشان، ه.، داوری، ک.، هاشمی‌نیا، س.م. و ضیایی، ع.ن. ۱۳۹۶. حداکثر خشکسالی محتمل مبنایی برای تخمین و حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی. نشریه علمی ترویجی آب و توسعه پایدار، ۴(۲): ۱۲۱-۱۳۰.

دهمرده، ح.ا. ۱۳۹۶. طرح حفاری آب‌های ژرف در دشت سیستان در فروردین ۹۷ آغاز می‌شود. خبرگزاری مجلس شورای اسلامی. کدخبر ۳۷۸۰۱. تاریخ خبر: ۱۵ اسفند ۱۳۹۶.
http://www.icana.ir/Fa/News/373801

میرعربی، ع. و حسینی، س.ا. ۱۳۹۰. آب‌های فسیلی ذخایر استراتژیک جهان. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم، تهران.

Brika B. 2018. Water Resources and Desalination in Libya. The 3rd EWaS International Conference on "Insights on the Water-Energy-Food Nexus", Lefkada Island, Greece, 27–30 June 2018. DOI: 10.3390/proceedings2110586.

Foster S. and Loucks D. 2006. Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. IHP-VI, Series on Groundwater No.10. 103p.

Garber A. and Salameh E. 1992. Jordan's Water Resources and their Future Potential. Proc. Symp.'Water Resources'. University of Jordan.

Jasechko S. 2017. Global aquifers dominated by fossil groundwaters but wells vulnerable to modern contamination. Nature Geoscience,10: 425–429.

Khaska M., Le Gal La Salle C., Videau G., Flinois G-S., Frape Sh., Team A. and Verdoux P. 2015. Deep water circulation at the northern Pyrenean thrust: Implication of high temperature water–rock Interaction process on the mineralization of major spring water in an over thrust area. Chemical Geology, 419: 114–131.

Koide H.G., Tazaki Y., Noguch Y.i. and Iijima M. 1993 . Carbon dioxide injection into useless aquifers and recovery of natural gas dissolved in fossil water. Energy Conversion and Management Journal, 34(9-11): 921-924.

Mamou A., Besbes M., Abdous B., Latrech D.J. and Fezzani C. 2006. Development and management of groundwater: regional cases (North Western Sahara Aquifer System NWSAS). Chapter 5 (Non- Renewable resource Ground water). United Nations Educational, 68-74.

Macoun A. and El Naser H. 1999 . Groundwater Resources Management in Jordan: Policy and Regulatory Issues, in groundwaer: legal and policy perspective. proceding of a word bank seminar (Salman, ed.).The word Bank Wafhington, D.C, 105-111 .

OA A. 1986. Gravity and seismic refraction measurements for deep groundwater search in southern Darfur region, Sudan. The Journal of the University of Kuwait (Science), 13(2): 245-257.

Omrani N. 2009. Dilemma of fossil water management within Southern Tunisia oases: vulnerability to salt under intensive use context. 8th World Wide Workshop for Young Environmental Scientists. Arcueil, France. 7 P.

Puyoô S. 2007. Terminal evaluation of the UNEP/Swiss/FFEM Project "Protection of the North West Sahara Aquifer System (NWSAS) and related humid zones and ecosystems-REPORT GF/2731-03".

Shamrukh M. 2012. Exploring of deep groundwater in the south west aquifer of Qatar. The 10th Gulf Water-Conference. Bahrain.

Vaikmae R., Vallner L., Loosli H., Blaser P.C. and Juillard-Tardent M. 2001. Palaeo groundwater of glacial origin in the Cambrian-Vendian aquifer of northern Estonia. Geological Society London Special Publications, 189(1): 17-27.

William M., Wireman M. and Musick M. 2014 .Characterization of deep groundwater : A Conference Report 2014 GWPC Annual Forum .National ground water association. Seattle,WA.

Zammouri M., Siegfried T., El Fahem T., Kriaa S. and Kinzelbach W. 2007. Salinization of groundwater in the Nefzaoua Region, Tunisia: Results of a regional-scale hydro geologic approach. Hydrogeology Journal, 15: 1357–1375.