سال چهارم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۲۱ تا ۱۳۰
نشریه آب و توسعه پایدار

2018, Vol.4, No.2, Pages 121 to 130
Journal of Water and Sustainable Development

حداکثر خشکسالی محتمل مبنایی برای تخمین و حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی

هاشم درخشان[۱]، کامران داوری[۲*]، سید مجید هاشمی‌نیا[۳]، علی‌نقی ضیائی[۴]

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، استاد منابع آب، استادیار و دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۱

چکیده

فشار بر اکوسیستم و کاهش سطح رفاه و معیشت در اجتماعات بشری از مهم‌ترین آثار بلای خشکسالی بوده، که در صورت افزایش شدت و دوام این واقعه، می‌تواند به یکی از فاجعه‌بارترین بلایای طبیعی تبدیل گردد. لذا در کشورهای مختلف برای مقابله با شرایط تنش آبی از جمله «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت» سیاست‌های متفاوتی «متناسب با اقلیم» خود دارند، اما تقریباً در تمام آن‌ها، آب‌های زیرزمینی به دلیل اطمینان‌پذیری بالا به عنوان ذخیره استراتژیک برای شرایط تنش آبی شناخته می‌شود. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی به حجمی از آب زیرزمینی شیرین گفته می‌شود که بایستی به عنوان ذخیره برای فعالیت‌های مختلف به ویژه شرب در آبخوان حفظ گردد؛ تا در صورت وقوع «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت» به تدریج از آن برای رفع نیازهای بشری بهره‌برداری شود. عدم توجه به حفظ ذخیره استراتژیک می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه داشته و موجب تغییر مسیر سرنوشت یک جامعه گردد. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی، مهم‌ترین پشتوانه مدیریت تأمین آب در شرایط تنش آبی، مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. متأسفانه سال‌هاست که در ایران این مفهوم به فراموشی سپرده شده است و این منابع آب بی همتا در حال افت مستمر است. این تحقیق به ضرورت بسط مفهوم حداکثر خشکسالی محتمل به عنوان مبنایی برای تعیین حداکثر برداشت از آب زیرزمینی پرداخته، و حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی را به عنوان مهم‌ترین عامل برای افزایش تاب‌آوری توسعه در این شرایط مورد توجه قرار داده است. در نهایت پیشنهادهایی نیز برای مدیریت ریسک خشکسالی براساس این مفهوم ذکر گردیده و ضرورت تدوین برنامه جامع مدیریت ریسک خشکسالی برای هر محدوده مطالعاتی در صورت وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت مورد تأکید قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تاب‌آوری، خشکسالی، ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی.

Estimation and Conservation of Strategic Groundwater Resources Based on Probable Maximum Drought (PMD)

H.Derakhshan[1], K.Davary[2*], S.M.Hasheminia[3], A.N. Ziaei[4]

1, 2, 3, 4 – M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Professor, Assistant Professor & Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: k.davary@gmail.com)

Received: 12-02-2017

Accepted: 12-08-2017

Abstract

The pressure on ecosystem and the reduction of welfare and livelihood in human communities are one of the most important effects of drought which, if the severity and duration of this event increases, could become one of the most catastrophic natural disasters. Therefore, many countries have different climate-based policies in facing water stress issue, such as severe and prolonged droughts. However in almost all of them, groundwater has been considered as a strategic resource because of its reliability in water stress situations. Strategic groundwater resource refers to the volume of fresh groundwater that should be stored in an aquifer for various activities, especially for drinking water, and also to be gradually used for human needs in some serious long-term droughts. Strategic groundwater reserve is the most important support of water supply management in water stress conditions of "severe and prolonged droughts" particularly in arid and semi-arid areas. Unfortunately for many years, the concept of balancing water resources and developing sustainability has received little attention in Iran, consequently this unique water resource is continuously declining. This study sought the necessity of developing the concept of Probable Maximum Drought (PMD) as the basis for determining the maximum withdrawal of groundwater, as the most important factor for increasing resilient development in water stress conditions by preserving strategic groundwater reserves. The lack of attention to maintaining strategic resources could bring irreparable damage and cause changes in society. Finally, this study introduces suggestions for drought risk management based on the aforementioned concept hence, it is important to develop a comprehensive program for drought risk management in the event of severe and long-term droughts for each study area.

Keywords: Sustainability, Resilience, Drought, Strategic Groundwater Resource.

DOI: 10.22067/jwsd.v4i2.62564

مقدمه

خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت از خطرناک‌ترین بلایای طبیعی می‌باشد که از بین رفتن تمدن‌هایی ازجمله مایاها به آن نسبت داده شده است. در داستان حضرت یوسف در قرآن کریم نیز از بلای خشکسالی نام برده شده است. توجه به بلای خشکسالی در تمدن، فرهنگ و حتی قصه‌های ایرانیان جایگاه ویژه‌ای به خود اختصاص داده است. بر روی کتیبه‌های دوره هخامنشینان (دعای معروف کورش کبیر) نیز از خشکسالی به عنوان یکی از سه مصیبت این سرزمین یاد شده، که نمونه‌ای از توجه تاریخی به این موضوع می‌باشد. در واقع سرزمین ایران با کم‌آبی‌ها و وقوع متواتر خشکسالی‌ها، همواره مواجه بوده است. نیاکان این سرزمین به خوبی این طبع را درک کرده و سازگاری با آن را پیشه نموده‌اند. اما در چند دهه‌ی اخیر گویا مسیر زندگی ایرانیان عوض شده و دیگر توجه به محدودیت‌های اقلیمی و سازگاری با اکوسیستم در دستور کار قرار نداشته است. از نمونه‌های این تغییر، می‌توان به عدم تناسب تراکم جمعیت و صنایع آب‌بر با واقعیت محدودیت منابع آبی اشاره نمود. در واقع جمعیت و تولیدات کشور، بطور مطلق، بیش از بقیه کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا در مناطقی قرار دارند که برداشت از منابع آبی بسیار بیشتر از ظرفیت تجدیدپذیری این منابع است. این شرایط ایران را بیش از متوسط جهانی در معرض کم‌آبی شدید قرار داده است (گزارش بانک جهانی، ۱۳۹۶). از نشانه‌های زیست‌محیطی آن می‌توان به خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها، فرونشست زمین و آلودگی آب‌ها اشاره نمود. سطح اولیه دریاچه ارومیه (بزرگترین دریاچه نمکی جهان) نسبت به سال ۱۳۶۰ حدود ۸۸ درصد کوچکتر شده است. این اضمحلال به دلیل خشکسالی‌های متوالی همراه با برداشت بیش از حد از منابع آب‌های بالادستی بوده، که نمونه‌ای از شرایط موجود می‌باشد (Fathian و همکاران، ۲۰۱۴). در اثر توسعه بی‌رویه و تغییر اقلیم، کشور ایران به «ورشکستگی آبی[1]» دچار شده و تحریم‌ها نیز وضعیت را بدتر نموده است. به عبارت دیگر، منابع آبی موجود ایران به خاطر اثرات اقلیمی و انسانی از گذشته نیز محدودتر شده‌اند؛ دیگر جوابگوی نیازهای رو به افزایش بخش آب نیستند. از نظر علمی تنها با کاهش جدی تقاضا و افزایش بهره‌وری آب، می‌توان به خارج شدن ایران از حالت ورشکستگی آبی امیدوار بود (Madani و همکاران، ۲۰۱۶).

امروزه منابع آب و مدیریت صحیح آن در تأمین امنیت بشر نقش مهمی دارند. هم‌چنین در بسیاری از مناطق کشور برای رسیدن به توسعه پایدار، آب یکی از مولفه‌های اساسی می‌باشد که اگر به آن توجه نگردد، می‌تواند بحران‌آفرین باشد (UN-Water، ۲۰۱۳). بر اساس نتایج برنامه توسعه سازمان ملل (UNDP، ۱۹۹۴) «امنیت انسان یک موضوع مردم‌محور است» یا به عبارت دیگر امنیت باید از دید مردم مورد بررسی قرار گیرد. این تعریف هر دو جنبه ایمنی از مخاطرات، (مزمن و ناگهانی) را در بر می‌گیرد. امنیت بشری دارای هفت مولفه شامل «اقتصاد»، «غذا»، «بهداشت»، «محیط زیست»، «فردی»، «سیاسی» و «اجتماعی» می‌باشد (UNDP، ۱۹۸۴). البته بخش‌های دیگری هم مانند امنیت رفاهی و امنیت انرژی و سوخت نیز به آن اضافه شده است، که بیشتر ابعادی که تاکنون گفته شده با دسترسی به مقدار آب کافی و با کیفیت مناسب مرتبط می‌باشد (O'Brian and Leichenko، ۲۰۰۷). در مطالعات اخیر، مفهوم «امنیت آبی بشر» توسعه بیشتری یافته و در آن‌ها به مباحث آب زیرزمینی نیز توجه گردیده است، گرچه هنوز به عنوان یک موضوع محوری به آن توجه نشده است (Barnet و همکاران، ۲۰۱۰). به این موارد باید افزود که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک منابع آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی (یا حداقل یک مولفه‌ی مهم) تأمین آب شیرین؛ مورد توجه می‌باشد. به همین دلیل، این منابع نقش بسیار مهمی در تأمین امنیت و رفاه روزانه مردم در این مناطق دارند (UNESCO-WWAP، ۲۰۰۳). همچنین آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی در تعادل محیط‌زیست این مناطق ایفا می‌کند (Vrba و Verhagen، ۲۰۱۱). منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش به سزایی داشته باشد (Izady و همکاران، ۲۰۱۳). با این‌حال و علی رغم اهمیت بسیار زیاد این منابع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، متأسفانه و در اغلب موارد منابع آب زیرزمینی به‌صورت بهینه مدیریت نشده‌اند و عمدتاً در معرض استفاده بیش از حد بوده و یا به طور مداوم آلودگی آن‌ها تشدید می‌شود (UNESCO-WWAP، ۲۰۱۲). افت مستمر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی در بسیاری از کشورها (از جمله ایران)، این کشورها را با چالش‌های جدی و سخت در آینده روبرو خواهد نمود. خشکسالی یک بلای طبیعی است که مخاطرات آن «کاهش تجدیدپذیری منابع آب» و «وقوع تنش آبی برای گیاهان و جانوران (اکوسیستم)» می‌باشد. البته مهم‌ترین موضوع تأمین کمبود آب شرب (شهری و روستایی) خواهد بود. در واقع اطمینان برای تأمین آب در زمان وقوع یک دوره «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت» و یا بلافاصله بعد از وقوع عواقب آن، بسیار اساسی و مهم است. آب زیرزمینی این توان‌بالقوه را دارد تا بتواند نقش مهمی در تأمین امنیت آبی در چنین شرایطی ایفا نماید (UNISDR، ۲۰۱۵).

آب زیرزمینی از حیاتی‌ترین سرمایه‌های هر کشور محسوب شده، که در دنیا نیز آن را با نام ذخیره‌ی استراتژیک (ذخیره

برای شرایط تنش آبی) می‌شناسند (Capelli و همکاران، ۲۰۰۱). مدیریت ریسک خشکسالی، به معنی کاهش مصارف آبی و نیز تأمین نسبی آب برای مصارف ضروری دوره خشکسالی (در عین کاهش منابع تجدیدپذیر) است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب زیرزمینی یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب محسوب گردیده که استفاده صحیح از این منابع، می‌تواند عامل اصلی مدیریت ریسک خشکسالی باشد. طی چند دهه اخیر به عنوان نمونه در ایران نسبت به این نعمت یگانه (آب زیرزمینی) بی توجهی گردیده است؛ تا جایی که اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق نه تنها رمق سیستم قنات (سازگارترین سیستم برداشت از منابع آب زیرزمینی) را بریده است؛ بلکه بیم این می‌رود که ادامه چنین روندی، نخست منجر به شورشدن آبخوان‌ها و نهایتاً به نابودی آن‌ها ختم گردد. لذا اولین و اساسی‌ترین هدف در مدیریت منابع آب‌زیرزمینی بایستی کنترل اضافه برداشت‌ها و نیز بازنشانی تعادل آبخوان‌ها باشد. از طرف دیگر اگر شرایط موجود در یک دوره استرس شدید آبی ناشی از «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت»، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، ابعاد فاجعه‌آمیز عقوبت پیشرو آشکار خواهد گردید. برای این منظور و روشن شدن ابعاد فاجعه، اساسی‌ترین هدف در مدیریت منابع آب‌زیرزمینی پاسخ به این سئوال است که «آیا آب باقیمانده در آبخوان پاسخگوی ریسک‌های خطرناک آبی ناشی از خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت هست؟» پاسخ به این پرسش نیازمند بسط مفاهیم مرتبط با ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی است. در این مقاله، بسط این مفاهیم و نیز پیشنهادهایی برای مدیریت ریسک مزبور ارائه گردیده‌اند.

مفاهیم و مبانی

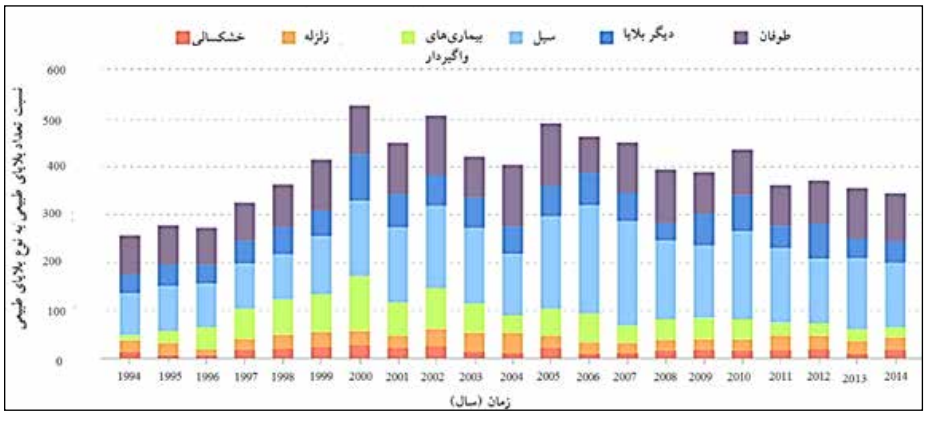
در این بخش از پژوهش ارتباط مفاهیم و مبانی مهم مرتبط با موضوع مقاله، مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش به مدیریت ریسک بلای خشکسالی پرداخته است. خشکسالی یکی از موثرترین بلایای طبیعی بر جوامع بشری می‌باشد که بصورت گسترده عمل نموده و در صورت وقوع، کل یک اکوسیستم را تحت تأثیر قرار خواهد داد (UNFPA، ۲۰۱۵). امروزه آینده‌پژوهی و مدیریت ریسک نقش چشم‌گیری در کاهش بلایای طبیعی داشته است. لذا مشابه مفهوم حداکثر بارش محتمل (PMP)[۲] برای مدیریت ریسک شکست سدهای بزرگ، مفهوم حداکثر خشکسالی محتمل (PMD)[۳] مورد معرفی قرار گرفته است. می‌توان مقدار کمبود آب تجدیدپذیر(نسبت به حالت نرمال) در برآورده نمودن مصارف در صورت وقوع PMD را ذخیره استراتژیک نامید. آب‌های زیرزمینی، این پتانسیل را دارند تا این حجم از کمبود را تأمین نمایند که به آن ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی گفته می‌شود. ذخیره استراتژتک آب زیرزمینی بنیادی‌ترین روش در مدیریت ریسک خشکسالی می‌باشد. زیرا این ذخیره می‌تواند ضربه ناشی از خشکسالی را دریافت نموده و تاب‌آوری[۴] (برگشت‌پذیری) یک توسعه را در صورت وقوع PMD افزایش دهد (درخشان، ۱۳۹۶). در ادامه به شرح این مفاهیم پرداخته شده است.

۱- اهمیت خشکسالی

خشکسالی از پدیده‌های مورد توجه دانشمندان در سطح دنیاست. بررسی‌های انجام شده در جهان نشان می‌دهد که خشکسالی، از نظر فراوانی وقوع و همچنین ویژگی‌هایی که دارا است، نسبت به سایر بلایای طبیعی اولویت داشته و مخاطره آمیزتر است. لذا نیازمند توجه بیشتری در تصمیم‌گیری‌های سیاسی می‌باشد (Wilhite و Glantz، ۱۹۸۵). عدم اطلاع عمومی از ضرر و زیان‌های خشکسالی، یکی دیگر از دلایلی است که علاقه‌مندی برای برنامه‌ریزی خشکسالی را کاهش می‌دهد. عموماً تصور بر این است که میزان خسارات‌های ناشی از خشکسالی کمتر از سوانح غیرمترقبه که معمولاً واضح‌تر و در دوران کوتاه‌تری اتفاق می‌افتند، می‌باشد. در مقام مقایسه خسارت‌های خشکسالی در زمان طولانی‌تری توزیع شده، و زمانی‌که به خسارت‌های واقعی خشکسالی پی برده شود، این خسارت‌ها می‌تواند ضررهای ناشی از حوادث غیرمترقبه را ناچیز جلوه دهد (Wilhite، ۲۰۰۰). به عنوان مثال بر اساس گزارش FAO خشکسالی در جنوب غربی چین بین سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ حدود ۶/۳ میلیون نفر تحت تأثیر قرار داد که ۲/۴ میلیون نفر از این افراد در دسترسی به آب شرب با مشکلات جدی مواجه شدند. به‌علاوه تمامی هزینه‌های ناشی از خشکسالی کاملاً مشخص و تعریف شده نیست. اثرات اجتماعی خشکسالی و هزینه‌های مربوط به آن و چگونگی گسترش اثرات آن در سراسر جامعه و این‌که در نهایت چه کسانی را تحت تاثیر قرار می‌دهد باید بهتر شناخته شود. ضررهای غیر مستقیم ناشی از خشکسالی بسیار بیشتر از ضررهای مستقیم آن هستند، اما به‌دلیل ماهیت پراکندگی و درازمدت بودن آن‌ها امکان تشخیص و ارزیابی آن‌ها مشکل است و اغلب ناشناخته می‌ماند (FAO، ۲۰۱۳).

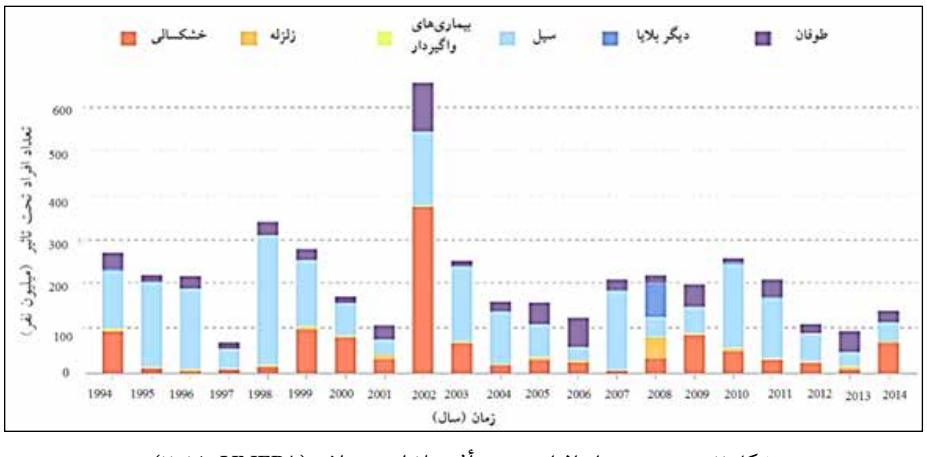
در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ توسط سازمان صندوق جمعیت ملل متحد (UNFPA) در تحقیقی تمام بلایای طبیعی مورد بررسی قرار گرفته، و به مقایسه بلایای طبیعی از نظر تعداد افراد تحت تأثیر این بلایا پرداخته شده است. شکل (۱) تعداد کلیه بلایایی که در دنیا طی این سال‌ها رخ داده را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل مشخص است که بیشترین تعداد وقوع بلایای طبیعی مربوط به سیل و طوفان بوده، و تعداد بلایای طبیعی خشکسالی در دنیا نسبت به این گونه بلایا بسیار ناچیز به نظر می‌رسند.



شکل ۱- تعداد بلایای طبیعی اتفاق افتاده (UNFPA، ۲۰۱۵)

شکل (۲) نسبت تعداد افراد تحت تأثیر این بلایا را برحسب میلیون نفر به تعداد وقایع طبیعی نشان می‌دهد، که در آن خشکسالی سهم ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. این بلای طبیعی بسته به این‌که در چه مکان و زمانی واقع گردد، می‌تواند سهم قابل توجهی از مردم آن سرزمین را تحت تأثیر قرار دهد. اکثر بلایای طبیعی در یک سطح کوچک واقع شده و وقتی هم اتفاق می‌افتند، سر وصدای زیادی به پا می‌کنند و بعد از آسیب زدن به افرادی که در معرض آن بوده‌اند از بین می‌روند. اما خشکسالی یک بلای خزنده است که مانند یک بیماری در بدنه جامعه رسوخ کرده و کم‌کم آثار خود را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تخمین تعداد افراد تحت تأثیر بلایای مختلف (UNFPA، ۲۰۱۵)

از مقایسه‌ی شکل (۱ و ۲) می‌توان به این نتیجه رسید که تعداد افرادی که تحت تأثیر واقعه خشکسالی قرار می‌گیرند، بسیار زیادتر از دیگر بلایای طبیعی بوده و این بلای طبیعی توانایی تحت تأثیر قرار دادن بخش وسیعی را دارد. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۲ که در سطح جهانی پدیده‌ی خشکسالی، رشد اندکی نسبت به دیگر بلایای طبیعی داشته است، توانسته سهم قابل توجهی از مردم را تحت تأثیر قرار دهد. البته این‌که خشکسالی در چه منطقه‌ای به وقوع می‌پیوندد نیز بسیار مهم است. به طوری‌که هرچه خشکسالی در مناطق آسیب‌پذیرتر (نواحی با جمعیت بالا و منابع محدود) وقوع یابد، می‌تواند پتانسیل بسیار بالاتری برای آسیب رساندن داشته باشد. لذا یکی از علل افزایش جمعیت متأثر از خشکسالی در سال ۲۰۰۲، می‌تواند وقوع این واقعه در منطقه آسیب‌پذیرتر باشد.

۲- حداکثر خشکسالی محتمل (PMD)

بروز خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت نقش ویژه‌ای در تضعیف و زوال تمدن‌های گذشته داشته است. خشکسالی منجر به از بین رفتن نمونه‌های زیادی از تمدن‌های بزرگ بشری (از جمله مایاها) گشته است (Larry و Gerald، ۲۰۰۵). گرچه با توسعه و بهبود حمل و نقل مواد غذایی، تجهیزات مورد نیاز و سیستم‌های هشدار سریع، میزان فجایع کاهش یافته، ولی با این حال فجایع طبیعی وابسته به آب، گروه بزرگی از مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهند و خسارت‌های اقتصادی بسیار زیادی را به بار خواهند آورد که حدود ۹۰٪ از آسیب‌های طبیعی را شامل می‌گردد (UNESCO-WWP، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲).

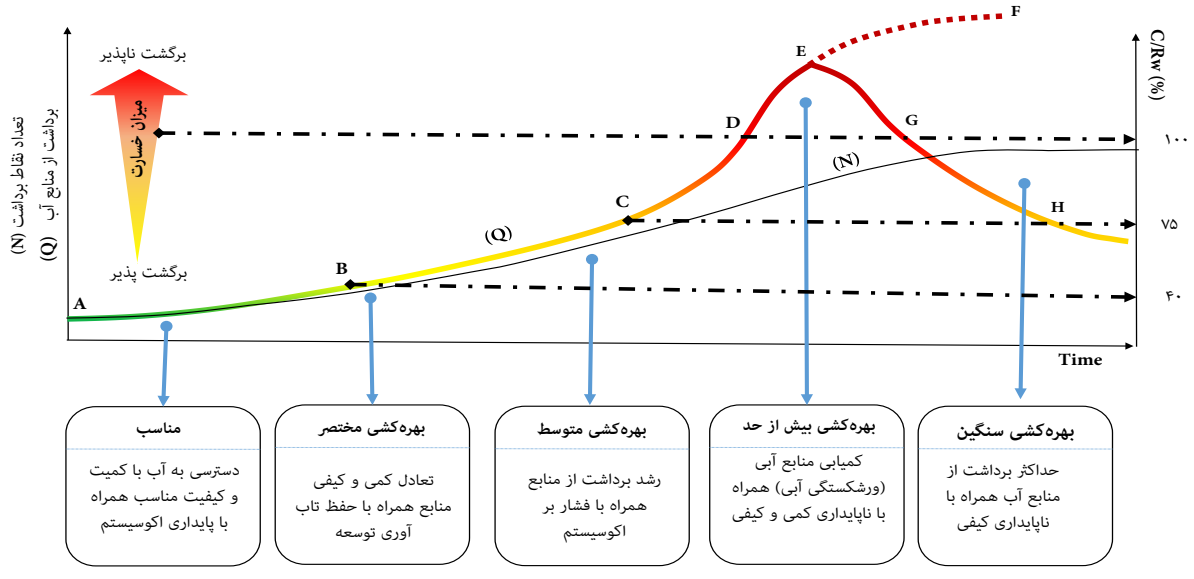
امروزه رشد مباحث «مدیریت ریسک» و «آینده‌پژوهی» فرصت‌های زیادی برای جلوگیری از خسارات شدید ناشی از بلایای طبیعی پدید آورده است. به عنوانه نمونه، در مدیریت ریسک سیل، می‌توان به ساخت سرریز سدهای بزرگ براساس مفهوم حداکثر بارش محتمل (PMP) اشاره نمود. با الهام از همین مفهوم، برای خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت، مفهوم «حداکثر خشکسالی محتمل (PMD)» پیشنهاد می‌گردد. تفاوت اساسی این مفهوم با PMP در طول مدت یا دوام است. معمولاً مفهوم PMP اشاره به وقایع رگبار و سیل با دوام‌های کوتاه (چند ساعت تا چند روز) دارند؛ در حالیکه مفهوم PMD می‌تواند دوام‌هایی از چند ماه تا چندین سال را در بر داشته باشد. بر اساس شباهت با PMP، مفهوم PMD به خشکسالی‌هایی با شدت و دوام بسیار زیاد گفته می‌شود که وقوع خشکسالی شدیدتر و طولانی‌تر از آن به دلیل شرایط جغرافیایی، جوی و اقلیمی در محدوده‌ای معین غیر محتمل است (درخشان، ۱۳۹۶).

۳- ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی

ذخیره استراتژیک ذخیره‌ای است حیاتی، که سرنوشت (پایداری و بقا) یک جامعه در گروی آن است. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی[۵] به حجمی از آب شیرین برای فعالیت‌های مختلف گفته می‌شود که بایستی محاسبه و در آبخوان ذخیره گردد تا در صورت وقوع PMD بتوان برای تأمین مصارف ضروری از آن بهره‌برداری نمود (Langridge)، ۲۰۱۲. حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی را می‌توان معادل میزان کمبود منابع آب تجدیدپذیر از حد نرمال در دوره مورد نظر لحاظ نمود. این ذخیره بایستی مصارف ضروری را طی دوره خشکسالی برآورده نماید. تعیین حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی تابع سطوح ریسک قابل قبول خشکسالی می‌باشد.

۴- تاب‌آوری در توسعه

توان تحمل فشار موقت بیرونی و بازگشت به حالت عادی پس از رفع فشار در یک سیستم اجتماعی-اقتصادی را تاب‌آوری گویند؛ که در بسیاری از منابع با نام «برگشت‌پذیری» نیز از آن یاد شده است. تاب‌آوری یکی از مولفه‌های اصلی در توسعه پایدار[۶] می‌باشد (Simonovic، ۲۰۰۹). توسعه‌ای که نیاز کنونی را برآورده می‌سازد، بدون آنکه به توانایی‌های موجود در محیط (که در برآورده‌سازی همان نیازها در آینده مؤثرند)، صدمه‌ای وارد نماید، توسعه پایدار گویند (WCED، ۱۹۸۷). توسعه در هر کشور برمبنای منابع تجدیدپذیر قابل طرح‌ریزی می‌باشد. شکل (۳) نمای ساده‌ای از روند تغییرات پایداری توسعه با توجه به برداشت از منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در هر محدوده مطالعاتی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در مشخص نمودن میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر، نسبت مصرف به تجدیدپذیری (C/Rw)بوده، که در محور سمت راست شکل(۳) نشان داده شده است. در توسعه پایدار این نسبت کمتر از ۰/۴ برآورد گردیده است. این نوع توسعه در صورت وقوع PMD نیز پایداری خود را حفظ می‌نماید. البته بایستی به این نکته توجه گردد که این مقادیر آستانه، تقریبی و غیر دقیق بوده و در هر حوضه متناسب با شرایط هیدرولوژیکی، میزان آلودگی و فعالیت‌های بشری قابل تغییر می‌باشد (شاهدی و طالبی حسین‌آباد، ۱۳۹۲). این شاخص متناسب با شرایط و ویژگی‌های کشور ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس مصوبه وزارت نیرو (سال۱۳۹۳) در شورای عالی آب «حداکثر تا ۷۵ درصد منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر و آب برگشتی» اجازه برداشت داده شده است. حفظ نسبت مصارف به تجدیدپذیری برابر ۷۵ درصد بایسته بوده، و این شاخص به منظور حفظ حداقل کیفیت برای منابع آب معرفی گردیده است. زیرا خروج مقداری مشخصی از منابع آب برای ایجاد تعادل و خروج نمک از حوضه‌آبریز ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که تفکیک مراحل مشابه نسبت مصرف به تجدیدپذیری (C/Rw) بطور کلی ۷۵ درصد اعلام شده، و درصورتی که بخواهد فقط برای یک آبخوان معین بطور دقیق تبیین گردد، بهتر است که این شاخص بر اساس ویژگی‌های همان آبخوان مورد تصحیح قرار گیرد.



شکل ۳- ارتباط توسعه با حفاظت از منابع آب (درخشان، ۱۳۹۶)

شکل (۳) مراحل تغییر پایداری توسعه در هفت کلاس را نشان می‌دهد که هر مرحله به اختصار در زیر تشریح گردیده است:

۱) A⟵B: توسعه در حالت گذار از A به B همچنان در پایداری کامل قرار دارد. در این حالت منابع فراوان بوده و کمبود آب در این مرحله وجود ندارد (Brown، ۲۰۱۱). تاب‌آوری بالا بوده و در صورت وقوع PMD، مشکل خاصی به وجود نخواهد آمد. در این مرحله نیاز چندانی به افزایش عرضه آب احساس نمی‌گردد.

۲) B⟵C: توسعه در حالت گذار از B به C همراه با تغییر پایداری توسعه بوده، که ناشی از ادامه توسعه اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. این تغییر، تقاضای آب را افزایش داده که با افزایش تعداد نقاط برداشت آب (چاه‌ها و ساخت سازه‌های هیدرولیکی) میسر گردیده است. به بیان دیگر این مرحله با بهره‌کشی از منابع آب همراه بوده، و باعث کاهش تاب‌آوری توسعه در صورت وقوع PMD می‌گردد.

۳) C⟵D: توسعه در حالت گذار از C به D به یک توسعه ناپایدار تبدیل خواهد شد. در این مرحله تقاضا در حال سبقت گرفتن از عرضه منابع آب می‌باشد. نقطه C شروع کمبود منابع آبی بوده و ادامه این روند ناپایداری کیفی منابع آب زیرزمینی را به همراه دارد. در این مرحله نگرانی‌های آسیب به اکوسیستم بسیار جدی است. تعداد چاه‌ها و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی به حداکثر ممکن خود رسیده است. پایداری کیفی آب برای توسعه مورد تهدید می‌باشد، که تغییر رویکرد از مدیریت تأمین آب به مدیریت تقاضای آب ضروری می‌باشد.

۴) E⟵D: توسعه در حالت گذار از D به E کاملاً از حالت پایداری کمی و کیفی خارج شده است و حداکثر بهره‌کشی از منابع آبی وقوع خواهد یافت. نقطه D شروع کمیابی منابع آبی است. در این حالت توسعه ناپایدار نه تنها آب تجدیدپذیر محدوده مطالعاتی را مصرف نموده، بلکه منابع تجدیدناپذیر نیز در حال افت شدید می‌باشد. معمولاً خسارت‌ها به اکوسیستم و منابع آب زیرزمینی مانند فرونشست زمین در حال افزایش است. با توجه به شکل در این مرحله تغییر نوع خسارات از جبران‌پذیر به جبران‌ناپذیر محسوس‌تر می‌باشد. بنابراین در صورت وقوع PMD، شرایط از آنچه هست بسیار وخیم‌تر خواهد شد.

۵) F⟵E: توسعه در حالت گذار از E به F نمونه‌ای کامل از یک توسعه ناپایدار می‌باشد. ایران یکی از کشورهایی است که با بیشترین آسیب‌پذیری در برابر کم‌آبی رو به رو است. بیش از ۹۰ درصد جمعیت و تولید ناخالص داخلی در مناطقی قرار دارند که برداشت از منابع آبی از حد بهره‌برداری قابل دوام فراتر رفته است (گزارش بانک جهانی، ۱۳۹۶). بنابراین تغییر نگرش برای کاهش برداشت از منابع آبی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در غیر این صورت با ادامه‌ی این روند، نابودی منابع آب زیرزمینی دور از انتظار نخواهد بود. در این مرحله آسیب‌پذیری[۷] نسبت به بلایای طبیعی به حداکثر رسیده است. توسعه در این شرایط نسبت به بلایای طبیعی مانند PMD بسیار شکننده بوده و در صورت وقوع می‌تواند فاجعه‌ای انسانی به وجود آورد.

۶) G⟵E : توسعه در حالت گذار از E به G با تعادل کمی منابع آب (C/Rw =۱) همراه بوده، که از آن با نام تعادل بخشی کمی منابع آب یاد می‌گردد و هنگامی رخ خواهد داد که تدابیر، اقدامات و عملیات تعادل بخشی موثر واقع گردد (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). یکی از اولین اقدامات در این مرحله که در کوتاه‌ترین زمان ممکن باید اتفاق بیافتد، حفظ ذخایر تجدیدناپذیر و

استراتژیک برای افزایش تاب‌آوری توسعه و **جلوگیری از نابودی آب‌های زیرزمینی تجدیدناپذیر برای نسل های آتی** می‌باشد (درخشان، ۱۳۹۶).

۷) G⟵H : توسعه در حالت گذار از G به H با تعادل کیفی منابع آب (C/Rw =۰/۷۵) همراه بوده، که از آن با نام تعادل‌بخشی کیفی منابع آب یاد می‌گردد. این مرحله در امتداد فعالیت‌های بازنشانی تعادل منابع و مصارف بوده و در بلندمدت می‌تواند اتفاق بیفتد. اهداف این مرحله شامل دست‌یابی به توسعه پایدار و ایجاد توازن میان نیازهای «محیط انسانی و اکوسیستم» است.

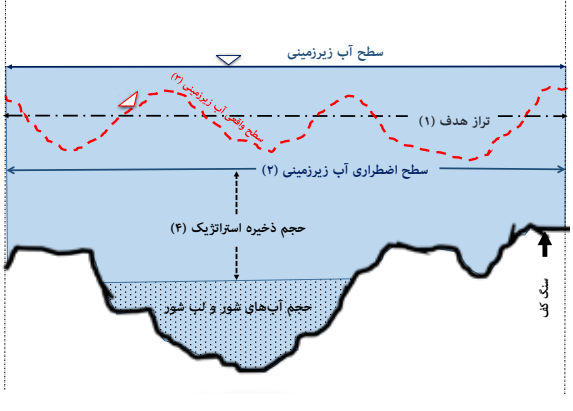
توسعه در بسیاری از دشت‌های کشور سال‌هاست که از مرز پایداری کمی و کیفی عبور کرده و میزان مصارف از آب تجدیدپذیر در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی بیشتر شده است. حتی منابع تجدیدناپذیر هم در صورت عدم کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی، در بسیاری از محدودهای مطالعاتی رو به اتمام خواهد بود. بنابراین اولین اقدام، حرکت به سمت بازنشانی تعادل میان منابع و مصارف در آبخوان می‌باشد. در مرحله بعد بایستی به ارائه راهکار برای مدیریت ریسک‌های ناشی از PMD پرداخته شود که حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی از مهم‌ترین اولویت‌های آن می‌باشد.

۵- راهکار مدیریت ریسک PMD

مدیریت ریسک خشکسالی مشابه مدیریت ریسک تخلیه سیلاب بر روی سریز سدهای بزرگ قابل برآورد می‌باشد. سدها به سه نوع بزرگ کوچک و متوسط (براساس حجم ذخیره و ارتفاع) تقسیم شده‌اند و خسارت شکست سد برای هر یک، ارزیابی شده است. در مورد سدهای بزرگ با توجه به احتمال مرگ‌ومیر و نیز وقوع خسارت‌های شدید اقتصادی، تاکید شده است تا برای طراحی سرریز از PMP استفاده گردد. به همین نحو، سطح پذیرش ریسک خشکسالی‌ها بر اساس میزان خسارت محتمل (مرتبط با جمعیت، اقتصاد و سایر اهمیت‌های فرهنگی، تاریخی و اجتماعی) برای هر محدوده مطالعاتی قابل بررسی و تعیین می‌باشد. این حجم نیز با توجه به میزان خسارات جبران‌پذیر و جبران‌ناپذیر وارده بر توسعه، در سه سطح زیاد، کم و متوسط به صورت کلی قابل برآورد است. بدیهی است به تناسب کوچک شدن گستردگی توسعه، می‌توان درصدی از PMD (و نه تمام آن) را برای ذخیره استراتژیک مد نظر قرار داد. آب‌های زیرزمینی این پتانسیل را دارند، تا کاهش آب تجدیدپذیر ناشی از وقوع PMD را جبران نمایند. مدیریت ریسک خشکسالی بر اساس برآورد حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی معادل کمبود آب تجدیدپذیر در دوره‌های خشکسالی با دوره بازگشت‌های معین، برای برآورده نمودن مصارف مختلف، قابل محاسبه می‌باشد(درخشان، ۱۳۹۶).

در شکل (۴) شماتیکی از مقطع آب زیرزمینی برای این مفهوم ارائه شده، تا مفاهیم مرتبط با ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی (شماره ۴ از شکل ۴) در یک آبخوان تعریف گردد. منطقه هاشور خورده در کف آبخوان، محل قرارگیری آب‌های شور می‌باشد و بالای آن آب‌های شیرین و با کیفیت مناسب وجود دارد، که تا سطح آبخوان امتداد یافته است. مهم‌ترین مفاهیم مرتبط با ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی شامل تراز هدف[۸]، سطح اضطراری آب زیرزمینی[۹] و سطح واقعی آب زیرزمینی[۱۰] می‌باشد.

تراز هدف (شماره ۱ از شکل ۴) می‌تواند سطح واقعی بلند مدت آب زیرزمینی باشد و یا در هر آبخوانی متناسب با شرایط آن آبخوان سطحی را برای یک افق معین برای برنامه‌ریزی مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی به عنوان تراز هدف فرض گردد (Izady و همکاران، ۲۰۱۳). سطح اضطراری آب زیرزمینی (شماره ۲ از شکل ۴)، سطحی از آب زیرزمینی است که به تناسب پذیرش ریسک خشکسالی قابل تعیین می‌باشد. برداشت آب زیرزمینی پایین‌تر از این سطح، منوط به وقوع PMD و صدور مجوزهای خاص برای برداشت از ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی می‌باشد. سطح واقعی آب زیرزمینی (شماره ۳)، با خط چین قرمز رنگ مشخص شده است. این سطح متناسب با تغذیه آبخوان تغییر می‌نماید. با فرض اینکه برداشت از آبخوان عددی کوچکتر از متوسط تجدیدپذیری آبخوان باشد، شیب منفی در این منحنی به معنای وقوع دوره خشکسالی و شیب مثبت در این منحنی به معنای وقوع دوره‌های ترسالی می‌باشد. فاصله بین سطح آب‌های شور با سطح آب در شرایط اضطراری را برآورد حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی در صورت وقوع PMD تعیین خواهد نمود (درخشان، ۱۳۹۶).



شکل ۴- مفهوم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی (درخشان، ۱۳۹۶)

چارچوب سازمان بین‌المللی «کاهش ریسک بلایای طبیعی»، مهم‌ترین عوامل برای کاهش ریسک خشکسالی را ایجاد آمادگی[11] در مقابل بلایای طبیعی معرفی نموده است. بنابراین، تاب‌آوری یک توسعه می‌تواند با ایجاد آمادگی در مقابل بلای خشکسالی افزایش یابد(UNISDR، ۲۰۰۹). حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی، ابزاری برای آمادگی پذیرش ریسک‌های خطرناک ناشی از PMD می‌باشد، که می‌توان براساس میزان برداشت از این ذخیره، برنامه مدیریت خشکسالی را ارتقاء بخشید. سازگاری[12] با خشکسالی از طریق کنترل مصارف می‌تواند نقشی مهمی در کاهش حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی و مدیریت ریسک خشکسالی ایفا نماید. افزایش قیمت آب متناسب با اهمیت مصارف، یکی از ابزارها برای مدیریت مصارف در دوره خشکسالی می‌باشد و حتی در صورت طولانی شدن و ورود به سطوح شدیدتر خشکسالی با اولویت‌بندی و تعدیل مصارف، می‌توان تاب‌آوری نسبت به پدیده خشکسالی را افزایش داد. راه‌اندازی بیمه خشکسالی یکی دیگر از راهکارهای اساسی در ایجاد آمادگی برای مقابله با بلای خشکسالی می‌باشد که همزمان با پذیرش تعدیل مصارف امکان جبران خسارات مالی را نیز فراهم خواهد نمود. یعنی بخشی از کاهش درآمد ناشی از خسارات خشکسالی از طریق وجوه بیمه جبران می‌گردد.

جمع‌بندی

بحران آب و محدودیت منابع آب در حال حاضر برای بسیاری از کشورها و در آینده‌ای نزدیك برای کلیه‌ی کشورهای جهان به صورت یك معضل جدی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد؛ چرا که این محدودیت، رشد و تعالی کشورها را می‌تواند تحت الشعاع قرار دهد. از این رو اهمیت مدیریت آب در صورت وقوع PMD بارزتر خواهد گردید. برآورد حدکثر خشکسالی محتمل در هر محدود مطالعاتی می‌تواند مبنایی برای تعیین حداکثر برداشت از آب زیرزمینی قرار گیرد تا از نابودی هرچه بیشتر ذخایر تجدیدناپذیر جلوگیری به عمل آید. بنابراین پیشنهاد می‌گردد تا حجم ذخیره استراتژیک در تمام آبخوان‌ها مورد محاسبه قرار گیرد. مدیریت ریسک خشکسالی از طریق حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی می‌تواند تاب‌آوری جوامع را در مقابل بلایای فاجعه‌بار ناشی از PMD افزایش دهد. لذا ضروری است تا مدیریت ریسک خشکسالی براساس حجم آب موجود در آبخوان‌ها برای تمام محدوده‌های مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرد. بدیهی است که در صورت عدم وجود ذخیره کافی در آبخوان، برآورد کلیه نیازها در دوره PMD ممکن نبوده و می‌تواند خسارات جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. در این صورت برآورد حجم ذخیره استراتژیک، می‌تواند توأم با مدیریت تقاضا صورت پذیرد. قیمت‌گذاری آب، اولویت‌بندی و تعدیل مصارف در دوره خشکسالی، راه‌اندازی بیمه خشکسالی از مهم‌ترین ابزارها برای مدیریت ریسک خشکسالی بوده، که باید در مدیریت صحیح ریسک خشکسالی از آن‌ها استفاده شود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد تا برنامه جامع مدیریت ریسک خشکسالی برای شرایط وقوع PMD در هر محدوده مطالعاتی تدوین گردیده و در دستور کار قرار گیرد.

پی‌نوشت

1- Water-Bankrupt
2- Probable Maximum Precipitation
3- Probable Maximum Drought
4- Resilience
5- Groundwater Strategic Resource
6- Sustainable Development
7- Vulnerability
8- Sustainability Threshold Level
9- Water Emergency Level
10- Groundwater Actual Level
11- Preparedness
12- Mitigation

منابع

درخشان، ه. ۱۳۹۶. بسط مفهوم «ذخیره استراتژیک» در مدیریت منابع آب و تدوین یک چارچوب برای کاهش مخاطرات خشکسالی‌های شدید و طولانی براساس این مفهوم. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

سایت جمعیت ناجیان آب، مصوبه پانزدهیمن جلسه شورای عالی آب در وزارت نیرو:
http://najianeab.ir/index.php/2015-01-12-17-59-34/230-25-1393 (visited 17 July 2017)

شاهدی، م. و طالبی حسین‌آباد، ف. ۱۳۹۲. ارائه چند شاخص کاربردی به منظور بررسی تعادل منابع آب و پایایی توسعه،

نشریه علمی- ترویجی آب و توسعه پایدار، ۱: ۷۳-۷۹.
بانک جهانی. ۱۳۹۶. ترجمه گروه مطالعات جهانی اقتصاد کلان و مدیریت مالی خاورمیانه و شمال آفریقا. ناظر اقتصادی ایران بهبود نفت خیر. به سوی امنیت آبی ایران: چالش‌ها و فرصت‌ها، منبع:
http://documents.worldbank.org/curated/en/475561498863952323/Iran-economic-monitor-oil-driven-recovery (visited 1 march 2018) Barnett J., Matthew R.A., O'Brian K.L. 2010. Global environmental change and human security: an introduction. The MIT Press, Cambridge, MA, pp 3-32.

Brown A. and Matlock M.D. 2011. A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. The Sustainability Consortium, White Paper, University of Arkansas, AR, USA, 106 pp.

Capelli G., Salvati R. and Petita M. 2001. Strategic groundwater resources in northern Latium volcanic complexes(Italy): identification Criteria and purposeful management, integrated water Resources Management. IAHS Publ.no. 272.2001.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013.No date. 'Drought facts'. rome, Italy. Available at fao.org/docrep/017aq191e/aq191e.pdf. (visited 1 march 2018)

Fathian F., Morid S. and Kahya E. 2014. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. Theor Appl Climatol: 1–22 doi: 10.1007/s00704–014–1120–4.

Izady A., Davari k., Ghahraman B., Alizadeh A., Sadeghi M. and Moghaddamnia A. 2012a. Application of panel-data modeling to predict groundwater levels in the Neishaboor Plain, Iran. Hydrogeology Journal 20(3):435-447, DOI: 10.1007/s10040-011-0814-2.

Izady A., Davary K., Alizadeh A., MoghaddamNia, A., Ziaei A.N. and Hasheminia, S.M. 2013. Application of NN-ARX model to predict groundwater levels in the Neishaboor Plain, Iran. Water Resources Management, 27(14): 4773–4794. DOI: 10.1007/s11269-013-0432-y.

Madani K., Aghakouck A. and mirchi A. 2016. Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation, Iranian Studies, 49:6, 997-1016

O'Brian K. and Leichenko R. 2007. Human Security, vulnerability and sustainable adaptation. Human Development Report 2007/2008, Human Development Report Office occasional paper, UN Development Programed, New York

Larry P. and Gerald H. 2005. Climate and the Collapse of Maya Civilization, A series of multi-year droughts helped to doom an ancient culture, American Scientist, 93:322-329.

Langridge R. 2012. "Drought and Groundwater: Legal Hurdles to Establishing Groundwater Drought Reserves in California" Environs: Environmental Law and Policy Journal, 4:34. 1environs.law.ucdavis.edu/issues/36/1/Langridge.pdf. (visited February 12, 2017).

Simonovic S.P. 2009. Managing Water Resources Methods and Tools for a Systems Approach, Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO),pages 233-241.

UNFPA (The United Nations Population Fund), state of world population. 2015. Shelter from the storm, A transformative agenda for women and girls in a crisis-prone world; Adopted from: CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). 2015a. EM-DAT database. http://www.emdat.be/. Accessed 3 November 2015.

UNDP .1994. Human development report: new dimensions of human security. UN Development Program me, New York.

UNESCO – WWAP. 2003. Water for people–water for life .The United Nations World Water Development report 1 (WWDR1). Part of the UN World Water Assessment Program me (WWAP), UNESCO, Paris and Berghahn, New York.

UNESCO - WWAP .2012. Managing water under uncertainty and risk, vol 1. The United Nations World Water Development report 4) WWDR4). Part of the UN World Water Assessment Program me(WWAP), UNESCO, Paris

UNISDR. 2009. Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework for Action Geneva. Avail-

Series on Groundwater no. 3, UNESCO, Paris.

WCED (World Commission on Environment and Development).1987. Our Common Future. (The Brundtland Report). Oxford, UK: Oxford University Press. 383 pages.

Wilhite D.A. and Glantz M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, Water International, 10(3): 111-120.

Wilhite D.A. 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions, University of Nebraska – Lincoln, Chapter 1, 2-6.

able at unisdr.org/we/inform/publications/11541.

UNISDR . 2015. Making development sustainable: the future of disaster risk management. Global assessment report on disaster risk reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva.

UN-Water .2013. Water security and the global water agenda: a UN-Water analytical brief. Available at http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf. Accessed November 2015.

Vrba J. and Verhagen B. 2011. Groundwater for emergency situations: a methodological guide. IHP-VIII,