

ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت سفره آب زیرزمینی دشت بروجن - فرادنبه با استفاده از مدل WEAP

مهدی رادفر^{۱*} و بهنام معاونی^۲

چکیده

منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حیاتی‌ترین منبع آب برای توسعه پایدار است و بنابراین حفاظت از این منابع با ارزش ضروری است. میانگین افت سالانه حدود ۰/۴۴ متر سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی دشت بروجن - فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری در سال‌های اخیر نشان از برداشت بی‌رویه آب در این دشت دارد. برای این پژوهش از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای منطقه بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰ (جدیدترین اطلاعات شروع پژوهش) و همچنین نتایج محاسبات بیلان سفره استفاده شد. پس از ارزیابی منابع و مصارف آب زیرزمینی دشت بروجن - فرادنبه با مدل WEAP، راهکارهای مدیریتی برای حفاظت از این آبخوان در قالب هفت سناریو تهیه شد. هر کدام از راهکارهای مدیریتی شامل تغییر الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری و اعمال محدودیت برداشت آب از سفره و حالت‌های ترکیبی آن‌ها در مدل WEAP استفاده شد. نتایج نشان داد سناریوهای افزایش بازده آبیاری با به کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری و جایگزین کردن ۲۵ تا ۵۰ درصد سطح زیرکشت یونجه و سیب‌زمینی با گندم آبی در کنار اعمال محدودیت برداشت آب از سفره کارگشا خواهد بود. مدل WEAP دارای قابلیت بالایی در تعریف سناریوهای مدیریتی است و به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، مدیریت آبخوان، مدل‌سازی، منابع آب.

ارجاع: رادفر م. و معاونی ب. ۱۳۹۵. ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت سفره آب زیرزمینی دشت بروجن - فرادنبه با استفاده از مدل WEAP. مجله پژوهش آب ایران. ۲۱: ۱۶۷-۱۷۴.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* آدرس نویسنده مسئول: mahdi1010@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

مقدمه

منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منابع آب شیرین قابل دسترس در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. میزان وابستگی اقتصادی و اجتماعی این مناطق به آب‌های زیرزمینی نشان دهنده اهمیت بالای حفظ و مدیریت این منابع است. در سال‌های اخیر توسعه مصارف مختلف از جمله کشاورزی سبب افزایش بی‌رویه برداشت آب در آبخوان‌ها شده است. در سال‌های اخیر حفرچاه‌های زیاد و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی سبب افت سریع سطح آب، کاهش حجم آبخوان‌ها و خشک شدن قنات‌ها شده است. بنابراین بررسی راهکارهای ممکن و عملی برای مدیریت این منابع حیاتی ضروری به نظر می‌رسد.

یتس و همکاران (۲۰۰۴) نسخه WEAP21 را معرفی کردند. تاکنون در بررسی‌های زیادی با کاربرد WEAP به بررسی و حل مسائل گوناگون منابع آب در نقاط مختلف دنیا پرداخته‌اند. بررسی مسائل اقتصادی و اجتماعی توسعه آبیاری در بخش کشاورزی و ارائه گزینه‌های مدیریتی کنترل سطح ایستابی آب زیرزمینی (وارلا- اورتگا و همکاران، ۲۰۱۱)، ارائه سیاست‌های عمومی بهره‌برداری از آب زیرزمینی با یک مدل اقتصادی و مدل WEAP (وارلا- اورتگا و همکاران، ۲۰۰۷)، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GRACE در این مدل برای درک بهتر تأثیرات عوامل طبیعی و مصارف انسانی روی تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی (هرمانس و همکاران، ۲۰۰۸)، توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم برای مدیریت، حفاظت و استفاده پایدار از آب زیرزمینی با لینک WEAP به نرم‌افزار MODFLOW (دروبی و همکاران، ۲۰۰۸)، پیاده‌سازی رویکرد DPSIR با مدل WEAP در بررسی راهکارهای مدیریتی حفاظت از منابع آب زیرزمینی (مسولی و همکاران، ۲۰۰۸) و کاربرد رویکرد حسابداری آب زیرزمینی (ساندوال- سولیس و همکاران، ۲۰۱۱) مثال‌هایی از این موارد هستند.

در ایران نیز از مدل WEAP در بررسی‌های برنامه‌ریزی منابع آب استفاده شده است. حافظ‌پرست و همکاران (۱۳۸۷)، روستا و عراقی‌نژاد (۲۰۱۱)، روستا و عراقی‌نژاد (۱۳۸۸)، وطن‌دوست و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد. در زمینه کاربرد مدل WEAP در رابطه با آب‌های زیرزمینی می‌توان به پژوهش یزدان‌پناه و همکاران (۲۰۰۹)، العمری

و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد. ایشان تأثیرات راندمان‌های مختلف آبیاری را روی منابع آب زیرزمینی بررسی و نتیجه گرفتند که آبیاری تحت‌فشار در این منطقه سبب تعادل سطح ایستابی آب زیرزمینی نمی‌شود. بنابراین پیشنهاد کردند در کنار مدرن‌سازی سیستم‌های آبیاری، حقایقه‌های مصرف آب تغییر یابد. با توجه به پیشینه پژوهش و کاربردهای زیاد مدل WEAP می‌توان بیان کرد که WEAP یک مدل کارا و توانا در تعریف سناریوها برای مدیریت و برنامه‌ریزی جامع منابع آب است. دشت بروجن- فرادنبه به عنوان یکی از دشت‌های وابسته به سفره‌های آب زیرزمینی به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه در طول سال‌های اخیر با مشکل افت سطح ایستابی روبرو بوده است. بنابراین ضرورت دارد گزینه‌های مدیریتی برای حفاظت از سفره آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه، بررسی و انتخاب شود. مدل‌های ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب می‌توانند به عنوان ابزاری مناسب در اختیار صاحبان سهم و تصمیم‌گیرندگان منابع آب قرار گیرند. مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP^۱) یکی از مدل‌های جامع برنامه‌ریزی منابع آب است. مسائل مربوط به آب به صورت جامع در WEAP ارزیابی می‌شوند. هدف از این پژوهش، استفاده از مدل WEAP برای تحلیل و ارزیابی مصارف آب در آبخوان بحرانی‌دشت بروجن- فرادنبه در وضعیت موجود برای ارائه راهکارهای مدیریتی برای تعادل بخشی در این آبخوان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی بروجن- فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱° تا ۲۶' ۵۱° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۹' ۳۱° تا ۱۶' ۳۲° شمالی است. شکل ۱ نقشه توپوگرافی و موقعیت محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد. وسعت محدوده مورد بررسی، در حدود ۵۹۸ کیلومترمربع است که ۴۰ درصد از مساحت حوزه آبریز را ارتفاعات و بقیه را دشت تشکیل می‌دهد.

ج) داده‌های تغذیه و تخلیه از سفره آب زیرزمینی محاسبات بیلان آب در محدوده مطالعاتی از آبخوان نشان می‌دهد که عمده تغذیه سفره از محل آب‌های ورودی به آبخوان است. مابین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ تغذیه متوسط سالانه ۱۱۲/۳۵ (م.م.م = میلیون مترمکعب) است که از این مقدار در حدود ۸/۵۴ م.م.م نفوذ آب باران، ۸/۵۴ م.م.م آب برگشتی به سفره، ۴/۴ م.م.م نفوذ آب سطحی و ۹۰/۹ م.م.م آب زیرزمینی ورودی می‌باشد. همچنین متوسط سالانه تخلیه از آبخوان در این دوره ۱۱۳/۶ م.م.م است که ۴۷/۶ م.م.م آن با چاه، چشمه و قنات‌ها بوده و بقیه در قالب زهکشی از آبخوان است.

تعریف سناریوهای مدیریتی

با توجه به بررسی‌های میدانی و کارشناسی مجموع عوامل مدیریتی ممکن که در تعادل بخشی آبخوان بحرانی دشت تأثیر داشتند به عنوان سناریوهای قابل بررسی استفاده شدند. این سناریوها به نام‌های S1 تا S7 در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

مقادیر کل نیاز آبی برآورد شده در سناریوهای مختلف برای سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۹ در جدول ۲ نشان داده شده است. نیاز آبی منطقه در سال ۱۴۰۹ نسبت به سال ۱۳۹۱ در سناریوهای مختلف افزایش یافته است. برای مثال مشاهده می‌شود که کل نیاز آبی در شرایط موجود (سناریوی S1) در سال ۱۳۹۱ برابر با ۱۱۷/۷ م.م.م و در سال ۱۴۰۹ مساوی ۱۲۰ م.م.م است. افزایش حدود ۲/۳ میلیون مترمکعبی نیاز در فاصله سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۹ به دلیل در نظر گرفتن شرایط توسعه صنعتی و افزایش جمعیت در طول این سال‌ها و در نتیجه افزایش نیاز شرب و صنعت است. سناریوهای S1 و S7 به ترتیب بیشترین و کمترین نیاز آبی را دارند. همچنین می‌توان مشاهده کرد که سناریوهای S6 و S7 بیشترین تأثیر را در کاهش نیاز آبی داشته‌اند. با توجه به اینکه نیاز آبی کل منطقه در شرایط موجود حدود ۱۲۰ م.م.م است، این میزان کاهش در مصارف آب بسیار قابل توجه است. گرفتن سناریوهای S4 و S5 (به ترتیب کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی سطح زیرکشت یونجه و سیب‌زمینی و جایگزینی آن‌ها با گندم آبی) سبب کاهش ۵/۸ و ۱۱/۷ م.م.م نیاز نسبت به



شکل ۱- نقشه توپوگرافی و موقعیت دشت بروجن - فردانیه

جمع‌آوری و آماده‌سازی اطلاعات لازم مدل

برای تنظیم سیستم منابع آب زیرزمینی منطقه، یک گره منبع آب زیرزمینی و سه گره نیاز (شامل نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی) به شرح زیر تعریف شد. داده‌های ثبت شده بیست ساله اخیر شامل سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ در نظر گرفته شد. الگوی کشت موجود منطقه در گره نیاز کشاورزی به تفکیک تعریف شد. محل تأمین نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی از محل سفره آب زیرزمینی بوده و آب برگشتی این مصارف نیاز دوباره به سفره نفوذ می‌کند. مقیاس زمانی شبیه‌سازی بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۹ در نظر گرفته و برای ارزیابی سناریوها تکرار شدند.

الف) تقاضای آب کشاورزی

تقاضای آب کشاورزی با در نظر گرفتن نوع محصول، سطح زیرکشت و روش آبیاری با نرم‌افزار NETWAT محاسبه شده است. تعریف کردن چنین مکانیزمی برای برآورد تقاضای آب کشاورزی در مدل WEAP قابلیت تعریف سناریوها در مدل WEAP را افزایش می‌دهد.

ب) نیاز آب شرب و صنعت

مقدار نیاز شرب و صنعت در سال ۱۳۹۰ به ترتیب برابر ۵/۱ و ۲/۲ میلیون مترمکعب (م.م.م) برآورد شد. برای مدنظر قرار دادن توسعه در سناریوهای مدیریتی، فرض شد که مقادیر نیاز سالانه شرب و صنعت، در ده سال اول شبیه‌سازی یک درصد نسبت به سال ۱۳۹۰ و در ده سال دوم دو درصد نسبت به سال قبل خود افزایش یابد.

۲۵ و ۵۰ درصدی سطح زیر کشت یونجه و سیب‌زمینی و جایگزینی آن‌ها با گندم آبی در این سناریوها اگرچه سبب افزایش تقاضای محصول گندم شده است، اما نیاز آبی کل کاهش پیدا کرده است. البته شایان ذکر است که در نظر گرفتن کشت گندم آبی به عنوان جایگزین یونجه و سیب‌زمینی یک سیاست محافظه کارانه در تغییر الگوی کشت است. زیرا که عدم جایگزین مناسب و فقط کاهش سطح زیرکشت به دلیل مخالفت کشاورزان در عمل میسر نخواهد شد.

سناریوی S1 می‌شود. در نهایت سناریوهای S6 و S7 به ترتیب به میزان ۶۴/۷ و ۶۷/۱ م.م.م از نیاز کل را کاهش می‌دهند. سناریوهای S3، S6 و S7 بیشترین میزان کاهش را در نیازهای آبی دارند. جدول ۲ جزئیات بیشتری را در مورد تقاضای آب بخش کشاورزی که بیشترین مصرف آب را دارد، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نیاز آبی محصول یونجه در سناریوهای S1، S2 و S3 که تغییری در الگو و سطح زیرکشت آن‌ها اعمال نشده است بیشتر از سایر محصولات است. اعمال سیاست‌های کاهش

جدول ۱- سناریوهای در نظر گرفته شده برای مدیریت آب زیرزمینی دشت بروجن - فرادنبه

نام	سناریو	توضیح
S1	مرجع (راندمن آبیاری ۳۳٪)	بدون اتخاذ اقدامات مدیریتی، راندمن آبیاری موجود ۳۳٪
S2	افزایش راندمن آبیاری به ۵۵٪	راندمن آبیاری منطقه به ۵۵٪ افزایش می‌باید
S3	افزایش راندمن آبیاری به ۷۵٪	راندمن آبیاری منطقه به ۷۵٪ افزایش می‌باید
S4	تغییر الگوی کشت (۱)	کاهش ۲۵ درصدی سطح زیرکشت یونجه و سیب‌زمینی و جایگزینی آن‌ها با گندم آبی
S5	تغییر الگوی کشت (۲)	کاهش ۵۰ درصدی سطح زیرکشت یونجه و سیب‌زمینی و جایگزینی آن‌ها با گندم آبی
S6	S3+S4	افزایش راندمن آبی به ۷۵٪ و تغییر الگوی کشت (۱)
S7	S3+S5	افزایش راندمن آبی به ۷۵٪ و تغییر الگوی کشت (۲)

جدول ۲- کل نیاز آبی شامل نیاز شرب، صنعت و کشاورزی (م.م.م) تحت سناریوهای مختلف

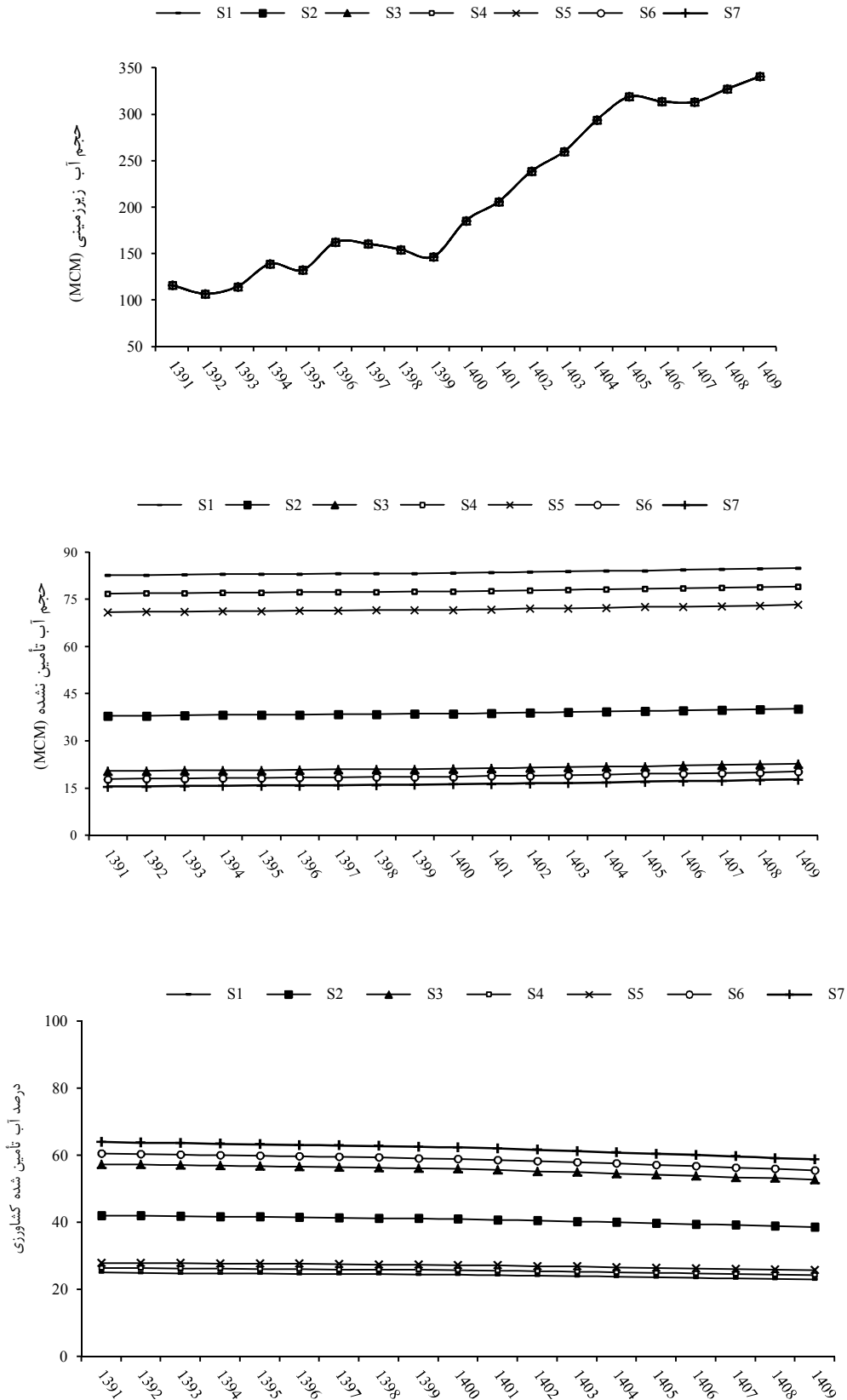
سال	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
۱۳۹۱	۱۱۷/۷	۷۳	۵۵/۵	۱۱۱/۹	۱۰۶	۵۳	۵۰/۶
۱۳۹۲	۱۱۷/۸	۷۳/۱	۵۵/۶	۱۱۲	۱۰۶/۱	۵۳/۱	۵۰/۶
۱۳۹۳	۱۱۷/۸	۷۳/۲	۵۵/۷	۱۱۲	۱۰۶/۲	۵۳/۲	۵۰/۷
۱۳۹۴	۱۱۷/۹	۷۳/۳	۵۵/۷	۱۱۲/۱	۱۰۶/۳	۵۳/۳	۵۰/۸
۱۳۹۵	۱۱۸	۷۳/۳	۵۵/۸	۱۱۲/۲	۱۰۶/۳	۵۳/۴	۵۰/۹
۱۳۹۶	۱۱۸	۷۳/۴	۵۵/۹	۱۱۲/۳	۱۰۶/۴	۵۳/۵	۵۰/۹
۱۳۹۷	۱۱۸/۱	۷۳/۵	۵۶	۱۱۲/۳	۱۰۶/۵	۵۳/۶	۵۱
۱۳۹۸	۱۱۸/۲	۷۳/۶	۵۶	۱۱۲/۴	۱۰۶/۶	۵۳/۶	۵۱/۱
۱۳۹۹	۱۱۸/۳	۷۳/۷	۵۶/۱	۱۱۲/۵	۱۰۶/۷	۵۳/۷	۵۱/۲
۱۴۰۰	۱۱۸/۴	۷۳/۷	۵۶/۲	۱۱۲/۶	۱۰۶/۹	۵۳/۹	۵۱/۳
۱۴۰۱	۱۱۸/۶	۷۳/۹	۵۶/۴	۱۱۲/۷	۱۰۶/۹	۵۳/۹	۵۱/۴
۱۴۰۲	۱۱۸/۷	۷۴/۱	۵۶/۵	۱۱۲/۹	۱۰۷/۱	۵۴	۵۱/۶
۱۴۰۳	۱۱۸/۹	۷۴/۲	۵۶/۷	۱۱۳/۱	۱۰۷/۲	۵۴/۲	۵۱/۷
۱۴۰۴	۱۱۹/۱	۷۴/۴	۵۶/۹	۱۱۳/۲	۱۰۷/۴	۵۴/۴	۵۱/۹
۱۴۰۵	۱۱۹/۲	۷۴/۶	۵۷	۱۱۳/۴	۱۰۷/۶	۵۴/۶	۵۲/۱
۱۴۰۶	۱۱۹/۴	۷۴/۷	۵۷/۲	۱۱۳/۶	۱۰۷/۷	۵۴/۷	۵۲/۳
۱۴۰۷	۱۱۹/۶	۷۴/۹	۵۷/۴	۱۱۳/۸	۱۰۷/۹	۵۴/۹	۵۲/۴
۱۴۰۸	۱۱۹/۸	۷۵/۱	۵۷/۶	۱۱۴	۱۰۸/۱	۵۵/۱	۵۲/۶
۱۴۰۹	۱۲۰	۷۵/۳	۵۷/۸	۱۱۴/۱	۱۰۸/۳	۵۵/۳	۵۲/۸

است. دلیل این امر در تفاوت نیاز آبی در سناریوهای مختلف است. بر اساس جدول ۲ سناریوی S7 کمترین نیاز آبی را دارد و بنابراین برای یک حجم آب مساوی، درصد تأمین نیاز آبی سناریوی S7 بیشتر از سایر سناریوها خواهد بود. در صورتیکه آب قابل دسترس برای سناریوها یکسان باشد (در اینجا برابر ۳۵ م.م.م) هر سناریویی که نیاز آبی کمتری داشته باشد، درصد آب تأمین شده آن نیز بیشتر خواهد بود. با افزایش محدودیت برداشت آب از آبخوان، میزان آب در دسترس برای تخصیص به نیازها کمتر می‌شود. در جدول ۲ مشاهده شد که حداقل مجموع نیاز آبی در تمامی سناریوها برابر ۳۵ م.م.م است. در صورتی که آب قابل برداشت از سفره مساوی یا کمتر از ۳۵ م.م.م باشد، در تمام سناریوها کل آب قابل برداشت از سفره تخلیه خواهد شد.

بر اساس شکل ۲- ج درصد تأمین شده مصارف آب کشاورزی در بهترین حالت (سناریوی S7) ۶۲ درصد است. سناریوی S7 که شامل کاهش سطح زیرکشت یونجه و سیب‌زمینی و افزایش راندمان آبیاری تمام زمین‌های کشاورزی است، شرایطی بسیار خوب است که دستیابی به آن مستلزم سرمایه‌گذاری بالایی است. به دلیل اینکه حتی در این سناریو کل نیاز آبی تأمین نمی‌شود و از طرفی حجم آب سفره بدون اینکه به اندازه کافی در بخش کشاورزی مصرف شود، به شدت افزایش می‌یابد، بنابراین محدودیت ۳۵ م.م.م معقول نیست. در صورتی که این محدودیت برداشت آب از آبخوان گرفته شود، توصیه می‌شود که سناریوی S7 برای اقدام عملی انتخاب شود.

شکل ۲ برخی نتایج تخصیص آب به نیازهای کشاورزی را در سناریوهای S1 تا S7 و با در نظر گرفتن محدودیت برداشت ۳۵ م.م.م نشان می‌دهد. برای هر حالت از این سناریوها دو نمودار در این شکل مشاهده می‌شود. نمودار اول نشان دهنده حجم آب موجود در سفره آب زیرزمینی می‌باشد. تغییرات حجم آب سفره در این نمودارها به دلیل تغییر در حجم آب ورودی به سفره در سال‌های مختلف است. نمودارهای دوم و سوم میزان آب تأمین نشده و درصد آب تأمین شده بخش کشاورزی را نشان می‌دهند. به دلیل اینکه تأمین نیاز آبی بخش شرب و صنعت اولویت بیشتری نسبت به کشاورزی دارد، در نتیجه در تمامی سال‌ها نیاز آبی بخش شرب و صنعت به طور کامل تأمین شده است.

طبق شکل به دلیل اینکه سقف مجاز برداشت آب از آبخوان بسیار پایین‌تر از حجم آب ورودی به سفره است، بنابراین آب کمتری تخلیه شده و سطح آب زیرزمینی افزایش یافته است. همان‌گونه که بیان شد محدودیت حجم آب قابل برداشت از سفره ۳۵ م.م.م است، در حالی که مجموع نیاز آبی بخش کشاورزی در سناریوهای S1 تا S7 همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بیشتر از ۳۵ م.م.م است. بنابراین در این حالت کل آب قابل برداشت (۳۵ م.م.م) در تمامی سناریوها از سفره تخلیه خواهد شد. در نتیجه حجم آب زیرزمینی برای سناریوهای مختلف یکسان و نمودارهای آن‌ها روی هم منطبق می‌شوند. از طرفی در نمودار شکل ۲- ب مشاهده می‌شود که میزان آب تأمین نشده سناریوهای مختلف متفاوت



شکل ۲- نتایج شبیه‌سازی سناریوهای هفت‌گانه با حداکثر مجاز برداشت ۳۵ م.م.م. از آبخوان

سقف ۷۰ و ۷۵ م.م.م سناریوهای پیشنهادی به ترتیب سناریوهای S7، S6 و S3 هستند. اگر حداکثر مجاز برداشت از سفره ۵۰ تا ۵۵ م.م.م باشد حجم آب موجود در سفره در حالت تعادل می ماند و با اعمال محدودیت بیشتر حجم آب زیرزمینی روند روبه افزایش خواهد داشت.

نتیجه گیری

سناریوی افزایش بازده آبیاری با به کارگیری سیستم های نوین آبیاری و جایگزین کردن ۲۵ تا ۵۰ درصد سطح زیرکشت یونجه و سیب زمینی با گندم آبی در کنار اعمال محدودیت برداشت آب از سفره در تعادل بخشی آبخوان مفید و مؤثر خواهد بود.

منابع

۱. روستا ب. و عراقی نژاد ش. ۱۳۸۸. خشکسالی به عنوان یکی از معیارهای پایداری و رویکرد مدیریت تقاضا در برخورد با آن. سومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف). ۸ ص.
۲. حافظ پرست مودت م. خلقی م. و فاطمی ا. ۱۳۸۷. ارزیابی و برنامه ریزی منابع آب دشت تاکستان با مدل های WEAP و LINGO. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. ۸ ص.
۳. وطن دوست. م. اژدری مقدم. م. و علی پرست. م. ۱۳۸۸. مدل سازی سناریوهای مختلف برنامه ریزی منابع آب در محدوده مطالعاتی درگز. نخستین همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب. ۱۵ ص.

4. Al-Omari A. Al-Quraan S. Al-Salihi A. and Abdulla F. 2009. A Water Management Support System for Amman Zarqa Basin in Jordan. Water Resources Management. doi: 10.1007/s11269-009-9428-z. 2009. 23, pp. 316-3189.
5. Droubi A. Al-Sibai M. Abdallah A. (ACSAD). Wolfer J. Huber M. Hennings V. (BGR). El Hajji K. Dechiech M. (ABHBC). 2008. Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources in the Arab Region: Development and Application of a Decision Support System (DSS) for Water Resources Management in Zabadani Basin, Syria and Berrechid Basin, Morocco. Report from Phase III of the Technical Cooperation

طبق جدول ۲، تنها نیاز آبی در سناریوهای S3، S6 و S7 کمتر از ۶۵ م.م.م هستند. در مورد سایر سناریوها مجموع نیاز آبی بیشتر از ۶۵ م.م.م است و بنابراین در این سناریوها کل ۶۵ م.م.م مصرف خواهد شد. اما در سناریوهای S3، S6 و S7 مقدار برداشت آب از سفره کمتر از ۶۵ م.م.م و برابر کل نیاز آبی در این سناریوها خواهد بود. بنابراین نمودار حجم آب زیرزمینی سناریوهای S1، S2، S4 و S5 روی هم منطبق و برای سناریوهای S3، S6 و S7 جدا از هم است در این حالت نیز سناریوهایی که پیشنهاد می شوند، سناریوهای S6 و S7 هستند. در این دو سناریوها کل آب مورد نیاز کشاورزی تأمین می شود. دلیل عدم انتخاب سناریوی S3 این است که سطح آب زیرزمینی در این سناریو به دلیل افزایش برداشت کاهش پیدا می کند. فقط در سناریوهای S6 و S7 است که در کنار تأمین ۱۰۰ درصدی نیازها، حجم آب زیرزمینی در طول سال ها کاهش نمی یابد. در این سناریوها سفره آب زیرزمینی در سال های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ که حجم آب موجود در سفره کاهش یافته است نیز قادر به تأمین آب کشاورزی است. در سناریوهای S1، S2، S4 و S5 در این سال ها حجم آب زیرزمینی به صفر رسیده است که نشان دهنده نامناسب بودن این سناریوها در محدودیت برداشت تا سقف ۶۵ م.م.م است.

به دلیل اینکه در سناریوهای S3، S6 و S7 نیاز آبی کل کمتر از حجم آب قابل برداشت از سفره می باشد، بنابراین کل آب برداشت شده یکسان و برابر نیاز آبی خواهد بود، اما در مورد سایر سناریوها هنوز آب قابل برداشت از سفره کمتر از کل نیاز است و در صورت عدم اعمال محدودیت، کل آب سفره تخلیه می شود.

همچنین نتایج سناریوها برای محدودیت های برداشت حداکثری ۷۰ و ۷۵ م.م.م نشان داد که گرفتن سناریوهای S1، S2، S4 و S5 به شدت سبب افزایش سطح ایستابی آب در سفره می شوند. از بین این چهار سناریو سناریوی S2 وضعیت مناسب تری نسبت به بقیه دارد و درصد نیاز تأمین شده آن در نیمی از سال های شبیه سازی برابر ۱۰۰ می باشد. البته در سال هایی که آب موجود در سفره کم می شود، درصد آب تأمین شده در این سناریو نیز شدیداً کاهش می یابد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این سناریو نسبت به خشکسالی ها بسیار آسیب پذیر خواهد بود. به این ترتیب برای محدودیت های برداشت آب تا

- Project between ACSAD and BGR.
6. Hermans E. Droogers P. and Winsemius H. 2008. Groundwater Management and Exploration Package: State of the Art for Northern China. GMEP Project. Future Water Report 74.
 7. Messouli M. Ben Salem A. Bahia Ghallabi L. Yacoubi-Khebiza M. Boughrous A. El Alami A. Filali E. Rochdane S. and Hammadi F. A. 2008. Ecohydrology and groundwater resources management under global change: a pilot study in the pre-Saharan basins of Southern Morocco.
 8. Roosta H. and Araghinejad S. 2011. Development of a Multi Criteria Decision Making Tool for the Water Evaluation and Planning System (WEAP). Regional Weap Conference. Amman, Jordan.
 9. Sandoval-Solis S. McKinney D. Teasley R. and Patino-Gomez C. 2011. Groundwater Banking in the Rio Grande Basin. Journal of Water Resources Planning and Management. 137(1): 62-71.
 10. Varela-Ortega C. Blanco-Gutierrez I. Swartz C.H. and Downing T.E. 2011. Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: An integrated hydro-economic modeling framework. Global Environmental Change. gloenvcha. 21(2): 604-619.
 11. Varela-Ortega C. Esteve P. Bharwani S. and Downing E. 2007. Public Policies for Groundwater Conservation: A Vulnerability Analysis in Irrigation Agriculture. Report presented at CAIWA 2007. International Conference on Adaptive & Integrated Water Management. Basel, Switzerland.
 12. Yates D. Sieber J. D. Purkey A. Huber-Lee. 2004. WEAP a demand, priority, and preference driven water planning model: Part 1, Model characteristics, Water International. 30: 487-500.
 13. YazdanPanah T. Davari K. Khodashenas S. and Ghahreman B. 2009. Effect of irrigation efficiency on Groundwater storages (by WEAP model). International Conference on Water Resources: Emphasis on Regional Development. Shahrood, Iran.