

بررسی ارتباط هیدرولیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی آبخوان (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک)

عطیه حسینی زاده^{۱*}، علی محمد آخوندعلی^۲، حیدر زارعی^۳ و حسام سیدکابلی^۴

چکیده

مشخص بودن رابطه هیدرولیکی آب‌های سطحی و زیرزمینی در مدیریت صحیح منابع آب نقش بسیار مهمی دارد و باید در برنامه‌ریزی‌ها در نظر گرفته شود. یکی از بهترین روش‌ها برای بررسی ارتباط آب‌های زیرزمینی و سطحی، مدل‌سازی آبخوان‌ها است. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده به ویژه در داخل ایران، نقش رودخانه‌ها و آب‌های سطحی در مدل‌سازی آب زیرزمینی نادیده گرفته می‌شود. از این‌رو در بیشتر مناطق رابطه بین آب‌های سطحی و زیرزمینی همچنان نامشخص باقیمانده است. در این پژوهش به بررسی رابطه بین آب سطحی و زیرزمینی در دشت دزفول - اندیمشک پرداخته شده است. بدین منظور، مدل آب زیرزمینی منطقه در طول شش سال ۹۱-۱۳۸۵ به کمک نرم‌افزار GMS تهیه شد. نتایج نشان‌دهنده تفاوت رابطه هیدرولیکی آبخوان و رودخانه‌ها در نقاط مختلف دشت است. بیشترین تبادل هیدرولیکی با آبخوان در رودخانه دز در بازه بین سد تنظیمی دز تا محل ورود رودخانه بالارود دیده می‌شود. به‌طور کلی رودخانه‌ها در منطقه بیشتر تغذیه کننده آبخوان هستند. تنظیمی بودن جریان رودخانه‌ها تأثیر زیادی بر ارتباط هیدرولیکی دارد. به‌طوری‌که رودخانه‌های تنظیمی در فصل خشک، به مقدار بیشتر و در فصل تر به میزان کمتری تغذیه کننده آبخوان هستند و نسبت به رودخانه‌های طبیعی، وضعیت متفاوتی رخ می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: جریان تنظیمی رودخانه، رودخانه دز، رابطه هیدرولیکی، مدل آب زیرزمینی، نرم‌افزار GMS.

ارجاع: حسینی زاده ع. آخوندعلی ع. م. زارعی ح. و سیدکابلی ح. ۱۳۹۵. بررسی ارتباط هیدرولیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی آبخوان (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک). مجله پژوهش آب ایران. ۲۲: ۶۹-۷۸.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استاد گروه هیدرولوژی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استادیار گروه هیدرولوژی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

* نویسنده مسئول: atie_hoseinizade@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۱

مقدمه

منابع آب زیرزمینی همواره یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند (پاولیک و همکاران، ۲۰۱۲؛ جانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۹۰ و نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). ایران از جمله کشورهایی است که بیشترین مصرف آب را در بخش کشاورزی دارد و به دلیل کمبود آب‌های سطحی، بیشتر این نیاز از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود (شاهی‌دشت و عباس‌نژاد، ۱۳۸۹). از این‌رو مطالعه و بررسی آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف کشور به‌ویژه در دشت‌هایی که کشاورزی در آن‌ها انجام می‌شود، بسیار مهم است. یکی از بهترین روش‌ها برای بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی، شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از مدل‌های عددی است (ژائو، ۲۰۱۱). این کار به دلیل استفاده از داده‌های زیاد، وقت‌گیر و مشکل است (رجاز و داسارگوس، ۲۰۰۷). اما در دهه‌های اخیر با پیشرفت رایانه‌های پرسرعت، استفاده از شبیه‌سازی و مدل‌سازی عددی در پژوهش‌های بسیار گسترش یافته است (سینگ، ۲۰۱۳). یک مدل آب زیرزمینی شکل ساده شده‌ای از واقعیت است (تانگاراگان، ۲۰۰۷؛ کونیک و ویس، ۲۰۰۸؛ چیت‌سازان و کشکولی، ۱۳۸۱؛ محمودیان شوشتری، ۱۳۸۹) که نقش اساسی در توسعه و کاربرد تدابیر منطقی در زمینه آب زیرزمینی دارد (مک دونالد و هارباگ، ۱۹۸۸).

پژوهش‌های بسیار زیادی در زمینه آب زیرزمینی انجام گرفته است. از پژوهش‌های جدید در این زمینه می‌توان به یو و همکاران (۲۰۱۳)، سوسیلو و همکاران (۲۰۱۳) و نگرل و همکاران (۲۰۱۳)، که با هدف‌های مختلف مانند انتقال مواد آلی توسط آب زیرزمینی، رابطه آب زیرزمینی با پدیده ال‌نینو و بررسی کیفیت آب زیرزمینی به تهیه مدل آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر خود پرداختند، اشاره کرد. سینگ (۲۰۱۴) در بررسی‌ای مشکلات و مسائل مربوط به محیط زیست آبخوان‌ها در سطح جهان که به دلیل عدم مدیریت صحیح ایجاد شده است را مرور کرد و تأکید کرد که با توجه به رشد جمعیت جهانی، آب‌های زیرزمینی منبع مهم آب شیرین هستند و بازنگری برنامه‌ریزی‌ها در این زمینه ضروری است.

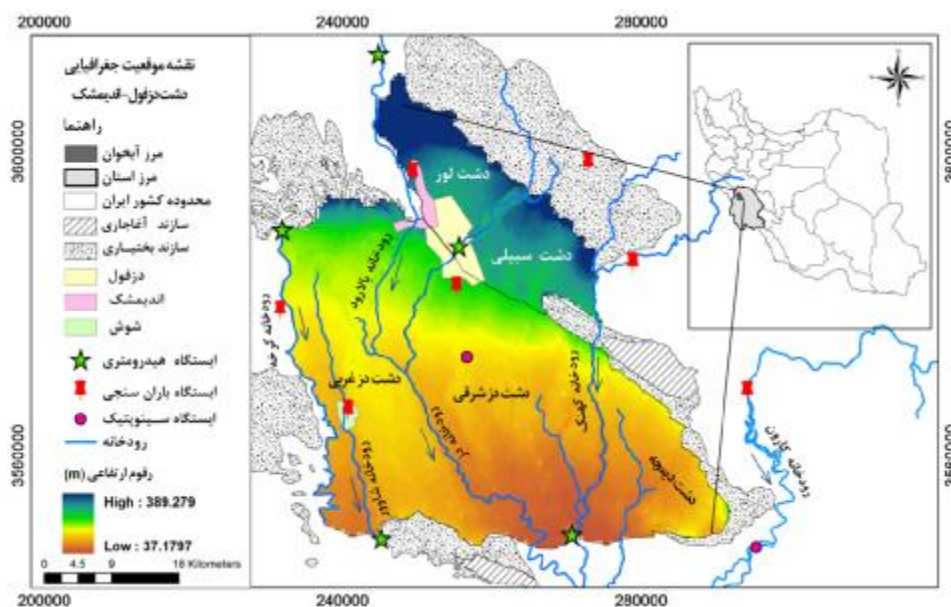
ارتباط هیدرولیکی بین آب سطحی و زیرزمینی همواره یکی از مسائل بسیار مهم در مدل‌سازی آب زیرزمینی است که بررسی این رابطه با وجود پیچیدگی‌های موجود، لازم و ضروری است. ایستو و همکاران (۲۰۱۰) ارتباط بین رودخانه و آب زیرزمینی را در چند نقطه از آبخوانی در غرب آمریکا در رابطه با ایزوتوپ‌های پایدار، شوری و بیلان آبی با استفاده از مدل Modflow بررسی کردند. انگوین و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل سه بعدی برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی مربوط به جزیره تای در جنوب غربی ویتنام تهیه کردند. نتایج نشان داد که تراز آب زیرزمینی در منطقه به شدت تحت تأثیر تغییرات فصلی سطح آب رودخانه مکنونگ است.

متأسفانه در پژوهش‌های مربوط به آب زیرزمینی و مدل‌سازی انجام شده در ایران نقش رودخانه‌ها و آب‌های سطحی یا در نظر گرفته نمی‌شود و یا مسیر رودخانه‌ها به صورت مجموعه چندین چاه فرض می‌شود. در نظر گرفتن چاه به جای رودخانه، به دلیل هیدرولیک متفاوت رودخانه و چاه سبب ایجاد خطا در مدل‌سازی آب زیرزمینی می‌شود و همچنین سبب شده که ارتباط بین آب سطحی و زیرزمینی در بیشتر دشت‌های کشور نامشخص باقی بماند. بدین منظور در این پژوهش، مدل‌سازی آب زیرزمینی در دشت دزفول اندیمشک، با هدف بررسی ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه‌ها و آبخوان و با در نظر گرفتن پروفیل عرضی رودخانه‌های جاری در دشت و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری، انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

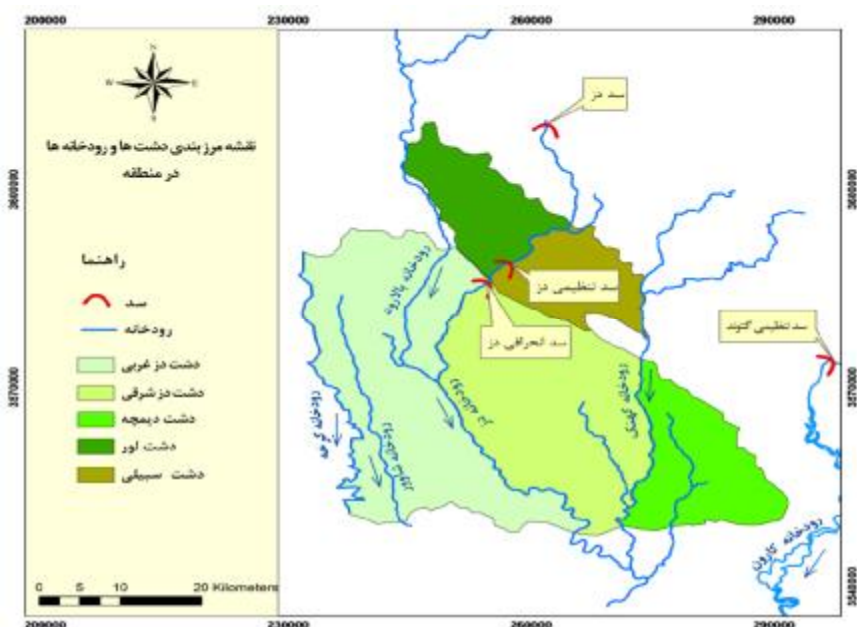
دشت دزفول- اندیمشک با وسعت ۲۰۷۳ کیلومتر مربع، بزرگ‌ترین و مهم‌ترین دشت استان خوزستان از نظر کشاورزی است (شکل ۱). این دشت که در شمال استان خوزستان است، با داشتن شبکه آبیاری دز با وسعت ناخالص ۱۲۵۰ کیلومترمربع نقش مهمی در کشاورزی استان دارد. طول کانال‌های اصلی شبکه دز بیش از ۲۰۰ کیلومتر بوده و بیشترین ظرفیت کانال مربوط به قسمت غربی این شبکه با دبی ۱۵۷ مترمکعب بر ثانیه است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت دزفول - اندیمشک

کشاورزی منطقه از آب‌های سطحی تأمین می‌شود. هرچند برداشت از آب زیرزمینی هم به دلیل وسعت کشاورزی در منطقه قابل توجه است. رودخانه دز آب مورد نیاز دو شبکه آبیاری سیلی و دز (شامل دو بخش دز غربی و شرقی) را تأمین می‌کند. شبکه آبیاری دیمچه آب مورد نیاز خود را به کمک سد تنظیمی گتوند از رودخانه کارون می‌گیرد (شکل ۲).

این دشت با توجه به وضع رودخانه‌ها و ارتفاعات منطقه به پنج بخش شامل: دشت لور، سیلی، دز غربی، دز شرقی و دیمچه تقسیم شده است. دو رودخانه بزرگ دز و کرخه و همچنین رودخانه‌های کهنک، شاوور و رودخانه فصلی بالارود در منطقه جریان دارند (شکل ۲). به جز دشت لور در چهار دشت دیگر موجود در منطقه، شبکه‌های منظم آبیاری وجود دارد که آب مورد نیاز خود را از رودخانه‌ها تأمین می‌کنند. به دلیل وجود این شبکه‌ها، بیشتر نیاز آب



شکل ۲- موقعیت دشت‌ها و رودخانه‌ها در منطقه

دشت، گندم است؛ هرچند با توجه به قرار داشتن کشت و صنعت کارون در دشت دیمچه، در این دشت فقط نیشکر

محصولات متنوعی در منطقه کشت می‌شود که نوع آن‌ها در سال‌های مختلف تغییر می‌کند اما کشت غالب در

مدل آب زیرزمینی

اولین گام در مدل‌سازی، تهیه مدل مفهومی است که بدین منظور به اطلاعاتی مانند داده‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، مشخصات هیدرولیکی و مرزهای ورودی و خروجی جریان نیاز است. در صورت عدم درک صحیح از منطقه، مدل مفهومی به درستی تهیه نشده و می‌تواند منبع اصلی ایجاد خطا در مدل‌سازی باشد (یاکیرویچ و همکاران، ۲۰۱۳).

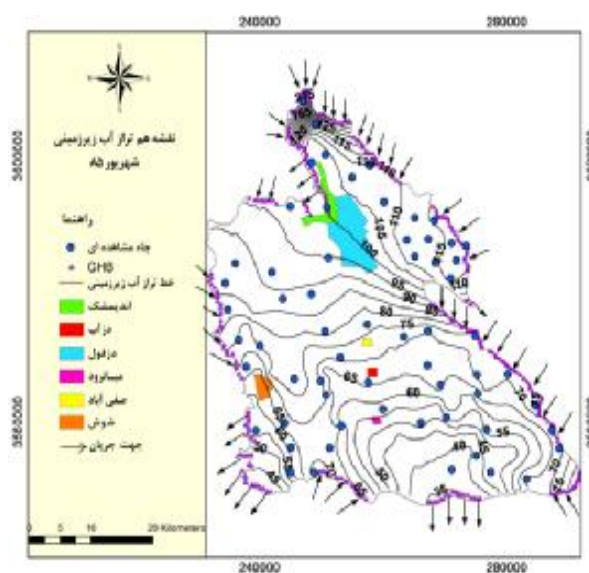
پس از تهیه مدل مفهومی دشت با استفاده از کد مادفلو در محیط ¹GMS، اطلاعات مربوط به حالت ماندگار جریان وارد نرم‌افزار شد. بدین منظور بسته (پکیج)‌های تغذیه، چاه، رودخانه، ضریب‌های هیدرودینامیکی، تبخیر و شرایط مرزی در ²GMS تعریف شدند. طریقه آماده کردن بسته‌ها و کار با نرم‌افزار به‌طور کامل در ²EMRL (۲۰۱۰) شرح داده شده است.

هر بسته به‌طور جداگانه تهیه و سپس وارد مدل شد. برای تهیه بسته تغذیه، یافتن رابطه مستقیم بین بارش و نفوذ یا نرخ تغذیه روشی ساده برای تخمین میزان تغذیه است (چن و همکاران، ۲۰۱۲). اما در دشت دزفول - اندیمشک، سهم آب باران در تغذیه آب زیرزمینی نسبت به آب جریان یافته در شبکه‌های آبیاری بسیار کم است. بنابراین میزان تغذیه در منطقه با استفاده از داده‌های مربوط به شبکه‌های آبیاری، نیاز آبی گیاهان کشت شده در هر دشت و نقشه خاک منطقه، محاسبه شد. همچنین مقدار اولیه ضریب‌های هیدرودینامیکی دشت نیز با استفاده از نتایج آزمون‌های پمپاژ محاسبه شد. برای تهیه میزان تبخیر نیز از داده‌های ایستگاه‌های تبخیرسنجی در دشت و اطراف دشت استفاده شد. باید توجه داشت که تبخیر از آب زیرزمینی فقط در مناطقی که عمق آب کمتر از ۴ یا ۵ متر باشد، محاسبه می‌شود (EMRL، ۲۰۱۰). برای وارد کردن رودخانه‌ها به مدل، از بسته رودخانه استفاده شد. بدین‌منظور با استفاده از پروفیل‌های رودخانه‌ها و همچنین داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه، تراز سطح آب و کف رودخانه‌ها در ماه‌های مختلف تخمین زده شد و وارد مدل شد.

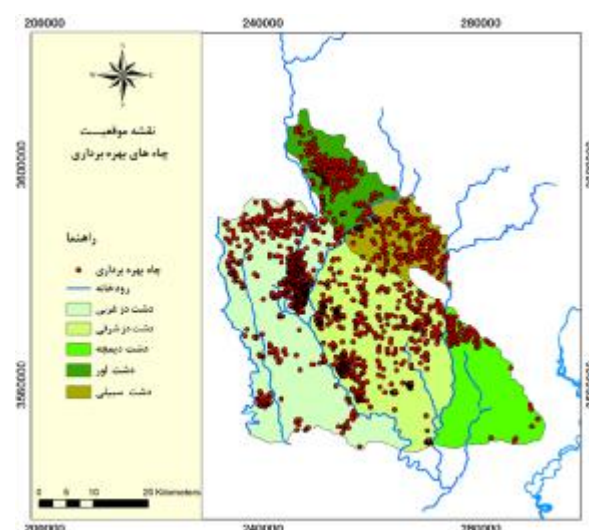
پس از تخمین مقادیر اولیه ضریب‌های هیدرودینامیکی و

کشت می‌شود. بیشتر نیاز آبی این محصولات از شبکه‌های آبیاری تأمین شده و بقیه از منابع آب زیرزمینی و از طریق حدود ۲۳۰۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق با برداشت متوسط سالانه حدود ۵۰۰ میلیون مترمکعب تأمین می‌شود.

شکل ۳ پراکنش چاه‌های بهره‌برداری در منطقه را نشان می‌دهد. خطوط تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد که به‌طور کلی جهت جریان آب زیرزمینی از شمال دشت به سمت جنوب است (شکل ۴). در بالاترین بخش دشت که در مجاورت ارتفاعات قرار گرفته است، شیب هیدرولیکی بسیار بالایی مشاهده می‌شود که سبب شده چاه‌های بهره‌برداری حفر شده در این محدوده هم از نظر کمیت و هم کیفیت آب در سطح بسیار خوبی قرار بگیرند.



شکل ۳- پراکنش چاه‌های بهره‌برداری در منطقه



شکل ۴- خطوط تراز آب زیرزمینی در منطقه

1- Groundwater Modeling System (GMS)

2- Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL)

۵). این امر به این دلیل است که دوره رشد کشت غالب در منطقه (گندم) از آبان تا اردیبهشت ماه می‌باشد و بیشتر نیاز آبی این محصول و سایر محصولات که در این دوره کشت می‌شود، از آب‌های سطحی و از طریق شبکه‌های آبیاری تأمین می‌شود. بنابراین برداشت از آب زیرزمینی در فصل پاییز و زمستان کم است و بیشترین مقدار آن در دشت لور دیده می‌شود که تمام نیاز آن از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در بهار و به‌ویژه تابستان به دلیل سیاست‌های آبی و جیره‌بندی آب سطحی در شبکه‌ها، کشاورزان برای تأمین کمبود آب مورد نیاز محصولات خود به پمپاژ بیشتر آب زیرزمینی و تخلیه آبخوان روی می‌آورند.

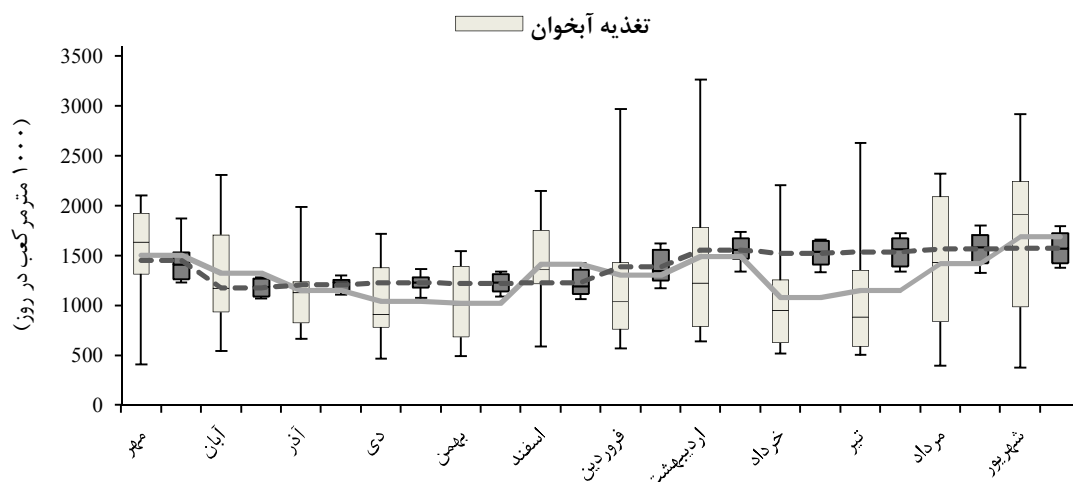
در مورد تغذیه نمی‌توان نظر مشخصی داد؛ چون در سال‌های مختلف هم میزان بارش و هم میزان آبیاری با شبکه‌های آبیاری به سبب تغییر در الگوی کشت، تغییر می‌کند. این موضوع را می‌توان در پراکندگی زیاد نمودارهای جعبه‌ای مربوط به تغذیه شکل ۵ به خوبی مشاهده کرد. اما به همان دلایلی که در بالا ذکر شد می‌توان بیان کرد که به‌طور کلی بیشترین میزان تغذیه در دوره هفت ماهه آبان تا اردیبهشت دیده می‌شود. همچنین با توجه به نوع کشت و نیاز آبی محصولات، میزان تغذیه بعد از اردیبهشت و فروردین در ماه شهریور حداکثر است (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های آبیاری به دلیل وسعت فراوان و دبی‌های زیادی که در آن‌ها جریان دارد، سهم بسیار بیشتری نسبت به بارش در تغذیه آب زیرزمینی دارند و یکی از عواملی که مانع افت زیاد سطح آب در منطقه شده است، وجود همین شبکه‌ها است.

تمام اطلاعات مورد نیاز، مدل برای حالت ماندگار در ماه مهر ۱۳۸۸ اجرا و به کمک ۶۲ حلقه چاه مشاهده‌ای فعال در طول دوره مدل‌سازی، واسنجی شد. سپس برای حالت غیرماندگار نیز در طول پنج سال (مهر ۱۳۸۵ الی شهریور ۱۳۹۰) عملیات واسنجی مدل انجام شد. در نهایت برای اطمینان از عملکرد مدل، در طول یک سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ صحت‌سنجی مدل انجام شد.

نتایج و بحث

تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با مدل در دوره شش سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱ به‌طور میانگین حدود ۲ متر افت در کل منطقه را نشان می‌دهد، هرچند مقدار افت در دشت‌های مختلف، بسیار متفاوت است به‌طوری که از حدود ۸ متر افت در دشت لور تا حدود ۱ تا ۱/۵ متر خیز سطح آب در برخی نواحی دشت دیمچه تغییر می‌کند. از دلایل این تفاوت می‌توان به این مسئله اشاره کرد که در بخش‌های شمالی به دلیل کیفیت و کمیت بالاتر آب زیرزمینی نسبت به قسمت‌های جنوبی منطقه و همچنین نبود شبکه آبیاری سطحی در دشت لور، برداشت از آب زیرزمینی زیاد است و این امر سبب افت شدید سطح آب در این نواحی شده است. در دشت دیمچه به‌طور تقریبی هیچ برداشتی از آب زیرزمینی نمی‌شود و در تمام سطح این دشت، شبکه آبیاری وجود دارد به همین دلیل در این دشت خیز سطح آب زیرزمینی دیده می‌شود.

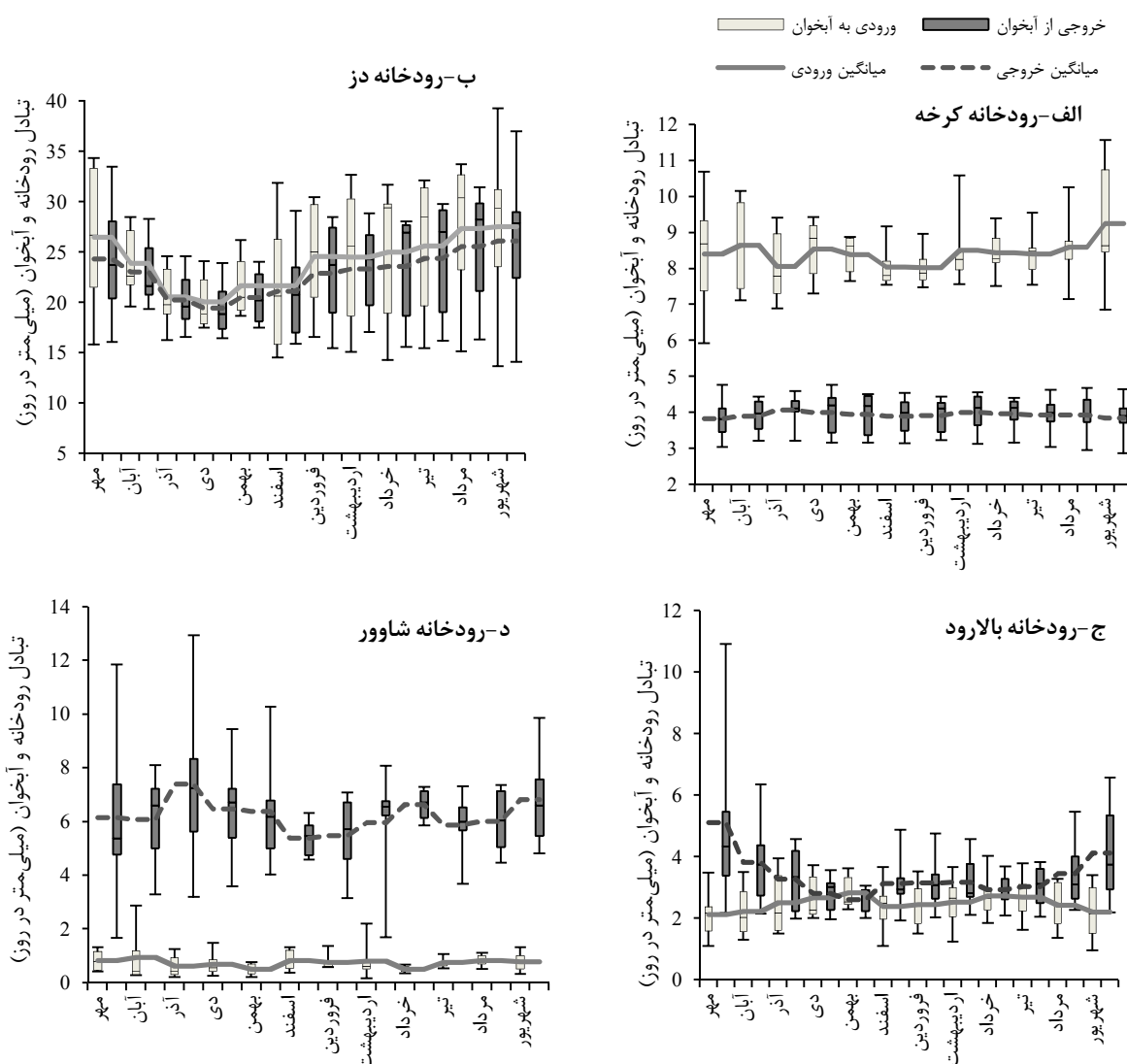
نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که بیشترین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌وسیله چاه‌های بهره‌برداری در فصل بهار و تابستان صورت می‌گیرد (شکل



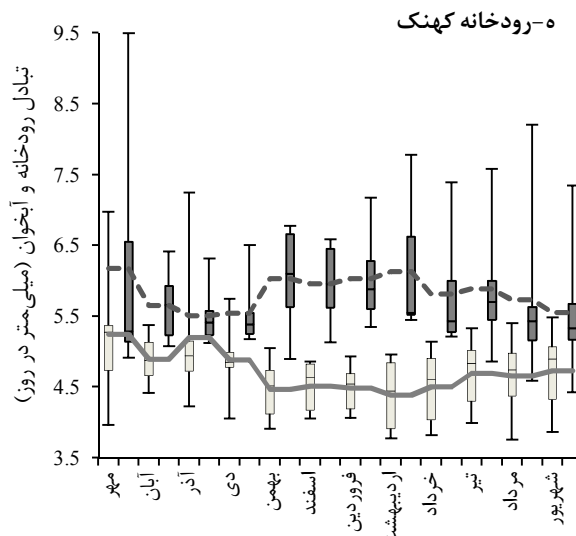
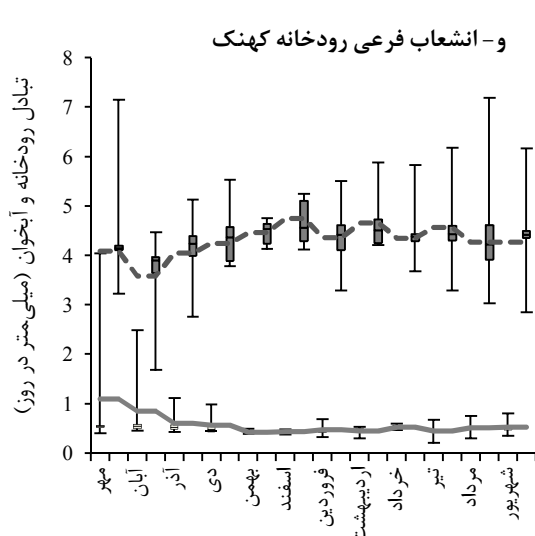
شکل ۵- روند تغییرات میزان تغذیه و برداشت از آبخوان در طول دوره مدل‌سازی (۹۱-۱۳۸۵)

خشک چون سطح آب آن به شدت کاهش می‌یابد، به مقدار بیشتری زهکش آبخوان است و در ماه‌های تر به دلیل افزایش سطح آب رودخانه، به میزان کمتری سبب تخلیه آبخوان می‌شود و حتی در ماه بهمن تغذیه کننده آب زیرزمینی است (شکل ۶-ج). رودخانه‌های تخلیه کننده دشت (شاوور، کهنک و انشعاب فرعی آن) در تمام ماه‌های سال زهکش هستند. در این رودخانه‌ها چون در فصل خشک و تر هم سطح آب رودخانه‌ها و هم سطح آب زیرزمینی تغییر می‌کند، روند مشخصی در میزان تخلیه دیده نمی‌شود و پراکندگی زیادی در مقدار به دست آمده برای هر ماه دیده می‌شود که نشان می‌دهد میزان تخلیه در یک ماه مشخص در سال‌های مختلف، با هم متفاوت است.

رودخانه‌های با جریان تنظیمی (کرخه و دز) با وجود این که به‌طور کلی تغذیه کننده آبخوان هستند؛ اما در فصل تر به مقدار کمتری آبخوان را تغذیه می‌کنند (شکل ۶-الف و ب). در فصل تر به دلیل بارش بیشتر و همچنین به خاطر آب نفوذ یافته از شبکه‌های آبیاری که در این فصل در حالت حداکثر خود است، سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. در صورتی که سطح آب رودخانه‌ها به دلیل تنظیمی بودن تغییر چندانی نمی‌کند و کمترین مقدار اندازه‌گیری شده آن در ایستگاه‌های هیدرومتری در ماه آبان دیده می‌شود. بنابراین با افزایش سطح آب زیرزمینی و ثابت ماندن آب رودخانه‌ها در فصل تر، مشخص می‌شود که آبخوان به مقدار کمتری با رودخانه‌ها تغذیه می‌شود. رودخانه بالارود که جریان غیرتنظیمی دارد، در ماه‌های



شکل ۶- تبادلات هیدرولیکی رودخانه‌ها و آبخوان در طول دوره مدل‌سازی (۹۱-۱۳۸۵)، الف- کرخه، ب- دز، ج- بالارود، د- شاوور



ادامه شکل ۶-۵- کهنک، و- شاخه فرعی کهنک

سمت دیگر گیرنده است. افزایش تخلیه و تغذیه در فصل خشک را می‌توان به این شکل توجیه کرد که چون الگوی کشت معمول در دشت دز شرقی به شکلی است که در فصل خشک میزان آبیاری بسیار کمتر از فصل تر است، در فصل خشک سطح آب زیرزمینی در بخش شرقی منطقه افت می‌کند و رودخانه دز به مقدار بیشتر دشت را تغذیه می‌کند. از طرفی دشت دز غربی در فصل خشک نسبت به فصل تر به میزان بیشتری آبیاری می‌شود به همین دلیل در فصل خشک سطح آب زیرزمینی بالا می‌آید و رودخانه دز در ساحل غربی خود که تخلیه کننده آبخوان است، به مقدار بیشتری سبب تخلیه آبخوان می‌شود. همین امر سبب می‌شود که در فصل خشک هم تغذیه و هم تخلیه افزایش یابد.

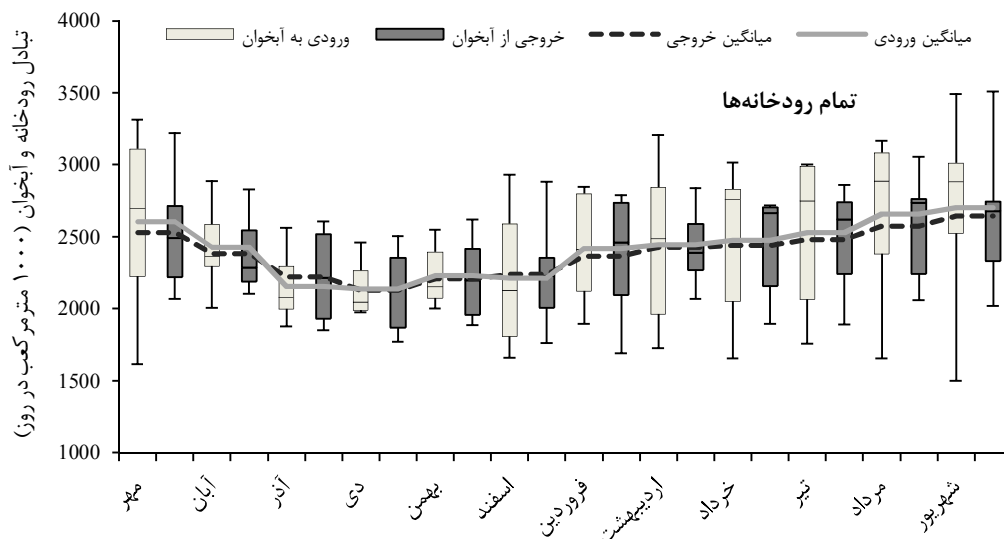
برای بررسی مکانی تبادل هیدرولیکی، نقشه بیلان رودخانه و آبخوان در اردیبهشت ۱۳۹۱ تهیه شد (شکل ۸). بیشترین تبادل هیدرولیکی چه از نظر خروجی و چه از نظر ورودی در بخشی از رودخانه دز که حد فاصل بین سد تنظیمی دز و رودخانه بالارود است، رخ می‌دهد. در بخش بالایی رودخانه دز که بالاتر از سد تنظیمی قرار دارد، رودخانه به‌طور کامل آبخوان را تغذیه می‌کند. بخش پایینی رودخانه که از محل ورود بالارود تا انتهای پایینی دشت امتداد دارند، بیشتر تخلیه کننده است. در مورد رودخانه کرخه می‌توان گفت که بخش‌های بالایی بیشتر تغذیه کننده و قسمت پایینی تخلیه کننده آبخوان است. تغییرات تبادل هیدرولیکی در فصل خشک و تر به‌صورت

برای بررسی مکانی تبادل هیدرولیکی، نقشه بیلان رودخانه و آبخوان در اردیبهشت ۱۳۹۱ تهیه شد (شکل ۸). بیشترین تبادل هیدرولیکی چه از نظر خروجی و چه از نظر ورودی در بخشی از رودخانه دز که حد فاصل بین سد تنظیمی دز و رودخانه بالارود است، رخ می‌دهد. در بخش بالایی رودخانه دز که بالاتر از سد تنظیمی قرار دارد، رودخانه به‌طور کامل آبخوان را تغذیه می‌کند. بخش پایینی رودخانه که از محل ورود بالارود تا انتهای پایینی دشت امتداد دارند، بیشتر تخلیه کننده است. در مورد رودخانه کرخه می‌توان گفت که بخش‌های بالایی بیشتر تغذیه کننده و قسمت پایینی تخلیه کننده آبخوان است. تغییرات تبادل هیدرولیکی در فصل خشک و تر به‌صورت شماتیک در چهار نقطه از رودخانه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است. هرچند detail 4 مربوط به رودخانه بالارود، قطعی نیست و می‌تواند در هر سال متفاوت باشد. به‌عبارت دیگر، رودخانه بالارود به‌دلیل این که فصلی است و جریان مداوم و ثابتی ندارد مقدار تغذیه و تخلیه آن در فصول تر و خشک متغیر است و نمی‌توان با قطعیت نظر داد که در هر فصل کاملاً تغذیه کننده و یا تخلیه کننده آبخوان است.

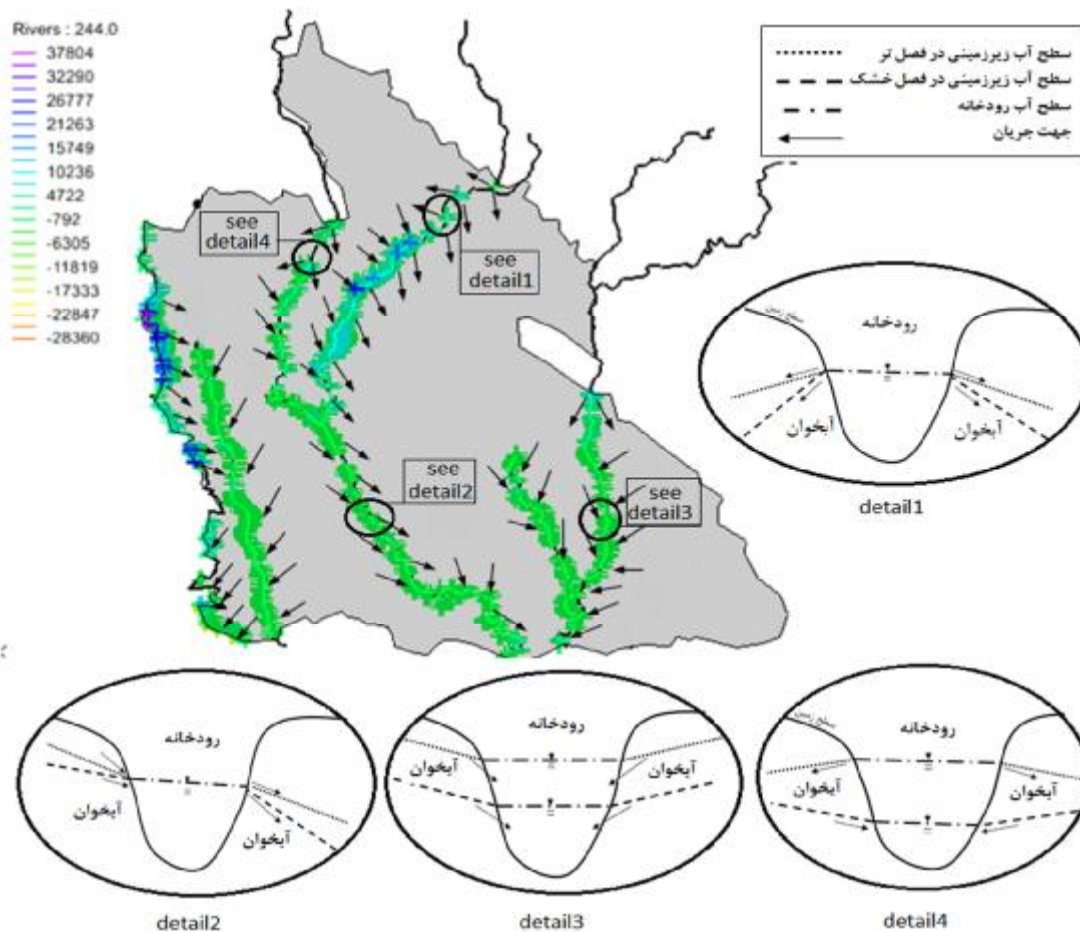
نمودار بیلان برای تمام رودخانه‌ها در شکل ۷ نشان می‌دهد که به‌طور کلی هم میزان تغذیه و هم تخلیه در فصل خشک افزایش می‌یابد. بیشترین تبادل هیدرولیکی آبخوان با رودخانه دز است و همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود این رودخانه از یک سمت دهنده و از

و جریان مداوم و ثابتی ندارد مقدار تغذیه و تخلیه آن در فصول تر و خشک متغیر است و نمی توان با قطعیت نظر داد که در هر فصل کاملاً تغذیه کننده و یا تخلیه کننده آبخوان است.

شماتیک در چهار نقطه از رودخانهها در شکل ۸ نشان داده شده است. هرچند جزئیات ۴ مربوط به رودخانه بالارود، قطعی نیست و می تواند در هر سال متفاوت باشد. به عبارت دیگر، رودخانه بالارود به دلیل این که فصلی است



شکل ۷- تبادل هیدرولیکی کلی رودخانهها و آبخوان در طول دوره مدل سازی (۹۱-۱۳۸۵)



شکل ۸- ارتباط بین رودخانه و آبخوان شبیه سازی شده با مدل در اردیبهشت ۱۳۹۱

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که تأثیر رودخانه‌ها و به‌ویژه رودخانه‌های تنظیمی در تغذیه و تخلیه آبخوان‌ها در نقاط مختلف کشور بسیار متفاوت و مهم است و نیاز به بررسی دارد. همچنین در بررسی‌های مربوط به تخصیص آب و منحنی فرمان سدها، تأثیری که تنظیم جریان رودخانه بر آب زیرزمینی دشت‌های پایین دست دارد باید در نظر گرفته شود.

منابع

۱. چیت‌سازان م. و کشکولی ح. ۱۳۸۱. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی. تألیف نون کرسیک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۶۸۰ ص.
۲. خاشعی سیوکی ع. قهرمان ب. و کوچک‌زاده م. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). مجله پژوهش آب ایران. ۹(۵): ۱۷۱-۱۸۰.
۳. شاهی دشت ع. و عباس‌نژاد ا. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات زیست محیطی تخلیه سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت و پیش‌بینی شرایط در آینده. تحقیقات منابع آب ایران. ۷(۱): ۷۷-۸۱.
۴. محمودیان شوشتری م. ۱۳۸۹. هیدرولیک آب‌های زیرزمینی. چاپ اول. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۶۰۰ ص.
۵. نادریان‌فر م. انصاری ح. ضیائی ع. و داوری ک. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی متفاوت. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۱(۳): ۲۲-۳۷.
6. Chen Z. Huang Y. Ling M. Hu Q. and Lio B. 2012. Numerical modeling groundwater recharge and its implication in water cycles of two interdunal valleys in the Sand Hills of Nebraska. *Physics and Chemistry of the Earth*. 53-54: 10-18.
7. Eastoe C. J. Hutchison W. R. Hibbs B. J. Hawley J. and Hogan J. F. 2010. Interaction of a river with an alluvial basin aquifer: Stable isotopes, salinity and water budgets. *Journal of Hydrology*. 395-1: 67-78.
8. EMRL. 2010. Groundwater Modeling System v7.1 Tutorials. Brigham Young

نمودار بیلان برای تمام رودخانه‌ها در شکل ۷ نشان می‌دهد که به طور کلی هم میزان تغذیه و هم تخلیه در فصل خشک افزایش می‌یابد. بیشترین تبادل هیدرولیکی آبخوان با رودخانه دز است و همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود این رودخانه از یک سمت دهنده و از سمت دیگر گیرنده است. افزایش تخلیه و تغذیه در فصل خشک را می‌توان به این شکل توجیه کرد که چون الگوی کشت معمول در دشت دز شرقی به شکلی است که در فصل خشک میزان آبیاری بسیار کمتر از فصل تر است، در فصل خشک سطح آب زیرزمینی در بخش شرقی منطقه افت می‌کند و رودخانه دز به مقدار بیشتر دشت را تغذیه می‌کند. از طرفی دشت دز غربی در فصل خشک نسبت به فصل تر به میزان بیشتری آبیاری می‌شود به همین دلیل در فصل خشک سطح آب زیرزمینی بالا می‌آید و رودخانه دز در ساحل غربی خود که تخلیه کننده آبخوان است، به مقدار بیشتری سبب تخلیه آبخوان می‌شود. همین امر سبب می‌شود که در فصل خشک هم تغذیه و هم تخلیه افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت کشاورزی دشت دز فول- اندیمشک و همچنین با توجه به جاری بودن چندین رودخانه با دبی قابل توجه در منطقه، بررسی رابطه آب‌های سطحی و زیرزمینی این دشت بسیار مهم است. در این پژوهش برای کاهش خطای مدل‌سازی، از پروفیل رودخانه‌ها برای مدل کردن رودخانه و بررسی تأثیر آن بر آب زیرزمینی استفاده شد. با توجه به نتایج مدل‌سازی در طول شش سال، رودخانه دز و سپس کرخه بیشترین تبادل هیدرولیکی را با آبخوان دارند؛ این دو رودخانه بیشتر تغذیه کننده آب زیرزمینی هستند. رودخانه‌های شاوور، کهنک و انشعاب فرعی آن به‌طور کامل زهکش هستند. اما در مورد رودخانه فصلی بالارود روند مشخصی وجود ندارد. رودخانه‌های دارای جریان تنظیم شده، در فصل تر به مقدار کمتری نسبت به فصل خشک سبب تغذیه آبخوان می‌شوند. این مسئله که به دلیل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در فصل تر به دلیل بارش و وجود شبکه‌های آبیاری با حداکثر میزان دبی در این فصل است، برخلاف عکس‌العمل رودخانه‌های طبیعی در فصل تر است.

- under the effect of El Nino. In The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security. *Procedia Environmental Sciences*. 17:119-128.
20. Thangarajan M. 2007. Groundwater Resource Evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management. Springer. 362 p.
 21. Yakirevich A. Pachepsky Y. A. Gish T. J. Guber A. K. Kuznetsov M. Y. Cady R. E. and Nicholson T. J. 2013. Augmentation of groundwater monitoring networks using information theory and ensemble modeling with pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*. 501: 13-24.
 22. Yu Q. Wang Y. X. Xie X. J. Ma R. Wu Y. and Li J. X. 2013. Evaluation of groundwater flow model for arsenic mobilization in the Datong Basin. In *Water Rock Interaction14*. *Procedia Earth and Planetary Science*. 7: 924-927.
 - University: Environmental Modeling Research Laboratory.
 9. Gao H. 2011. Groundwater Modeling for Flow Systems with Complex Geological and Hydrogeological Conditions. 2011 Xi'an International Conference on Fine Geological Exploration and Groundwater & Gas Hazards Control in Coal Mines. *Procedia Earth and Planetary Science*. 3: 23-28.
 10. Jang C. S. Liu C. W. and Chou Y. L. 2012. Assessment of groundwater emergency utilization in Taipei Basin during drought. *Journal of Hydrology*. 414-415: 405-412.
 11. Konig L. F. and Weiss J. L. 2008: Groundwater Modeling, Management and Contamination. New York: Nova Science Publishers, Inc. 220 p.
 12. McDoland M. G. and Harbaugh A. W. 1988. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow. book6. chap. A1:586: U.S. Geological survey, Techniques of Water Resources Investigation. 586 p.
 13. Négrel P. Millot R. Petelet-Giraud E. Malcuit E. and Brenot A. 2013. Impact of rock weathering on the chemical composition of groundwater determined by inverse modeling in large sedimentary basins. In *Water Rock Interaction14*. *Procedia Earth and Planetary Science*. 7: 615-619.
 14. Nguyen T. T. Tsujimura M. and Naoaki S. 2013. Groundwater Flow Modeling: Considering Water Use in Tay Island, Dong Thap Province, Southwest Vietnam. In The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security. *Procedia Environmental Sciences*. 17: 211-220.
 15. Pavelic P. Srisuk K. Saraphirom P. Nadee S. Pholkern K. Chusanathas S. Munyou S. Tangsutthinon T. Intarasut T. and Smakhtin V. 2012. Balancing-out floods and droughts: Opportunities to utilize floodwater harvesting and groundwater storage for agricultural development in Thailand. *Journal of Hydrology*. 470-471: 55-64.
 16. Rojas R. and Dassargues A. 2007. Groundwater flow modelling of the regional aquifer of the Pampa del Tamarugal, northern Chile. *Hydrogeology Journal*. 15-3: 537-551.
 17. Singh A. 2013. Groundwater modelling for the assessment of water management alternatives. *Journal of Hydrology*. 481: 220-229.
 18. Singh A. 2014. Optimization modelling for seawater intrusion management. *Journal of Hydrology*. 508: 43-52.
 19. Susilo G. E. Yamamoto K. and Imai T. 2013. Modeling groundwater level fluctuation in the tropical peatland areas