فصلنامهٔ مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲۹، زمستان ۹۷

# راهبردهای دستیابی به مدیریت پایدار آب‌زیرزمینی

علی‌اکبر علیپور،[۱] هاشم درخشان،[۲] کامران داوری[۳]

## چکیده

آب زیرزمینی حیاتی‌ترین منبع تأمین آب در ایران است که برداشت پایدار از آن از ضروریات اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود؛ اما اضافه برداشت و غفلت از تبیین معیاری معقول برای بهره‌برداری از آب زیرزمینی در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی پایداری این منبع حیاتی را با چالشی جدی روبه‌رو کرده است. علاوه بر این، تغییر اقلیم و در نتیجه کاهش تغذیهٔ آب زیرزمینی بر این ناپایداری افزوده است. مجوزهای بهره‌برداری از آب زیرزمینی توانایی سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی و ایجاد تطابق با تغییرات اجتماعی ـ اقتصادی را ندارد و نمی‌توان توسط آن‌ها به پیامدهای نامطلوب برداشت از آب زیرزمینی توجه و آن‌ها را پیگیری کرد. در این مقاله، به منظور بررسی پیامدهای نامطلوب برداشت از آب‌زیرزمینی، کل ذخیرهٔ با کیفیت مناسب آبخانه در قالب سه سناریوی ایدئال، معقول و حداقلی مبتنی بر محدودیت‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی تحلیل شده است. با توجه به گسترش پیامدهای نامطلوب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، اکثریت محدوده‌های مطالعاتی از تراز بهره‌برداری پایدار عبور کرده‌اند و هم‌اکنون در سناریوی سوم (حداقلی) قرار دارند. بنابراین این سناریو مورد توجه بیشتر قرار گرفته و الزامات مورد نیاز برای حفظ شرایط موجود و همچنین حرکت به سمت

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ رایانامه: akbaralipoor.at@gmail.com

۲. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ رایانامه: hashem.derakhshan@yahoo.com

۳. استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسندهٔ مسئول)؛ رایانامه: k.davary@um.ac.ir

مدیریت پایدار آب زیرزمینی پیشنهاد و تحلیل شده است.
**کلیدواژه‌ها:** آبدهی پایدار، ابرخشکسالی، قیمت آب، مدیریت پایدار آب زیرزمینی

## ۱. مقدمه

آب زیرزمینی فراوان‌ترین منبع آب شیرین روی زمین است که بیش از ۹۶ درصد آب شیرین دنیا را در خود ذخیره کرده اما از آنجا که این منبع حیاتی مخفی و غیرقابل دیدن است، در اولویت قرار نداشته و همواره به آن کم‌توجهی شده است (Van der Gan, 2012). اضافه برداشت و عدم توجه به ظرفیت تغذیهٔ این منبع بی‌همتا، مخصوصاً در مناطق گرم و خشک باعث افت مستمر این ذخایر شده است. به عبارت دیگر عدم درک صحیح تجدیدپذیری آب زیرزمینی و همچنین غفلت از ایجاد تناسب بین میزان برداشت با تغذیهٔ آب زیرزمینی، یکی از دلایل اصلی برای اضافه برداشت و مدیریت ضعیف است (Basu and Van Meter, 2014). این غفلت تاکنون پیامدهای جبران‌ناپذیر[۴] از جمله فرونشست زمین،[۵] نفوذ آب شور،[۶] شوری خودالقایی،[۷] کاهش تبادلات بین منابع سطحی و آب زیرزمینی[۸] و کاهش ظرفیت ذخیرهٔ آب[۹] در آبخانه را به همراه داشته است (DWR, 2015). بدیهی است که ادامهٔ روند (اضمحلال ذخیرهٔ استراتژیک آب‌زیرزمینی) افزایش ناپایداری توسعه‌های وابسته به این منابع را به همراه خواهد داشت (Van der Gan, 2012).

آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب محسوب می‌شود و برخی از مناطق مانند استان خراسان رضوی به دلیل کمبود بارش و با احتساب منابع آب سطحی انتقال یافته، بیش از ۸۵ درصد نیازهای آبی خود را از آب زیرزمینی تأمین می‌کند. این میزان وابستگی به آب زیرزمینی در دیگر مناطق برّی فاقد منابع آب سطحی بیشتر است و به حدود ۱۰۰ درصد خواهد رسید. به عبارت دیگر بخش قابل توجهی از مناطق ایران دور از دریا و نزدیک به کویر مرکزی قرار دارند که به این مناطق گرم و خشک دور از دریا، مناطق برّی می‌گویند. در این مناطق آب زیرزمینی یگانه منبع تأمین آب محسوب می‌شود که اضمحلال آب زیرزمینی نابودی توسعهٔ وابسته به آن در شرق و کویر مرکزی ایران را به همراه داشته است (خبرگزاری ایسنا، ۱۳۹۴). درواقع اضافه برداشت توأم با اثرات مخرب پدیدهٔ تغییر اقلیم (کاهش تغذیهٔ آب‌زیرزمینی) منجر به اضمحلال ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی شده و در صورت وقوع یک دورهٔ

4. irreversible impact
5. land subsidence
6. seawater intrusion
7. induced self-salinity
8. depletions of interconnected surface waters
9. permanent loss of capacity to store water

استرس آبی شدید (ابرخشکسالی) می‌تواند شرایط بسیار شکننده‌تری را رقم بزند. بی‌توجهی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی و عدم مدیریت ریسک ابرخشکسالی، حتی ممکن است که به متروک شدن دشت‌ها و اضمحلال توسعه مخصوصاً در مناطق برّی بینجامد (درخشان و عمرانیان، ۱۳۹۶).

در حال حاضر، مجوزهای بهره‌برداری از آب زیرزمینی دارای حجم ثابتی است که مبتنی بر معیاری معقول برای برداشت آب از این منابع نیست. این مجوزها توانایی سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی را ندارند و نمی‌توان توسط آن‌ها پیامدهای نامطلوب بهره‌برداری از آب زیرزمینی را مدیریت کرد. با توجه به اهمیت آب زیرزمینی در پایداری توسعهٔ ایران، لازم است پیامدهای نامطلوب بهره‌برداری از آب زیرزمینی پایش و به صورت دوره‌ای ارزیابی شود. همچنین ضروری است تا جایگاه این منبع حیاتی در افزایش تاب‌آوری در برابر ابرخشکسالی‌های پیش‌رو با توجه به ضرورت مدیریت پایدار آب زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد. بدیهی است که دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی منوط به بهره‌برداری از آب زیرزمینی مبتنی بر آبدهی پایدار[10] است؛ درحالی که این ضرورت در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مغفول مانده است. به عبارت دیگر مدیریت آب زیرزمینی نیازمند تغییر رویکردی اساسی از وضع موجود به وضع مطلوب (دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی) است. این مقاله به تشریح الزامات دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی پرداخته و مهم‌ترین مبانی آن را تشریح کرده است.

## ۲.آب زیرزمینی و پایداری

سازگاری با شرایط آب‌وهوایی از اصول اولیهٔ قوانین است که نمونه‌ای از آن در «بند ز» از قانون توزیع عادلانهٔ آب مصوب سال ۱۳۶۱ مجلس شورای اسلامی آمده است. مطابق این بند از قانون، وزارت نیرو موظف است در صورت ورود به یک دورهٔ استرس آبی همچون خشکسالی‌های شدید به جیره‌بندی آب بپردازد (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۷). اگرچه اهتمام به سازگاری موردتوجه قانون توزیع عادلانهٔ آب بوده اما در عمل توجهی به ایجاد سازگاری با شرایط آب‌وهوایی و برداشت آب از این منبع مبتنی بر آبدهی پایدار پیاده‌سازی نشده است. آبدهی پایدار از کلیدی‌ترین مفاهیم در مدیریت آب زیرزمینی محسوب می‌شود و به منظور دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی ضروری است که تخصیص برداشت از آب زیرزمینی مبتنی بر این مفهوم مورد توجه قرار گیرد.

اولین مفهوم مرتبط با پایدار آب زیرزمینی که در بحث استفاده از ذخایر استراتژیک آب

10. sustainable yield

زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت، مفهوم آبدهی مطمئن[11] بود. این مفهوم اولین بار در علوم مهندسی برای اطمینان‌پذیری در تأمین آب مورد توجه قرار گرفت و به صورت «حداکثر مقدار آبی است که در یک دورهٔ استرس آبی، از دیگر منابع همچون آب زیرزمینی می‌توان تأمین کرد» تعریف شد(Lee, 1915) . سپس توجه به افت سطح آب زیرزمینی، تغییرات کیفیت آب و حتی تغییر حق‌آبه‌ها نیز به این مفهوم اضافه شد(Todd, 1959) . بنابراین تعریف آبدهی مطمئن به «مقدار برداشت سالانهٔ آب از آب زیرزمینی بدون پیامدی نامطلوب برای آب زیرزمینی» تغییر یافت. به تدریج، توجه به سایر پیامدهای نامطلوب بهره‌برداری از آب زیرزمینی بیشتر مورد توجه قرار گرفت و نهایتاً مفهوم «آبدهی پایدار» اولین بار در سال ۱۹۷۲ تعریف شد(Domenico, 1972) . درواقع برآوردی واقع‌بینانه از مقدار آبی که براساس بیلان ورودی و خروجی آب زیرزمینی می‌تواند پمپاژ شود و همچنین اجتناب از افت سطح آب آبخانه در یک دورهٔ طولانی مدت، می‌تواند معیاری برای آبدهی پایدار حوضهٔ آبریز قرار گیرد؛ درحالی که مفهوم آبدهی مطمئن بیشتر به تغییرات سطح آبخانه وابسته است و بر محدودیت افت سطح آب زیرزمینی تأکید دارد (Rudestam and Langridge, 2013). بنابراین آبدهی پایدار بدین شرح تعریف شد: «حداکثر مقدار آب زیرزمینی قابل برداشت سالانه که بر پایهٔ تحلیلیک دورهٔ مدیریتی بلندمدت برای یک حوضهٔ آبریز معین محاسبه می‌شود و برداشت به این میزان به صورت سالانه پیامدهای نامطلوب نخواهد داشت». اما پیاده‌سازی مدیریت آب زیرزمینی بر مبنای «آبدهی پایدار» دارای پیچیدگی‌های بسیار است که مبتنی بر این تعریف، مفهوم «مدیریت پایدار آب زیرزمینی» برای پیاده‌سازی برداشت از منابع آب زیرزمینی مبتنی بر آبدهی پایدار به این شرح است: «مدیریت و استفاده از آب زیرزمینی به گونه‌ای که در افق یک برنامهٔ بهره‌برداری بلندمدت و در طول پیاده‌سازی این برنامه پیامدهای نامطلوب وقوع نیابد». در این تعریف، منظور از پیامدهای نامطلوب، افت مزمن سطح آب زیرزمینی، کاهش ذخیرهٔ آب زیرزمینی، اضمحلال کیفی آبخانه (نفوذ آب شور یا افت کیفی)، نشست زمین و کاهش آب‌های سطحی مرتبط با آب زیرزمینی است (DWR, 2015).

علی‌رغم تبیین مفهوم آبدهی مطمئن و پایدار در بیش از یک قرن و نیم پیش، متأسفانه هنوز برنامه‌ریزی‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی در کشورمان مبتنی بر این مفاهیم نیست و حتی اصول اولیهٔ بهره‌برداری پایدار از آب زیرزمینی نیز رعایت نمی‌شود. عدم درک صحیح از مفاهیم تجدیدپذیری آب زیرزمینی و بی‌توجهی به نقش منابع آب زیرزمینی در افزایش تاب‌آوری توسعه، از مهم‌ترین دلایل اضافه برداشت است. این اضافه برداشت‌های بی‌رویه، خسارات جبران‌ناپذیر بسیاری را بر آبخانه و بر توسعهٔ وابسته به این منابع وارد کرده و ادامهٔ این روند پیامدهای نامطلوب بزرگ‌تری را در پی خواهد داشت. درواقع بهره‌برداری از آبخانه‌ها به

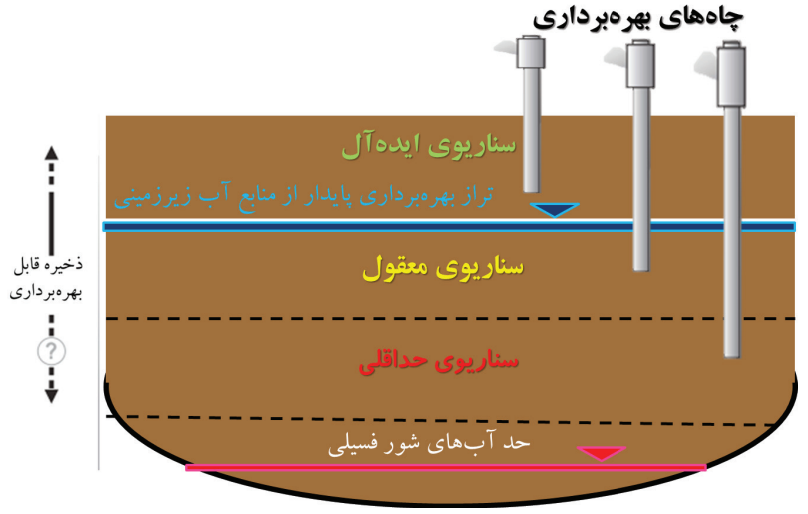
11. safe yield

شکل موجود، رویکردی نارکارآمد است که به محدودیت‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی توجهی ندارد. این رویکرد فاقد درکی صحیح از مفاهیم مرتبط با تجدیدپذیری آب زیرزمینی است و در عمل نیز الزاماتی همچون متغییر بودن میزان برداشت از منابع آب‌زیرزمینی برای ایجاد توانایی سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی را ندارد. بنابراین نمی‌تواند پیامدهای نامطلوب ناشی از رویهٔ جاری برداشت از منابع آب زیرزمینی بر توسعه را پیش‌بینی و سپس پیشگیری کند.

## ۲. ۱. چه مقدار بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مجاز است؟

صدور مجوزهای برداشت از منابع آب زیرزمینی برای آبخانه‌های عمیق و نیمه‌عمیق صورت می‌پذیرد که در شکل ۱ نمایی از آن ترسیم شده است. مطابق شکل، ذخیرهٔ در دسترس یک آبخانه تابعی از عمق چاه‌هاست و از طرف دیگر کل ذخیرهٔ آبخانه محدود به آب‌ها با کیفیت نامناسب یا لایهٔ نفوذناپذیر است. این بدین معناست که اگر عمق چاه‌ها در طول زمان برای برداشت بیشتر زیاد شود، درنهایت کل ذخیرهٔ آب با کیفیت قابل قبول تمام خواهد شد. درواقع برای این این مفهوم که «چه مقدار از کل ذخیره آب زیرزمینی برای بهره‌برداری پایدار قابل استفاده است» یا به عبارت دیگر این سؤال که «عمق کف شکنی مجاز چاه‌ها چه مقدار باید باشد؟» هنوز هم پاسخ کمی و دقیقی تهیه نشده و این سؤال بدون جواب مانده است. درواقع مدیریت آب زیرزمینی زمانی می‌تواند به پایداری نزدیک شود که پاسخی درخور و معقول برای این سؤال داشته باشد.

**شکل ۱. سناریوی‌های بهره‌برداری پایدار از آب زیرزمینی**



مطمئناً در پاسخ به سؤال مزبور، توجه صرف به کل ظرفیت ذخیرهٔ آبخانه برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آب زیرزمینی گمراه‌کننده است زیرا فقط بر یک جنبه تمرکز کرده و دیگر محدودیت‌های بهره‌برداری از آبخانه مغفول واقع شده است (بولتن ۱۱۸، ۲۰۰۳). به عبارت دیگر برداشت از آب زیرزمینی باید مبتنی بر جلوگیری از پیامدهای نامطلوب (محدودیت‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی) باشد تا دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی ممکن شود. ضروری است تا این محدودیت‌های مغفول بیشتر شناخته و در بهره‌برداری لحاظ شوند. در جدول ۱ به این محدودیت‌ها در قالب پنج گروه اصلی اشاره شده است.

**جدول ۱. محدودیت‌های بهره‌برداری ازآب زیرزمینی (بولتن ۱۱۸، ۲۰۰۳)**

| | محدودیت | شرح محدودیت ناشی از افت سطح آب زیرزمینی |
|---|---|---|
| | محیط زیستی | کاهش حفاظت از تالاب‌ها، جریانه‌های پایهٔ رودخانه‌ها و جلوگیری از کاهش تنوع زیستی موجودات (نابودی کامل اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی مانند چشمه‌ها و...) |
| ۱ | نهادی/ حقوقی | ایجاد اخلال در مقررات برنامه‌های مدیریت آب مانند پیامدهای نامعقول بر حقآبه‌های منابع سطحی و حقآبه‌داران قنوات |
| ۲ | اقتصادی | افزایش هزینهٔ پمپاژ وکف‌شکنی چاه‌ها / اضافه شدن هزینهٔ تصفیه برای استفاده در مصارف قبلی (مانند هزینهٔ تصفیهٔ آب برای شرب) |
| ۳ | کمّی | حریم هیدرولیکی چاه‌ها نمی‌تواند معیار کافی برای بهره‌برداری از آبخانه باشد. افزایش تمرکز برداشت از آب زیرزمینی برای برخی از نقاط (مانند نقاط تمرکز جمعیت) باید به تناسب تغذیهٔ آب زیرزمینی تنظیم شود که در حال حاضر میزان تغذیهٔ آب زیرزمینی جوابگوی پایداری توسعهٔ بی‌رویه نیست. |
| ٤ | کیفی | نامناسب شدن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف ناشی از افزایش شوری (شوری خودالقایی) آبخانه یا نفوذ آب شور دریا در مناطق ساحلی باعث کاهش شدید کیفیت آب، مخصوصاً در خروجی‌های حوضهٔ آبریز می‌شود. |

متأسفانه طی چند دههٔ اخیر، برنامه‌ریزی‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مبتنی بر معیاری معقول (آبدهی پایدار) و توجه به محدودیت‌های برداشت از آب زیرزمینی نبوده است. قانون تخصیص‌های جدید جهت صنعت، شرب و خدمات در دشت‌های ممنوعه و همچنین قانون چاه به جای قنات نمونه‌هایی از بی‌توجهی به محدودیت‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی است. بنابراین ضروری است این محدودیت‌ها بیشتر شناخته

شوند و در تعیین حجم مجوزهای بهره‌برداری از آب زیرزمینی مورد توجه واقع شوند.

به منظور تحقق اولین گام برای دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی باید میزان برداشت‌ها مبتنی بر آبدهی مطمئن با توجه به شرایط اقلیمی و هیدروژئولوژی آبخانه برآورد شود. گام بعدی تدوین برنامهٔ دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی در یک دورهٔ بلندمدت مبتنی بر آبدهی پایدار مورد توجه است. در گام سوم با تقسیم برنامه بلندمدت به برنامه‌های کوتاه‌مدت، دستیابی به اهداف مدیریت پایدار آب‌زیرزمینی سیاست‌گذاری می‌شود. پیشنهاد این است که سطح آب زیرزمینی در اولین سال شروع برنامه به عنوان سال پایه انتخاب شود و براساس متوسط تغییرات سطح آب در دههٔ قبلی و همچنین تحلیل تغییر سطح آب در هیدروگراف سال پیش میزان تغییر پروانه‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی در سال آتی تعیین تکلیف شود. به عبارت دیگر سیاست‌گذاری میزان تخصیص آب از منابع آب زیرزمینی در سال آتی باید براساس بیلان سال‌های گذشته به گونه‌ای باشد که برای یک دورهٔ بلندمدت بتوان به آبدهی پایدار آب زیرزمینی دست یافت. برای دستیابی به این هدف ضروری است تا تخصیص برداشت از لایه‌های مختلف آب‌زیرزمینی با سیاست‌های متفاوت صورت پذیرد. بدین منظور سه سناریو برای تخصیص برداشت از منابع آب زیرزمینی پیشنهاد و تحلیل می‌شود:

## ۲. ۲. سناریوی‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی

با توجه به محدودیت‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی سه سناریو مطابق شکل ۱ مطرح و تشریح شد. اولین تراز، تراز بهره‌برداری پایدار از آب‌زیرزمینی است. این تراز را می‌توان با احتساب کلیهٔ محدودیت‌های بهره‌برداری (جدول ۱) برای هر یک از آبخانه‌ها برآورد کرد. درواقع این تراز بر ضرورت تغذیهٔ چشمه‌ها و جریان پایهٔ رودخانه‌ها از آب زیرزمینی تأکید دارد و لازم است به محدودیت‌های محیط زیستی در تعیین حجم برداشت از آب زیرزمینی توجه شود. به عبارت دیگر محدودیت‌های محیط زیستی به ضرورت ادامه زنده‌مانی حیات‌وحش عنایت دارد تا حیات این موجودات زنده که از منابع آب سطحی مرتبط با منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند دچار اخلال نشود. بدیهی است اضافه برداشت، کاهش سطح آب و حتی خشک شدن منابع آب سطحی و تالاب‌ها را به همراه دارد که حیات‌وحش را با خسارات جبران‌ناپذیری روبه‌رو خواهد کرد. درواقع سناریوی ایدئال بر این ضرورت تأکید دارد که مجموع برداشت از آب زیرزمینی برای یک دورهٔ بلندمدت- در صورتی که بخواهید به محیط زیست ضربه‌ای وارد نشود- باید معادل تراز اول باشد و عمق کف‌شکنی چاه‌ها نباید پایین‌تر از این تراز قرار گیرد. سناریوی ایدئال بر این نکته تأکید دارد که بهره‌برداری از آب

زیرزمینی نباید باعث کاهش تنوع زیستی موجودات زنده و به عبارت جامع‌تر از بین رفتن تعادل اکوسیستم شود (درخشان و داوری، ۱۳۹۷ الف).

آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع باکیفیت و ارزان برای بهره‌برداری در هر شرایط آب و هوایی است. بهره‌برداری در برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی در سناریوی دوم بر برداشت معقول از آب زیرزمینی تأکید دارد و به تراز دوم محدود می‌شود. در این سناریور برداشت مبتنی بر آبدهی پایدار است؛ به گونه‌ای که برای یک دورهٔ بلندمدت، پیامدهای نامطلوب یا نامعقول ناشی از عدم رعایت محدودیت‌های برداشت شامل شور شدن آبخانه، فرونشست و... را در پی نداشته باشد. در این سناریوی باید کل میزان برداشت از آبخانه در یک دورهٔ بلندمدت معادل تراز دوم باشد؛ به گونه‌ای که کمترین پیامد نامطلوب را داشته باشد.

خشکسالی جزئی از تغییرات آب‌وهوایی هر اقلیم محسوب می‌شود و در بسیاری از تحقیقات بر وقوع خشکسالی‌های شدیدتر و خطرناک‌تر در اثر تغییر اقلیم تأکید شده است (Langridge, 2017; IPCC, 2013). از طرف دیگر آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع قابل اطمینان برای بهره‌برداری در صورت وقوع ابرخشکسالی (خشکسالی چنددهه‌ای) است. بنابراین ذخیرهٔ بخشی از آب زیرزمینی (ذخیرهٔ استراتژیک) می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آسیب‌پذیری و ایجاد سازگاری با این بلای طبیعی داشته باشد (Dinar, 2001; Saenz et al., 2009). سناریوی حداقلی نیز به تراز سوم (حداقل تراز برای جلوگیری از ورود آب‌های شور به چاه‌های بهره‌برداری) محدود است و بر افزایش تاب‌آوری توسعه در برابر ابرخشکسالی‌ها تأکید دارد. این سناریو لزوم استفاده صحیح از حق نسل‌های آینده از منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از نابودی توسعه‌های وابسته به آب زیرزمینی در شرایط ابر خشکسالی را مورد تأکید قرار داده است (درخشان و دیگران، ۱۳۹۶).

هم‌اکنون بررسی بسیاری از دشت‌های ممنوعهٔ بحرانی و فوق بحرانی نشان از این دارد که محدودیت‌های برداشت از آب زیرزمینی (جدول ۱) تاکنون در قوانین مدیریت آب زیرزمینی به درستی تبیین نشده و در عمل نیز به صورت کامل اجرایی نشده‌اند. شواهد موجود از وقوع پیامدهای نامطلوب نشانگر آن است که اکثریت محدوده‌های مطالعاتی کشورمان از ترازهای اول و دوم عبور کرده‌اند و در سناریوی حداقلی قرار می‌گیرند.

## ۳. راهبردها

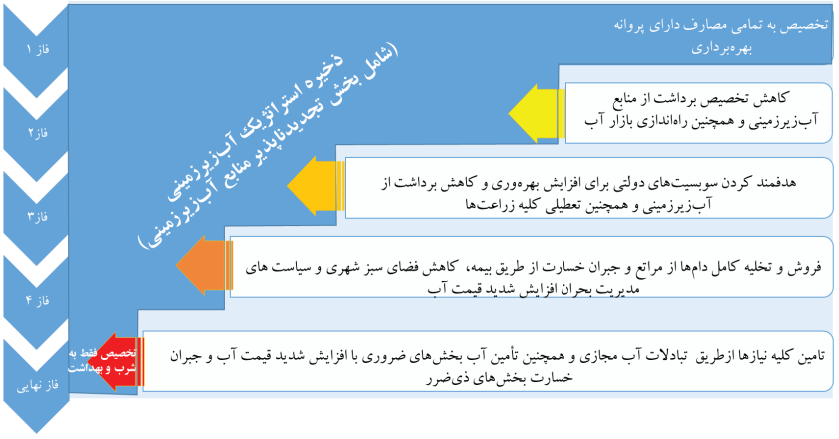
بدیهی است که مجوزهای بهره‌برداری از آب زیرزمینی باید مبتنی بر محدودیت‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی باشند. بنابراین ضروری است مجوزهای حجمی ثابت آب منطقه‌ای‌ها به مجوزهای سهم آب از تجدیدپذیری حوضهٔ آبریز تغییر یابد و برای بهره‌برداری

دوره‌های مدیریتی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت (مثلاً سالانه، پنج‌ساله و بیست‌وپنج‌ساله) تعریف شود. میزان برداشت در هر آبخانه می‌تواند متأثر از نوع برداشت و شرایط آب و هوایی دوره مدیریتی قبلی تغییر یابد. لازم به یادآوری است که ذخایر تجدیدناپذیر آب زیرزمینی حق نسل‌های آیندهٔ این سرزمین است و نباید در سهم برداشت از آب زیرزمینی لحاظ شود. ضروری است استفاده از ذخایر استراتژیک فقط در شرایط خاص (مدیریت ریسک بلایای طبیعی مخصوصاً ابرخشکسالی‌ها) و آن هم مبتنی بر سازوکاری مشخص برای بهره‌برداری (در شرایط خشکسالی) و جایگزینی (در شرایط ترسالی) صورت گیرد. به منظور مدیریت آب زیرزمینی در شرایط موجود و توجه به محدودیت تاب‌آوری توسعه در برابر ابرخشکسالی‌های پیش رو، حفظ شرایط حداقلی (سناریوی سوم یا سناریوی حداقلی) و اهتمام به حق نسل‌های آینده در دستیابی به آب شیرین، نیازمند برنامه‌ای مشخص برای دستیابی به این هدف هستیم. بنابراین ضروری است قبل از هر اقدامی ترازهای بهره‌برداری (مبتنی بر محدودیت‌ها)، حجم آب تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و حجم آب با کیفیت مناسب و قابل قبول برای مصارف مختلف در هر آبخانه تعیین تکلیف شود. ضمن اینکه این سؤال برای آبخانه‌هایی که در سناریوی سوم قرار می‌گیرند مطرح است که آیا قیمت آب تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، آب‌های شیرین و آب‌های شور با یکدیگر یکسان است؟ مسلماً پاسخ خیر است. بنابراین لازم است قیمت واقعی آب زیرزمینی با توجه به نوع، کمّیت و کیفیت بین هریک از ترازهای بهره‌برداری مشخص شود.

ذخایر تجدیدناپذیر آب زیرزمینی ذخایری با دورهٔ بازگشت‌های بسیار طولانی‌مدت برای جایگزینی هستند (Foster and Loucks, 2006). ضروری است که کل ذخیرهٔ آبخانه به تناسب تغییرات آب‌وهوایی مورد کمّی‌سازی قرار گیرد. در این کمّی‌سازی ذخایر آب تجدیدناپذیر جزء ذخایر آب غیر معمول به شمار می‌آید و لازم است در شرایط آب‌وهوایی غیرمعمول نیز استفاده شود (درخشان و داوری،۱۳۹۷ ب). بنابراین نحوهٔ بهرهبرداری از ذخایر تجدیدناپذیر آب زیرزمینی در شرایط مختلف آب‌وهوایی باید کاملاً متفاوت باشد. پیشنهاد می‌شود به منظور استفادهٔ صحیح از ذخایر استراتژیک و همچنین حفظ این ذخایر باارزش، برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی ذیل برنامهٔ جامع مدیریت پایدار آب زیرزمینی توسعه یابد و در دستور کار قرار گیرد. به عبارت دیگر هر مرحله از برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی باید با استفاده از ذخیرهٔ آب زیرزمینی معادل آن مدیریت شود. برای تشریح بیشتر موضوع، در شکل ۲ نمایی از یک برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی تشریح شده است. در این برنامه به عنوان نمونه پنج مرحله برای برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی تشریح شده است. مرحله اول (فاز ۱) می‌تواند حجم آب زیرزمینی معادل بروز سطح خسارات خشکسالی اقتصادی-اجتماعی باشد. در این فاز منابع آب تجدیدپذیر آبخانه در حال اتمام است و زمینه‌سازی و

آگاهی‌بخشی برای ورود به سطح بالاتر خشکسالی انجام می‌پذیرد. در این مرحله برای تعطیلی بخشی از مصارف برنامه‌ریزی صورت گرفته تا کاهش برداشت برای فاز دوم از برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی صورت پذیرد. بازار آب در این مرحله می‌تواند نقش ویژه‌ای در کاهش تخصیص و انتقال آب بین بخش‌های مختلف داشته باشد. البته اگرچه بازار آب نقش مؤثرتری در این مرحله دارد، در تمام سطوح برنامه تقویت آن ضروری است. هدفمند کردن سوبسیدهای بخش دولتی، تعطیلی زراعت‌های فصلی و جبران خسارت آنها از طریق بیمه از جمله اقدامات پیشنهادی برای فاز سوم است. تعطیلی زراعت‌های تابستانه پیامدهای نامطلوب کمّی نسبت به دیگر مصارف در پی دارد و در این فاز از پیاده‌سازی برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی قابل اجراست. با ورود به سطح بالاتر از وقوع ابرخشکسالی مطمئناً مراتع نیز به دلیل کاهش باران تحت فشار قرار می گیرند که در این مورد علاوه بر تعطیلی کلیهٔ زراعت‌ها، گزینهٔ تخلیهٔ کامل دام‌ها از مراتع از جمله موارد پیشنهادی برای فاز چهارم است. در فاز چهارم از برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی پیشنهاد می‌شود کاهش فضای سبز شهری و افزایش شدید قیمت آب برای مصارف صنعتی یا حتی تعطیلی صنایع برای فاز چهارم مدنظر قرار گیرد. برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی باید قادر به پیش‌بینی این باشد که در بالاترین سطح از وقوع ابرخشکسالی (فاز پنجم)، مصارف از طریق تبادلات آب مجازی صورت پذیرد و تنها تأمین آب شرب از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی میسر شود. لازم به ذکر است که قیمت‌گذاری باید به گونه‌ای باشد که با ورود به مرحلهٔ بالاتری از برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی میزان برداشت به شدت کاهش یابد.

**شکل ۲. چگونگی تخصیص از ذخیرهٔ استراتژیک آبزیر زمینی در سطوح مختلف وقوع ابرخشکسالی**



در پاسخ به شرایط بد آب‌وهوایی و به تناسب کاهش باران هر یک از مراحل برنامهٔ مدیریت خشکسالی به اجرا گذاشته خواهد شد. بعد از خروج از ابرخشکسالی کار برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی به پایان نخواهد رسید زیرا در این برنامه لازم است تمهیداتی برای جایگزینی ذخایر استراتژیک (برگشت به تراز بهره‌برداری پایدار) نیز در نظر گرفته شود. این تمهیدات باید مبتنی بر راهکارهایی معقول باشد و در شرایط ترسالی، جایگزینی ذخیرهٔ استراتژیک آب زیرزمینی (به عبارت ساده‌تر پر شدن ذخیرهٔ آبخانه) به اجرا گذاشته شود.

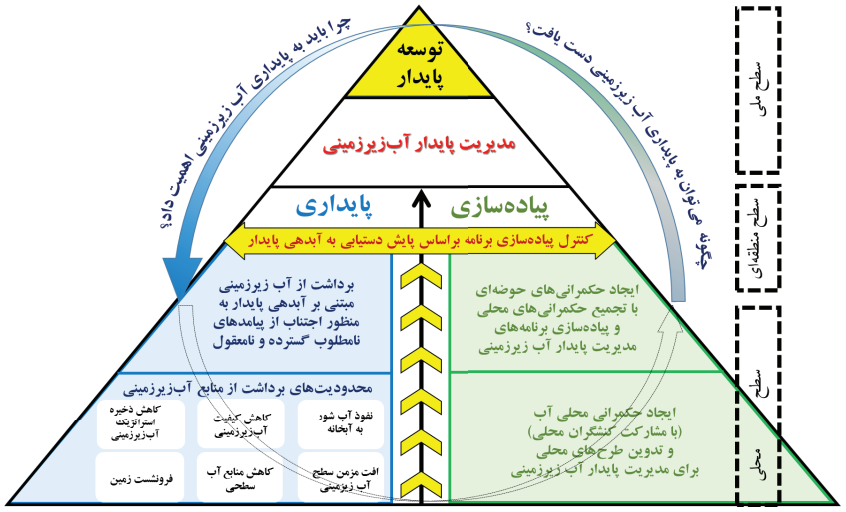
بااستفاده‌از کمّی‌سازی‌ریسک‌ابرخشکسالی‌می‌توان‌برای‌ذخیرهٔ‌استراتژیک آب‌زیرزمینی تعیین تکلیف کرد. برآورد ذخیرهٔ استراتژیک آب زیرزمینی در هر آبخانه می‌تواند برای حجم موردنیاز جهت سناریوی حداقلی تعیین تکلیف کند. برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی قادر است آب شرب باکیفیت مطلوب برای یک دورهٔ خشکسالی محتمل (ابرخشکسالی) تعیین کند. در حقیقت هدف اصلی برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی برداشت آب از آب زیرزمینی به‌گونه‌ای است که کلیهٔ آب برداشت شده برای یک دورهٔ طولانی‌مدت معادل تراز بهره‌برداری پایدار (سناریوی اول در شکل ۱) شود. به منظور مدیریت شرایط اضطراری مانند وقوع یک ابرخشکسالی لازم است برنامهٔ مدیریت ریسک ابرخشکسالی مناسب برای هر محدودهٔ مطالعاتی به منظور افزایش تاب‌آوری در برابر خشکسالی‌های پیش رو در برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی پیش‌بینی شود.

درحقیقت مدیریت پایدار آب زیرزمینی یک فرآیند است که پایداری توسعهٔ وابسته به خود را تضمین خواهد کرد. این فرآیند هر دو بخش محیط انسانی و محیط طبیعی را در خود جای داده است (درخشان، ۱۳۹۶). در شکل شماره ۳ بخش سمت راست به سهم محیط انسانی در مدیریت پایدار آب زیرزمینی اشاره دارد.

بخش سمت راست شکل اشاره به سهم محیط انسانی در مدیریت پایدار آب زیرزمینی دارد که خود از دو زیربخش اصلی جلب مشارکت کنشگران[۱۲] مرتبط با آب زیرزمینی و تشکیل حکمرانی‌های محلی تشکیل شده است. بخش سمت چپ شکل بر برداشت از منابع آب زیرزمینی مبتنی بر آبدهی پایدار تأکید دارد تا پیامدهای نامطلوب مانند افت مزمن سطح آب‌زیرزمینی، نفوذ آب شور به آبخانه، کاهش کیفیت آب آبخانه در اثر رشد شوری خودالقایی، کاهش منابع آب سطحی بر اثر اضافه برداشت از آب‌زیرزمینی، فرونشست زمین و نهایتاً کاهش ذخیرهٔ استراتژیک آب زیرزمینی ناشی از عدم توجه به محدودیت‌های برداشت از آب زیرزمینی (جدول ۱) وقوع نیابد.

12.Actors

**شکل ۳. فرآیند دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی**




پیاده‌سازی مدیریت پایدار آب زیرزمینی یک فرآیند است که از سطح محلی شروع شده و تا سطح ملی (برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی کشور) ادامه می‌یابد. ضروری است در این فرآیند برنامه و اقدامات به تناسب سطح مربوطه طرح‌ریزی و سپس پیاده‌سازی شود. علاوه بر آن پایشی سراسری از پیاده‌سازی برنامه در سطوح مختلف نیز ضروری است. زیرا باید اصلاحات لازم براساس نتایج پایش سراسری به صورت دوره‌ای در هر سطح تعیین تکلیف شود. تغییر تخصیص از منابع آب زیرزمینی نیازمند پیروی از معیارهایی واقعی و همچنین مقبول برای تمامی کنشگران باشد. در شکل ۳ شش معیار براساس محدودیت‌های جدول ۱ آورده شده است.

محدودیت‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی مطابق شکل ۳ در قالب شش معیار پیشنهادی شامل موارد زیر است:

۱. نفوذ آب شور به آب‌خانه: این معیار معمولاً در آبخانه‌های نزدیک سواحل دریا مورد کاربرد قرار می‌گیرد.

۲. کاهش کیفیت آب زیرزمینی: این معیار به نفوذ انواع آلودگی به منابع آب زیرزمینی اشاره دارد که بر اساس نوع کاربری اراضی می‌توان حداقل و حداکثر را تعیین تکلیف کرد.

۳. کاهش منابع آب‌سطحی: این معیار بر لزوم حفظ ارتباط بین منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی در راستای حفاظت از محیط زیست تاکید دارد.

۴. فرونشست زمین: این معیار بر جلوگیری از فرونشست زمین و نابودی همیشگی آبخانه

اشاره دارد. بنابراین مطابق این معیار لازم است تا حداکثر فرونشست برای سال‌های تر، متوسط و خشک تعیین تکلیف شود.

۵. افت مزمن آب: این معیار بر تخصیص بر مبنای آبدهی پایدار تأکید دارد؛ به گونه‌ای که در یک برنامهٔ بلندمدت استفاده‌ای از ذخایر تجدیدناپذیر آب زیرزمینی صورت نگیرد.

۶. کاهش ذخیرهٔ استراتژیک آب زیرزمینی: این معیار به جلوگیری از کاهش ذخیرهٔ آب زیرزمینی برای افزایش تاب‌آوری در برابر خشکسالی‌ها اشاره دارد.

برای تحقق معیارهای مزبور لازم است حکمرانی محلی تشکیل شود؛ به گونه‌ای که کلیهٔ کنشگران بتوانند در آن نقش‌آفرینی کنند. درواقع تشکیل حکمرانی‌های محلی سنگ بنای اصلی در مدیریت پایدار آب زیرزمینی است و حلقهٔ اتصال برنامه‌ها با پیاده‌سازی پروژه‌های دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی محسوب می‌شوند. پیشنهاد می‌شود در صورت لزوم حکمرانی‌های محلی، آنها قدرت لازم را از طریق وضع قوانین محلی ذیل قانون اصلی برای بهبود در پیاده‌سازی برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی دارا شوند.

## ٤. نتیجه و پیشنهادها

آب زیرزمینی در مناطق گرم و خشک منبعی محدود با آسیب‌پذیری بسیار بالاست. توجه به محدودیت‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی (جدول۱) و تبیین معیار برای جلوگیری از وارد آمدن پیامدهای نامطلوب به آن ضروری است. برنامهٔ مدیریت پایداری آب زیرزمینی مبتنی بر حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی و یکی از مهم‌ترین پشتوانه‌ها برای پایداری توسعه، مخصوصاً در مناطق مرکزی و شرقی کشور است. تخصیص آب از منابع آب زیرزمینی باید بر تغییرات آب‌وهوایی انطباق یابد و متناسب با تجدیدپذیری سالانهٔ این منابع باشد. این رویکرد بدون مشارکت کلیهٔ کنشگران امکان‌پذیر نخواهد بود. بنابراین به منظور دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی اقدامات زیر مورد پیشنهاد می‌شود:

۱. حکمرانی‌های محلی متشکل از کلیهٔ کنشگران ایجاد شود.

۲. حجم پروانه‌های تخصیص از منابع آب زیرزمینی مبتنی بر مفهوم «آبدهی پایدار» برآورد شود.

۳. برنامه‌ای جامع برای دستیابی به «مدیریت پایدار آب‌زیرزمینی» با مشارکت مردم در تمامی مراحل تهیه و تدوین شود و پیاده‌سازی آن در دستور کار قرار گیرد.

۴. تراز بهره‌برداری پایدار آب زیرزمینی برای هر آبخانه تعریف شود که از اقدامات اولیه برای هدف‌گذاری در برنامهٔ مدیریت پایدار آب زیرزمینی است.

۵. تلاش برای دستیابی و تثبیت تراز بهره‌برداری پایدار، جیره‌بندی و کاهش برداشت

از آب زیرزمینی یا حتی در صورت لزوم، تغذیهٔ آبخانه از طریق انتقال آب، مبتنی بر یک برنامه‌ریزی بلندمدت صورت پذیرد.

## کتابنامه


خبرگزاری ایسنا. ۱۳۹۴.«مدیریت منابع آب در ایران؛ نابودی سفره‌های آب‌های زیرزمینی یا اقتصاد تشنهٔ کرمان؟!». دسترسی به کد خبر:
[https://www.isna.ir/news/۹۱۰۳۰۶۰۳۳۳۵]

قانون توزیع عادلانهٔ آب. مصوب سال ۱۳۶۱ مجلس شورای اسلامی. قابل دسترس در: سایت مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی
[ http://rc.majlis.ir/fa/law/show/۹۰۶۷۹ ]

درخشان، هاشم و کامران داوری. ۱۳۹۷ الف. «تبیین معیار، راه‌حلی کلیدی برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی». *نشریهٔ تحقیقات منابع آبلینک* قابل دسترسی در:
[http://iwrr.ir/article_۶۴۷۷۹.html]

درخشان، هاشم و حمید عمرانیان. ۱۳۹۶. «ذخیرهٔ استراتژیک آب زیرزمینی: راهکار بنیادی مدیریت ریسک خشکسالی». قابل دسترسی در: شبکهٔ شمس
[http://npps.ir/ArticlePreview.aspx?id=]۱۲۱۹۱۹

درخشان، هاشم و دیگران. ۱۳۹۶. «حداکثر خشکسالی محتمل مبنایی برای حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی). *آب و توسعهٔ پایدار*. سال ۴. شمارهٔ ۲. قابل دسترس در:
[https://jwsd.um.ac.ir/index.php/wsd/article/view/]۶۲۵۶۴

درخشان، هاشم و کامران داوری.۱۳۹۷ب. «کمی نمودن احجام ذخیرهٔ آب زیرزمینی متناسب با پاسخ به ریسک خشکسالی». در: *دومین همایش ملی آب و هواشناسی ایران*. (اردیبهشت ۱۳۹۷). مشهد. صص ۹۳۶-۹۴۳.

درخشان، هاشم. ۱۳۹۶. «گرو‌داران را بیشتر بشناسیم» . *آب و توسعهٔ پایدار*. سال ۴. شماره ۲. قابل دسترس در:
[https://jwsd.um.ac.ir/index.php/wsd/article/view/]72219

درخشان، هاشم. ۱۳۹۶. بسط مفهوم «ذخیرهٔ استراتژیک» در مدیریت منابع آب و تدوین یک چارچوب برای کاهش مخاطرات خشکسالی‌های شدید و طولانی براساس این مفهوم. پایان نامه دورهٔ کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

Basu NB. And Van Meter K. 2014. *Sustainability of Groundwater Resources*. University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, Vol 4. doi:10.1016/B978-0-12-382182-9.00062-1.

California Department of Water Resources.2015 . "Groundwater Sustainability Program, Draft Strategic Plan".( March 9).

California Department of Water Resources. BULLETIN 118 - Update .2003. "Cal-

ifornia's groundwater", Chapter 6, Basic Groundwater Concepts.
Domenico P. 1972. *Concepts and models in groundwater hydrology*. McGraw-Hill.
Dinar, A. 2001. *The Israeli-Palestinian CaseWith an International Perspective*. in MANAGEMENT OF SHAREDGROUNDWATER RESOURCES, Chapter14, p.299-285. Vol 18 of the series Natural Resource Management and Policy, Ariel Dinar and David Zilberman Editors, Springer Science +Business Media.
Foster, S. and Loucks, D.P.2006 . *Non-Renewable Groundwater Resources: A Guidebook on Socially-Sustainable Management for Water-Policy Makers*. IHP-VI Series on Groundwater No.10. United NationsEducational, Social and Cultural Organisation, Paris.
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) .2013: Climate Change 2013: The PhysicalScience Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor ,S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. CambridgeUniversity Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp ,doi:10.1017/CBO9781107415324.
Lee C.H. 1915. "The determination of safe yield of underground reservoirs of the closed basin type". Trans. Amer. Soc.Civil Engrs, 78:148-151
Langridge R. 2017. "Accounting for Climate Change and Drought in Implementing Sustainable Groundwater Management, Environs" Water Resources Management Journal, http://escholarship.org/reader_feedback.html Accessed February 12, 2017.
Saenz C.M., Montoya F. F., and Gil de Mingo R. 2009. "The Role of Groundwater During Drought". in Advances in *Natural and Technological Hazards Research* Vol 26, Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems: Drought Management and Policy Development in the Mediterranean, Editors: Ana
Rudestam, K and R. Langridge. 2013. *Sustainable Yield in Theory and Practic: Bridging Scientific and Mainstream Vernacular*. Groundwater, doi: 10.1111/gwat.12160
Todd DK .1959. *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Son, Inc. New York.