



چکیده: قانون مدیریت پایای آب زیرزمینی کالیفرنیا (SGMA) شامل سه لایه قانونی است که در مجلس ایالت کالیفرنیا در سپتامبر ۲۰۱۴ به تصویب رسید و توسط جری براون فرماندار این ایالت ابلاغ گردید. شالوده اصلی در این قانون پیاده‌سازی به بهترین نحو در سطح محلی می‌باشد به گونه‌ای که بتواند مدیریت آب در این ایالت را تا سال ۲۰۴۲ به پایایی کامل برساند. در این قانون برای دستیابی به پایایی آب زیرزمینی شش معیار معرفی شده، که این گزارش به معرفی این معیارها پرداخته است. همچنین رابطه بین معیارهای پایایی آب زیرزمینی را با هدف پایایی، پیامدهای نامطلوب، حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری به عنوان بخشی مهم از چگونگی تدوین طرح پایایی آب زیرزمینی (GSP) مورد توصیف قرار می‌دهد. **واژه‌های کلیدی:** معیارهای مدیریت پایا، بهترین شیوه‌های مدیریتی، پیامدهای نامطلوب، حداقل آستانه، اهداف قابل اندازه‌گیری

مقدمه

بر اساس تعریف SGMA مدیریت پایای آب زیرزمینی عبارت است از: «مدیریت و استفاده از آب زیرزمینی در طول یک دوره برنامه‌ریزی و اجرای آن به گونه‌ای که، بتوان بدون پیامدهای نامطلوب به حفاظت از منابع آب زیرزمینی پرداخت». بنابراین برای موفقیت یک GSP اجتناب از پیامدهای نامطلوب، کلیدی‌ترین موضوع محسوب می‌شود. مقررات GSP همراه با الزامات آن، ذیل «معیارهای مدیریت پایا» در بخش ۳ ماده ۵ این قانون آورده شده است.^۱ براساس این مقررات معیارهای مدیریت پایا عبارتند از:

- هدف پایایی - پیامدهای نامطلوب
- حداقل آستانه‌ها - اهداف قابل اندازه‌گیری

توسعه این معیارها به اطلاعاتی همچون توسعه مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی، تشریح شرایط گذشته و حاضر (تاریخچه تغییرات) آب زیرزمینی و همچنین بیان آب مرتبط است.

الزامات SGMA برای کمی‌سازی پایایی

تصویب SGMA در سال ۲۰۱۴ یک تلاش اساسی برای مدیریت آب زیرزمینی کالیفرنیا به شیوه پایا بود. ضوابط SGMA تعاریفی از پیامدهای نامطلوب، چارچوب‌های قانونی و برنامه زمان‌بندی برای دستیابی به پایایی را معرفی نمود و شرایطی را مشخص کرد که سازمان‌های محلی (یعنی GSA) بتوانند در تعامل با آب‌بران و دیگر بهره‌برداران آب زیرزمینی در یک حوضه، در تعیین بسیاری از موضوعات مهم نقش آفرینی کنند. مقررات GSP که توسط اداره آب توسعه یافته است باید شرایط آب زیرزمینی در یک حوضه، الزامات توسعه و اجرای طرح‌های دستیابی یا حفظ پایایی مورد نیاز SGMA را برآورده نماید. همانطور که در قانون SGMA توضیح داده شده است (Owen و همکاران، ۲۰۱۹)، شرایط پایا در یک حوضه زمانی به دست می‌آید که GSAها براساس توان آینده‌پایایی^۱ منابع آب زیرزمینی بتوانند هدف پایایی خود را برآورده نمایند. بدیهی است که تنها در صورتی حوضه می‌تواند به پایایی دست یابد که پیامدهایی نامطلوب نداشته باشد. مقررات GSP و نحوه توسعه آن، بر اساس معیارهای کمی تعیین شده (پیامدهای نامطلوب، حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری) متمرکز شده است. پیامدهای نامطلوب باید از طریق اجرای پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی حذف شود و پیشرفت در جهت


اداره منابع آب کالیفرنیا که به اختصار در این نوشتار از اصطلاح «اداره آب» استفاده شده است؛ دستورالعمل بهترین شیوه مدیریتی^۱ (BMP) را برای توصیف فعالیت‌ها، شیوه‌ها، روش‌های تعریف معیارهای مورد نیاز برای مدیریت پایا، طرح پایایی آب زیرزمینی^۲ (به اختصار در این نوشتار «GSP») مورد توسعه داده است. بهترین روش‌های مدیریتی رابطه بین معیارهای مختلف مدیریت پایا را با هدف پایایی^۳، پیامدهای نامطلوب^۴، حداقل آستانه آب زیرزمینی^۵ و اهداف قابل اندازه‌گیری^۶ را مشخص می‌کند و همچنین بهترین شیوه‌های مدیریتی را برای توسعه این معیارها به عنوان بخشی از طرح پایایی آب زیرزمینی (GSP) توصیف می‌کند. قانون مدیریت پایای آب زیرزمینی^۷ (SGMA)، الزامات مورد نیاز برای توسعه یک GSP را مشخص کرده است. در واقع بهترین روش‌های مدیریتی (BMPها) الزامات جدیدی را اعمال نمی‌کند، اما بهترین شیوه‌های مدیریتی را برای بهبود رضایت در رعایت الزامات SGMA و مقررات GSP را توصیف می‌کنند. آژانس پایایی آب زیرزمینی^۸ (GSA) در هنگام ایجاد یک GSP، الزامی برای پیروی از BMPها ندارد، اما هرگونه متدولوژی که توسط GSA به جای BMPها اتخاذ شود باید معقول بوده و توسط بهترین اطلاعات و علوم موجود تدوین شوند. در حالی این دستورالعمل به توصیف روش‌هایی برای برقرار نمودن معیار مدیریت پایا توسط GSAها که جزء بهترین روش‌های مدیریتی معرفی شده توسط اداره آب کالیفرنیا می‌باشد توصیه می‌شوند اما الزاماً اتخاذ روش‌های توصیه شده در این BMPها دستیابی به نتایج GSP را تضمین نمی‌کند.






نمونه‌هایی که در این BMP ارائه شده‌اند عمده‌اً ساده شده بوده، و تنها به منظور توضیح مفاهیم تدوین شده‌اند. GSAها نباید سطح جزئیات را در هر یک از این نمونه‌های ساده شده در نظر بگیرند (مثلاً تعداد حداقل آستانه آب زیرزمینی تعریف شده در یک حوضه فرضی، حداقل آستانه آب زیرزمینی که بر اساس پیامدهای نامطلوب و غیره) تا برای GSP آنها مناسب‌ترین باشد.

تعیین معیارهای مدیریت پایا

در این بخش توسعه معیارهای مدیریت پایا توصیف شده، شامل: ارزیابی شاخص‌های پایایی، شرایط گسترده و نامعقول، مناطق مدیریتی و سایت‌های پایش معرف، حداقل‌های آستانه، پیامدهای نامطلوب، اهداف قابل اندازه‌گیری، هدف پایایی می‌باشد. این ساختار زمانی که GSAها بتوانند از طرح‌شان یا GSP برای توسعه معیار مدیریت پایا استفاده نمایند مورد پیروی قرار می‌گیرد، اگر چه آنها مجبور نیستند که دقیقاً مطابق دستورالعمل پیشنهاد رفتار کنند. علاوه بر این، تعیین معیارهای مدیریت پایا به احتمال زیاد یک فرآیند تکرارشونده خواهد بود. معیارهای اولیه ممکن است نیاز به تصحیح داشته باشد تا بتوانند تأثیرات بالقوه بر استفاده‌های سودمند و بهره‌برداران آب‌زیرزمینی، کاربری اراضی و منافع مالکان را تنظیم کند. GSA باید ارزیابی کند که آیا معیارهای مدیریت پایا به طور کلی وضعیت و شرایط نامساعد و مهم را مشخص کرده، و مسیری را برای مدیریت پایا آب‌زیرزمینی در حوضه تعریف می‌کنند.

• شاخص‌های پایای

شاخص‌های پایای تحت تأثیر شرایط آب‌زیرزمینی در سراسر حوضه بوده، و زمانی که قابل توجه و نامعقول شود، پیامدهای نامطلوب به وقوع می‌پیوندد. پیامدهای نامطلوب شامل یک یا چندین اثر زیر است:  **افت مزن سطح آب‌زیرزمینی:** در صورت ادامه اضافه برداشت، در طول روند برنامه‌ریزی و اجرا (GSP)، باعث می‌شود تا تراز آب‌زیرزمینی از حالت افقی خارج شود. در حقیقت این اضافه برداشت بیشتر در طول دوره‌های خشکسالی به دلیل عدم کفایت منابع برای تأمین نیازهای آبی ایجاد می‌گردد. تغذیه آب‌زیرزمینی و کاهش مصارف در طول دوره خشکسالی می‌تواند مانع از این پیامد نامطلوب شده و تراز آب‌زیرزمینی را به حالت اولیه باز گرداند. این معیار نشان دهنده افزایش قابل ملاحظه و غیرمنطقی برداشت آب از منابع آب‌زیرزمینی می‌باشد. اگر میزان پمپاژ و تغذیه آب‌زیرزمینی به درستی مدیریت شود، اضافه برداشت انجام شده در طول دوره خشکسالی و کاهش جدی تراز آب‌زیرزمینی با افزایش تغذیه آب‌زیرزمینی و یا آبخیزداری در طی دوره‌های دیگر (معمولاً ترسالی‌ها) جبران می‌شود.

 **کاهش قابل توجه و نامعقول ذخیره استاتیک آب‌زیرزمینی**
 **نفوذ قابل توجه و نامعقول آب شور به آبخانه (این شاخص بیشتر به نفوذ آب شور به آب‌های شیرین آبخانه از دریا اشاره دارد)**
 **کاهش قابل توجه و نامعقول کیفیت آب، شامل انتقال آلاینده‌هایی که باعث آلودگی منابع آب می‌شوند.**
 **فرونشست قابل توجه و نامعقول زمین که اساساً باعث اختلال در کاربری سطح زمین می‌شود بدیهی است که ظرفیت از دست رفته آبخانه در اثر فرونشست یک پدیده جبران ناپذیر است.**
 **اضمحلال ارتباط منابع آب‌زیرزمینی با آب‌های سطحی که اثرات**

حذف آنها با داده‌های تجربی (مثلاً اندازه‌گیری سطح آب‌زیرزمینی یا فرونشست) مشخص خواهد شد. معیارهای کمی مدیریت پایا به GSAs اجازه می‌دهد تا به طور واضح پایایی را مشخص کنند و برای عموم افراد و نیز امکان ارزیابی آسان پیشرفت را فراهم کنند.

اقدامات اولیه

یک GSA قبل از توسعه معیارهای مدیریت پایا نیاز به درک شرایط فیزیکی حوضه، ساختارهای حقوقی، منابع تأمین آب و اولویت‌های حوضه خواهد داشت. در نتیجه، قبل از اینکه GSA روند توسعه معیارهای مدیریت پایا را آغاز کند، فعالیت‌های زیر باید تکمیل شود:

- **درک خصوصیات حوضه:** قبل از اینکه معیارهای مدیریت پایا را تنظیم شود ضروری است تا درک کاملی از خصوصیات و وضعیت گذشته و فعلی حوضه حاصل شود. بخش اعظم این درک با توسعه یک مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی، بیلان آب و تشریح شرایط آب‌زیرزمینی می‌توان حاصل نمود. برای اطلاعات بیشتر، مدل مفهومی BMP هیدروژئولوژیکی، BMP بیلان آب و BMP مدل‌سازی را ملاحظه نمائید.^{۱۱}

- **فهرست‌بندی برنامه‌های پایش موجود:** حداقل آستانه‌ها، اهداف قابل اندازه‌گیری در سایت‌های پایش معرف تنظیم می‌شوند. GSAها باید اطلاعات را از برنامه پایش موجود مانند تعداد چاه‌ها، جزئیات آن‌ها و پایش کل آبخانه گردآوری کنند. معیار مدیریت پایا براساس شبکه‌های پایش که ممکن است نیازمند حداقل‌های آستانه آب‌زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری در سایت‌های پایش منتخب تنظیم می‌شوند، باشد. GSAها باید اطلاعات را از برنامه‌های پایش موجود (مثلاً تعداد چاه‌ها و جزئیات ساخت آنها، که آبخانه‌ها را پایش می‌نمایند) جمع‌آوری کنند. معیارهای مدیریت پایا با شبکه‌های پایش ممکن است نیاز به توسعه و به‌روزرسانی داشته، شبکه پایش موجود، و یا برنامه‌های پایش SGMA مورد تنظیم قرار گیرند. اطلاعات اضافی در مورد شبکه‌های پایش شامل: شبکه‌های پایش و شناسایی نقاط فاقد داده در هر BMP تشریح شده است.^{۱۲}

- **یاری گرفتن گروه‌های علاقمند در حوضه:** هنگام تعیین معیارهای مدیریت پایا، GSAsها باید به استفاده‌های مفید و استفاده‌کنندگان آب‌زیرزمینی در حوضه توجه کنند. در نظر گرفتن اثرات بالقوه بر استفاده‌های مفید و بهره‌برداران، حداقل آستانه آب‌زیرزمینی را پایه‌ریزی می‌کند (باید اثرات بالقوه اتخاذ حداقل آستانه آب‌زیرزمینی بر استفاده‌های مفید و دیگر بهره‌برداران توجه شود). GSAها باید فرآیندهای تصمیم‌گیری خود و چگونگی استفاده از نظرات عمومی در توسعه GSPهای خود را توضیح دهند. الزامات خاص SGMA برای GSA جهت برقراری ارتباط با اشخاص علاقه‌مند در یک حوضه وجود دارد. برای اطلاعات بیشتر در مورد الزامات تعامل، به (دستورالعمل‌های مشارکت گروه‌داران و راهنمای ارتباط با گروه‌داران) مراجعه کنید.^{۱۳}

نامطلوبی بر استفاده مفید از آب‌های سطحی دارند و اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی را نابود می‌کند.

وقوع قابل توجه و نامعقول هر کدام از شش شاخص‌های پایایی پیامد نامطلوب به همراه دارد. GSAها باید تمام شش شاخص پایایی را برای حوضه‌ی مدیریتی خود به کار برند. اگر GSA بر این باور باشد که شاخصی از شاخص پایایی برای حوضه آن‌ها قابل کاربرد نیست، باید شواهدی و مدارک ارائه دهند که امکان ارزیابی شاخص وجود ندارد و نمی‌تواند در ناحیه مدیریتی ایشان چنین پیامد نامطلوبی رخ دهد. به عنوان مثال، GSAها در حوضه‌های مجاور اقیانوس آرام، خلیج‌ها، دلتاها ممکن است تعیین کنند که نفوذ آب دریا یک شاخص پایایی قابل اندازه‌گیری در محدوده مدیریتی آنها نمی‌باشد، لذا باید دلایلی ارائه نمایند که چرا نفوذ آب دریا امکان وقوع در محدوده مدیریتی آنها نمی‌تواند رخ دهد. همچنین در مقابل، برای شاخص پایایی فرونشست زمین، مشخص کردن اینکه سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر ثابت بوده است کفایت ندارد و لازم است مستندات برای عدم وقوع فرونشست در محدوده مدیریتی ارائه شود. اداره آب به عنوان بخشی از فرآیند ارزیابی GSP و همچنین ارزیابی GSAها باید دلایل ارائه شده را پذیرش کند.

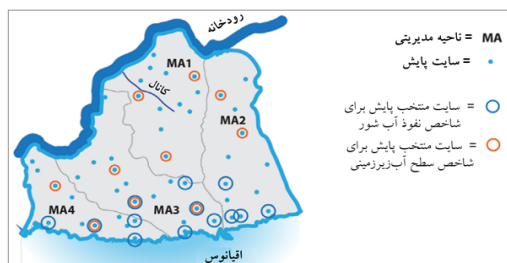
بنابراین GSA می‌تواند مکان‌های سایت پایش معرف مناسب را برای رسیدن به این مهم (پایش دقیق پیامدهای نامطلوب) انتخاب کند.

• استفاده از نواحی مدیریتی

GSA ممکن است بخواهد مناطق مدیریتی را برای بخش‌های حوضه خود برای مدیریت و پایش آب زیرزمینی تعریف کند. مناطق مدیریتی ممکن است از طریق مرزهای طبیعی یا قضایی تعریف شوند و تفاوت ممکن است بر اساس بخش مصرف آب، نوع منبع آب، زمین‌شناسی یا ویژگی‌های آب‌خانه باشد. حوضه‌های مدیریتی ممکن است حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل‌اندازه‌گیری متفاوتی نسبت به حوضه‌های بزرگ داشته باشند و ممکن است با سطح متفاوتی پایش شوند. با این حال، GSAها در حوضه باید توضیح دهند که چرا این تفاوت‌ها برای هر ناحیه مدیریتی، نسبت به دیگر نواحی مدیریتی حوضه مناسب هستند. GSAها همچنین می‌توانند حداقل محدودیت‌های آستانه در این منطقه را نسبت به مابقی حوضه تعیین کنند. درحالی‌که در مناطق مدیریتی می‌توان حداقل آستانه‌های متفاوت، اهداف قابل‌اندازه‌گیری و دیگر بخش‌های GSP (به عنوان مثال، مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی، بیلان آب، اطلاعات و اجتماعات) را تعریف کرد و همچنین باید کل منطقه GSP را دربرگیرد.

• سایت‌های پایش معرف

سایت پایش معرف زیر مجموعه‌ای از یک شبکه پایش کامل حوضه هستند، جایی که حداقل آستانه‌ها، اهداف قابل‌اندازه‌گیری و مقادیر میانکاره تعیین می‌شوند. سایت پایش معرف می‌تواند برای یک شاخص پایایی یا شاخص‌های چندگانه پایایی استفاده شوند. شکل (۱) نشان می‌دهد چگونه ترکیب‌های مختلف از سایت‌های پایش معرف می‌تواند برای ارزیابی نفوذ آب دریا و کاهش سطوح آب زیرزمینی در یک حوضه، استفاده شود. GSAها می‌توانند مبتنی بر شرایط گسترده و نامعقول در یک حوضه سایت‌های پایش معرف را انتخاب کنند. با استفاده از مثال بحث شده در قسمت‌های پیشین، GSAها تمایل به استفاده از ترکیبی متفاوت از سایت‌های پایش معرف برای فرونشست زمین که ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز است اتخاذ نمایند. GSA باید توضیح دهند که چگونه ترکیب از سایت‌های پایش معرف که برای هر یک از شاخص‌های پایایی انتخاب شده‌اند، می‌توانند شرایط گسترده و نامعقول آب زیرزمینی را ارزیابی کنند.



شکل ۱- مثالی از شبکه پایش و سایت‌های منتخب پایش شبکه

شاخص‌های پایایی در قانون SGMA و طرح آب کالیفرنیا

اصطلاح «شاخص پایایی» در مقررات GSP برای اشاره به «هر یک از اثرات ناشی از اضافه برداشت آب زیرزمینی که ممکن است اثرات گسترده و نامعقول داشته و سبب پیامدهای نامطلوب گردد مورد استفاده قرار گرفته، لذا این شاخص‌ها کد قانون (x) ۱۰۷۲۱ توضیح داده شده است». لازم به ذکر است که اصطلاح «شاخص پایایی» برای SGMA منحصر به فرد نیست بلکه اصطلاح به روزرسانی شده‌ای از طرح آب کالیفرنیا ۲۰۱۳ می‌باشد که شامل یک چارچوب شاخص پایایی آب کالیفرنیا است که از اصطلاح شاخص پایایی به شیوه‌ای متفاوت از SGMA استفاده می‌کند. اما اکنون شاخص‌های پایایی در چارچوب طرح آب کالیفرنیا در مورد ارتباط وضعیت سیستم منابع آب با اکوسیستم‌ها، سیستم‌های اجتماعی و سیستم‌های اقتصادی اطلاع‌رسانی می‌کند. بدیهی است که مدیران و استفاده‌کنندگان آب نباید شاخص‌های پایایی در زمینه SGMA را با شاخص‌های پایایی طرح آب کالیفرنیا و سایر برنامه‌های مدیریت آب اشتباه بگیرند.

• شرایط گسترده و نامعقول پیامدها

GSAها باید شرایطی را که در آن هر کدام از شش شاخص پایایی در حوضه خود، از نظر گستردگی و نامعقول شدن پیامدهای نامطلوب بررسی و مستند نمایند. برای مثال GSA ممکن است تصمیم بگیرد که فرونشست را در نزدیکی زیرساخت‌های بحرانی نسبت به این پارامتر (به عنوان مثال یک کانال) و کاهش ظرفیت پمپاژ از چاه‌های دام و طیور در تحلیل کاهش سطح آب زیرزمینی، برای بررسی پیامدهای گسترده و نامعقول از هر دو پارامتر استفاده کنند. این شرح کلی شرایط گسترده و نامعقول مبتنی بر پیامدهای نامطلوب و چگونگی کمی‌سازی آنها در این گزارش توضیح داده شده است. ارزشیابی شرایط گسترده و نامعقول باید در هر ناحیه جغرافیایی به صورت جداگانه بررسی شود.

• حداقل‌های آستانه

درون حوضه‌ای، مستندسازی برنامه‌های هماهنگی با GSA مجاور، و همچنین توصیف چگونگی سازگاری حداقل آستانه با معیارهای مدیریت پایا در محدوده مدیریتی مجاور مورد تشریح قرار گیرد. اطلاعات ارائه شده در GSP اولیه با گزارش‌های سالیانه و به روز رسانی‌های پنج ساله مورد توسعه و تکمیل قرار می‌گیرد. این موارد ممکن است که برای شکل‌گیری GSA در حوضه‌های مجاور و همچنین طرح‌ریزی حداقل آستانه و همچنین کمی‌سازی دیگر پارامترها برایشان بسیار مهم و به دردیخور باشد.

۴- گونه حداقل آستانه ممکن است بر منافع آب‌بران و استفاده‌های مفید از آب‌زیرزمینی، کاربری اراضی و یا سایر منافع تأثیر بگذارد. GSP باید چگونگی شرایط آب‌زیرزمینی در انتخاب حداقل آستانه که می‌تواند استفاده‌های مفید آب‌بران را تحت تأثیر قرار دهد تشریح نماید. این اطلاعات باید با استفاده از توصیف و شناسایی کاربردهای مفید آب‌زیرزمینی، مورد حمایت قرار گیرد. به عبارت دیگر GSA باید از طریق توسعه ارتباطات اجتماعی، یاریگری و مشارکت گروه‌های علاقمند، و همراه با هر گونه اطلاعات اضافی در تعیین حداقل آستانه‌ها مورد استفاده قرار دهد.

۵- به چگونه تعیین استانداردهای دولتی، فدرال یا محلی مربوط به شاخص پایای توجه می‌شود. اگر حداقل آستانه با سایر استانداردهای پایش متفاوت باشد، آژانس باید ماهیت و مبنای تفاوت را توضیح بدهد. GSP باید در مورد استانداردهای مربوط به شاخص پایای بحث کرده و هر تفاوت بین حداقل آستانه آب‌زیرزمینی انتخاب شده و آن استانداردها را در نظر بگیرد. به عنوان مثال، GSP باید توجه کند که اگر حداقل آستانه آب‌زیرزمینی کیفیت آب در یک سطح متفاوت از سطح حداکثر آلاینده‌های ایالتی یا فدرال تنظیم شده است، چرا سطح متفاوت استفاده شده است.

۶- اندازه‌گیری هر حداقل آستانه چگونه مطابق با الزامات شبکه پایش که در بخش چهارم ذکر شده است، کمی‌سازی می‌شود. مطابق دستورالعمل چهارم که مربوط به چگونگی تنظیم مقررات GSP مرتبط با شبکه‌های پایش است باید توجه شود. در GSP باید کلیه معیارها را مورد پایش قرار دهد و مستندسازی نماید (مانند تغییرات تراز آب‌زیرزمینی، تغییرات کیفیت آب‌زیرزمینی) و همچنین تعداد دفعات پایش و زمان‌سنجی مناسب برای اندازه‌گیری (به عنوان مثال، دو بار در سال بهار و پاییز) را تعیین نماید.

شرح برای این شش مولفه برای تمام حداقل آستانه‌ها لازم است. با این حال، توصیف برای اجزای فردی می‌تواند برای حداقل آستانه آب‌زیرزمینی‌های چند گانه به اشتراک گذاشته شود. (در بعضی مثال‌ها، یک توصیف واحد می‌تواند برای توصیف اینکه چگونه گروهی از حداقل آستانه‌ها برای جلوگیری از پیامدهای نامطلوب در حوضه مجاور انتخاب شدند ارائه شود).

- الزامات کمی‌سازی حداقل آستانه برای هر شاخص پایای:

علاوه بر شش مؤلفه که در بالا توضیح داده شد، که بر اساس آنها

حداقل آستانه مقدار کمی از شرایط آب‌زیرزمینی است که در یک سایت پایش معرف نشان داده می‌شود؛ که در صورت تجاوز از حداقل آستانه در یکی و یا در ترکیبی از سایت‌های پایش معرف، ممکن است باعث به وجود آمدن پیامدهای نامطلوب در حوضه آبریز شود. GSA باید حداقل آستانه‌ها را در سایت‌های پایش معرف برای هر یک از شاخص پایایی با توجه به استفاده‌های مفید و منافع آب‌بران آب‌زیرزمینی، کاربری اراضی، و منافع مالکین در حوضه تعیین نماید. حداقل آستانه باید به گونه‌ای تعیین شود که در دستیابی به اهداف پایایی برای حوضه‌های مجاور پیامد نامطلوبی به همراه نداشته باشد.

- اجزای مورد نیاز برای تمام حداقل‌های آستانه:

بر اساس مقررات GSP نیاز است تا اطلاعات مورد نیاز برای هر حداقل آستانه آب‌زیرزمینی از شش معیار مستند شود. این شش معیار و ملاحظات برای اینکه چگونه آنها باید در نظر گرفته شوند به شرح زیر می‌باشد:

۱- اطلاعات و معیارهای مورد نیاز برای ایجاد و توجیه حداقل آستانه برای هر نشانگر پایایی فراهم شود. توجیه حداقل آستانه باید توسط اطلاعات ارائه شده از خصوصیات حوضه، و دیگر داده‌ها یا مدل‌های مناسب، کمی نمودن عدم قطعیت‌ها در فهم خصوصیات حوضه آبریز مورد پشتیبانی قرار گیرد. GSP باید شامل تجزیه و تحلیل و تفسیر اطلاعات، داده و منطق مورد استفاده برای تعیین حداقل آستانه باشد. به عنوان مثال، اگر حداقل آستانه سطح آب‌زیرزمینی برای حفاظت از چاه‌های کم عمق (دام و طیور) تعیین شده باشد، GSA باید اطلاعاتی مانند: چاه‌های عمیق دام و طیور در نزدیکی سایت پایش معرف، ابعاد آبخانه، شرایط آب‌زیرزمینی و سایر اطلاعات مرتبط را بررسی کند.

۲- رابطه بین حداقل آستانه برای هر شاخص پایای، شامل این تشریح که چگونه آژانس شرایط حوضه را در هر حداقل آستانه برای اجتناب از پیامدهای نامطلوب تعیین کرده است. به عبارت دیگر لازم است تا GSP رابطه بین هر شاخص پایایی را با حداقل آستانه را توصیف کند (به عنوان مثال، توصیف کند که چرا یا چگونه یک حداقل آستانه سطح آب‌زیرزمینی در یک سایت پایش خاص تعیین شده، مشابه یا متفاوت با حداقل آستانه سطح آب در سایت پایش مجاور می‌باشد). GSP باید همچنین رابطه بین حداقل آستانه انتخاب شده و حداقل آستانه برای شاخص‌های پایایی دیگر را توصیف کند (به عنوان مثال، توصیف کند که چگونه حداقل آستانه سطح آب‌زیرزمینی باعث به بروز پیامدهای نامطلوب فرونشست زمین نخواهد شد).

۳- حداقل آستانه چگونه انتخاب شود تا از ایجاد پیامدهای نامطلوب در حوضه‌های مجاور و یا تأثیر در توانایی حوضه‌های مجاور برای دستیابی به اهداف پایای، جلوگیری شود. GSP باید توضیح دهد که چگونه حداقل آستانه خسارتی را برای محدوده‌های مدیریتی مجاور به همراه نخواهد داشت. این را می‌توان با تفاهم‌نامه‌های

حداقل آستانه‌ها تعیین شوند، مقررات GSP نیز دارای الزاماتی خاص و کمی‌سازی مربوط به هر شاخص پایایی می‌باشد. هدف از الزامات خاص، اطمینان از سازگاری با حوضه‌های مجاور آب‌زیرزمینی و عدم وقوع پیامد نامطلوب برای این حوضه‌ها می‌باشد. الزامات خاصی برای کمی‌سازی و همچنین اندازه‌گیری هر یک از نشانگرهای پایایی ذکر گردیده، در زیر شرح آن مطابق شکل (۲) آورده شده است:

- حداقل آستانه افت مزمن سطح آب‌زیرزمینی شاخص پایایی است که با اندازه‌گیری تراز آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف کمی‌سازی شود.

- حداقل آستانه برای کاهش ذخیره‌ی آب‌زیرزمینی، حجم آب‌زیرزمینی است که می‌تواند مبتنی بر اندازه‌گیری در چندین سایت پایش منتخب از یک حوضه یا منطقه مدیریتی برداشته شود، به گونه‌ای که منجر به وقوع پیامدهای نامطلوب نشود. بر خلاف قاعده کلی برای تعیین حداقل آستانه‌ها، کاهش ذخیره آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف تعیین نمی‌شود و باید این حداقل آستانه برای یک حوضه و یا منطقه مدیریتی خاص تعیین شود.

- کمی‌سازی حداقل آستانه برای نفوذ آب شور، باید مبتنی بر موقعیت خطوط هم‌کلراید باشد. بر خلاف قانون کلی برای تعیین حداقل آستانه آب‌زیرزمینی، در یک سایت پایش معرف تعیین نمی‌شود بلکه این حداقل آستانه بر اساس تغییر تمرکز خطوط کنتور در حوضه و یا یک ناحیه مدیریتی تعیین می‌شود.

- کمی‌سازی حداقل آستانه اضمحلال کیفیت آب‌زیرزمینی با

اندازه‌گیری کیفیت در سایت‌های پایش مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این شاخص می‌تواند بر اساس جابه‌جایی آلاینده‌ها، تعداد چاه‌های عرضه آلودگی، حجم آب‌زیرزمینی آلوده شده، و یا محل قرار گرفتن (موقعیت) خطوط هم‌کیفیت آب در داخل حوضه باشد. بسته به اینکه چگونه GSA حداقل آستانه اضمحلال کیفیت آب‌زیرزمینی را تعریف می‌کند می‌توان بر اساس سایت پایش، خطوط هم‌کیفیت و یا تعبیر حجم آلودگی محاسبه شده تعیین شود.

- کمی‌سازی حداقل آستانه برای فرونشست زمین باید بر اساس نرخ و وسعت فرونشست زمین تعیین شود.

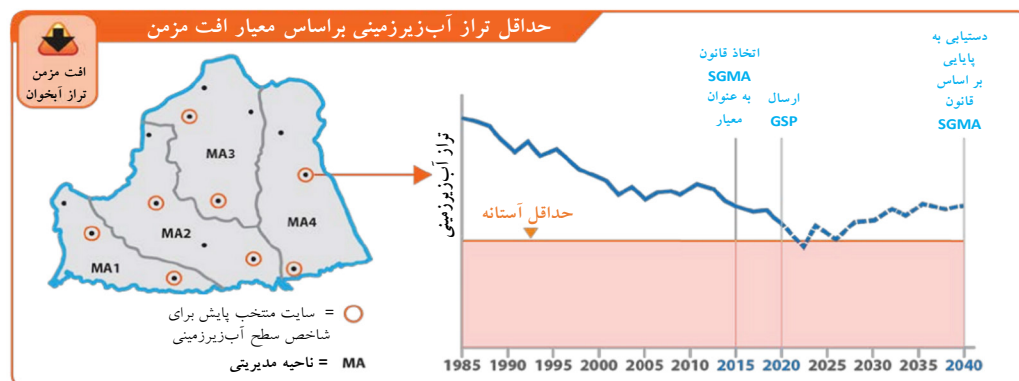
- کمی‌سازی حداقل آستانه تخلیه منابع آب‌سطحی براساس نرخ یا حجم تخلیه آب سطحی تعیین شود.

• حداقل آستانه افت مزمن سطح آب‌زیرزمینی

شکل (۳) هیدروگراف فرضی سطح آب‌زیرزمینی و حداقل آستانه مرتبط با آن را در سایت پایش معرف نشان می‌دهد. در این مثال فرضی GSA حداقل آستانه را در هنگام تحویل GSP تعیین می‌کند. توجه داشته باشید که این مثال و بسیاری از نمونه‌های بعدی در این دستورالعمل، از سال ۲۰۲۰ به عنوان زمان تحویل GSP استفاده می‌کنند. روز واقعی تحویل GSP با الزامات و تغییرات انجام شده در قانون SGMA تعیین خواهد شد. GSP‌های مربوط به مناطق دارای اضافه برداشت و اولویت مدیریتی بالا و متوسط باید تا تاریخ ۳۱ ژانویه ۲۰۲۰ تحویل داده شوند.

شاخص‌های پایایی	کاهش تبادلات آب‌زیرزمینی و آب سطحی	فرونشست زمین	کاهش کیفیت آب‌زیرزمینی	نفوذ آب شور به آب‌زیرزمینی	افت ذخیره آب‌زیرزمینی	افت مزمن تراز آب‌زیرزمینی
پارامتر کمی مورد بررسی در مقررات GSP	حجم و یا نرخ تخلیه آب از منابع آب‌زیرزمینی به منابع آب سطحی	نرخ و میزان فرونشست زمین	گسترش آلودگی تعداد چاه‌های تأمین آب حجم آلودگی مکان تراکم خطوط هم‌آلودگی	میزان تراکم خطوط هم‌کلراید	کل حجم آب‌زیرزمینی	تغییرات ارتفاع تراز آب‌زیرزمینی

شکل ۲- کمی‌سازی حداقل آستانه‌ها



شکل ۳- مثالی از تعیین حداقل آستانه افت مزمن تراز آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف

ملاحظات هنگام برقرار نمودن حداقل آستانه، برای آب زیرزمینی در یک سایت پایش معرف، ممکن است شامل موارد زیر باشد اما به آنها محدود نخواهند شد:

- شرایط گذشته آب زیرزمینی در حوضه چیست؟
- میانگین، حداقل و حداکثر عمق چاه‌های شهری، کشاورزی و دام‌وطیور چقدر است؟

- فواصل این چاه‌ها چه مقدار است؟
- تراز آب چه تأثیراتی بر هزینه‌های پمپاژ (به عنوان مثال هزینه انرژی برای برداشت آب) دارد؟

- حداقل آستانه در حوضه‌های مجاور برای آب زیرزمینی چقدر است؟
- خسارات بالقوه تغییر سطح آب زیرزمینی بر اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی چگونه است؟

- کدام آبخانه و یا آبخانه‌ها، سایت معرف ارزیابی پایش است؟

• حداقل آستانه کاهش ذخیره آب زیرزمینی

شکل (۴) یک گراف فرضی را نشان می‌دهد که حجم ذخیره آب زیرزمینی موجود در زمان حاضر و حداقل آستانه آب زیرزمینی مربوط به حوضه را مشخص می‌کند.

ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی برای کل ذخیره آبخانه ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- روندهای تاریخی، انواع سال‌های آبی و پیش‌بینی آب مصرفی (آب برداشت شده) در حوضه چگونه است؟

- چه مقدار ذخایر آب زیرزمینی برای تاب‌آوری در برابر خشکسالی‌های آینده مورد نیاز است؟

- آیا چاه‌ها تا گنون خشک شده‌اند؟
- ذخیره موثر آب در حوضه چه مقدار است؟ این مطلب ممکن است در برگیرنده درک موارد زیر باشد:

متوسط، حداقل و حداکثر عمق چاه‌های شهری، کشاورزی و دام و طیور. خسارات ناشی از هزینه‌های پمپاژ (به عنوان مثال، هزینه انرژی برای برداشت آب).

- حداقل آستانه آب زیرزمینی حوضه مجاور چقدر است؟

• حداقل آستانه نفوذ آب شور به آب زیرزمینی

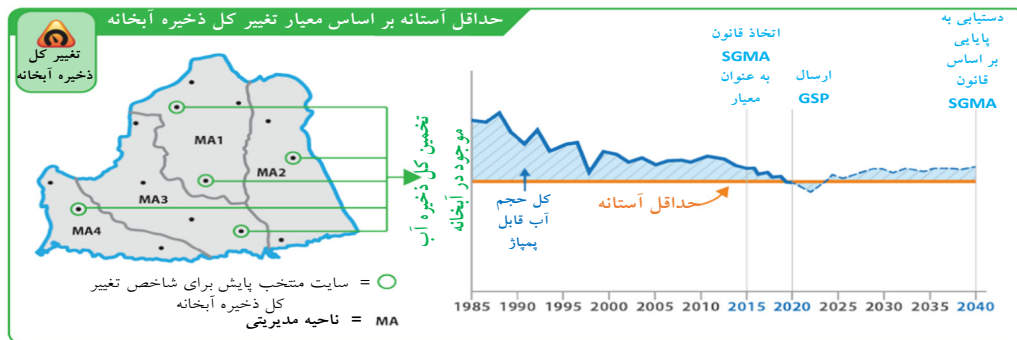
شکل (۵)، تمرکز خطوط هم‌غلظت کلرید فرضی را برای دو آبخانه در یک حوضه ساحلی نشان می‌دهد. تمرکز خطوط هم‌غلظت به عنوان حداقل آستانه آب زیرزمینی برای نفوذ آب دریا استفاده می‌شوند.

ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه برای نفوذ آب شور بر اساس تمرکز خطوط هم‌شوری (ایزو شوری) در یک مکان مشخص، که ممکن است شامل موارد زیر باشد:

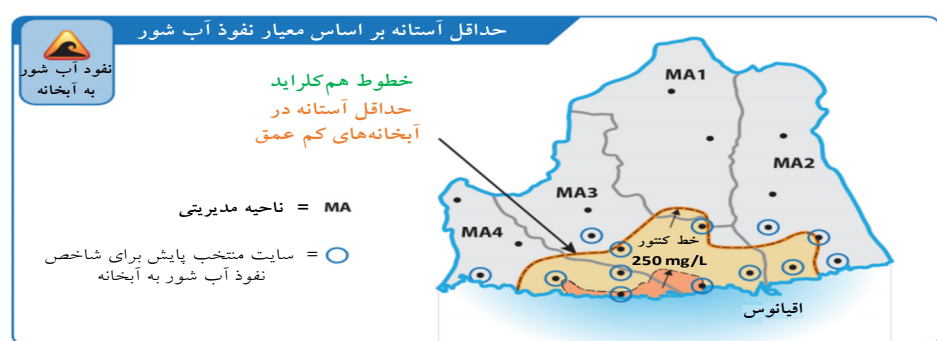
- نرخ گذشته و میزان نفوذ آب شور به آبخانه‌های اصلی که تحت تأثیر قرار گرفته‌اند چگونه است؟

- کاربری اراضی در حوضه حساس به نفوذ آب شور چگونه است؟
- تأثیرات مالی نفوذ آب شور به چاه‌های کشاورزی، شهری و دام و طیور چیست؟

- اهداف برنامه شورای منطقه‌ای کنترل کیفیت آب در حوضه آبریز چیست؟
- حداقل آستانه برای نفوذ آب شور به آب زیرزمینی در حوضه مجاور چقدر است؟



شکل ۴- مثالی از تعیین حداقل آستانه ذخیره آبخانه در مقیاس حوضه آبریز

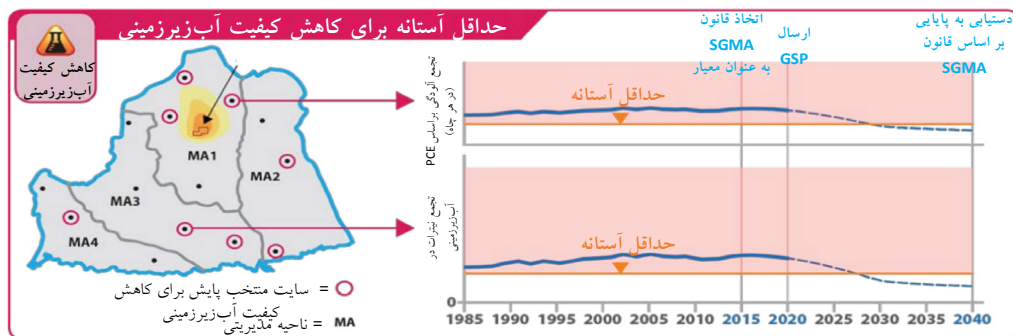


شکل ۵- مثالی از تعیین حداقل آستانه نفوذ آب شور به آب زیرزمینی بر اساس تمرکز خطوط هم‌کلراید

• حداقل آستانه کاهش کیفیت آب زیرزمینی

- حجم تخمین زده شده از میزان آلودگی‌ها در حوضه چقدر است؟
 - محدوده نفوذ عمده آلاینده‌ها بصورت افقی و یا عمودی در حوضه چیست و چگونه آلودگی‌ها می‌تواند تحت تأثیر الگوهای پمپاژ آب زیرزمینی در منطقه ای قرار گیرد؟
 - استانداردهای کیفیت آب محلی، ایالتی و فدرال چیست؟
 - منابع عمده آلودگی‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در حوضه چه هستند و اجزای شیمیایی آنها چیست؟
 - در حال حاضر چه پروژه‌های نظارتی و عملی برای رسیدگی به کاهش کیفیت آب در حوضه (برای مثال، یک پمپ آب زیرزمینی موجود و سیستم بهبود کیفیت انجام شده است و چگونه می‌توان با این اقدامات مدیریتی پیامدهای نابلوب آلودگی بر آینده منابع آب زیرزمینی را مدیریت نمود؟
 - حداقل آستانه (برای معیار تغییر کیفیت) آب زیرزمینی حوضه مجاور چقدر است؟

شکل (۶) دو حالت برای حداقل آستانه تغییر کیفیت آب زیرزمینی در یک حوضه نشان داده شده است. حداقل آستانه آب زیرزمینی نشان داده شده در نمودار بالا مربوط به منبع آلودگی نقطه‌ای (به عنوان مثال، PCE آزاد شده از شوینده‌ها)، در گراف دوم حداقل آستانه آب زیرزمینی مرتبط با منابع آلودگی غیر نقطه‌ای (به عنوان مثال، تغییرات نترات در آب زیرزمینی ناشی از فعالیت کاربری اراضی در مناطق مختلف) نشان داده شده است. ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی برای کیفیت آب ممکن است شامل موارد زیر باشند:
 - روند تاریخی و تغییرات مکانی کیفیت آب در حوضه چگونه است؟
 - تعداد چاه‌های نفوذ آلودگی چقدر است؟
 - کدام آب‌خانه‌ها برای اولین بار است که برای تأمین آب استفاده می‌شوند؟

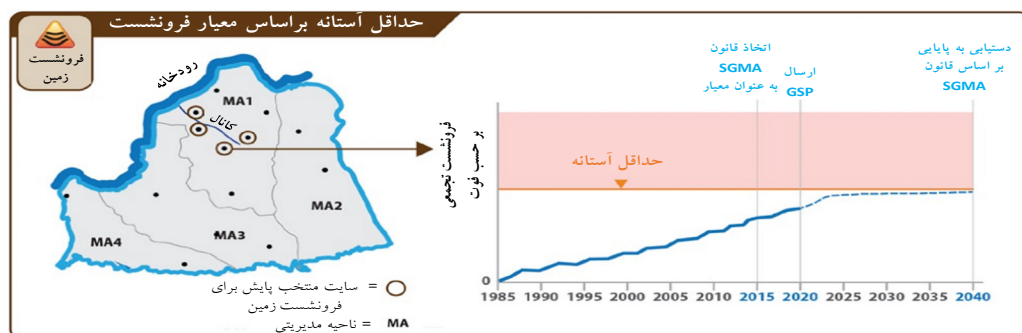


شکل ۶- مثالی از تعیین حداقل آستانه اضمحلال کیفیت آب زیرزمینی برای آلودگی‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای

- تراز آب زیرزمینی تاریخی (گذشته)، در حال حاضر و پیش بینی شده، به خصوص پایین ترین نرخ تاریخی چه مقدار است؟
 - نرخ گذشته و میزان فرونشست در حال حاضر چه مقدار است؟
 - کاربری اراضی و ویژگی‌های آن در مناطق حساس به فرونشست چگونه است؟
 - زیرساخت‌های مکانی و ظرفیت مناطق حساس به فرونشست (به عنوان مثال، کانال‌ها، خطوط لوله، خطوط راه آهن، کریدرهای عمده حمل و نقل) چه مقدار است؟
 - حداقل آستانه فرونشست در حوضه مجاور چقدر است؟

• حداقل آستانه فرونشست زمین

شکل (۷) یک حداقل آستانه فرضی را برای فرونشست زمین در یک حوضه نشان می‌دهد. حداقل آستانه فرونشست آب زیرزمینی یک مقدار تجمعی از فرونشست را در یک نقطه معین نشان می‌دهد. ملاحظات در هنگام تعیین حداقل آستانه فرونشست زمین در یک سایت پایش منتخب، ممکن است شامل موارد زیر باشند اما به این موارد محدود نمی‌شوند:
 - آیا آب‌خانه‌های اصلی در حوضه دارای سازندهای مستعد فرونشست می‌باشد؟

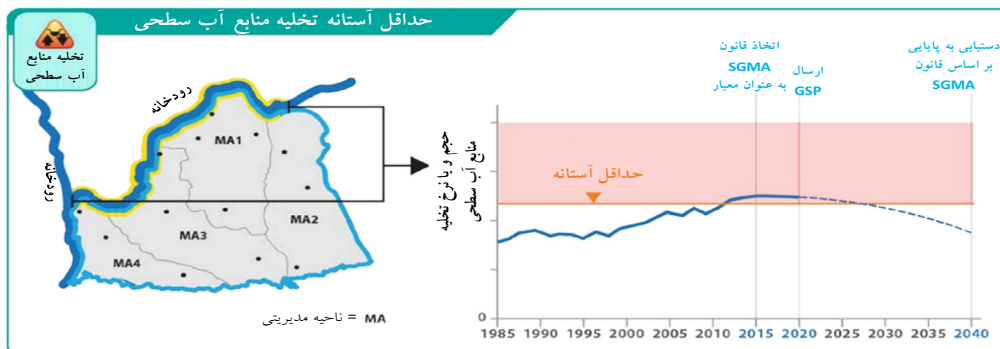


شکل ۷- مثالی از حداقل آستانه فرونشست زمین

• حداقل آستانه تخلیه منابع آب سطحی

شکل (۸) یک آستانه فرضی برای تخلیه حداقلی به منابع آب سطحی را نشان می‌دهد. یک مثال از میزان نرخ تخلیه (یا حجم تخلیه) از طریق پمپاژ آب زیرزمینی توسط مدل هیدرولوژیکی یکپارچه از حوضه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. رویکردهای دیگر نیز برای نشان دادن کاهش جریان رودخانه‌ها، به جای استفاده از یک مدل عددی، ممکن است معتبر باشند. ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه تخلیه منابع آب سطحی ممکن است شامل موارد زیر باشند، اما به این موارد محدود نمی‌شوند: - نرخ‌های گذشته تخلیه جریان رودخانه‌ها برای انواع مختلف سال

آبی (ترسالی و یا خشکسالی) چه مقدار است؟ - عدم قطعیت در تخمین میزان تخلیه جریان رودخانه‌ها با ابزارهای تحلیلی و عددی چه مقدار است؟ - میزان نزدیکی و یا دوری ایستگاه‌های پمپاژ به جریان رودخانه‌ها چه مقدار است؟ - اکوسیستم‌های آبی وابسته به تخلیه آب زیرزمینی در کجای حوضه قرار دارند؟ - نیاز به منابع آب سطحی برای کشاورزی و شهری در این حوضه چقدر است؟ - جریان مناسب از نظر ایالت و یا دولت فدرال چه مقدار است؟



شکل ۸- مثالی از حداقل آستانه تخلیه منابع آب سطحی

برای افت مزمن آب زیرزمینی در نظر گرفته نشده است، بلکه تنها برای ایجاد آستانه برای شاخص پایایی دیگری در نظر گرفته شده است.

• فرونشست به عنوان یک مثال

همانطور که در زیر توضیح داده شده است، هر دو رویکرد می‌تواند برای فرونشست استفاده شوند.

رویکرد ۱: حداقل آستانه آب زیرزمینی بالای تراز بلندمدت سطح آب زیرزمینی باشد. GSA تعیین می‌کند و نشان می‌دهد که با اجتناب از حداقل آستانه آب زیرزمینی این اطمینان حاصل می‌شود که از فرونشست جلوگیری خواهد شد. در این رویکرد، GSA یک معیار عددی را برای دو نتیجه نامطلوب - افت مزمن آب زیرزمینی و فرونشست استفاده می‌کند (شکل ۹).

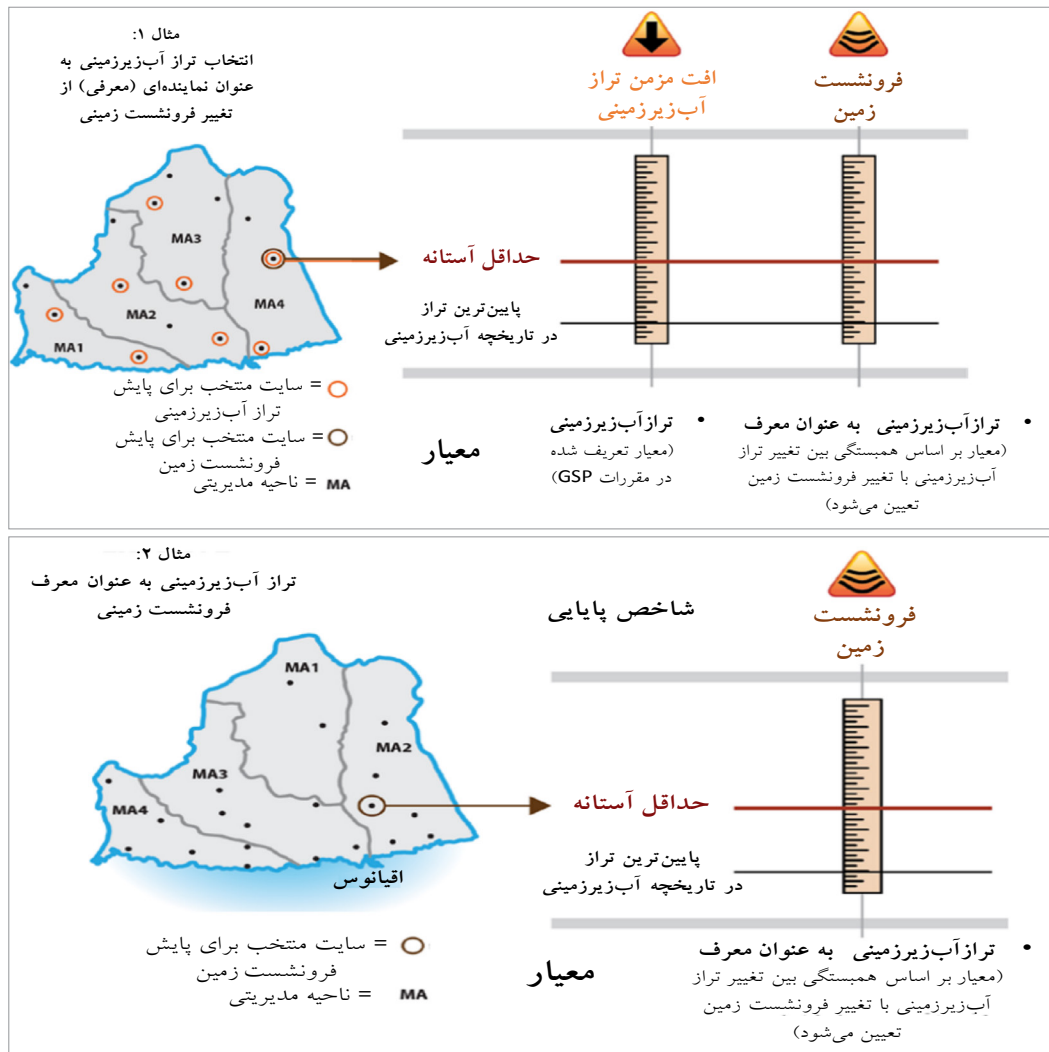
رویکرد ۲: GSA مناطق خاصی را که در معرض فرونشست قرار دارند، تعیین کرده است و پایین‌ترین سطح آب زیرزمینی گذشته در آن مناطق را شناسایی می‌کند و همچنین ثابت کرده است که تا زمانی که سطح آب زیرزمینی در بالاترین حدود تاریخی قرار داشته، هیچ فرونشست رخ نداده است. GSA حداقل آستانه آب زیرزمینی برای فرونشست زمین را بر اساس سطح آب زیرزمینی برای مناطقی که مستعد فرونشست هستند، توسعه می‌دهد (شکل ۹). این سایت‌های پایش معرف فرونشست زمین لزوماً شامل سایت‌های پایش معرف برای افت سطح آب زیرزمینی نیستند.

• استفاده از ارتفاع آب زیرزمینی به عنوان شاخصی از دیگر نشانگرها

مقررات GSP به GSA اجازه می‌دهد که از ارتفاع آب زیرزمینی به صورت یک شاخصی از دیگر نشانگرها انتخاب نماید. این شاخص برای هر یک (و یا به طور بالقوه برای همه) شاخص پایایی در هنگام تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری، استفاده کند. GSP نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی و معیارهای دیگر همبستگی قابل توجهی دارند. دو رویکرد ممکن برای استفاده از تراز آب زیرزمینی به عنوان یک شاخصی از دیگر نشانگرها برای تعریف معیارهای مدیریت پایا عبارتند از:

(۱) حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری برای کاهش شدید تراز آب زیرزمینی به اندازه کافی قابل اطمینان است تا جلوگیری از رخدادهای قابل توجه و غیر منطقی سایر شاخص‌های پایایی اطمینان حاصل شود. به عبارت دیگر، نشان می‌دهد که تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی، نه تنها برای حداقل آستانه افت مزمن سطح آب زیرزمینی، بلکه برای سایر شاخص‌های پایایی در یک سایت مشخص مورد استفاده قرار گیرد.

(۲) شناسایی سایت‌های پایش سطح آب زیرزمینی که حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری بر اساس تراز آب زیرزمینی برای یک شاخص پایایی خاص طراحی شده است. به عبارت دیگر، استفاده از حداقل آستانه تراز آب زیرزمینی برای برآوردن حداقل الزامات آستانه



شکل ۹- مثال استفاده از ارتفاع آب‌یرزمینی به عنوان یک نشانگری برای تخمین فرونشست

• پیامدهای نامطلوب

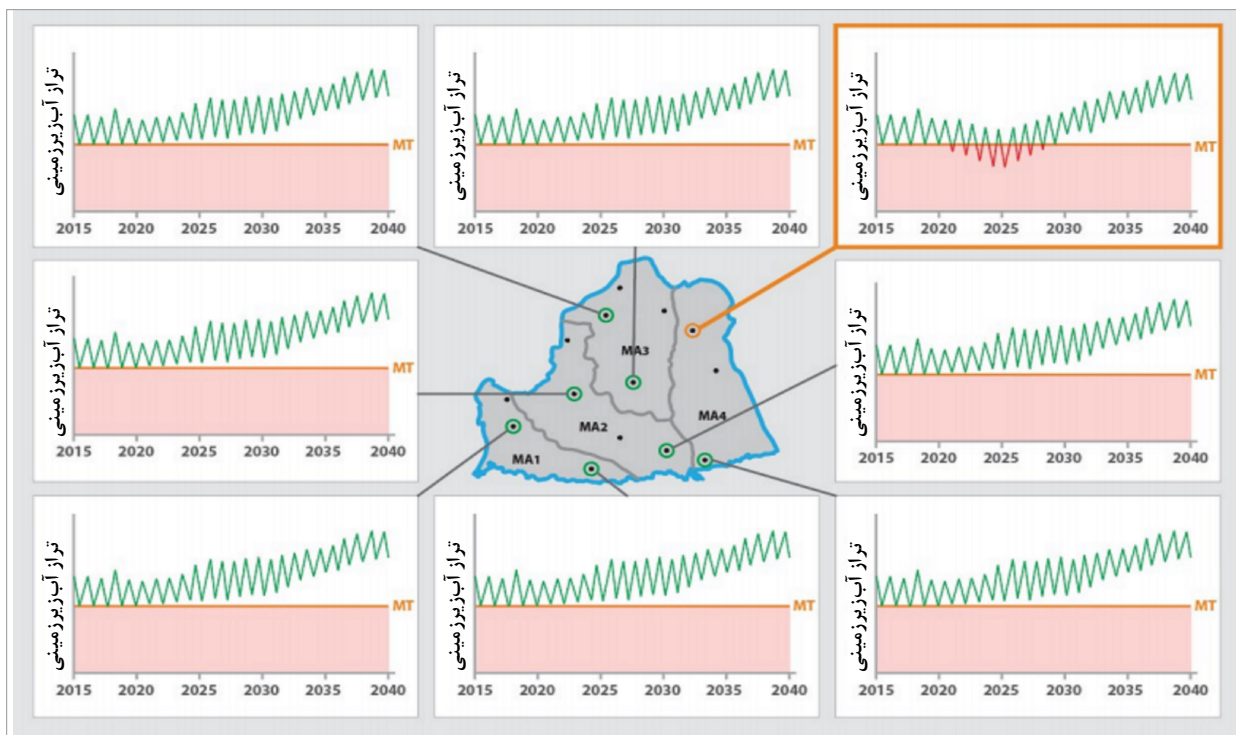
مدیریت پیامد نامطلوب جدید را انتخاب نماید).
GSP باید شامل تشریحی مناسب برای هر پیامد نامطلوب باشد. پیامدهای نامطلوب باید توسط تمام GSA ها در یک حوضه مورد توافق قرار گیرند. اگر بیش از یک GSP در حوضه وجود داشته باشد، باید تنها یک توصیف از پیامدهای نامطلوب که مورد توافق برای ایجاد هماهنگی استفاده شده، و مورد مستندسازی قرار گیرد. مقررات GSP برای هر پیامد نامطلوب به سه جزء نیاز دارد. این سه جزء و ملاحظات برای چگونگی مشخص کردن آنها باید به شرح زیر باشند:

۱- علت شرایط آب‌یرزمینی در سراسر حوضه که منجر به پیامدهای نامطلوب می‌شود بر اساس اطلاعات خصوصیات حوضه، و سایر داده یا مدل‌ها به صورت مناسب تشریح می‌گردد^{۱۴}. GSP عواملی که می‌تواند منجر به پیامدهای نامطلوب شود را مستندسازی می‌کند. این عوامل ممکن است به صورت محلی و یا حوضه‌ای باشند. به عنوان نمونه‌ای از علل محلی برای پیامدهای نامطلوب، می‌توان به یک فعالیت گروهی برای برداشت از چاه‌های عمیق اشاره نمود که

پیامدهای نامطلوب زمانی رخ می‌دهد که شرایط مربوط به هر کدام از ۶ شاخص پایای، قابل توجه و غیر منطقی شوند. این پیامدهای نامطلوب توسط اداره آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا میزان دستیابی به هدف پایایی مشخص شود. تمام پیامدهای نامطلوب مبتنی بر عبور از حداقل آستانه آب‌یرزمینی خواهد بود. این پیامدهای نامطلوب با عبور از حداقل آستانه در یک سایت پایش، سایت‌های پایش چندگانه، بخشی از یک حوضه، یک ناحیه مدیریتی، یا یک حوضه کامل تعریف می‌شود. عبور از حداقل آستانه آب‌یرزمینی در یک سایت پایش لزوماً منجر به پیامد نامطلوب نمی‌شود، اما این امر می‌تواند باعث تغییر یک یا چند اقدام مدیریتی یا اجرای یک پروژه برای بهبود وضعیت منطقه، قبل از اینکه پیامد نامطلوب در سراسر حوضه توسعه یابد شود. با این حال، GSP هنگامی که یک پیامد نامطلوب ایجاد می‌شود باید آن را مورد توجه قرار دهد (به عبارت دیگر اقدامات اصلاحی برای

سناریو ۱ - گذر از حداقل آستانه بدون ایجاد پیامدهای نامطلوب
در این سناریو (شکل ۱۱)، یکی از هشت سایت پایش معرف، بعد از گذشت چند سال از تحویل GSP از حداقل آستانه گذر کرده است. پس از این دوره، سطح آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف افزایش می‌یابد و بالاتر از حداقل آستانه آب‌زیرزمینی باقی می‌ماند. سطح آب‌زیرزمینی در تمامی دیگر سایت‌های پایش بیش از حداقل آستانه

آب‌زیرزمینی برای مدت ۲۰ سال پس از تحویل GSP می‌باشد. سطح آب‌زیرزمینی در تمام سایت‌های پایش بالاتر از هدف قابل‌اندازه‌گیری در انتهای دوره ۲۰ ساله است. علیرغم گذر یک سایت پایش معرف از حداقل آستانه، این حوضه هرگز پیامد نامطلوب برای شاخص‌های پایای را تجربه نکرده است. GSP اولیه در دوره ۵ ساله اول مدیریتی خود از حداقل آستانه عبور نکرده است.



شکل ۱۱- مثالی از سایت پایش معرف تراز آب‌زیرزمینی (سناریوی ۱)

سناریو ۲- گذر از حداقل آستانه همراه با پیامدهای نامطلوب حذف شده در دوره ۲۰ ساله

در این سناریو مطابق شکل ۱۲، هشت سایت پایش معرف بعد از چندین سال که GSP به تصویب رسیده است، چگونگی عبور از حداقل آستانه تحلیل شده است. مطابق شکل سه مورد از هشت مورد سایت پایش معرف، در طی این دوره چند ساله از حداقل آستانه گذر کرده‌اند. پس از این دوره، سطح آب‌زیرزمینی در این سه سایت پایش معرف افزایش می‌یابد و بالاتر از حداقل مربوط به آن باقی می‌ماند. سطح آب‌زیرزمینی در تمامی سایت‌های پایش معرف دیگر بیش از حداقل آستانه برای کل دوره ۲۰ ساله و پس از تحویل GSP می‌باشد. سطح آب‌زیرزمینی در تمام سایت‌ها در حدود یا بالاتر از هدف قابل‌اندازه‌گیری در انتهای دوره ۲۰ ساله است. در مقایسه با سناریو ۱، این حوضه در طی دوره حداقل عبور آستانه در سه چاه پایش معرف، یک نتیجه نامطلوب را تجربه کرد. با این حال، حوضه به طور مداوم مدیریت می‌شود، زیرا GSA برای مدت زمانی که از حد معین آستانه عبور کرده است، از طریق اهداف قابل‌اندازه‌گیری خود برنامه‌ریزی شده‌اند و به همین دلیل

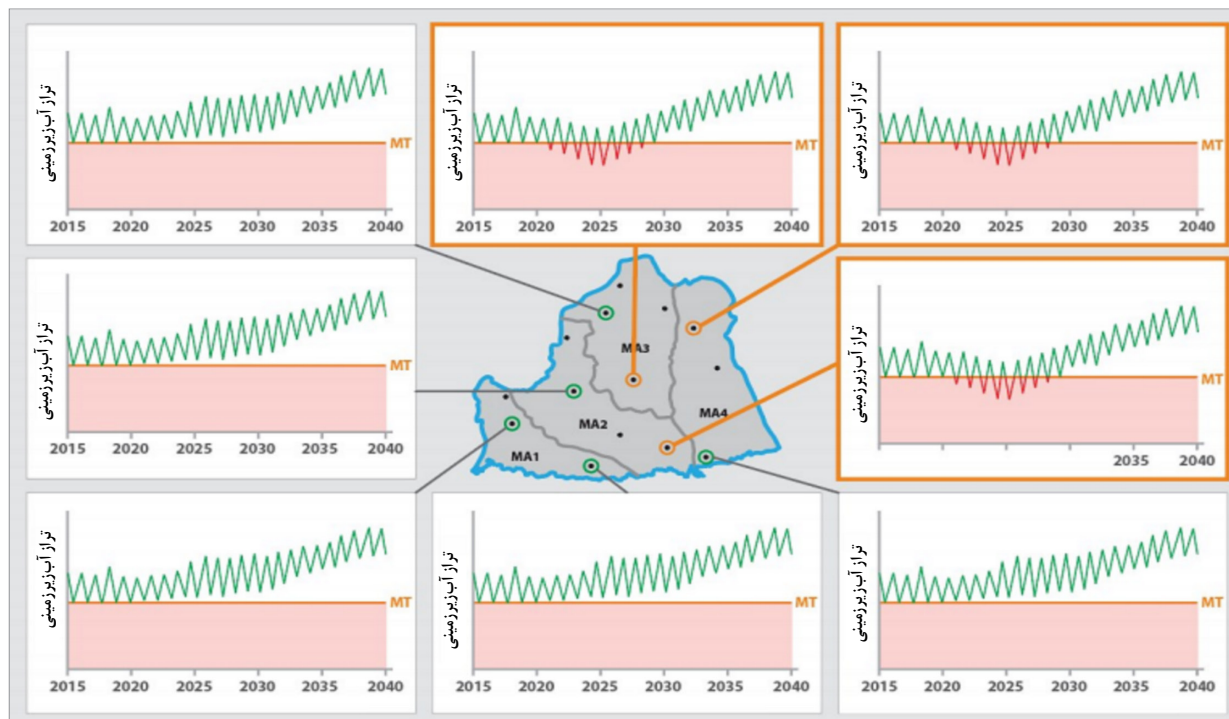
GSA پروژه‌های لازم و اقدامات مدیریتی را برای از بین بردن نتیجه نامطلوب و رسیدن به هدف قابل‌اندازه‌گیری اجرا کرده است. لازم به ذکر است که باید توجه داشته باشید که اگر GSA‌ها در این حوضه فرضی برای از بین بردن پیامدهای نامطلوب برنامه‌ریزی نکرده بودند و از طریق مقادیر میان‌کاره موقت مناسب یا پروژه‌های لازم و اقدامات مدیریتی اتخاذ نمی‌نمود احتمال اینکه GSA به هدف پایای حوضه در طی دوره ۲۰ ساله برسد خیلی کم است بنابراین آنگاه خود اداره آب می‌توانست اهدافی جدید را برای رسیدن به پایایی به GSA تحمیل نماید.

سناریو ۳- گذر از حداقل آستانه و ایجاد پیامدهای نامطلوب بدون اینکه دوره ۲۰ ساله مورد حذف قرار گیرد

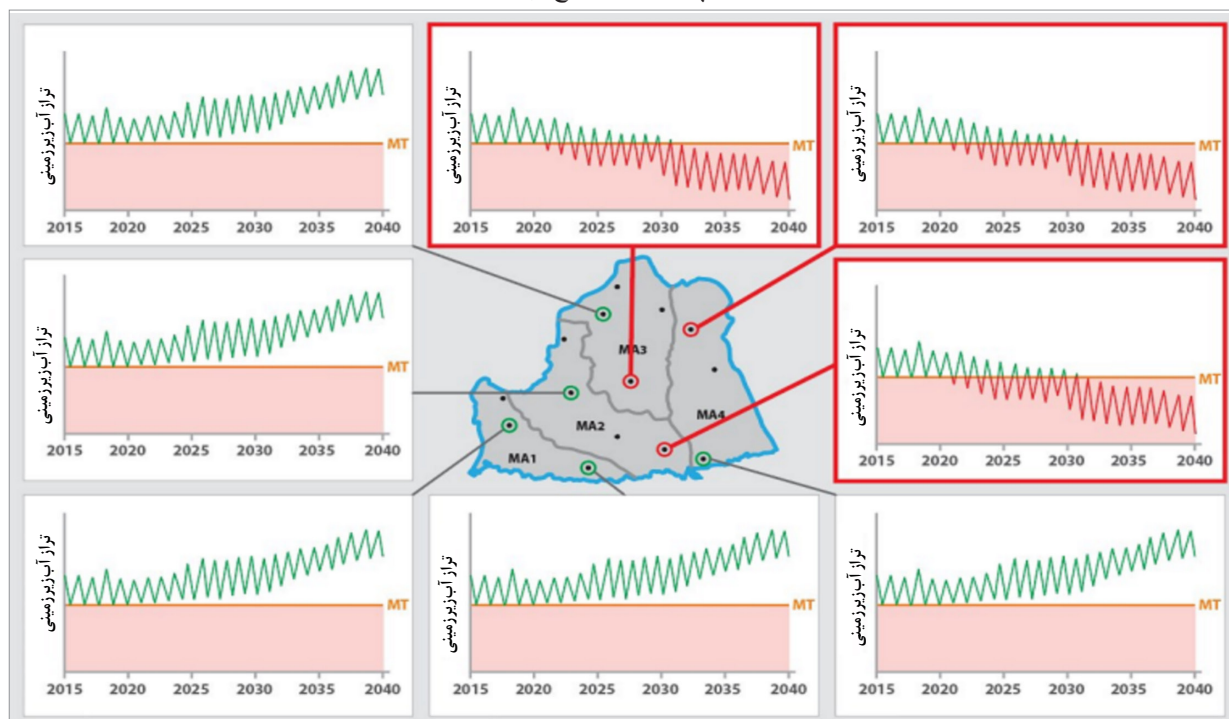
در این سناریو (شکل ۱۳)، سطح آب‌زیرزمینی در طی دوره ۲۰ ساله پس از ارسال GSP، در سه سایت پایش معرف، کاهش می‌یابد و به طور معنی‌داری کمتر از حد آستانه و مقادیر میانکاره شده است. زمانی که سه سایت پایش از حداقل آستانه عبور می‌کنند و پیامدهای نامطلوب در طول دوره ۲۰ ساله ادامه می‌یابد این حوضه قطعاً پیامدهای نامطلوب قابل توجهی را تجربه می‌کند.

بخش دولتی در دوره ۲۰ ساله خواهد شد. بحث در مورد جزئیات مداخلات فراتر از بحث این یادداشت می‌باشد که به خوانندگان محترم توصیه می‌شود به اصل قانون مراجعه نمایند. لازم ذکر است که مداخلات معطوف به انتهای دوره نمی‌باشد بلکه در طی دوره ۲۰ سال و پس از ارائه GSP نیز برای بخش دولتی فراهم است.

در این سناریو، حوضه اهداف مدیریت پایای آب‌یرزمینی خود نرسیده است. اگرچه این نمونه پیامدهای نامطلوبی را برای دوره ۲۰ سال نشان می‌دهد، اما در یک وضعیت واقعی، اداره احتمالاً تعیین می‌کند که این احتمال وجود ندارد که GSA به هدف پایای در دیگر مقادیر میانکاره برسد و در نتیجه باعث مداخله مستقیم



شکل ۱۲- مثالی از سایت پایش معرف سطح آب‌یرزمینی (سناریوی ۲)

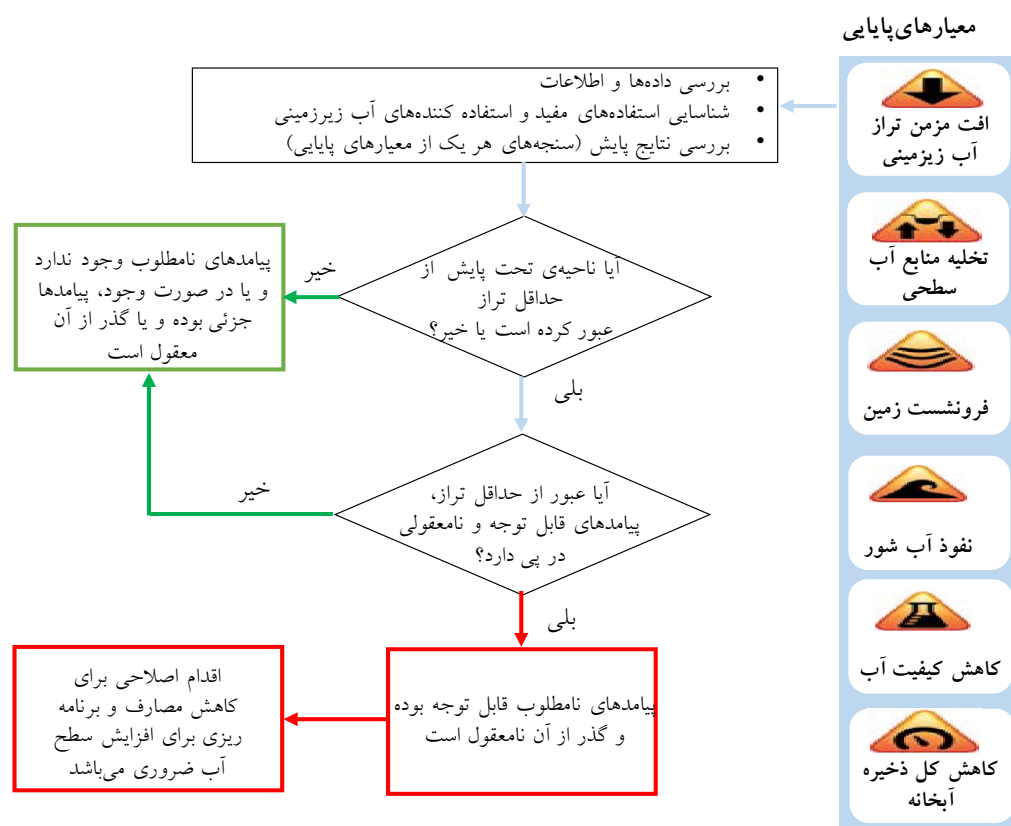


شکل ۱۳- مثالی از سایت پایش معرف سطح آب‌یرزمینی (سناریوی ۳)

• رابطه بین شاخص‌های پایای، حداقل آستانه و پیامدهای نامطلوب

همانگونه که تشریح شد شاخص‌های پایایی شرایط آب‌زیرزمینی را هنگامی که پیامدهای نامطلوب به صورت نامعقولی شروع به گسترش نمایند را در سراسر حوضه نشان می‌دهند. به عنوان مثال، کاهش چشم‌گیر تخلیه از منابع آب‌سطحی به دلیل پمپاژ آب‌زیرزمینی یک شاخص پایایی می‌شود زیرا این امکان فراهم است تا این اثر به وسیله شبکه پایش منابع آب‌زیرزمینی مورد ردیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. نتایج این بررسی می‌تواند نشان دهد که آیا نقصان در دبی منابع آب سطحی قابل توجه و غیر منطقی می‌باشد یا خیر. شاخص‌های پایایی هنگامی می‌توانند مورد کاربرد قرار گیرند که

حداقل آستانه برای هر یک از شاخص‌های پایایی توسط GSA تعریف شود. بدیهی است که هنگامی که شاخص از حداقل تعریف شده تجاوز نماید، پیامدهای نامطلوب قابل تبیین خواهند بود. لذا تجاوز از حداقل آستانه و نیز گسترش پیامدهای نامطلوب به سطح حوضه آبریز نامعقول بوده و باید مورد کنترل قرار گیرد. رابطه بین شاخص‌های پایایی، حداقل آستانه آب زیرزمینی و پیامدهای نامطلوب در شکل (۱۴) نشان داده شده است. مبتنی بر این چارچوب هر ناحیه مدیریت می‌تواند در انتها دوره اقدامات گذشته خود را ارزیابی نموده و اقدامات اصلاحی متناسب با شرایط حوضه تجویز نمایند.



شکل ۱۴- کاربرد معیارهای پایایی آب زیرزمینی

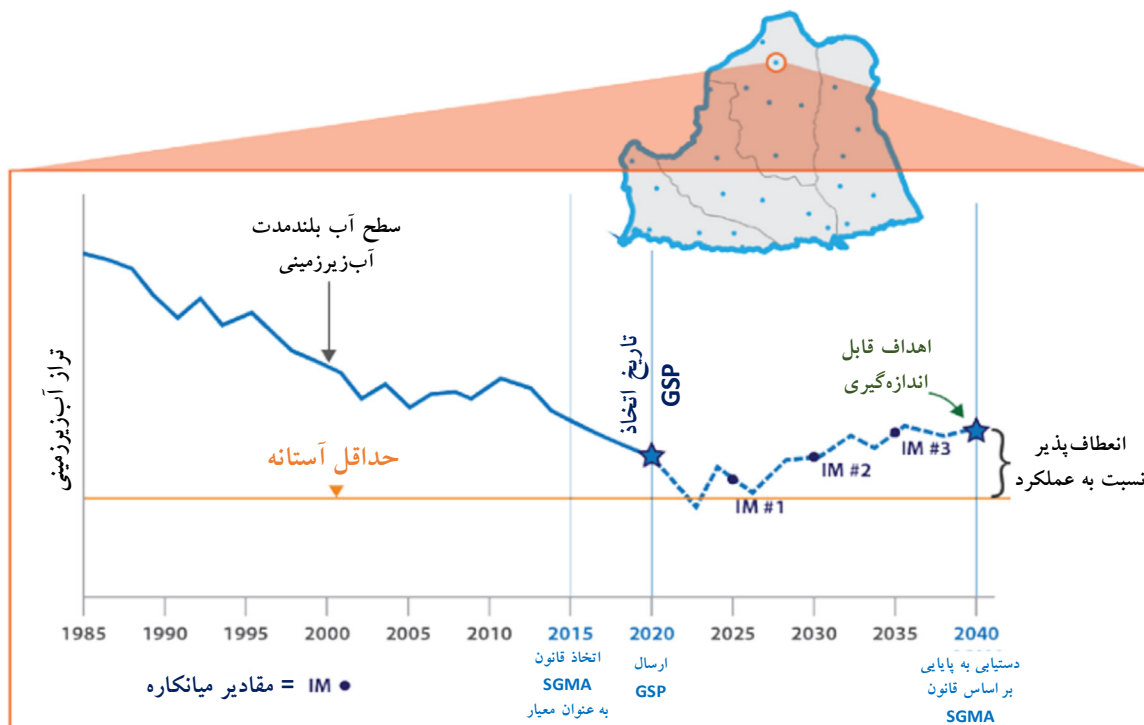
• اهداف قابل اندازه‌گیری

اهداف قابل اندازه‌گیری اهداف کمی هستند که منعکس کننده شرایط آب‌زیرزمینی در حوضه مورد نظر می‌باشد و اجازه می‌دهد که GSA طی ۲۰ سال به هدف پایایی دست یابد. اهداف قابل اندازه‌گیری برای هر شاخص پایایی در سایت‌های پایش معرف یکسان است و با استفاده از معیارهای مشابه به عنوان حداقل آستانه آب‌زیرزمینی تعیین می‌شود. اهداف قابل اندازه‌گیری باید تنظیم شود تا حاشیه قابل قبولی از انعطاف پذیری عملیاتی (شکل ۱۵) بین حداقل آستانه آب‌زیرزمینی و هدف قابل اندازه‌گیری وجود داشته باشد که به خشکسالی، تغییرات آب‌وهوایی، عملیات استفاده مشترک یا سایر

فعالیت‌های مدیریت آب‌زیرزمینی بستگی دارد. استثناهایی در این قاعده کلی وجود دارد. برای مثال، اگر حداقل آستانه آب‌زیرزمینی برای تخریب زمین صفر باشد، هدف قابل اندازه‌گیری نیز می‌تواند صفر باشد. پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی که در GSPها موجود است برای رسیدن به اهداف قابل اندازه‌گیری با شرح مختصری از این که چگونه این پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی به اهداف مورد نظر خود دست می‌بایند باید طراحی شوند. علاوه بر هدف قابل اندازه‌گیری، نقاط قوت موقت باید با افزایش دوره‌های پنج ساله در هر سایت پایش معرف، با استفاده از معیارهای مشابه به عنوان هدف قابل اندازه‌گیری، همانطور که در شکل (۱۵)

نشان داده شده است تعریف شوند. این اهداف قابل اندازه‌گیری توسط GSA ها و اداره‌ها برای پیگیری پیشرفت در جهت دستیابی به هدف پایای حوضه استفاده می‌شوند. اهداف قابل اندازه‌گیری باید با پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی پیشنهادی GSA جهت دستیابی به هدف پایای هماهنگ شوند. برنامه‌ای برای اجرای پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی، بر چگونگی رسیدن به اهداف قابل اندازه‌گیری

(یعنی مسیر دستیابی به مدیریت منابع آب پایا) موثر خواهد بود. این اداره به صورت دوره‌ای (حداقل هر پنج سال) GSP ها را بررسی می‌کند تا دیگر فاکتورهای مورد نیاز را تعیین نموده، میزان شکست و یا موفقیت در برآورده نمودن اهداف میان‌کاره و همچنین میزان توانایی GSA ها را در یک حوضه برای دستیابی به هدف پایای مورد ارزیابی قرار دهد.



شکل ۱۵- ارتباط بین حداقل آستانه، اهداف قابل اندازه‌گیری، مقادیر میانکاره (IM) و مقدار فاصله برای انعطاف پذیری اقدامات در سایت پایش معرف

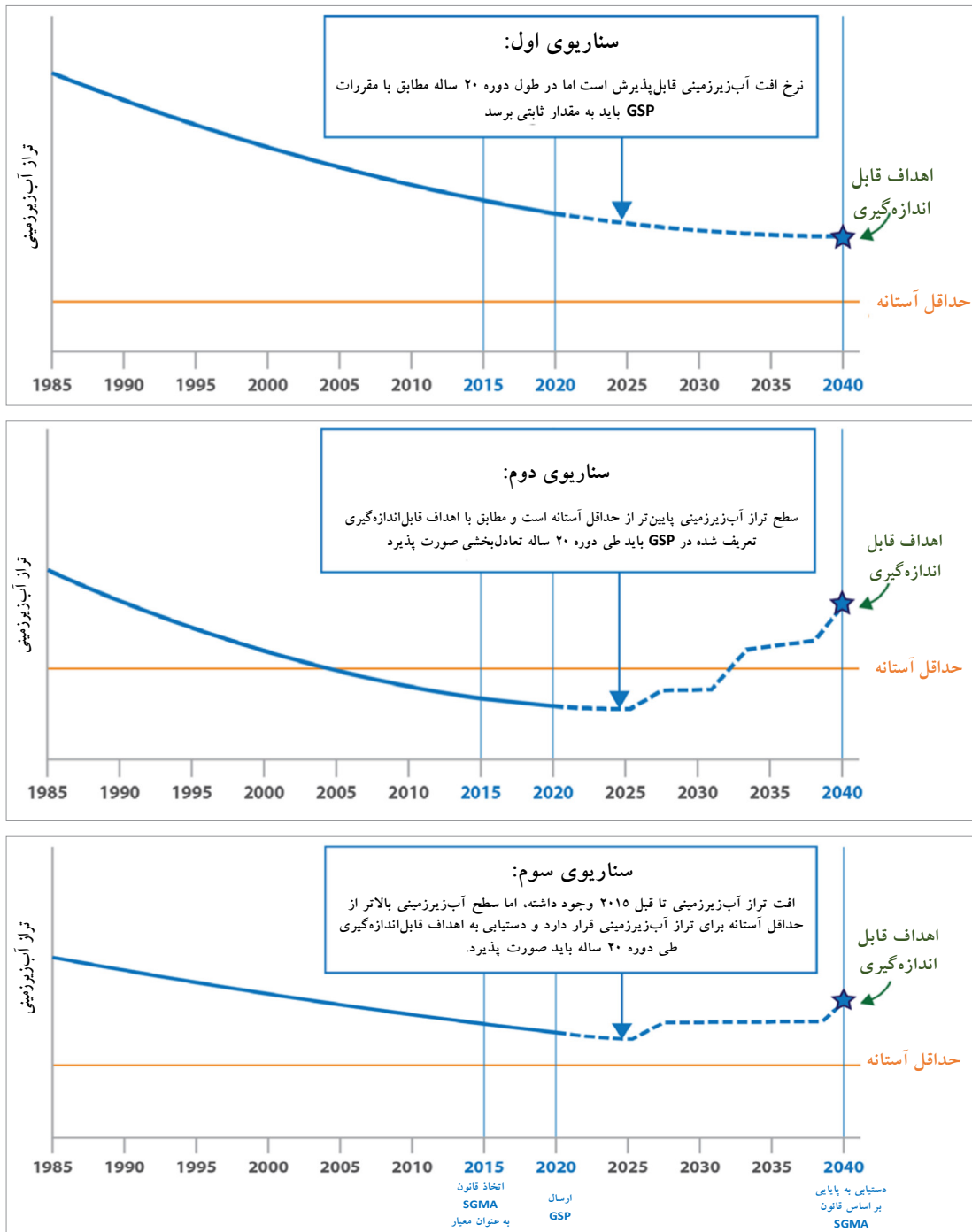
• مسیر دستیابی به مدیریت پایای آب زیرزمینی

مسیر و یا راه‌های بسیار زیادی برای دستیابی به مدیریت پایای آب زیرزمینی بر اساس شرایط آب زیرزمینی و تعیین ارزش‌های محلی وجود خواهد داشت. شکل (۱۶) رابطه بین حداقل آستانه آب زیرزمینی، اهداف قابل اندازه‌گیری و اهداف میانکاره عملیاتی برای حوضه فرضی را نشان می‌دهد. در مثالی که برای شکل (۱۶) استفاده شده است، پیش‌بینی می‌شود که با وجود تمهیدات در نظر گرفته شده باز هم سطح آب زیرزمینی ابتدای پنج سال اول پس از تصویب GSP کاهش یابد ولی سپس در ۱۵ سال آینده افزایش یابد تا به اهداف قابل اندازه‌گیری برسد. با افزایش دوره پنج ساله، اهداف قابل اندازه‌گیری برای بررسی پیشرفت حوضه به اهداف کوچکتری به نام اهداف میان‌کار تبدیل می‌شوند. در شکل (۱۶)، بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده هرگز اهداف قابل اندازه‌گیری به زیر آستانه حداقل کاهش نمی‌یابند. این فقط یک نمونه از مسیری‌هایی است که برای دستیابی به پایای مورد تشریح قرار گرفته است. اداره آب این حقیقت را که مسیرهای مختلفی در دستیابی به پایای

بر اساس شرایط حوضه، پیش‌بینی عرضه و تقاضا و پیاده‌سازی پروژه‌های تغذیه آب زیرزمینی وجود دارد را تصدیق می‌کند. سه مسیر بالقوه دیگر را نیز که ممکن است تا در مسیر پایایی رخ دهد را در شکل (۱۶) نشان داده شده است. SGMA معتقد است که یک GSP ممکن است، پیامدهای نامطلوبی را که پیش از این رخ داده است، و تا تاریخ ۱ ژانویه ۲۰۱۵ اصلاح نشده باشد را بررسی کند. هنگامی که حداقل آستانه آب زیرزمینی توسعه یافته باشد و یک نتیجه نامطلوب به صورت عددی تعریف شده باشد، GSA می‌تواند ارزیابی کند که آیا این نتیجه نامطلوب قبل از ۱ ژانویه سال ۲۰۱۵ وجود داشته است. تا زمانی که GSA مشخص نکرده باشد که چه چیزی شرایط قابل توجه و غیر منطقی (یک نتیجه نامطلوب) را تعیین می‌کند، این ارزیابی امکان‌پذیر نیست. اگر ارزیابی نشان دهد که یک نتیجه نامطلوب قبل از ۱ ژانویه ۲۰۱۵ رخ داده است، GSA باید اهداف قابل اندازه‌گیری را که برای حفظ یا بهبود شرایطی که در سال ۲۰۱۵ اتفاق افتاده است، تعیین کند. GSA باید مسیری را که با اهداف

حوضه به شرایط مورد نظر و نحوه رسیدن به موفقیت توسط اقدامات برنامه‌ریزی شده را مشخص کند. برخلاف سایر معیارهای مدیریت پایا، هدف پایای کمی نیست. در عوض، با حداقل آستانه آب‌زیرزمینی در سطح محلی تعیین شده و پیامدهای نامطلوب مدیریت می‌شود. بدیهی است که عدم وجود پیامدهای نامطلوب، حاکی از آن است که حوضه مبتنی بر آبدهی پایا اقدام نموده و د و بنابراین هدف پایای حاصل شده است.

قابل‌اندازه‌گیری مناسب مشخص شده است، برای رسیدن به شرایط ۲۰۱۵ و حفظ آن در طی زمان‌بندی ۲۰ ساله اجرا کند. GSAها باید یک هدف پایای را که برای کل حوضه قابل استفاده است، توسعه دهند. اگر چندین GSP برای یک حوضه جداگانه توسعه یافته باشند، هدف پایای باید در تفاهم‌نامه هماهنگی حوضه ارائه شود. هدف پایای باید به طور خلاصه اهداف سازمان GSA، شرایط مطلوب حوضه آب‌زیرزمینی، نحوه دستیابی



شکل ۱۶- پتانسیل‌ها برای طی مسیر دستیابی به پایایی

حوزه بستگی دارد. GSA ها باید زمان کافی را برای توسعه معیارها در فرآیند توسعه GSP فراهم کنند. مردم باید در فرآیند توسعه معیارهای مدیریت پایا مشارکت کنند و دیدگاه های آنها مورد توجه قرار گیرد. برای اطمینان از مشارکت به موقع گرداران، تعیین یک جدول زمانی برای توسعه معیارهای مدیریت پایا توسط GSA می تواند مفید واقع شود.

پی نوشت

- 1-Best Management Practice (BMP)
- 2-Groundwater Sustainability Plan (GSP)
- 3-Sustainability Goal
- 4-Undesirable Results
- 5-Minimum Thresholds
- 6-Measurable Objectives
- 7-Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)
- 8-Groundwater Sustainability Agency (GSA)
- 9-See Water Code § 10721(v)
- 10-Sustainable yield
- 11-http://water.ca.gov/groundwater/sgm/pdfs/BMP_HCM_Final_2016-12-23.pdf
- 12-http://water.ca.gov/groundwater/sgm/pdfs/BMP_Monitoring_Networks_Final_2016-12-23.pdf
- 13-http://water.ca.gov/groundwater/sgm/pdfs/GD_C&E_Final_2017-06-29.pdf
- 14-See 23 CCR 354.26(b)(1)

منابع

- Owen D., Cantor A., Green Nylen N., Harter T. and Kiparsky M. 2019. California groundwater management, science-policy interfaces, and the legacies of artificial legal distinctions. Environmental Research Letters. IOP Publishing, 14(4): 045016. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab0751>
- DWR 2017. Draft Sustainable Management Criteria. Best Management Practice (BMP). California Department of Water Resources, California. Available at: https://www.water.ca.gov/LegacyFiles/groundwater/sgm/pdfs/BMP_Sustainable_Management_Criteria_2017-11-06.pdf

GSA باید در هنگام توسعه اهداف پایایی موارد زیر را در نظر بگیرد:
شرح هدف: توصیف هدف باید به طور کیفی هدف یا مأموریت GSA را برای حوزه تعیین کند. شرح هدف باید هدف کلی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی را پایا نگه دارد و ارزش های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی درون حوزه را انعکاس دهد.

بحث در مورد نحوه اندازه گیری: هدف پایایی باید به طور خلاصه اقداماتی قابل اجرا را تعیین کند. این شرح اقدامات باید با توصیف پروژه ها و اقدامات مدیریتی که در GSP پیشنهاد شده است هم راستا باشند. هر چند جزئیات کمتری در آن آورده شده باشد. نمونه هایی از اقداماتی که GSA می تواند انجام دهد شامل کاهش تقاضا و توسعه پروژه های تغذیه آب زیرزمینی است. باید تأکید نمود که این اقدامات باید منجر به بهره برداری از حوزه مبتنی بر آبدهی پایا گردد.

تشریح چگونگی دستیابی به اهداف در طی ۲۰ سال: هدف پایایی باید چگونگی پیاده سازی اقدامات پایا را بیان کند. برای مثال، اگر اقدامات شامل کاهش تقاضا و اجرای پروژه های تغذیه آب زیرزمینی باشد، باید مشخص گردد که چگونه این اقدامات منجر به پایایی خواهد شد (به عنوان مثال، افزایش سطح آب زیرزمینی بالاتر از حداقل آستانه و از بین بردن یا کاهش فرونشست زمین را در آینده). توجه داشته باشید که بیشتر اهداف پایایی تنها می توانند پس از تعریف حداقل آستانه آب زیرزمینی، پیامدهای نامطلوب، شناسایی پروژه ها و اقدامات مدیریتی و بررسی تأثیر پیش بینی شده این پروژه ها و اقدامات مدیریتی بر شرایط آب زیرزمینی نهایی شوند. بنابراین، تکمیل اهداف پایایی به احتمال زیاد یکی از اجزای نهایی توسعه GSP خواهد بود.

نتیجه گیری

اجتناب از پیامدهای نامطلوب کلیدی ترین اقدام برای رسیدن به اهداف پایایی می باشد. معیارهای مدیریت پایا، کلیدی ترین پارامتر در GSP بوده، که پایایی فقط در حوزه قابل تعریف می باشد. قبل از تعیین معیارهای مدیریت پایا، GSA ها باید مبتنی بر فهم خصوصیات حوزه، یک مدل مفهومی هیدروژئولوژیک توسعه دهند، و همچنین یاریگری گرداران و تعیین نواحی مدیریتی از اصول اولیه می باشد. این دستورالعمل بهترین شیوه های مدیریتی برای توسعه معیارهای مدیریت پایا، از جمله حداقل آستانه آب زیرزمینی، پیامدهای نامطلوب، اهداف قابل اندازه گیری و هدف پایایی مورد اشاره قرار گرفت.

تعیین معیارهای مدیریت پایا می تواند روندی بسیار پیچیده، وقت گیر و فرآیندی تکراری باشد، که به پیچیدگی حوزه و گرداران آن