نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۸۳۰-۸۱۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 817-830

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت زرندیه ساوه

ساناز بیگدلی[۱]، کیومرث ابراهیمی[۲*]، علی‌اکبر داودی‌راد[۳]، عبدالحسین هورفر[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹

چکیده

در این تحقیق وضعیت پایداری منابع آب زیرزمینی دشت زرندیه ساوه بر مبنای داده‌برداری میدانی و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای بررسی شد. با استفاده از اطلاعات داده‌برداری‌های میدانی، شبیه‌سازی آبخوان با نرم‌افزار GMS انجام و مدل برای حالت پایدار و ناپایدار در ۸۴ گام ماهانه (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) واسنجی و صحت‌سنجی شد. سه سناریوی کاربردی برای احیاء آبخوان بررسی شد. مقادیر شاخص‌های پایداری آبخوان (AS) و وابستگی به آب زیرزمینی (DG) به ترتیب برابر ۳۱/۱ و ۰/۷۸ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد آبخوان در شرایط بحرانی است و منطقه وابستگی شدیدی به منابع آب زیرزمینی دارد. بر اساس شاخص میرایی (GDR) با ادامه روند برداشت، آبخوان ۵۳ سال دیگر به‌طور کامل تخلیه خواهد شد. سناریوی کاهش برداشت ۲۰ درصدی سالانه به‌عنوان مناسب‌ترین سناریو منتج به افزایش تراز ۴ متری آبخوان طی ده سال خواهد شد. اجرای طرح تغذیه مصنوعی سیلاب‌های فصلی موجود، اثر قابل‌توجهی بر احیاء آبخوان داشته است. سناریوی انتقال و تغذیه سرریز سد الغدیر می‌تواند بر تراز آب زیرزمینی تأثیر مثبت و قابل‌توجهی، معادل ۰/۷۵ متر در سال داشته باشد. بر اساس نتایج، پارامترها و عوامل مؤثر بر تعادل‌بخشی آبخوان زرندیه، در اولویت اول کاهش برداشت و سپس افزایش تغذیه از محل سرریز سد الغدیر است که می‌تواند اثرات قابل‌توجهی در پایداری این آبخوان داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان زرندیه ساوه، بهره‌برداری پایدار، تعادل‌بخشی آب زیرزمینی، تغذیه مصنوعی، پایش میدانی

مقدمه

وجود منابع آب یکی از عوامل مهم ادامه حیات بشری و محیط‌زیست است که برای توسعه اقتصادی و اجتماعی هر جامعه‌ای یک شرط اساسی است. کشور ایران در منطقه نسبتاً خشک کره‌ی زمین واقع‌شده است. متوسط میزان بارندگی سالانه جهانی ۸۶۰ میلی‌متر است که این مقدار در ایران مساوی ۲۵۰ میلی‌متر یعنی رقمی کمتر از یک‌سوم متوسط میزان بارندگی سالانه جهان است (علیزاده، ۱۳۸۹). از سوی دیگر متوسط تبخیر سالانه در ایران سه برابر متوسط تبخیر جهانی است (رضیئی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به شرایط اقلیمی (میزان بارندگی کم و پراکنش مکانی و زمانی نامناسب) محدودیت و بحران منابع آبی در ایران مشکل بسیار جدی است (علیزاده، ۱۳۸۹). در سال‌های اخیر، خشک‌سالی‌های متعدد و نیز فعالیت‌های زیست‌محیطی مخرب انسانی موجب افزایش استفاده از منابع آب زیرزمینی و افت چشمگیر سطح منابع آب زیرزمینی شده است (دوستی رضایی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ بنابراین استفاده روزافزون از منابع آب زیرزمینی و محدودیت منابع آب تجدید پذیر سبب شده است که این منابع در وضعیت بحرانی قرار بگیرند. بر اساس گزارش‌های وزارت نیرو سالانه ۵۰ میلیارد مترمکعب از منابع آب‌های زیرزمینی کشور بهره‌برداری می‌شود که بخش عظیمی از این برداشت‌ها برای تأمین آب شرب و کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد (خسروانیان، ۱۳۹۶)؛ بنابراین بهره‌برداری بیش‌ازحد از ظرفیت آبخوان‌ها موجب شده که اغلب دشت‌ها با کسری مخزن و منفی شدن بیلان مواجه شوند که علاوه بر بروز مشکلات فراوان برای آبخوان آن منطقه، موجب بحران اقتصاد کشاورزی و صنعتی در منطقه شده است؛ بنابراین بررسی اهدافی چون وضعیت حال حاضر منابع آب زیرزمینی، پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی در آینده و برنامه‌ریزی و مدیریت آن برای بهبود شرایط آبخوان و کاهش اثرات

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
۴- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: EbrahimiK@ut.ac.ir

منفی افت سطح آب زیرزمینی ضروری است. مدل‌سازی رایانه‌ای و عددی آب‌های زیرزمینی ما را برای شناخت بهتر منابع آب موجود و مدیریت صحیح و تصمیم‌گیری درست یاری می‌کند. به همین منظور تحقیقات زیادی در این زمینه انجام‌شده است، مطالعاتی نظیر مدل‌سازی آبخوان به‌منظور استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف.(Yaouti et al, 2008; Bayat et al., 2020)

ازجمله مطالعات محققین در این زمینه است. GMS محیطی جامع و گرافیکی برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی است که شامل یک رابط کاربر کارتوگرافی (برنامه GMS) و تعدادی کدهای تحلیلی مختلف ازجمله کد MODFLOW است (محتشم و همکاران، ۱۳۹۰). استفاده از نرم‌افزار GMS و کد MODFLOW در مدیریت منابع آب زیرزمینی که یکی از منابع مهم و باارزش به شمار می‌آید، نقش بسزایی دارد. مطالعات بسیاری وجود دارد که از MODFLOW در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی استفاده‌شده است. چن و همکاران(۲۰۱۶)، جریان آب زیرزمینی محدوده‌ای در شمال چین را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی کردند. در پژوهش مذکور محققین به ارزیابی اثرات اجرای راه‌حل‌های مدیریت مصرف آب در حوضه کشاورزی بر حفاظت و مدیریت منابع آب زیرزمینی پرداختند. ابتدا شرایط اولیه آبخوان معرفی و پارامترهای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه واسنجی شد. این مقادیر برای حالت غیر ماندگار به ترتیب ۱ تا ۳۰ متر بر روز و ۰/۰۵ تا ۰/۳۵ به دست آمد. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که از میان سناریوهای مدیریتی، کاهش ۸۰ درصدی سهمیه آبیاری در حوضه کشاورزی، بیشترین تأثیر را در بهبود سطح تراز آب زیرزمینی داشته است. خالدی (۱۳۹۶)، باهدف اعمال سناریوهای مدیریتی در برداشت آب از چاه‌های کشاورزی مجاز و غیرمجاز، به مدل‌سازی آبخوان دشت شبستر با استفاده از مدل MODFLOW در نرم‌افزار GMS پرداخت. ابتدا وضعیت آبخوان برای یک دوره دوساله واسنجی و بعد برای یک بازه‌ی زمانی یک‌ساله صحت‌سنجی شد و در ادامه مدل برای اعمال سناریوهای مدیریتی مختلف ازجمله سناریوهای کاهش برداشت از چاه‌های غیرمجاز و تجمیع چاه‌های غیرمجاز در ۱۲ حالت ممکن اجرا شد. نتایج بررسی سناریوها نشان داد که مؤثرترین و کم‌هزینه‌ترین سناریو کاهش برداشت از چاه‌های مجاز است. این امر مهم با تغییر در الگوی کشت و نصب کنتورهای هوشمند قابل دست‌یابی است. سناریو انسداد چاه‌های غیرمجاز اگر با تجمیع و تخصیص حق‌آبه از چاه‌های مجاز و مجاور همراه باشد موفق خواهد بود. عبدالحلیم و همکاران، به بررسی اثر افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی کشور مصر با استفاده از مدل MODFLOW پرداختند. پارامترهای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه واسنجی شدند. این مقادیر به ترتیب ۰/۷۵ تا ۵۰ متر بر روز و ۰/۲۱ به دست آمدند. سناریوهای مختلفی موردبررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از بررسی سناریوها نشان داد که اگر برداشت از آب زیرزمینی به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد شرایط فعلی افزایش پیدا کند ذخیره آبخوان نیز به ترتیب ۱۰/۹ و ۳۸/۹ هزار مترمکعب در روز کاهش خواهد داشت (Abdelhalim et al., 2109). صاغی‌جدید و کتابچی (۱۳۹۸)، با استفاده از مدل MODFLOW و الگوریتم فرا کاوشی مورچه‌ها جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت نمدان (استان فارس) را بررسی کردند. ابتدا شرایط آبخوان برای یک دوره هفت‌ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۱) در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار واسنجی و سپس مدل برای یک دوره زمانی سه‌ساله (۱۳۹۲-۱۳۹۵) صحت‌سنجی شد. در ادامه آن‌ها به محاسبه اثرات سه شاخص احیاء، پرشدگی و پایداری در راستای طرح احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بهترین وضعیت آبخوان تحت سناریو اعمال شاخص احیاء بوده است و توانسته تراز سطح آب زیرزمینی را به ۱۰/۶ متر افزایش دهد. در یک جمع‌بندی به‌کارگیری مدل‌های آب‌های زیرزمینی در بررسی رفتار آبخوان‌ها در تحقیقات پیشین رایج بوده و همچنین این مطالعات در راستای مدیریت و حفاظت سفره‌های آب زیرزمینی نیز انجام‌شده است. نخعی و همکاران (۱۴۰۰)، آبخوان دشت زرندیه را با استفاده از مدل ریاضی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در طی سال‌های آینده و با ادامه روند کنونی برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، آبخوان دچار افت شدید خواهد شد. که نتایج تحقیق ایشان با نتایج تحقیق مقاله حاضر همسو است.

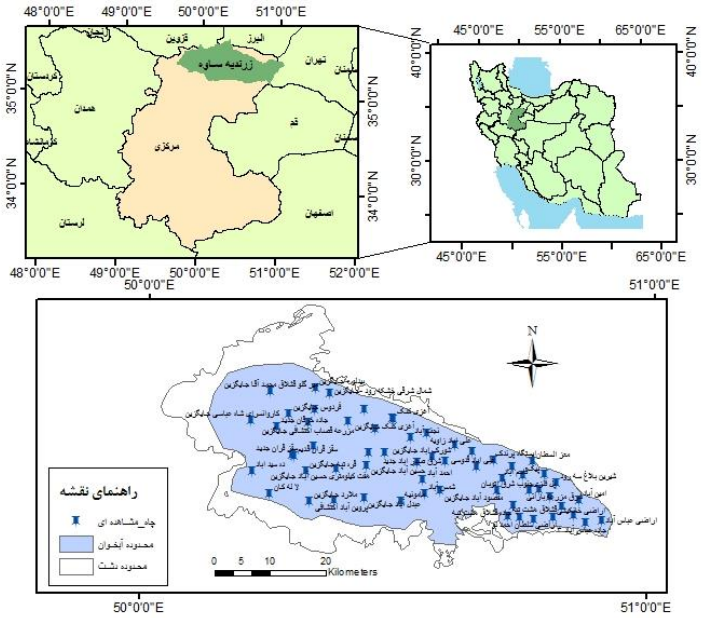
دشت زرندیه ساوه یکی از دشت‌های حاصلخیز و یکی از قطب‌های مهم کشاورزی استان مرکزی محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر آبخوان این دشت به دلیل برداشت‌های بی‌رویه و تغذیه ناکافی در شرایط بحرانی و فوق بحرانی قرار داشته و با افت زیاد تراز آب مواجه شده است به‌طوری‌که در طول یک دوره ۲۱ ساله این آبخوان افتی معادل ۱۴ متر داشته است (گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی زرندیه ساوه). در مطالعه حاضر با تأکید بر نتایج مطالعات میدانی، بررسی شاخص‌های پایداری و به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای وضعیت آبخوان این دشت ارزیابی شد. همچنین تلاش شد تا با بررسی اثر طرح تغذیه مصنوعی اجراشده در منطقه و با ارائه و بررسی راه‌حل‌های قابل‌اجرا در جهت بهبود شرایط حال و آینده آبخوان پیشنهادهای لازم ارائه شود. با عنایت به اینکه در چند دهه اخیر منابع آب زیرزمینی به‌شدت مورد بهره‌برداری قرارگرفته است، بنابراین اجرای طرح‌های تعادل‌بخشی منابع آب‌های زیرزمینی می‌تواند در بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی کمک مؤثری داشته باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعات

دشت زرندیه ساوه در ناحیه شمالی استان مرکزی بین طول

جغرافیایی ´۴۰-°۴۹ تا ´۴۵-°۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۰-°۳۵ تا ´۳۵-°۳۵ شمالی گسترده شده است. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعات را نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع این محدوده برابر با ۲۹۷۵ متر و کمترین آن ۹۶۱ متر از سطح آب‌های آزاد است. آبخوان زرندیه وسعتی در حدود ۱۲۶۳/۴ کیلومترمربع را دارد و جهت جریان آب زیرزمینی آن از سمت غرب به شرق است. بر اساس آمار موجود میانگین بارندگی و دمای سالیانه این منطقه به ترتیب ۲۰۰ میلی‌متر و ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه خشک و سرد تعیین شد. نوسانات سطح ایستابی آبخوان دشت زرندیه ساوه توسط ۵۸ حلقه چاه مشاهده‌ای احداث‌شده توسط مرکز تحقیقات سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی پایش می‌شود. شکل ۱ توزیع مکانی و موقعیت چاه‌های مشاهداتی مذکور را نشان می‌دهد. بهره‌برداری از منابع زیرزمینی دشت زرندیه برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت از طریق ۴۲۱ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق انجام می‌شود و جمعاً حدود ۱۴۰/۴ میلیون مترمکعب در سال از این آبخوان برداشت می‌شود. در اثر این بهره‌برداری به‌طور میانگین هرساله حدود ۶۷ سانتی‌متر تراز سطح آب پایین می‌افتد (گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی زرندیه ساوه).



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعات آبخوان زرندیه ساوه

داده‌های مشاهداتی

داده‌های مشاهداتی موردنیاز مطالعه حاضر شامل داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی از ۵۸ چاه‌های مشاهده‌ای منطقه در طول دوره آماری سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی، منابع و مصارف آب، جایگاه چاه‌های حفاری دشت زرندیه، داده‌های ژئوفیزیک، نقشه رقوم ارتفاعی و زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه است. علاوه بر داده‌های مشاهداتی آبخوان که توسط مرکز تحقیقات سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی برداشت شد، سایر داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی و گزارش‌های مطالعات توجیهی – اجرایی سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی به شرح زیر تهیه شد (جدول ۱) (مطالعات توجیهی – اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز دشت زریه ساوه، ۱۳۸۱).

مدل شبیه‌ساز

در این مطالعه از نرم‌افزار Modflow برای شبیه‌سازی آبخوان زرندیه ساوه جهت ساخت مدل مفهومی و عددی آبخوان استفاده شد. Modflow بر پایه حل معادلات حرکت آب‌های زیرزمینی در محیط متخلخل برنامه‌ریزی‌شده است به‌طوری‌که حرکت آب زیرزمینی به‌وسیله معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی زیر و با استفاده از روش تفاضلات محدود حل‌شده است.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}h\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}h\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}h\frac{\partial h}{\partial z}\right)\mathrm{W}=S\frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱)$$

در این رابطه، K_{xx}، K_{yy}، K_{zz} [L.T-1] مقادیر ضرایب آبگذری در جهات x، y و z هستند. W [L.T-1] برابر با تغذیه یا تخلیه، S_s ضریب ذخیره آبخوان و h [L] سطح تراز آب زیرزمینی است. در جدول ۲ خصوصیات ژئوهیدرولوژیک آبخوان زرندیه ساوه ارائه شده است.

پایداری آبخوان

به‌منظور ارزیابی پایداری آبخوان و با توجه به داده‌های کامل تهیه‌شده از منطقه، ۵ شاخص انتخاب شد. این شاخص‌ها عبارت‌اند از شاخص پایداری آبخوان (AS)، شاخص توان بازیابی آبخوان (ARP)، شاخص میرایی آبخوان (GDR)، شاخص وابستگی به آب زیرزمینی (DG) و شاخص وابستگی کشاورزی به آب زیرزمینی (DAG). هرکدام از این شاخص‌ها بررسی شد که در ادامه تشریح شده است.

جدول ۱- آمار و اطلاعات مورداستفاده در مدل‌سازی آبخوان زرندیه ساوه

نوع داده	توضیحات
داده‌های هیدروژئولوژی	سیستم فیزیکی (زمین‌شناسی، توپوگرافی..) شرایط سنگ کف، ضخامت سفره، نوع مرزها و گسترش آن‌ها هیدرولیک سفره و پارامترهای ذخیره و متغیرهای مکانی (هدایت هیدرولیکی، ضریب انتقال، آبدهی ویژه و....) موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری
استرس‌های هیدرولوژیکی	تعیین منابع تخلیه و تغذیه و تعیین مقادیر آن‌ها تعیین تخلیه و تغذیه طبیعی تعیین ارتباط سفره با منابع آب سطحی از قبیل رودخانه

جدول ۲- خصوصیات ژئوهیدرولوژیک آبخوان زرندیه ساوه

حجم استاتیک آبخوان (MCM)	۲۴۱۹/۳۳
تغذیه طبیعی آبخوان (MCM)	۱۰۷/۵۳
بهره‌برداری سالانه آب زیرزمینی آبخوان (MCM)	۱۴۱/۳۹
بهره‌برداری سالانه آب سطحی (MCM)	۳۹/۶۷
متوسط ضخامت آبخوان (m)	۵۰
متوسط افت آبخوان در ۱۰ سال اخیر (m)	۰/۶۳
آب زیرزمینی مورداستفاده برای کشاورزی	۱۳۹/۶۸
حجم کل آب مورداستفاده برای بخش کشاورزی	۱۶۴/۵۵

شاخص پایداری آبخوان (AS)

این شاخص بیانگر بخشی از آب آبخوان است که از آن برداشت می‌شود (Vrba and Lipponen, 2007)، که در آن تغذیه شامل حاصل از بارش، نفوذ از جریان‌های سطحی، آب برگشتی از مزارع، نشت از شبکه توزیع آب شهری و شبکه جمع‌آوری فاضلاب است. برداشت از منابع آب زیرزمینی نیز مقدار آب استحصالی توسط چاه، چشمه و یا قنات را نشان می‌دهد.

$$\mathrm{AS} = \frac{\text{کل آب زیرزمینی برداشت شده(میلیون متر مکعب)}}{\text{تغذیه آب زیرزمینی(میلیون متر مکعب)}} \quad (۲)$$

شاخص توان بازیابی آبخوان (ARP)

این شاخص توانایی بازگشت به وضعیت نرمال آبخوان را نشان می‌دهد (Vrba and Lipponen, 2007):

$$ARP = \frac{\text{حجم استاتیک آبخوان(میلیون متر مکعب)}}{\text{تغذیه طبیعی آبخوان(میلیون متر مکعب)}} \quad (۳)$$

که در آن: حجم استاتیک به بخشی از آبخوان گفته می‌شود که حاوی آب غیر تجدیدشونده است.

شاخص میرایی آبخوان (GDR)

بیکی خشک (۱۳۹۰) جهت برآورد سال‌های قابل‌اتکا به آبخوان شاخص میرایی آبخوان را توسعه داد:

$$GDR = \frac{\text{متوسط ضخامت سفره (متر)}}{\text{متوسط افت آبخوان در ده سال اخیر (متر)}} * \frac{2}{3} \quad (۴)$$

شاخص وابستگی به آب زیرزمینی (DG)

این شاخص نسبت میزان مصرف آب زیرزمینی به‌کل منابع آب را بیان می‌کند (بیکی خشک، ۱۳۹۰)؛ که در آن: حجم بهره‌برداری از آبخوان به‌کل برداشت از آب زیرزمینی به‌وسیله چاه، قنات و چشمه برای استفاده در بخش‌های مختلف است.

$$DG\ (\text{درصد}) = \frac{\text{حجم بهره‌برداری از آبخوان(میلیون مترمکعب)}}{\text{بهره‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی(میلیون متر مکعب)}} \quad (۵)$$

شاخص وابستگی کشاورزی به آب زیرزمینی (DAG)

میزان وابستگی بخش کشاورزی به آب‌های زیرزمینی با این شاخص و به‌صورت زیر بیان می‌شود (Karimirad et al, 2017).

$$DAG\ (\text{درصد}) = \frac{\text{آب زیرزمینی مورد استفاده برای کشاورزی (میلیون متر مکعب)}}{\text{حجم کل آب مورد استفاده در بخش کشاورزی (میلیون متر مکعب)}} \quad (۶)$$

نتایج

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های پایداری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- بررسی شاخص‌های پایداری آبخوان زرندیه ساوه

ردیف	شاخص		مقادیر شاخص	تفسیر
۱	GDR (سال)	شاخص میرایی آبخوان	۹۱/۵۲	با ادامه این روند آبخوان ۵۳ سال دیگر به‌طورکلی تخلیه خواهد شد
۲	ARP	شاخص توان بازیابی آبخوان	۴۹/۲۲	پتانسیل بازیابی آبخوان متوسط است
۳	AS	شاخص پایداری آبخوان	۳۱/۱	این آبخوان در شرایط بحرانی قرار دارد
٤	DG (درصد)	شاخص وابستگی به آب زیرزمینی	۰/۷۸	وابستگی به آب زیرزمینی بیشتر از آب سطحی است
۵	DAG (درصد)	شاخص وابستگی کشاورزی به آب زیرزمینی	۸۴	کشاورزی بیشتر به آب زیرزمینی وابسته است تا آب سطحی

حدود مشخص‌شده برای شاخص‌های ARP، AS، DG در جدول ۴ ارائه‌شده است.

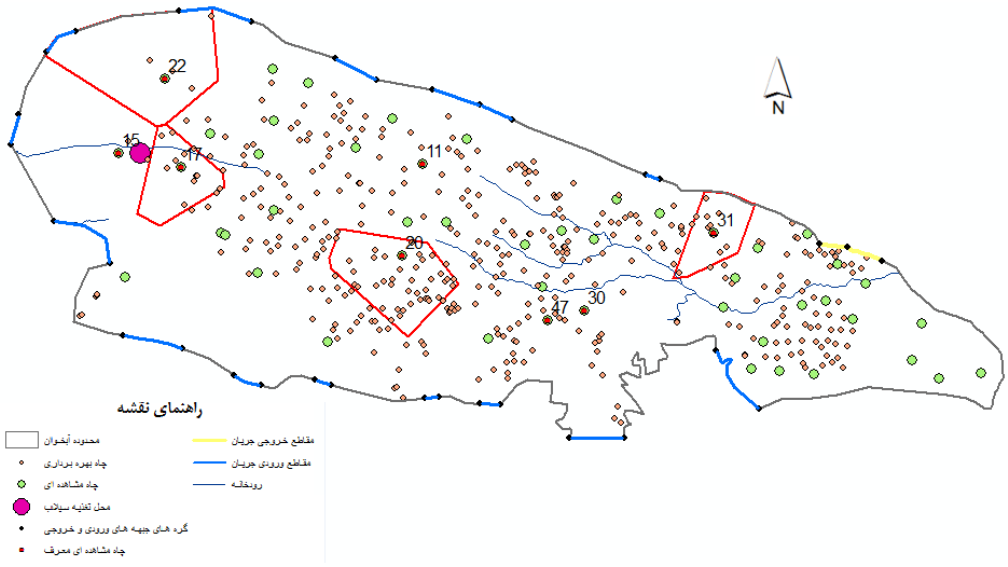
جدول ٤- حدود شاخص‌های ARP، AS، DG

محدوده شاخص (AS)	وضعیت پایداری آبخوان
AS<۱	بحرانی
۰/۸<AS<۱	بسیار ناپایدار
۰/۶<AS<۰/۸	ناپایدار
۰/۴<AS<۰/۶	کمی پایدار
AS<۰/۴	پایدار
محدوده شاخص (ARP)	پتانسیل بازیابی آبخوان
ARP<۱۰	زیاد
۱۰<ARP<۳۰	متوسط
۳۰<ARP<۵۰	کم
ARP> ۵۰	بدون توان بازیابی
محدوده شاخص DG (درصد)	وابستگی به آب زیرزمینی
DG<۲۵	زیاد
۲۵<DG<۵۰	متوسط
DG> ۵۰	کم

مدل مفهومی و عددی آبخوان دشت زرندیه ساوه

ساختار مدل مفهومی آبخوان دشت زرندیه ساوه شامل محدوده مدل‌سازی، چاه‌های بهره‌برداری و پیزومتری، توپوگرافی و رقوم سنگ کف آبخوان، میزان تغذیه از سطح (شامل بارش و آب برگشتی از چاه‌ها، رودخانه‌ها)، توزیع اولیه مقدار پارامترهای هیدروژئولوژیکی (هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه) است. این آبخوان به‌وسیله جریان‌های ورودی زیرزمینی تغذیه می‌شود. جریان زیرزمینی ورودی مهم‌ترین عامل تغذیه این دشت است. ۱۵ مقطع ورودی در نقاط مختلف آبخوان و ۲ مقطع خروجی در قسمت شرقی آبخوان وجود دارد که در شکل ۲ ارائه‌شده است. بدیهی است هرچه داده‌ها و اطلاعات مربوط به آبخوان بیشتر باشد مدل مفهومی تهیه‌شده دقیق‌تر و درنتیجه مدل شبیه‌ساز از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

با توجه شاخص AS آبخوان زرندیه ساوه در شرایط بحرانی قرار دارد و بر اساس شاخص DG در منطقه موردمطالعه وابستگی به آب زیرزمینی از آب سطحی بیشتر است و همچنین شاخص ARP نشان می‌دهد که پتانسیل بازیابی این آبخوان متوسط است.



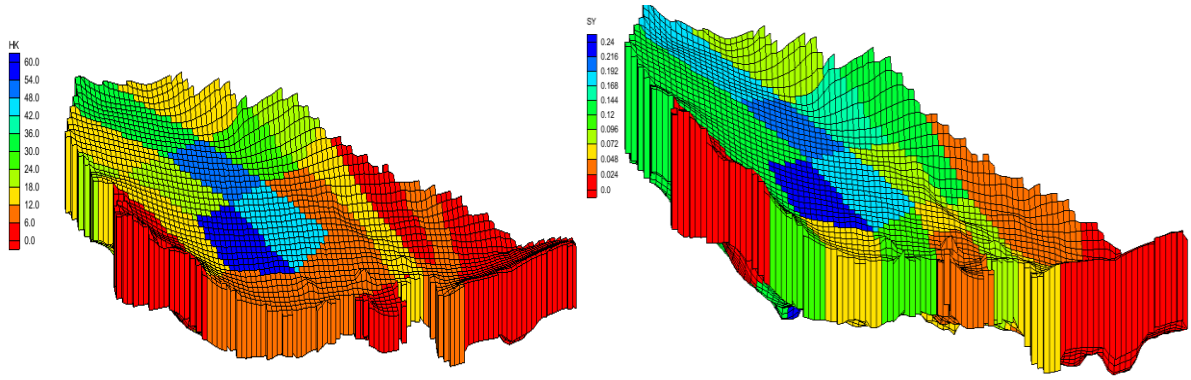
شکل ۲- مدل مفهومی آبخوان زرندیه ساوه، چاه‌های مشاهداتی و محل تغذیه مصنوعی اجراشده

پس از تهیه مدل مفهومی، شبکه‌بندی مدل بر اساس وسعت منطقه، زمین‌شناسی، تراکم چاه‌های بهره‌برداری، توپوگرافی، شکل مرزهای محدوده و میزان اطلاعات موجود انجام شد (Harbaugh, 2005). پس از بررسی‌های لازم محدوده به شبکه‌های مربعی با ابعاد ۷۵۰ در ۷۵۰ متر تقسیم شد و بر اساس این سلول بندی می‌توانند با دقت کافی مرزها لحاظ شده و شکل محدوده و هندسه آبخوان تعیین شود. پس از تهیه مدل مفهومی مدل ابتدا برای حالت پایدار و سپس برای حالت ناپایدار در ۸۴ گام ماهانه (از آبان ۱۳۹۰ تا مهر ۱۳۹۷) واسنجی و برای ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ صحت‌سنجی شد و مقادیر آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی برآورد شد. در ادامه تحلیل حساسیت و صحت‌سنجی مدل در ۳۶ گام زمانی انجام شد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌ساز

واسنجی مدل یک روش برای تنظیم پارامترهای مدل شامل داده‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جهت ارائه بهترین نتیجه بین مقادیر مشاهداتی سطح آب و مقادیر شبیه‌سازی شده است. در این آبخوان، ۵۸ حلقه چاه مشاهداتی، شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی آبخوان دشت زرندیه ساوه را کنترل می‌کند که از این تعداد حدود ۱۰ حلقه چاه مشاهداتی به دلیل نداشتن اطلاعات کافی از روند شبیه‌سازی حذف شدند. در محدوده موردمطالعه، تنظیم مدل در شرایط ماندگار بر اساس سطح آب مشاهده‌ای آبان سال ۱۳۹۰ که سطح آب کمترین نوسانات را داشته، حالت پایدار تنظیم شد. از مقادیر پارامترهای تغذیه از آبخوان، چاه‌های بهره‌برداری، اطلاعات رودخانه، مقادیر جبهه‌های ورودی و خروجی برای ساخت مدل در حالت پایدار استفاده شد. درنهایت واسنجی مدل با به حداقل رساندن اختلاف سطح تراز محاسباتی و مشاهداتی و واسنجی مقادیر هدایت هیدرولیکی به انجام رسید. برای واسنجی هدایت هیدرولیکی، مقادیر اولیه بر اساس داده‌های موجود قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان حاصل و بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، مقادیر حداقل و حداکثر آن در بازه‌ی ۲ تا ۶۰ متر در روز بررسی و تنظیم شد. پس از تکرارهای متوالی در حالت پایدار ضریب تبیین برآورد شده برای مقادیر محاسباتی و مشاهداتی در محل چاه‌های پیزومتری برابر ۰/۹۸، مقدار پارامترهای RMSE و MAE به ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۰/۸۸ متر برآورد شد. در ادامه اطلاعات واسنجی شده در مرحله ماندگار، مبنای شبیه‌سازی در مرحله جریان غیر ماندگار قرار گرفت. واسنجی مدل در حالت ناپایدار برای یک دوره هفت‌ساله از آبان ۹۰ تا مهر ۹۷ در ۸۴ گام زمانی ماهانه انجام و پارامتر آبدهی ویژه تدقیق شد. پس از تکرارهای متوالی، در حالت ناپایدار مقدار پارامتر ضریب تبیین برابر ۰/۹۸ و مقادیر پارامترهای RMSE و MAE به ترتیب برابر ۱ و ۰/۸۷ به دست آمد که نشان می‌دهد مدل به‌صورت مطلوب روندها را شبیه‌سازی کرده است. توزیع مقادیر واسنجی شده هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در شکل ۳ نشان داده‌شده است.

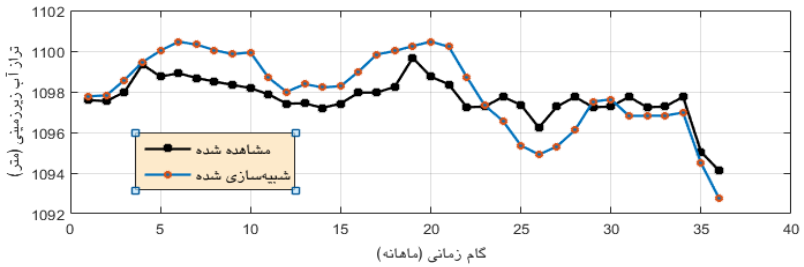
شکل ۳ (الف) مقادیر واسنجی شده هدایت هیدرولیکی را نشان می‌دهد. با ارجاع به شکل مشخص است که شمال آبخوان مقادیر هدایت هیدرولیکی مقادیری بین ۲ تا ۶۰ متر در روز را دارا است. بیشترین مقدار آن نیز در قسمت مرکز آبخوان است که مقادیر آن از ۳۵ تا ۶۰ متر در روز متغیر است. ناحیه جنوبی آبخوان نیز در مقادیر ۴ تا ۶ متر در روز متغیر است که کمترین مقادیر هدایت هیدرولیکی را شامل می‌شود. مقادیر آبدهی ویژه واسنجی شده نیز در شکل ۳ (ب) قابل‌مشاهده است.



(ب) (الف)

شکل ۳- مقادیر واسنجی شده (الف) هدایت هیدرولیکی(m/day) ، (ب) آبدهی ویژه

همان‌طور که از شکل مشخص است، مقادیر آبدهی ویژه بین مقادیر ۲/۵ درصد تا ۲۴ درصد متغیر است. بیشترین مقادیر آبدهی ویژه مربوط به ناحیه مرکزی آبخوان است. جنوب آبخوان نیز دارای کمترین مقادیر آبدهی ویژه است. مقادیر آبدهی ویژه در مرکز آبخوان از ۸/۵ درصد تا ۱۵ درصد متغیر است. به‌منظور اطمینان از نتایج واسنجی، مدل برای دوره سه‌ساله از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. در این حالت مقدار پارامتر ضریب تبیین برابر ۰/۹۷ و مقدار پارامترهای RMSE و MAE به ترتیب برابر ۱/۲ و ۰/۹۸ متر برآورد شد. شکل ۴ مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در حالت غیر ماندگار را برای یک چاه مشاهده‌ای تصادفی (چاه شماره ۳۰) نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است، انطباق بسیار خوبی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در مرحله صحت‌سنجی وجود دارد.

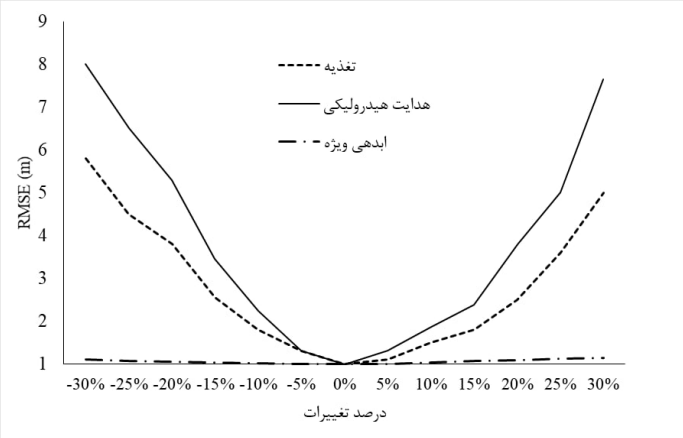


شکل ٤- مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی تراز آب زیرزمینی در حالت غیر ماندگار، چاه شماره ۳۰

تحلیل حساسیت مدل

یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی در مدل‌سازی آب زیرزمینی بررسی حساسیت مدل نسبت به پارامترها است. پارامترهایی که در مدل‌سازی آب زیرزمینی به کار گرفته می‌شود اغلب عبارت‌اند از ضریب هدایت هیدرولیکی، تغذیه از سطح، آبدهی ویژه، شرایط مرزی و ضخامت آبخوان که در اکثر موارد به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی به‌صورت تخمینی و متضمن عدم قطعیت بکار می‌روند. شناخت این عدم قطعیت‌ها و به کمیت درآوردن بازه تغییرات آن‌ها در مدل‌سازی و واسنجی آن‌ها مؤثر هستند. مدل واسنجی شده به پارامتری حساس است که تغییرات کوچک در مقادیر آن‌ها اثر زیادی بر نتایج شبیه‌سازی مدل داشته باشد. این تأثیر با خطای ایجادشده در مدل، سنجیده می‌شود و معمولاً پارامترها یکی‌یکی انتخاب می‌شوند. بدین‌صورت مقدار حساسیت مدل نسبت به هر یک از پارامترها تعیین می‌شود. در تحقیق حاضر با توجه به اطلاعات مستند ژئوفیزیک و چاه‌های مشاهده‌ای موجود در مورد شرایط مرزی و ضخامت آبخوان؛ بنابراین از پارامترهای مقدار هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و مقدار تغذیه از سطح برای تحلیل حساسیت استفاده شد و با معیار خطای RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای تغذیه، هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در شکل ۵ ارائه‌شده است. با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که مدل به مقدار هدایت هیدرولیکی حساسیت بیشتری دارد به‌طوری‌که با تغییر مقدار آن، خطای مدل در معیار ارزیابی به مقدار زیادی افزایش

می‌یابد. هم‌چنین مدل به مقدار تغذیه نیز حساس است. امّا کمترین حساسیت را به آبدهی ویژه دارد به‌طوری‌که در مقادیر مختلف، تغییر چندانی نکرده است؛ بنابراین با افزایش و کاهش ۳۰ درصدی مقادیر هدایت هیدرولیکی خطای مدل به ترتیب حدود ۷/۸ متر و ۸/۱ متر افزایش می‌یابد. همچنین افزایش و کاهش ۳۰ درصدی تغذیه موجب افزایش خطای مدل به ترتیب برابر ۵ و ۵/۹ متر می‌شود.



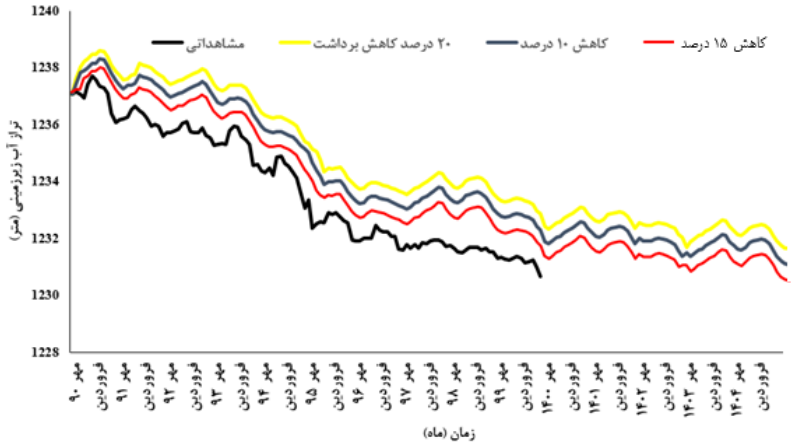
شکل۵- تحلیل حساسیت هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تغذیه بر مبنای معیار خطای RMSE

سناریوهای مدیریتی

در این قسمت با تعریف سناریوهایی که بر مبنای وقایع محتمل و ممکن استوار هستند، عکس‌العمل آبخوان نسبت به اعمال طرح‌های مدیریتی (طرح‌های احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی) و وقایع احتمالی سنجیده می‌شود. در این تحقیق با توجه به شرایط افت آبخوان، ۳ سناریوی کاهش برداشت آب از آبخوان به‌منظور تعادل‌بخشی موردبررسی قرار گرفت. برای بهبود شرایط موجود، سناریوهای کاهش برداشت در مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در کلیه چاه‌های بهره‌برداری منطقه اعمال شد. سناریوی دیگری که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت، استفاده از سیلاب‌های فصلی به‌عنوان منبع تغذیه آبخوان است که هم‌اکنون اجرایی شده است؛ بنابراین اثر آن بررسی شد. همچنین سناریوی سومی که در نظر گرفته شد امکان استفاده از منابع آب سرریزی از سد الغدیر است. طی بازدیدهای میدانی انجام‌شده و مصاحبه با مسئولین سد، سد الغدیر در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب سرریز سالیانه داشته است. به‌عنوان سناریوی سوم با احتمال انتقال سطحی میان حوضه‌ای و تغذیه این حجم سرریزی در محل آبخوان‌داری اجراشده موجود اثر آن موردبررسی قرار گرفت. در ادامه نتایج اعمال هر سناریو به‌صورت جداگانه ارائه‌شده است. بر اساس مصاحبه با کارشناسان آب منطقه، در محدوده‌هایی که چاه‌های بهره‌برداری از نوع شرب و صنعت وجود دارند کمترین افت و در مناطق دارای چاه‌های کشاورزی بیشترین افت آبخوان تجربه‌شده است.

سناریوی کاهش برداشت ۱۰ درصد، ۱۵ درصد و ۲۰ درصد

پس از اعمال سناریوها، نتایج تغییرات تراز آب زیرزمینی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. لذا شبیه‌سازی انجام و نتایج برای ۴۸ حلقه چاه مشاهده‌ای منطقه بررسی شد. همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است با کاهش برداشت‌ها، مقدار افزایش تراز آب زیرزمینی در کل آبخوان نیز افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۶ این سناریو به ۳ دوره قابل‌تقسیم است، بخش اول از سال ۱۳۹۰ تا مهر ماه ۱۳۹۵ (یک دوره‌ی ۵ ساله)، تغییرات افت قابل‌توجه است و دوره دوم از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ است که در این دوره مقدار افت نسبت به ۵ سال اول کاهش‌یافته است. دوره سوم، از سال ۱۴۰۰ تا سال ۱۴۰۵ است که در این دوره روند افت ثابت خواهد بود. در این صورت انتظار می‌رود با ادامه این روند، شاهد خیز و افزایش تراز سطح آب زیرزمینی باشیم. بیشترین خیز در هیدروگراف واحد آبخوان در سناریوی کاهش ۲۰ درصد رخ‌داده است که حدود ۲/۲ متر خیز ایجادشده است. کمترین خیز نیز مربوط به سناریوی کاهش ۱۰ درصد است که در آن آبخوان حدود ۱/۱ متر افزایش تراز آب زیرزمینی رخ خواهد داد. مقادیر خیز آب زیرزمینی تغییرات چندانی در سناریوهای ۱۵ و ۲۰ درصد کاهش برداشت نداشته است که نشان می‌دهد لزوماً با افزایش درصد کاهش برداشت‌ها به‌صورت خطی، مقادیر خیز نیز افزایش نمی‌یابد.



شکل ٦- نتایج سناریوی کاهش برداشت از آب زیرزمینی

همچنین مقادیر افزایش تراز سطح آبخوان با توجه به نوع چاه‌های بهره‌برداری (شرب، صنعت و کشاورزی) متفاوت است. همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد در مناطقی که چاه‌های بهره‌برداری از نوع شرب و صنعت وجود دارند خیز کمتری مشاهده‌شده است، درصورتی‌که در مناطقی که تراکم چاه‌ها به‌خصوص چاه‌های کشاورزی بیشتر است افزایش تراز بیشتری ایجاد خواهد شد و درنتیجه تأثیر کاهش برداشت‌ها به‌روشنی دیده می‌شود. همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است در نمودار (د) بیشترین خیز ایجادشده است و در سناریوهای کاهش ۲۰ درصد، آبخوان در این ناحیه تا ۲/۵ متر نیز افزایش تراز داشته است. کمترین خیز مربوط به کاهش ۱۰ درصد برداشت از آبخوان است که حدود ۱/۲ متر خیز ایجادشده است. در شکل ۷ (الف) که مربوط به چاه مشاهداتی شماره ۲۲ تراکم کم چاه بهره‌برداری است بیشترین خیز حدود ۰/۵ متر بوده و کمترین خیز نیز در حدود ۰/۲ متر است که به ترتیب مربوط به سناریوهای کاهش برداشت ۲۰ و ۱۰ درصد بوده است. نتایج نشان می‌دهد که خیز ایجادشده در اثر کاهش برداشت‌ها در کل آبخوان یکسان نیست و با توجه به نوع چاه‌های بهره‌برداری و تراکم آن‌ها متفاوت است؛ بنابراین بایستی در اعمال سناریوهای کاهش برداشت با توجه به نواحی مختلف، درصد کاهش برداشت متفاوتی در نظر گرفت.

۲- سناریوی تغذیه سیلاب‌های فصلی به آبخوان

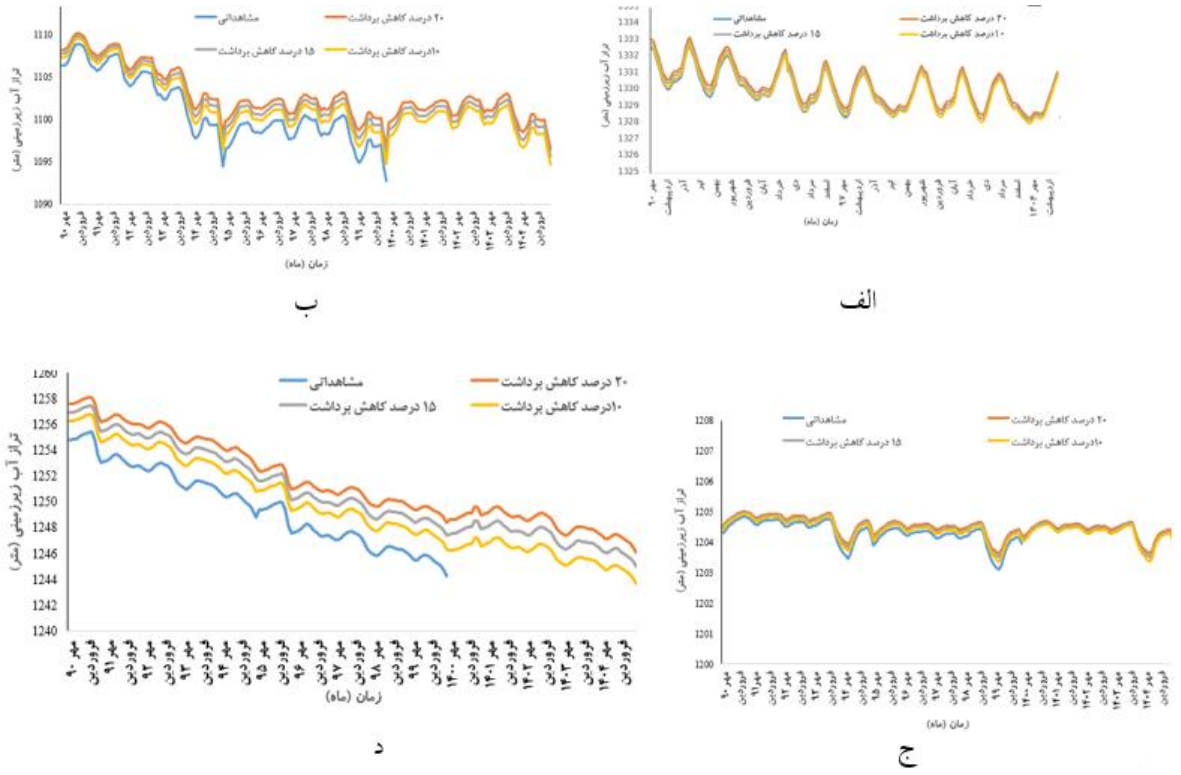
سناریوی استفاده از سیلاب‌های فصلی برای تغذیه آبخوان جهت بهبود وضعیت آن یکی دیگر از سناریوهای کاربردی در نظر گرفته شد. در این سناریو ابتدا حجم آب قابل تغذیه به آبخوان در ماه‌های سیلابی محاسبه و به‌صورت درصدی از آن به‌عنوان تغذیه به مدل اعمال شد. درصد تغذیه در نظر گرفته‌شده هر آبخوان با توجه به شرایط آبخوان و عمق آب زیرزمینی در آبخوان‌های مختلف متفاوت است. در این آبخوان با نظر متخصصان آب منطقه‌ای و در نظر گرفتن شرایط آبخوان حدود ۷۵ درصد از حجم سیلاب‌های فصلی به‌عنوان تغذیه به آبخوان اعمال شد. جدول ۵ حجم سیلاب‌های فصلی را در سال و ماه وقوع در طول دوره آماری سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۵ در ماه بهار در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ حجم سیلاب در مجموع ۸ میلیون مترمکعب بوده است. این حجم سیلاب در ایستگاه آبخوان‌داری خشک‌رود ساوه اندازه‌گیری و به‌عنوان تغذیه داده‌شده است.

پس از اعمال سناریوی تغذیه سیلاب‌های فصلی، تغییرات تراز آب زیرزمینی محاسبه و در چاه‌های مشاهداتی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. چاه‌هایی که به طرح تغذیه نزدیک‌تر هستند بیشترین تأثیر را از سناریوی مذکور داشتند و هرچقدر موقعیت چاه‌های مشاهداتی از طرح تغذیه دورتر است از اثر آن کاسته می‌شود. به‌عنوان نمونه تغییرات برخی چاه‌های مشاهداتی که در نزدیکی طرح تغذیه قرار دارند در شکل ۸ ارائه‌شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است بیشترین تأثیر را چاه شماره ۱۵ داشته است که در آن تراز آب زیرزمینی حدود ۱ متر خیز داشته است. این در حالی است که کمترین تغییرات تراز آب زیرزمینی حدود ۰/۵ متر است که در چاه مشاهداتی شماره ۴۷ ایجادشده است. با این توصیف می‌توان گفت که در اثر اعمال این سناریو تغییرات تراز آب زیرزمینی تغییرات زیادی در چاه‌های اطراف طرح داشته است و در نواحی که از طرح تغذیه بسیار دور هستند تأثیر کمتری داشته است.

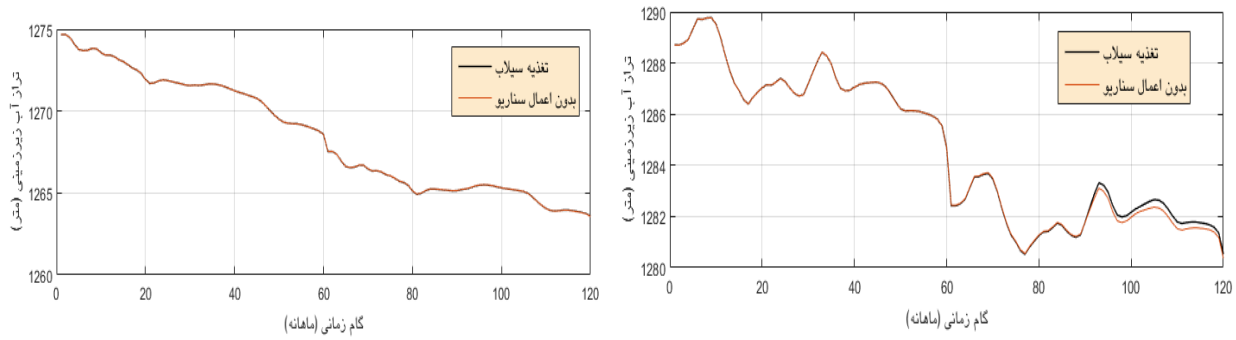
طرح تغذیه اعمال‌شده همچنین برای هیدروگراف واحد آبخوان نیز محاسبه شد. مطابق با شکل ۹ مشخص است که اجرای این طرح اثر بسیار کمتری در کل تراز آب زیرزمینی دارد. در شکل ۹ مشاهده می‌شود که در ماه‌های اجرای این طرح، در سطح آب زیرزمینی خیز در حدود ۲۰ سانتی‌متر ایجادشده است.

جدول ۵- حجم سیلاب‌های تغذیه داده‌شده به سامانه آبخوان‌داری موجود خشک‌رود ساوه

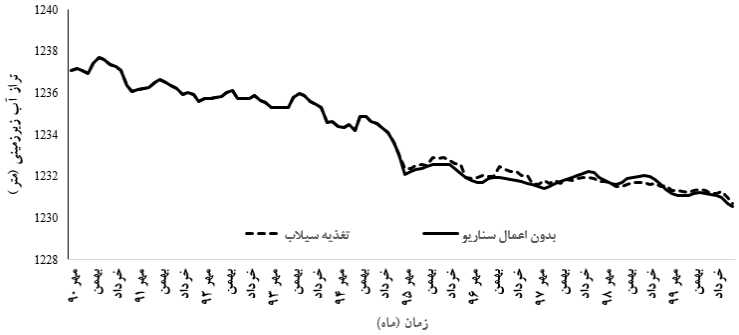
تاریخ	حجم آب ورودی (MCM)
بهار ۱۳۹۸	۵
بهار ۱۳۹۹	۳



شکل۷- تغییرات تراز آب زیرزمینی در ناحیه‌های مختلف تحت تأثیر سناریوهای مدیریتی مختلف، (الف) ناحیه تراکم کم چاه‌های بهره‌برداری چاه مشاهده‌ای شماره ۲۲، (ب) ناحیه پرتراکم چاه‌های بهره‌برداری چاه مشاهده‌ای شماره ۲۰، (ج) ناحیه چاه‌های بهره‌برداری برای مصارف شرب و صنعت چاه مشاهده‌ای شماره ۳۱، (د) ناحیه چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی چاه مشاهده‌ای شماره ۱۷



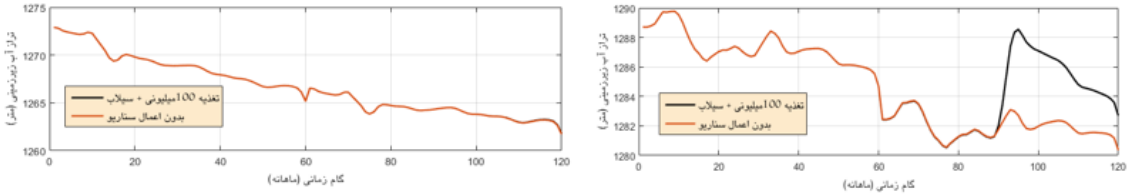
شکل۸- اثر طرح تغذیه سیلاب به آبخوان بر روی هیدروگراف چاه‌های مشاهداتی (الف چاه ۱۵ و ب چاه ٤٧)



شکل ۹- اثر طرح تغذیه سیلاب‌های فصلی بر هیدروگراف واحد آبخوان

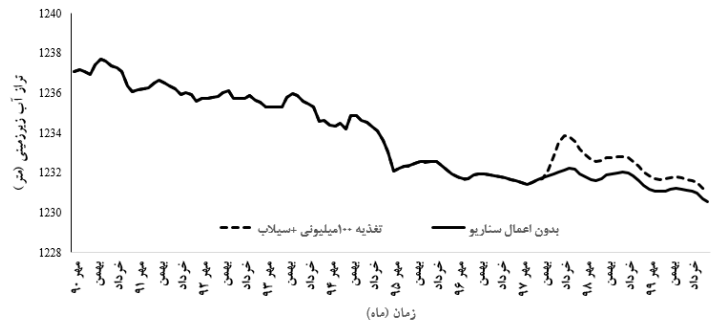
سناریوی تغذیه سرریز سد الغدیر به آبخوان

این سناریو ازآن‌جهت در نظر گرفته شد که می‌توان حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال سرریز سد الغدیر ساوه را به سامانه آبخوان‌داری موجود انتقال داد. با فرض اینکه اگر این حجم از سرریزها هرساله به سیلاب‌های فصلی خود دشت زرندیه اضافه‌شده و به آبخوان تغذیه شود، چه میزان افزایش تراز آب زیرزمینی ایجاد خواهد شد؛ بنابراین حجم مذکور به مدل آب زیرزمینی اعمال شد. در این سناریو مقدار خیز در تمام آبخوان یکسان نیست و در اطراف آبخوان بیشترین خیز آب زیرزمینی را خواهیم داشت. به‌طوری‌که بیشترین تأثیر را چاه مشاهداتی شماره ۱۵ خواهد داشت که در آن تراز آب زیرزمینی حدود ۵ متر خیز را تجربه خواهد کرد. این در حالی است که کمترین تغییرات تراز آب زیرزمینی حدود ۰/۱ متر است که در چاه مشاهداتی ۱۱ ایجادشده است که در شکل ۱۰ این نتایج ارائه‌شده است. بررسی سری زمانی تغییرات تراز آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد که خیز آب زیرزمینی در همه ماه‌های اعمال سناریو وجود دارد که نسبت به سناریوی قبلی عملکرد بهتری دارد. طرح تغذیه اعمال‌شده همچنین برای هیدروگراف واحد آبخوان نیز محاسبه شد. مطابق شکل ۱۱ مشخص است که اجرای این طرح اثر خیز قابل‌توجهی در کل تراز آب زیرزمینی دارد و مشاهده می‌شود که در ماه‌های اجرای طرح تغییرات در تراز آب زیرزمینی نسبت به سناریو قبلی دارای خیزی در حدود ۷۵ سانتی‌متر ایجادشده است؛ بنابراین می‌توان گفت که اجرای این طرح علاوه بر اینکه بر تراز آب زیرزمینی ناحیه اطراف تأثیر بسزایی دارد، سطح بزرگ‌تری از آبخوان را نیز تحت تأثیر قرار داده است.



ب الف

شکل ۱۰- اثر طرح حجم انتقالی ۱۰۰ میلیون مترمکعب به آبخوان بر هیدروگراف چاه‌های مشاهداتی الف ۱۵ و ب ۱۱



شکل ۱۱- اثر انتقال سرریز سد بر هیدروگراف واحد آبخوان

نتیجه‌گیری

بررسی آبخوان زرندیه ساوه، بر اساس شاخص‌های مختلف پایداری و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، وضعیت فعلی و چشم‌انداز آینده آبخوان را ازنظر پایداری نشان داد. از ۵ شاخص محاسبه‌شده شاخص‌های DG و DAG وضعیت فعلی منطقه ازنظر منابع آب و اهمیت اجرای اقدامات مدیریتی و سه شاخص ARP, AS, GDR جزئیات بیشتری از آبخوان را موردبررسی قرار داد. بررسی این شاخص‌ها نشان داد که این آبخوان در شرایط بحرانی قرار دارد با توجه به شاخص DAG، وابستگی کشاورزی به آب زیرزمینی در این منطقه بیشتر است (۸۴ درصد) که باعث اضافه برداشت از این آبخوان شده است و اثر آن در شاخص AS منعکس‌شده است؛ بنابراین تصمیم‌گیری و مدیریت منابع آب بر اساس مدل‌سازی و بررسی سناریوهای مختلف بهره‌برداری اهمیت بالایی در بهبود وضعیت آبخوان می‌تواند داشته باشد و می‌تواند یک دید جامع از روند آب زیرزمینی نمایش دهد. برای نیل به این هدف لازم است یک مدل‌سازی صحیح و دقیق از آبخوان انجام شد. طبق بررسی‌های انجام‌شده تراز آب زیرزمینی در طی ۲۱ سال اخیر روند نزولی داشته است و به‌طور متوسط ۰/۶۷ متر افت سالانه را نشان می‌دهد. از مدل MODFLOW جهت شبیه‌سازی آبخوان استفاده و مدل برای دوره‌ی ۷ ساله با داده‌های مشاهداتی واسنجی شد. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که انطباق مناسبی بین سطح آب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده حاصل‌شده است. مقدار پارامتر ضریب تبیین برابر ۰/۹۸ و مقدار پارامترهای RMSE و MAE به ترتیب برای ۱ متر و ۰/۸۷ متر به دست آمد. براین اساس مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل در بخش‌های مختلف بین ۲ تا ۶۰ متر در روز برای هدایت هیدرولیکی و بین ۲/۵ تا ۲۴ برای آبدهی ویژه متغیر است. همچنین در مرحله صحت‌سنجی نیز مقدار پارامتر ضریب تبیین برابر ۰/۹۷ و مقدار پارامترهای RMSE و MAE به ترتیب برابر ۱/۲ متر و ۰/۹۸ متر برآورد شد. در ادامه سناریوهای مختلفی مدل شد، بررسی سناریوها نشان داد که عملکرد آن‌ها متفاوت است. برخی سناریوها مانند سناریوی کاهش برداشت‌ها بر کل آبخوان تأثیر مثبت دارند. در این سناریو تقریباً تمام نواحی آبخوان دچار خیز آب زیرزمینی خواهد شد که مقادیر خیز با توجه به درصد کاهش برداشت و نوع چاه‌های بهره‌برداری متفاوت خواهد بود. نتایج این سناریو نشان داد که با اعمال ۲۰ درصد کاهش برداشت بیشترین خیز آب زیرزمینی ایجاد خواهد شد. نتایج دو سناریو اعمال تغذیه نیز نشان داد که اثر چنین سناریوهایی به‌صورت نقطه‌ای و ناحیه‌ای است. این سناریوها مناسب آبخوان‌هایی است که در منطقه خاصی از آن افت شدید ایجادشده باشد و درصدد مدیریت و بهبود وضعیت آن ناحیه خاص باشیم. در حالت کلی و به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی اگر اجرای سناریوی کاهش ۲۰ درصد توسط ذینفعان انجام شود دارای بیشترین تأثیر بر تراز آب زیرزمینی خواهد بود. تراز آب زیرزمینی در این سناریو از ۱ متر تا حدود ۴ متر در ناحیه‌های مختلف افزایش تراز خواهد داشت.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه تهران، مرکز تحقیقات سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی- اراک، شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی به خاطر تأمین امکانات و اطلاعات لازم برای انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

بیکی خشک، ا. ۱۳۹۰. مدیریت آب زیرزمینی با رویکرد توسعه پایدار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ص ۸۳-۷۸ و ۹۳-۸۵.

خسروانیان، ص. ۱۳۹۶. پیش‌بینی افت سطح آب آبخوان دهبید (صفا شهر) و ارائه سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل GMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز – دانشکده علوم زمین.

خالدی، م. ۱۳۹۶. مدل‌سازی اثرات کاهش برداشت چاه‌های مجاز، تجمیع و انسداد غیرمجاز. پایان‌نامه گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تبریز.

دوستی رضایی، م.، زینال‌زاده، ک.، بشارت، س. و امیرعطایی، ب. ۱۴۰۰. تأثیر سناریوهای مدیریتی و اقلیمی در تغییرات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی مدل‌سازی عددی در آبخوان دشت سلماس). نشریه آبیاری زهکشی. ۱۶ (۲): ۲۹۳-۲۸۰.

رضیئی، ط. ۱۳۹۰. شناسایی مناطق همگن بارشی ایران با استفاده از روش تحلیل مؤلفه های اصلی، مجله ژئوفیزیک ایران. ۴(۳): ۱۴۴-۱۲۸.

صاغی جدید، م. و کتابچی، ح. ۱۳۹۸. مدیریت احیاء منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تلفیقی شبیه‌سازی عددی- بهینه سازی فراکاوشی جامعه مورچه‌ها. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵(۲): ۱۳۳-۱۱۹.

گزارش بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی زرندیه ساوه. ۱۳۹۲. شرکت مدیریت منابع آب. وزارت نیرو.

علیزاده، ا. ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و هشتم. انتشارات آستان قدس رضوی.

محتشم، م.، دهقانی، ا. ا.، اکبرپور، ا. و مفتاح، م. ۱۳۹۰. پیش بینی سطح ایستابی در آبخوان با به کارگیری نرم افزار GMS (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.

مطالعات توجیهی – اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز دشت زرند ساوه. ۱۳۸۱. سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی، جلد اول تا چهارم.

نخعی، م.، حسنی، ع.، مقیمی، ه.، عباس نوین‌پور، ا .۱۴۰۰. پیش‌بینی اثرات ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه بر آبخوان دشت زرندیه (استان مرکزی) با استفاده از نرم‌افزار GMS. هیدروژئولوژی. ۶ (۲): ۱۳– ۲۹.

Abdelhalim, A., Sefelnasr, A. and Ismail, E. 2019. Numerical modeling technique for groundwater management in Samalut city, Minia Governorate. Egypt. Arabian Journal of Geosciences. 12(124):1-18.

Bayat, M., Eslamian, S., Shams, G. and Hajiannia, A. 2020. Groundwater level prediction through GMS software – case study of Karvan area. Iran. Quaestiones Geographicae. 39(3).

Chen, S., Yang, W., Huo, G. and Huang, Z. 2016. Groundwater simulation for efficient water resources management in Zhangye Oasis. Northwest China. Environmental Earth Science. 75(647): 1-13.

Harbaugh, A. W. 2005. MODFLOW-2005. The U. S. Geological Survey Modular Ground-Water Model-The Ground-Water Flow Process. U. S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS، USA.

Karimirad, I., K, Ebrahimi. And S. Araghinejad. 2017. Impact of land-use change on a multilayer aquifer in south-eastern coast of Caspian Sea. 10th World Congress on Water Resources and Environment, July 5-9, Athens, Greece.

Vrba, J. and A. Lipponen. 2007. Groundwater resource sustainability indicators. Groundwater Indicators Working Group.

Yaouti, F., El, Mandour, A., Khattach, D. and Kaufmann, O. 2008. Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). Journal of Hydro-environment Research. 2(3): 192-209.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 17, Dec.-Jan. 2023, p. 817-830

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۷، آذر - دی ۱۴۰۲، ص. ۸۳۰-۸۱۷

Evaluation of the Zarandieh Saveh Aquifer Sustainability, Iran

S. Bigdeli[1], K. Ebrahimi[2]*, A. Davudirad[3], A.H. Hoorfar[4]
Recived: Mar.06, 2023 Accepted: Jan.19, 2023

Abstract

Herein, the stability of the Zarandieh-Saveh aquifer was investigated, based on field monitoring data and simulation. It was simulated involving GMS software and calibrated and vitrificated in both steady-state and unsteady-state conditions, for 84 monthly steps (2012 to 2022). The values of Aquifer Sustainability (AS) and Groundwater Dependence (DG) indices calculated equal to 31.1% and 0.78%, respectively, which shows the aquifer is in a critical condition and the region is highly dependent on groundwater. According to the Groundwater Damping Index (GDR), with the continuation of the present extraction process, the aquifer will be completely discharged in the next 53 years. The scenario of 20% reduction in annual extraction as the most appropriate scenario will result a rise equal 4 meters in ten years. The operation of the seasonal floods artificial recharging project has had a significant effect on improving the level of this aquifer. The interbasin transfer and recharging scenario of Al-Ghadir Dam overflow have a positive and significant effect on the groundwater level equal to 0.75 meters per year. Based on the results, the parameters and factors affecting the balancing of the Zarandieh aquifer, the first priority is to reduce the exploitation and then increase of recharging from the Al-Ghadir dam overflow site, which can have significant effects on the stability of this aquifer.

Keywords: Artificial Recharging, Field Monitoring, Groundwater Storage and Recovery, Sustainable Exploitation, Zarandieh Saveh Aquifer

1- Graduated MSc Student of Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Professor, Department of Renewable Energies and Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Markazi Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Arak, Iran
4- Professor, Irrigation & Reclamation Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: EbrahimiK@ut.ac.ir)