هیدروژئولوژی، سال پنجم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۹
Hydrogeology, Volume 5, No. 2, Winter 2021

ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد اجزای محدود در شبیه‌سازی عددی

سمیرا رضایی [۱]، سامان جوادی [۲*]، حمید کاردان مقدم [۳]

۱- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۲- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳- پژوهشکده منابع آب، موسسه تحقیقات آب

* نویسنده مسئول: Javadis@ut.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۲

چکیده

مدیریت منابع آب زیرزمینی با توجه به تنش‌های مختلف و خشک‌سالی در منطقه ایوانکی، بخصوص رشد جمعیت و افزایش تقاضا یک مسئله مهم جهت تصمیم‌گیری است. امروزه سدهای زیرزمینی در راستای مدیریت منابع آب زیرزمینی در مناطقی که با بحران آب مواجه‌اند نقش بسزایی ایفا می‌کنند. از طرف دیگر احداث سدهای زیرزمینی نیاز به ذخیره سطحی ندارد و سبب تغییر کاربری اراضی و اکوسیستم موجود نیز نمی شود. با استفاده از مدل‌های آب زیرزمینی می‌توان رفتار آتی سفره آب زیرزمینی را شبیه‌سازی نموده و تغییرات رفتار آبخوان در مقابل شرایط گوناگون از جمله احداث سد زیرزمینی را پیش بینی نمود. در این پژوهش برای بررسی وضعیت آتی آبخوان ایوانکی و عکس‌العمل آن در مقابل سناریوهای مدیریتی گوناگون از نرم افزار FEFLOW استفاده گردید. از آنجایی که مساحت آبخوان نسبتاً کوچک بوده، روش‌های مبتنی بر المان محدود که شبکه‌بندی آبخوان را جزیی‌تر در نظر می‌گیرند بسیار موثر می‌باشد. از این‌رو برای بررسی میزان تاثیر سد زیرزمینی بر رفتار هیدرودینامیکی آبخوان به عنوان سناریو اصلی، سه سناریو مدیریتی کمکی تعریف و اثر آنها نیز به همراه اجرای سد زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفت. سناریوهای کمکی شامل انجام تغذیه مصنوعی، کاهش بهره برداری ۱۰ و ۲۰ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد که در صورت احداث سد زیرزمینی همراه با ۲۰ در صد کاهش بهره‌برداری به طور متوسط حدود ۲/۵۳ متر به تراز آب اضافه می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در آبخوان‌هایی که با افت تراز آب روبرو بوده به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، این راهکار مدیریتی مفید واقع خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان ایوانکی، تغذیه مصنوعی، روش اجزاء محدود، مدیریت بهره‌برداری، نرم افزار FEFLOW.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی تامین کننده آب جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در اکثر مناطق ایران می‌باشد که با توجه به عدم مدیریت صحیح، بهره‌برداری بالاتر از توان آبخوان و تنش اقلیمی سبب بروز بحران شده است(۱). راهکارهای برون رفت از بحران منابع آب با توجه به وضعیت موجود نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های تعادل‌بخشی است. استفاده از طرح‌هایی با هدف تامین آب مصرفی و مدیریت هدررفت آب یکی از ابزارهای مدیریت معرفی شده که در این میان اجرای سدزیرزمینی در مناطقی که پتانسیل اجرای این سازه‌ی زیرزمینی را داشته باشد کارایی مناسبی دارد. امروزه در بسیاری از کشورهای دنیا ساخت سدهای زیرزمینی به عنوان روشی جدید در بهره‌برداری از منابع آب مورد توجه قرار گرفته است. میزان تبخیر کم، کاهش خطر آلودگی، نبود خسارت مخزن،

پایداری بسیار بالا سازه‌ای، عدم وجود تهدید برای ساکنین و ابنیه پایین دست سد و هزینه پایین ساخت از فواید عمده این نوع تاسیسات است(۶). مطالعات در خصوص مکان‌یابی سد زیرزمینی و نقش آن بر منابع آب زیرزمینی، کارایی سدزیرزمینی از جمله موضوعات مورد توجه محققین در بحث مدیریت منابع آب بصورت سازه‌ای بوده است. یکی از روشهای ارزیابی مکان مناسب جهت احداث سد زیرزمینی استفاده از مدل‌های عددی جهت تحلیل است(۹). حل عددی مسائل مربوط به حرکت سیالات در محیط متخلخل برای اولین بار، قبل از سال ۱۹۵۰، در صنعت نفت بکار گرفته شد. فاست[1] و مرکر[2] در سال ۱۹۸۰ مطالبی را در جهت استفاده از معادلات دیفرانسیلی جزء به جزء در حل مسائل آب زیرزمینی و مدل های عددی عنوان نمودند(۱۱). ونگ[3] و اندرسون[4] در سال ۱۹۸۸کتابی را برای زمین شناسان نوشتند که در آن مقدمه ای بر روشهای عددی تفاضل محدود و عناصر محدود همراه با برنامه های کامپیوتری به زبان فرترن برای حل معادلات جریان در محیطهای متخلخل آمده است(۱۷). در داخل و خارج از کشور تحقیقات مختلفی روی سدهای زیرزمینی و همچنین استفاده از مدلسازی آب های زیرزمینی برای مدیریت آبخوان صورت گرفته است. ارزیابی و مدلسازی یکی از ابزارهای مهم جهت تحلیل اجرای مناسب یک سد زیرزمینی بوده که در این زمینه مدلهای تفاضل محدود و اجزای محدود نتایج مناسبی را نشان داده‌اند. در تحقیقی سد فرضی با ضخامت ۱۰ متر در آبخوانی در چین با استفاده از مدل Modflow شبیه سازی شد. در این تحقیق با پمپاژ دبی‌های مختلف از ۲ چاه در محدوده سد، حرکت آب شور دریا به سمت آبخوان به صورت خطوط کنتوری ترسیم گردید(۱۶). در تحقیق دیگری با مطالعه مدل فیزیکی سدزیرزمینی، مدل عددی آن توسط Modflow تهیه شد. دبی، ارتفاع سد، سطح ایستابی اولیه، هدایت هیدرولیکی، ضخامت سد و شیب کف لایه آبدار به ترتیب مهمترین عوامل مؤثر بر ارتفاع آب بر روی سد زیرزمینی به دست آمد (۷). در مطالعه دیگری جهت تعیین اثر جزر و مد بر پویایی آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی، یک مدل عددی با استفاده از مدل FEFLOW ساخته شد. جزر و مد ناشی از نوسانات آب زیرزمینی و نفوذ آب دریا تاثیر مهمی بر هیدرولوژی و محیط زیست سفره‌های آب های ساحلی دارد. نتایج شبیه سازی آب زیرزمینی با داده های تجربی آزمایشگاهی تأیید اعتبار گردیده است (۱۲). مطالعات متعددی در زمینه استفاده از مدل‌های عددی جهت شبیه‌سازی اثر راهکارهای متعدد بر وضعیت آبخوان انجام شده است. رضایی و پشگاهی در سال ۱۳۹۶ اثر احداث آب‌بندان، کاردان مقدم و همکاران در سال ۱۳۹۶ اثر تغذیه مصنوعی را بر وضعیت آبخوان، حیدری و همکاران در سال ۱۳۹۸ اثر رودخانه گاماسیاب بر آبخوان و کرد و همکاران در سال ۱۳۹۸ اثر بهینه‌سازی برداشت بر وضعیت آبخوان از جمله مطالعات انجام شده می‌باشد (۱۰،۹،۳،۲).

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که یکی از ابزارهای مناسب جهت ارزیابی یک راهکار استفاده از مدل‌های عددی است که با دو روش تفاضل محدود و المان محدود حل می‌گردد. در این مطالعه از روش المان محدود برای اولین بار با استفاده از مدل FEFLOW برای شبیه‌سازی جریان و اثر راهکارهای تعادل‌بخشی و ایجاد سدزیرزمینی استفاده شده است. استفاده از این روش با توجه به تفاوت المان‌بندی در مدلسازی بخصوص در شرایطی که اثر یک راهکار تعادل‌بخشی می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد ملموس‌تر است. اعمال این سناریو با توجه به المان‌بندی کوچکتر باعث افزایش دقت در نتایج شبیه‌سازی می‌گردد. لذا استفاده از سدهای زیرزمینی و تعیین تاثیر آن با استفاده از مدلسازی برای حفظ و کنترل آب زیرزمینی در حال تکامل و گسترش است. لذا به منظور بهره گیری از این روشها باید شرایط و ضوابط احداث آنها بررسی گردد. بنابراین مطالعه تغییرات رفتار هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از نرم افزارهای مدلسازی که با صرف زمان کمتر و با دقت بالایی آبخوان را شبیه‌سازی کنند، به عنوان یکی از اقدامات اولیه قبل از اجرای سد ضرروی

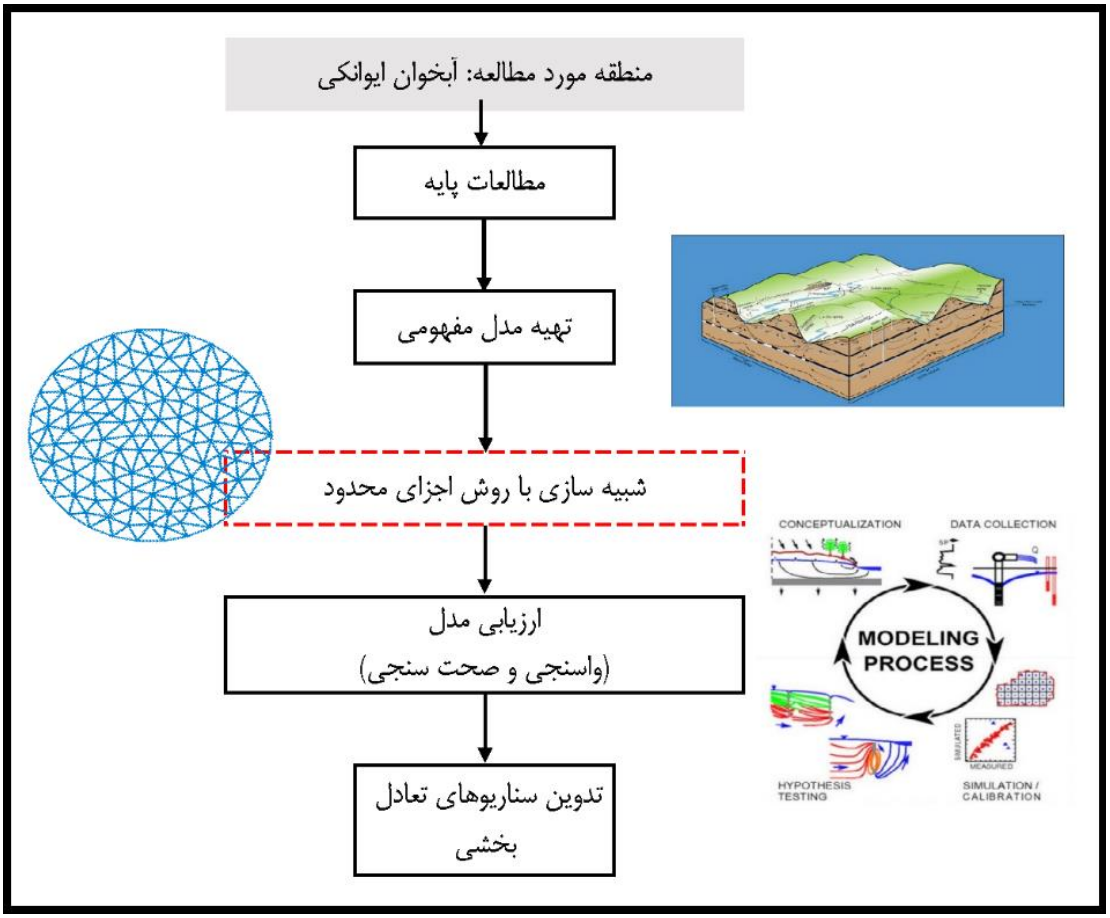
1 -Faust
2 - Mercer
3 - Wang
4 -Anderson

است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر احداث سدهای زیرزمینی در کنار اجرای سناریوهای مدیریتی نظیر طرح تغذیه مصنوعی و کاهش بهره برداری از آبخوان ایوانکی توسط مدل اجزای محدود با نرم‌افزار FEFLOW مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

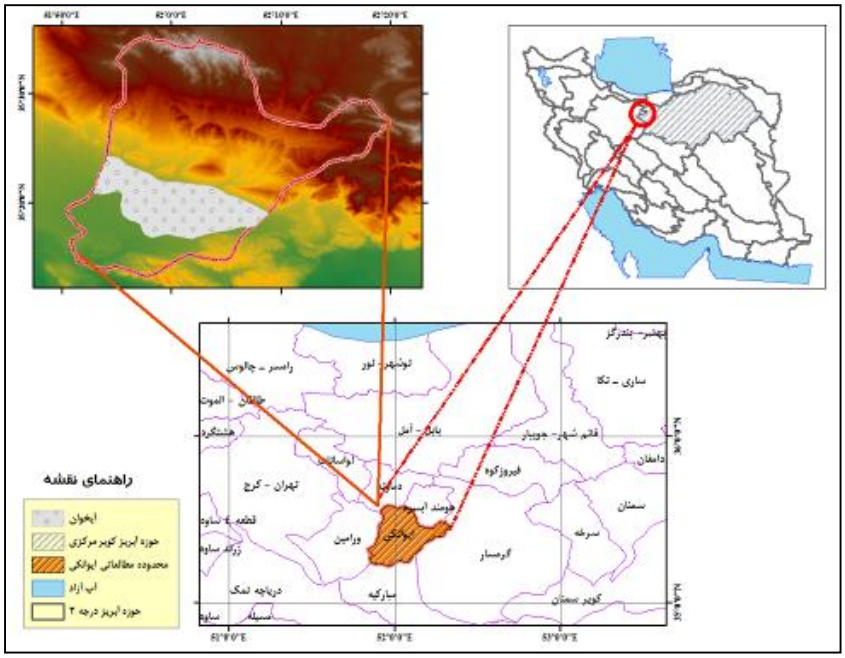
به منظور بررسی و ارزیابی راهکارهای تعادل‌بخشی آبخوان ایوانکی برای اولین بار از مدل عددی با روش حل اجزای محدوده (FE) استفاده شد. در این مطالعه پس از تدوین مدل مفهومی و ارزیابی مدل در دو حالت ماندگار و غیرماندگار، سناریوهای سد زیرزمینی، احداث تغذیه مصنوعی در کنار سد زیرزمینی، کاهش ۱۰ درصد بهره برداری از چاه ها به همراه اجرای سد زیرزمینی و کاهش ۲۰ درصد بهره برداری از چاه ها به همراه اجرای سد زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۱) روش تحقیق بصورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل۱- روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دشت ایوانکی در شمال غرب استان سمنان واقع گردیده است. بین طول های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض های ۳۵ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده است. مساحت این محدوده مطالعاتی۹۴۷ کیلومتر مربع است. حداقل ارتفاع این محدوده ۷۴۰ متر و حداکثر ارتفاع آن در ارتفاعات به میزان ۳۰۱۲ متر از سطح دریا است. متوسط ارتفاع این محدوده ۱۵۶۰متر از سطح دریا می‌باشد(۲). شکل شماره (۲) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به افزایش بهره‌برداری در سالهای اخیر روند افت آب زیرزمینی افزایش داشته و این محدوده با مشکلات کمی و کیفی از نظر بهره‌برداری منابع آب مواجه شده است.



شکل۲- موقعیت محدوده مطالعاتی ایوانکی

آبخوان ایوانکی از نوع آزاد بوده و منبع اصلی تغذیه این آبخوان جریانات سطحی و زیرسطحی منشعب گرفته از ارتفاعات البرز در بخش شمالی آن است. رسوبات آبرفتی پهنه دشت از ذرات درشت دانه تشکیل شده و مقادیر قلوه سنگ از جنس کنگلومرا و ماسه سنگ‌های قرمز فوقانی، سازند هزاردره و شیل و توف‌های سازند کرج واقع شده است. ضخامت این نهشته‌ها بین ۲۰ تا ۲۵۰ متر بوده و بیشترین ضخامت در بخش شمال شرقی آبخوان است. این محدوده دارای ۲۱۳ حلقه چاه بهره‌برداری است که در طی سالیان اخیر با حجم حدود ۴۲ میلیون مترمکعب حفر شده‌اند. بیشتر مصارف آب در این محدوده برای مصارف کشاورزی بوده و حدود ۲/۳۳ میلیون مترمکعب جهت مصارف شرب استفاده می‌شود. بررسی وضعیت کمی آبخوان حاکی از افت شدید بوده بگونه‌ای که ۳۲ متر در طی ۲۱ سال ثبت شده است. لذا با توجه به وضعیت کمی آبخوان و افت شدید سفره استفاده از راهکارهای تعادل‌بخشی ضروری است.

معرفی نرم‌افزار FEFLOW و روش حل المان محدود

نرم‌افزار FEFLOW بسته شبیه‌سازی دوبعدی و سه بعدی المان محدود در آبهای زیرزمینی می‌باشد که در هر دو محیط آبخوان اشباع و غیر اشباع میتواند جریان را تحلیل کند (۱۳). کد این مدل اولین بار توسط هانس جورج[5] نوشته و در سال ۱۹۷۹ به نرم‌افزار جامعی تبدیل شد. سپس در سال ۱۹۹۰ توسط شرکت DHI-WASY در آلمان توسعه داده شد که هم اکنون این شرکت تمامی خدمات این نرم افزار را ارائه می‌کند. این نرم‌افزار دارای قابلیت‌های مختلفی از جمله مدلسازی آب زیرزمینی، انتقال املاح، نفوذ آب دریا(SEAWAT)، نشت آب از سد و مدیریت تغذیه و تخلیه می‌باشد (۱۰ و ۱۲). روش اجزای محدود (FEM) یک روش عددی قدرتمند است که از آن برای مدلسازی یک سامانه یا آبخوان می‌توان استفاده کرد. روش اجزای محدود (FEM) با از تکنیک تقریب زنی گالرکین برای حل معادله اساسی جریان در مدل فوق استفاده می شود مطابق این روش معادله جریان آب زیرزمینی در دو بعد را می توان به صورت رابطه (۱) نوشت:

$$L(h)=\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial h}{\partial y}\right)-C_{uw}\frac{\partial h}{\partial t}+W=0 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه، L: یک تابع اپراتور می‌باشد که در سیستم جریان آب زیرزمینی تعریف می شود و Kx : هدایت هیدرولیکی در

[5] Hans jorj

راستای محورx و نیز K_y : هدایت هیدرولیکی در راستای محور y همچنین W: تغییرات حجم مخزن و C_{UW} : نسبت ضریب ذخیره به ضریب قابلیت انتقال و h : بار هیدرولیکی می‌باشد.

تهیه مدل مفهومی آبخوان

یکی از مهمترین مراحل مدلسازی، تهیه مدل مفهومی مناسب با توجه به طبیعت سفره می باشد. تهیه مدل مفهومی، بستگی به اهداف مدلسازی و منابع موجود و آمار و اطلاعات زمینی دارد. در این پژوهش به منظور اثر احداث سد زیرزمینی بر رفتار هیدرودینامیکی آبخوان ایوانکی، مدل مفهومی آبخوان تهیه گردید. محدوده مدل سازی آبخوان ایوانکی واقع در دشت ایوانکی می باشد که وسعتی برابر ۱۲۲/۲ کیلومترمربع دارد و با توجه به داده‌های موجود بصورت یک سیستم آب زیرزمینی، مدل سازی انجام شد. به منظور شبیه‌سازی مدل ماندگار[۶] در آبخوان با توجه به بیلان آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی ایوانکی، مهرماه سال ۱۳۸۷ انتخاب و مدلسازی انجام شد. به منظور شبیه‌سازی در حالت غیرماندگار[۷] ۱۸ گام زمانی ماهانه با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده پس از زمان مدل ماندگار در نظر گرفته و شبیه‌سازی انجام گرفت. با استفاده از روش اجزای محدود، شبکه‌بندی آبخوان ایوانکی با ۵۰۴ المان مثلثی تشکیل پارامترهای بیلان آب زیرزمینی منطقه و استراگرافی آبخوان وارد مدل شد. با توجه به نتایج آزمایشات ژئوفیزیک و پمپاژ منطقه، سنگ بستر و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان استخراج شد. براساس نتایج ژئوفیزیک و منحنی‌های هم ضخامت آبخوان، ارتفاع سنگ بستر در آبخوان ایوانکی بدست آمد. با توجه به میانگین درازمدت بارش منطقه و ارزیابی میزان رواناب در شبکه رودخانه منطقه با توجه به ضرایب در نظر گرفته شده برای آب برگشتی، میزان تغذیه از نزولات آسمانی برآورد شد. همچنین با توجه به مصارف آب در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت میزان آب برگشتی در آبخوان محاسبه و با اضافه شدن میزان نفوذ ناشی از رواناب و بارش، میزان تغذیه از سطح آبخون بدست آمد. این نتایج بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی در مدل اعمال شد. شکل (۳) مدل مفهومی آبخوان را با استفاده از شبکه‌بندی مثلثی به کمک مدل اجزای محدود را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی اولیه مدل نشان داد که تراز آب زیرزمینی در منطقه بین ۸۷۰ تا ۹۶۲/۳ متر متغیر است.

معرفی سناریوهای تعادل‌بخشی آبخوان

مهمترین هدف از تهیه مدل‌سازی اجرای سناریوهای مدیریتی منابع آب می‌باشد که در این پژوهش سناریو اصلی احداث سد زیرزمینی و تاثیر آن در میزان افزایش سطح آب می‌باشد. دلیل انتخاب این سناریو با توجه به قابلیت مدل المان محدود و همچنین وضعیت منطقه از نظر ارتفاع سنگ بستر انتخاب گردید. همچنین می‌توان در کنار آن سناریوهای فرعی را نیز بررسی نمود که پس از به دست آمدن نتایج اثر احداث سد زیرزمینی، سه سناریو مدیریتی برای اجرا در کنار سد زیرزمینی در نظر گرفته شد که به شرح زیر می‌باشد:

سناریو پایه: احداث سد زیرزمینی.

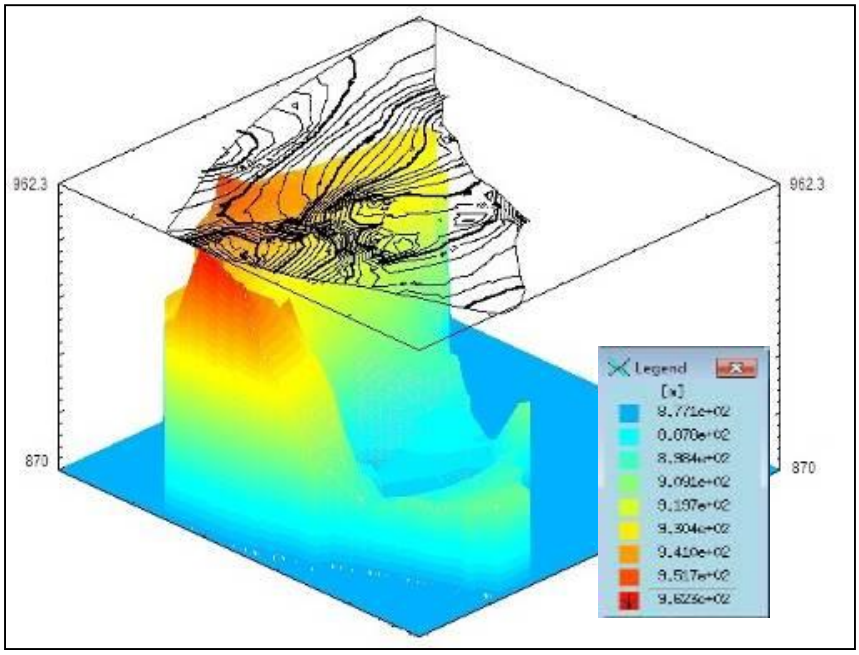
سناریو۱: اثر احداث تغذیه مصنوعی در کنار سد زیرزمینی.

سناریو۲: کاهش ۱۰ درصد بهره برداری از چاه ها به همراه اجرای سد زیرزمینی.

سناریو ۳: کاهش ۲۰ درصد بهره برداری از چاه ها به همراه اجرای سد زیرزمینی.

[6] - Steady Model

[7] - Unsteady Model

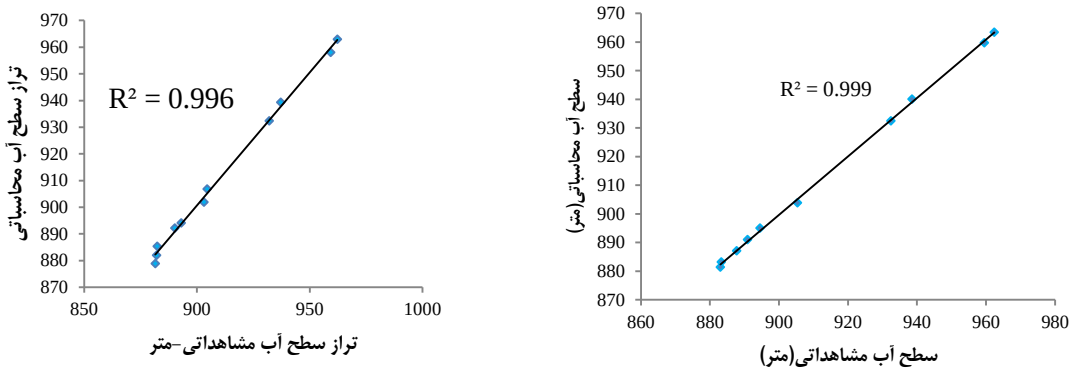


شکل۳- مدل مفهومی آبخوان ایوانکی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج واسنجی و صحت سنجی

پس از شبیه‌سازی اولیه مدل، واسنجی هدایت هیدرولیکی در شرایط ماندگار و آبدهی ویژه در شرایط غیرماندگار انجام گرفت. با توجه به نوع محیط آبخوان، واسنجی انجام گرفت و حداقل و حداکثر مقدار هدایت هیدرولیکی ۵ و ۲۵ متر در روز تعیین شد. میزان هدایت هیدرولیکی در جهت جریان آب زیرزمینی و شیب زمینی کاسته شد و در بخش خروجی آبخوان کمترین میزان هدایت هیدرولیکی بدست آمد. میزان برآورد شده آبدهی ویژه نیز مشابه هدایت هیدرولیکی بوده و حداقل ۳ درصد تا ۱۲ درصد در آبخوان متغیر بود. پس واسنجی مدل، مقایسه هیدروگراف حاصل از شبیه‌سازی مدل با هیدروگراف مشاهداتی چاه‌های مشاهداتی و آبخوان حاکی از تطبیق مناسب مدل با شرایط واقعی است، به طوریکه میانگین قدر مطلق اختلاف بین بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت ماندگار زیر یک متر و در حالت غیر ماندگار زیر دو متر است. شکل (۴) همبستگی بین تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را در دو حالت جریان ماندگار و غیرماندگار نشان می‌دهد. تحلیل آماری خطای شبیه‌سازی نیز در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج مقایسه‌ای تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را در چهار چاه مشاهداتی منطقه نیز بصورت شکل (۵) نشان داده شده است.

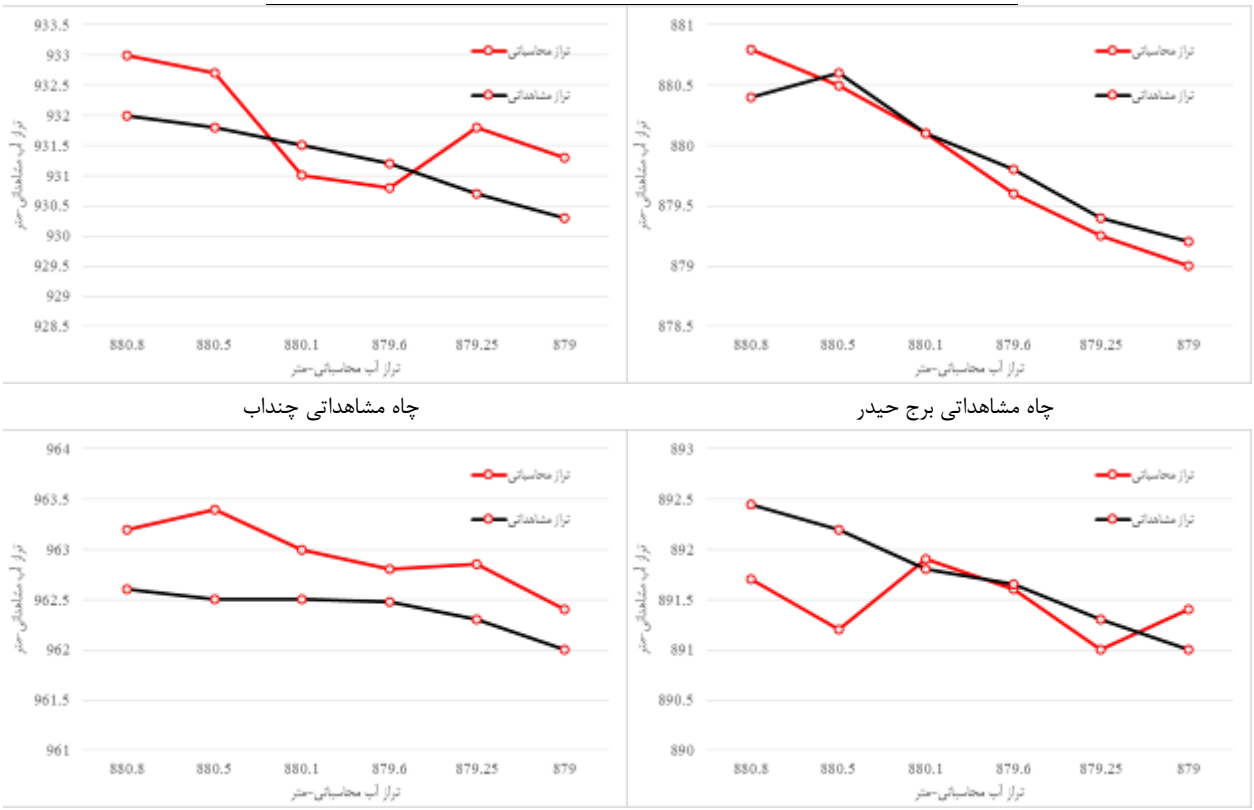


الف **ب**

شکل۴- همبستگی میان داده های تراز سطح آب مشاهداتی و محاسباتی در حالت ماندگار (الف) و در حالت غیر ماندگار(ب)

جدول ۱- مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و متوسط خطای مطلق

مدل	RMSE	MAE
شرایط غیر ماندگار	۱/۷۹۴	۰/۷۳۰
شرایط ماندگار	۰/۹۳۴	۰/۲۳۲



چاه مشاهداتی برج حیدر — چاه مشاهداتی چنداب

چاه مشاهداتی جهادآباد — چاه مشاهداتی بهشت آباد

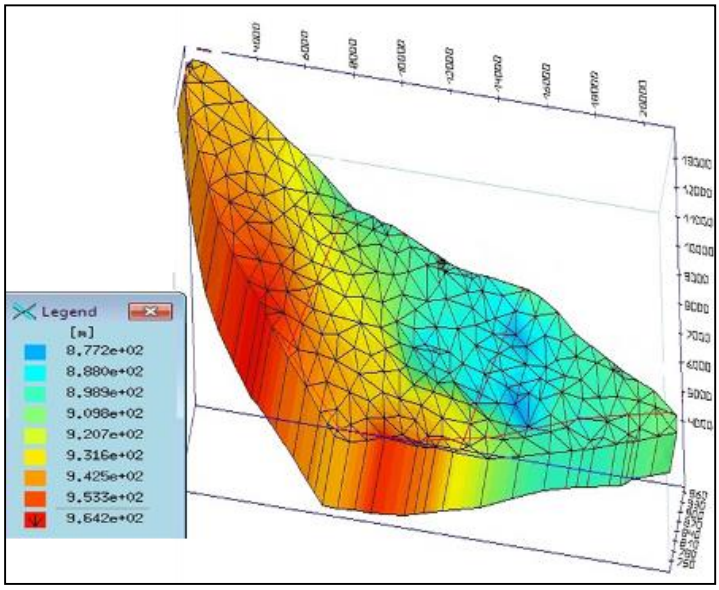
شکل ۵- مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی در چاه مشاهده‌ای در دوره صحت سنجی

نتایج حاصل از اثر احداث سد زیرزمینی (سناریو اصلی)

جهت شبیه‌سازی اثر احداث سد زیرزمینی بر وضعیت کمی آبخوان با در نظرگرفتن یک لایه کم تراوا با مقدار هدایت هیدرولیکی بسیار ناچیز در مکان پیش بینی شده به مدت سه سال مدل اجرا شد. براین اساس نتایج نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی در بالادست سد افزایش یافته اما در پایین دست آن کاهش داشته است. بنابراین با احداث این سد زیرزمینی در قسمتی از آبخوان که تراکم چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی در آن زیاد است می‌توان آب را در فصولی که مصرف ندارد، ذخیره نمود و در فصول پر مصرف استفاده کرد. در جدول (۲) تراز سطح آب پیزومترهای آبخوان ایوانکی قبل و بعد از احداث سد زیرزمینی نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد ۴ چاه مشاهده‌ای که در پائین دست سدزیرزمینی قرار دارد دارای افت و ۴ چاه مشاهده‌ای که در بالادست سد زیرزمینی است دارای بالازدگی آب زیرزمینی شده است. شکل (۶) نیز میزان تراز سطح آب آبخوان را پس از احداث این سد زیرزمینی نشان می دهد.

جدول ۲- تراز آب زیرزمینی در اثر احداث سدزیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان ایوانکی

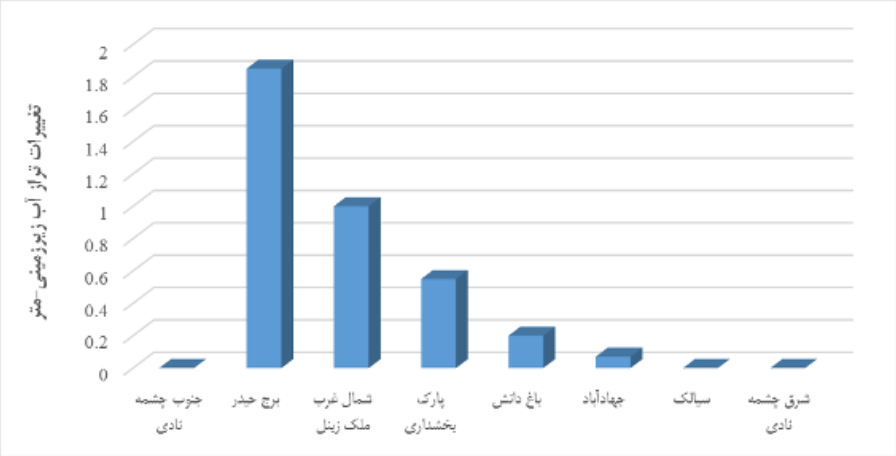
نام چاه مشاهده‌ای	تراز آب قبل احداث متر	تراز آب بعد احداث متر	تغییرات تراز آب متر
جنوب چشمه نادی	937	937.75	0.75
برج حیدر	877	879.96	2.96
شمال غرب ملک زینل	876	877.92	1.92
پارک بخشداری	885	886.31	1.31
باغ دانش	886	884.94	-1.06
جهادآباد	890	888.44	-1.56
سیالک	900	899.16	-0.84
شرق چشمه نادی	963	961.45	-1.55



شکل۶- تراز آب زیرزمینی در اثر احداث سد زیرزمینی در آبخوان ایوانکی

نتایج سناریو یک (اجرای سد زیرزمینی همراه با اجرای تغذیه مصنوعی)

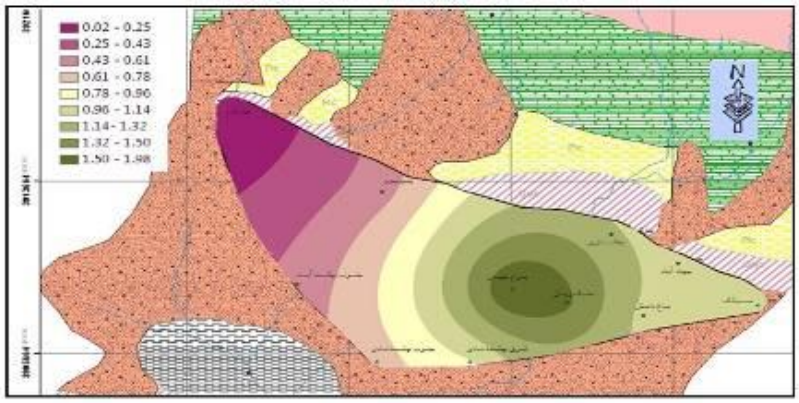
در این سناریو در مکان تعیین شده برای تغذیه مصنوعی، به توصیه کارشناسان بخش آب زیرزمینی شرکت آب منطقه ای استان سمنان، یک و نیم میلیون متر مکعب تغذیه مصنوعی در نظر گرفته شد. سایر شرایط مدل مانند بار مرزها، میزان بارندگی و بهره برداری از چاه ها مانند حالت قبل در نظر گرفته شد. برای معلوم شدن میزان تاثیر تغذیه مصنوعی بر تراز سطح آب زیرزمینی، سطح آب به دست آمده در اثر اعمال این سناریو با تراز سطح آب زیرزمینی در حالتی که سد زیرزمینی به تنهای اجرا شده ، مقایسه شده است. همان طور که شکل شماره (۷) نشان می دهد میزان افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای برج حیدر ، شمال غرب ملک زینل و پارک بخشداری قابل توجه است.



شکل ۷- اثر احداث سد زیرزمینی و تغذیه مصنوعی بر تراز آب زیرزمینی در آبخوان ایوانکی

نتایج سناریو دو (اجرای سد زیرزمینی همراه با کاهش بهره برداری ۱۰ درصد)

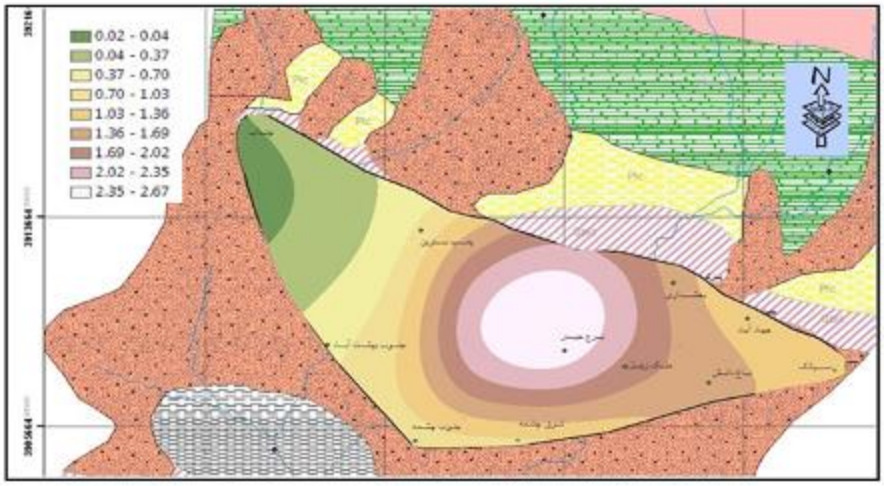
تغییر روش های آبیاری از سنتی به قطره ای و بارانی می تواند میزان مصرف آب را کاهش دهد. در این سناریو فرض شده است که روند بهره برداری از چاه ها در دوره آتی نسبت به سال پایه، ۱۰ درصد کاهش یابد و سایر شرایط از قبیل بار در مرزها و بارندگی مانند حالت قبلی در نظر گرفته شده است. شکل (۸) میزان افزایش سطح آب زیرزمینی در دوره های آتی را نسبت به سال پایه نشان می دهد. در ترسیم این شکل، فقط تاثیر کاهش بهره برداری در افزایش تراز سطح آب پیزومترها در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است میزان افزایش تراز سطح آب زیرزمیینی در پیزومترهای برج حیدر و شمال غرب ملک زینل و بیشتر از سایر پیزومترها بوده است زیرا تراکم چاه های بهره برداری در این ناحیه زیاد است.



شکل ۸- تغییرات سطح آب زیرزمینی افزایش یافته در اثر کاهش ۱۰ درصد بهره‌برداری

نتایج سناریو سه (اجرای سد زیرزمینی همراه با کاهش بهره برداری ۲۰ درصد)

با تغییر الگوی کشت و استفاده از محصولاتی که امکان تولید در آبخوان ایوانکی را دارند، می‌توان میزان مصرف آب را کاهش داد. در این سناریو روند بهره برداری از چاه ها در دوره آتی نسبت به سال پایه، ۲۰ درصد کاهش یافته است. سایر شرایط از جمله بار در مرزها و بارندگی مانند حالت قبلی در نظر گرفته شده است. شکل (۹) میزان افزایش سطح آب زیرزمینی در دوره های آتی در اثر اجرای این سناریو را نشان می دهد. در ترسیم این شکل، فقط تاثیر کاهش بهره برداری در افزایش تراز سطح آب پیزومترها در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است میزان افزایش تراز سطح آب زیرزمیینی در پیزومترهای برج حیدر و شمال غرب ملک زینل، پارک بخشداری و باغ دانش بیشتر از سایر پیزومترها بوده است. زیرا تراکم چاه های بهره برداری در این ناحیه زیاد است.



شکل (۹)- تغییرات سطح آب زیرزمینی افزایش یافته در اثر کاهش ۲۰ درصد بهره‌برداری

نتیجه‌گیری

روند افزایش جمعیت و در پی آن افزایش بهره‌برداری سبب شده تا وضعیت منابع آب زیرزمینی هر روز نامناسب‌تر باشد و بحران منابع آب زیرمینی بوجود آید. تدوین راهکارهای تعادل‌بخشی در سالیان اخیر توسط وزارت نیرو در حال انجام بوده اما با توجه به اینکه انتخاب یک یا چند راهکار مناسب جهت افزایش بهره‌وری و کاهش تنش در هر آبخوان متفاوت است لذا از ابزار شبیه‌سازی می‌توان جهت این کار بهره جست. براین اساس در این پژوهش به منظور تعادل‌بخشی آبخوان ایوانکی با استفاده از روش اجزای محدود بررسی سناریو ایجاد سدزیرزمینی بر رفتار هیدرودینامیکی آبخوان به عنوان سناریو اصلی و سه سناریو مدیریتی دیگر تعریف و اثر آنها نیز به همراه اجرای سد زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفت. سناریوهای کمکی شامل انجام تغذیه مصنوعی، کاهش بهره برداری ۱۰ و ۲۰ درصد از آبخوان هستند. نتایج نشان می‌دهد که احداث سد زیرزمینی بیشترین تاثیر را در بالادست محل پیشنهادی داشته و تغییرات تراز آب زیرزمینی در دوره پیش‌بینی بهبود داشته است. همچنین شبیه‌سازی سناریوهای فرعی این پژوهش نیز حاکی از بهبود کمی آبخوان است اما در صورت احداث سد زیرزمینی همراه با ۲۰ درصد کاهش بهره برداری بیشترین میزان افزایش ذخیره آب به میزان ۲/۵۳ متر در بالادست آبخوان صورت خواهد گرفت.

منابع

اصغری .ک، سوری نژاد .ج، ذوالانوار .ع. (۱۳۸۴). پیش بینی عملکرد بهینه آبخوان دشت برخوار به روش شبیه سازی- بهینه سازی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳): ۱۳-۲۶.

بی نام .(۱۳۹۰). گزارش مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی ایوانکی، وزارت نیرو ، شرکت سهامی آب منطقه ای تهران.

حیدری، ج. چیت‌سازان، م. میرزایی، ی. (۱۳۹۸) مدل‌سازی رابطه هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت صحنه-بیستون با رودخانه

گاماسیاب و مدیریت آبخوان. مجله هیدروژئولوژی، دوره ۴، شماره ۱. ص ۱۴۰-۱۵۲.

رضایی، ح. پشگالی، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی اثر احداث آب‌بندان بر تراز آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز گرگان‌رود استان گلستان. مجله هیدروژئولوژی. دوره ۲، شماره ۱. ص ۴۵-۵۷.

دارابی م (۱۳۹۳) مدلسازی هیدروژئولوژیکی سازند سخت کارگاه استخراج روباز معدن سه‌چاهون (آنومالیXI)، دانشگاه یزد. یزد. پایان نامه کارشناسی ارشد.

طباطبائی. ح، لاله زاری. ر.(۱۳۹۳). شبیه سازی تأثیر احداث سد زیرزمینی روی ذخیره آبخوان و پراکنش نیترات در دشت شهرکرد، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۶۵: ۲۵-۳۸.

طیاری. ا, شمسایی. ا. (۱۳۸۵). تحلیل عوامل موثر بر ارتفاع آب در سدهای زیرزمینی و ارایه روشی برای تخمین آن، دانش نوین کشاورزی پایدار، ۳: ۸۷-۱۰۲.

عطارنژاد، رضا، رباطی، امیر. (۱۳۸۶). اجزاء محدود در آبهای زیرزمینی، انتشارات فدک ایساتیس، ۱۹۴ صفحه.

کاردان مقدم،ح. بنی حبیب، م.ا. جوادی، س.(۱۳۹۶). ارزیابی اثر تغذیه مصنوعی بر تعادل‌بخشی آبخوان با استفاده از شاخص پایداری، اکوهیدرولوژی. ۴(۴). ص ۱۲۵۳-۱۲۴۱.

کرد، م. اصغری‌مقدم، ا. نخعی، م. (۱۳۹۸). مدلسازی عددی آبخوان دشت اردبیل و مدیریت آن با استفاده از بهینه سازی برداشت آب زیرزمینی. هیدروژئولوژی، دوره ۴، شماره ۱، ص ۱۵۳-۱۶۷.

Chenini, I., mamou, A.B, (2010) Groundwater recharge study in arid region, An approach using GIS Techniques and numerical modeling, Computers and geosciences, 36(6): 801-817.

Liu Y, Shang S and Mao X, (2012) Tidal effects on groundwater dynamics in coastal aquifer under different beach slopes, Hydrodynamics, 24(1):97-106

Onder, H. Yilmaz, M. (2005) A Tool of sustainable Development and Management of groundwater Resources. European Water, 11:35-45.

User manual of feflow 6.1, DHI- WASY software.

Xu Y, CHANG L, HUANG H (2009) Application of FEFLOW in Groundwater Numerical Simulation, Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, 450(11): 641-647.

Zhao C, Wang Y, Chen X, Li B, (2005) Simulation of the effects of groundwater level on vegetation change by combining FEFLOW software, Ecological Modelling, 187(2): 341-351.

Zhu Y, Shi L, Lin A, Yang J, Ye M (2012) A fully coupled numerical modeling for regional unsaturated–saturated water flow, Hydrology, 475: 188–203.