

پیش بینی رفتار آبخوان دشت مهران (استان ایلام) با استفاده از مدل GMS

یگانه قمری قلعه

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ایلام

حاجی کریمی

دانشیار هیدروژئولوژی، دانشگاه ایلام

مرضیه سعیدی

کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۲

h.karimi@ilam.ac.ir

چکیده

دشت مهران یکی از وسیع ترین دشت های استان ایلام می باشد که عوامل مختلف طبیعی و انسانی باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است. در این تحقیق پیش بینی رفتار آبخوان دشت مهران در واکنش به سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل GMS مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای مدل سازی جریان از داده های زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژی استفاده شده است. پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، مدل مفهومی دشت ساخته شد. شبیه سازی برای یک دوره ۷ ساله شامل ۸۴ دوره تنش یک ماهه (مهر سال ۱۳۸۷ تا شهریور ۱۳۹۴) انجام شد. مدل مذکور برای سال (۸۷-۸۸) شبیه سازی، واسنجی و با داده های مشاهداتی ۶ سال بعد صحت سنجی شد. پس از صحت سنجی و حصول از توانایی مدل در پیش بینی شرایط آینده آبخوان، مدل برای سناریوی ادامه ی روند کنونی کالیبره شد. نتایج نشان دهنده کاهش سطح ایستابی در پیزومترهای دشت، بجز پیزومترهای ۱، ۳، ۱۱ و ۱۵ می باشد. علت افت سطح آب زیرزمینی در این دشت، برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی و کاهش تغذیه آبخوان به دلیل تغییر اقلیم در منطقه است. علت بالا آمدن سطح آب پیزومترهای ۱، ۳، ۱۱ و ۱۵ به دلیل تاثیر تغذیه ناشی از طرح پخش سیلاب بانر حمان در محدوده این پیزومترها می باشد.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، مدل سازی، GMS، سناریو، دشت مهران

مقدمه

مدیریت منابع آبی به منظور تأمین نیازهای بشر و کاهش خسارات ناشی از برداشت های بی رویه موضوع مهمی است که در جهت استفاده ی بهینه از منابع آبی مطرح است. مدل های ریاضی به طور گسترده ای برای ارزیابی وضعیت کمی و کیفی آبخوان به کار می روند، به طوری که با تغییر پارامترهای مختلف می توان واکنش آبخوان را مشاهده کرد. امروزه در اکثر مناطق جهان، برای تعیین چگونگی و شبیه سازی نوسانات سطح ایستابی، از مدل های ریاضی استفاده می شود.

GMS یکی از مدل های کاربردی شبیه سازی جریان در آبخوان هاست که بر پایه ی مدل MODFLOW به منزله ی یک مدل تفاضل محدود سه بعدی برای تشریح و پیش بینی رفتار جریان در منابع آب زیرزمینی به کار می رود.

مدل MODFLOW شبیه ساز سه بعدی جریان آب زیرزمینی از طریق روش عددی تفاضلات محدود بوده و قادر است که جریان آب زیرزمینی را تحت شرایط پیچیده هیدرولیکی و با فرایندهای گوناگون هیدرولوژیکی شبیه سازی نماید (Zhou and Li, 2011). این مدل سه بعدی که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) تهیه شده و اولین نسخه ی آن در سال ۱۹۸۴ میلادی ارائه شده است از روش تفاضلات محدود برای حل معادلات حاکم استفاده می کند

(McDonald and Harbaugh, 1988). در حال حاضر، مدل MODFLOW و مجموعه برنامه های مرتبط با آن را می توان به منظور شبیه سازی جریان و انتقال املاح در آبخوان آزاد و تحت فشار، برآورد پارامترهای هیدرولیکی محیط های متخلخل اشباع و مدیریت آبخوان ها به کار برد. محققان بسیاری در داخل و خارج کشور به مدلسازی جریان آب زیرزمینی پرداختند که در اینجا به مواردی از آن ها اشاره می کنیم.

مطالعات انجام شده در خارج از کشور

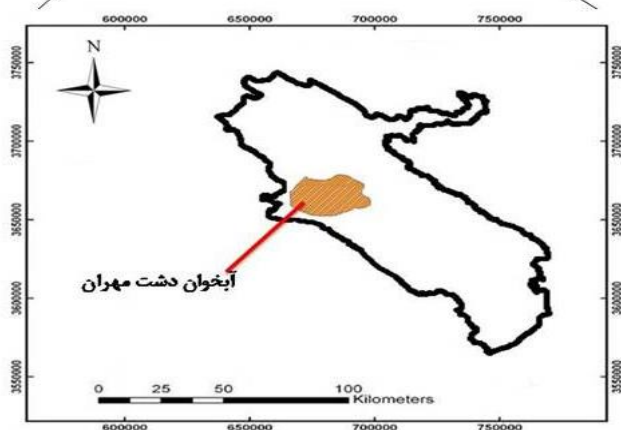
(Abdulghani and Thair, 2006) آبخوان شهر موصل را با استفاده از نرم افزار GMS مدل سازی نمودند. بالا بودن سطح آب زیرزمینی در شهر موصل یک مشکل بزرگ و مهم به شمار می رود آن ها با استفاده از نرم افزار GMS جهت آب زیرزمینی به سمت آبخوان دشت موصل را مدل سازی کردند تا بتوانند منابع آب زیرزمینی را شناسایی و آن را متوقف کنند.

(Palma and Bentley, 2007) مدل جریان آب زیرزمینی لئون چیناندا واقع در نیکاراگوئه را تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل عددی می تواند ابزاری نیرومند جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی یک ناحیه باشد.

(Senthilkumar and Elango, 2011) اثرات سد زیرزمینی بر جریان آب زیرزمینی حوضه رودخانه پالار (Palar) در کشور هند با

متعددی در این دشت به وجود آمده است. همین امر، باعث افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و نشست زمین شده است.

روند کلی هیدروگراف آب زیرزمینی دشت که در (شکل ۲) نمایش داده شده است نزولی و نشانگر بروز افتی مداوم همراه با کاهش ذخایر آب زیرزمینی می‌باشد. بر اساس داده‌های موجود، میزان افت آبخوان در مقطع زمانی ۱۳۷۵-۱۳۷۴ لغایت ۱۳۹۲-۱۳۹۱ برابر ۱۶/۲ متر، یعنی به طور متوسط هر ساله ۹۰ سانتی‌متر سطح آب کاهش یافته است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۵). این مقدار افت حاکی از تغییرات نگران کننده‌ای در کاهش ذخایر آب زیرزمینی منطقه است و مهمترین دلیل آن برداشت بیش از حد مجاز از آب‌های زیرزمینی منطقه خصوصاً از طریق چاه‌های کشاورزی می‌باشد (کریمی و قمری قلعه، ۱۳۹۶).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

استفاده از نرم‌افزار *GMS* را مدل‌سازی کردند. نتایج مدل‌سازی در این حوضه افزایش ۰/۱ تا ۰/۳ متر در سطح آب زیرزمینی در ۱/۵ تا ۲ کیلومتری بالادست سد را نشان داد در حالی که در قسمت‌های پایین دست سد ۰/۱ تا ۰/۲ متر کاهش در سطح آب زیرزمینی وجود دارد.

مطالعات انجام شده در داخل کشور

(چیت سازان و ساعت ساز، ۱۳۸۴) برای مدیریت بهتر منابع آب زیرزمینی دشت راهبرمز مدل مفهومی دشت را تهیه نموده سپس داده‌های لازم را در بسته‌ی نرم‌افزاری *MODFLOW* تعریف کردند و با استفاده از برنامه *PEST* واسنجی خودکار را در مدل اجرا نمودند.

(ریاحی پور و جلیلی، ۱۳۹۰) تأثیر انتقال آب از سد چغاخور به آبخوان دشت بروجن را با استفاده از *GMS* مدل‌سازی کردند. در این تحقیق مدل کمی آب زیرزمینی این دشت بر اساس نتایج مطالعات هیدروژئولوژی تهیه شده و پس از کالیبره کردن و تصدیق این مدل امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آب از سد چغاخور به این دشت بررسی شد.

(قاسمی، ۱۳۹۲) جهت تخمین صحیح شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت اردبیل و بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی اقدام به شبیه‌سازی کمی و کیفی آبخوان با استفاده از نرم‌افزار *GMS7.1* کرد.

هدف این مقاله پیش‌بینی رفتار آبخوان دشت مهران در واکنش به سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل ریاضی *GMS 10.1* و *MODFLOW* می‌باشد.

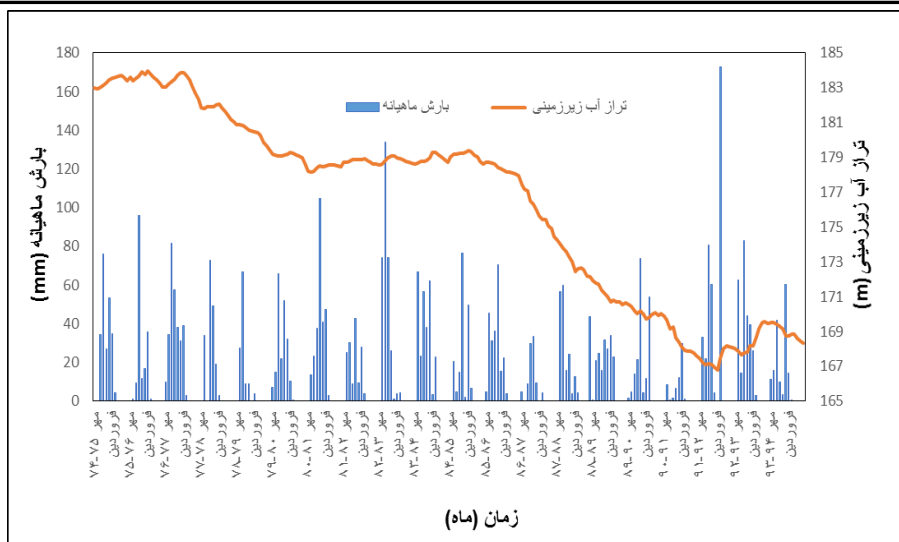
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت مهران در تقسیم‌بندی محدوده‌های مطالعاتی کشور تهیه شده توسط شرکت مدیریت منابع آب، در محدوده‌ی مطالعاتی مهران واقع شده و در حقیقت، مناطق جنوب غربی محدوده مطالعاتی مذکور را تشکیل می‌دهد. این دشت با وسعت تقریبی ۲۶۶ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی "۳۰° ۴۶' تا ۲۷° ۴۶' شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۰° ۱۲' ۳۳" تا "۳۶° ۱۲' ۳۳" شمالی قرار گرفته و یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان ایلام می‌باشد (شکل ۱). مهم‌ترین مرکز جمعیتی موجود در این دشت، شهر مهران با طول جغرافیایی ۴۶° ۱۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳° ۰۷' شمالی و ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریاست که در فاصله حدود ۹۰ کیلومتری جنوب شهر ایلام واقع شده است. سایر مراکز جمعیتی این دشت شهرک اسلامیه و روستای بانرحمان می‌باشند. میزان متوسط بارندگی سالانه دراز مدت دشت مهران برابر ۲۷۱ میلی‌متر و همچنین میانگین دمای سالیانه دشت مهران برابر ۲۳/۵°C می‌باشد و طبق رابطه‌ی دومارتن اقلیم منطقه خشک می‌باشد.

از نظر زمین‌شناسی دشت مهران بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران جزو زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. دشت مهران به صورت یک دشت ناودیسی است که بین تاقدیس‌های اناران در شمال و تاقدیس چنگوله در جنوب قرار دارد و توسط رسوبات ناشی از فرسایش سازندهای اطراف پوشیده شده است. قدیمی‌ترین سازندی که در مهران رخنمون دارد، سازند سروک است که در تاقدیس اناران دیده می‌شود.

جدیدترین سازند منطقه سازند بختیاری است که در بخش‌های جنوبی منطقه دیده می‌شود. عمده بهره‌برداری در دشت مهران با استفاده از چاه صورت می‌گیرد. در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی و توسعه اراضی کشاورزی، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی افزایش یافته و موجب محدودیت در منابع آب منطقه شده و مشکلات

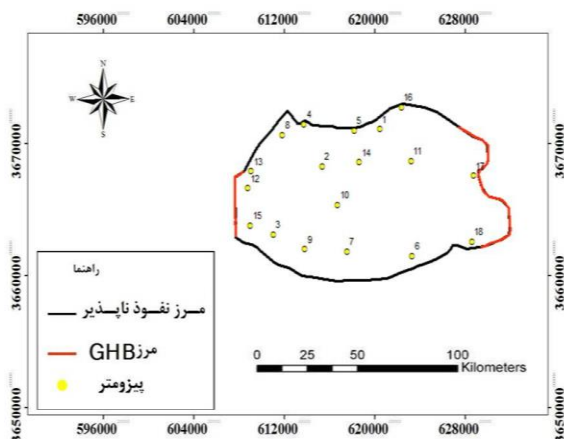


شکل ۲. هیدروگراف واحد دراز مدت آبخوان دشت مهران سال‌های آبی ۷۵-۷۴ تا ۹۴-۹۳ (زمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

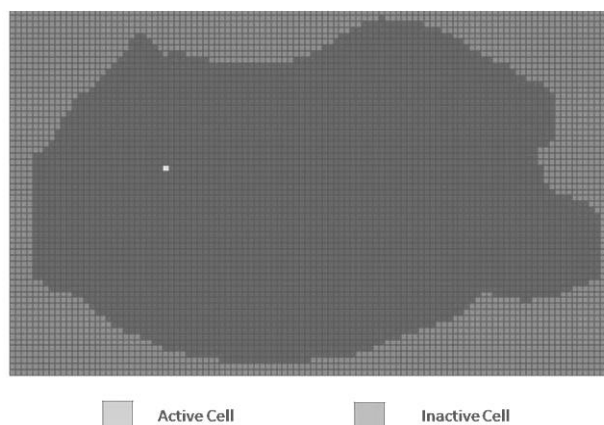
شده به شبکه‌ای دارای ۱۰۷ سطر و ۶۱ ستون تقسیم شده است این شبکه از مربع‌هایی به ابعاد (۲۵۰*۲۵۰) متر تشکیل شده است (شکل ۳). در مرحله بعدی با تفسیر خطوط تراز آب زیرزمینی مرزهای غیر قابل نفوذ و مرزهای نفوذناپذیر در محدوده آبخوان مشخص شد (شکل ۴). همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، ۱۸ پیزومتر در محدوده مدل‌سازی قرار دارند و همچنین نقشه پراکندگی چاه‌های بهره برداری، رودخانه و پیزومترها در شکل ۵ نمایش داده شده است.

مراحل اجرای مدل ریاضی آب زیرزمینی شبکه‌بندی منطقه و ورود اطلاعات

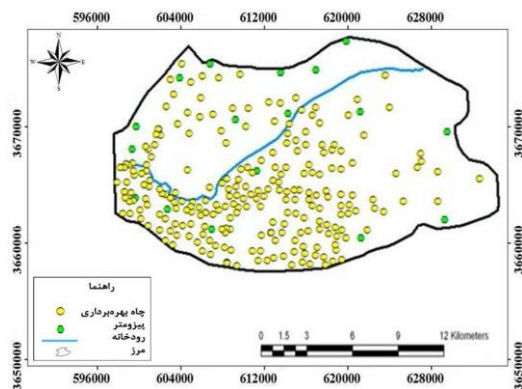
از آن‌جا که مدل آب زیرزمینی GMS به روش تفاضل محدود حل می‌شود، لذا برای استفاده از روش‌های عددی برای مدل‌سازی آب زیرزمینی و حل معادلات دیفرانسیل جزئی، باید محیط را به اجزاء کوچک‌تری که اصطلاحاً سلول نامیده می‌شود، تقسیم کرد. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی، هیدرولوژی، داده‌های در دسترس و وسعت منطقه مورد مطالعه، مدل ساخته



شکل ۴. مرزهای نفوذ پذیر، نفوذناپذیر و پیزومترهای منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳. محدوده مدل‌سازی و سلول‌های فعال و غیر فعال منطقه مورد مطالعه.



شکل ۵. موقعیت چاه‌های بهره‌برداری، پیزومتر، رودخانه در محدوده مورد مطالعه.

روش خودکار ۲- روش سعی و خطا در این تحقیق به منظور واسنجی مدل، در حالت پایدار از دو روش سعی و خطا و خودکار و در حالت ناپایدار از روش سعی و خطا استفاده و مدل اجرا و واسنجی شد. PEST، UCODE، PES کدهای مورد استفاده در انترفاز GMS در تخمین پارامترها در روش واسنجی خودکار می‌باشند.

واسنجی مدل در حالت پایدار

در حالت پایدار فرض می‌شود که آبخوان در حالت ثابت قرار دارد بطوری که در طول زمان مقدار افت و خیز در آبخوان مشاهده نگردد و همچنین مقدار ورودی و خروجی به مقدار مشخص و مساوی باشد. در این مرحله، رژیم جریان آب در آبخوان به صورت پایدار فرض می‌شود. در این تحقیق، شهریور ۱۳۸۷ به عنوان ماه پایه برای واسنجی مدل در حالت رژیم پایدار انتخاب شد. در این حالت بعد از اجرای مدل بر اساس روش سعی و خطا مقادیر هدایت هیدرولیکی (K)، میزان تغذیه و تخلیه (R) و ارتفاع سنگ بستر تغییر و بر اساس روش خودکار از کد PEST برای تخمین و تصحیح هدایت هیدرولیکی استفاده شد که نقشه آن در شکل ۶ نمایش داده شده است و مجدداً مدل اجرا تا در نهایت تراز سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در ۱۸ پیزومتر بسیار نزدیک شد.

بعد از انجام واسنجی مدل از طریق روش آزمون و خطا و خودکار، به منظور مقایسه اختلاف بین تراز سطح ایستابی محاسبه شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در پیزومترها، در شهریور ۱۳۸۷، از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (معادله ۱). هر چه قدر مقدار این معیار کمتر باشد به معنای اختلاف کمتر بین مقادیر محاسبه شده و مقادیر مشاهده شده می‌باشد و دلالت بر انجام دقیق‌تر واسنجی دارد. در واسنجی مدل در حالت پایدار، میزان جذر میانگین مربعات خطا ۰/۰۱ و میزان ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۹ بدست آمده که نشان از میزان دقت مقادیر محاسبه شده به وسیله مدل در حالت پایدار دارد. در (شکل ۷) نتایج حاصل از واسنجی مدل به صورت نمودار، در ۱۸ پیزومتر نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

(n) = تعداد پیزومترها، (\hat{h}_m) = مقادیر سطح آب مشاهده شده و (\hat{h}_s) = مقادیر سطح آب شبیه‌سازی شده.

تعیین شرایط اولیه و انتخاب گام‌های زمانی

یکی دیگر از شرایط حل معادلات دیفرانسیل جزئی در آب زیرزمینی، وجود شرایط اولیه است تا مدل می‌تواند به وسیله اعداد پایدار و ارقام آن از یک نقطه محاسبات را شروع کرده و ادامه دهد. شرایط اولیه در حالت رژیم پایدار به صورت فرضی انتخاب شده و مدل با حل معادلات و با توجه به شرایط مرزی، مقادیر ارتفاع سطح آب در سلول‌های داخلی را محاسبه می‌کند. در حالت رژیم ناپایدار، شرایط اولیه مربوط به زمان شروع محاسبات می‌باشد و مدل با استفاده از آن، مقادیر سطح ایستابی را در گام زمانی بعدی، محاسبه می‌کند. گام زمانی در نظر گرفته شده برای حل معادلات دیفرانسیل به صورت یک روز و دوره‌های تنش ماهانه می‌باشد. در این تحقیق، مقادیر ارتفاع سطح ایستابی در ماه شهریور ۱۳۸۷ به عنوان شرایط اولیه برای شرایط پایدار انتخاب و برای هر سلول از شبکه، اطلاعات مربوط به نقشه توپوگرافی منطقه، نقشه ارتفاع سنگ بستر (کف آبخوان)، هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، قابلیت انتقال (ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان)، ارتفاع ایستابی اولیه، میزان تغذیه به وسیله بارش و جریان سطحی، میزان تخلیه توسط چاه‌های بهره‌برداری، وارد مدل شد و مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۷ (۱۲ دوره تنش ماهانه) اجرا شد.

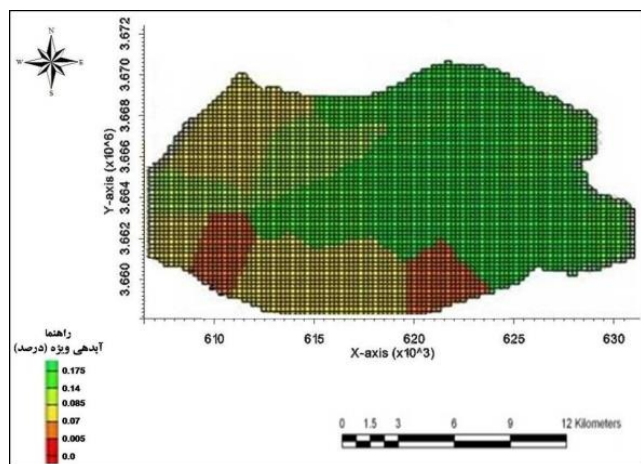
واسنجی مدل

در مرحله اجرای مدل، با ورود داده‌های مورد نظر مدل و تعریف شرایط مرزی و اولیه، مقدار سطح آب آبخوان (\hat{h}) سلول به سلول و برای زمان‌های مختلف محاسبه می‌شود. مقدار سطح آب آبخوان در واقع خروجی سیستم معادلات است. در اکثر حالات، مدل‌سازی به ویژه در مرحله راه‌اندازی مقدار سطح آب محاسبه شده با مقدار سطح آب مشاهده شده در نقاط کنترل که همان پیزومترها می‌باشد، به دلایل عدم شناخت کافی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، عدم دقت در داده‌های ورودی تغذیه و تخلیه به سیستم و عدم تعریف مناسب شرایط مرزی و اولیه با هم مطابقت ندارند (دشتی، ۱۳۸۵). بنابراین به منظور این که بتوان از مدل در راستای مدیریت بهره‌برداری از آبخوان استفاده کرد، باید مدل را به منطقه مورد نظر تطبیق داد. بدین معنی که مقادیر ضریبی را که عدم قطعیت در آن‌ها وجود دارد، آن قدر تغییر داد تا مقادیر سطح آب محاسبه شده و مشاهده شده تقریباً و در حد قابل قبولی منطبق بر هم شوند. این فرایند را واسنجی، تنظیم، تطبیق و یا کالیبراسیون (Calibration) مدل می‌نامند. برای واسنجی مدل دو روش وجود دارد: ۱-

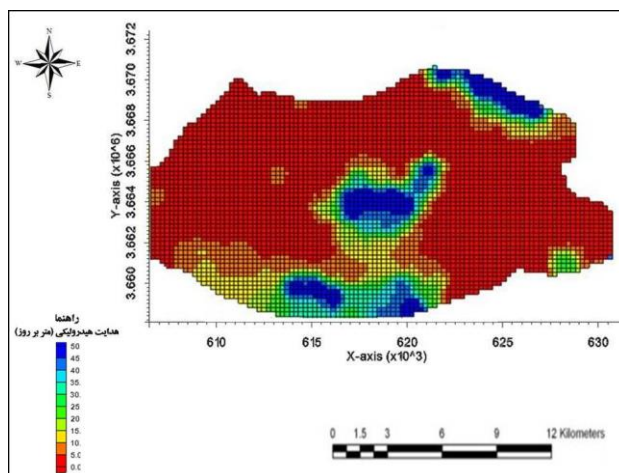
های ۰٫۲، ۰٫۶، ۰٫۷، ۹ برابر ۰/۹۹۹ و برای گام‌های ۳ و ۱۰ برابر ۰/۹۹۸ و برای گام‌های ۴ و ۱۱ برابر ۰/۹۹۷ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به مساحت بالای محدوده مطالعاتی نسبت به تعداد و پراکندگی مکانی پیژومترها در دشت، مقدار خطای نهایی مدل (جذر میانگین مربعات برابر با ۱/۱۴) قابل قبول است و مدل توانسته به خوبی سطح آب زیرزمینی را در حالت ناپایدار شبیه‌سازی نماید. نقشه‌های هم‌تراز مقایسه‌ای نشان‌دهنده اعتبار مقدار عددی پیش فرض شده برای ذخیره ویژه است که برای برخی از گام‌های زمانی ترسیم شده (شکل ۱۰، الف و ب) و همچنین مقدار بار آبی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده توسط مدل نیز در برخی گام‌های زمانی (شکل ۱۱ الف و ب) نشان داده شده است.

واسنجی مدل در حالت ناپایدار

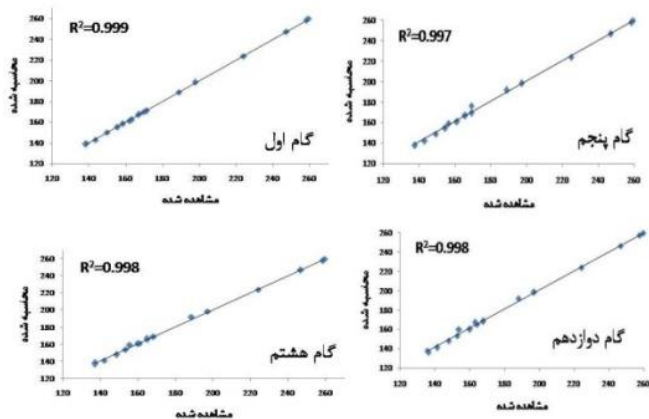
در شرایط ناپایدار یا غیر ماندگار، رژیم جریان آب در آبخوان به صورت ناپایدار فرض شده و واسنجی مدل صورت می‌گیرد. در حالت ناپایدار بیشتر عوامل تغذیه و تخلیه در دوره‌های مختلف زمانی و نیز آبدهی ویژه، قابل واسنجی می‌باشد. در این مرحله مقادیر هدایت هیدرولیکی و ارتفاع سنگ بستر که از مرحله قبل واسنجی شده بود، تغییری داده نشد و سایر اطلاعات مورد نیاز مدل به صورت ۱۲ دوره تنش به مدل وارد و بعد از اجراء از طریق روش آزمون و خطا و حالت خودکار مقادیر تغذیه و تخلیه و آبدهی ویژه تغییر داده می‌شود تا مقادیر سطح تراز ایستایی در ۱۲ ماه دوره شبیه‌سازی پیژومترها منطبق و یا نزدیک شود. نقشه کالیبره شده آبدهی ویژه در شکل ۸ نمایش داده شده است. نتایج حاصل از واسنجی مدل در حالت ناپایدار به وسیله نمودار مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای برای برخی از گام‌های زمانی در شکل ۹ نمایش داده شده است و مقدار (R^2) برای گام



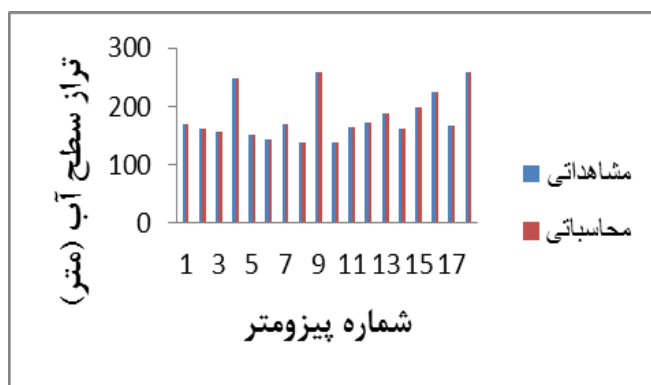
شکل ۸. مقادیر کالیبره شده آبدهی ویژه.



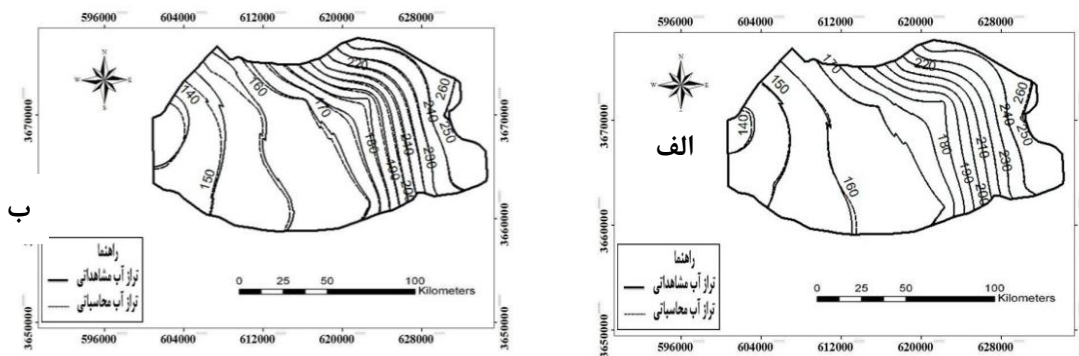
شکل ۶. مقادیر هدایت هیدرولیکی کالیبره شده آبخوان دشت مهران.



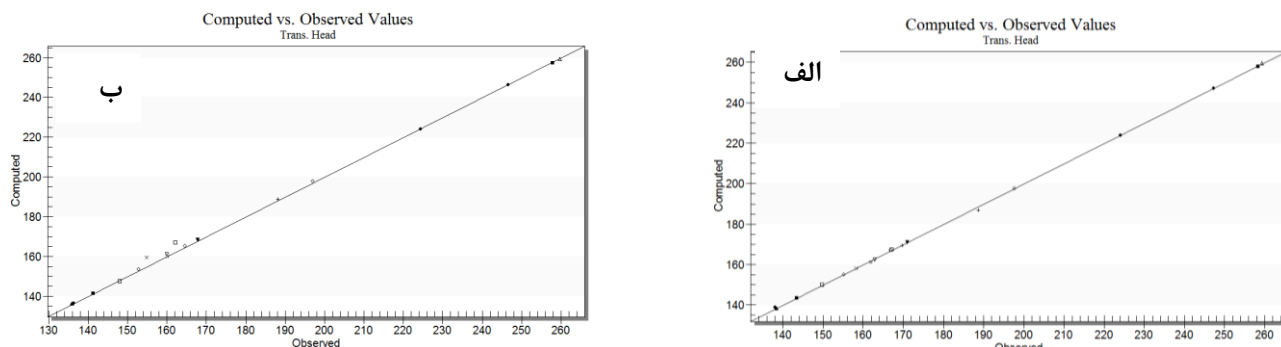
شکل ۹. مقایسه بار هیدرولیکی محاسبه‌ای و مشاهده‌ای برخی گام‌های زمانی پیژومترها در شرایط ناپایدار.



شکل ۷. مقایسه سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه شده در واسنجی پایدار (شهریور ۸۷).



شکل ۱۰. الف) مقایسه نقشه هم‌تراز سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده در مهر ماه ۱۳۸۷ و شهریور ماه ۱۳۸۸.



شکل ۱۱. الف) مقایسه بار آبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای گام زمانی اول، مقایسه بار آبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای گام زمانی یازدهم.

صحت سنجی مدل

پس از واسنجی نمودن مدل، برای حصول اطمینان در خصوص میزان کارایی و دقت در مدل شبیه‌سازی آبخوان، معمولاً مدل را با یک سری از داده‌های مشاهده شده مورد ارزیابی قرار می‌دهند. در این مرحله اگر مدل بتواند، دوره زمانی غیر از دوره واسنجی را شبیه‌سازی کند، ترکیب پارامترهای به کار گرفته صحیح می‌باشد (زمزم و همکاران، ۱۳۸۹). برای بررسی صحت مدل لایه‌های اطلاعاتی برای ۷۲ دوره تنش (از مهر ۸۸ تا شهریور ۹۴) به صورت جداگانه وارد، و مدل برای این سال اجرا شد. پس از اجرای مجدد مدل در مرحله صحت سنجی، مقادیر تراز سطح ایستایی محاسبه شده با مقادیر مشاهده شده در سال‌های مربوطه مورد مقایسه قرار گرفته و با توجه به معادله ۱ مقدار جذر میانگین مربعات خطا در (جدول ۲) برآورد شد. نتایج به دست آمده در مراحل واسنجی و صحت سنجی، درستی و مقبولیت مدل را به عنوان یک ابزار مدیریتی برای بررسی گزینه‌های مختلف نشان می‌دهد.

پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان با تداوم وضع موجود

در فرایند شبیه‌سازی با هدف پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان، از مدل بدست آمده، برای پیش‌بینی واکنش سیستم نسبت به حوادث آینده استفاده می‌شود. مساله مهم در این میان، تعیین مدت زمانی است که مدل بتواند با

دقت زیاد آن را پیش‌بینی نماید و این مدت زمان بسته به اهداف مختلف متفاوت باشد. در این تحقیق، مدت زمان پیش‌بینی ۲۰ سال در نظر گرفته شد که شروع آن از آخرین سال دارای آمار، مهر ۹۴ تا شهریور ۱۴۱۳ می‌باشد (۲۰۱۵-۲۰۳۴). بدین منظور، سناریو تدوین و پاسخ آبخوان نسبت به آن‌ها بررسی شد. بر اساس هیدروگراف پیش‌بینی شده در سناریو، به جز ۴ پیژومتر ۱، ۳، ۱۰ و ۱۵ در سایر پیژومترها سطح ایستایی در پایان دوره شبیه‌سازی نسبت به سطح ابتدایی (۱۳۹۳-۱۳۹۴) افت پیدا کرده است. علت بالا آمدن سطح آب در این پیژومترها به دلیل تاثیر تغذیه آبخوان به وسیله طرح پخش سیلاب بانرحمان در محدوده این پیژومترها می‌باشد، در حالیکه در دیگر قسمت‌های دشت به دلیل برداشت بی‌رویه، سطح آب یک روند کاهشی داشته است، که در این سناریو بیش‌ترین میزان افت با میزان ۱۱/۵۵ متر مربوط به پیژومتر ۱۷ و کمترین میزان افت نیز به میزان ۰/۸۱ متر مربوط به پیژومتر ۵ است. میزان افزایش سطح ایستایی در پیژومتر ۱ معادل ۴/۰۸ متر، پیژومتر ۳ معادل ۱/۴۲ متر و پیژومتر ۱۰ معادل ۱/۰۲ متر و پیژومتر ۱۵ معادل ۰/۸۸ می‌باشد که این نتایج با روند تغییرات کنونی سطح آب پیژومترهای منطقه که با افت همراه هستند مطابقت دارد. در جدول ۳ تراز سطح آب پیش‌بینی شده کل پیژومترها در دشت نشان داده شده است.

جدول ۲. مقدار جذر میانگین مربعات خطا در سال‌های صحت سنجی

| سال | ۸۸-۸۹ | ۹۰-۸۹ | ۹۱-۹۰ | ۹۲-۹۱ | ۹۳-۹۲ | ۹۴-۹۳ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RMSE | ۱/۵ | ۱/۶۵ | ۱/۴۳ | ۱/۸ | ۱/۷۴ | ۰/۹۳ |

جدول ۳. تراز سطح آب پیش‌بینی شده و مقدار افت سطح آب در پیژومترها (متر)

| پیژومتر | سال | ۲۰۱۵ | ۲۰۲۰ | ۲۰۲۵ | ۲۰۳۰ | ۲۰۳۴ | مقدار افت (متر) |
|---------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| ۱ | | ۲۵۹/۱۹۹۶ | ۲۶۱/۵۱۷۱ | ۲۶۲/۵۸۶۴ | ۲۶۳/۰۸۱۵ | ۲۶۳/۲۸۲۶ | ۴/۰۸۳ |
| ۲ | | ۱۶۴/۲۲۹ | ۱۶۳/۰۴۲۶ | ۱۶۱/۷۸۵۹ | ۱۶۰/۳۵۹۴ | ۱۵۹/۱۴۹ | -۵/۰۸ |
| ۳ | | ۲۲۴/۸۸۲۷ | ۲۲۵/۲۳۶۵ | ۲۲۵/۸۰۰۲ | ۲۲۶/۱۷۵۴ | ۲۲۶/۳۱۱۷ | ۱/۴۲۹ |
| ۴ | | ۱۹۸/۵۱۶۷ | ۱۹۷/۰۶ | ۱۹۵/۶۹۶۸ | ۱۹۴/۶۶۸۷ | ۱۹۳/۹۹۱۷ | -۴/۵۲۵ |
| ۵ | | ۱۵۸/۷۶۰۳ | ۱۵۸/۶۱۰۷ | ۱۵۸/۴۹ | ۱۵۸/۲۴۹۱ | ۱۵۷/۹۴۱۳ | -۰/۸۱۹ |
| ۶ | | ۱۸۸/۹۱۳۳ | ۱۸۶/۷۲۲۶ | ۱۸۵/۰۱۵۶ | ۱۸۳/۶۴۱۴ | ۱۸۲/۶۸۳۵ | -۶/۲۲۹۸ |
| ۷ | | ۱۶۱/۷۰۷ | ۱۵۸/۴۱۰۳ | ۱۵۵/۷۴۹ | ۱۵۳/۳۷۴۳ | ۱۵۱/۷۰۴۷ | -۱۰/۰۰۲۳ |
| ۸ | | ۱۵۴/۶۴۲۹ | ۱۵۳/۸۲۴۸ | ۱۵۱/۶۹۹۸ | ۱۴۹/۵۱۷۲ | ۱۴۷/۹۱۸۹ | -۶/۷۲۴ |
| ۹ | | ۱۳۱/۲۵۷۲ | ۱۳۰/۴۷۰۲ | ۱۳۰/۱۴۷۲ | ۱۲۹/۸۲۹۷ | ۱۲۹/۵۹۹۶ | -۱/۶۵۷۶ |
| ۱۰ | | ۲۶۱/۲۸۲۵ | ۲۶۱/۶۰۲۷ | ۲۶۱/۹۰۶۲ | ۲۶۲/۱۵۳۴ | ۲۶۲/۳۰۴۴ | ۱/۰۲۱۹ |
| ۱۱ | | ۱۲۹/۴۰۵۵ | ۱۲۸/۷۹۵۴ | ۱۲۸/۵۰۰۸ | ۱۲۸/۲۲۲ | ۱۲۸/۰۳۵۹ | -۱/۳۶۹۶ |
| ۱۲ | | ۱۵۴/۷۸۷۷ | ۱۵۰/۷۰۱۱ | ۱۴۷/۶۴۱۴ | ۱۴۵/۱۷۹۹ | ۱۴۳/۴۶۹۵ | -۱۱/۳۱۸۲ |
| ۱۳ | | ۱۳۵/۵۰۴۷ | ۱۳۴/۸۴۰۷ | ۱۳۳/۴۷۴۳ | ۱۳۲/۴۷۷۳ | ۱۳۱/۸۷۰۱ | -۳/۶۳۴۶ |
| ۱۴ | | ۱۳۹/۲۵۸۵ | ۱۳۶/۹۸۵۲ | ۱۳۴/۴۸۱۹ | ۱۳۳/۲۱۱۶ | ۱۳۲/۲۰۲۱ | -۷/۰۵۶۴ |
| ۱۵ | | ۲۴۸/۴۰۹۹ | ۲۴۸/۷۸۴۷ | ۲۴۹/۰۱۵۳ | ۲۴۹/۱۸۰۵ | ۲۴۹/۲۹۲۲ | ۰/۸۸۲۳ |
| ۱۶ | | ۱۴۳/۷۷۶۵ | ۱۳۹/۲۲۰۲ | ۱۳۵/۵۷۴۲ | ۱۳۴/۴۶۶۳ | ۱۳۳/۱۵۳ | -۱۰/۶۲۳۵ |
| ۱۷ | | ۱۵۰/۲۳۴ | ۱۴۴/۹۳۳۱ | ۱۴۲/۲۲۷۹ | ۱۴۰/۰۶۳۱ | ۱۳۸/۶۷۴۱ | -۱۱/۵۵۹۹ |
| ۱۸ | | ۱۵۸/۰۸۸ | ۱۵۵/۳۱۶۵ | ۱۵۳/۹۶۰۷ | ۱۵۳/۱۰۵۱ | ۱۵۲/۴۷۴۹ | -۵/۶۱۳۱ |

بحث و نتیجه‌گیری

توسعه روزافزون سطح زیر کشت کشاورزی عامل اصلی استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت شدید سطح ایستایی در دشت مهران می‌باشد. طی سال‌های گذشته برداشت بیش از حد از آبخوان این دشت منجر به کاهش ذخیره آبی سفره، افت سطح آب زیرزمینی، خشک شدن برخی چاه‌ها، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی شده است. این مساله لزوم تجدید نظر در روش‌های فعلی بهره‌برداری از منابع آب منطقه را بیشتر نمایان می‌کند. به گواه اندازه‌گیری‌های مستمری که از سطح آب پیژومترهای دشت مهران انجام می‌شود سالانه حدود ۹۰ سانتی‌متر به طور متوسط در کل دشت سطح آب افت پیدا می‌کند، به منظور بررسی وضعیت آینده این دشت با تداوم وضع کنونی، اقدام به تهیه مدل آب زیرزمینی دشت با مدل GMS شد و مدل‌سازی برای دو حالت پایدار و ناپایدار صورت گرفت. بعد از اتمام واسنجی و صحت‌سنجی نتایج بدست آمده درستی و مقبولیت مدل را به عنوان یک ابزار مدیریتی برای

بررسی گزینه‌های مختلف نشان می‌دهد، در صورت ادامه روند کنونی برداشت از منابع زیرزمینی همچنان سطح تراز آب زیرزمینی دچار افت خواهد بود و در آینده آبخوان دچار مشکلات و آسیب‌های جدی و جبران‌ناپذیر خواهد شد. مطالعات کربمی و قمری قلعه (۱۳۹۶) و زمانی و همکاران (۱۳۹۵) در دشت مهران نیز موید همین مساله می‌باشد. بیش‌ترین افت در قسمت مرکزی، جنوب غربی و غرب آبخوان بوده است که علت آن تمرکز بیشتر چاه‌های بهره‌برداری در این منطقه است و قسمت شمال شرقی و شرق حوزه به علت کمتر بودن چاه‌های بهره‌برداری و قرار گرفتن در قسمت ورودی، اجرای طرح‌های پخش سیلاب در بخش شمال شرقی دشت و آبدهی ویژه نسبتاً بالا دارای افت کم و بعضی پیژومترها تا حدودی با افزایش سطح آب همراه است که با نتایج تحقیق پورحقی و همکاران (۱۳۹۲) در دشت نورآباد و طاهری تیزرو و کمالی (۱۳۹۵) در دشت تویسرکان تقریباً همخوانی دارد.

منابع

- پورحقی، ا.، آخوندی علی، ع.م.، رادمنش، ف و میرزایی، س.ی. ۱۳۹۳، مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی با مدل MODFLOW (مطالعه موردی: دشت نورآباد)، علوم مهندسی آبیاری، دوره ۳۷، شماره ۸۲، ۷۱-۲.
- جوادی، س. ۱۳۸۹، پیش‌بینی و تعیین خطر پذیری آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش رتبه‌دهی-تحلیلی و تکنیک مونت کارلو، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- چیت‌سازان، م. و ساعت‌ساز، م. ۱۳۸۴، کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز، مجله علوم شماره ۱۴، قسمت ب.
- دشتی، س. ۱۳۸۵، مدیریت بهره‌برداری تلفیقی از سیستم چند هدفه منابع آب سطحی و زیرزمینی در شرایط خشکسالی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ریاحی‌پور، م و جلیلی، خ. ۱۳۹۰، پیش‌بینی تأثیر انتقال آب از سد چغاخور به آبخوان دشت بروجن-فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل عددی GMS، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- زمانی، ط.، کریمی، ح.، توکلی، م. و علیمرادی، ص. ۱۳۹۵، علل افت سطح آب زیرزمینی دشت مهران، استان ایلام، سومین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی.
- زمزم، ع.، رهنما، م. ب. و عامری، ع. ۱۳۸۹، مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان تحت سناریوهای مختلف توسط مدل ریاضی MODFLOW، دومین کنفرانس مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- طاهری تیزرو، ح. و کمالی، م. ۱۳۹۵، مدل‌سازی آبخوان دشت تویسرکان با مدل MODFLOW و ارزیابی وضعیت هیدرولوژیکی تحت شرایط موجود و آینده. مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال نهم.
- قاسمی، ر. ۱۳۹۲، "مدلسازی کمی و کیفی آبخوان دشت اردبیل با استفاده از نرم افزار GMS"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران.
- کریمی، ح. و قمری قلعه، ی. ۱۳۹۶، ضرورت مدیریت اضافه برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، عاملی جهت تعادل بخشی آبخوان‌ها (مطالعه موردی: دشت مهران)، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. دانشگاه شهرکرد.
- Abdulghani, A., H and Thair.M.Al.Taiee. 2006, Simulation and Prediction of Groundwater Paths and Flow Vectors at Mosul City.
- McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. United States Government Printing Office, Washington.
- Palama., H. C and Bentley, L. R. 2007. A regional- scale groundwater flow model for Leon –Chinandega aquifer, Nicaragua. Hydrogeology Journal 15:1457-1472.
- Senthilkumar& L. Elango. 2011. Modelling the impact of a subsurface barrier on groundwater flow in the lower Palar River basin, southern India. Hydrogeology Journal (2011) 19:917-928.
- Zhou Y. and Li W. 2011. A review of Regional Groundwater Flow Modeling. Geoscience Frontiers 2(2): 205-214.