Construction Science and Technology
Volume 6, Issue 2

Deep groundwater resources and general assessment of Iran, especially in Sistan and Baluchestan province in terms of the existence of deep groundwater resources

Rouhollah Adinehvand[1]*, Sedigheh Torabi[2]

[1] PhD in Hydrogeology, Shiraz University, Office of Water and Sanitation Planning, Ministry of Energy, Tehran, Iran
[2] Ph.D. in Civil Engineering, Water Resources Management, Director General Macro-Planning of Water and Wastewater Office, Ministry of Energy, Tehran, Iran

R T I C L E I N F O

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2021 May 16

Accepted: 2021 June 30

*Correspondence Email Addres:

radinehvand66@yahoo.com

Keywords:

Deep groundwater resources;

Iran;

Sistan and Baluchistan;

Deep-groundwater potential

A B S T R A C T

In addition to managing consumption, investing in new water resources that are unexplored underground can be effective in supplying part of the country's water needs. In this study, first, with extensive study of global experiences, properties, limitations and benefits of using deep groundwater resources are presented and in the next step, Sistan and Baluchestan province was evaluated from the point of view of deep groundwater resources potential. For this purpose, geological and hydrogeological characteristics such as aquifer formation conditions, hydrostratigraphy, aquifer geometry, groundwater velocity, residence time, renewability, age, origin, porosity, hydraulic conductivity, aquifer storage volume, and qualitative characteristics of some of the world's largest aquifers, including Great Artesian Basin in Australia and the Nubian Aquifer system in North Africa were analyzed. Also, some important factors such as economics, limitations and advantages of exploitation, as well as the environmental consequences of exploitation of deep groundwater resources in different countries were evaluated. The results of studies on the geological conditions and hydrogeology of the world's largest aquifers and its comparison with the geological conditions of Iran show that in general the Iranian plateau has a complex geology consisting of several geological blocks. Therefore, it makes more sense to focus studies on the identification and exploration of water and deep aquifers on small scales. Comparison of the results obtained from the overview of geological and hydrogeological characteristics of Sistan and Baluchestan province indicates the possibility of aquifer formation on a small scale in the thick alluvial layers of Hamoon-Helmand, Hamoon-Mashkil, Hamoon-Jazmourian and hard rocks of the Kavir-e Lut basins.

Publisher: Imam Hussein University

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال سوم، شماره۱، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۹ الی ۲۰

علمی– تخصصی

آب‌های زیرزمینی عمیق و ارزیابی کلی وضعیت فلات ایران و به ویژه استان سیستان و بلوچستان از لحاظ وجود منابع آب زیرزمینی عمیق

روح‌اله آدینه‌وند[1*]، صدیقه ترابی[2]

۱– دکترای هیدروژئولوژی دانشگاه شیراز، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، وزارت نیرو،

۲– دکترای منابع آب دانشگاه امیرکبیر، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، وزارت نیرو

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

چکیده

علاوه بر مدیریت مصرف، سرمایه‌گذاری بر روی منابع آب جدید که به صورت ناشناخته در زیر زمین وجود دارند می‌تواند در تامین بخشی از نیاز آب مصرفی کشور کارگشا باشد. در این مطالعه ابتدا با مطالعه گسترده تجربیات جهانی، ویژگی‌ها، محدویت‌ها و مزایای استفاده از منابع آب زیرزمینی عمیق ارائه شده و در گام بعدی وضعیت استان سیستان و بلوچستان منابع آب زیرزمینی عمیق مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور برخی از اساسی‌ترین خصوصیات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی از قبیل شرایط تشکیل آبخوان، هیدرواستراتیگرافی، هندسه آبخوان، سرعت حرکت آب زیرزمینی، زمان ماندگاری، تجدیدپذیری، سن، منشأ، تخلخل، هدایت هیدرولیکی، حجم ذخیره آبخوان و خصوصیات کیفی آبخوان‌های بزرگ دنیا از جمله حوضه آرتزین بزرگ در کشور استرالیا و سیستم نوبین در شمال افریقا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین برخی از موارد مهم در زمینه‌های مختلف از جمله محدودیت‌ها و مزیت‌های استخراج و بهره‌برداری و همچنین پیامدهای زیست‌محیطی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی عمیق در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌های انجام شده بر روی شرایط زمین‌شناسی، و هیدروژئولوژی آبخوان‌های بزرگ دنیا و مقایسه آن با شرایط زمین‌شناسی ایران نشان می‌دهد که به طور کلی فلات ایران دارای زمین‌شناسی پیچیده و متشکل از بلوک‌های زمین‌شناسی متعددی می‌باشد. از این رو، متمرکز نمودن بررسی‌ها و مطالعات مربوط به شناسایی و اکتشاف آب و آبخوان‌های عمیق در مقیاس محدود، معقول‌تر به نظر می‌رسد. مقایسه نتایج بدست آمده از بررسی‌های اجمالی خصوصیات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی استان سیستان و بلوچستان حاکی از احتمال دارا بودن پتانسیل‌های تشکیل آبخوان در مقیاس محدود در تشکیلات زمین‌شناسی جوان و به ویژه در رسوبات ضخیم‌لایه کواترنری در قسمت‌هایی از حوضه‌های هامون-هیرمند، هامون-ماشکیل، هامون-جازموریان و همچنین در سازندهای سخت حوضه کویر لوت می‌باشد. در محدوده حوضه بلوچستان جنوبی به دلیل سکانس بسیار ضخیم‌لایه فلیش‌های دانه‌ریز و گسل‌های تراستی فراوان، به‌طور کلی پتانسیل تشکیل آبخوان کمتر بوده و جهت بررسی‌های تکمیلی از اهمیت کمتری برخوردار است.

کلید واژه‌ها: آبخوان‌های بزرگ جهان، آب زیرزمینی عمیق، سیستان و بلوچستان، پتانسیل‌سنجی

۱– مقدمه

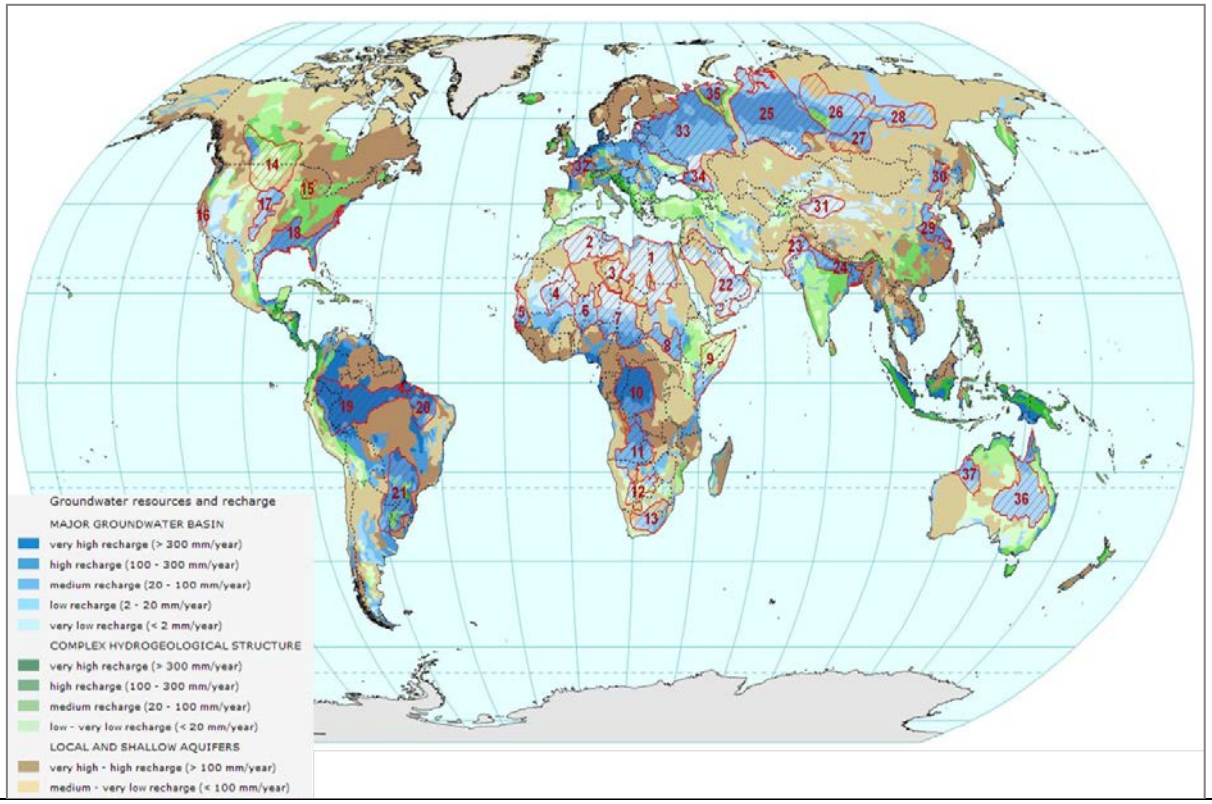
آب‌های زیرزمینی و سطحی به ترتیب ۳۰ درصد و کمتر از یک درصد از کل ذخایر آب شیرین موجود در کره زمین را تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه همین مقدار کم آب در سطح خشکی‌ها به گونه‌ای مناسب توزیع نشده و بخش اعظم آن‌ها به طرق مختلف هدر رفته و از دسترس انسان خارج است، اهمیت حفظ این منابع حیاتی کم را آشکار می‌سازد. آلودگی این آبهای محدود در دسترس نیز زندگی انسان امروزی را بیش از پیش با تنش مواجهه ساخته است. عواملی چون رشد فزاینده جمعیت و تقاضای سایر بخش‌های توسعه و محدودیت منابع آب شیرین، مدیریت منابع آب در کشورهای در حال توسعه به ویژه در مناطق خشک مانند کشور ایران را با تنگناها و مشکلات جدیدی رو به رو ساخته است. علاوه بر این، تغییر اقلیم جهانی نیز بر حساسیت موضوع افزوده است. در بسیاری از مناطق کشور ما منابع آبهای سطحی محدود بوده و یا به راحتی در دسترس قرار ندارند. از این رو برای تامین نیاز جامعه به آب باید آبهای زیرزمینی را مورد توجه قرار داد. محدود بودن آبهای قابل کنترل و افزایش مداوم نیازها در کشور، برنامه‌ریزی صحیح را به منظور مدیریت منابع آبی و بهره‌برداری این منابع با ارزش را بیش از پیش ضروری می‌سازد. چرا که در صورتی که همین منابع محدود موجود به

*رایانامه نویسنده مسئول: radinehvand66@yahoo.com

گونه‌ای درست مورد استفاده قرار گیرد، می‌توان در رفع نیازهای فعلی و حتی آینده کشور به طور شایسته‌ای موفق بود.

آبخوان آب زیرزمینی یک لایه یا سازند زمین‌شناسی تراوا بوده که مقدار قابل توجهی آب در آن ذخیره شده است. آب در فضای بین دانه‌ها (آبخوانهای آبرفتی) و یا در فضای میان درزه و شکستگی‌ها و مجاری انحلالی (آبخوانهای سازند سخت) ذخیره شده که به صورت طبیعی (چشمه) و یا از طریق مصنوعی (چاه و قنات) استحصال می‌گردد. آبخوان‌های آب زیرزمینی را می‌توان در اعماق مختلف یافت. به طور عمومی عمق آب زیرزمینی در نواحی مرتفع مانند کوه‌ها و تپه‌ها زیاد در نواحی پست در کنار نوار ساحل رودخانه‌ها و مسیل‌ها بسیار کم و حتی به صفر و بالاتر از سطح زمین (نواحی زهدار) هم می‌رسد. در این پژوهش هدف بررسی، آب‌های زیرزمینی شیرین با دوره تجدیدپذیری طولانی (فسیلی) بوده که در اعماق زیاد واقع شده و در بیلان متداول آب‌های زیرزمینی فعلی در نظر گرفته نشده‌اند. به طور کلی منابع آب زیرزمینی عمیق با ابعاد بسیار وسیع تجدیدناپذیر بوده و ممکن است با کیفت خیلی مناسب نیز یافت شوند [۱]. حجم ذخیره، گسترش فضایی و بعضاً ضخامت اشباع آبخوان‌های عمیق بزرگ کشف شده در جهان اغلب بسیار زیاد است (شکل ۱). به طوری که گسترش فضایی برخی از آبخوان‌های عمیق مانند حوضه آرتزین بزرگ در استرالیا و سیستم آبخوان نوبین در شمال افریقا بیش از کل مساحت کشور ایران و حجم ذخیره آبی آنها نیز در حد ده‌ها هزار میلیارد مترمکعب گزارش شده است. در ایالات متحده آمریکا یازده حوضه آب زیرزمینی وسیع با ابعاد بعضا چندین ایالت وجود دارد [۲] که طی سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۵ توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۳]. حوضه آرتزین بزرگ در استرالیا با وسعت ۱/۷ میلیون کیلومترمربع و حجم آب در حدود ۱۷۰ میلیارد مترمکعب [۴]، [۵] و [۶] و حوضه آب زیرزمینی واریوس در کشورهای حاشیه خلیج فارس [۷] با حجم آب برابر با ۵۰۰ تا ۲۲۰۰ میلیارد مترمکعب نیز از حوضه‌های آب زیرزمینی ژرف بزرگ در سطح دنیا می‌باشند (شکل ۱). بزرگترین حوضه آب زیرزمینی شناخته شده جهان، آبخوان نوبین در شمال افریقاست (شکل ۱) که بین چهار کشور مصر، لیبی، سودان و چاد مشترک که میزان بارش فعلی این مناطق اغلب کمتر از ۱۰۰ میلیمتر در سال است. وسعت این حوضه آب زیرزمینی ۲/۲ میلیون کیلومترمربع و حجم آب قابل برداشت آن در حدود ۱۴۵۰۰ میلیارد مترمکعب است [۴].

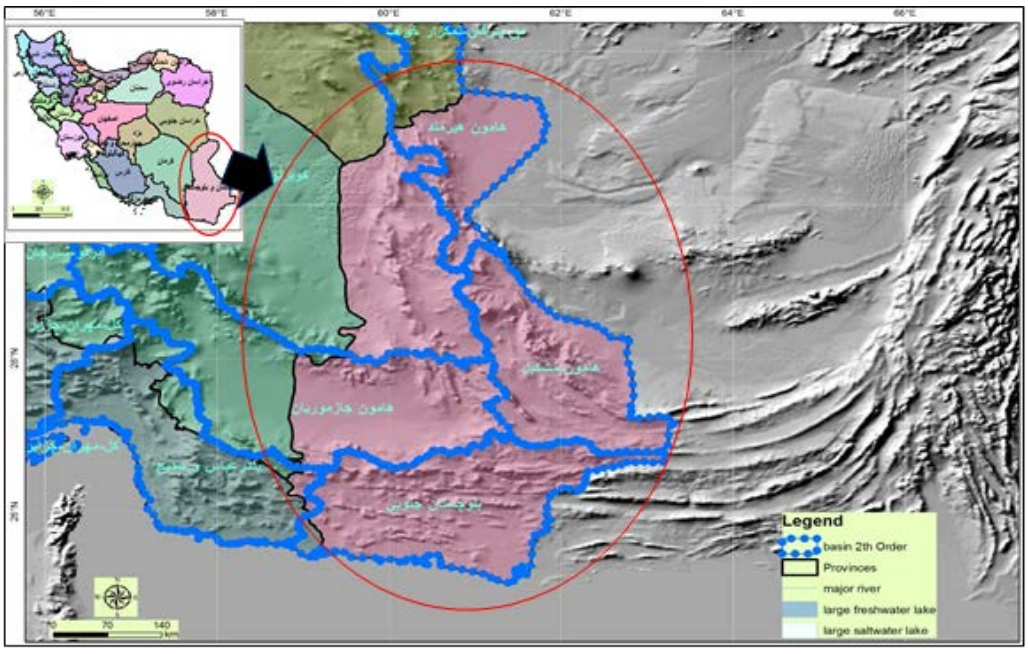
در کشورهای خشکی مانند لیبی استفاده از آب‌های زیرزمینی عمیق یا ژرف، فرصتی را برای بهبود رفاه اجتماعی و تسهیل توسعه اقتصادی در شرایط کمبود آب فراهم کرده است. اما بهره‌برداری زیاد از این منابع آب زیرزمینی سبب فرونشست زمین و خشک‌شدن چشمه‌ها شده است. این موضوعات سبب شده که در برخی از نقاط مانند کشورهای حاشیه خلیج فارس از قبیل عربستان، بهره‌برداری از این منابع آبی برای مصارف کشاورزی را متوقف کرده‌اند.



شکل (۱). نقشه آبخوان‌های بزرگ دنیا همراه با میزان تغذیه آب زیرزمینی [۷].

تاریخچه مطالعات انجام شده در خصوص اکتشاف آب زیرزمینی عمیق در ایران نشان می‌دهد که در گذشته اقدامات مشابهی برای شناخت، اکتشاف و بهره‌برداری از منابع آب ژرف انجام شده است. بررسی سوابق نشان می‌دهد که مطالعات انجام شده عمدتا پراکنده و به صورت نقطه‌ای بوده و مطالعات جامع سیستماتیک هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی انجام نشده است. منطقه طبس که به دلیل وجود معادن غنی زغال‌سنگ از دیرباز مورد توجه سازمان‌های زیربط بوده و بدلیل نیاز صنایع زغالشویی و شرب ساکنین مناطق صنعتی به آب، بررسی و شناخت منابع آب این ناحیه از اهمیت خاصی برخوردار بوده است. محدودیت منابع آب این ناحیه موجب گردید تا علاوه بر وزارت نیرو، شرکت ملی فولاد ایران نیز مطالعات و اکتشافات گسترده‌ای را بر روی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی این ناحیه اجرا نماید. شرکت ملی ذوب آهن طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۴۷ جهت راه‌اندازی معادن ذغال سنگ کرمان (پابدانا و باب نیزو)، بررسی‌های گسترده‌ای را برای امکان وجود آب‌های زیرزمینی انجام داد که نتیجه آن انتخاب محل چاه در در منطقه‌ای با حداقل ضخامت آبرفت و نئوژن (۸۰۰ متر) بود. چاه بعد از عبور از عمق ۸۵۰ متری، وارد سازند سخت آبدار گردید و تا عمق ۱۱۱۰ متر حفاری ادامه یافت. در این حفاری، حدود ۸۴۰ متر سطح آب بالا آمده و سپس تثبیت گردید. پس از انجام آزمایش و آنالیز آب، املاح آب حدود ۶۰۰۰۰ میلیگرم بر لیتر و رنگ آب به علت وجود مقدار زیادی از اکسید آهن کاملاً قرمز گزارش گردید. علاوه بر این، انجام مطالعات آب ژرف در منطقه طبس با متخصصین روسی در سال‌های قبل از انقلاب نیز که با هدف تأمین آب معادن، صورت گرفت، بعضا ناموفق گزارش گردید. البته بررسی‌های صورت گرفته بر روی برخی از چاه‌های حفاری شده در منطقه طبس که مورد بهره‌برداری هم قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد که این چاه‌ها به سازندهای آهکی آبدار برخورد نموده و سبب کاهش آبدهی چشمه‌ها یا کاهش تغذیه آبخوان‌های آبرفتی منطقه گردیده‌اند. در سال‌های اخیر نیز یک حلقه چاه اکتشافی در حوضه آبریز هامون-هیرمند (حدفاصل محدوده‌های مطالعاتی زابل و هامون-هیرمند) به عمق ۲۲۰۰ متر حفاری گردید که بعدها تا عمق ۳۰۰۰ متری نیز تعمیق یافت. هدایت الکتریکی آب این چاه بین ۲۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر و دمای آب حدود ۸۵ درجه سانتیگراد بود. جمع کل اندازه‌گیری‌های آبدهی در چاه تا عمق ۲۲۰۰ متر، که توسط پمپاژ آب و در عمق‌های مختلف به طور جداگانه انجام گرفت، حدود ۷ لیتر بر ثانیه گزارش گردید. آزمایش پمپاژ از عمق ۲۲۰۰ تا ۳۰۰۰ متری نیز آبدهی حدود ۷ لیتر بر ثانیه را نشان داد. بعدها یک حلقه چاه دیگر نیز در فاصله چند کیلومتری از چاه اول حفاری گردید. اما اطلاعاتی در خصوص این چاه در دست نمی‌باشد.

در این مطالعه ضمن بررسی مبسوط آبخوان‌های عمیق به صورت با استفاده از تجربیات جهانی در مورد این منابع آبی، تلاش خواهد شد تا برخی از ابهامات مهم در زمینه‌های مختلف از جمله محدودیت‌ها و مزیتهای استخراج و بهره‌بردای و همچنین پیامدهای زیست محیطی پاسخ داده شوند. در مرحله بعد، پتانسیل سنجی استان سیستان و بلوچستان طی یک مطالعه موردی به طور اجمالی ارائه خواهد شد (شکل ۲).

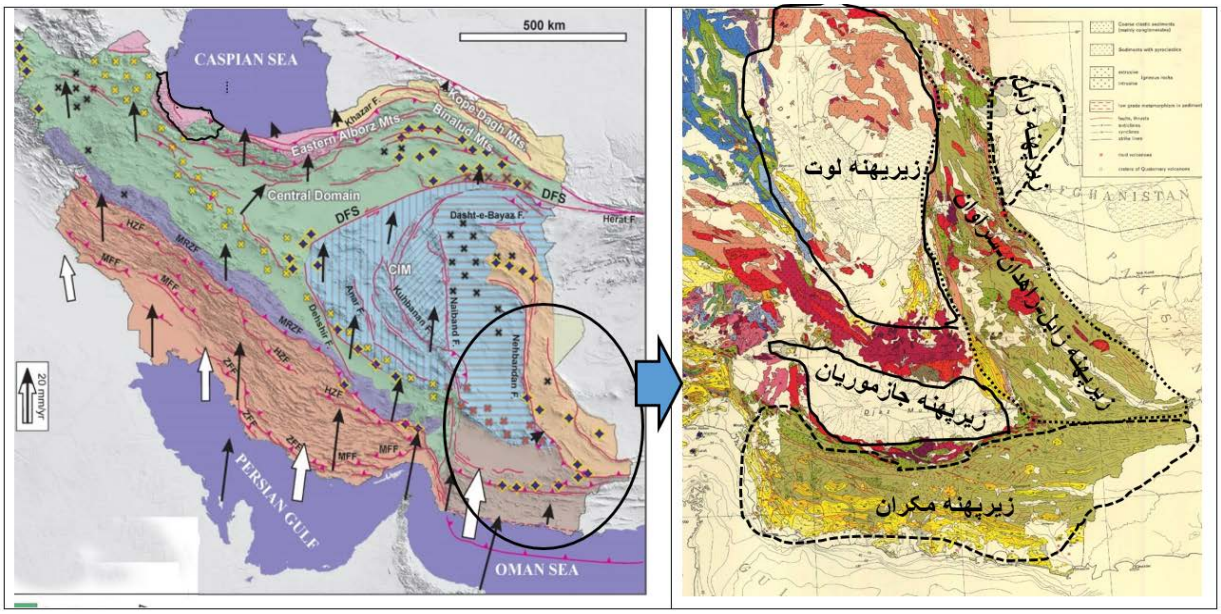


شکل (۲). موقعیت منطقه بررسی‌شده در مرحله مطالعه موردی و حوضه‌های درجه دو وزارت نیرو بر روی آن

۲- مشخصات عمومی و زمین‌شناسی منطقه

استان سیستان و بلوچستان با میانگین بارش سالانه حدود ۱۰۶ میلی‌متر است و دارای اقلیم گرم و خشک می باشد. به دلیل موقعیت جغرافیایی، از یک طرف تحت تأثیر جریان‌های جوی متعدد مانند جریان بادی شبه قاره هند و به تبع آن باران‌های موسمی اقیانوس هند است و از طرف دیگر تحت تأثیر فشار زیاد عرض‌های متوسط قرار دارد که گرمای شدید مهم‌ترین پدیده مشهود اقلیمی آن است.

پیچیدگی زمین‌شناسی تکتونیک و رسوبی، سبب شده که گستره استان سیستان و بلوچستان توسط زمین شناسان به پنج بلوک زمین‌شناسی تقسیم گردد [۸]. زیرپهنه لوت در حاشیه غربی استان، لبه شرقی بلوک لوت است که به وسیله گسل شرقی از سایر قسمت های استان جدا شده است (شکل ۳). زیرپهنه زابل-زاهدان-سراوان ساختارها روند شمالی-جنوبی دارند ولی از جنوب خاش روندهای ساختاری به سمت جنوب غرب گرایش پیدا می‌کنند. به طوری که در شمال سراوان با راستای شرقی-غربی مکران یکی می‌شود و تا بلوچستان پاکستان ادامه پیدا می کند (شکل‌های ۲ و ۳). زیرپهنه مکران شامل کوه های شرقی-غربی است که از جنوب گودال جازموریان تا ساحل دریای عمان را زیر پوشش دارد. زیرپهنه زابل در گوشه شمالی استان سیستان و بلوچستان (دشت زابل) بخشی از بلوک هلمند است که به وسیله گسل هریرود از سایر قسمت های ایران جدا شده است. زیرپهنه جازموریان یک فرونشست تکتونیکی جوان است که در جنوب آتشفشان بزمان و شمال کوه‌های بشاگرد قرار دارد (شکل ۳). هر یک از بلوک‌های ذکر شده در بالا تقریبا بر حوضه‌های آبریز درجه دو وزارت نیرو منطبق است (شکل ۲). این حوضه‌ها شامل تمام و یا بخشی از پنج حوضه بلوچستان جنوبی، حوضه هامون- جازموریان حوضه هامون- ماشیکل، حوضه هامون-هیرمند و حوضه کویر لوت می‌باشند.

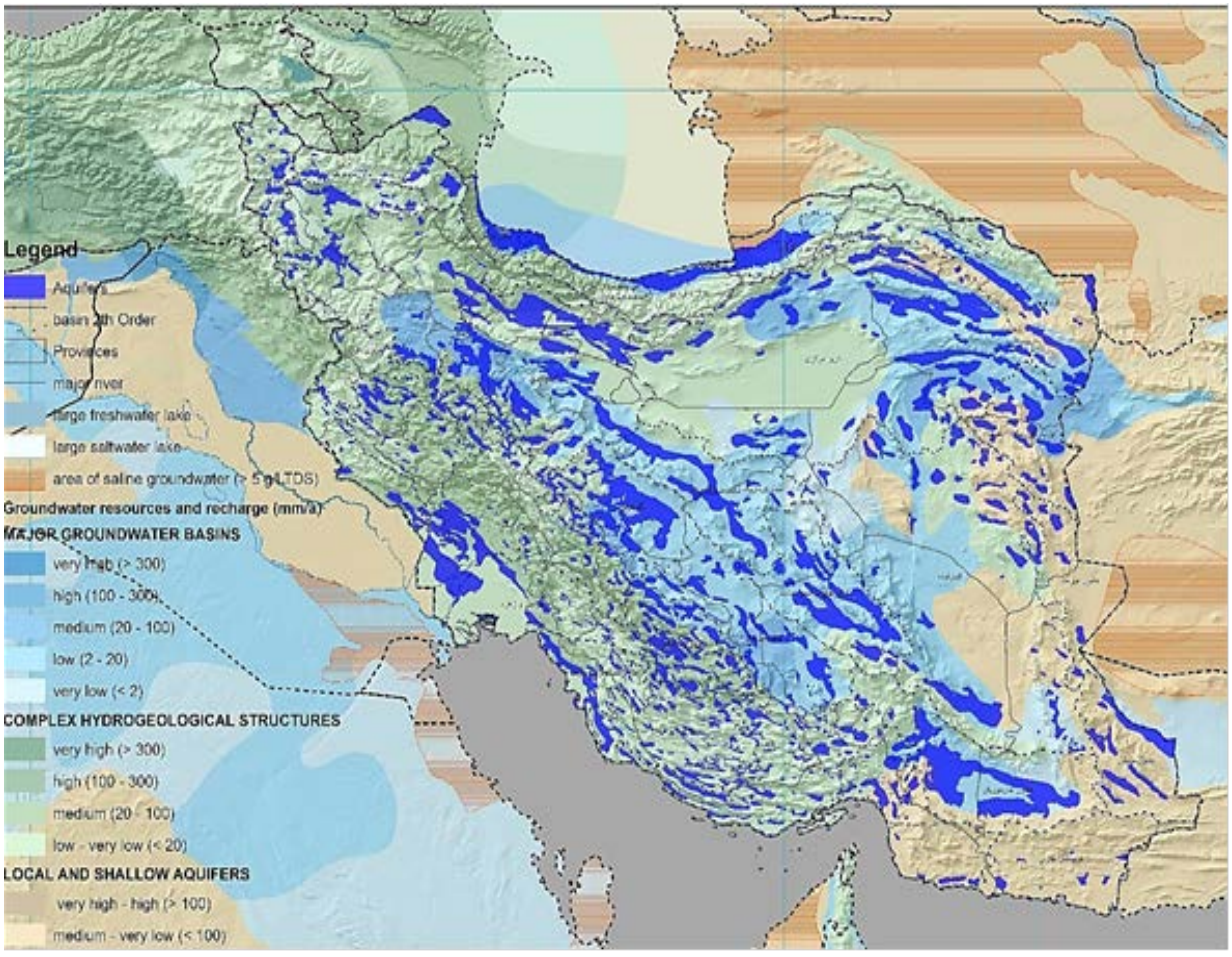


شکل (۳). زیرپهنه‌های ساختاری و رسوبی ایران [۸] (چپ) و تقسیم‌بندی زمین شناسی استان سیستان و بلوچستان بر روی نقشه با مقیاس یک میلیونم زمین‌شناسی ایران (راست).

۳- روش تحقیق

مطالعه حاضر در دو بخش مجزا انجام شده است. در بخش اول ضمن ارائه خلاصه‌ای در خصوص آبخوان‌های بزرگ جهان، خصوصیات مشترک و منحصر به فرد این منابع آب زیرزمینی به صورت یک جمع‌بندی کلی ارائه گردید. در این بخش از مطالعه، خصوصیات آبخوان‌های بزرگ ژرف در جهان از نظر حجم ذخیره، کیفیت، تجدیدپذیری، سن آب و سایر خصوصیات هیدروژئولوژیکی از جمله شرایط لازم برای تشکیل آبخوان‌های بزرگ عمیق و تجدیدناپذیر در دنیا مورد بررسی قرار گرفت که در طی آن، برخی از مهمترین شرایط لازم برای تشکیل آبخوان‌های عمیق بزرگ و خصوصیات آنها از نظر کیفی و به ویژه کمی استخراج گردید. در ادامه ضمن ارزیابی فرایندها و روش‌های اکتشاف آبخوان‌های عمیق، برخی از محدودیت‌ها و الزامات مهم زیست‌محیطی استفاده از منابع آب زیرزمینی عمیق تشریح شد. سپس با توجه به پارامترها و خصوصیات مورد بررسی برای آبخوان‌های بزرگ جهان، کشور ایران از نظر دارا بودن شرایط لازم برای تشکیل اینگونه آبخوان‌ها ارزیابی گردید (شکل ۴).

در بخش دوم مطالعه، گستره استان سیستان و بلوچستان از لحاظ پتانسیل وجود منابع آب زیرزمینی عمیق یا ژرف با استفاده از کلیه اطلاعات و مطالعات انجام شده بر روی منابع آبی موجود و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا با استفاده از نتایج بدست آمده از بخش اول در خصوص خصوصیات و شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های عمیق بزرگ، تجزیه و تحلیل‌های لازم در ارتباط وجود یا عدم وجود شرایط لازم برای تشکیل آبخوان‌های عمیق بزرگ در گستره استان سیستان و بلوچستان، انجام شد. اطلاعات موجود و مطالعات انجام شده در خصوص خصوصیات هیدروژئولوژی، بیلان و منابع و مصارف آب در سطح استان برای ارزیابی وجود ارتباط آبخوان‌های سازند سخت و آبرفتی با آبخوان‌های عمیق بکار گرفته شد. اطلاعات کیفی اجمالی منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی و سازند سخت در تلفیق با مطالعات زمین‌شناسی از قبیل لیتولوژی برای پیش‌بینی کلی کیفیت احتمالی آب در اعماق زیاد (آبخوان) بکار گرفته شد. اطلاعات زمین‌شناسی از قبیل لیتولوژی و درزه و شکستگی‌ها در نقشه‌ها و مقاطع زمین‌شناسی در کل سطح استان جهت بررسی اجمالی وجود آبخوان‌های بزرگ آب زیرزمینی در گستره استان مورد بررسی قرار گرفت. کلیه نقشه‌های با مقیاس یک به صد هزار سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و مقاطع زمین‌شناسی بر روی این نقشه‌ها برای بررسی لیتولوژی در سطح و عمق زمین، جهت ارزیابی وجود سازند تراوای آبدار که مستعد تشکیل آبخوان باشد، مورد بررسی قرار گرفت. کلیه تحلیل‌ها برای پنج بلوک زمین‌شناسی گستره استان، ارائه شد. سپس در تلفیق با نتایج بدست آمده از بخش‌های قبلی از قبیل شرایط لازم برای تشکیل آبخوان‌های ژرف بزرگ و سپس ارزیابی شرایط زمین‌شناسی و لیتولوژی سازندهای زمین‌شناسی به کمک نقشه‌ها و مقاطع زمین‌شناسی در استان سیستان و بلوچستان، احتمال تشکیل آبخوان بزرگ ژرف مشابه از نظر کمی و کیفی در سطح استان سیستان و بلوچستان مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل (۴). نقشه آبخوان‌های بزرگ دنیا [۷] و انطباق گستره آبخوان‌های آبرفتی کشور بر روی آن. لازم به ذکر است آبخوان‌های سازند سخت و به ویژه آبخوان‌های آهکی کارستی در نقشه ارائه نشده است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- پارامترهای اساسی لازم جهت بررسی در خصوص آب‌های زیرزمینی در راستای آبخوان‌های عمیق

با توجه به ماهیت هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی آب زیرزمینی پارامترهای اساسی مورد بررسی که در این مطالعه مورد در راستای بررسی آبخوان‌های بزرگ توجه قرار گرفته است شامل عمق سطح آب، منشا، سن، تجدیدپذیری، گرادیان هیدرولیکی و سرعت حرکت آب می‌باشد.

عمق آب زیرزمینی: جریان آب زیرزمینی بسته به فاصله منطقه تغذیه و تخلیه آبخوان می‌تواند مسیرهای طولانی را طی نماید. هر چه فاصله منطقه تخلیه آب زیرزمینی از منطقه تغذیه آبخوان دورتر باشد، عمق چرخش آب زیرزمینی بیشتر خواهد شد [۹]. در هر منطقه عمق چرخش جریان آب زیرزمینی که بستگی شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه دارد، به سه قسمت قابل تقسیم است [۹]. (۱) عمق چرخش کم یا محلی که در آن آب پس از نفوذ به داخل زمین و رسیدن به سطح آب زیرزمینی در حد چندین متر، در طی چند روز یا چند سال از طریق منطقه پست مجاور به سطح زمین تخلیه می‌شود. (۲) عمق چرخش متوسط جریان آب زیرزمینی که بیشتر از عمق چرخش جریان محلی و در حد چند ده متر است، مدت زمان تماس آب با مواد زیرزمین طولانی‌تر بوده و مواد حل‌شده در آب بیشتر است. آب در این حالت صدها سال طول می‌کشد تا به منطقه تخلیه برسد. (۳) عمق چرخش ناحیه‌ای آب زیرزمینی که در آن عمق حرکت آب زیرزمینی زیاد و در حد صدها متر بوده و هزاران سال طول می‌کشد تا آبی که وارد زمین شده از آبخوان تخلیه گردد. با توجه به عمق زیاد و زمان طولانی جریان آب در زیر زمین، انتظار می‌رود غلظت املاح محلول در آب در این حالت بیشتر باشد. این تقسیم‌بندی با وجود تحقیقات جدید همچنان مبنای مطالعات در خصوص حرکت آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف قرار دارد. به طور کلی بسته به زمین‌شناسی هر منطقه که خاص آن همان منطقه می باشد، ژرفای منابع آب زیرزمینی عمیق در نقاط مختلف دنیا بسیار متفاوت بوده و اصولا عمق خاصی مد نظر نمی‌باشد. عمق این منابع بسته به شرایط هیدروژئولوژیکی مناطق مختلف متفاوت است. برای نمونه در بعضی از کشورها مثل اندونزی و بنگلادش به دلیل بالا بودن سطح منابع آب زیرزمینی، منابع آب موجود در عمق ۱۵۰ متر جزء آب زیرزمینی ژرف به حساب می‌آید [۱۰]، اما عمق سطح آب در آبخوان‌های عمیق در کشورهایی خشکی مثل عربستان و اردن به ۱۲۰۰ متر و یا در لیبی و الجزایر و تونس به عمق ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر می‌رسد [۱۱].

منشا، تجدیدپذیری و سن: از نظر نوع منشا، به طور کلی منابع آب زیرزمینی عمیق موجود در ساختارهای زمین‌شناسی و سازندهای رسوبی دارای دو منشا فسیلی به دام افتاده در زمان رسوبگذاری واحدهای رسوبی و تغذیه از بارش جوی در دوران‌های زمین‌شناسی گذشته یا عصر حاضر می‌باشند [۱۰]، [۱۳] و [۱۴]. البته منابع آب زیرزمینی عمیق با منشا جوی قدیمی را نیز جزء دسته منابع آب زیرزمینی عمیق فسیلی به حساب می‌آیند [۶] و [۱۵]. به عقیده این دسته از محققین منابع آب ژرف تجدیدناپذیر با منشا جوی قدیمی ثبت کننده شرایط آب و هوایی پیشین است که هزاران سال پیش وجود داشته و برخی از این منابع در مناطقی کشف شده که امروزه دارای شرایط آب و هوایی خشک یا به شدت خشک با تغذیه طبیعی بسیار کم هستند. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آب‌های زیرزمینی حاصل از سه منشا زیر تفکیک نمود: (۱) آب جوی (به صورت برف و باران) که در زمین نفوذ کرده و در خلل و فرج، مجاری انحلالی، درزه و شکستگی‌ها ذخیره شده و منشا غالب آب زیرزمینی می‌باشند؛ (۲) آب ذاتی که در خلل و فرج رسوبات در هنگام رسوبگذاری باقی می‌ماند؛ (۳) آب ماگمایی که ممکن است حاصل فعالیت‌های داخل زمین مانند فعالیت‌های ماگمایی و آتشفشان‌ها باشد. گروه اول و دوم از لحاظ حجمی بطور معمول کم بوده و کیفیت آنها برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی نیز عموما نامناسب است. منابع آب زیرزمینی که منشاء جوی دارند (گروه دوم) به دو دسته تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر یا فسیلی تقسیم‌بندی می‌شوند. منابع آب زیرزمینی عمیق یا ژرف عموما در گروه منابع آب زیرزمینی با منشاء جوی و در دسته تجدیدناپذیر قرار می‌گیرند. همچنین ذکر این نکته ضروری است که منابع آب ژرف در دو دسته شناسایی شده‌اند؛ (۱) آب ذاتی: آب‌هایی که در فضاهای خالی رسوبات در طول رسوبگذاری به دام افتاده‌اند و به وسیله ساختارهای زمین‌شناسی محبوس گردیده‌اند. منابع آب بسیار شور موجود در ساختارهای نفتی که دارای عناصر و مواد محلول خطرناک هستند، در این گروه قرار می‌گیرند. (۲) آبهای قدیمی با منشاء جوی که در شرایط اقلیمی متفاوتی در اعصار زمین‌شناسی گذشته در واحدهای رسوبی و یا سنگی (رسوبی، آذرین و یا دگرگونی) ذخیره گردیده‌اند. تقریباً تمامی منابع آبی ژرف کشف شده در دنیا با گستره و حجم زیاد که برای مصارف گوناگون مورد استفاده واقع شده‌اند، در این گروه قرار دارند. بنابراین، هر دو دسته آبهای عمیق جزء آبهای فسیل محسوب می‌شوند که یا بطورکلی یا احیاء نمی‌شوند و یا اینکه دوره احیاء آنها به هزاران یا میلیون‌ها سال می‌رسد. در آبخوان‌های بزرگ عمیق، هم‌اکنون نیز تغذیه از طریق لایه‌های آبخوان که در منطقه تغذیه برونزد یافته‌اند، انجام می‌شود. اما با توجه به وسعت بسیار بزرگ آبخوان و سرعت بسیار پایین حرکت

آب زیرزمینی، آب خارج شده از مناطق تخلیه طبیعی و یا مصنوعی مانند چاه‌ها و چشمه‌ها مربوط به هزاران تا میلیون‌ها سال قبل بوده است. به عنوان نمونه در آبخوان حوضه آرتزین بزرگ در استرالیا، در مناطق تغذیه سن آب از نوع مدرن بوده و در نمونه‌های آب آنالیز شده در برخی از مناطق تخلیه سن آب تا ۲ میلیون سال می‌باشد [۵] و [۱۶].

در ارتباط با ارزیابی سن، منشا و تجدیدپذیری آب‌های زیرزمینی عمیق از مقادیر و نسبت‌های یونی مختلف، ایزوتوپ‌های پایدار و رادیواکتیو از قبیل اکسیژن- ۱۸، دوتریم و تریتیم، کربن- ۱۴ و اخیرا از روش‌هایی مانند کلر- ۳۶، کریپتون- ۸۱ و ید- ۱۲۹ استفاده می‌شود [۲۵- ۱۷] و [۱۱].

سرعت و گرادیان هیدرولیکی: گرادیان هیدرولیکی یا شیب سطح آب زیرزمینی در آبخوانهای بزرگ عمیق (ژرف) اغلب بسیار کم و نزدیک به صفر می‌باشد. در نتیجه سرعت جریان آب زیرزمینی در این آبخوانها اغلب بسیار اندک بوده و در حد چند سانتیمتر یا حداکثر چند متر در سال می‌باشد. از طرفی سیستم گردش آب زیرزمینی در یک آبخوان بزرگ ژرف همانند آبخوان نوبین در شمال افریقا یا آبخوان حوضه آرتزین بزرگ در استرالیا به گونه‌ای است که فاصله محل تغذیه تا تخلیه آنها می‌تواند بالغ بر صدها کیلومتر باشد [۶] و [۲۶]. از این رو، زمان ماندگاری آب در این آبخوان‌ها بسیار زیاد بوده و به تبع آن سن آب زیرزمینی نیز بیشتر خواهد شد.

۲-۴- مخاطرات، محدودیت‌ها و الزامات بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی عمیق

در مناطق مختلفی از جهان مانند کشورهای شمال افریقا، استرالیا و ایالات متحده امریکا، منابع آب زمینی در آبخوان‌های ژرف برای مصارف مختلف به ویژه شرب و صنعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. در خصوص بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی عمیق یا ژرف محدودیت‌ها و مخاطرات متعددی از جمله در موارد زیر وجود دارد:

- آب آبخوان ژرف امکان دارد وارد آبخوان‌های آزاد سطحی و یا چشمه‌ها گردند. در این شرایط بهره‌برداری از آب ژرف می‌تواند کم‌آبی و خشک‌شدن چشمه‌ها و افت بیشتر سطح آب در آبخوان آبرفتی شوند. آب زیرزمینی در آبخوانهای ژرف همانند آبخوان حوضه آرتزین بزرگ در استرالیا عموما تحت فشار می‌باشد [۶] و [۱۶]. بنابراین اگر بار هیدرولیکی و شرایط زمین‌شناسی در یک منطقه به صورتی باشد که آبخوان ژرف از طریق سنگ کف، تغذیه‌کننده آبخوان آبرفتی کم عمق دیگری باشد، با افت فشار در آبخوان ژرف، میزان نرخ تغذیه از سنگ کف آبخوان کم عمق کاهش خواهد یافت و در صورتی که بار هیدرولیکی آبخوان ژرف در اثر بهره‌برداری، کمتر از آبخوان کم عمق شود، حتی جهت جریان طبیعی می‌تواند معکوس شده و آبخوان کم عمق، موجب تغذیه آبخوان ژرف شود. در چنین شرایطی ذخیره آبی آبخوان کم عمق (که عموما کیفیت بهتری نیز دارد) به اعماق بیشتر نفوذ کرده و شدت افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان کم عمق نیز بیشتر خواهد شد. با افزایش برداشت از آب، میزان آبدهی چشمه‌ها و چاه‌های مرتبط با این منابع کاهش خواهد یافت. در آبخوان حوضه بزرگ استرالیا و همچنین آبخوان نوبین در کشورهای شمال قاره افریقا با ادامه افت فشار آبخوان در درازمدت به دلیل برداشت آب، تعداد منابع آب آرتزین به شدت کاهش یافته و چشمه‌های زیادی خشک شده یا آبدهی آنها کاهش یافته است. به عنوان نمونه در ارتباط با آبخوان حوضه آرتزین بزرگ استرالیا، در طول ۱۰۰ سال گذشته حدود ۹۰ درصد چشمه‌ها در منطقه کوینزلند خشک شده‌اند [۱۶].
- آب شور فسیلی در زیر آبخوان ژرف قرار دارد. در اثر بهره‌برداری از آبخوان ژرف، آبهای فسیلی زیرین وارد آبخوان شده و بخشی از آن را شور می‌کند و در شرایطی که آبخوان در مجاورت دریا باشد، احتمال نفوذ آب شور دریا وجود دارد.
- برداشت از منابع آب زیرزمینی ژرف با کیفیت نامناسب، می‌تواند موجب افزایش شوری منابع آب زیرزمینی کم‌عمق و خاک شود. برای نمونه در محدوده آبخوان نوبین، افزایش شوری خاک و آب زیرزمینی کم عمق در واحه سیوا در غرب مصر گزارش شده است.
- با توجه به عمق زیاد و نوع لیتولوژی و وجود فعالیت‌های ماگمایی، در آبخوان‌های ژرف ممکن است آلودگی به عناصر رادیواکتیو، نادر و عناصر سنگین وجود داشته باشد که باید در کل مراحل اکتشاف و بهره‌برداری به آن توجه شود [۳۰- ۲۷]. بنابراین، در صورت نیاز به تصفیه آب لب‌شور یا دارای آلودگی فلزات سنگین و رادیواکتیو، تبعات زیست‌محیطی کنترل پساب تولیدی نیز می‌تواند بسیار چالش برانگیز باشد.
- برداشت از آبخوان ژرف در مناطقی که در آبخوان لیتولوژی رس باشد، باعث فرونشست وسیع و ایجاد فروچاله‌ها شده و از طرفی باعث کاهش حجم آبخوان می‌شود. فرونشست زمین در مناطق مختلفی از آبخوان نوبین در کشور لیبی گزارش شده است [۳۳- ۳۱].

- برآورد حجم ذخیره آبخوان از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. چون برنامه‌ریزی آینده بر اساس آن خواهد بود. از طرفی نمی‌توان کل حجم آب ذخیره شده در آبخوان را برداشت نمود به طوری که در اکثر آبخوان‌های ژرف عمدتا درصد ناچیزی استفاده شده است.
- مدت زمان استفاده از آب ژرف با توجه به میزان برداشت محدود است و با بهره‌برداری از آب ژرف، فشار پیزومتریک کاهش‌می‌یابد و نیاز به پمپاژ دارد که هزینه افزایش می‌یابد. مشکل اساسی این است که سرمایه‌گذاری وسیعی انجام شده و ممکن است بعد از ۵۰ تا ۱۰۰ سال آب ژرف تمام شود و قابل بهره‌برداری نباشد. لذا، اگر جانشینی برای آن پیدا نشود احتمالا کل منطقه با رکود شدیدی از نظر اقتصادی روبرو می‌گردد.

۳-۴- برخی از مهمترین ویژگی‌های آبخوان‌های بزرگ عمیق

با توجه به کلیه مطالب مطرح شده در بخش اول مطالعه، برخی از مهمترین ویژگی‌های مشترک آبخوان‌های بزرگ شناسایی شده به شرح زیر استخراج گردید:

- عمده آبخوان‌های بزرگ ژرف در سپرهای قاره‌ای قرار دارند. در سپرهای قاره‌ای به علت فعالیت‌های کوهزایی در دوره‌های زمانی چند میلیون تا چند صد میلیون ساله، فرصت فرسایش و نهشته‌شدن سکانس عظیمی از رسوبات با گسترش بسیار وسیع و پیوسته وجود دارد [۳۷- ۳۴].
- وسعت آبخوان گاهی به وسعت بیشتر از کل کشور ایران نیز می‌رسد [۶]، [۱۶] و [۲۶]. به عنوان نمونه آبخوان نوبین با وسعت ۲/۲ میلیون کیلومترمربع در شمال افریقا در محدوده کشورهای مصر، لیبی، سودان و چاد قرار دارد [۳۸].
- حفاری‌های نفتی در اکتشاف آبخوان‌های بزرگ دنیا از قبیل آبخوان نوبین در افریقا نقش بسیار مهمی داشته‌اند.
- منشا آب در آبخوان‌های بزرگ ژرف دنیا آب‌های جوی می‌باشد. به طوری که عمده آب ذخیره شده در آبخوان مربوط به تغذیه از آبهای جوی و اقلیم گذشته منطقه بوده است [۳۹]، [۴۰] و [۴۱].
- به علت توپوگرافی هموار، شیب سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های بزرگ بسیار ناچیز است. توپوگرافی سطح زمین، تقریبا صاف و هموار است. به طوری که آبخوان‌های بزرگ عموما در یک منطقه تقریبا هموار قرار دارند. هر چند که فعالیت‌های زمین‌شناسی تکتونیکی بعدی ممکن است سبب تغییرات در ساختار لایه آبدار شده که حاصل آن ایجاد شرایط هیدرولیکی و حرکت فعلی آب زیرزمینی در آبخوان می‌باشد [۳۵]، [۴۲] و [۴۳].
- به علت توپوگرافی هموار، گرادیان هیدرولیکی کم می‌باشد که در نتیجه آن سرعت حرکت آب زیرزمینی بسیار کم در حد چندین سانتیمتر یا حداکثر چند متر در سال است [۴۴] و [۴۵].
- به علت سرعت جریان بسیار کند آب زیرزمینی، وسعت و عمق بسیار زیاد گردش آب زیرزمینی در آبخوان (فاصله زیاد منطقه تغذیه از تخلیه) سن آب زیرزمینی در آبخوان به ویژه در قسمت‌های خروجی آبخوان بسیار زیاد است، به گونه‌ای که دوره تجدیدپذیری آب زیرزمینی تمامی آبخوان‌های بزرگ با عمق و وسعت زیاد، طولانی و در حد هزاران تا میلیون‌ها سال است. در یک آبخوان تجدیدناپذیر، نرخ تجدیدپذیری کمتر از ۰/۲ درصد در سال است [۶]. بنابراین، آبخوان‌های بزرگ ژرف، تجدیدناپذیر یا فسیلی محسوب می‌شوند [۴۶]،[۴۷] و [۴۸].
- آب آبخوان در منطقه تغذیه و یا مناطق نزدیک به آن شیرین بوده و با رسیدن به منطقه تخلیه شوری آن زیاد می‌شود [۱۶] و [۲۶].
- اکثر آبخوان‌های بزرگ شناخته شده، در ماسه‌سنگ‌های دارای تخلخل بالا و با درجه سیمان‌شدگی کم قرار دارند [۱۶]، [۳۳] و [۴۹]. جنس ماسه سنگ چنانچه از نوع کوارتزی باشد، قدرت انحلال‌پذیری بسیار پایینی در آب دارد. بنابراین با گذشت زمان طولانی کیفیت آب در آبخوان در حد مناسب باقی مانده می‌ماند.
- اثرات برداشت آب از آبخوان‌های بزرگ دنیا به علت تجدیدناپذیر بودن، به صورت خشک‌شدن چشمه‌ها، افت تراز سطح آب زیرزمینی، خارج شدن چاه‌ها از حالت آرتزین و فرونشست زمین نمایان شده است [۵۰]، [۵۱] و [۵۲].

با مقایسه شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های بزرگ جهان با شرایط زمین‌شناسی ایران ملاحظه می‌شود که فلات ایران از نظر زمین‌شناسی ساختاری به بلوک‌های متعدد ساختمانی تقسیم‌بندی شده است. از این رو، متمرکز نمودن بررسی‌ها و مطالعات مربوط به شناسایی و اکتشاف آبخوان‌های عمیق در مقیاس محدود نسبت به کشف آبخوان بزرگ مانند آبخوان حوضه آرتزین بزرگ و یا آبخوان نوبین، معقول‌تر به نظر می‌رسد.

در خصوص استان سیستان و بلوچستان نیز به لحاظ زمین‌شناسی ساختاری، در زیرپهنه‌های ساختاری و رسوبی پهنه مکران، کمربند شرق ایران، بلوک لوت و بلوک زابل واقع شده است [۸] (شکل ۳). در زیرپهنه زابل-زاهدان-سراوان دارای یک پی سنگ اقیانوسی است که با توالی ضخیمی از نهشته‌های فلیش‌گونه پوشیده شده است. در زیرپهنه زابل به جز یک برونزد ولکانیکی کوچک (کوه خواجه) رویه این دشت با نهشته های آبرفتی جوان پوشیده شده است و به همین دلیل زمین‌شناسی کمتر شناخته شده است. مطالعات ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که در زیر پوشش آبرفتی، توالی ضخیمی از رسوبات تقریبا افقی وجود دارد که تنها رسوبات کواترنر آن، حدود دو کیلومتر ضخامت دارند. بسیاری از رودهای دامنه شمالی کوه‌های بشاگرد و همچنین ارتفاعات شرق ایرانشهر، حاوی رسوبات سیلتی- رسی هستند که در این فرونشست تخلیه می‌گردند. به همین دلیل، بخش بیشتر فرونشست جازموریان با نهشته‌های آبرفتی جوان پوشیده شده است. در حاشیه جنوبی آن، نهشته های جوان از نوع تلماسه‌های گسترده از نوع برخان است (شکل ۳). در زیر پهنه مکران، همانند زیرپهنه زابل-خاش-سراوان، پی سنگ ناحیه از نوع پوسته های اقیانوسی است که با توالی ضخیمی از نهشته‌های شبه فلیشی و مولاسی پوشیده شده است. به دلیل فرورانش پوسته اقیانوسی عمان، ساختارها روند شرقی-غربی دارند و به طور عمومی محدود به گسل‌های راندگی طولی با شیب به سمت شمال-شمال شرقی می باشند [۸]. بنابراین استان سیستان و بلوچستان به لحاظ تکتونیکی و رسوبی، دارای تنوع زیاد و پیچیده است. از این رو، بر مبنای تجربیات جهانی و نتایج حاصل از بررسی آبخوان‌های ژرف بزرگ، استان سیستان و بلوچستان احتمالا نمی‌تواند بخشی از یک آبخوان یا حوضه آب زیرزمینی بزرگ در مقیاس مشابه باشد. اما بررسی وضعیت کلی منابع آب زیرزمینی در استان سیستان و بلوچستان با توجه به تجزیه و تحلیل کلیه اطلاعات منابع آب و مطالعات انجام شده روی آبخوان‌های سازند سخت و آبرفتی و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و مقاطع زمین‌شناسی موجود در نقشه‌های فوق‌الذکر در سطح استان سیستان و بلوچستان، می‌توان انتظار داشت که در مقیاس کوچکتر، در بخش‌های فروافتاده حوضه‌های هامون-هیرمند، هامون- ماشکیل، هامون- جازموریان در میان تشکیلات جوان و همچنین در قسمت‌های خیلی کوچکی در سازندهای سخت ارتفاعات حوضه کویر لوت آب زیرزمینی در عمق‌های زیاد ذخیره شده باشد. در بخش‌های شرقی محدوده حوضه هامون-هیرمند و هامون-ماشکیل و بخش‌های مرکزی حوضه هامون-جازموریان به علت ضخامت زیاد تشکیلات جوان و شیب توپوگرافی عمومی زمین، اهمیت بیشتری در ذخیره آب دارند. بر مبنای یافته‌های زمین‌شناسی، بیشتر سکانس رسوبی در این حوضه‌ها را رسوبات دانه‌ریز تشکیل می‌دهد، اما در یک سطح مقطع زیاد (حفر چاه با عمق زیاد) و همچین وجود لنزهایی از رسوبات دانه‌درشت‌تر، می‌توان مقداری آب استخراج نمود. در محدوده حوضه بلوچستان جنوبی به دلیل سکانس بسیار ضخیم‌لایه فلیش‌های دانه‌ریز و گسل‌های تراستی فراوان، بطور کلی پتانسیل آبی در سطح و اعماق نسبت به بقیه سطح استان سیستان و بلوچستان محدودتر بوده و جهت بررسی‌های تکمیلی از اهمیت کمتری برخوردار است.

۵- نتیجه‌گیری

شرایط اقلیمی گذشته امکان انباشت منابع عظیم آب زیرزمینی عمیق را فراهم نموده است که هم اکنون ممکن است در مناطق خشک یا خیلی خشک با بارش خیلی کم قرار گرفته باشند. این منابع عظیم آب زیرزمینی احتمالا در چرخه هیدرولوژیک شرکت نداشته یا دوره شرکت آنها بسیار طولانی می‌باشند. بنابراین، این نوع منابع آبی تجدیدناپذیر یا فسیلی محسوب می‌شوند. لذا با عنایت به محدویت‌های متعدد استفاده از منابع آبی یادشده، بهره‌برداری پایدار از آنها نیازمند برنامه‌ریزی دقیق اصولی و مطالعاتی جامع با لحاظ ابعاد حقوقی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و دربرگیرنده ملاحظات مربوط به کاهش مخاطرات ناشی از بهره‌برداری از این منابع می‌باشد.

ارزیابی کمی کلیه آبخوان‌های سازند سخت و آبرفتی در سطح استان سیستان و بلوچستان نشان داد که آنومالی مهمی که حاکی از تغذیه یا تخلیه زیاد آبخوان‌ها از/به اعماق زیاد و بنابراین آبخوان‌های ژرف باشد، وجود ندارد. از طرفی در ارزیابی کیفی آبخوان‌های استان که در عمق کم واقع شده‌اند مشخص گردید آب زیرزمینی در عمق کم کیفیت خیلی مناسبی ندارد. از این رو، چنانچه در اعماق زیاد آبخوانی وجود داشته باشد و با سطح زمین ارتباط داشته باشد (مثلا از طریق مناطق تغذیه و یا گسل)، کیفیت آب آن احتمالا بهتر از منابع آب زیرزمینی کم عمق نخواهد بود. این منابع آبی در برخی سازندهای آهکی و یا دیگر سازندهای سخت در اثر وجود درزه و شکستگی‌های حاصل از فعالیت‌های تکتونیکی ذخیره شده‌اند. علاوه بر این، در صورت وجود منابع آبی در اعماق زیاد مناطق یادشده، به احتمال زیاد دوره تجدیدپذیری آب طولانی بوده و بنابراین در هر صورت تجدیدناپذیر می‌باشند.

با عنایت به موارد مطرح شده در بالا، تحقیق انجام شده شناخت ضروریات اولیه برای تشکیل آبخوان ژرف و در نهایت معرفی کلی مناطقی در استان سیستان و بلوچستان که احتمال

وجود آب در اعماق بیشتر زمین می‌باشد. ورود به مرحله مطالعات تکمیلی دقیق، نیازمند ایجاد گروه‌های کاری تخصصی جهت گردآوری، تکمیل، تدوین و تلفیق اطلاعات زمین شناسی- اکتشافی از مراجع مربوطه، انجام مطالعات میدانی زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی دقیق، تلفیق مطالعات و تعیین نواحی مستعد احتمالی، انجام عملیات ژئوفیزیک مناسب موضوع و سرانجام تجمیع اطلاعات و تعیین نقطه مناسب برای حفاری می‌باشد.

۶- مراجع

[1] S. Puri, and A. Aureli, “Atlas of transboundary aquifers: global maps, regional cooperation and local inventories”, ISARM Program, 2009.

[2] V. L. McGuire, K. D. Lund, B. K. Densmore, “Saturated thickness and water in storage in the High Plains Aquifer, 2009, and water-level changes and changes in water in storage in the High Plains Aquifer, 1980 to 1995, 1995 to 2000, 2000 to 2005, and 2005 to 2009”, US Geological Survey Scientific Investigations Report, 5177, 28, 2012.

[3] J. S. Ren, and R. H. Johnston, “Regional aquifer-system analysis program of the US Geological Survey, 1978-1992”, The US Geological Survey Circular 1099, p. 126,1996.

[4] J. R. Prescott, and M. A. Habermehl, “Luminescence dating of spring mound deposits in the southwestern Great Artesian Basin, northern South Australia”, Australian Journal of Earth Sciences, 55(2), 167-181, 2008.

[5] T. B. Walker, “The Great Artesian Basin, Australia”, CEN Tech. J, 10(3), 379-390, 1996.

[6] S. Foster, and D. P. Loucks, “Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers”, UNESCO, 2006.

[7] BGR - WHYMAP - Groundwater Resources of the World Whymap.org. 2008. [online] Available at: <https://www.whymap.org/whymap/EN/Maps_Data/Gwr/gwr_node_en.html> [Accessed 6 May 2020].

[8] A. Aghanabati, “Geology and mineral of Sistan and Baluchestan province”, The growth of geology education, 45, 2006.

[9] J. Tóth, “A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment”, Journal of Hydrology, 10(2), 164-176, 1970.

[10] R. A. Bisson, and J. H. Lehr, Modern groundwater exploration: discovering new water resources in consoli197dated rocks using innovative hydrogeologic concepts, exploration, drilling, aquifer testing and management methods, John Wiley and Sons, 2004.

[11] M. A. Hoqtue, and W. G. Burgess, “14C dating of deep groundwater in the Bengal Aquifer System, Bangladesh: Implications for aquifer anisotropy, recharge sources and sustainability”, Journal of Hydrology, 444, 209-220, 2012.

[13] R. A. Bisson, “Megawatersheds Development Feasibility Study of Ethiopia, Report and Maps, for U.S. Office of Foreign Disaster Assistance (OFDA)”, Bisson Exploration Services Company, 1992.

[14] F. A. Kohout, E. H. Walker, M. H. Bothner, and J. Hathaway, “Fresh ground water found deep beneath Nantucket Island”, Massachusetts, J. Res. US Geological Survay, 4, 511-515, 1976.

[15] E. Mazor, “Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology”, 3rd edition, Marcel Dekker, Inc, New York, 453 p, 2004.

[16] B. D. Smerdon, T. R. Ransley, B. M. Radke, and J. R. Kellett, “Water resource assessment for the Great Artesian Basin. A report to the Australian government from the CSIRO Great Artesian Basin water resource assessment”, details Published by CSIRO© 2012 all rights reserved. This work is copyright. Apart from any use as permitted under the Copyright Act 1968, no part may be reproduced by any process without prior written permission from CSIRO. ISSN 1835-095X Cover photograph: Exposure of the Hutton Sandstone Formation in Queensland, which forms a major aquifer in the Great Artesian Basin, Courtesy of CSIRO Land and Water, 3, 2012.

[17] P. A. Domenico, and F. W. Schwartz, “Physical and chemical hydrogeology”, New York: Wiley, 1998.

[18] D. J. Bottomley, R. Renaud, T. Kotzer, and I. D. Clark, “Iodine-129 constraints on residence times of deep marine brines in the Canadian Shield”, Geology, 30(7), 587-590, 2002.

[19] A. Guendouz, A. S. Moulla, W. M. Edmunds, K. Zouari, P. Shand, and A. Mamou, “Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara”, Hydrogeology journal, 11(4), 483-495, 2003.

[20] W. M. Edmunds, and C. J. Milne, (Eds.), “Palaeowaters in coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene”, Geological Society of London, 2001.

[21] B. E. Lehmann, A. Love, R. Purtschert, P. Collon, H. H. Loosli, W. Kutschera, and A. Herczeg, “A comparison of groundwater dating with 81Kr, 36Cl and 4He in four wells of the Great Artesian Basin, Australia”, Earth and Planetary Science Letters, 211(3-4), 237-250, 2003.

[22] L. André, M. Franceschi, P. Pouchan and O. Atteia, "Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France", Journal of Hydrology, vol. 305, no. 1-4, pp. 40-62, 2005.

[23] G. A. Kazemi, J. H. Lehr, P. Perrochet, "Groundwater age", John Wiley & Sons, 2006.

[24] A. B. Moussa, K. Zouari, F. Jlassi, "The hydrogeology of the deep groundwater system in the Hammamet–Nabeul regional basin, north-eastern Tunisia: a hydrochemical and isotopic approach", Carbonates and evaporites, 26(4), 327-338, 2011.

[25] D. A. Novikov, and A. F. Sukhorukova, "Hydrogeology of the northwestern margin of the West Siberian Artesian Basin", Arabian Journal of Geosciences, 8(10), 8703-8719, 2015.

[26] M. A. Habermehl, "The evolving understanding of the Great Artesian Basin (Australia), from discovery to current hydrogeological interpretations", Hydrogeology Journal, 28(1), 13-36, 2020.

[27] J. M. Godoy, and M. L. Godoy, "Natural radioactivity in Brazilian groundwater", Journal of environmental radioactivity, 85(1), 71-83, 2006.

[28] D. M. Bonotto, "Hydro(radio)chemical relationships in the giant Guarani aquifer**,** Brazil", Journal of Hydrology, 323, 353–386, 2006.

[29] S. Han, F. Zhang, H. Zhang, Y. An, Y. Wang, X. Wu, andC. Wang, "Spatial and temporal patterns of groundwater arsenic in shallow and deep groundwater of Yinchuan Plain, China", Journal of Geochemical Exploration, 135, 71-78, 2013.

[30] T. Munemoto, K. Ohmori, and T. Iwatsuki, "Rare earth elements (REE) in deep groundwater from granite and fracture-filling calcite in the Tono area, central Japan: Prediction of REE fractionation in paleo-to present-day groundwater", Chemical Geology, 417, 58-67, 2015.

[31] S. S. El Baruni, "Earth Fissures Caused By Groundwater Withdrawal In Sarir South Agricultural Project Area, Libya", Applied Hydrogeology, 2(1), 45-52, 1994.

[32] N. Alfarrah, G. Berhane, A. Hweesh, and K. Walraevens, "Sinkholes Due to Groundwater Withdrawal in Tazerbo Wellfield, SE Libya", Groundwater, 55(4), 593-601, 2017a.

[33] N. Alfarrah, G. Berhane, A. Hweesh, and K. Walraevens, "Hydrochemical characteristics and flow of the Nubian Aquifer System in Tazerbo Wellfield, SE Libya". Environmental Earth Sciences, 76(10), p.356, 2017b.

[34] E. Klitzsch, C. Squyres, "Paleozoic and Mesozoic Geological History of NE Africa upon new intepretation of Nubian strata". AAPG bulletin, 74(8), 1203-1211, 1990.

[35] R. Blewett, and R. Blewett, "Shaping a nation: A geology of Australia". Geoscience Australia and ANU E-Press, 2012.

[36] H. F. Doutch, and E. Nicholas, "The Phanerozoic sedimentary basins of Australia and their tectonic implications", Tectonophysics, 48(3), pp.365-388, 1978.

[37] I. Stober, and K. Bucher, "Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region", Applied geochemistry, 14(2), 237-254, 1999.

[38] A. Sefelnasr, "Development of Groundwater Flow Model for Water Resources Management in the Development Areas of the Western Desert", Martin Luther University Halle-Wittenberg in, 2007.

[39] U. Thorweihe, and M. Heinl, "Groundwater resources of the Nubian aquifer system, Aquifers major basins–non-renewable water Resourses Modification Synthesis, 2002.

[40] T. Ransley, B. M. Radke, A. J. Feitz, G. R. Owens, J. Bell, Stewart and H. Carey, "Hydrogeological Atlas of the Great Artesian Basin", Geoscience Australia. Canberra, 134p, 2015.

[41] E. Dafny, "The Great Artesian Basin: is it that great?" Hydrogeology Journal, 24(6), 1329-1332, 2016.

[42] B. M. Radke, J. Ferguson, R. G. Cresswell, T. R. Ransley, and M. A. Habermehl, "Hydrochemistry and implied hydrodynamics of the Cadna-owie-Hooray aquifer, Great Artesian Basin", 2000.

[43] M. Keppel, K. E. Karlstrom, A. J. Love, S. Priestley, D. Wohling, and S. De Ritter, (Eds.), "Hydrogeological framework of the Western Great Artesian Basin. National Water Commission, 2013.

[44] Y. Mahara, M. A. Habermehl, T. Hasegawa, K. Nakata, T. R. Ransley, T. Hatano, and T. Ohta, "Groundwater dating by estimation of groundwater flow velocity and dissolved 4He accumulation rate calibrated by 36Cl in the Great Artesian Basin, Australia", Earth and Planetary Science Letters, 287(1-2), 43-56, 2009.

[45] A. J. Love, A. L. Herczeg, L. SampsonR. G. Cresswell, and L. K. Fifield, "Sources of chloride and implications for 36Cl dating of old groundwater, southwestern Great Artesian Basin, Australia", Water Resources Research, 36(6), 1561-1574, 2000.

[46] IAEA, "Nubian Sandstone Aquifer System (NSAS) Technical Baseline Meeting", Vienna, Austria, 2007.

[47] C. M. Bethke, X. Zhao, and T. Torgersen, "Groundwater flow and the 4He distribution in the Great Artesian Basin of Australia", Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 104(B6), 12999-13011, 1999.

[48] T. Torgersen, M. A. Habermehl, W. B. Clarke, "Crustal helium fluxes and heat flow in the Great Artesian Basin, Australia", Chemical geology, 102(1-4), 139-152, 1992.

[49] M. I. I. Mohamaden, H. M. El-Sayed, and A. Z. Hamouda, "Combined application of electrical resistivity and GIS for subsurface mapping and groundwater exploration at El-Themed, Southeast Sinai, Egypt", The Egyptian Journal of Aquatic Research, 42(4), 417-426, 2016.

[50] S. Khalaf, and M. G. Abdalla, “Groundwater modeling of multi-aquifer systems using GMS. Hydrology: Current Research, 6(1), 2015.

[51] C. R. Kent S. Pandey N. Turner, C. G. Dickinson, and M. Jamieson, “Estimating current and historical groundwater abstraction from the Great Artesian Basin and other regional-scale aquifers in Queensland, Australia”, Hydrogeology Journal, vol 28 (1), pp 393-412, 2020.

[52] T. R. Ransley B. M. Radke J. R. Kellett, H. Carey, J. G. Bell, P. E. O’Brien, “Hydrogeology of the Great Artesian Basin”, chap 5, 2012. In: Ransley TR, Smerdon BD (eds) Hydrostratigraphy, hydrogeology and system conceptualisation of the Great Artesian Basin. Technical report to the Australian Government from the CSIRO Great Artesian basin Water Resource Assessment, CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, Australia.

Deep Groundwater Resources and General Assessment of Iran, Especially in Sistan and Baluchestan Province in Terms of the Existence of Deep Groundwater Resources

R. Adinehvand*, S. Torabi

Shiraz University

Abstract

In addition to managing consumption, investing in new water resources that are unexplored underground can be effective in supplying part of the country's water needs. In this study, first, with extensive study of global experiences, properties, limitations and benefits of using deep groundwater resources are presented and in the next step, Sistan and Baluchestan province was evaluated from the point of view of deep groundwater resources potential. For this purpose, geological and hydrogeological characteristics such as aquifer formation conditions, hydrostratigraphy, aquifer geometry, groundwater velocity, residence time, renewability, age, origin, porosity, hydraulic conductivity, aquifer storage volume, and qualitative characteristics of some of the world's largest aquifers, including Great Artesian Basin in Australia and the Nubian Aquifer system in North Africa were analyzed. Also, some important factors such as economics, limitations and advantages of exploitation, as well as the environmental consequences of exploitation of deep groundwater resources in different countries were evaluated. The results of studies on the geological conditions and hydrogeology of the world's largest aquifers and its comparison with the geological conditions of Iran show that in general the Iranian plateau has a complex geology consisting of several geological blocks. Therefore, it makes more sense to focus studies on the identification and exploration of water and deep aquifers on small scales. Comparison of the results obtained from the overview of geological and hydrogeological characteristics of Sistan and Baluchestan province indicates the possibility of aquifer formation on a small scale in the thick alluvial layers of Hamoon-Helmand, Hamoon-Mashkil, Hamoon-Jazmourian and hard rocks of the Kavir-e Lut basins.

Keywords: Deep Groundwater Resources, Iran; Sistan and Baluchistan, Deep-Groundwater Potential

Corresponding Author E-mail: radinehvand66@yahoo.com