

به‌کارگیری روش‌های برسنجی در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان آب زیرزمینی با استفاده از کد کامپیوتری MODFLOW و PMWIN (مطالعه‌ی موردی، مدل‌سازی آبخوان دشت بهبهان)

نصرا... کلانتری^{۱*} و حمید رضا ماجدی^۲

(۱) گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز
*عده دار مکاتبات

چکیده

عدم قطعیت در مدل‌های جریان آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از خطاهای موجود در شبیه‌سازی مقادیر مدل می‌باشد. پس از تعیین پارامترهای آبخوان توسط مسئله‌ی معکوس در اثنای برسنجی (واسنجی) مدل و اطمینان از منحصر به فرد بودن جواب‌ها پس از طی مرحله‌ی صحت‌سنجی می‌توان به قابل اعتماد بودن مدل صحت‌گذار. برسنجی مدل به روش‌های دستی یا خودکار به کمک تکنیک‌های بهینه‌سازی اتوماتیک انجام می‌گیرد. در پایان مرحله‌ی صحت‌سنجی می‌توان از مدل شبیه‌سازی شده‌ی جریان آب جهت پیش‌بینی یا بهینه‌سازی منابع آب زیرزمینی سیستم آبخوان استفاده نمود. مجموعه‌ای از برنامه‌ریزی، طراحی یا سیاست‌های اجرایی در قالب سناریوهای متنوع را می‌توان توسط بررسی پاسخگویی شبیه‌سازی آبخوان، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. تحقیق فوق با ارائه‌ی مثال موردی آبخوان دشت بهبهان معایب و مزایای روش‌های برسنجی در کدهای نرم‌افزاری موجود را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، برسنجی (واسنجی)، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، صحت‌سنجی

Application of verification in groundwater flow simulation using PMWIN and MODFLOW computer codes (A case study of Behbahan plain aquifer modeling)

N. Kalantari¹ & H. R. Majedi²

1) Department of Geology, Shahid Chamran University, Ahvaz, I. R. Iran

Abstract

Uncertainty in groundwater modeling is mainly occurs as a result of input data error. After deter-

Verification of aquifer parameters through inverse problem at the stage of model calibration and assurance about unique solution of answers in the processes of verification, it is possible to be confident about reliability of the model. Calibration is generally done with trial and error and automatic optimization. At the end stage of verification, this simulated flow model could be used for prediction, optimization of groundwater resources. Assemblages of planning, designing, or execution policies in various scenarios could be interpreted based on assessment of simulated aquifer response. In this case study (Behbahan plain aquifer), advantages and disadvantages of calibration methods have been assessed with the available computer codes.

Key words: Calibration, verification, simulation, aquifer, optimization.

۱- مقدمه

منفی آن مورد بررسی قرار می گیرد. از آنالیز حساسیت می توان جهت توصیف و تفسیر مدل به وسیله ی تعریف ورودی های مورد نیاز کمک گرفت، به عنوان مثال آنالیز حساسیت ممکن است نشان دهنده ی گسترش محدوده ی داده های هدایت هیدرولیکی موجود باشد به گونه ای که آزمون های پمپاژ بیشتری برای به دست آوردن سطح مطلوبی از دقت، در نتایج مدل مورد نیاز باشد. به طور کلی آنالیز حساسیت باید حساسیت بالای جریان آب زیرزمینی را نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی نشان دهد (Shafer et al. 2006).

برسنجی (Calibration) عبارت است از فرایند پیدا کردن مجموعه ای از شرایط مرزی، تنش ها و پارامترهای هیدروژئولوژیک که نتایج به دست آمده از آن به صورت بسیار نزدیکی بر اندازه گیری های بار هیدرولیکی و جریان های صحرائی همخوانی و برازش دارد. کیفیت برسنجی به مقدار قابل اعتماد بودن داده های موجود بستگی دارد. برسنجی مدل را می توان برای شرایط ماندگار، غیرماندگار و یا هر دوی آن ها انجام داد. برسنجی به دو روش انجام می پذیرد:

۲- بحث

همان گونه که در مقدمه اشاره گردید دو روش کلی برای تخمین پارامترها (Parameter estimation) وجود دارد: روش سعی و خطا و روش اتوماتیک. در روش سعی و خطا مقادیر پارامترهای مدل در ابتدا به مدل داده می شود و پس از اجرای مدل و مقایسه ی سطح آب مشاهده های و سطح آب محاسبه شده توسط مدل، در صورتی که تفاوت قابل ملاحظه ای بین این دو وجود داشته باشد، پارامترها با دید کارشناسی تصحیح شده و به مدل وارد و مدل اجرا می گردد. این عمل تا رسیدن به حداقل اختلاف، تکرار می شود تا نتایج قابل قبول به دست آید. به طور کلی روش سعی و خطا مزایا و معایب زیر را دارد:

- ۱- روش سعی و خطا نیاز به یک برنامه ی کامپیوتری جدید ندارد و با همان برنامه اصلی می توان برسنجی را انجام داد.
- ۲- این روش باعث آشنایی بیشتر با منطقه می شود.
- ۳- زمان زیادی را می طلبد، به خصوص در حالتی که پارامترها، همبستگی زیادی با همدیگر داشته باشند.
- ۴- عدم یکتایی نتایج در آن به وضوح به دست می آید، یعنی مدل های برسنجه شده ی متفاوتی برای یک منطقه می توان به دست آورد.

الف) برسنجی دستی (سعی و خطا) (Manual trial and error)
ب) برسنجی خودکار (Automated calibration)
در برسنجی دستی، سازنده ی مدل با تغییر مقادیر پارامتر و تحلیل اثرات وابسته به آن تصور بهتری برای تهیه ی مدل و مفروضاتی که طراحی مدل براساس آن صورت گرفته، ایجاد می کند. در اثنای برسنجی دستی شرایط مرزی، مقادیر پارامتر و تنش ها برای هر اجرای متوالی مدل تا رسیدن به برازش بارهای هیدرولیکی با اهداف برسنجی، تطبیق داده می شوند. در برسنجی خودکار کدهای رایان های مربوطه به دنبال مجموع پارامترهای بهینه ای هستند که مجموع مربعات انحراف بین مقادیر محاسباتی و اندازه گیری شده در آن ها به یک حداقل کاهش یابد (Richard 2002).

آنالیز حساسیت (Sensitivity analysis) عبارت است از ارزیابی کمی تغییرات خروجی های مدل نسبت به تغییرات ورودی های آن و مشخص کننده ی پارامترهایی است که باید به منظور تعیین صحیح و دقیق پیشگویی مدل تغییر داده شوند. در طی آنالیز حساسیت، مدل به دفعات متعددی اجرا می شود که در هر اجرا فقط یک پارامتر با درصد مشخص تغییر می یابد و نوسانات مثبت و

هیدرولیکی در چاه های مشاهدهای یا پیزومترها، هدایت هیدرولیکی، غلظت مواد، درجه ی حرارت و... می باشند. لازم به ذکر است که حلّ پیشرو معادلات دیفرانسیل از نظر ریاضی حالت مشخصی دارد که یکی از شرایط شامل وجود جواب، یکتایی جواب و یا پایداری حاکم بر آن است. دلیل این امر آن است که در حلّ پیشرو، مسیر مشخص است و نهایتاً مسئله به یک جواب خواهد رسید، ضمن این که جواب ها نیز پایدار هستند. در صورتی که روش بهینه سازی مستقیم از نظر ریاضی مبهم و ناشناخته است و ممکن است هرگز به جواب منطقی و قابل قبول از نظر فیزیکی نرسد و یا این که تعداد زیادی جواب در پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان به دست آید. از طرف دیگر خطاهای کوچک در اندازه گیری سطح آب در روی زمین می تواند باعث ایجاد خطاهای بزرگ در برآورد پارامترها و در نتیجه ناپایداری حل شود. (Chen & Chen 2003a)

اکثر روش های معکوس شناسایی اتوماتیک پارامترهای مدل، بر مبنای روش غیرمستقیم بنا شده، که طی آن کمینه سازی مقادیر تابع خطاها صورت می گیرد. تابع خطا معمولاً به عنوان مجموع مربع خطای باقیمانده های وزن دار (S)، در تمام نقاط مشاهدهای و در تمام زمان ها به صورت زیر تعریف می گردد:

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

که در آن و به ترتیب متغیرهای وابسته مشاهدهای و محاسباتی در نقطه ی مشاهدهای می باشند. خطای باقیمانده های وزن دار برای نقطه ی مشاهدهای (i) و (n) تعداد کل نقاط مشاهده ای می باشد. این گونه روش های معکوس به عنوان روش های حداقل مربعات و یا رگرسیون غیرخطی (test Square) نامیده می شوند.

مدل های جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی غالباً غیرخطی هستند، در نتیجه متغیرهای وابسته مدل توابع خطی از پارامترهای مدل نمی باشند. به طور کلی یک مدل غیرخطی می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$y_i = f(x_i, z_i, t_i, \alpha_1, \dots, \alpha_m) + \varepsilon_i \quad (2)$$

که در آن y_i متغیر وابسته مشاهدهای است، f_i مقدار محاسبه ای به ازای متغیر وابسته است x, z, y, t ; متغیرهای مستقل (مکان و زمان در یک مدل)، $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ پارامترهای مدل و ε_i باقی مانده می باشد.

روش دیگر تخمین پارامتر، روش اتوماتیک است که براساس تئوری وارونگی صورت می گیرد. تئوری وارونگی شامل استنباط در مورد سیستم های فیزیکی با استفاده از اندازه گیری هاست. دو دسته اندازه گیری وجود دارد: اندازه گیری های مستقیم و اندازه گیری های غیرمستقیم.

در اندازه گیری های مستقیم، خاصیت فیزیکی سیستم بررسی شده مستقیماً اندازه گیری می شود، در صورتی که در اندازه گیری غیرمستقیم با استفاده از روابط و شواهد موجود، خاصیت فیزیکی سیستم، اندازه گیری می شود. در روش بهینه سازی مستقیم تعداد معادلات موجود بیشتر از تعداد مجهولات است، لذا از لحاظ ریاضی نمی تواند دارای یک جواب باشد. این روش نیاز به حل پیشرو معادلات ندارد و مسئله مستقیماً با حل یکسری از معادلات به دست می آید. در این روش پس از ورود پارامترها، اجرای مدل و ارزیابی پاسخ های مدل در صورت وجود اختلاف، تصحیح مقادیر پارامترها با استفاده از کمینه سازی تابع هدف انجام می شود. به عبارت دیگر روش غیرمستقیم، حل اتوماتیک روش دستی آزمون و خطا می باشد که در آن پارامترها به صورت تکراری تا رسیدن به جواب مطلوب تصحیح می شوند. این روش نسبت به روش های غیرمستقیم طولانی تر ولی جواب ها از نظر فیزیکی، منطقی تر می باشند. برای کمینه کردن تابع هدف به طور معمول از تئوری حداقل مربعات یا حداکثر درست نمایی استفاده می شود که حل آن ها شامل دو روش زیر می باشد:

روش مبتنی بر الگوریتم گوس-نیوتن

روش مبتنی بر الگوریتم گرادین

در روش غیرمستقیم، بهینه سازی پارامتری با استفاده از یک کد کامپیوتری مدل معکوس که براساس تئوری وارونگی است (Inversion theory)، انجام می شود. هدف مدل معکوس، استنباط از طریق اندازه گیری های غیرمستقیم مدل می باشد. در روش های وارونگی تعیین ساختار سیستم یا حلّ مدل یک سیستم شامل چهار مرحله ی جداگانه می باشد، که عبارتند از: مرحله ی پیشرو مسئله، مرحله ی برآورد، مرحله ی ارزیابی نتایج و مرحله ی تصمیم گیری.

در مسائل معکوس آب های زیرزمینی پارامترهای مورد نظر برای تخمین زده شدن، عمدتاً پارامترهای هیدروژئولوژیکی و هیدرودینامیکی بوده و متغیرهای وابسته اندازه گیری شده، کمیت هایی مانند بار

Archive of SID

مقاطع مختلف قابل نمایش می باشند. این نرم افزار ویژال مدفلو برای اوکین بار در سال ۱۹۹۴ تهیه گردید و در حال حاضر به طور گسترده ای در جهان مورد استفاده قرار می گیرد. در نتیجه صحت این نرم افزار با توجه به استفاده گسترده ای آن مورد تأیید بوده و نقاط ضعف و قوت آن مشخص می باشد. زبان برنامه نویسی این نرم افزار فرترن ۷۷ بوده و روش حل معادلات حاکم بر آبخوان در این نرم افزار تفاضل محدود با شبکه های مدلی مرکز بلوکی (Block Centered) می باشد. ساختار برنامه بسته ای (Modular) است، که شامل یک برنامه ی اصلی و یک سری از برنامه های فرعی (Subroutine) کاملاً مستقل می باشد که بسته (Modules) نامیده می شود. بسته ها به صورت بسته های گروه بندی شده هستند که هر بسته در ارتباط با قسمتی از سیستم هیدروژئولوژیکی است که باید شبیه سازی شود.

در نرم افزار ویژال مدفلو سه بسته ی اصلی وجود دارد که عبارتند از: ورودی های مدل (Input Module)، اجرای مدل (Run Module) و خروجی های مدل (Output Module). هنگامی که یک فایل فراخوانی و یا تولید می شود در واقع بین هر سه بسته جهت ورود داده ها، اجرای شبیه سازی و نمایش نتایج ارتباط برقرار می شود (Chen & Chen 2003b و سروری ۱۳۸۲).

نرم افزار پی ام وین (Processing MODFLOW 5.1.7) به دلیل قابلیت های بیشتر آن که توانایی بهینه سازی (Optimization) به روش معکوس را دارد به عنوان نرم افزار دیگر جهت برسنجی و مقایسه ی نتایج برسنجی در دو حالت دستی و خودکار معرفی می گردد. ساختار این نرم افزار نیز مدولی بوده و ویژگی آن داشتن بسته های نرم افزاری چون پست (Pest)، یوکد (Ucod) و... می باشد که با بهره گیری از روش های وارونه توانایی برآورد پارامترهای بهینه را دارد. نرم افزار پی ام وین در سطح بسیار تخصصی بوده که امکانات بسیار مناسبی برای شبیه سازی جریان و انتقال جرم در آن قرار داده شده است. از آنجایی که در نرم افزار ویژال مدفلو ۲/۶، امکان برسنجی خودکار وجود ندارد، با تشکیل یک فایل با پسوند nam (*.nam) مدل ساخته شده در این نرم افزار را می توان به یک مدل قابل شناسایی برای پی ام وین تبدیل نمود. بدیهی است این عمل به منظور جلوگیری از اتلاف وقت جهت وارد نمودن مجدد تمامی داده های مدل مفهومی می باشد. در غیر این صورت می توان از قابلیت های نرم افزاری پی ام وین جهت ورود و پردازش اطلاعات استفاده کرد.

تابع خطای مجموع مربعات وزن دار برای مدل های غیرخطی را به صورت زیر می توان بیان کرد:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n \omega_i [y_i - f_i]^2 \quad (3)$$

کمینه کردن مطالعه ی فوق برای دستیابی به مقادیر پارامتری بهینه می تواند به گونه ای مشابه به آنچه برای مدل های خطی صورت می گیرد انجام شود. هرچند تفاوت های عمده ی فراوانی ممکن است وجود داشته باشد.

هدف یک مدل ریاضی، استفاده از داده های سیستم آب زیرزمینی برای تولید اعداد می باشد، که این اعداد آنچه را که یک سیستم طبیعی و یا ساختگی تحت رژیم واکنشی تحریک پذیر معین نشان می دهند، را پیش بینی می نمایند.

با توجه به موارد گفته شده، روش های وارونگی به عنوان یک فرایند بهینه سازی (Optimization) مدنظر قرار می گیرند که در آن مدلی که کمترین مقدار خطا را داشته باشد و به بهترین صورت مشاهدات را توضیح دهد، مورد جستجو قرار می دهند.

در این روش میزان برازش (Fitness) یا عدم برازش (Misfit) بین داده های مشاهده ای و محاسبه ای به عنوان مقیاسی از سازگاری مدل ساخته شده، مورد استفاده قرار می گیرند. روش های بهینه سازی بر اساس روشی که برای جستجوی مدل بهینه به کار می روند متفاوت می باشند (ساعت ساز ۱۳۸۲).

از جمله کدهای تخمین پارامتری (Parameter estimation) معمول مورد استفاده، نرم افزار مدفلو (MODFLOW) و نرم افزار یونی ورسال اینورس (Universal Inverse Modeling Code) می باشند (Harbaugh & Mc Donald 1996). برآورد پارامترهای غیرخطی یک علم می باشد گرچه می توان آن را یک هنر دانست. این برآوردگرها می توانند فقط به تکمیل تلاش های ما در فهم یک سیستم و استنباط پارامترهای آن به کار برده شوند. در این تحقیق به دلیل مقایسه ی دو روش برسنجی، توضیحاتی درخصوص ویژال مدفلو (Visual MODFLOW) و پی ام وین (PMWIN) داده می شود. ویژال مدفلو نرم افزاری کامل و ساده برای استفاده در شبیه سازی، با محیط مدل سازی گرافیکی جریان سه بعدی آب زیرزمینی و انتقال آلودگی و در سطح تخصصی می باشد. داده های ورودی و خروجی در این نرم افزار به صورت تمام صفحه یا به شکل

ثبت می شوند که به کاربر اجازه می دهد به سهولت پارامترهای مشکل را مورد ارزیابی قرار دهد.

- کاربر می تواند در فرایند تخمین پارامترها دخالت نماید و پارامترهایی که تمایل به افزایش غیر واقعی را دارند ثابت نگه دارد.

- می توان پارامترها و مشاهدات را در زیرگروه های مجزایی تقسیم نمود. این عمل برای تخصیص متغیرهای کنترل کننده ی محاسبات مشتقات مدل و ارزیابی همخوانی مشاهدات گوناگون با تابع هدف کاربرد دارد.

- پست محاسبه ی آماری داده های مربوط به مقادیر پارامترهای بهینه شده را با ۹۵ درصد فاصله ی اطمینان همراه با کوواریانس پارامترها و ماتریس ضریب همبستگی انجام داده و در یک صفحه ی گسترده نمایش می دهد (Chen & Chen 2003b).

آن چنان که برآورد پارامترهای غیرخطی یک علم می باشد می توان آن را یک هنر نیز دانست. پست یا هر برآوردکننده ی پارامتری می تواند فقط برای تکمیل تلاش های ما در فهم یک سیستم و استنباط پارامترهای آن به کار برده شود. اصولاً برنامه های مدل ساز نیاز به چهار نوع داده ی اصلی دارند که عبارتند از:

۱) داده های ثابت (Fixed data) که سیستم را تعریف می نمایند، مانند شکل آبخوان و هندسه ی آن

۲) پارامترها که خصوصیات سیستم را بیان می نمایند، مانند هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره

۳) محرک ها (Excitations) که سیستم را هدایت می نمایند، مانند داده های هواشناسی.

۴) داده های کنترل (Control data)، این داده ها وضعیت روش حل عددی معادلات سیستم را در اختیار دارد.

در اغلب مدل ها تشخیص حدود این چهار نوع داده واضح نمی باشد. هدف مدل ریاضی استفاده از داده های ذکر شده برای تولید اعداد می باشد که این اعداد آنچه که یک سیستم طبیعی و یا ساختگی تحت رژیم تحریکاتی معین واکنش نشان می دهند را پیش بینی می نمایند. حال اگر مقادیر مشاهده ای یا نتایج آزمایشگاهی متناظر با اعداد تولید شده توسط مدل وجود داشته باشند، پست می تواند پارامترهای مدل را تنظیم نماید و تنش های وارده را در نظمی که تفاوت بین اعداد تولید شده توسط مدل و اندازه گیری های متناظر با آن ها به کمترین مقدار ممکن کاهش داده شوند به کار می برد. این

پست (Pest) یک بسته ی نرم افزاری برای برآورد پارامترهای غیرخطی می باشد که می تواند کنترل یک مدل را در دست گرفته و آن چنان که برای نزدیکی کامل پارامترهای محاسباتی و مشاهده ای مورد نیاز باشد مدل را به دفعات زیاد اجرا کند تا این که به کمترین مربعات وزن شده نائل گردد. با این عمل پست پارامترهای گوناگون و مقادیر مختلف آن ها را مورد ارزیابی قرار داده و مدل های متنوعی را ارائه می دهد و با همخوان کردن خود با شرایط حاکم بهترین مدل به دست آمده را انتخاب می نماید. این بسته ی نرم افزاری با اجرای یک واریانس قدرتمند و ویژه (Leven berg-Marquardt-Gauss) با روش برآورد غیرخطی پارامترها می تواند آشفتگی ها و ناهمگنی های موجود و پیچیده را تقریب بزند و به دلیل ارتباط آسان آن با سایر نرم افزای های مدل ساز، نیازی به تهیه ی مجدد مدل و تعریف ساختار و شرایطی اولیه ندارد، لذا از صرف وقت بیشتر جلوگیری می نماید.

آنچه که در پست ویژگی محسوب می شود این است که به کاربر اجازه می دهد با استفاده از نتایج آزمایشات، مشاهدات و تفسیر داده های اولیه و تعریف آن ها برای مدل برآورد پارامترها و حدود تغییرات آن ها را کنترل نموده و مدلی منحصر به فرد ایجاد نماید.

سایر ویژگی هایی که برای پست می توان در نظر گرفت عبارتند از:

- پارامترهای مدل منحصر به فرد را به صورت پارامترهای قابل تنظیم، ثابت و یا در ارتباط با سایر پارامترها طراحی کرد و برای افزایش تأثیر بهینه سازی می توان پارامترهای قابل تنظیم را به حالت لگاریتمی تغییر شکل داد.

- با تحمیل حدود بالایی و پایینی تعریف شده برای پارامترها، مقادیر بهینه ی پارامترها را کنترل و منحصر به فرد نمود.

- اجرای پست را می توان در زمان های مختلف قطع نمود. این عمل برای بازرسی جزئیات در فایل های ثبت شده در هر اجرا مهم می باشد. سپس می توان پست را از آن زمانی که قطع شده است مجدداً اجرا نمود.

- تمامی بانک داده های پست دارای اختصاصات پویا می باشند. از این رو اندازه ی مسئله که شامل تعداد پارامترهای قابل تنظیم و اندازه ی داده های مشاهداتی است، فقط به وسیله ی مقدار حافظه ی نصب شده توسط کاربر بر روی ماشین محدود می شود.

- وضعیت حساسیت پارامترها به طور پیوسته در هر بار تکرار

می دهد که منطقه در مجاورت تاقدیس خویر در زاگرس چین خورده قرار گرفته است و از رسوبات آبرفتی ناشی از فرسایش سازنده ای قدیمی تر و رخنمون یافته در محدوده ی منطقه که عمدتاً گروه فارس می باشند تشکیل شده است (کلاتری ۱۳۸۶). نقشه ی هیدروژئولوژی و تراز آب دشت بهبهان در تصویر ۱ نشان داده شده است.

مطالعات اولیه با بررسی لاگ های ۳۸۰ حلقه چاه و ۲۱ پیزومتر و تعدادی سونداژ ژئوفیزیکی در کل محدوده تکمیل گردید و در نهایت هندسه ی فیزیکی مدل و محدوده ی مرزی و نوع آبخوان شناسایی شد. وضعیت توپوگرافی و سنگ کف در تصاویر ۲ و ۳ نمایش داده شده است.

در این راستا واحدهای استراتیگرافی و مرزهای سیستم طی بازدیدهای صحرایی و آنالیز مقدماتی داده ها تفکیک و تعیین گردیدند. بسته ی نرم افزاری انتخابی به کمک معادله ی حاکم (Governing equation) و پس از ورود داده ها و طراحی شبکه ی مدل، انتخاب گام های زمانی و پیوندها، همچنین مرزها و شرایط اولیه، آماده ی برسنجی می گردد. در این تحقیق نرم افزار ویژال مدفلو (Visual MODFLOW v.2.8.2) در کنار پی ام وین که قابلیت ویژه ای در بهینه سازی به روش معکوس را داراست جهت انجام همزمان برسنجی دستی و خودکار به کار گرفته شد. برسنجی خودکار به کمک بسته ی پست که قابلیت برآورد پارامترهای غیرخطی و اجراهای متوالی (Run) مدل برای رسیدن به تطابق پارامترهای محاسباتی و مشاهداتی و نیل به کمترین مربعات وزن شده خطا را داراست انجام گرفت.

طراحی شبکه بندی تفاضل محدود (Finite differences) با 60×70 سلول مرکزدار (Block centered) با مساحت 500 متر و غیرفعال نمودن سلول های خارج مرز صورت گرفت. از سطح آب ۲۱ پیزومتر فعال موجود در محدوده ی مرزی مدل جهت برآورد سطح آب اولیه (Initial head) استفاده شد. انتخاب استرس پیوند و گام زمانی نیز برای برسنجی و صحت سنجی به کمک بررسی هیدروگراف واحد پنج ساله که روند نسبتاً صعودی نشان می داد با انتخاب استرس پیوندهای ماهانه (۷۲۰ روز) از مهر ۸۳ لغایت مهر ۸۵ صورت گرفت. نقشه ی محدوده ی مدل سازی شده پس از وارد نمودن کلیه ی چاه ها در محیط مدفلو و نیز نقشه ی شماتیک منطقه بندی ضرایب هیدرودینامیک آبخوان پس از پایان برسنجی در محیط پی ام وین در تصویر ۴ ارائه شد.

عمل به وسیله ی در دستگیری کنترل مدل و اجراهای زیاد آن به دفعات زیاد تا حد نیاز برای تنظیم و تعیین وضعیت بهینه ای از پارامترها و تنش ها انجام می شود.

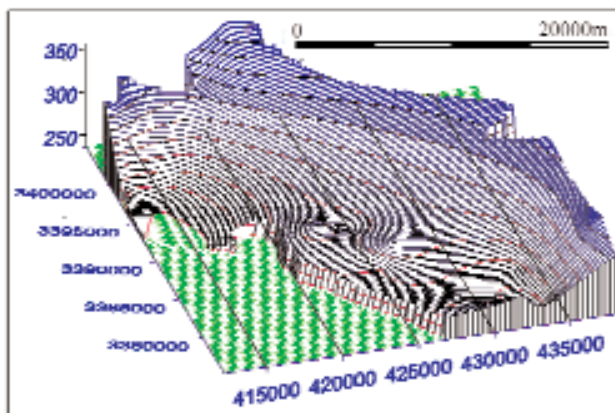
اغلب یک مدل حقیقی را شبیه سازی می کنند که کاربر از آن حقیقت آگاهی کامل ندارد. در واقع مدل ها اغلب برای استنباط حقیقت از مقایسه ی اعداد تولید شده با اعداد به دست آمده از مشاهدات، استفاده می کنند که نتیجه ی آن رسیدن به مقادیر نزدیک به واقعیت می باشد. پست در مورد تمام مدل های موجود برای استنباط جنبه هایی از واقعیت که ممکن است تابع اندازه گیری های مستقیم نباشد استفاده می شود. به طور کلی استفاده از این بسته در دو مقوله ی تفسیر سیستم و برسنجی آن می باشد.

مدل های خطی مدلهایی هستند که در آن ها مشاهدات از پارامترهایی محاسبه می شوند که در معادله ی ماتریسی آن ها ضرایب پارامتری ثابت می باشند. بهینه سازی در این مدل ها می تواند در یک مرحله انجام داده شود. اما برای مسائل غیرخطی برآورد پارامترها یک فرایند تکرار می باشد. در شروع هر تکرار، ارتباط بین پارامترهای مدل و مشاهدات و نتایج به دست آمده با استفاده از فرموله کردن آن ها به صورت یک بسط تیلور برای بهتر کردن وضعیت پارامترهای جاری معادله، خطی می گردد. بنابراین مشتق تمامی مشاهدات در ارتباط با تمامی پارامترها باید محاسبه شود. این مسئله ی خطی شده، سپس برای بهترین وضعیت پارامترهای به دست آمده حل می شود و پارامترهای جدید به وسیله ی اجرای مجدد مدل آزمایش می شوند. با مقایسه ی تغییرات پارامترها و بهبود تابع هدف به دست آمده از میان تکرارهای جاری با تکرارهای قبلی به دست آمده پست می تواند تشخیص دهد که آیا این جواب نسبت به سایر تکرارهای بهینه سازی شده با ارزش می باشد یا نه، در غیر این صورت تمامی فرایندهای ذکر شده مجدداً تکرار می گردد تا نتیجه ی مطلوب به دست آید (سروری ۱۳۸۲).

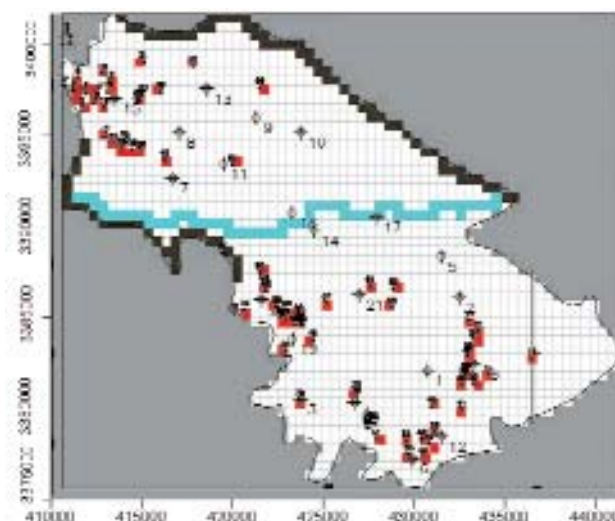
به منظور مقایسه ی دو حالت برسنجی در دو نرم افزار معرفی شده، شبیه سازی دشت بهبهان در این مقاله ارائه می گردد.

هدف از انجام این مطالعه شبیه سازی جریان آب زیرزمینی محدوده ی مورد نظر جهت استفاده ی کاربردی و مدیریتی از پارامترهای محاسبه شده و قطعیت داده شده ی آبخوان است. شناسایی مقدماتی واحدهای هیدرواستراتیگرافی محدوده نشان

تراز آب موجود در بسته ی نرم افزاری انجام شد. پس از آن، نمودن سایر مقادیر تغذیه و تخلیه ی آبخوان مانند بارندگی و تبخیر، پارامترهای بیلان تعریف گردید و هر کدام به صورت فایل مناسب وارد نرم افزار شد و مدل آماده ی اجرا گردید. بدیهی است در این مرحله اجراهای متوالی دستی و آنالیز حساسیت متنوعی صورت می گیرد و همچنین انتخاب حدود مختلف پارامترها جهت برسنجی خودکار و بررسی حالت های مختلف مدل تفهیمی انجام شده است تا بهترین برازش بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی سطح آب برقرار گردد. در این مرحله سعی گردید در طی مراحل برسنجی دستی حدود تغییر پارامترها به شکل منطقی آنالیز گردد تا در مراحل برسنجی اتوماتیک مدل های مفهومی منطقی حاصل گردد. با توجه به این که خطای میانگین جذر مربعات (RMS) در انتهای مرحله ی برسنجی قابل قبول به نظر رسید مدل وارد مرحله ی صحت سنجی گردید. برای این مرحله یک پریود ۱۸۰ روزه در نظر گرفته شده بود و مدل برازش خوبی را در این مرحله نیز نشان داد و خطای واریانس میزان ۰/۸ را نشان داد. تصویر ۵ تطابق بارهای محاسباتی و مشاهداتی مدل در انتهای دوره ی برسنجی را نشان می دهد. در نهایت از مدل تهیه شده جهت استفاده کاربردی و مدیریتی مانند محاسبه ی بیلان و برآورد سایر پارامترهای آبخوان استفاده گردید.



تصویر ۳- نقشه ی سه بعدی ارتفاع مطلق سنگ کف دشت

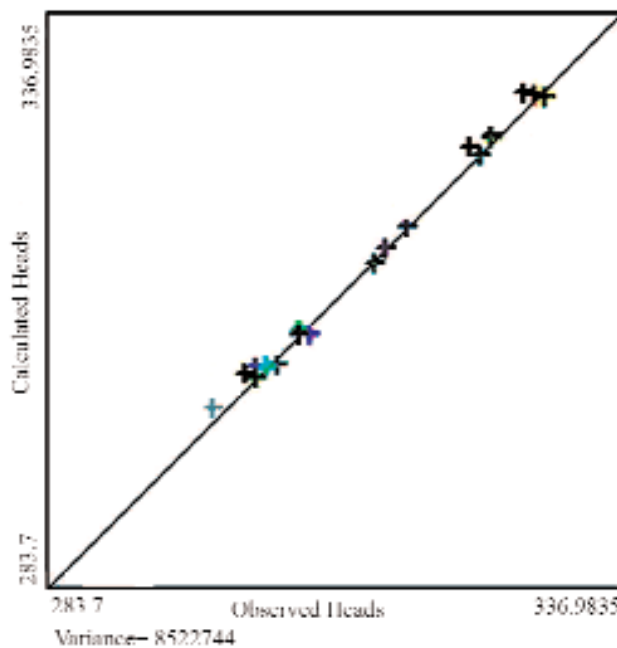


تصویر ۴- محدوده ی مدل سازی شده در نرم افزار انتخابی (PMWIN)

۳- نتیجه گیری

از مطالعه ی انجام گرفته در خصوص مراحل برسنجی و تهیه ی مدل آبخوان دشت بهبهان نتایج ذیل حاصل گردید:

- ۱- استفاده از نرم افزار پی ام وین به کاربر اجازه می دهد در هنگام برسنجی، امکان برسنجی هم زمان دستی (سعی و خطا) و همچنین خودکار (اتوماتیک) را در اختیار داشته و مدل های مفهومی متفاوتی را در الگوریتم مدل، تصحیح (Feed Back) نماید.
- ۲- پارامتری که در مرحله ی واسنجی مدل سازی بیشتر از بقیه ی پارامترها مورد ارزیابی و آنالیز حساسیت قرار گرفت هدایت هیدرولیکی بود چرا که آزمون های پمپاژ با وجود خوب بودن نتایج، ناکافی بوده و تعمیم پارامتر k و منطقه بندی را دشوار نموده است. در نهایت انتخاب دوره ی زمانی مناسب و تعداد استرس پریودهای زیاد ماهانه در مرحله ی برسنجی موجب قطعیت مقادیر نهایی و تسریع نتیجه ی مناسب در مرحله ی صحت سنجی گردید. پس از شبیه سازی



تصویر ۵- برازش مقادیر بارهای محاسباتی و مشاهداتی مدل در انتهای دوره برسنجی

و قطعیت بخشیدن به مقادیر پارامترهای مدل، ضرایب هیدرودینامیک نهائی آبخوان برآورد گردید. مقادیر درصد آبدهی ویژه از ۰/۲۵ تا ۰/۸ درصد و هدایت هیدرولیکی حداکثر ۲۵m/day و حداقل ۰/۵m/day تخمین زده شد. درصد نفوذ ریزش های جوئی نیز ۲۲درصد برآورد گردید.

۴- تقدیر و تشکر

به این وسیله از مدیریت محترم مطالعات پایه ی سازمان آب و برق خوزستان جهت تأمین هزینه ی اجرای پروژه و در اختیار گذاردن اطلاعات پایه تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

ساعت ساز، م.، ۱۳۸۲، "مطالعه ی استفاده توام از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت رامهرمز جهت توسعه ی کشاورزی با استفاده از مدل ریاضی عددی"، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی دانشکده ی علوم دانشگاه شهید چمران.

سروری، م.، ۱۳۸۲، "شبیه سازی آبخوان دشت دوسلق با استفاده از مدل ریاضی"، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی دانشکده ی علوم، دانشگاه شهید چمران.

کلانتری، ن.، ۱۳۸۶، "مطالعات نیمه تفصیلی آب زیرزمینی دشت بهبهان"، گزارش شماره ی ۴۶، سازمان آب و برق خوزستان.

Chen, X. H. & Chen, X., 2003a, "Sensitivity analysis and determination of stream bed leakage and aquifer hydraulic properties", *J. Hydrol.*, Vol. 284: 270-284.

Chen, X. H. & Chen, X., 2003b, "Effect of aquifer anisotropy on the migration of infiltrate stream water to pumping well", *J. Hydraulic Eng.*, Vol. 8 (5): 287-293.

Harbaugh, A. W. & Mc Donald M. G., 1996, "Users documentation for MODFLOW-96 an update to US Geological Survey modular finite-difference groundwater flow model", *USGS open file Report*: 96- 485.

Richard, J. M., 2002, "Groundwater modeling program", *Michigan department of environmental quality*, 54p.