ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب دشت تالار با استفاده از مدل‌سازی آب زیرزمینی و سیستم‌های یکپارچه منابع آب

مجتبی خوش روش[۱]، اسماعیل نیکزاد طهرانی[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۳/۱۳

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی می‌باشد.

چکیده

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع مهم و عمده تامین آب شرب و کشاورزی به‌ویژه در مناطق شمال کشور مطرح می‌باشد. همچنین افزایش فاصله بین عرضه و تقاضا، توجه جدی به مبانی تخصیص بهینه آب را اجتناب‌ناپذیر نموده و مدیریت عرضه و تقاضای آب را ضروری می‌نماید. بنابراین شناخت عوامل مهم تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی از فاکتورهای اساسی در مدیریت صحیح جامع منابع آب از جمله بخش کشاورزی می‌باشد. در این پژوهش از مدل شبیه‌سازی و مدل مدیریت تخصیص در حوضه آبریز رودخانه تالار، واقع در استان مازندران استفاده شد. ابتدا آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی شد و سپس به‌منظور مدیریت تخصیص آب در منطقه مورد مطالعه، اطلاعات حاصل از مدل آب زیرزمینی به مدل شبیه‌سازی و تخصیص منابع آب (WEAP) انتقال یافت. برای برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه تحت مطالعه در محیط مدل‌سازی، سناریوهای معرفی مختلفی اعمال شد و تاثیر آن بر وضعیت عرضه و تقاضا و تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و افت سطح ایستابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج واسنجی مدل MODFLOW نشان داد که انطباق خوبی بین سطح ایستابی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده وجود دارد به‌طوری‌که میزان RMSE برای جریان‌های ماندگار و غیر ماندگار به‌ترتیب ۰/۳۳۶ و ۰/۴۹ به دست آمد. همچنین نتایج مدل WEAP براساس سناریوی بروز خشکسالی نشان داد که منطقه با ۱۰ میلیون مترمکعب کاهش حجم مخزن روبه‌رو خواهد شد که در نتیجه وضعیت منابع آب به‌مراتب بحرانی‌تر خواهد بود. نتایج نشان داد که با تلفیق هم‌زمان مدل آب زیرزمینی و مدل یکپارچه مدیریت منابع آب، نتایج قابل اعتمادتری در دشت مورد مطالعه به‌دست خواهد آمد.

کلمات کلیدی: تخلیه، تغذیه، سطح ایستابی GMS، WEAP.

[۱] استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ۰۹۱۱۳۵۲۱۶۵۴، khoshravesh_m24@yahoo.com (نویسنده مسئول)
[۲] کارشناس آب‌های زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ساری، ایران، ۰۹۱۱۳۵۱۸۴۵۲، nikzadtehrani@gmail.com

مقدمه

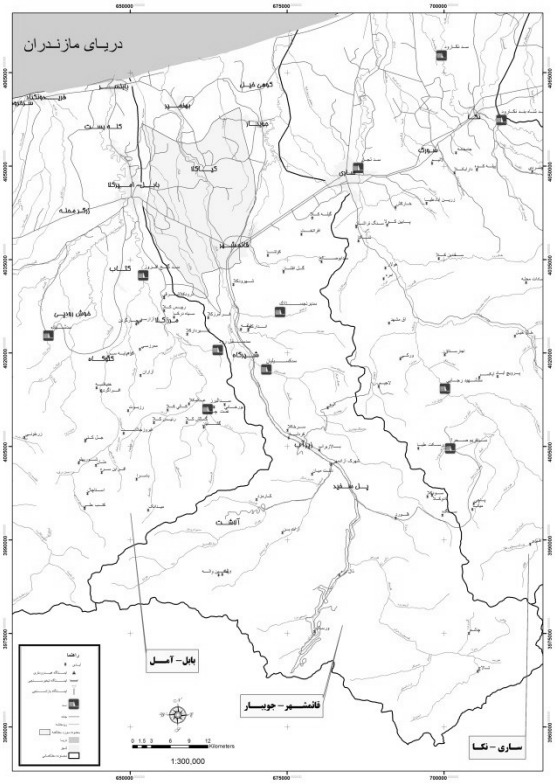
امروزه یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها در بسیاری از کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای خاورمیانه تامین آب در راستای تداوم توسعه پایدار می‌باشد. برای بسیاری از جنبه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی، مصارف کشاورزی، شهری، صنعتی و تولید برق‌آبی تامین آب امری ضروری و مولفه‌ای اساسی از محیط‌زیست محسوب می‌شود. به‌طوری‌که آب به‌عنوان یکی از باارزش‌ترین منابع طبیعی و مهم‌ترین مساله و چالش در قرن حاضر می‌باشد (بارانی، ۱۳۸۹). کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی در سراسر ایران به دلیل استخراج بیش از اندازه و حفر چاه‌های بدون پروانه معضلی است که همگان بر آن اتفاق‌نظر دارند. این در حالی است که از ۴۰۰ میلیارد مترمکعب بارش متوسط سالانه کشور، فقط ۳۵ میلیارد مترمکعب آن به مصرف تغذیه آبخوان‌ها می‌رسد و مابقی آن به‌صورت رواناب از دسترس خارج می‌شود (صداقت، ۱۳۹۳). مدیریت منابع آب به‌عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن در جهت رفع معضلات ناشی از افت کمیت و کیفیت آب مطرح است. لذا طبیعت پیچیده مسایل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب به‌هم‌پیوسته گردآوری نماید. این تعریف در واقع مفهوم مدیریت جامع آب است که اصلی‌ترین روش در راستای دستیابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی است (علیزاده، ۱۳۸۵). طی سالیان اخیر، تمایل به نگرش و مطالعه یکپارچه در توسعه طرح‌های منابع آب افزایش یافته و نیازها، مسایل کیفی و اقتصادی و سایر موارد مربوط به منابع آب در کنار هم موردتوجه قرار گرفته است (آذران فر و جلالی، ۱۳۸۴). مدیریت تخصیص آب با استفاده از روش تحلیل سناریوها و برنامه‌ریزی تکاملی یکی از راه‌های مناسب برای بالا بردن ظرفیت تامین آب و استفاده بهینه از آب موجود می‌باشد. یعنی با اعمال مدیریت مناسب بر سدهای موجود و مخازن زیرزمینی، اتخاذ سیاست‌های بهینه‌ی بهره‌برداری از آن‌ها و همچنین پیش‌بینی مناسب از میزان تقاضا در آینده، می‌توان بدون اجرای طرح‌های جدید ظرفیت منابع آب موجود را با هزینه مناسب افزایش داده و جلوی خسارت ناشی از تخصیص نامناسب آب را گرفت (سلطانی، ۱۳۸۵). مدل‌های آب زیرزمینی ابزاری در اختیار می‌دهد تا بتوان داده‌های موجود را تبدیل به ویژگی‌های عددی برای سامانه آب زیرزمینی نمود، چنین مدلی تا حد زیادی نماینده سامانه آب زیرزمینی خواهد بود و این مکان را به کارشناس می‌دهد تا بتواند واکنش سامانه در برابر تنش‌های هیدرولوژیکی پمپاژ را به‌صورت عددی نشان دهد. مدل ریاضی آب زیرزمینی شبیه‌سازی یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می‌گیرد. در این راستا مدل‌سازی آبخوان و سیستم‌های منابع آب، ضروری است که از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) استفاده شود تا بتوان اطلاعات ورودی و خروجی مدل را به‌صورت مدون و در قالب سطوح اطلاعات مختلف تهیه و ارایه نمود. سامانه اطلاعات مکانی مجموعه‌ای است که بهره‌گیری از امکانات علمی، دستیابی به اطلاعات، پردازش داده‌ها و استخراج نتایج را در کمترین زمان، ممکن می‌سازد. شایان‌ذکر است که تحلیل‌های هیدروژئولوژیکی با توجه به خصوصیات پدیده‌های مورد بررسی نسبت به نتایج مکانی و زمانی داده‌ها، بسیار حساس می‌باشد. معمولا اطلاعات موجود قبل از استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی نیاز به پیش‌پردازش و مدیریت دارد؛ بنابراین استفاده از GIS جزء لاینفک شبیه‌سازی و مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب به‌حساب می‌آیند. راسکین و همکاران در پژوهشی برای بررسی دلایل کاهش سطح آب دریاچه آرال، مدل WEAP را به کار بردند. مشکل اصلی، کاهش تراز آب دریاچه آرال در اثر برداشت‌های بی‌رویه آب و توسعه کشاورزی در بالادست بود. در این راستا با استفاده از مدل WEAP مطالعه‌ای صورت گرفت که هدف آن ارزیابی وضعیت موجود بیلان آب و تحلیل سناریوهای مدیریتی بود. سناریوهای مدیریتی عبارت بودند از تغییر الگوی مصرف، مدیریت بهتر سیستم و توسعه منابع جدید آب (Raskin et al., 1992). ابریشمچی و همکاران با استفاده از مدل سناریوهای مدیریت منابع آب، حوضه آبریز رودخانه کرخه را مورد

ارزیابی قرار دادند. شاخص‌های مدیریت و توسعه منابع آب مورد ارزیابی شامل مدیریت تقاضا در بخش‌های خانگی و صنعت، بهره‌برداری از مخزن، افزایش راندمان آبیاری، تغییر اولویت‌های تخصیص آب، گسترش اراضی آبی و افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی بود. نتایج نشان داد که مدیریت تقاضا و افزایش راندمان آبیاری اثرات مهمی بر روی پوشش تقاضای آب داشتند، بنابراین ترکیبی از مدیریت تقاضا، افزایش راندمان آبیاری و بهره‌برداری از سدهای در حال ساخت پیشنهاد شد (Abrishamchi et al., 2007). دکنداپا و همکاران حوضه آبریز ولتا را با استفاده از مدل WEAP مدل‌سازی کردند. نتایج ارزیابی شبیه‌سازی مدل نشان دادند که ضریب نش-ساتکلیف برای ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف بین ۰/۵۶ تا ۰/۸۶ متغیر بود (De DeCondappa et al., 2009). سینگ و همکاران در تحقیقی با استفاده از مدل WEAP مدل‌سازی بارش-رواناب را برای حوضه رودخانه ماهانادی در هندوستان انجام دادند. نتایج برای ۶ ایستگاه هیدرومتری نشان داد که اختلاف بین مقادیر دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کمتر از ۱۰ درصد بود (Singh et al., 2014). سعیدی نیا و همکاران در سال ۱۳۸۷ با انجام مدل‌سازی ماهانه منابع آب، با استفاده از مدل WEAP اثرات طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون را مورد بررسی قرار دادند که بر اساس آن، نتایج نشان داد خروجی رودخانه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ در افق آینده با فرض اینکه طرح‌های توسعه منابع آب تعریف‌شده به مرحله بهره‌برداری برسند، به‌طور متوسط نسبت به شرایط عدم توسعه حوضه بالادست، ۲۷ درصد کاهش خواهد یافت. براتی (۱۳۷۵) تغذیه مصنوعی و طبیعی آبخوان دشت امام‌زاده جعفر گچساران را با استفاده از مدل MODFLOW ارزیابی کرد. از نتایج عمده حاصل از این تحقیق می‌توان به تغییر پارامترهای ضریب ذخیره، ضریب انتقال و ضریب نفوذ بارش که توسط شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس تخمین زده شده بود و نیز پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی با در نظر گرفتن تغذیه مصنوعی در دشت اشاره نمود. رضایی و سرگزی (۱۳۸۸) اثرات اجرای تغذیه مصنوعی را بر روی آبخوان دشت گوهرکوه با استفاده از مدل عددی MODFLOW بررسی کردند. آن‌ها پس از شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی بهترین محل را برای اعمال تغذیه مصنوعی در نظر گرفتند. آن‌ها نتیجه گرفتند که واکنش آبخوان در برابر اعمال تغذیه مصنوعی مثبت است و تغذیه مصنوعی اثرات مخربی بر روی آبخوان ندارد. دانائیان به ارزیابی آب زیرزمینی و شبیه‌سازی اثرات مخازن تغذیه مصنوعی در دشت ابراهیم‌آباد یزد با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW پرداخت. وی جهت مطالعه تاثیر تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی نوعی شبیه‌سازی برگشتی انجام داد. نتایج نشان داد که اجرای تغذیه مصنوعی میزان تخلیه از خروج اصلی و قنات بغداد آباد را که در کنار خروجی واقع شده است، کاهش می‌دهد (Danaeian, 1997). شمسایی و امیربیکی (۱۳۸۳) به مدیریت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی یزد با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که آنچه مدل با شرایط بهره‌برداری فعلی نشان می‌دهد این است که اکثر چاه‌های مشاهده‌ای پس از یک سال، افتی بیش از ۱۰ سانتی‌متر تا ۱/۴ متر را نشان می‌دهند. درصورتی‌که هیچ‌گونه چاه جدیدی به سیستم آبخوان یزد اضافه نشود، این افت پس از پنج سال برداشت متوالی به بیش از پنج متر در بعضی از نقاط دشت خواهد رسید. هدف اصلی از انجام این پژوهش، برقراری ارتباط بین مدل WEAP و MODFLOW2000 با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی در سیستم‌های منابع آب می‌باشد که با برقراری ارتباط میزان ذخیره در دشت تالار، معادله بیلان و سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین به ارزیابی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب در حوضه آبریز رودخانه تالار با استفاده از مدل WEAP پرداخته خواهد شد. این مدل با شناسایی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب تحت سناریوهای مختلف و به دنبال آن کمک به شناسایی و پیاده‌سازی راهکارهای اثربخش برای حل بسیاری از مسایل مربوط به منابع آب در حوضه آبریز رودخانه تالار کمک می‌نماید.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده مطالعاتی قائم‌شهر- جویبار و دشت تالار واقع شده است. محدوده مورد مطالعه جزو محدوده مطالعاتی قائم‌شهر – جویبار با کد ۱۵۰۲ بین طول‌های جغرافیایی ′۴۷ °۵۲ تا ′۵۵ °۵۳ (۶۶۰۲۵۱ تا ۶۷۲۴۴۲ متر) شرقی و ′۲۳ °۳۶ تا ′۳۱ °۳۶ (۴۰۲۸۲۲۷ تا ۴۰۴۳۱۸۷ متر) شمالی می‌باشد که این محدوده در شرق حوضه تلفیق بین محدوده ساری– نکا در شرق و بابل – آمل در غرب با مساحت نزدیک به ۳۳۴۸/۱ کیلومترمربع واقع شده است که ۹۳۵/۵ کیلومترمربع آن دشت و بقیه (۲۴۱۲/۶ کیلومترمربع) شامل ارتفاعات می‌باشد (شکل ۱). با توجه به شرایط اقلیمی حوضه آبریز رودخانه تالار و خصوصیات سنگ‌شناسی، ریخت‌شناسی و زمین‌ساخت کوه‌های منطقه و رژیم هیدرولوژیکی رودخانه و وضعیت زمین‌شناسی حوضه، دشت مطالعاتی قائم‌شهر- جویبار با خصوصیاتی منحصربه‌فرد در این استان تشکیل شده است که به‌عنوان بهترین و مناسب‌ترین میدان بهره‌برداری مطرح و مورد استفاده می‌باشد. در سال‌های اخیر با توجه کاهش نزولات آسمانی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، محدوده مطالعاتی موردنظر با افت سطح آب زیرزمینی روبه‌رو شده است که شناخت کامل فاکتورهای تاثیرگذار و روابط بین منابع و مصارف در یک حوضه الزامی می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

آماده‌سازی داده‌ها و اطلاعات موردنیاز مدل MODFLOW در محیط ArcGIS

به‌منظور مدل‌سازی جریان آب و انتقال آن به مدل WEAP از نرم‌افزار GMS استفاده شده که باید ابتدا اطلاعات ورودی آن پردازش شود. در این راستا داده‌ها و اطلاعاتی ازجمله، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، آمار بارندگی، میزان نرخ تبخیر و تعرق، اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری، اطلاعات سطح آب زیرزمینی، نقشه‌های قابلیت انتقال حاصل از آزمون پمپاژ، آمار رودخانه‌های موجود و آب‌های سطحی از شرکت آب منطقه‌ای مازندران تهیه شد. با استفاده از اطلاعات گردآوری‌شده، وسعت محدوده‌ی موردمطالعه، تعداد لایه‌های آبدار موجود، ضخامت لایه‌ها، شرایط مرزی، توپوگرافی، ضرایب هیدرودینامیکی و تقسیم‌بندی زمانی مشخص گردید. تمامی این اطلاعات و ورودی‌ها با استفاده از GIS و در محیط ArcGIS 10، مورد تحلیل و پردازش قرار گرفت و خروجی آن در مدل‌های آب زیرزمینی و سیستم منابع آب مورداستفاده قرار گرفت. برخی از داده‌های ضروری

جهت شبیه‌سازی مدل MODFLOW و کاربرد آن در نرم‌افزار GMS در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱): داده‌های ضروری برای شبیه‌سازی مدل MODFLOW

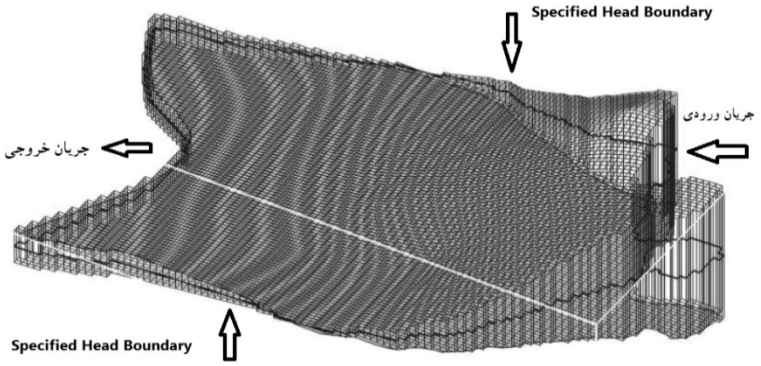
ردیف	داده موردنظر	کاربرد در نرم‌افزار GMS
۱	نقشه توپوگرافی	جهت شبیه‌سازی Top Layers
۲	آمار بارش و تبخیر و تعرق	جهت محاسبه تغذیه و تبخیر و تعرق
۳	اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری	جهت تخمین میزان تخلیه
۴	آمار رودخانه و آب سطحی	جهت تخمین زهکش و تغذیه توسط رودخانه
۵	آمار چاه‌های پیزومتری	جهت محاسبه Starting Head و شرایط مرزی آبخوان
۶	نقشه قابلیت انتقال	جهت محاسبه هدایت هیدرولیکی
۷	نقشه ضخامت آبخوان	جهت شبیه‌سازی Bottom Layers

در این پژوهش، هدف اصلی از مدل‌سازی محدوده رودخانه تالار، ارزیابی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب تحت سناریوهای تعریف شده شامل ۱) ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی ۲) کاهش برداشت از آب زیرزمینی ۳) وضعیت منابع آب در صورت خشکسالی و به دنبال آن کمک به شناسایی و پیاده‌سازی راهکارهای اثربخش برای حل بسیاری از مسایل مربوط به منابع آب در حوضه آبریز رودخانه تالار می‌باشد. نخستین گام بعد از تعیین هدف، تهیه مدل مفهومی سیستم آبخوان می‌باشد. مدل مفهومی شامل تعیین محدوده آبخوان، شرایط مرزی، میزان تغذیه سطحی، تخمین‌های اولیه از پارامترهای هیدرولیکی آبخوان (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه)، میزان استخراج آب زیرزمینی از طریق چاه‌های بهره-برداری و چشمه‌ها و آب برگشتی از آن‌ها و چاه‌های مشاهداتی می‌باشد.

طراحی و اجرای مدل MODFLOW و WEAP

پس از کامل شدن مدل مفهومی، با توجه به اطلاعات پایه آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین به این منظور که بتوان به جواب‌های قابل قبولی با حداقل تعداد گره‌ها دست یافت، ابعاد شبکه به‌طور یکنواخت ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد که درنتیجه شبکه‌بندی منطقه شامل ۳۷ ستون و ۵۲ ردیف شد. برای حل معادله دیفرانسیل جزئی علاوه بر شبکه‌بندی مکانی، زمان نیز باید به دوره‌های زمانی کوچک‌تر تقسیم شود. لذا در منطقه مورد مطالعه، دوره‌های تنش با توجه به داده‌های هیدروژئولوژیکی در دسترس منطقه و هدف مدل‌سازی انتخاب شدند. در نهایت شبکه MODFLOW شامل مجموعه‌ای از لایه‌های تهیه‌شده از جمله لایه‌های سطح و کف آبخوان، تغذیه، هدایت هیدرولیکی و ... می‌باشد. شکل ۲ مدل مفهومی و مرزهای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به هدف از انجام این پژوهش که مدیریت منابع آب با استفاده از مدل‌های WEAP و MODFLOW می‌باشد، می‌بایست مدل MODFLOW به صورتی ایجاد شود که با مشخصات موردنیاز برای اتصال به مدل WEAP هماهنگ باشد. مدل WEAP، اطلاعات موردنیاز خود را از اولین گام زمانی مدل MODFLOW دریافت می‌کند و گام‌های زمانی بعدی را با توجه به این اطلاعات اجرا می‌نماید؛ بنابراین دشت تالار در یک دوره زمانی یک‌ماهه در حالت پایدار (شهریور ۱۳۹۳) برای انجام واسنجی و بهینه‌سازی پارامترها و پس از آن، در یک دوره زمانی یک‌ماهه در حالت ناپایدار (مهر ۱۳۹۳) توسط مدل MODFLOW و مابقی شرایط ناپایدار تا پایان سال آبی ۱۳۹۴ توسط مدل WEAP شبیه‌سازی شد. پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار، مدل برای ۳۰ روز (مهرماه ۹۳) در حالت ناپایدار اجرا شد. کلیه داده‌های موردنیاز در مدل ناپایدار که وابسته به زمان می‌باشند، برای دوره تنش موردنظر به مدل وارد شد و مدل برای حالت ناپایدار

اجرا شد. پس از تصحیح مقدار جریان‌های ورودی و هیدرولیکی، مدل واسنجی شد. در شرایط غیرماندگار، آبدهی ویژه با توجه به داده‌های موجود و شرایط دشت منطقه‌بندی و به چهار منطقه تقسیم‌بندی شد. همچنین روش حل معادلات در مدل خروجی و پارامترهای MODFLOW، به‌صورت غیرمستقیم و به سه روش بوده که در اجرای این مدل از روش PCG2 استفاده شده است.



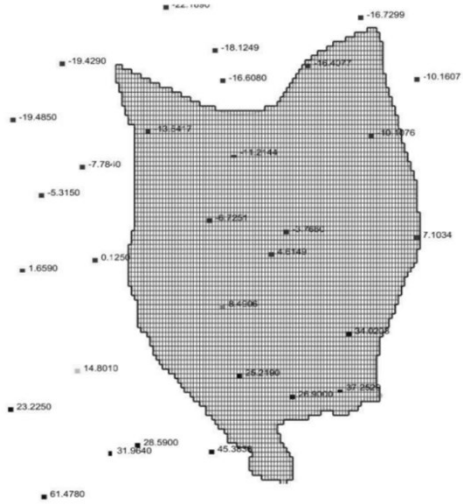
شکل (۲): مدل مفهومی و مرزهای منطقه مورد مطالعه

نتایج و بحث

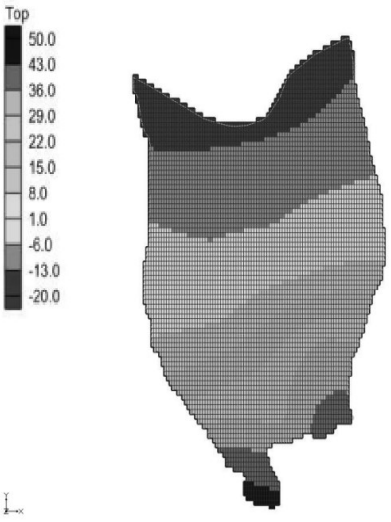
اجرای مدل MODFLOW

واسنجی مدل در شرایط پایدار و ناپایدار: مدل جریان در شرایط پایدار به‌منظور کم کردن مجهولات معادله حاکم بر سیستم جریان آب زیرزمینی و استفاده از نتایج آن در تهیه مدل جریان حالت ناپایدار ساخته شد. از نتایج مدل واسنجی شده حالت پایدار آبخوان دشت تالار برای تخمین پارامترهای هدایت هیدرولیکی و تغذیه در مدل حالت ناپایدار استفاده شده است. داده-های پایه ورودی برای اجرای مدل MODFLOW در جدول ۱ ارایه شده است. در اولین اجرای مدل در حالت پایدار، هم‌خوانی چندانی بین روند منحنی‌های تراز محاسباتی و مشاهده‌ای وجود نداشت که احتمالا به دلیل عدم قطعیت پارامترهای مربوط به شرایط مرزی، میزان تغذیه و هدایت هیدرولیکی می‌باشد. لذا این پارامترها برای رسیدن به انطباقی نزدیک بین سطوح تراز آب زیرزمینی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای تنظیم و تعدیل شد. ریشه میانگین مربعات خطا در حالت پایدار مقداری برابر با ۰/۳۳۶ دارد که این عدد مقدار قابل قبولی از خطا می‌باشد.

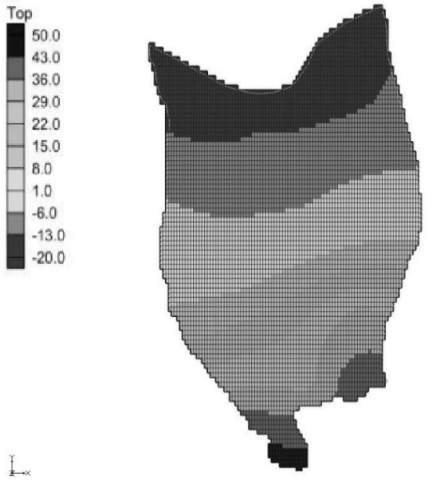
در واسنجی مدل انطباق خوب تراز مشاهداتی و محاسباتی در پیزومترها و همچنین به‌دست آوردن ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۳۳۶، حاکی از شبیه‌سازی قابل‌قبول مدل رودخانه تالار می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). جدول ۲، خلاصه خطاهای واسنجی مدل را در شرایط مختلف نشان می‌دهد. همچنین برازش مقادیر محاسباتی و مشاهداتی در پایان مرحله واسنجی مدل در حالت ناپایدار برابر R^2=0.89 به-دست آمد که با نتایج چیت‌سازان و ساعت‌ساز (۱۳۸۴) همخوانی دارد.



شکل (۳): وضعیت پیزومترها بعد از واسنجی در حالت پایدار



شکل (۴): نقشه سطح ایستابی مشاهداتی در حالت پایدار



شکل (۵): نقشه سطح ایستابی شبیه‌سازی‌شده در حالت پایدار

جدول (۲): خلاصه خطاهای واسنجی مدل در حالت پایدار

شرایط	Mean Error	Mean Abs. Error	Root Mean Sq. Error
حالت پایدار	-۰/۰۴۶	۰/۲۴۴	۰/۳۳۶
حالت ناپایدار	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۴۹

اجرای مدل WEAP

به‌منظور انجام مدل‌سازی، ابتدا بایستی منابع و مصارف و سایر عوامل تاثیرگذار مورد بررسی قرارگرفته و سپس به محیط مدل معرفی شود. در محدوده مطالعاتی تالار، مصارف آب به دسته‌های شرب، کشاورزی و صنعت تقسیم‌بندی شده است. به‌منظور به‌کارگیری دقت بیشتر در مدل، هر یک از این مصارف تا حد امکان تفکیک شدند. بر این اساس، نیاز کشاورزی به چهار دسته، نیاز شرب به چهار دسته تقسیم شد و یک گره نیز به‌عنوان نیاز صنعت در نظر گرفته شد. منابع فراهم‌کننده آب در محدوده مورد مطالعه نیز به دسته‌های رودخانه‌ها، سفره آب زیرزمینی، آب‌بندان‌ها و چشمه‌ها تقسیم‌بندی شده است. علاوه بر بررسی مراکز نیاز و تامین‌کننده‌های آب در محدوده مورد مطالعه، تعیین روابط هیدرولیکی بین آن‌ها نیز از اهمیت

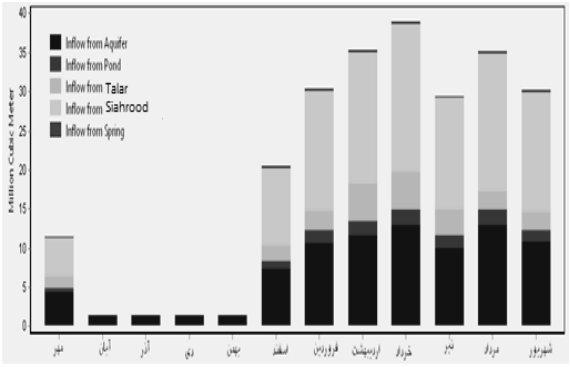
بسیاری برخوردار است. جدول ۳ داده‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی در مدل WEAP را نشان می‌دهد. دوره آماری شبیه‌سازی شده در شرایط ناپایدار تا پایان سال آبی ۱۳۹۴ توسط مدل WEAP شبیه‌سازی شد.

جدول (۳): داده‌های موردنیاز جهت شبیه‌سازی در مدل WEAP

ردیف	مدل WEAP
۱	خروجی مدل MODFLOW به‌عنوان ورودی WEAP
۲	نیاز شرب
۳	نیاز کشاورزی
۴	نیاز صنعت
۵	حجم آب‌بندان ها
۶	مصرف از چاه‌ها و آب‌های سطحی

اتصال WEAP و MODFLOW

به‌منظور ایجاد ارتباط بین مدل‌های MODFLOW و WEAP از نرم‌افزاری به‌نام LinkKitchen بهره گرفته شد. پس از ایجاد ارتباط بین سلول‌های MODFLOW و گره‌های WEAP، در اولین گام زمانی، WEAP اطلاعات را از MODFLOW دریافت کرده و با استفاده از اطلاعات خود برای گام زمانی دوم محاسبات را انجام می‌دهد و مدل MODFLOW جدیدی ایجاد می‌کند. پس از این، تمامی محاسبات بر اساس کدهای MODFLOW ایجاد شده توسط WEAP صورت گرفت و تا آخرین گام زمانی ادامه می‌یافت. شکل ۶ نحوه تامین آب از منابع مختلف را در ماه‌های مختلف سال آبی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، پس از رودخانه سرخ‌رود، آبخوان آزاد موجود در دشت، منبع اصلی تامین‌کننده آب است؛ و پس از آن رودخانه شاهرود و آب‌بندان‌ها قرار دارند.



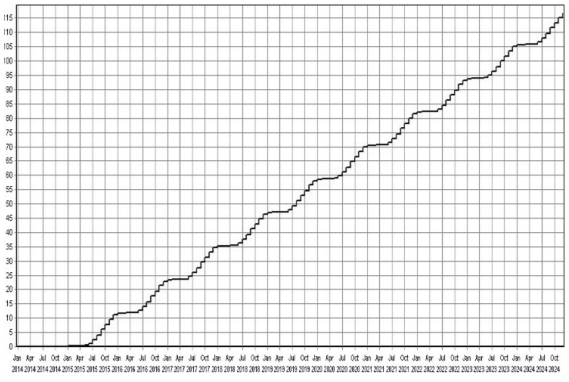
شکل (۶): نحوه تامین آب در ماه‌های مختلف

سناریوی اول: ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورز

به ازای هر هکتار شالیزار سالیانه حدود ۹۰۰۰ مترمکعب آب در کشت اول و ۷۰۰۰ مترمکعب آب در کشت دوم مصرف می‌شود (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۴). در کشت دوم بدون نشا، این مقدار در حدود ۳۰۰۰ مترمکعب در طول دوره کشت تخمین زده می‌شود. با توجه به اینکه در محدوده مورد مطالعه، تقریبا بخش زیادی کشت به برنج اختصاص دارد و این محصول، یکی از پرمصرف‌ترین محصولات در میان محصولات کشاورزی از نظر مصرف آب است، کاهش الگوی آبیاری و اتخاذ روشی به‌منظور کاهش مصرف آب، می‌تواند از هدر رفت حجم قابل توجهی آب جلوگیری کند. به این منظور، گزینه دومی که در نظر گرفته شده، صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۲۰ درصد است. به این معنی که از حدود ۲۱۰ میلیون مترمکعب مصرف کشاورزی، در هر سال حدود ۴۲ میلیون مترمکعب کاسته خواهد شد.

در این مورد، محدودیت تامین آب کشاورزی که میزان آن در سناریوی مرجع و سناریوی اول به‌ترتیب ۱۰ و ۵ میلیون مترمکعب بود، به ۳ میلیون مترمکعب رسیده و علاوه بر این مصرف آب شرب ئم‌شهر نیز، با انتقال از حاشیه دریا به سمت مناطق مرکزی دشت، محدودیت برداشتی نخواهد داشت. شکل ۷ ذخیره آب زیرزمینی پس از اعمال این سناریو در مقایسه با سناریوی مرجع را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق با یافته‌های موحدیان و صمدی (۱۳۹۲) همخوانی دارد

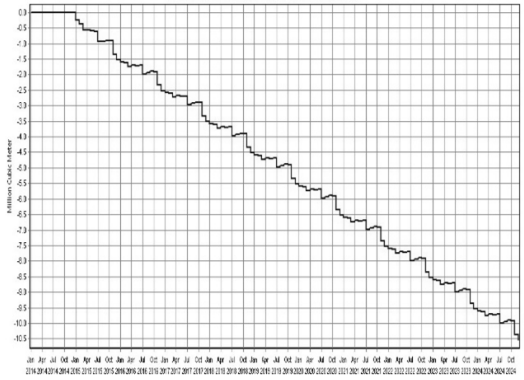
که با کاهش سطح زیر کشت گیاهان پرمصرف شرایط بهتری را برای مخزن سد در دوران خشک‌سالی به همراه دارد.



مرجع شکل (۷): مقایسه حجم آب موجود در آبخوان در سناریوی اول با سناریوی

سناریوی دوم: وضعیت منابع آب در صورت بروز خشک‌سالی

با توجه به بررسی سطح آب زیرزمینی در منطقه، تفاوت افت ایجاد شده در اثر خشکسالی با سناریوی مرجع مقدار چندانی به نظر نمی‌رسد. این تفاوت در برخی مناطق تا یک متر می‌رسد. به نظر می‌رسد علت این امر وابستگی بیشتر تغییرات سطح آب زیرزمینی به برداشت، نسبت به وابستگی آن به عوامل هیدرولوژیکی است. در سناریوهای قبلی که برداشت از آب زیرزمینی کاهش داشت، تفاوت بیشتری در تغییرات سطح آب زیرزمینی مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، حجم آب موجود در آبخوان، در صورت بروز خشکسالی علاوه بر مقداری که در سناریوی مرجع به‌عنوان کاهش ذخیره استاتیک مشاهده شد، حدود ۱۰ میلیون مترمکعب دیگر نیز کاهش خواهد داشت. این میزان در نتیجه کاهش تغذیه به آب زیرزمینی است. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج تحقیق مالمیر و همکاران (۱۳۹۵) همخوانی دارد. آنها سناریوهای اقلیمی A2 را شبیه‌سازی کردند که با افزایش ۱/۶ درجه سانتی‌گراد در دما و کاهش ۱/۷۷ درصد بارندگی روبه‌رو بوده است. همچنین نتیجه گرفتند که در وضعیت سطح زیر کشت کنونی، تحت سناریوهای اقلیمی و کاربرد مدل WEAP افزایش نیاز تامین نشده بخش کشاورزی در منطقه قره‌سو در دوره آتی را نشان می‌دهد.



شکل (۸): نسبت تغییرات حجم مخزن آب زیرزمینی در سناریوی خشکسالی در مقایسه با سناریوی مرجع

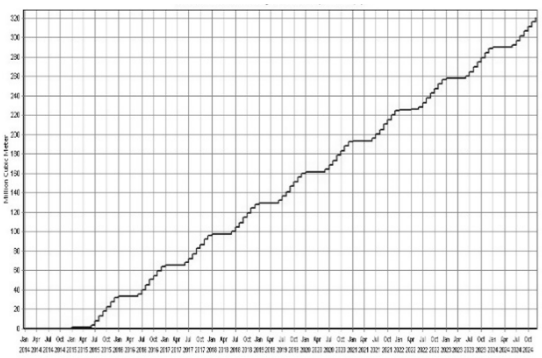
سناریوی سوم: کاهش برداشت آب از منابع آب زیرزمینی

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، سی درصد نیاز کشاورزی از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. همچنین در سناریوی مرجع مشاهده شده که این میزان برداشت از آب زیرزمینی باعث کاهش قابل‌توجه ذخیره استاتیک آبخوان شده است. به همین دلیل، کاهش برداشت از آب زیرزمینی و جبران آن توسط منابع سطحی می‌تواند از سناریوهای مناسب باشد. البته باید در نظر داشت که به این منظور باید زیرساخت‌های مناسبی جهت تامین آب سطحی موردنیاز ایجاد شود. به این منظور، سناریویی تعریف شد که مصرف آب زیرزمینی به‌منظور کشاورزی ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

بررسی سطح آب زیرزمینی در منطقه، نشان‌دهنده کاهش بسیار نامحسوس در سطح آب زیرزمینی در طول دوره سناریو است. به این معنی که در نتیجه کاهش برداشت از آب زیرزمینی تنها به میزان ۱۵ درصد، سطح آب در آبخوان از افت بی‌رویه حفظ می‌شود. همان‌طور که قبلا اشاره شد، به علت برداشت زیاد آب شرب، آب شور دریا در حال نفوذ است.

جلوگیری از این مشکل، نیازمند مطالعه دقیق‌تر و بررسی جامع این مشکل می‌باشد.

از اهداف اصلی ایجاد سناریو با موضوع کاهش برداشت از آب زیرزمینی، جلوگیری از برداشت از ذخیره استاتیک آبخوان می‌باشد. به این منظور، رابطه حجم آب این سناریو با سناریوی مرجع در شکل زیر آورده شده است.



شکل (۹): تغییرات حجم آب زیرزمینی در سناریوی کاهش برداشت از آب زیرزمینی نسبت به سناریوی مرجع

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، حجم آبی که از استحصال آن با اعمال این سناریو جلوگیری می‌شود، تقریبا برابر با میزانی است که در سناریوی مرجع از ذخیره استاتیک برداشت شده بود. بر این اساس با اعمال این سناریو حجم آب آبخوان در ابتدای مدل‌سازی ۷۷۰۱ میلیون مترمکعب تخمین زده شده که با اعمال این سناریو در پایان دوره مدل‌سازی به ۷۸۱۰ میلیون مترمکعب می‌رسد که نشان‌دهنده جلوگیری از برداشت از ذخیره استاتیک سفره است. البته اگر با کاهش برداشت آب از آبخوان، الگوی کشت و آبیاری تغییری نداشته باشد، با محدودیت سایر منابع آبی مواجه خواهیم بود. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج مطالعه کرمانشاهی و همکاران همخوانی دارد (Kermanshahi et al., 2013). آن‌ها با بررسی سناریوهای تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت و همچنین تلفیقی از این دو نتیجه گرفتند که با اعمال این سناریوها، میانگین سالانه آبیاری به‌ترتیب ۹، ۱۰ و ۱۸ درصد کمتر خواهد شد و متعاقبا از رقم میانگین کسری سالانه مخزن به‌ترتیب ۱۳، ۸ و ۱۸ درصد کاسته می‌شود. آذری و همکاران با ترکیب مدل-های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی، یک مدل بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی ارایه نمودند. برای این منظور بر اساس مدل چند هدفه NSGAII– و با اتصال دینامیک مدل‌های WEAP و MODFLOW اهداف بیشینه کردن اطمینان‌پذیری تامین نیازها و کمینه نمودن افت تراز آب زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که رابطه رودخانه‌ها و آبخوان‌ها از یک مکان به مکان دیگر متفاوت است و با اعمال این مدل‌ها می‌توان مدیریت منابع آب را بهبود بخشید و مخاطرات محیط زیست را کاهش داد (Azari et al., 2015).

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی در شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت تالار و بررسی شرایط مدیریت منابع آب صورت گرفته است. به‌همین منظور با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی MODFLOW و لینک آن به مدل WEAP، مصارف و همچنین منابع آب دشت تالار مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی تهیه شده در نرم‌افزار ArcGIS 10، مدل جریان دشت ساخته و واسنجی شد. سپس اثر ۲۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی و وضعیت منابع آب در صورت بروز خشکسالی در محدوده مطالعاتی بررسی شد. تغییر الگوی کشت از شالیزار به باغات، کاهش برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین (قطره‌ای) می‌تواند در جلوگیری از بروز خشکسالی موثر باشد. نتایج سناریوها نشان داد که بیشترین اثر منفی به آبخوان آب زیرزمینی، در نتیجه اضافه برداشت کشاورزی می‌باشد. همان‌طور که در سناریوی کاهش برداشت از آب زیرزمینی مشاهده شد، با کاهش برداشت از آب زیرزمینی به نصف، مشکل کاهش ذخیره استاتیک از بین می‌رود. این بدان معنی است که در حال حاضر برداشت از آبخوان دو برابر آبدهی مجاز است. در صورت بروز خشکسالی در منطقه که احتمال آن نیز زیاد است، وضعیت منابع آب به‌مراتب بحرانی‌تر خواهد بود. در اثر

خشکسالی تغذیه طبیعی به آبخوان کاهش خواهد یافت و آب‌های سطحی نیز پاسخگوی نیاز روزافزون کشاورزی نخواهد بود. این امر می‌تواند منجر به برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و تخریب بیشتر آبخوان شود. شایان ذکر است که ادامه روند فعلی کشاورزی، در صورت کاهش دبی رودخانه‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود. به‌طور کلی با برداشت آب زیرزمینی و شور شدن آبخوان طی چند سال آینده، منابع تامین آب شرب به‌ویژه شهر قائمشهر و شهرهای اطراف از دست خواهد رفت که لزوم بازنگری مدیریت یکپارچه منابع آب را در این منطقه می‌طلبد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌دلیل تامین هزینه‌های طرح پژوهشی با کد قرارداد ۰۹-۱۳۹۶-۰۲، کمال تشکر را دارند.

منابع

آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۴. آمارنامه کشاورزی جلد اول محصولات زراعی سال ۹۲-۱۳۹۱. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، چاپ اول، ۱۵۶ صفحه.

بارانی، س. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی آبخوان دشت مروست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

براتی، ح. ۱۳۷۵. ارزیابی تغذیه مصنوعی و طبیعی سفره آب زیرزمینی دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از مدل ریاضی سه‌بعدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه تهران.

چیت سازان، م و م. ساعت‌ساز. ۱۳۸۴. کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز. علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۱۴، ص ۱۵-۱.

رضایی، م و ا. سرگزی. ۱۳۸۹. بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه. مجله علوم زمین، سال ۱۹، شماره ۷۶، ص ۱۰۶-۹۹.

سعیدی‌نیا، م.، ح. صمدی بروجنی، د. عرب و ع. زارعی. ۱۳۸۴. بررسی میزان آب قابل انتقال از سرشاخه‌های کارون به حوضه های مجاور با استفاده از مدل WEAP. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

سلطانی، م. ۱۳۸۵. مدیریت تخصیص آب با استفاده از روش تحلیل سناریوها و برنامه‌ریزی تکاملی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

شمسایی، م و م. ع. امیربیگی. ۱۳۸۳. مقالات اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران.

صداقت، م. ۱۳۹۳. *زمین و منابع آب*. انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم، ۲۸۸ صفحه.

علیزاده، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی تأثیر هیدرولوژیکی سناریوهای تخصیص آب در سطح حوضه با استفاده از نرم‌افزار WEAP. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف.

کوثر، آ. ۱۳۷۴. مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها: آبیاری سیلابی، تغذیه مصنوعی، بندهای کوتاه خاکی. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. چاپ اول، ۵۳۸ صفحه.

مالمیر، م.، ا. محمدرضاپور و شریف آذری، س. ۱۳۹۵. ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر تخصیص آب کشاورزی در سطح حوضه قره سو با مدل WEAP. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره ۲۳، ص ۱۵۵-۱۴۳.

موحدیان عطار، ف. و ح. صمدی بروجنی. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد شبکه‌های سد زاینده‌رود در دوره خشکسالی با استفاده از مدل WEAP. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره ۱۴، ص ۲۸-۱۸.

مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۱۳۷۸، گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز رودخانه‌های قره‌سو-گرگان رود. جلد اول، آمار و اطلاعات و بررسی مقدماتی آن.

Abrishamchi, A., H. Alizadeh, M. Tajrishy and A. Abrishamchi. 2007. Water resources management scenario analysis in Karkheh River Basin, Iran, using WEAP model. Hydrological Science and Technology: 23(1/4), 1.

Azari, A., A. M. Akhoond-Ali, F. Radmanesh and A. Haghighi. 2015. Groundwater–surface water interaction simulation in terms of integrated water resource management (Case study: Dez plain). Journal of Irrigation Science and Engineering, 38(2): 33-47.

Danaeian, M. R. 1997. Ground Water Evaluation with Emphasis on Natural and Artificial Recharge. Thesis for Requirement of the Degree of Master of Science. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). Enschede, the Netherlands: 190p.

De Condappa, D., A. Chaponnière and J. Lemoalle. 2009. A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. Water International, 34(1): 71-87.

Kermanshahi, S., K. Davari, S. M. Hasheminia, A. Farid Hosseini and H. Ansari. 2013. Using the WEAP model to assess the impact of irrigation water use management on water resources of Neyshabour Plane. Journal of Water and Soil, 27(3): 495-505.

Raskin, P., E. Hansen, Z. Zhu and D. Stavisky. 1992. Simulation of water supply and demand in the Aral Sea Region. Water International, 17(2): 55-67.

Singh, M., V. Shinde, S. K. Pradhan, A. L. Chalodiya and K. N. Shukla. 2014. Hydrologic Modelling of Mahanadi River Basin in India Using Rainfall Runoff Model. Nature Environment and Pollution Technology, 13(2): 385-392.

Evaluation of Different Scenarios of Water Resources Management in Talar Plain using Groundwater Modeling and Integrated Water Resources Systems

Mojtaba Khoshravesh[1], Esmaeil Nikzad-Tehrani[2]

Abstract

Groundwater is considered as one of the main sources of drinking water supply and agriculture, especially in the north of Iran. Also, increasing the distance of supply and demand will inevitably pay attention to the principles of optimal water allocation and this make necessary the management of water supply and demand. Therefore, recognizing the important factors of recharge and discharge of groundwater is one of the fundamental factors in the proper management of comprehensive water resources, including agricultural sector. In this research, the simulation model and allocation management model were used in the Talar basin basin, Mazandaran province. At first, the groundwater of study area was simulated using the MODFLOW, and then the information from the groundwater model was transferred to the WEAP model for water allocation in the study area. In order to plan and manage the study area in the modeling environment, different scenarios were applied and its impact was investigated on the supply and demand status and changes in groundwater storage and water table. The results of MODFLOW calibration showed that there is a good correlation between observed and simulated water level so that the RMSE for steady and non-steady flows was 0.336 and 0.49, respectively. Also, the results of the WEAP model based on the drought scenario showed that the area with will face to decrease of 10 million cubic meters in reservoir volume, which water resources condition will be more critical. The results showed that by combining the groundwater model and integrated water resource management model, more reliable results would be obtained in the studied plain.

Keywords: Discharge, GMS, Recharge, Water table, WEAP.

[1] Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: khoshravesh_m24@yahoo.com (Corresponding author)
[2] Expert of Groundwater, Mazandaran Regional Water Company, Sari, Iran, Email: nikzadtehrani@gmail.com