ملاحظات مدیریتی در کاربرد مدلهای آب زیر زمینی

مهندس محمد حاتمی ورزنه
دکتر مجتبی کبودانیان اردستانی

کلمات کلیدی:

آبخوان، مدیریت مدل آب زیرزمینی، مدل جریان آب زیرزمینی، مدل انتقال آلاینده، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، واسنجی مدل، درستی سنجی مدل، اعتبار سنجی، افزار سنجی، حساسیت، اطمینان از کیفیت و کنترل کیفیت.

چکیده:

موضوع مدیریت درکاربرد مدلهای آب زیرزمینی شامل مباحث متفاوتی می‌باشد که‌دراین‌مقاله به‌تعدادی‌ازاهم‌آنها اشاره گردیده وتا حد مختصری شرح داده شده است.

آنچه بیش از همه مورد توجه می‌باشد این است که کاربرد مفید مدلهای ریاضی بستگی به آموزش و تجربه کارمندان پشتیبانی فنی در به کاربردن مدل برای یک مساله و به درجه ارتباط بین این اشخاص فنی و مدیریت دارد.

مساله دیگری که مطرح می‌باشد انتخاب سخت‌افزارها و نرم‌افزارها با توجه به هزینه آنها در مدل‌سازی آبهای زیرزمینی است؛ به عنوان یک دستور کلی بیشترین هزینه‌ها مربوط به افراد، سپس متناسب‌سازی سخت‌افزارها و کمترین آن مربوط به هزینه‌های تهیه نرم‌افزار می‌باشد. مدیران بایستی به صورت جدی نیاز سطح مناسب از موارد فوق را بدانند.

موضوع دیگری که در امر مدل‌سازی آبهای زیرزمینی اهمیت دارد، معیارهای انتخاب برنامه‌های مدل‌سازی می‌باشند. معیارهای فنی انتخاب برنامه‌های مدلسازی که در این مقاله توسط EPA فرمول‌بندی شده است، به طور تقریبی با پارامترهای مدل هیدروژئولوژیکی مرتبط است. اصولاً کاربرد برنامه‌ها بایستی طبق استانداردهای اجرایی و معیارهای پذیرشی مورد ارزیابی قرار گیرند.

به دلیل استفاده روز افزون از برنامه‌های کامپیوتری و مدلسازی در تدوین مجموعه قوانینی که در دادگاه مورد استناد قرار می‌گیرند، لازم است که توجه دقیق به اطمینان از کیفیت و کنترل کیفیت در توسعه و به کارگیری مدل صورت گیرد تا این قوانین مورد اعتراض واقع نگردند.

مساله مهم دیگری که در امر مدل‌سازی آبهای زیرزمینی بایستی به آن توجه نمود، محدودیت‌های برنامه‌های کامپیوتری است. مدیران بایستی قابلیت‌ها و محدودیت‌های برنامه‌های مورد استفاده خود را متناسب با محدوده مورد مطالعه بدانند و باتوجه به نیازمندی‌های آن تصمیم مناسبی اتخاذ نمایند. عموماً بیشترین تعداد برنامه‌ها در گروه مدلهای جریان اشباع و به دنبال آن گروه مدلهای انتقال مواد محلول اشباع قرارگرفته‌اند.

کارشناس ارشد عمران - مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران .
استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران .

سرآغاز:

آب زیر زمینی یکی از مهمترین منابع آب شیرین مورد نیاز انسان است. آب زیر زمینی، بعد از یخچالها و یخ پهنه‌ها، بزرگترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد. امروزه بهره برداری از منابع آب زیر زمینی، برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب، توسعه زیادی پیدا کرده است.

در حال حاضر در سطح کشور سالانه حدود ۴۹ میلیارد متر مکعب آب از منابع زیرزمینی برداشت می‌شود. این رقم بخش بزرگی از کل آبهای مصرفی در کشور ما را تشکیل می‌دهد. مقایسه این رقم با حجم تقریبی پتانسیل جریانهای سطحی در حوضه‌های آبریز کشور که به طور متوسط سالانه حدود ۹۳ میلیارد متر مکعب می‌باشد، اهمیت استفاده از آبهای زیرزمینی را در ایران نشان می‌دهد [۱۲].

در مطالعات منابع آب زیرزمینی استفاده از مدل ریاضی برای بررسی دقیق‌تر ضرایب هیدروژئولوژی، کنترل نتایج بیلان و پیش‌بینی آینده آبخوان اهمیت زیادی دارا می‌باشد. بدین منظور ابتدا با اطلاعات هیدروژئولوژی گذشته و حال، مدل آبخوان را منظم و شبیه سازی نموده و بعد با استفاده از مدل تکمیل شده تحولات آینده آبخوان را برابر برنامه‌های مختلف بهره برداری، تغذیه مصنوعی، زهکشی و غیره پیش‌بینی می‌نمایند. در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۸ مدل ریاضی برای دشت ورامین بوسیله سازمان F. A. O و به منظور مطالعات توسعهٔ بهره برداری از آبهای زیرزمینی تهیه گردید. نظر به اهمیت این فعالیت در سال ۱۳۵۰ اداره آبهای زیرزمین با همکاری دانشگاه لوئی پاستور فرانسه مبادرت به ایجاد آزمایشگاه مدل آنالوژی نمود. کلاً از سال ۱۳۴۸ تا سال ۱۳۶۴ بیش از ۴۵ مدل ریاضی توسط وزارت نیرو، مهندسین مشاور مؤسسات مختلف تهیه شده است [۱۳].

در این مقاله سعی گردیده است، تجزیه و تحلیل نسبتاً کلی از مسائل مرتبط با مدیریت مدل سازی آب زیرزمینی صورت گیرد. بطوری که توصیه‌ها و تجربه‌های ارائه شده در آن بتواند راهگشای برنامه ریزان و مدیران بخشهای مختلف تحقیقاتی و اجرایی در نهادها، سازمانها و شرکتهای مربوطه باشد. جهت کاربرد مؤثر مدلهای آب زیرزمینی، محدودیت ارتباطی بین مدیرانی که تصمیم گیرندهٔ امور سیاسی و قوانین می‌باشند و افراد فنی که توسعه و کاربرد مدلها را انجام می‌دهند، منع شده است. این مقاله بر روی ملاحظات مدیریتی جهت کاربرد مدلها و برنامه‌های آبهای زیرزمینی به شرح ذیل تمرکز دارد:

نیازهای پرسنلی و ارتباطی، هزینه انتخاب‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، معیار انتخاب برنامه‌های مدل‌سازی، کنترل کیفیت و محدودیت برنامه‌های کامپیوتری.

نیازهای پرسنلی و ارتباطی:

کاربرد مفید مدلهای ریاضی بستگی به آموزش و تجربهٔ کارمندان پشتیبانی فنی در به کار بردن مدل برای یک مسأله و به درجه ارتباط بین این اشخاص فنی و مدیریت دارد. مدیران بایستی آگاه باشند که درجه نسبتاً خوبی از آموزش و تجربه تخصیص یافته جهت توسعه و کاربرد مدلهای ریاضی ضروری می‌باشد، و انتظار می‌رود نسبتاً تعداد کمی از کارمندان پشتیبانی به طور رایج دارای چنین مهارتهایی باشند. اشخاص فنی نیاز به آشنایی با تعدادی از رشته‌های علمی دارند. به طوری که آنها بتوانند مدلها را با توجه به مسائل دنیای واقعی بسازند.

به طور کلی، گروه چند رشته‌ای [1] می‌توانند در مورد مسائل پیچیده، از قبیل انتقال آلودگی آبهای زیرزمینی سرپرستی مدلسازی را بعهده بگیرند. در راه رسیدن به چنین هدفی، هیچ فردی نمی‌تواند بر رشته‌های متعدد مربوطه تسلط داشته باشد. درعین حال اعضاء گروه باید که از علوم بسیاری آگاهی داشته باشند، به طوری که بتوانند سئوالات مناسبی را از متخصصان مربوطه بنمایند و رشته‌های علمی متعدد مربوط به پروژه را تلفیق نمایند. واقعیت این است که آموزش مدل سازان آبهای زیرزمینی باید تداوم یابد، ضمن اینکه مدیران هم باید آنها را به این امر ترغیب نمایند.

مزایای چنین فعالیتهایی احتمالاً بسیار وسیع خواهد بود، ضمن اینکه عدم انجام آنها نیز ممکن است هزینه‌های بسیار زیادی داشته باشد.

کارمندان فنی همچنین بایستی قادر به ایجاد ارتباط فعالانه با مدیریت باشند. چنانکه با آنالیزهای آماری معلوم گردیده، نتایج حاصل از یک مسأله ناقص مطرح شده، پاسخی به سوالات نادرست است. در جداول ۱ و ۲ تعدادی از سوالات مفید مدیران و کارمندان پشتیبانی فنی که بایستی از یکدیگر بپرسند، برای به دست آوردن

جدول ۱ : پرسشهای مفهومی در رابطه با اقدامات مدل‌سازی به روش ریاضی

فرضیات و محدودیت‌ها

- فرضیات از چه تشکیل شده‌اند و آیا آنها نقش ایجاد تردید را در رابطه با طرح‌ریزیهای مدل دارند؟
- محدودیت‌های مدل با توجه به فرآیندهای طبیعی کنترل مسائل چیست؟ آیا می‌توان طیف کاملی از شرایط احتمالی را مشخص نمود؟
- تا چه حد از نظر زمانی و مکانی می‌توان نتایج شبیه‌سازی‌های مدل را تعمیم داد؟
- نقاط ضعف کاربری این فرضیات چیست و یا این موارد را بیشتر می‌توان کاهش داد و یا حذف نمود؟

پارامترهای ورودی و شرایط مرزی

- تخمین پارامترهای ورودی تا چه حد قابل اعتماد می‌باشد؟ آیا آنها در محدودهٔ شرایط آماری قابل قبولی قرار گرفته‌اند؟
- شرایط مرزی چیست و چرا آنها جهت این مسأله مناسب می‌باشند؟
- آیا شرایط اولیه‌ای که مدل با آن واسنجی شده از نظر دقت و سازگاری کنترل گردیده است؟
- آیا طرح‌های شبکه فضایی و زمان‌بندی مدل جهت این مسأله بهینه گردیده‌اند؟

کنترل کیفیت و برآورد اشتباهات

- آیا این مدلها از نظر ریاضی در برابر سایر راه‌حلهایی که برای این نوع مسائل وجود دارد معتبر گردیده‌اند؟
- آیا کسی این مدلها را تاکنون از طریق کاربرد مستقیم و یا شبیه‌سازی تجربیات کنترل شده، اعتبار سنجی حوزه نموده است؟
- چقدر این مدل با سایر مدلها برحسب بازده محاسباتی و راحتی کاربری و یا اصلاح شدن مقایسه گردیده‌اند؟
- چه اقدامات خاصی به منظور برآورد اشتباهات کلی شبیه‌سازی‌ها صورت می‌گیرد؟

جدول ۲ : پرسشهای سیاسی - اجتماعی در رابطه با اقدامات مدل‌سازی به روش ریاضی

ملاحظات نماسازی گرافیکی

- آیا جمعیت بزرگتری نسبت به این که ما قادر هستیم پاسخهای کافی بدهیم توسط مسأله تهدید می‌گردند؟
- آیا امکان‌پذیر هست که نتایج مدل را در هر دو فرمت فنی و غیر فنی ارائه دهیم تا به کلیه شنوندگان برسد؟
- چه نقشی مدل‌سازی در اقدامات اطلاعات عمومی می‌تواند بازی نماید؟
- آمادگی، جهت پاسخگویی به مشکلات مدل چقدر است؟

فشارهای سیاسی

- آیا موانع غیر فنی جهت کاربرد این مدل نظیر «آلوده شدن در اثر ارتباط» یا مباحثه در جای دیگر دیده می‌شود؟
- آیا ما همکاری با کلیه طرف‌های درگیر را در به دست آوردن اطلاعات ضروری و اجرای راه‌حل‌ها داریم؟
- آیا نتایج شبیه‌سازی‌های مدل می‌تواند علیه خود ما باشد؟ آیا نتایج مبهم یا دو پهلو هستند؟

امور قانونی

- آیا برنامه حاضر کلیه نیازهای قانونی جهت نیل به یک شیوه مقتضی را در برخواهد داشت؟
- در صورتی که ما در مورد کلیدهای ورودی مدل به دیگران وابسته باشیم، چگونه ما جهت جبران خسارت در صورت عدم اجرای آنها روبرو می‌شویم؟
- چه مسئولیت‌هایی برای پروژه‌هایی که اخیراً تفسیرهای غلط از آن منشاء گرفته برای مدل تولید نموده است، متحمل می‌گردد؟
- آیا مواردی که مربوط به کاربرد مدل می‌باشد نیاز به توصیه وکلا دارد؟

راه‌حلهایی که مختص این مسائل توسعه داده شده است، لیست گردیده‌اند. جدول ۱ عبارت از پرسشهای مفهومی صحیح و جدول ۲ محتوی سوالات سیاسی - اجتماعی در رابطه با اقدامات مدل‌سازی ریاضی می‌باشند.

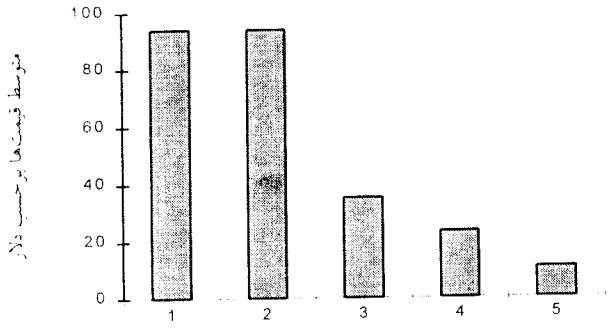
انتخاب سخت‌افزارها و نرم‌افزارها با توجه به هزینه :

هزینه‌های اسمی سالیانهٔ پشتیبانی کارمندان، تسهیلات محاسباتی و تجهیزات تولید گرافیک‌های خاص در ارتباط با فعالیت‌های مدل‌سازی عددی می‌تواند چشمگیر باشد. بعلاوه، فعالیت‌های کنترل کیفیت می‌تواند در هزینه‌های اساسی مؤثر باشد، که این هم به درجه‌ای که مدیر بایستی از مشخصات مدلها و درستی خروجی‌ها یقین حاصل کند بستگی دارد.

به عنوان یک دستور کلی بیشترین هزینه‌ها مربوط به افراد، سپس متناسب سازی سخت‌افزارها و کمترین آن مربوط به هزینه‌های تهیه نرم افزار می‌باشد. تجهیز بهینهٔ کامپیوتر تجاری (به عنوان نمونه VAX 11/785 یا IBM 303) هزینه‌هایی در حدود ۱۰۰۰۰۰ دلار دارند، اما آن می‌تواند بزودی بوسیله خودش در شرایطی از افزایش سرعت و قدرت محاسبات به طور برجسته پرداخت شود. در مقابل، یک کامپیوتر شخصیِ خوب تکمیل شده (به عنوان نمونه، IBM-PC/AT یا رنگین کمان DEC) ممکن است هزینه‌ای برابر ۱۰۰۰۰ دلار داشته باشد، اما کامپیوترهایی که به طور قابل توجهی، سرعت آهسته و قدرت محاسبات محدود دارند ممکن است موجب هزینه‌های پنهانی در شرایطی از ناتوانی آن برای انجام کارهای اختصاصی شود. برای مثال، نرم‌افزارهای آماری بسیار مطلوب مانند SAS و SPSS برای کامپیوترهای شخصی قابل دسترس نیستند یا فقط با کاهش قابلیت‌هایی، سودمند می‌باشند. بسیاری از مدلهای ریاضی بسیار پیچیده در شکل کاملاً توانا فقط بر روی کامپیوترهای تجاری قابل استفاده هستند.

شکل ۱ هزینه‌های نرم‌افزارهای رایج با سطوح مختلف از قدرت محاسباتی را مقایسه نموده است. به طور آشکار، نرم‌افزارهایی برای کامپیوترهایی با توانایی محدود کم هزینه‌تر هستند، اما برنامه‌ها نیز معادل نیستند و مدیران بایستی به صورت جدی‌نیاز سطح مناسب‌رابدانند. اگر تصمیمات مدل‌سازی براساس داده‌های بسیار کمی باشد، ممکن نیست با تکیه بر نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای بسیار ظریف[۲] (ساده و کارآمد) مفهوم آن درک شود. در صورتی که اگر استفاده مورد نظر در ارتباط با مقدار زیادی از اطلاعات باشد و آنالیزهای پیچیده مورد نظر باشند در این صورت برگزیدن ترکیب حداقل هزینه‌ها غیر عقلانی خواهد بود.

شکل شماره ۱ - قیمت متوسط انواع مدلهای آب زیرزمینی از مرکز بین‌المللی مدل‌سازی آبهای زیرزمینی



انواع نرم‌افزارهای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی

انواع مدلها

۱- مدلهای کامپیوترهای تجاری یا ابر کامپیوتر

۲- انواع مدلهای ابر کامپیوتر بر روی کامپیوترهای شخصی

۳- اساس آن IBM-PC و مدلهای سازگار با آن

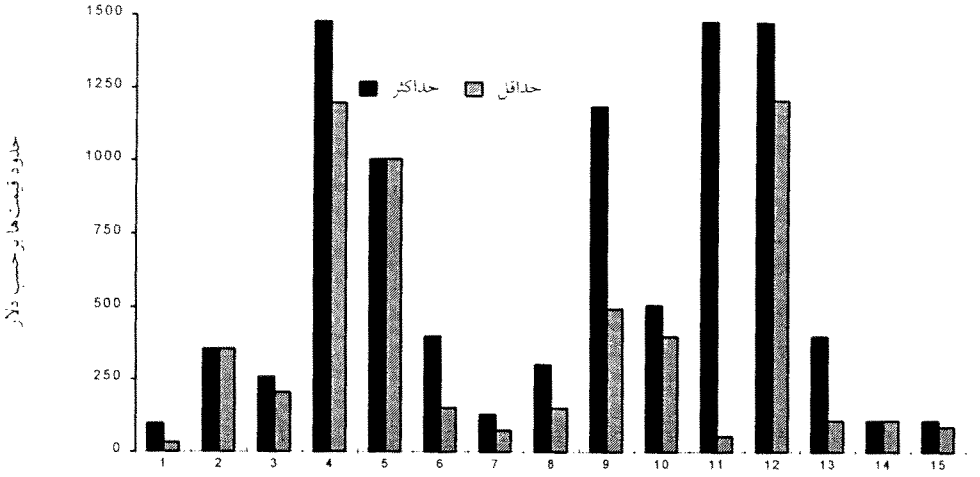
۴- مدلهای میکروکامپیوتری دستی (از قبیل Sharp PC 1500)

۵- مدلهای قابل برنامه‌ریزی با ماشین حساب (از قبیل HP41-CV)

این قیمت‌ها شامل نرم‌افزار و تمام مدارک و گزارش‌های قابل تهیه می‌باشند.

یک روند افزایشی دور شونده در هر دو انتهای طیف سخت‌افزار و نرم‌افزار و به سمت نزدیک شدن به مرکز وجود دارد؛ همچنانکه استفاده از کامپیوترهای شخصی قدرتمند به سرعت افزایش می‌یابند، به طور یکسان استفاده از حسابگرهای کوچک قابل برنامه‌ریزی و کامپیوترهای بزرگ تجاری کاهش می‌یابند. در اصل، ریشه‌های این روند، از اصلاحات مهم در قدرت محاسبه و کیفیت چاپ خروجی‌های قابل دسترسی از کامپیوترهای شخصی می‌باشد. همچنین علت آن بهبود قابلیت‌های مخابره تلفنی از راه دور برای کامپیوترهای شخصی است که هم اکنون قابل رقابت با ترمینال‌های مؤثر بر یکدیگر توسط کامپیوترهای تجاری بزرگ می‌باشد، به‌طوری که به قدرت محاسباتی وسیع آن می‌توان دسترسی یافت و نتایج

شکل ۲ : حدود قیمت مدلهای آب زیرزمینی برای کامپیوترهای IBM-PC که از منابع مختلف قابل تهیه می‌باشند [4].



1 - International Ground Water Moddeling Center 2 - Cornputapipe Co. 3 - Data Services, Inc. 4 - Geo Trans, Inc
5 - Hydrosoft,Inc. 6 - In Situ, Inc. 7 - Irrisco Co. 8 - Kock and Assoc. 9 - KRS Enterprises, Inc 10 - Michael P. Spinnks Co.
11 - Rock Ware, Inc. 12 - Soiutech Corp. 13 - Thomas A. Prickett and Assoc 14 - James S. Ulrick Co. 15 - Watershed Research, Inc.

به دست آمده بیشتر از یک مکالمه تلفنی نیست. مدیران برجسته‌ای در زمینهٔ آبهای زیرزمینی تعدادی از مدلهای ریاضی و بسته‌های اطلاعاتی را از ابر کامپیوتر به کامپیوترهای شخصی تبدیل کرده‌اند. تعداد زیادی به صورت مستقیم برای آنها نوشته می‌شوند. شکل ۲ نشان دهنده ایده‌ای از قیمت‌ها و موجود بودن نرم‌افزارها و سخت‌افزارها برای کامپیوترهای شخصی می‌باشد.

معیارهای انتخاب برنامه‌های مدل‌سازی :

معیارهای فنی انتخاب برنامه‌های مدل‌سازی آبهای زیرزمینی توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا طبق شکل ۳ به صورت یک درخت تصمیم‌گیری در سال ۱۹۸۸ فرمول‌بندی شده است. این معیارهای فنی به طور تقریبی با پارامترهای مدل هیدروژئولوژیکی[۳] مرتبط است. در جدول ۳ اطلاعاتی با توجه به این معیارهای فنی جهت ۴۹ مورد از برنامه‌های عددی و تحلیلی آبهای زیرزمینی خلاصه شده است. اطلاعات بیشتر در مورد این برنامه‌ها را می‌توان درگزارش آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا در سال ۱۹۸۸ یافت. از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۶ تعداد این برنامه‌ها و قابلیت‌های هر یک از آنها بسیار افزایش یافته [6]است. جهت اطلاعات بیشتر می‌توان به گزارش مرکز بین‌المللی مدل‌سازی آبهای زیرزمینی در سال ۱۹۹۶ مراجعه نمود

یک برنامه ممکن است به کلیه معیارهای فنی ذکر شده دست یابد ولی بدلیل کمبودهایی که در خود برنامه وجود دارد، مناسب برای استفاده نباشد. برنامه‌ای در مرکز بین‌المللی مدل‌سازی آبهای زیرزمینی در حال اجراء است که کاربرد برنامه‌ها را طبق استانداردهای اجرایی و معیارهای پذیرشی مورد ارزیابی قرار می‌دهد [11]. این مرکز ۲۹۶ برنامه را در ۷ گروه برای به کارگیری قابلیت‌های کاربردی و اعتماد بر معیارها ارزیابی نموده است [9].

ارزیابی‌های مطلوب جهت قابلیت کاربرد معیارها شامل موارد زیر می‌باشد:

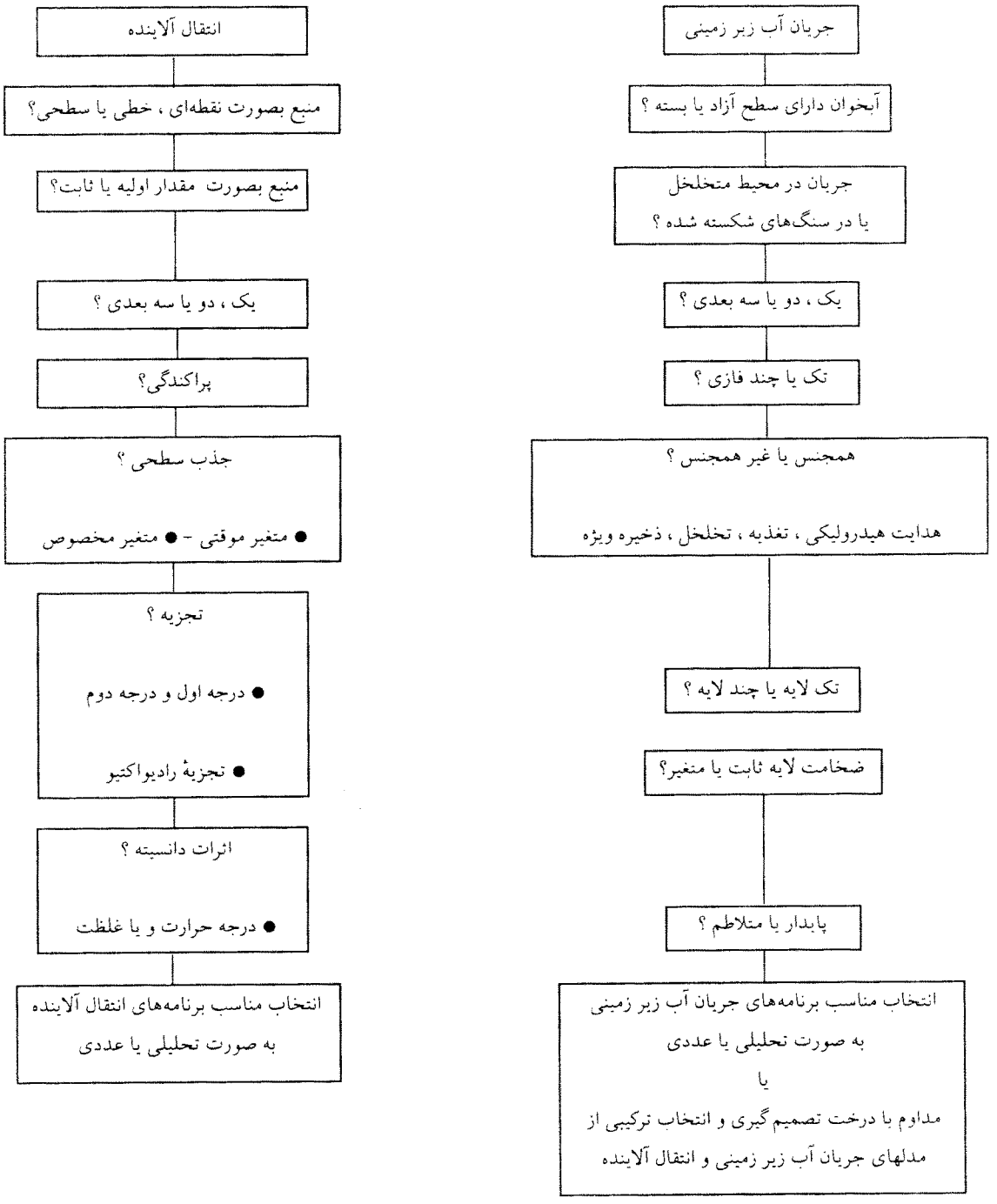
پیش پردازنده‌ها و پس پردازنده‌ها: برنامه متشکل از یک نوع از این برنامه‌ها و بیشتر باشد.

مستندسازی: این برنامه‌ها دارای توضیحات کافی در مورد دستورالعمل‌هایی برای کاربر و مثال‌هایی از مجموعهٔ داده‌ها باشد.

پشتیبانی: برنامه توسط سازندگان و بازاریان مورد پشتیبانی و نگهداری واقع شود.

وابستگی سخت‌افزار: برنامه طوری طراحی گردد که در انواع پیکربندی‌های سخت‌افزاری عمل نماید.

شکل شماره ۳ - درخت تصمیم‌گیری برنامه‌های کامپیوتری آبهای زیرزمینی [2].



ارزیابی‌های مطلوب جهت قابلیت اعتماد معیارها شامل موارد زیر می‌باشد:

بررسی: هم تئوری برنامه‌سازی و هم خود برنامه‌سازی بررسی گردیده باشد.

درستی سنجی: برنامه مورد تأیید قرار گرفته باشد.

آزمون حوزه: برنامه به طور وسیعی جهت شرایط خاص محل که در آن مجموعهٔ داده‌های زیاد قابل دسترس می‌باشد، مورد آزمون حوزه قرار گرفته باشد.

وسعت کاربری: برنامه به طور وسیعی توسط سایر مدل‌سازان استفاده گردیده باشد.

اطمینان از کیفیت و کنترل کیفیت [۴]

استفاده روزافزون از برنامه‌های کامپیوتری و مدل‌سازی در مجموعهٔ قوانینی که در آنها تصمیم‌گیری‌های مدیران ممکن است در دادگاه مورد اعتراض واقع شود نیازمند توجه دقیق به اطمینان از کیفیت و کنترل کیفیت در توسعه و به کارگیری مدل می‌باشد. انجمن مصالح و آزمون مواد آمریکا (ASTM) واژه‌های مهم متعددی را در رابطه با روشهای مدل‌سازی برنامه‌های کامپیوتری تعریف کرده است [1].

جدول شماره ۳ - صفحه عملکرد مدلهای تحلیلی و عددی

نام مدل‌ها / قابلیت‌های مدل	سطح آب آبخوان	آبخوان بسته	محیط متخلخل	محیط شکسته شده	ابعاد مدل جریان	تک فاز	چند فاز	پارامترهای هیدرولیکی ممحسن	پارامترهای هیدرولیکی غیرممحسن	تک لایه	چند لایه	ضخامت ثابت	ضخامت متغیر	شرایط پایدار	شرایط ناپایدار	نوع منبع تغذیه	مقدار اولیه منبع	منبع ثابت	ابعاد مدل انتقال	پراکندگی	جذب سطحی	درجهٔ تجزیهٔ رادیواکتیو	تأثیرات غلظت	تکنیک‌های حل
Analytical Flow																								
PATHS		×	×		2	×		×		×		×		×	×	A	×	×			×			AN
Analytical Transport																								
AT123D			×		1,2,3	×		×		×		×		×		A	×	×		×		1		AN
CHAN			×		1	×		×		×		×		×		P	×	×		×	×	1,R		AN
GETOUT			×		1	×		×		×		×		×		P		×		×		1,R		AN
GWMTM1&2			×		1,2	×		×		×		×		×		P,L		×		×		1		AN
MUTRAN .			×		1,2,3	×			×	×		×		×		P,L,A		×		×	×	R		AN
NWFT/DVM			×		1	×			×	×		×		×				×		×	×	R	SALT	AN
Numerical Flow (Saturated/Unsaturated)																								
UNSAT1			×		1	×			×		×		×		×									FE
FEMWATER 1			×		2	×		×	×	×	×	×	×	×	×									FE
UNSAT2			×		2	×			×		×		×		×									FE
FREEZE	×	×	×		3	×			×		×		×		×									FD
Numerical Flow (Saturated Only)																								
BEWTA	×		×		2	×		×		×		×			×									FD
COOLEY	×	×	×		2	×			×	×		×		×	×									FE
FEBDGW	×	×	×		3	×			×		×		×	×	×									FE
FLUMP	×		×		2	×			×	×		×		×	×									FE
FRESURF 1&2	×		×		2	×			×	×	×	×	×		×									FE
TEM/AGI	×		×		1	×			×		×		×		×									FD
USGS2D	×	×	×		2	×			×	×		×			×									FD
VTT	×	×	×		2	×			×		×		×	×	×									FD
V3	×	×	×		2	×			×		×		×		×									FD
USGS3D-MODULAR	×	×	×		3	×			×		×		×	×	×									FD
USGS3D-TRESCOTT	×		×		3	×			×		×		×	×	×									FD
Numerical Transport (Saturated/unsaturated)																								
FEMWASTE 1	×		×		2	×			×	×	×	×	×	×	×	A	×	×	2	×	×	1		FE
PERCOL	×		×		1	×		×			×		×	×	×	P	×		1	×	×	R		NR
SATURN	×		×		2	×			×		×		×	×	×	A	×	×	2	×	×	1,R		FE
SEGOL	×		×		3	×			×		×		×	×	×	A	×	×	3	×	×			FE
SUMATRA-1	×		×		1	×			×		×		×	×	×	P	×	×	1	×	×	0,1	×	FE
SUTRA	×		×		2	×			×		×		×	×	×	A	×	×	2	×	×	1	×	FE,IFD
TRANUSAT	×		×		1,2	×			×		×		×	×	×				1,2	×	×	1		FE
TRUST	×		×		1,2,3	×			×		×		×	×	×	P,L,A	×	×	1,2,3	×	×			FD
Numerical Transport (Saturated Only)																								
CHNT			×	×		×		×			×		×		×	A	×	×	2	×	×	R,CH		FE
DUGUID-REEVES			×			×			×	×	×	×		×	×	A	×	×	2	×	×	R		FE
GROVE/GALERKIN			×		3	×			×	×	×	×		×	×	A	×	×	3	×	×	1		FE
ISOQUAD.ISOQUAD 2			×			×			×	×		×		×	×	A		×	2	×				FE
COMBRED (USGS2D-MOC)					1,2				×	×			×	×	×	A		×	1,2	×	×	1		FD,NR
DPCT	×		×		2	×			×		×		×	×	×	A	×	×	2	×	×	R		FE,RW
MMT			×			×	×		×		×		×	×	×	P	×	×	1	×		1,R,CH		RW
PINDER		×	×			×			×	×	×		×	×	×	A		×	3	×	×			FE
ROBERTSON1	×		×			×			×		×		×	×	×	P			2	×		R		FD
ROBERTSON2		×	×		2	×			×	×		×	×	×	×	A		×	2	×	×	R		FD,MOC
SWENT		×	×		1,2,3	×			×		×		×	×	×	A			1,2,3	×	×	1,R,C	×	FD
TRANS (Prickett-lonnquiet)	×	×	×		2	×	×			×		×		×	×	A			2	×		1		RW
TRANSAT 2		×	×		3	×			×		×		×	×	×				3	×	×	1		FE
Numerical Coupled Solute and Heat Transport																								
CFEST		×	×		1,2,3	×			×		×		×		×	A	×	×	1,2,3	×	×	1	×	FE
GWTHERM			×		2	×			×		×		×		×	A	×	×	2	×	×		×	FD
OCRE			×		1,2	×	×				×	×	×		×	A		×	1,2	×	×	R		FE
SHALT			×		2	×			×		×		×		×	A		×	2	×	×	1	×	FE
SWIFT	×	×	×		3	×			×		×		×	×	×	A		×	3	×	×	R,CH	×	FD
SWIP2	×	×	×		3	×			×		×	×			×	A	×		3	×	×	1	×	FD

راهنما جدول

AN = تحلیلی

درجهٔ تجزیه

0 = تجزیهٔ درجه صفر
1 = تجزیهٔ درجه یک
2 = تجزیهٔ درجه دوم
R = تجزیهٔ رادیواکتیو
CH = زنجیرهٔ تجزیهٔ رادیواکتیو

ابعاد مدل

1 = یک بعدی
2 = دو بعدی
3 = سه بعدی

تکنیک حل معادله

FD = تفاضل محدود
FE = عناصر محدود
IFD = انتگرال تفاضل محدود
MOC = روش مشخصات
NR = نیوتن رافسون

نوع منبع

A = منبع سطحی
L = منبع خطی
P = منبع نقطه‌ای

● **درستی سنجی**[۵] مربوط به آزمون تکنیک عددی در برنامه‌های کامپیوتری است برای این که آنها نمایش واقعی از مدل مفهومی را ثابت کنند و این که مشکلات ذاتی در روش عددی در رابطه با دستیابی به راه حل به چشم نمی‌خورد.

● **اعتبارسنجی**[۶] مربوط به مقایسهٔ نتایج مدل با داده‌های عددی است که مستقلاً از تجربیات یا مشاهدات محیط‌زیست منشأ می‌گیرند.

● **واسنجی**[۷] آزمون یک مدل با اطلاعات ورودی و خروجی معلوم می‌باشد که جهت تنظیم یا برآورد نمودن فاکتورهایی که برای آنها اطلاعات در دسترس نمی‌باشد به کار می‌رود.

● **حساسیت**[۸] مرتبه‌ای است که نتایج مدل در اثر تغییرات در پارامترهای ورودی انتخابی تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

Huyakorm و دیگران در سال ۱۹۸۴ سه سطح اصلی از کنترل کیفیت را در توسعه مدلهای آبهای زیرزمینی بشرح زیر شناسایی نموده‌اند [5]:

۱ - **درستی سنجی** ریاضیات مدل توسط مقایسه خروجی‌های آن با راه‌حل‌های تحلیلی معلوم برای مسائل خاص.

۲ - **اعتبارسنجی** چهارچوب عمومی مدل توسط مشابه‌سازی موفقیت‌آمیز داده‌های حوزه مورد مشاهده.

۳ - **افزارسنجی**[۹] بازده مدلها در حل مسائل در اثر مقایسه با سایر مدلها.

این درجات کنترل کیفیت درستی و تسهیلات خود مدل را مشخص می‌سازد لیکن سوالات در مورد کاربرد آن را در مسائل خاص پاسخگو نمی‌باشد. از اینرو حداقل دو درجه اضافی از کنترل کیفیت تصدیق شده ظاهر می‌گردد:

۱- بررسی بحرانی در مورد درک مسائل جهت حصول اطمینان از این که تلاش‌های مدل‌سازی کلیه جنبه‌های فیزیکی و شیمیایی را که در مسأله تأثیر می‌گذارد در نظر می‌گیرد.

۲- ارزشیابی خصوصیات کاربردی به طور مثال متناسب بودن شرایط مرزی، طرح شبکه، گام‌های زمانی و غیره. واسنجی و تحلیل حساسیت برای این که خروجی‌های مدل را به طور وسیعی با ایجاد تغییر در پارامترهای ورودی تعیین می‌نمایند از جمله جنبه‌های مهم این فرآیند محسوب می‌گردند.

درستی‌سنجی چهارچوب ریاضی یک مدل عددی و یک برنامه به منظور استحکام داخلی آن نسبتاً آسان می‌باشد. اعتبارسنجی حوزه، مربوط به یک مدل عددی ابتدا شامل واسنجی مدل با به کارگیری یکسری از رکوردهای قدیمی (به عنوان مثال میزان پمپاژ و تراز آب در یک سال معین) و سپس تلاش جهت پیش‌بینی رکوردهای قدیمی بعدی می‌باشد. در مرحله واسنجی، ضرایب آبخوان و سایر پارامترهای مدل جهت دستیابی به بهترین تطابق بین اطلاعات معلوم و خروجی‌های مدل تنظیم می‌گردند؛ در مرحله پیش‌بینی، هیچگونه تنظیمی صورت نمی‌گیرد (بجز تغییرات واقعی در میزان پمپاژ و غیره). با تصور این که ضرایب آبخوان و سایر پارامترها با صحت کافی شناخته شده باشند، عدم تطابق بدان معنا است که یا مدل به طور صحیح فرموله نشده است و یا این که کلیهٔ پدیده‌های مهم که روی وضعیت شبیه‌سازی مؤثر می‌باشد مورد توجه قرار نگرفته است (به طور مثال در نظر گرفتن نشت بین دو آبخوان هنگامی که این مسأله به طور واقعی اتفاق می‌افتد).

آزمایش‌های اعتبارسنجی حوزه معمولاً به تلاش‌هایی جهت جمع‌آوری اطلاعات اضافی منجر می‌گردد زیرا اطلاعات موجود به منظور روش واسنجی عموماً جهت تأمین برآوردهای خاص از پارامترهای کلیدی کافی نیستند. چنین تلاش‌هایی ممکن است باعث تولید راه‌حلی به نام «جعبهٔ سیاه» که مخصوص یک محل می‌باشد گردد به طوری که مدل نتواند به آسانی جهت سایر نقاط به کار رود. به این دلیل مرحلهٔ پیش‌بینی مخفی یک کنترل اساسی بر روی یکی بودن مقادیر پارامتر به کار رفته می‌باشد. در صورتی که مدل بتواند با مجموعهٔ داده‌هایی که از طریق تجربیاتِ تحقیقاتیِ کنترل شده حاصل گردیده‌اند، واسنجی شود درستی‌سنجی حوزه از همهٔ موارد آسان‌تر می‌باشد.

روال‌های افزارسنجی جهت مقایسه بازده مدلهای مختلف در حل نمودن مسائل مشابه به تازگی در دسترس قرار گرفته است Van der Heijde. [8و5] و دیگران در سال ۱۹۸۸ روشهای توسعهٔ برنامه‌های اطمینان از کیفیت (QA) را جهت توسعه و نگهداری برنامه و کاربری برنامه با بعضی جزئیات تشریح و بحث نموده‌اند [9].

محدودیت‌های برنامه‌های کامپیوتری:

مدلهای ریاضی فقط در زمینهٔ فرضیه‌ها و ساده سازی‌هایی که براساس آنها می‌باشند و برطبق توانایی آنها جهت تقریب شرایط

حوزه‌ای که شبیه‌سازی می‌گردد مفید می‌باشند. Faust و دیگران در سال ۱۹۸۱ تواناییهای پیش‌بینی مدلهای موجود را با توجه به ۱۰ موضوع مربوط به کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی مطابق جدول ۴ ارزیابی نموده‌اند [3]. طرح طبقه‌بندی چهار ردیفی جهت مدلها در جدول ۴ نشان داده شده است:

(۱) حوزهٔ جغرافیایی (جایگاه، محلی، منطقه‌ای)؛

جایگاه: مساحت مدل شده کمتر از یک مایل مربع[۱۰] می‌باشد.

محلی: مساحت مدل شده بیشتر از یک مایل مربع و کمتر از هزار مایل مربع می‌باشد.

منطقه‌ای: مساحت مدل شده بیشتر از هزار مایل مربع می‌باشد.

(۲) حرکت آلودگی (فقط جریان، انتقال بدون واکنش‌ها و انتقال به همراه واکنش‌ها)؛

(۳) شرایط جریان (اشباع یا غیر اشباع)؛

(۴) نوع محیط (متخلخل یا شکسته شده).

مقیاس ارزیابی توسط Faust و دیگران در سال ۱۹۸۱ در جدول ۴ همچنان می‌تواند به عنوان مراحل توسعه مدل تلقی گردد:

بیشترین مدلهای پیشرفته فقط قادر به شبیه‌سازی منابع در دسترس و استفاده‌های ربط دهنده (ارتباطی)، در سطح محلی می‌باشند. به طور کلی مدل‌سازی انتقال آلاینده برای انتقال بدون واکنش در جریان محیط متخلخل اشباع، در سطح جایگاه و محلی در مرحله ۳ از سطح توسعه می‌باشد. مدل‌هایی که در مرحله ۲ از سطح توسعه قرار دارند به طور کلی شامل انتقال بدون واکنش (شکسته شده اشباع، متخلخل غیر اشباع) و انتقال با واکنش (متخلخل اشباع) در سطح جایگاه و محلی می‌باشند. مدل‌هایی که در نخستین مرحله از توسعه می‌باشند مربوط به انتقال با واکنش در محیط شکسته شدهٔ اشباع می‌باشند.

در تمام مناطقی که مدل‌سازی صورت گرفته از زمانی که ارزیابی‌های جدول ۴ انجام شد پیشرفت‌هایی دیده می‌شود ولی روابط اساسی آنها به طور ضروری تغییر نکرده است. این مورد در جدول ۵ مصور گردیده است به طوری که درصدهای برنامه‌های کامپیوتری را در هفت طبقه که به درجاتی از قابلیت‌های کاربری و اعتماد مناسبی برخوردار هستند توسط Van der Heijde و دیگران در سال ۱۹۸۸ نشان داده است. گروههای مدلهای انتقال حرارت و ژئوشیمیایی در جدول ۵ دارای قرین مستقیمی در جدول ۴ نمی‌باشند. طبق جدول ۵ گروه جریان چند فازی نزدیکترین گروه نسبت به گروه کیفیت محصولات نفتی غیر مترقبه در جدول ۴ می‌باشد.

تعجبی ندارد که بیشترین تعداد برنامه‌ها در گروه جریان اشباع (۹۷)، و به دنبال آن گروه انتقال مواد محلول اشباع قرار گرفته است (۷۳). مدلهای جریان غیر اشباع، سنگ‌های شکسته شده، جریان چند فازی و ژئوشیمی که انعکاس ابتدایی مشکلاتی در فرمول‌بندی ریاضی به دلیل پیچیدگی فرآیندها، تداخل فرآیندها و غیر یکنواختی حوزه می‌باشد کمتر در دسترس قرار دارند.

بعلاوه جدول ۵ مروری را بر وضع مدل‌سازی آبهای زیرزمینی از دورنمای اطمینان کیفیت فراهم می‌نماید. به طور کلی درصد بالایی از برنامه‌ها برحسب تئوری اصلی آن بررسی گردیده‌اند.

۰ = هیچ مدلی وجود ندارد

۱ = مدلها هنوز در مرحلهٔ تحقیقاتی می‌باشند.

۲ = مدلها می‌توانند به عنوان ابزارهای مفهومی مفید جهت ترکیب‌کردن داده‌های هیدرولوژیکی و کیفی پیچیده استفاده شوند.

۳ = مدلها می‌توانند پیش‌بینی‌های کوتاه مدتی (در حد چند سال) با درجه اعتبار مناسب با دادن اطلاعات کافی در اختیار بگذارند.

۴ = مدلها می‌توانند پیش‌بینی‌هایی با درجه اعتبار و اطمینان بالا با دادن اطلاعات کافی در اختیار بگذارند.

جای خالی = نوع مدل قابل کاربرد برای موضوع نمی‌باشد.

موارد استثناء مدلهای سنگ‌های شکسته شده (۴۴ درصد) و مدلهای جریان چند فازی (۲۱ درصد) می‌باشند. در مقابل، مدلهای معدودی برحسب برنامه‌سازی واقعی بررسی گردیده‌اند. فقط گروه مدل ژئوشیمیایی می‌باشد که بیش از نیمی از مدلهای آن (۶۰ درصد) به این معیار دست یافته‌اند. همانگونه که قبلاً یادآوری شد، درستی‌سنجی مدل یک روش نسبتاً آسان می‌باشد که در جدول ۵ نشان داده شده است به طوری که درصد بالایی از کلیه گروهها تأیید گردیده‌اند. در مقابل، برنامه‌های کمی وجود دارند که مقادیر قابل توجهی از درصد آزمون حوزه را دربرداشته‌اند. کمتر از یک سوم برنامه‌ها در گروه جریان اشباع به طور گسترده‌ای آزمون حوزه گردیده‌اند و آزمون حوزه برنامه‌ها در گسترهٔ سایر گروهها از صفر

جدول شماره ۴ - ماتریس خلاصه سازی قابلیت اعتماد مدلهای استفاده شده در ارزیابی منابع آبهای زیرزمینی

شرایط اختصاصی	انواع مدل																			
	منطقه‌ای			محلی			جایگاه													
	انتقال بدون واکنش	فقط جریان		انتقال با واکنش			انتقال بدون واکنش			فقط جریان			انتقال با واکنش			انتقال بدون واکنش			فقط جریان		
حرکت آلودگی																				
شرایط جریان	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	غیر اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	شکسته شده اشباع	متخلخل اشباع	متخلخل
موضوع																				
کیفیت منابع قابل دسترس			۳	۳						۳	۴							۲	۳	
کیفیت استفاده ربط دهنده			۳	۳						۳	۴							۱	۳	
کیفیت غیر مترقبه محصولات نفتی							۱	۲	۳	۳	۴		۱	۲						۱
کیفیت غیر مترقبه نمک جاده							۲	۲	۳											
کیفیت غیر مترقبه مواد شیمیایی صنعتی					۲	۲	۲	۲	۳				۰	۱	۲	۲	۲	۳		
کیفیت کشاورزی آفت کشها و علف کشها					۲	۲	۲	۲	۳				۰	۱	۲	۲	۲	۳		
کیفیت کشاورزی تشکیل رسوب نمکی							۲	۲	۳							۲	۲	۳		
کیفیت دفع مواد زائد دفن بهداشتی					۲	۲	۲	۲	۳				۰	۱	۲	۲	۲	۳		
کیفیت دفع مواد زائد تزریق					۲	۲	۲	۲	۳				۰	۱	۲	۲	۲	۳		
کیفیت هجوم آب شور	۲	۲			۲	۳	۲	۲	۳										۳	

برای سنگ‌های شکسته شده و ژئوشیمیایی تا ۲۱ درصد برای جریانهای متغیر اشباع قرار دارند. درصدهای جدول ۵ باید از پیش‌بینی‌های احتیاطی زیر بررسی گردند:

۱- بسیاری از برنامه‌ها ارزیابی «نامشخص» می‌گردند به این معناکه درصدها ممکن است کمتر از اعداد برنامه‌ها با ارزیابی‌های مناسب واقعی تخمین زده شوند.

۲- بسیاری از برنامه‌ها تابع آزمون حوزهٔ محدود شده می‌باشند.

تعدادی از مواردی که منجر به شکست تلاشهای انجام شده جهت مدل‌سازی آبهای زیرزمینی می‌گردد عبارتند از [7,10]:

۱- مفهوم‌سازی ناقص سیستم فیزیکی نظیر جریان در بستر سنگی شکسته شده

۲- به کارگیری اطلاعات غیر صحیح یا ناقص

۳- به کارگیری غلط اطلاعات در دسترس

۴- به کارگیری شرایط مرزی غیر معتبر

۵- انتخاب برنامه‌های کامپیوتری ناقص

۶- تفسیر غلط نتایج کامپیوتری

۷- مطرح کردن مسائل مدیریتی اشتباهی یا نادرست

جدول شماره ۵ - درصد برنامه‌های کامپیوتری با قابلیت کاربرد مناسب و ارزیابهای قابلیت اعتماد آنها [9]

نوع برنامه	کل	پشتیبانی	بررسی تئوری	بررسی برنامه	درستی سنجی	آزمون حوزه
		%	%	%	%	%
جریان اشباع	۹۷	۶۵	۷۴	۱۲	۹۰	۳۲
انتقال مواد محلول	۷۳	۶۷	۶۸	۲۹	۹۶	۱۴
انتقال حرارت	۳۶	۷۸	۷۸	۴۲	۹۷	۶
جریان متغیر اشباع	۲۹	۴۸	۷۲	۲۱	۸۳	۲۱
مدلهای سنگ‌های شکسته شده	۲۷	۷	۴۴	۳۳	۱۰۰	۰
جریان چند فازی	۱۹	۵	۲۱	۱۱	۸۹	۱۱
ژئوشیمیایی	۱۵	۳۳	۶۰	۶۰	۱۰۰	۰

بحث و نتیجه گیری :

با توجه به اهمیت آب زیرزمینی از لحاظ کمی و کیفی و نیز توسعه و توزیع روزافزون برنامه‌ها و مدلهای آب زیرزمینی ، توجه به مدیریت منابع آب زیرزمینی در قالب مطالعات و برنامه ریزیهای لازم‌ومتناسب‌بامدلسازی‌آن‌بیش‌ازپیش‌اهمیت‌خودرانشان‌می‌دهد.

مدیران و برنامه ریزان منابع آبی در سطح کشور بایستی در خصوص مدلسازی آب زیرزمینی یک نگرش همه جانبه با استفاده از تخصص‌های گوناگون داشته باشند واین موضوع را از زوایای مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار دهند.

آنچه‌بیش‌ازهمه‌اهمیت‌دارد(ودراین‌مقاله برآن‌تأکیدشده‌است) و تجزیهٔ نگارنده در امر مدلسازی آنرا به اثبات رسانده است، فعالیتهای‌گروهی‌درامرمدلسازی می‌باشد،بطوری‌که‌ازتخصص‌های علمی گوناگون استفاده شود. البته نقش آموزش مداوم و تبادل نظر بین اعضاء گروه با بخش مدیریت نبایستی کم اهمیت گرفته شود.

در خصوص هزینه‌ها مربوط به مدلسازی به عنوان یک دستور کلی می‌توان گفت بیشترین هزینه‌ها مربوط به پرسنل و کادر فنی ، سپس متناسب سازی سخت افزارها با توجه به قدرت محاسباتی، نمایش و چاپ خروجی‌ها، وکمترین آن مربوط به هزینه‌های تهیه نرم افزاری می‌باشد.

مدیران بایستی به پارامترها و معیارهایی که در خصوص انتخاب مدل مؤثر و مهم می‌باشند توجه نمایند . یک نرم افزار در حالتی قابلیت کاربرد و اعتماد مناسب را دارد که دارای معیارهایی چون ، پیش پردازنده و پس پردازنده مستند شده ، پشتیبانی نرم افزاری ، قابلیت اجراء بر انواع پیکربندیهای سخت افزاری ، بعلاوه یک برنامه بایستی از نظر تئوری برنامه سازی و برنامه نویسی ، درستی سنجی ، آزمون حوزه و وسعت کاربری ، بررسی گردیده باشد.

مدیران بایستی در توسعه و بکارگیری مدلها، به اطمینان از کیفیت وکنترل توجه دقیق بنمایند و مدلسازی برمبنای روندی که در متن مقاله ارائه شده است ، صورت گیرد. البته توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های نرم افزاری بکار گرفته شده با توجه به شرایط و موقعیتی که مدل می‌شود از موارد بسیار مهم دیگری است که مدیران با تجربه بایستی در انتخاب مدل مناسب تصمیم لازم را اخذ نمایند.

یادداشتها:

1 - Multidisciplinary.

2 - Elegant Software.

۳ - به مقاله «آشنایی با مدل‌سازی کامپیوتری در تحقیقات آب زیرزمینی» - فصلنامه آب و فاضلاب - شماره ۲۸ از همین نگارنده مراجعه شود.

4 - Quality Assurance/Quality (QA/QC).

5 - Verification.

6 - Validation.

7 - Calibration.

8 - Sensitivity.

9 - Benchmarking.

۱۰ - هر مایل برابر ۲/۵۹ کیلومتر مربع می‌باشد.

مراجع:

1 - American Society for Testing and Materials (ASTM). 1984. Standard Practices for evaluating environmental fate models of chemical: Annual Book of ASTM Standards, E 978-84, ASTM, Philadelphia, PA.

2 - Environmental Protection Agency (EPA). 1988. Selection criteria for mathematical models used in exposure assessment: Ground - Water Models, EPA 600/8-88/075.

3 - Faust, C.R., L.R. Silka, and Mercer J.W., 1981, Computer modeling and ground-water protection Ground Water. 19, (4): 362-365.

4 - Graves, B., 1986, Ground water software-trimming the confusion: Ground Water Monitoring Review, v. 6, no. 1: 44-53.

5 - Huyakom, P.S., A.G. Kretschek, R.W. Broome Mercer, J.W. and Lester B.H. 1984. Testing and validation of models for simulating solute transport in ground water: development, evaluation, and comparison of benchmark techniques: GWMI 84-13. International Groundwater Modeling Center, Bulter University, Indiana polis, IN.

6 - International Ground water Modeling Center. 1996. IGWMC Software Catalog. Colorado School of Mines, Golden, Colorado.

7 - Office of Technology Assessment (OTA). 1982. Use of models for water resources management,planning and policy OTA, Washington, DC.

8 - Ross, B., Mercer J.W., Thomas S.D., and B.H., Lester 1982, Benchmark problems for repository siting models. NUREG/CR-3097. U.S.Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

9 - Van der Heijde, P.K.M., A.I. El-Kadi, and S.A. Williams. 1988. Groundwater modeling: An overview and status report, International G. round Water Modeling, Butler University, Indianapolis, IN.

10 - Van der Heijde, P.K.M., Y. Bachmat, j. Bredehoeft, B. Andrews, D.Holtz, and S. Sebastian, S. 1985. Groundwater management: The use of numerical models. 2nd ed. AGU Water Resources Monograph No. 5, American Geophysical Union, Washington, DC.

11 - Van der Heijde, P.K.M. 1987. Performance standards and acceptance criteria in groundwater modeling Ground Water Modeling Newsletter, vol., no.2.

۱۲ - جامآب ، شرکت مهندسین مشاور : طرح جامع آب کشور . ۱۳۷۶. گزارش همنهاد (سنتز) سال ۱۳۷۰ - ۱۳۶۵ انتشارات جامآب ، تهران .

۱۳ - وزارت نیرو ، معاونت بهره برداری و مدیریت منابع آب . ۱۳۶۹. اطلس منابع آب ایران ، جلد دوم «گزارش هیدروژئولوژی» تهران.

Managerial Considerations in the use of groundwater models

Hatami Varzaneh, A. (Msc)*
Ardestani, M. (Ph.D)**

Abstract :
The management of using the groundwater models consists of different subjects, the most important of which have been mentioned and briefly discussed in the present article.
Here the most important subjects is the successful use of mathematical models which depends on the training and experiences of the technical support staff, applying the model to a problem, and on the degree of communication between these technical persons and management.
The other subject is the cost of different hardwares and softwares in a groundwater modeling process. As a general rule, costs are greatest for personnel, moderate for hardware, and minimal for software. Managers need to seriously consider which level of maintaining of above mentioned factors are appropriate.
Having criteria in selection of modeling programs is also a matter of importance. Technical criteria for selecting groundwater modeling codes formulated by U.S. EPA (1988) is presented. These technical criteria correspond roughly to the hydrogeologic model parameters. Fundamentaly, using of programs should be based in accordance with performance standards and accepted criteria.
The increasing use of modeling and computer codes, in regulatory settings where decisions may be contested in court, requires careful attention on quality assurance and quality control (QA/QC) in both model development and application.
Considering the limitations of computer codes is also a matter of importance. Managers should have enough knowledge of capability limitations of codes used appropriate for the region under study, and then make proper decisions regarding the requirements.
In general the largest number of codes are in the saturated flow category (97), followed by the saturated solute-transport category (73).

Key words:
Aquifer, Management of using the groundwater models, Groundwater flow model, Contaminant transport model, Modeling, Simulation, Calibration, Verification, Validation, Benchmarking, Sensitivity, Quality Assurance/Quality Control (QA/QC).

* - Senior expert. Environmental Engineering.

** - Asst. Prof. Faculty of Environment. University of Tehran.