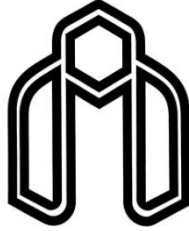


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین
گروه آب‌شناسی و زیست محیطی
پایان نامه کارشناسی ارشد

تهیه مدل ریاضی دشت سعادت شهر به کمک نرم افزار GMS

دانشجو:

نرگس غلامی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۱

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

سخنات ناب باور بودن،

لذت و غرور دانستن،

حسارت نخواستن،

عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، دیون حضور سبز آنهاست

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

شکر و قدردانی

حمد و سپاس بیکران پروردگاریت را که هستی مان، بخشید و به طریق علم و دانش، نمونه‌مان شد و به هم نشینی رحروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزی‌مان ساخت. پس از یاری خداییمون این راه ممکن نبود مگر در سایه راهبمانی استاد ارجمندم آقای دکتر کریمی که باربمانی‌های مفید و پیشنهادت سازنده خود بنده را در پیشبرد این پیمان نامه یاری نمودند. از اساتید و اورجناب آقای دکتر جعفری و جناب آقای دکتر امام قلی زاده که قبول زحمت نموده و داوری این پیمان نامه را بر عهده گرفتند و نمانده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر قاسمی، سپاس گذاری می‌نمایم و همچنین از سرکار خانم فارسی، سرکار خانم سعیدی و جناب آقای خانعلی زاده کمال شکر را دارم.

قدردانی می‌نمایم از خانواده عزیزم که سایه پر مهر پدرم و دعای خیر مادرم آرام بخش سخات نگرانی و سخت زندگی و قوت قلب من بوده است. از دوستان گرامیم خانم طاهری، دیهیمی، کاظمی، نجفی و محمدی کمال شکر و قدردانی را دارم.

چکیده

دشت سعادت شهر با وسعت ۱۳۰ کیلومتر مربع در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان شیراز قرار گرفته است. با توجه به محدود بودن منابع آب و با توجه به برداشت بی‌رویه از آبخوان، ارتفاع سطح آب زیرزمینی در این دشت به طور مداوم در حال کاهش است به این ترتیب که میانگین افت سالیانه در این دشت ۰/۷۶ متر می‌باشد. هدف اساسی از انجام این تحقیق، مدل‌سازی ریاضی آبخوان دشت سعادت شهر به منظور پیش‌بینی رفتار آبخوان برای شرایط مختلف شامل ترسالی، خشکسالی و... می‌باشد. برای دستیابی به این هدف از نرم‌افزار GMS در قالب کد کامپیوتری MODFLOW استفاده شده است. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از قبیل داده‌های پمپاژ، لاگ‌های حفاری مربوط به چاه‌ها، داده‌های سطح آب و داده‌های ژئوفیزیکی، مدل مفهومی دشت ساخته شد. مدل تهیه شده آبخوان با استفاده از داده‌های ۱۳ حلقه چاه مشاهده‌ای طی شرایط پایدار (بهمن ۱۳۸۸) و در شرایط ناپایدار (اسفند ۱۳۸۸ تا بهمن ۱۳۸۹) واسنجی گردید. پارامتر K و S از مهمترین پارامترهایی هستند که در این مراحل بهینه‌سازی می‌شوند بر اساس نتایج حاصله مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی از ۱۲ تا ۲۳ متر بر روز و متوسط آبدهی ویژه از ۰/۰۲ تا ۰/۰۲۵ متغیر است. تحلیل حساسیت مدل طراحی شده نسبت به تغییر پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر این است که بیشترین حساسیت مدل مربوط به مقادیر هدایت هیدرولیکی می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در مرحله صحت‌سنجی (اسفند ۱۳۸۹ تا بهمن ۱۳۹۰) درستی مدل ساخته شده مورد تأیید قرار گرفت. در نهایت از مدل صحت‌سنجی شده جهت پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان برای سه سناریوی مختلف مدیریتی استفاده شده و نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد با افزایش ۵۰ درصدی بارندگی سطح آب به اندازه ۰/۲ تا ۲ متر در پی‌زومترها بالا می‌آید. با کاهش ۵۰ درصدی بارندگی سطح آب زیرزمینی در پی‌زومترها به اندازه ۰/۴ تا ۱/۵ متر افت سطح آب زیرزمینی ایجاد خواهد شد. با اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری (کاهش ۶ درصدی دبی پمپاژ) سطح آب زیرزمینی در پی‌زومترها از ۱/۵ تا ۴ متر در پی‌زومترهای مختلف افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: دشت سعادت شهر، مدل‌سازی، آب‌های زیرزمینی، GMS.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق
۲	۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه
۳	۳-۱- هواشناسی منطقه
۵	۴-۱- زمین‌شناسی منطقه
۶	۱-۴-۱- چینه شناسی منطقه
۹	۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختاری منطقه
۹	۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه
۱۱	۶-۱- هیدرولوژی
۱۴	۷-۱- هیدروژئولوژی دشت
۱۵	۱-۷-۱- تبیین ویژگی‌های سیستم آب زیرزمینی
۱۵	۱-۱-۷-۱- ارزیابی جهت جریان
۱۶	۲-۱-۷-۱- هیدروگراف واحد دشت
۱۸	۳-۱-۷-۱- بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی
۱۹	۲-۷-۱- کیفیت منابع آب در دشت سعادت‌شهر
۲۴	فصل دوم: مروری بر مطالعات مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی
۲۴	۱-۲- مقدمه
۲۵	۲-۲- مروری بر مدل‌سازی آبخوانه
۲۶	۱-۲-۲- مدل‌سازی انجام گرفته در جهان
۲۹	۲-۲-۲- مدل‌سازی آبخوانه‌ها در ایران

۳۷	فصل سوم: مدل‌های آب زیرزمینی و معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی.....
۳۷	۳-۱- مقدمه.....
۳۷	۳-۲- تعریف مدل.....
۳۸	۳-۳- انواع مدل‌های آب زیرزمینی.....
۳۸	۳-۳-۱- مدل فیزیکی.....
۳۹	۳-۳-۲- مدل‌های هیبریدی.....
۳۹	۳-۳-۳- مدل ریاضی.....
۴۴	۳-۴- پروتکل یا روند ساخت و توسعه‌ی مدل.....
۴۵	۳-۴-۱- تعیین اهداف مدل.....
۴۷	۳-۴-۲- ایجاد مدل مفهومی.....
۴۸	۳-۴-۳- معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی.....
۴۸	۳-۴-۳-۱- قانون داریسی.....
۵۰	۳-۴-۳-۲- معادله پیوستگی.....
۵۲	۳-۴-۳-۳- معادله لاپلاس.....
۵۶	۳-۴-۳-۴- معادله جریان آب زیر زمینی با مؤلفه قائم.....
۵۷	۳-۴-۳-۴- انتخاب کد رایانه‌ای و نرم افزار.....
۵۷	۳-۴-۳-۴-۱- معرفی کد کامپیوتری GMS.....
۶۱	۳-۴-۳-۴-۲- قطعات نرم‌افزار (Moudules GMS).....
۶۵	۳-۴-۳-۴-۳- روش مدل‌سازی آبخوان در نرم‌افزار GMS.....
۶۸	۳-۴-۳-۵- وضعیت هندسی مدل.....
۶۸	۳-۴-۳-۱-۵- مرزهای داخلی.....
۶۸	۳-۴-۳-۲-۵- مرزهای خارجی.....
۶۹	۳-۴-۳-۶- شرایط مرزی.....
۷۲	۳-۴-۳-۷- تعیین شرایط اولیه.....

۷۴	.....۸-۴-۳- واسنجی و تحلیل حساسیت
۷۸	.....۹-۴-۳- صحت سنجی
۷۹	.....۱۰-۴-۳- پیش‌بینی
۷۹	.....۱۱-۴-۳- ارائه نتایج
۸۰	..... فصل چهارم طراحی و اجرای مدل
۸۰	.....۱-۴- مقدمه
۸۰	.....۲-۴- مدل مفهومی
۸۱	.....۳-۴- شرایط اولیه
۸۲	.....۴-۴- تبیین شرایط مرزی
۸۳	.....۵-۴- تبیین مدل ریاضی
۸۴	.....۶-۴- گزینش کد رایانه
۸۴	.....۷-۴- طراحی و تهیه مدل عددی
۸۴	.....۱-۷-۴- لایه اطلاعاتی آبخوان
۸۴	.....۲-۷-۴- لایه اطلاعاتی پیزومتر
۸۶	.....۳-۷-۴- لایه اطلاعاتی چاه بهره‌برداری
۸۷	.....۴-۷-۴- لایه اطلاعاتی تغذیه
۸۷	.....۵-۷-۴- لایه اطلاعاتی تبخیر
۸۸	.....۶-۷-۴- لایه اطلاعاتی رودخانه
۹۰	.....۷-۷-۴- لایه اطلاعاتی شرایط مرزی
۹۳	.....۸-۷-۴- پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان
۹۶	.....۸-۴- طراحی و اجرای مدل
۹۶	.....۱-۸-۴- شبکه بندی
۹۷	.....۲-۸-۴- تبدیل مدل مفهومی به مدل عددی
۹۹	.....۹-۴- واسنجی
۹۹	.....۱-۹-۴- واسنجی در حالت پایدار

۱۰۰	.....۲-۹-۴ گسسته سازی زمانی برای حالت ناپایدار.....
۱۰۱	.....۳-۹-۴ واسنجی در حالت ناپایدار.....
۱۰۷	.....۱۰-۴ تحلیل حساسیت.....
۱۰۷	.....۱۱-۴ صحت سنجی.....
۱۰۸	.....۱۲-۴ پیش‌بینی.....
۱۰۹	.....۱-۱۲-۴ سناریوی اول: پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان با فرض افزایش ۵۰ درصدی بارندگی.....
۱۱۱	.....۲-۱۲-۴ سناریوی دوم پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان با فرض کاهش ۵۰ درصدی بارندگی.....
۱۱۴	.....۳-۱۲-۴ سناریوی سوم: اصلاح دبی چاه.....
۱۱۸	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۱۸	.....۱-۵ نتیجه‌گیری.....
۱۲۰	.....۲-۵ پیشنهادات.....
۱۲۲	..... مراجع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه ۲
- شکل ۲-۱- نقشه زمین شناسی منطقه ۱۰
- شکل ۳-۱- مدل سه بعدی دشت سعادت شهر (Global mapper12) ۱۱
- شکل ۴-۱- هیدروگراف متوسط ماهانه ایستگاه رحمت آباد ۱۳
- شکل ۵-۱- نقشه هم پتانسیل منطقه بر اساس داده‌های اسفند ۹۰ ۱۶
- شکل ۶-۱- هیدروگراف واحد دشت ۱۷
- شکل ۷-۱- نقشه هم افت منطقه ۱۸
- شکل ۸-۱- مناطق دو گانه افت ۱۹
- شکل ۹-۱- هیدروگراف واحد محدوده‌های دو گانه ۲۰
- شکل ۱۰-۱- نقشه هدایت الکتریکی دشت سعادت شهر ۲۱
- شکل ۱۱-۱- کموگراف سفره آبرفتی دشت سعادت شهر ۲۲
- شکل ۱-۳- شبکه بندی تفاضل محدود Block centered ۴۳
- شکل ۲-۳- شبکه بندی تفاضل محدود Mesh centered ۴۳
- شکل ۳-۳- شبکه بندی عناصر محدود ۴۴
- شکل ۳-۳- مراحل مدل سازی ۴۶
- شکل ۴-۳- آزمایش داریسی ۴۹
- شکل ۵-۳- نمایش مفهوم معادله پیوستگی ۵۱
- شکل ۶-۳- قطعه سه بعدی ۶۱
- شکل ۷-۳- قطعه گمانه ۶۲
- شکل ۸-۳- شبکه عناصر محدود سه بعدی ۶۳
- شکل ۹-۳- قطعه نقاط پراکنده سه بعدی ۶۴
- شکل ۱۰-۳- هدف از کالیبراسیون ۷۶

- شکل ۴-۱- محدوده مطالعاتی دشت سعادت شهر..... ۸۵
- شکل ۴-۲- لایه اطلاعاتی پیزومتر در حالت پایدار..... ۸۵
- شکل ۴-۳- لایه اطلاعاتی پیزومتر در حالت ناپایدار..... ۸۶
- شکل ۴-۴- لایه اطلاعاتی چاه‌های بهره‌برداری در حالت پایدار..... ۸۸
- شکل ۴-۵- لایه اطلاعاتی چاه‌های بهره‌برداری در حالت ناپایدار..... ۸۹
- شکل ۴-۶- لایه اطلاعاتی رودخانه..... ۸۹
- شکل ۴-۷- لایه اطلاعاتی مرز با بار عمومی..... ۹۲
- شکل ۴-۸- تراز لایه فوقانی محدوده مورد مطالعه..... ۹۳
- شکل ۴-۹- تراز سنگ بستر محدوده مورد مطالعه..... ۹۳
- شکل ۴-۱۰- منطقه‌بندی اولیه هدایت هیدرولیکی..... ۹۴
- شکل ۴-۱۱- منطقه‌بندی اولیه آبدهی ویژه..... ۹۵
- شکل ۴-۱۲- سلول‌های فعال و غیر فعال در محدوده منطقه مورد مطالعه..... ۹۷
- شکل ۴-۱۳- ابزار چک کننده مدل قبل از اجرای مدل..... ۹۸
- شکل ۴-۱۴- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای آخرین اجرای مدل در حالت پایدار..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۵- وضعیت تراز سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بعد از مرحله واسنجی در شرایط پایدار..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۶- دوره‌های تنش و گام‌های زمانی در حالت ناپایدار..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۷- میانگین خطای آخرین اجرای مدل در حالت ناپایدار..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۸- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره اول..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۹- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره دوم..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۰- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره سوم..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۱- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره چهارم..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۲- تراز سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بعد از مرحله واسنجی شرایط ناپایدار دوره اول..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۳- زون بندی نهایی منطقه بعد از مرحله واسنجی..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۴- زون بندی نهایی تغذیه بعد از مرحله واسنجی..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۵- حساسیت مدل نسبت به تغییر یکنواخت پارامترها..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۶- میانگین خطاها در دوره‌های زمانی..... ۱۰۸

- شکل ۴-۲۷- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی ترسالی (پیزومتر شماره ۸ تا ۱۳)..... ۱۰۹
- شکل ۴-۲۸- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی ترسالی (پیزومتر شماره ۱ تا ۷)..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۹- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی خشکسالی (پیزومتر شماره ۶ تا ۱۳)..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۰- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی خشکسالی (پیزومتر شماره ۱ تا ۵)..... ۱۱۳
- شکل ۴-۳۱- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی اصلاح دبی (پیزومتر شماره ۶ تا ۱۳)..... ۱۱۵
- شکل ۴-۳۱- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی اصلاح دبی (پیزومتر شماره ۱ تا ۵)..... ۱۱۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱	مختصات ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه.....	۴
جدول ۲-۱	میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های معرف دشت.....	۴
جدول ۳-۱	رده‌بندی دومارتن.....	۵
جدول ۴-۱	مشخصات ایستگاه هیدرومتری رحمت آباد.....	۱۲
جدول ۵-۱	آمار آبدهی متوسط ماهانه و دبی پایه رودخانه سیوند.....	۱۳
جدول ۶-۱	منابع آبی دشت سعادت‌شهر.....	۱۵
جدول ۱-۴	مشخصات جغرافیایی چاه‌های مشاهده‌ای دشت سعادت‌شهر.....	۸۳
جدول ۲-۴	درصد ضرایب ماهانه تخلیه هر چاه (اداره آب منطقه‌ای استان فارس).....	۸۷
جدول ۳-۴	مقدار اولیه هدایت هیدرولیکی متر بر روز.....	۹۴
جدول ۴-۴	مقدار اولیه آبدهی ویژه.....	۹۵
جدول ۵-۴	مقادیر نهایی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه.....	۱۰۶
جدول ۶-۴	مقادیر نهایی تغذیه.....	۱۰۶
جدول ۷-۴	بیلان محاسبه شده برای محدوده مدل.....	۱۱۴

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

دشت سعادت‌شهر در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز در استان فارس قرار دارد. آب و هوای این منطقه خشک و نیمه‌خشک است. این دشت یکی از حاصلخیزترین دشتهای موجود در منطقه است؛ بنابراین زندگی اکثریت مردم در این منطقه به کشاورزی وابسته است. درصد قابل توجهی از آب مورد نیاز برای این بخش، از آبهای زیرزمینی به صورت چاههای بهره‌برداری و همچنین قنات و چشمه و سهم کمتری از آن نیز توسط آبهای سطحی موجود در رودخانه‌ها و سدهای منطقه تأمین می‌شود. با توجه به موارد فوق، اهمیت محافظت از آبخوان و مدیریت صحیح آن به منظور استفاده بلند مدت، امری بدیهی است. خطر مهمی که این آبخوان را مانند سایر دشتهای کشور تهدید می‌کند، بهره‌برداری بیش از آبدهی مجاز است. با توجه به کاهش میزان بارندگی‌ها و در پی آن کاهش تغذیه آبخوان و در برابر آن افزایش برداشت‌ها با رشد صنعت، کشاورزی و جمعیت، عمق آبهای زیرزمینی در این منطقه افزایش یافته و بهره‌برداری از آبخوان را دچار مشکل ساخته است. مدیریت صحیح یک آبخوان نیاز به شناخت مناسب وضعیت موجود و همچنین تغییرات آن در شرایط مختلف دارد. هدف از انجام این تحقیق، مدل‌سازی آبخوان دشت سعادت‌شهر و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی می‌باشد. برای مدل‌سازی یک آبخوان در ابتدا لازم است منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعات کاملی از موقعیت جغرافیایی، خصوصیات اقلیمی، وضعیت زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی منطقه تهیه شود. لذا در این فصل منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته است و قابل ذکر است که اطلاعات موجود در این فصل بر اساس گزارش‌ها و نقشه‌های موجود در سازمان آب منطقه‌ای استان فارس استخراج و دسته‌بندی گردیده است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی

آبخوان آبرفتی سعادت‌شهر با وسعتی معادل ۱۳۰ کیلومترمربع در نزدیکی سعادت‌شهر و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی شیراز واقع شده است. ارتفاع متوسط دشت ۱۷۶۰ متر، مرتفع‌ترین نقطه در این دشت ۱۸۰۰ متر و پست‌ترین نقطه ۱۷۳۰ متر نسبت به سطح آب آزاد دریا قرار دارد. محدوده آبخوان دشت سعادت‌شهر در حد فاصل مختصات $۵۲^{\circ}۴۵'$ و $۵۳^{\circ}۳۰'$ طول شرقی و $۳۰^{\circ}۰۰'$ و $۳۰^{\circ}۲۰'$ عرض شمالی قرار گرفته است. سعادت‌شهر مرکز شهرستان پاسارگاد می‌باشد، این شهرستان، در میان دو رشته‌کوه از کوه‌های زاگرس واقع شده است و از مناطق سردسیر استان فارس است. این شهرستان از شمال به شهرستان خرمبید و آباده - از غرب به شهرستان اقلید و مرودشت - از جنوب به شهرستان مرودشت و از شرق به شهرستان ارسنجان مشرف می‌باشد. راه دسترسی به این محدوده جاده شیراز-اصفهان است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

۱-۳- هواشناسی منطقه

به منظور بررسی آب و هوای منطقه سعادت‌شهر، از آمار ایستگاه اقلیم‌شناسی علی‌آباد کمین که در قسمت شمالی دشت واقع شده است و از ایستگاه هواشناسی دشتبال برای بررسی داده‌های بارندگی استفاده شده است (جدول ۱-۱).

میانگین دمای سالیانه برای دوره آماری (۱۳۴۹-۱۳۸۹) برابر با ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که بیشترین دما مربوط به تیرماه و کمترین دما مربوط به دی‌ماه می‌باشد. میزان تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه با استفاده از تشتک تبخیر در ایستگاه هواشناسی دشتبال، ۱۸۲۰ میلی‌متر در سال برآورد شده است. ریزش‌های جوی در این حوضه به صورت نامنظم است. آمار بارندگی سالانه ایستگاه هواشناسی علی‌آباد کمین مربوط به ۴۰ سال نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بارندگی مربوط به دی‌ماه با میانگین بارندگی ماهانه ۸۶/۸ میلی‌متر، کمترین بارندگی در خردادماه با میانگین بارندگی ۰/۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. متوسط بارندگی سالیانه در این حوضه برابر با ۳۸۰/۸ میلی‌متر با استفاده از روش میانگین ریاضی برآورد شده است (جدول ۱-۲).

اقلیم منطقه

اقلیم نتیجه تأثیر توأم پدیده‌های هواشناسی است و حالت متوسط هوا را در یک منطقه دلخواه به دست می‌دهد. بسیاری از متخصصان هوا و اقلیم‌شناسی بر حسب نوع و اهداف مختلف یک یا چند عامل هواشناسی را انتخاب کرده و آن را پایه و اساس طبقه‌بندی قرار داده‌اند در این میان مهم‌ترین پارامترهایی که پایه و اساس طبقه‌بندی قرار می‌گیرد داده‌های معمولی هواشناسی مثل بارندگی، دما و تبخیر است که دسترسی به آن‌ها ساده است. از میان روش‌های مختلف برای تعیین اقلیم منطقه روش دومارتن به دلیل سادگی و جامعیت، مقبولیت بیشتری یافته است. دومارتن در فرمول خود از دو پارامتر متوسط بارندگی سالیانه برحسب میلی‌متر (P) و متوسط دمای سالیانه (T) برحسب درجه سانتی‌گراد استفاده کرده است.

جدول ۱-۱- مختصات ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه

ملاحظات	تاریخ تاسیس	مشخصات جغرافیایی			نام ایستگاه	نوع ایستگاه	کد ایستگاه	ردیف
		ارتفاع (م)	عرض	طول				
-	۱۳۴۲	۱۷۹۰	۳۰-۰۱-۲۳	۵۳-۰۸-۲۴	علی‌آباد کمین	اقلیم شناسی	۴۳۱۳۷۲۰۰۱	۱
تعطیل	۱۳۴۸	۲۰۰۰	۳۰-۰۲-۱۸	۵۳-۰۸-۵۷	سعادت آباد	اقلیم شناسی	۴۳۱۳۷۲۰۰۲	۲
-	۱۳۵۱	-	۳۰-۱۰-۱۲	۵۲-۵۱-۰۰	دشتبال	بارانسنجی معمولی	۴۳۱۳۷۲۰۰۳	۳

جدول ۲-۱- میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های معرف دشت سعادت‌شهر (۱۳۸۹-۱۳۴۹)

بارندگی (mm)	درجه حرارت (°C)	زمان (ماه)
۱/۶	۱۶/۱	مهر
۱۸/۳۶	۱۰/۴	آبان
۶۸/۵۳	۶/۱	آذر
۸۵/۱۸	۳/۸	دی
۷۲/۴۷	۵/۹	بهمن
۵۶/۵۶	۹/۲	اسفند
۴۹/۵۷	۱۴/۳	فروردین
۱۴/۱	۱۹	اردیبهشت
۰/۰	۲۳/۸	خرداد
۱/۳۵	۲۶/۴	تیر
۱/۶۲۵	۲۵/۳	مرداد
۱/۲۵	۲۱/۵	شهریور
۳۸۰/۸	۱۵/۱	سالانه

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (1-1)$$

$$I = \frac{380/8}{15/1+10} = ۱۵/۱۷ \quad (2-1)$$

I ضریب خشکی نامیده می‌شود که مقدار آن نوع اقلیم را با توجه به تقسیم‌بندی دومارتن نشان می‌دهد (جدول ۱-۳). با توجه به تقسیم‌بندی دومارتن مقدار این ضریب برای دشت سعادت‌شهر $I = ۱۵/۱۷$ بوده که نشان دهنده اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. توده‌های هوایی که منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارتند از: توده‌های مدیترانه‌ای که از اواسط پاییز تا اوایل بهار به منطقه می‌وزند و باران آور می‌باشند، توده‌های سردسیر، توده‌های گرم و خشک عربستان و بادهای موسمی که در تابستان از اقیانوس هند می‌وزند و باعث ایجاد رگبارهای زودگذر می‌شوند.

جدول ۱-۳- رده‌بندی دومارتن (علیزاده ۱۳۸۹)

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن
خشک	کوچکتر از ۱۰
خشک‌نیمه	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

۱-۴- زمین‌شناسی منطقه

زمین‌شناسی منطقه دشت سعادت‌شهر عمدتاً توسط نهشته‌های کواترنری، که بسته به محیط و مساحت بستر حمل شده، به نسبت‌های مختلف از قلوه‌سنگ، شن، ماسه، سیلت و رس و بیشتر از جنس آهک، آهک رسی و مارنی حاصل فرسایش ارتفاعات حاشیه دشت تشکیل شده‌اند، پوشانده شده است. در این

دشت، رسوبات آبرفتی در قسمت‌های شمال غرب و غرب دشت، بیشتر دانه درشت و در قسمت‌های مرکزی و جنوبی، اکثراً دانه ریز در حد ماسه و سیلت هستند. با توجه به این که رسوبات بر روی سنگ کف مارنی و رسی درون یک ناودیس قرار گرفته‌اند، به نظر می‌رسد ضخامت رسوبات در کناره‌های دشت کمتر و به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد. حداکثر ضخامت رسوبات حدود ۱۲۱ متر و متوسط ضخامت حدود ۸۱ متر تخمین زده شده است.

۱-۴-۱- چینه شناسی

منطقه مورد مطالعه از دیدگاه زمین‌ساختی و تفکیک زون‌های مختلف زمین‌شناسی که ناشی از تحولات ماگمایی و فازهای تکتونیکی ادوار گذشته این پهنه است، بخشی از تراست زاگرس و زون سندج - سیرجان را تشکیل می‌دهد که نهشته‌های رسوبی دریای ژوراسیک تا کرتاسه را در بر می‌گیرد. روند گسترش تشکیلات به تبعیت از امتداد چین‌خوردگی زاگرس در راستای شمال غرب - جنوب شرق است. قسمت اعظم منطقه واحدهای سنگی با سن کرتاسه در بر گرفته و گسترش نهشته‌های رسوبی دریای ائوسن ناچیز است. این حوضه در اواخر کرتاسه بر اثر فازهای اولیه آلپی و پسروری دریای ائوسن به وجود آمده است. در سطح منطقه هیچ‌گونه فعالیت ماگمایی از ژوراسیک به بعد مشاهده نمی‌شود. از نظر توالی نهشته‌های رسوبی و چینه‌ای رسوب‌گذاری دریای کرتاسه زیرین (فهلپیان_ نئوکومین) تا اواخر کرتاسه بدون وقفه زمانی در کف حوضه ادامه یافته است. سازندهای موجود در این منطقه از قدیم به جدید عبارتند از: سازند فهلپیان، سازند گدوان، سازند داریان، سازند کژدمی، سازند سروک، واحد رادیولاریتی و رسوبات کواترنری که هر کدام در ادامه شرح داده شده است.

الف) سازند فهلپیان (K_{fa})

این سازند با سن کرتاسه زیرین (نئوکومین - آبتین) از آهک اولتیک، آهک آواری توده‌ای خاکستری تا آجری رنگ و دولومیت با شیب متوسط و در امتداد شمال غرب - جنوب شرق تشکیل شده است. این

سازند در قسمت‌های جنوبی و شمالی حوضه گسترش دارد. از نظر تخلخل ثانویه، توسعه کارست و سفره‌های کارستی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و طبیعتاً در تغذیه سفره آبرفتی دشت نیز اهمیت زیادی دارد.

(ب) سازند گدوان (K_{gd})

با سن کرتاسه زیرین (نئوکومین بالایی - آبتین) و با امتداد شمال غرب - جنوب شرق در قسمت‌های محدودی از دشت رخنمون دارد. این سازند تناوبی از آهک رس دار، شیل‌های آهکی خاکستری و آهک است که به طور هم‌شیب بر روی سازند فهلیان واقع شده است. این سازند از نظر نفوذپذیری و تغذیه سفره آبرفتی اهمیتی ندارد.

(ج) سازند داریان (K_{dr})

با سن کرتاسه زیرین (آبتین) به طور هم‌شیب بر روی سازند گدوان رخنمون دارد. این سازند از آهک‌های اوربیتولین دار، آهک و آهک رسی تشکیل یافته است. به استثنای قسمت‌های گسل خورده و درز وشکاف دار این سازند که اغلب مسیر جریان‌های آب‌های نفوذی ناشی از بارندگی است و باعث ایجاد سفره‌های کارستی می‌شود. سایر قسمت‌های این سازند از نظر تشکیل سفره‌های کارستی اهمیت زیادی ندارند.

(د) سازند کژدمی (K_{kz})

این سازند با سن کرتاسه زیرین - بالایی (آلبین تا سنومانین) شامل شیل قیری خاکستری تیره و گاه سیاه‌رنگ، و دارای لایه‌هایی از سنگ آهک رسی تیره‌رنگ و مارن است. مرز پایینی آن با سازند داریان با لایه‌های سرخ‌رنگ مشخص شده، و مرز بالایی آن با آهک سروک تدریجی است. ارتباط عمده این سازند با

آبخوان، عمدتاً در بخش شرقی دشت است، و قسمت‌های کوچکی نیز در بخش شمالی و جنوبی دیده می‌شود.

ه) سازند سروک (K_{sv})

سازند سروک در منطقه مورد مطالعه، دارای لیتولوژی آهک توده‌ای و خاکستری تیره تا کرم رنگ و قهوه‌ای می‌باشد. این سازند در نواحی غربی دشت قرار دارد و پتانسیل بالایی از نظر انحلال و ایجاد تخلخل ثانویه دارد. چشمه ابوالمهدی که یکی از چشمه‌های بزرگ منطقه است، از این سازند تغذیه می‌شود.

و) واحد رادیولاریتی (K_{r1})

این واحد با لیتولوژی سنگ آهک ماسه‌ای، آهک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و چرت رادیولاریتی در بخش شرقی دشت رخنمون دارد. سن این زون کرتاسه تخمین زده شده است.

ز) رسوبات آبرفتی کواترنری (Q)

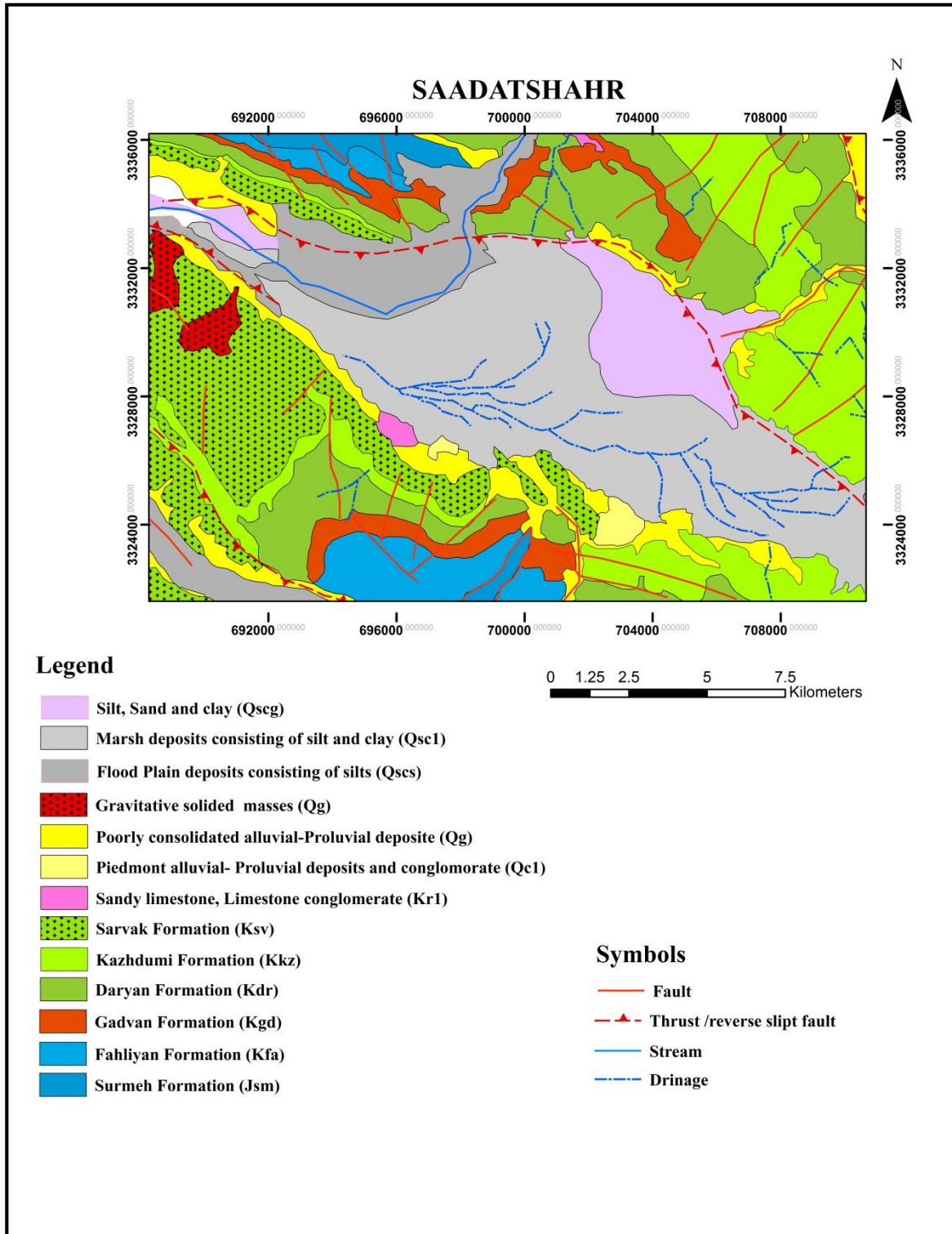
این رسوبات که در سطح نسبتاً وسیعی گسترش یافته است به شکل تپه ماهورهایی از شن، ماسه، قلوه‌سنگ سیلت و مارن به رنگ خاکستری است که حاصل فرسایش ارتفاعات حاشیه دشت است. این رسوبات در دشت سعادت‌شهر با وسعتی برابر با ۱۶۶ کیلومتر مربع گسترش دارند و در قسمت‌های شمالی رودخانه سیوند بیشتر دانه درشت و در قسمت‌های جنوبی رودخانه نسبتاً دانه ریز و در حد ماسه و سیلت می‌باشند.

۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختاری

از دیدگاه ساختاری، این دشت در بخش جنوبی زاگرس چین‌خورده داخلی قرار دارد. چین‌خوردگی‌های زاگرس، خود بخشی از کوهزایی بزرگ آلپی می‌باشند که از تنگه هرمز شروع شده و وارد خاک ترکیه و عراق می‌گردد. روند عمومی چین‌های زاگرس، شمال غربی جنوب شرقی می‌باشد که شامل تاقدیس و ناودیس‌های موازی است که همگی از روند زاگرس تبعیت می‌نمایند. گسل سیوند (گسل رودخانه سیوند) که روند فوق را دارد، گسل اصلی موجود در منطقه مورد مطالعه است. این گسل معکوس، در بخش شمالی منطقه قرار دارد و به نظر می‌رسد که در حد فاصل سازندهای آهکی و آبرفت واقع شده است. علاوه بر گسل فوق، درزه‌ها و گسل‌های کوچکتری در سازندهای اطراف دشت وجود دارند که به نظر می‌رسد عمدتاً سیستماتیک بوده و در رابطه با چین‌خوردگی‌ها باشند. با توجه به سن سازندهای احاطه کننده دشت، که عموماً کرتاسه است و همچنین نبود سازندهای سنوزوئیک، احتمالاً این حوضه در اواخر کرتاسه بر اثر فاز کوهزایی آلپی و پسروری دریای ائوسن به وجود آمده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۴).

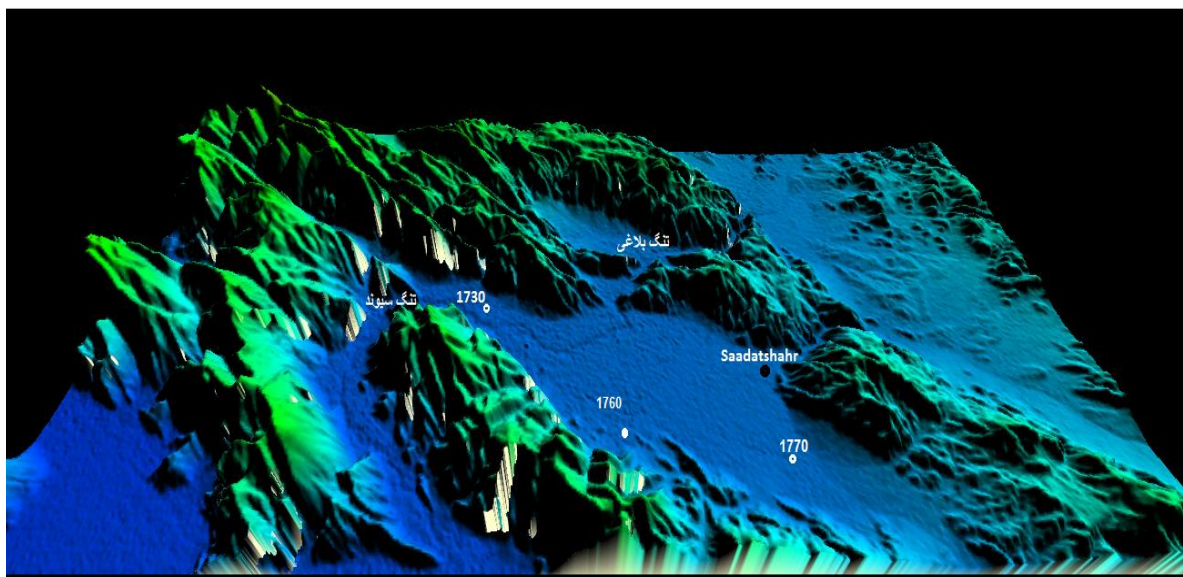
۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

دشت سعادت‌شهر در یک ناودیس از ته نشست رسوبات کواترنری به وجود آمده است. این دشت با شیب ملایم شرقی- غربی، در میان ارتفاعات آهکی اطراف خود محاصره گردیده است. به طور کلی ارتفاع قسمت‌های جنوبی دشت بیشتر از ارتفاع قسمت‌های شمالی دشت است. بلندترین نقطه در ارتفاعات شمالی، ۲۹۱۱ متر و در ارتفاعات جنوبی ۲۶۱۱ متر بالای سطح آب‌های آزاد می‌باشد. ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه، باعث به وجود آمدن چهار دره در چهارسوی دشت شده‌اند. دره شمالی، که تنگ بلاغی نامیده می‌شود محل ورودی رودخانه سیوند به محدوده دشت است. دره شرقی منطقه که تنگ سعادت‌شهر (تنگ سعادت‌آباد) نامیده می‌شود، آب سطحی قابل توجهی را وارد دشت نمی‌کند. جاده‌ی اصلی شیراز- اصفهان از این دره می‌گذرد. دره جنوب شرق منطقه، که ارتباط شهر سعادت‌شهر را با شهر



شکل ۱-۲- نقشه زمین شناسی منطقه

ارسنجان برقرار می‌کند، به دلیل توپوگرافی نامنظم، آب سطحی چندانی را وارد دشت نمی‌کند. دره غربی منطقه که تنگ سیوند (تنگ قوام‌آباد) نامیده می‌شود، با کمترین ارتفاع، آب‌های سطحی دشت را از طریق رودخانه سیوند زهکشی می‌کند. ارتفاعات، بر اساس اختلاف ارتفاعشان با زمین‌های اطراف خود، به سه دسته دشت، تپه ماهور و کوهستان تقسیم می‌شوند. بر اساس این رده‌بندی، سرزمین‌هایی که ارتفاعشان، کمتر از ۵۰ متر است، دشت، بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر تپه ماهور، و بیش از ۵۰۰ متر کوهستان نامیده می‌شوند. بنابراین تقسیم‌بندی، آبخوان سعادت‌شهر در دشت قرار دارد و تمامی اطراف آن به کوهستان محصور شده است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- ژئومورفولوژی دشت سعادت‌شهر (Global mapper12)

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

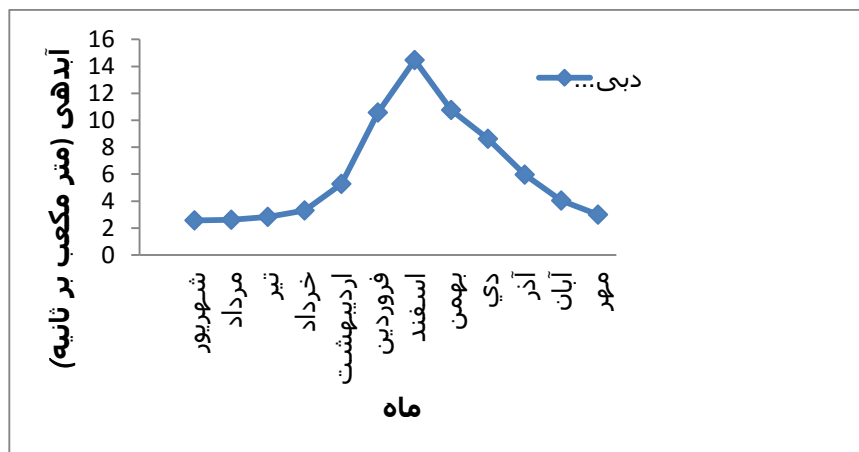
رودخانه سیوند مهم‌ترین منبع آب سطحی منطقه را تشکیل می‌دهد. این رودخانه شامل یک شاخه اصلی و دو شاخه فرعی می‌باشد. منبع اصلی آب این رودخانه را چشمه آهکی قصریعقوب و چشمه‌سارهای ارتفاعات برفگیر کوه‌های سارخانی، قنقر، سفید، کولی‌کوش و مشکان تشکیل می‌دهد. این رودخانه پس از دریافت چند شاخه فرعی به نام گله‌دار و سیمکان و عبور از دشت‌های قادرآباد، سعادت‌شهر، سیوند و مرودشت به رودخانه کر می‌ریزد و نهایتاً از طریق این رودخانه به دریاچه بختگان و طشک می‌ریزد. بستر

این رودخانه معمولاً از قله‌سنگ متوسط، شن و ماسه تشکیل یافته است. در سال‌های اخیر با کاهش دبی رودخانه‌های دشت، وابستگی به آب‌های زیرزمینی بیشتر شده است. سد سیوند که در منطقه تنگ‌بلاغی در قسمت شمالی دشت بر روی رودخانه سیوند احداث شده، میزان آب برداشتی از این رودخانه را تا میزان چشمگیری افزایش خواهد داد. ایستگاه آب‌سنجی رحمت‌آباد که بر روی رودخانه سیوند در محدوده دشت قرار گرفته است، برای بررسی آب‌های سطحی انتخاب گردیده است. این ایستگاه در تراز ۱۷۶۱ متری آب‌های آزاد قرار گرفته است. این ایستگاه سال ۱۳۶۹ تأسیس شده و از سال ۱۳۷۰ دارای آمار آبدهی می‌باشد (جدول ۱-۴). دبی رودخانه سیوند به صورت لحظه‌ای توسط تجهیزات موجود (اشل، لیمینگراف و تلفریک) در این ایستگاه ثبت می‌شود (سازمان آب منطقه‌ای فارس ۱۳۸۹). جدول (۱-۵) و شکل (۱-۲) آمار داده‌های دبی پایه و دبی ماهانه را برای ۱۹ سال آماری (۷۱-۷۰ تا ۸۹-۸۸) نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴- مشخصات ایستگاه هیدرومتری رحمت‌آباد (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۹)

رودخانه	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			تاریخ تأسیس	تجهیزات		
		طول	عرض	ارتفاع		اشل	لیمینگراف	تلفریک
سیوند	رحمت‌آباد	۵۳-۰۳-۳۶	۳۰-۰۶-۰۱	۱۷۶۱	۱۳۶۹	+	+	+

در قسمت جنوبی دشت سعادت‌شهر در امتداد شرقی- غربی یک رشته مسیل زهکش طبیعی وجود دارد که در سال‌های گذشته بخشی از آب زیرزمینی از طریق این مسیل داخل رودخانه سیوند تخلیه می‌شده ولی در سال‌های اخیر به دلیل کثرت چاه‌های بهره‌برداری در حاشیه این مسیل و کاهش بارندگی آب جریان یافته از آن قابل اغماض است.



شکل ۱-۴- هیدروگراف متوسط ماهانه ایستگاه رحمت آباد

جدول ۱-۵- آمار آبدهی متوسط ماهانه و دبی پایه رودخانه سیوند (سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۸۹)

دبی پایه (m^3/s)	آبدهی متوسط (m^3/s)	زمان (ماه)
۳/۰	۳/۰	مهر
۳/۲۰	۴/۰۴	آبان
۳/۴۰	۵/۹۵	آذر
۳/۵۰	۸/۶۲	دی
۳/۸۰	۱۰/۷۶	بهمن
۴/۱۰	۱۴/۴۶	اسفند
۳/۸۰	۱۰/۵۷	فروردین
۳/۴۰	۵/۲۷	اردیبهشت
۳/۳۰	۳/۳	خرداد
۲/۸۳	۲/۸۳	تیر
۲/۶۱	۲/۶۱	مرداد
۲/۵۶	۲/۵۶	شهریور
۳/۲۹	۶/۱۶	سالانه

۱-۷- هیدروژئولوژی دشت

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است. آب زیرزمینی، بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی بزرگ‌ترین ذخیره‌ی آب شیرین را تشکیل می‌دهد. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب توسعه‌ی زیادی پیدا کرده‌است. دشت سعادت‌شهر یکی از غنی‌ترین و پر آب‌ترین سفره آب زیرزمینی در منطقه را تشکیل می‌دهد. عمق این سفره نسبتاً کم و از نفوذپذیری، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره خوب تا متوسطی برخوردار است. منبع اصلی تغذیه سفره ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت به‌ویژه آهک‌های متخلخل سروک و آب بازگشتی آبیاری است. بخش اعظمی از منابع آبی دشت سعادت‌شهر نیز توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. منابع آب موجود در دشت سعادت‌شهر شامل چاه، قنات و چشمه می‌باشد که در ادامه هر کدام شرح داده شده است.

الف) چاه

آبخوان دشت سعادت‌شهر یک آبخوان آزاد است که بخش اعظم آب برداشت شده از آن توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق صورت می‌گیرد. طبق آمار سال ۱۳۶۷ از این سفره با حفر ۱۳۴ حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۱۷۳ حلقه چاه کم‌عمق ۵۶/۶۲ میلیون مترمکعب آب در سال برداشت شده است، از این مقدار ۳۳/۸۵ میلیون مترمکعب متعلق به چاه‌های نیمه‌عمیق و مابقی توسط چاه‌های کم‌عمق تأمین شده است. با توسعه حفاری و کشاورزی و نیاز روز افزون به آب تعداد حلقه‌های چاه افزایش یافته به طوری که طبق آمار سال ۱۳۸۹ تعداد چاه‌های این دشت به ۶۰۸ حلقه می‌رسد که ۴۳۹ حلقه، چاه نیمه‌عمیق و ۲۳۹ حلقه، چاه کم‌عمق است که برداشت از این چاه‌ها ۱۹۷ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است (جدول ۱-۶).

ب) چشمه و قنات

علاوه بر چاه‌های حفر شده برداشت از آب‌های زیرزمینی توسط هفت رشته قنات که اغلب در دهانه ورودی دشت واقع‌اند تأمین می‌شود. میزان تخلیه سالانه آنها ۹ میلیون مترمکعب تخمین زده شده است. یک دهانه چشمه نیز با تخلیه سالانه ۱/۲۶ میلیون مترمکعب در دشت وجود دارد.

جدول ۱-۶- منابع آبی دشت سعادت‌شهر (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۹)

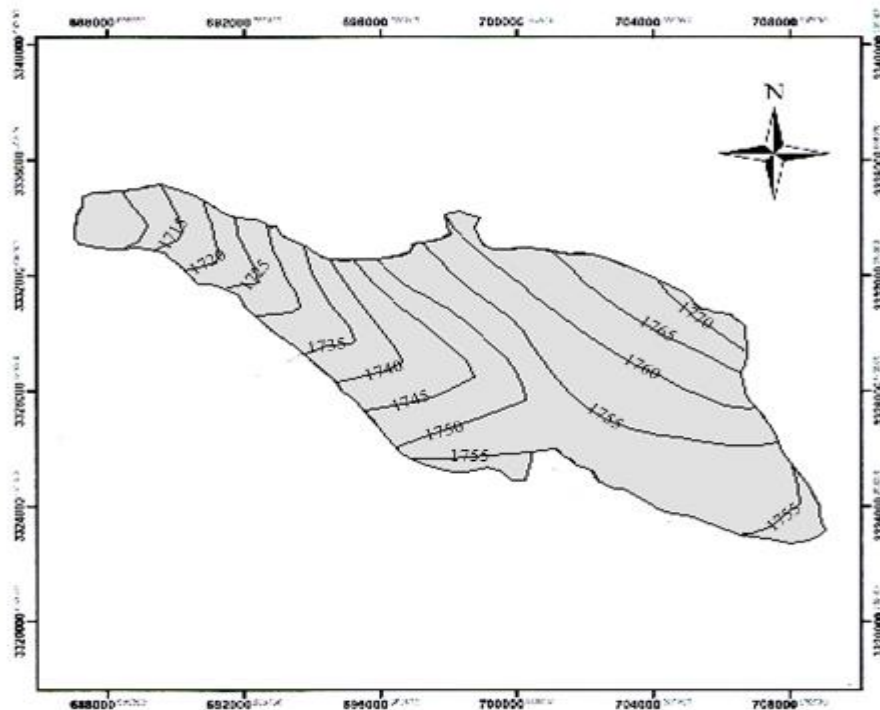
منابع					نام دشت
قنات	چشمه	چاه (حلقه)			
		اکتشافی	مشاهده‌ای	بهره‌برداری	
۷	۱	۳	۱۳	۶۰۸	سعادت‌شهر

۱-۷-۱- تبیین و ویژگی‌های سیستم آب زیرزمینی

در این قسمت به بیان ویژگی‌های سیستم با تأکید بر پارامترهای کمی از قبیل تعیین جهت جریان، منحنی‌های هم‌افت، هیدروگراف واحد و ... پرداخته می‌شود.

۱-۷-۱-۱- ارزیابی جهت جریان

نقشه تراز آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی در سال آبی ۱۳۹۰ با بهره‌گیری از عمق سطح ایستابی و تراز سطح زمین، با هدف بررسی پتانسیل سطح ایستابی، تشخیص جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و محاسبه شیب هیدرولیکی، ترسیم گردید. برای ترسیم نقشه هم‌پتانسیل از داده‌های اسفند ۱۳۹۰ استفاده شده است. نقشه تراز آب زیرزمینی منطقه بیانگر این مطلب است که جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، عمدتاً از شرق و شمال شرق دشت به سمت غرب دشت می‌باشد.

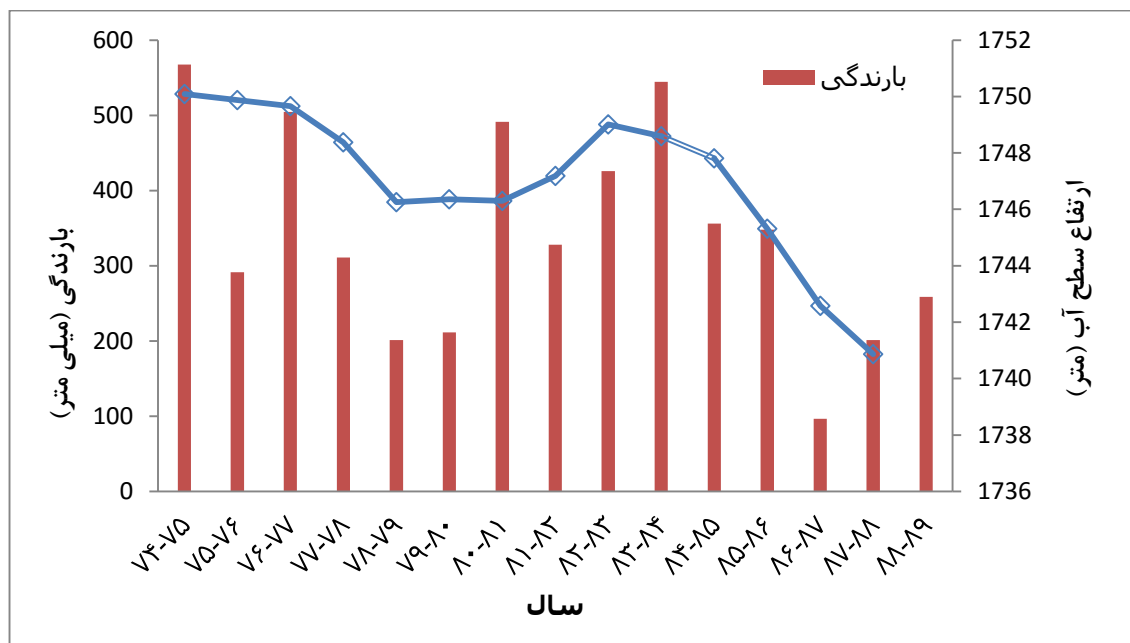


شکل ۱-۵- نقشه هم پتانسیل منطقه بر اساس داده‌های اسفند ۹۰

۱-۷-۱-۲- هیدروگراف واحد

هیدروگراف واحد دشت نشان‌دهنده تغییرات بلند مدت سطح آب‌های زیرزمینی در هر نقطه از دشت می‌باشد. در ترسیم هیدروگراف واحد دشت از داده‌های بارندگی نیز استفاده می‌شود تا رابطه بین تغییرات بارندگی و تغییرات سطح آب زیرزمینی مشخص شود. برای ترسیم هیدروگراف واحد، از اطلاعات مربوط به ۱۳ حلقه چاه مشاهده‌ای در یک دوره زمانی ۱۵ ساله (۷۵-۹۰) استفاده شد. بدین منظور ابتدا نقشه چند ضلعی تیسن (Tiesson polygone) منطقه با هدف تعیین متوسط سطح آب زیرزمینی، با استفاده از تعداد پیزومترهای موجود در منطقه، توسط ابزارهای نرم افزار Arc View تهیه شد، سپس با محاسبه مساحت پلیگون هر پیزومتر هیدروگراف واحد دشت تهیه گردید. اگر استرس خاصی به برداشت زیاد آب و تغذیه یا بارندگی (آبخوان وارد شده باشد، تأثیر خود را در هیدروگراف نشان می‌دهد.

باتوجه به هیدروگراف واحد دشت سعادت شهر رابطه مستقیمی بین بارندگی و تغییرات سطح آب وجود دارد. با توجه به هیدروگراف واحد دشت سطح ایستابی با کاهش بارندگی روندی کاهشی و با افزایش بارندگی روندی افزایشی داشته است به طوری که از سال ۱۳۷۶ با کاهش بارندگی سطح آب زیرزمینی روندی نزولی و با افزایش بارندگی رو به افزایش گذاشته است. ولی در سال ۱۳۸۸ علیرغم افزایش بارندگی نسبت به سال ۱۳۸۶ افزایشی در ارتفاع سطح آب زیرزمینی مشاهده نشده است این به دلیل افزایش تعداد حلقه‌های چاه پمپاژ و در نتیجه افزایش برداشت آب زیرزمینی از آبخوان مربوطه می‌باشد. بر طبق آمار (۱۳۶۷-۱۳۸۹) در یک بازه زمانی ۲۲ ساله تعداد حلقه‌های عمیق و نیمه عمیق حفر شده در دشت تقریباً دو برابر شده است و در نتیجه میزان برداشت آب زیرزمینی افزایش و علیرغم افزایش بارندگی در چند سال اخیر افزایشی در ارتفاع سطح آب زیرزمینی مشاهده نشده است.

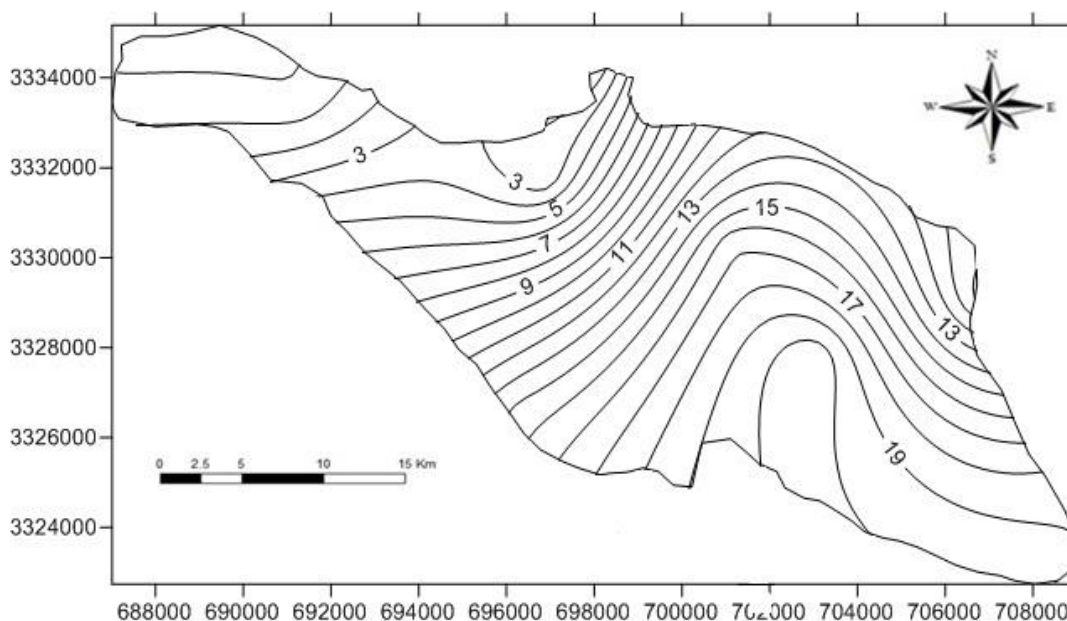


شکل ۱-۶- هیدروگراف واحد دشت

۱-۷-۳- بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی

یکی از پارامترهای لازم برای بررسی هیدروژئولوژی سفره آب زیرزمینی بررسی و مقایسه مقدار افت آب زیرزمینی می باشد که به این منظور نقشه هم‌افت آب آبخوان ترسیم گردید. برای ترسیم نقشه هم‌افت از داده‌های اسفند ۱۳۷۵ و اسفند ۱۳۹۰ استفاده شد (شکل ۷-۱).

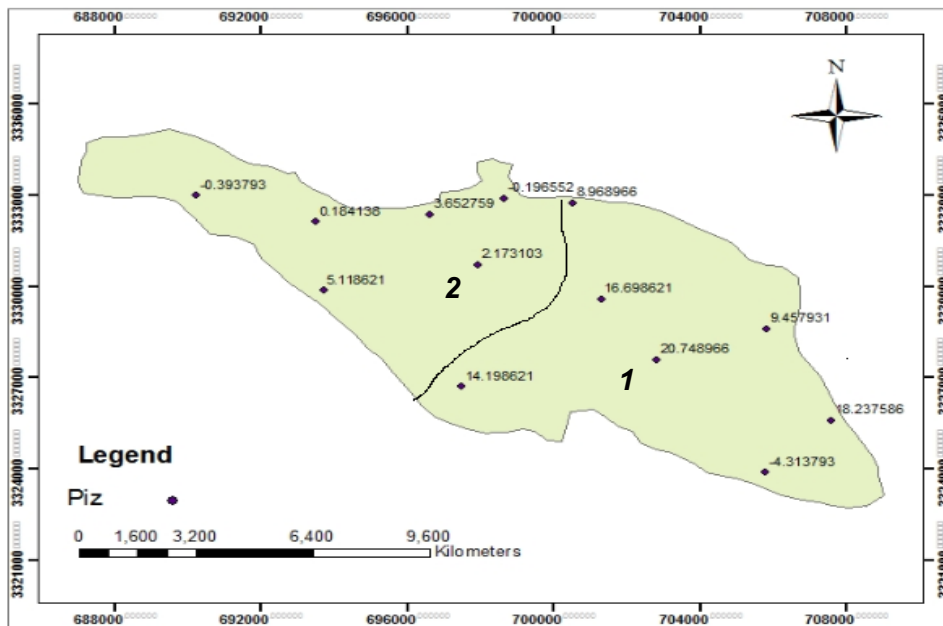
با توجه به تغییرات سطح ایستابی در آبخوان و نقشه افت، محدوده دشت به دو بخش محدوده غربی (بخش ۲) یا منطقه با افت کم و محدوده شرقی (بخش ۱) یا منطقه با افت زیاد تقسیم شده است (شکل ۸-۱).



شکل ۷-۱- نقشه هم افت منطقه طی دوره اسفند ۷۵ و اسفند ۹۰

در بخش شرقی دشت (بخش ۱) به دلیل تمرکز بیشتر چاه‌های پمپاژ با دبی بالا، توسعه منطقه شهری (شهر سعادت‌شهر)، افزایش سطح زیر کشت و کم بودن ورودی آب زیرزمینی، افت قابل ملاحظه بوده به گونه‌ای که میانگین افت در حدود ۱۱/۴ متر می‌باشد. در بخش غربی دشت (بخش ۲) رسوبات درشت دانه‌تر، تغذیه آبخوان توسط رودخانه سیوند، وابستگی کمتر به آب زیرزمینی (در نتیجه برداشت مستقیم آب از رودخانه سیوند) و با توجه به عرض کم منطقه سطح کشت کمتر، تغییر سطح آب زیرزمینی در این

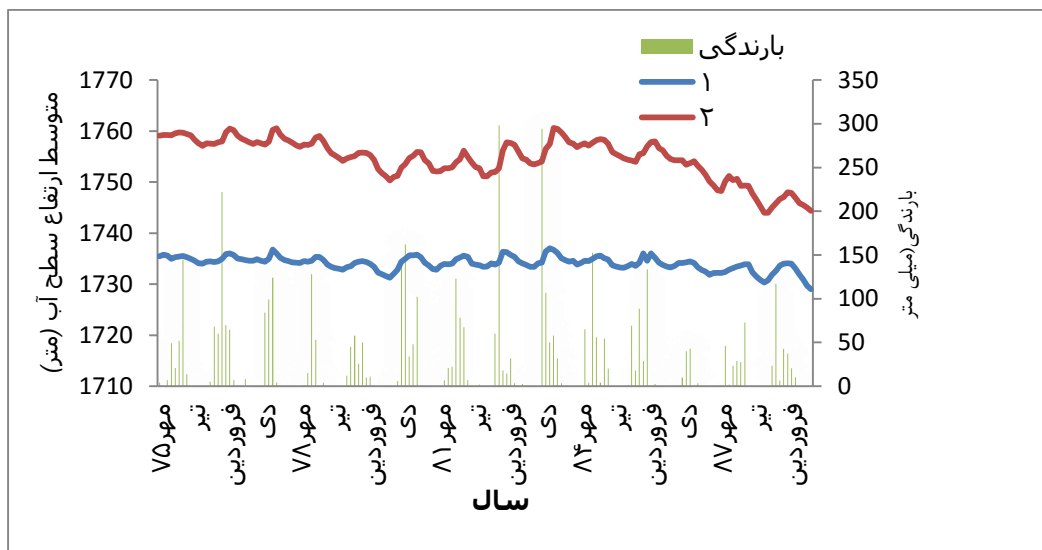
بخش نسبت به بخش ۱ کمتر و میانگین افت در این دوره آماری $3/7$ متر می‌باشد. الگوی تغییرات سطح ایستابی در دو محدوده تقریباً مشابه است ولی شدت این تغییرات متفاوت است که این امر مربوط به تغذیه متفاوت در دشت است. در محدوده اول تغییرات آب زیرزمینی (افت سطح آب زیرزمینی) ، بیشتر بوده در حالی که محدوده دوم تغییرات کمتری را نشان می‌دهد (شکل ۱-۹).



شکل ۱-۸- مناطق دو گانه افت

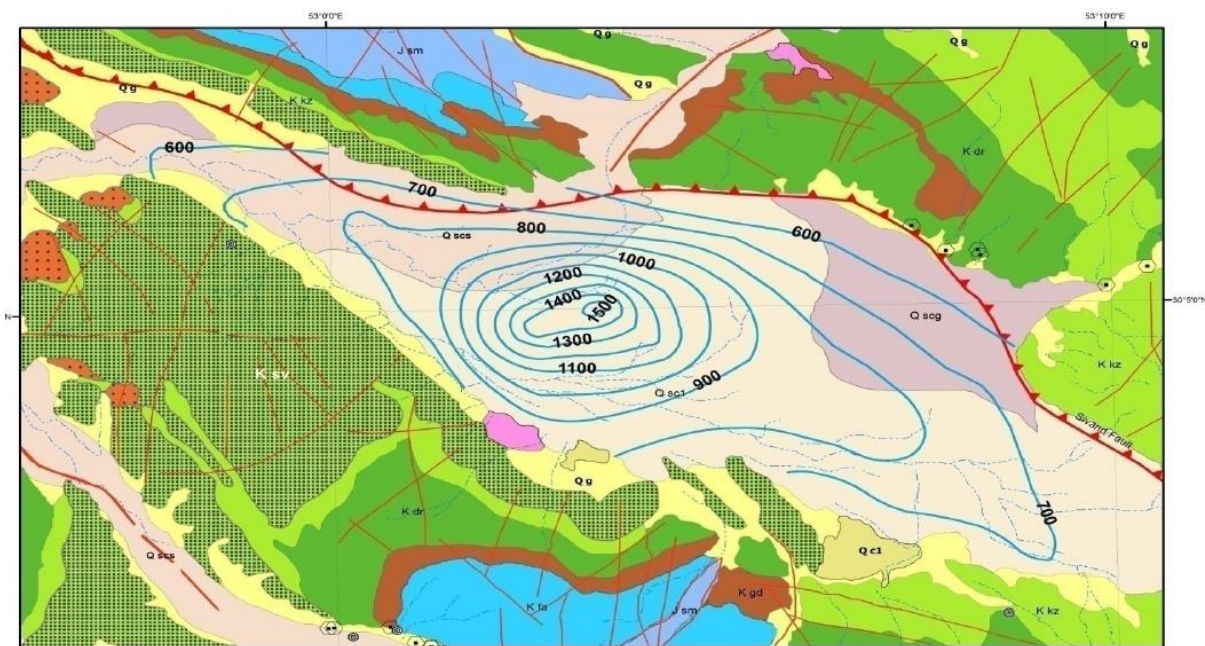
۱-۷-۲- کیفیت آب در دشت سعادت‌شهر

محدوده مطالعاتی تنها دارای یک ایستگاه آب‌سنجی برای سنجش کیفیت آب‌های سطحی است. هم‌چنین منابع انتخابی کیفی این محدوده طبق آمار سال ۱۳۸۴ شامل ۱۳ حلقه چاه آبرفتی بوده که نمونه‌برداری از آن‌ها از سال ۱۳۷۸ آغاز گردیده است. بررسی روابط بین هدایت الکتریکی و سایر پارامترهای کیفی در این محدوده نشان‌دهنده وجود روابط مناسب بین هدایت الکتریکی با باقیمانده خشک و کلیه آنیون‌ها و کاتیون‌ها است. در همه قسمت‌های محدوده مطالعاتی سعادت‌شهر آب‌های زیرزمینی سفره آبرفتی برای کشاورزی خوب و مناسب هستند.



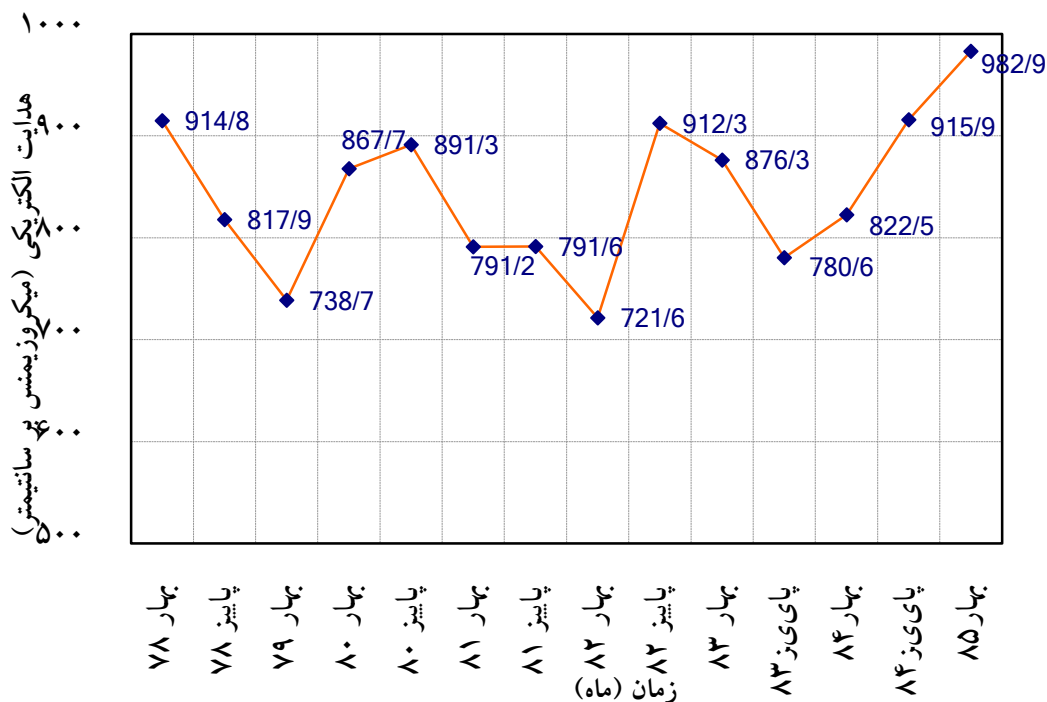
شکل ۹-۱- هیدروگراف واحد محدوده‌های دوگانه

با توجه به منحنی‌های همسان هدایت الکتریکی این محدوده (شکل ۱-۱۰) میزان هدایت الکتریکی در مرکز دشت، به حداکثر رسیده و در مسیر حرکت جریان (شرق به غرب) مجدداً رو به کاهش می‌گذارد. افزایش هدایت الکتریکی از سمت ارتفاعات به طرف مرکز آبخوان، از شواهد تغذیه دشت توسط ارتفاعات احاطه کننده دشت است. کاهش فاصله خطوط در مرکز دشت، نشان‌دهنده افزایش نرخ تغییرات هدایت الکتریکی است. بهترین کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در این دشت در نواحی شمال دشت (شمال سعادت‌شهر) و در مخروط افکنه تشکیل شده به وسیله رودخانه سیوند بوده و از این محل به سمت جنوب هدایت الکتریکی به تدریج و در راستای جریان آب زیرزمینی افزایش یافته است. یکی از عوامل کیفیت مناسب این دشت وجود رسوبات آبرفتی فاقد املاح شور کننده ایجاد شده در اثر عملکرد رودخانه سیوند است (شکل ۱-۱۰).



شکل ۱-۱- نقشه هدایت الکتریکی دشت سعادت شهر (اقتباس از جاویدی ۱۳۹۰)

برای بررسی تغییرات زمانی کیفیت شیمیایی سفره آبرفتی محدوده مطالعاتی سعادت‌آباد مقادیر هدایت الکتریکی چاه‌های آبرفتی در طول دوره نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گرفته و کموگراف این سفره تهیه شده است. با توجه به این نمودار، مقدار هدایت الکتریکی سفره آبرفتی سعادت‌آباد در طول سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۵ دارای یک روند افزایشی ناچیز و تدریجی بوده و مقدار هدایت الکتریکی از ۹۱۵ میکروزیمنس بر سانتیمتر در بهار ۱۳۷۸ به ۹۸۳ میکروزیمنس بر سانتیمتر در بهار ۱۳۸۵ افزایش یافته است (شکل ۱-۱۱). مقدار باقیمانده خشک آب‌های زیرزمینی سفره آبرفتی در این محدوده مطالعاتی بین ۱۸۱ تا ۱۰۴۴ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌نماید. روند تغییرات میزان باقیمانده خشک آن در این دشت همانند هدایت الکتریکی است. به منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی سازندهای سخت محدوده طرح اطلاعات آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده، اطلاعات یک دهه چشمه در آماربرداری فوق در دسترس بوده است که دارای کیفیت بسیار مطلوبی بوده و امکان استفاده از آنها برای مصارف مختلف وجود دارد.



شکل ۱-۱۱- کموگراف سفره آبرفتی دشت سعادت شهر

الف) جمع بندی نتایج هیدروژئوشیمی دشت

در این محدوده، تیپ آب زیرزمینی غالب بیکربناته می‌باشد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد که آبخوان سعادت شهر از ارتفاعات اطراف خود در تمامی قسمت‌ها در حال تغذیه است. املاح موجود در آب زیرزمینی طی حرکت خود در دشت از غرب به شرق، تا مرکز دشت افزایش یافته و پس از آن با ورود به بخش غربی دشت، تحت تأثیر جریان‌های ورودی از رودخانه و همچنین ارتفاعات اطراف خود قرار می‌گیرد به صورتی که کیفیت بسیار مناسب آب‌های ورودی هدایت الکتریکی را به شدت کاهش می‌دهد.

ب) ارزیابی آب برای مصارف مختلف

آب زیرزمینی در دشت سعادت شهر به طور کلی کیفیت مناسبی دارد. با توجه به مصارف مختلف و استانداردهای موجود برای آنها، آب موجود در آبخوان مورد بررسی قرار گرفت. در بخش شرب کیفیت

آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی سعادت‌آباد از لحاظ آشامیدن مناسب بوده و در کل دشت در گروه‌های قابل شرب خوب (۷۵درصد) و یا قابل قبول (۲۵درصد) قرار می‌گیرند. در بخش اصلی دشت (در نواحی مرکزی، شمالی و شمال غربی) آب‌های زیرزمینی قابلیت شرب خوب (گروه ۱) و در جنوب دشت و نیز محدوده آبادی سیوند در گروه (قابل قبول) قرار می‌گیرند. در بخش کشاورزی نیز کیفیت آب‌ها در محدوده کمی شور تا شور قرار می‌گیرد و برای کشاورزی مناسب است. از نظر صنعتی نیز ۱۰۰ درصد نمونه‌ها تمایل به رسوبگذاری داشته و هیچیک از نمونه‌ها دارای خاصیت خوردگی نبوده و در نتیجه برای این نوع مصرف هیچ محدودیتی وجود ندارد.

فصل دوم:

مروری بر مطالعات مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی

۲-۱- مقدمه

قسمت اعظم آب شیرین موجود در کره زمین در زیر زمین قرار دارد. افزایش جمعیت، افزایش تقاضای آب زیرزمینی را باعث شده است. به علت بهره‌برداری روز افزون از منابع آب زیرزمینی، مسائل جدیدی مطرح گردیده و موضوع مدیریت بهره‌برداری اقتصادی و مجاز و صیانت منابع نیز مورد توجه قرار گرفته است. از آنجائیکه منابع آب زیرزمینی کشور ایران محدود و در خور هرگونه توجه می‌باشد، این کمبود ایجاب می‌کند که در محاسبه مقدار آب موجود و استفاده صحیح و تنظیم و نگهداشت منابع آب زیرزمینی دقت کامل به عمل آید تا بتوان به طور مستمر و حتی برای نسل‌های بعدی از این منابع استفاده کرد و لازم است که از تمام امکانات موجود استفاده کنیم و با استفاده از پیشرفته‌ترین دانش‌ها و بکار بستن مناسب‌ترین روش‌ها به بهره‌برداری بهینه و توسعه دراز مدت منابع گران‌بهای آب‌های زیرزمینی همت گماریم. یکی از روش‌های مفید برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه در زمان حال و آینده استفاده از روش‌های مدل‌سازی است. تاکنون مدل‌های زیادی جهت پیش‌بینی و مدیریت آبخوان‌ها در سطح ایران و جهان انجام شده است که می‌توان به مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ^۱PMWIN، ^۲GIS، ^۳GMS و... اشاره کرد. در این تحقیق برای بررسی وضعیت آبخوان دشت سعادت‌شهر از نرم‌افزار GMS استفاده شده است.

^۱- Processing Modflow for Windows

^۲-Geographic Information System

^۳- Groundwater Modeling System

۲-۲- مروری بر مدل سازی آبخوان ها

در سال های اخیر تهیه مدل آب های زیرزمینی به صورت بخش عمده ی تعداد زیادی از پروژه های مربوط به بهره برداری، حفاظت و پاک سازی آب های زیرزمینی درآمده است. با ادامه پیشرفت سخت افزاری و نرم افزاری رایانه و تهیه آسان تر آنها، نقش مدل ها در علوم زمین، نظیر هیدروژئولوژی افزایش می یابد. اما ضروری است که هر نوع مدل آب زیرزمینی تفسیر شود و به طور مناسبی مورد استفاده قرار گیرد.

دوره جدید هیدروژئولوژی آب های زیرزمینی از سال ۱۹۳۵ با معادله تاپس آغاز گردید. در دهه های ۴۰ و ۵۰ میلادی ژاکوب و هانتوش روابطی را در زمینه حل مسایل جریان چاه ها ارائه نمودند. از همین زمان بود که روش های نظری در حل مسائل آب های زیرزمینی بسیار معمول گردید و اکثر فرمول ها و روش های تجربی در قالب معادلات ریاضی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بنت و اسکویوتزکی (Bennett and Skivitzke, 1950) در سازمان زمین شناسی ایالات متحده، یک سامانه آبخوان را با استفاده از شبیه سازی الکتریکی که مجموعه ای از مقاومت ها و اسیلوسکوپ ها بود و بر اساس روش تفاضل محدود عمل می کرد، مدل سازی الکتریکی نمودند. یکی از مزایای شبیه سازی مذکور در آن است که تفکیک زمانی صورت نگرفته و زمان به صورت پیوسته در نظر گرفته می شود که این مساله موجب می شد مدل بی قید و شرط ماندگار باشد. وجود ماشین های حسابگر سریع و کامپیوترهای دیجیتالی در دهه های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی باعث گردید که بسیاری از مسایل پیچیده آب های زیرزمینی مدل شود. در دهه ۱۹۵۰ ریاضی دانان و مهندسیین مخازن نفت روش های حل عددی را برای معادله جریان در صنعت نفت مورد آزمایش قرار دادند و از آن زمان به بعد این روش نیز به مجموعه مدل ها پیوست. این در حالی بود که هنوز مدل های تشابهی برای حل جریان یک سیال منفرد استفاده می شد، ولی نمی توانست برای مسائل چند فازی به آسانی استفاده شود. این نارسایی موجب شد که مدل های عددی سیر تکاملی خود را تا امروز طی کنند. به طوری که از دهه ۱۹۷۰ به بعد استفاده از مدل های تشابهی تقریباً کنار گذاشته شد و روش های عددی در حل مسائل آب شناسی بسیار متداول شد و برنامه های زیادی به زبان های برنامه نویسی مختلف توسط افراد مختلف نوشته شده است.

۲-۱-۲- مدل سازی انجام گرفته در جهان

در تگزاس (Texas) به منظور تغذیه آبخوان‌ها مطالعاتی انجام گرفت. اکثر این آبخوان‌ها با استفاده از مدل عددی Modflow به منظور تعیین میزان تغذیه شبیه‌سازی شدند. این مدل‌ها بر اساس داده‌های بار هیدرولیکی موجود کالیبره و واسنجی و در نهایت میزان تغذیه و تخلیه هر آبخوان مشخص گردید (Scanlon and Dutton, 2000).

آبخوان میانی و فوقانی ترینیتی در منطقه هیل کانتری تگزاس با هدف شناسایی سیستم هیدروژئولوژی و کمک به تخمین میزان آب و نوسانات سطح آب نسبت به پمپاژ و خشکسالی در آینده با استفاده از مدل عددی Modflow شبیه‌سازی شد. مدل در شرایط پایدار برای سال ۱۹۹۵ و ناپایدار برای سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ واسنجی شد و مقدار هدایت هیدرولیکی عمودی و ضریب ذخیره برای آبخوان واسنجی شد. حساسیت سنجی مدل نشان داد که سطح آب نسبت به تغذیه و هدایت هیدرولیکی افقی بیشترین حساسیت را نشان می‌دهد (Emace and *et al.* 2000).

آبخوان ماسه‌ای - گراولی منطقه Cortland نیویورک به منظور تعیین هدایت هیدرولیکی در شرایط پایدار، تهیه بیلان و تعیین مناطق تغذیه آبخوان هیدرولیکی در منطقه با مدل عددی Modflow شبیه‌سازی شد. این مدل برای ژوئن ۱۹۹۷ با استفاده از روش سعی و خطا کالیبره و مقدار هدایت هیدرولیکی از ۸۰ تا ۱۰۰ فوت بر متر به دست آمد. برای ردیابی ذرات بین دو چاه پمپاژ از برنامه MODPATH استفاده شد (Miller, 2000).

حوزه ریوگراند (Rio Grande) به کمک کد Modflow شبیه‌سازی شد. اهداف شبیه‌سازی شامل یافتن ارتباط بین آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در منطقه و همچنین تهیه مدل آب زیرزمینی برای مدیریت بهتر منابع آبی در منطقه بوده است (Douglas and Peggy, 2002).

مدیریت و تقویت منابع آب زیرزمینی دشت Xanthi حوضه آبخیز Vistonida یونان مورد مطالعه قرار گرفت. برای تخمین میزان هدایت هیدرولیکی، میزان تغذیه و مدیریت آبخوان دشت Xanthi، این منطقه مدل سازی شد. واسنجی و پیش بینی سطح آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار Modflow صورت گرفت. از بین سناریوهای مختلف جهت دستیابی به اهداف ذکر شده، تغذیه مصنوعی مد نظر قرار گرفت (Pliakas and *et al.* 2005).

اثرات ساختارهای زمین شناسی بر جریان آب زیرزمینی و تخمین پارامترهای هیدرولیکی آبخوان جودین واقع در فلسطین اشغالی از اهداف مدل سازی این آبخوان بوده است که با استفاده از نرم افزار مدل سازی Modflow شبیه سازی گردید. واسنجی مدل با استفاده از روش آزمون و خطا انجام شد و میزان خطا برازش مناسبی را بین داده های مشاهداتی و داده های محاسباتی نشان داد (Laronne *et al.* 2005).

ارتفاع زیاد آب زیرزمینی در شهر موصل واقع در کشور عراق یک مشکل اساس و مهم به شمار می رود. مهمترین روش اساسی برای حل این مشکل طراحی زهکش های مناسب در سطح شهر است. برای حل این مشکل و طراحی زهکش در مناطق مختلف شهر این آبخوان با استفاده از نرم افزار GMS مدل سازی شد. هدف از این شبیه سازی تعیین مسیر و سرعت جریان آب زیرزمینی در آبخوان شهر برای طراحی زهکشی مناسب بود (Abdulghani *et al.* 2006).

آبخوان موجیب (Mujib) در کشور اردن از اصلی ترین مخازن آب آشامیدنی برای چند شهر می باشد. برداشت بیش از حد آب از این آبخوان در چند سال اخیر باعث افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب شده است. به منظور مدیریت و بررسی گزینه های مدیریتی، این آبخوان با استفاده از نرم افزار مدل سازی Modflow شبیه سازی گردید و رفتار این آبخوان تحت استرس های مختلف مورد بررسی قرار گرفت (Abdulla and Al Assad, 2006).

مدل مفهومی دشت ایراوان در کشور لیبی با استفاده از کد Modflow شبیه‌سازی گردید. هدف از این مدل‌سازی تأثیر آب بازگشتی از کشاورزی بر سطح آب زیرزمینی بود. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد، در شرایطی که روش‌های کشاورزی و آبیاری جاری در دشت وجود دارد سطح آب زیرزمینی در مرکز منطقه مورد مطالعه در ۴۷۰ متری از سطح آزاد دریا حفظ می‌شود (Shaki and Adeloje, 2007).

با استفاده از نرم‌افزار Modflow آبخوان آزاد بو، آرگ در شمال شرقی مراکش تحت استرس‌های مختلف شبیه‌سازی شد و نتایج این مدل‌سازی نشان داد که نوسانات بار هیدرولیکی به تغییرات فصلی تغذیه بستگی دارد (Yaouti and *et al.* 2008).

جریان آب زیرزمینی دلتای راس سودر واقع در وادی سودر با استفاده از نرم‌افزار Modflow مدل‌سازی شد. هدف از این شبیه‌سازی تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، برآورد میزان تغذیه به آبخوان و تعیین پارامترهای هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی منطقه بود. مدل برای سال ۱۹۹۰ و با استفاده از روش PEST کالیبره و واسنجی گردید. بر طبق این مدل‌سازی هدایت هیدرولیکی منطقه از ۳/۰۵ تا ۳/۵۵ متر بر روز متغیر است (Medhat and Bihery, 2009).

اثرات سد زیرزمینی بر جریان آب زیرزمینی حوضه رودخانه Palar در کشور هند با استفاده از نرم‌افزار GMS مدل‌سازی گردید. مدل برای یک دوره ۱۱ ساله از ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۲ و با استفاده از روش آزمون و خطا واسنجی شد. نتایج مدل‌سازی در این حوضه افزایش ۰/۱ تا ۰/۳ متری در سطح آب زیرزمینی در ۱/۵ Km تا ۲ بالا دست 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 (Senthilkumar, 2011).

شرایط هیدروژئولوژیکی ناحیه کوهستانی Tianshan کشور چین با استفاده از نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی گردید. سطح آب زیرزمینی برای حالت پایدار در بازه زمانی اکتبر ۲۰۰۳ تا سپتامبر ۲۰۰۴ و حالت ناپایدار برای یک بازه زمانی سپتامبر ۲۰۰۴ تا سپتامبر ۲۰۰۸ توسط این نرم‌افزار کالیبره شد. نتایج این مدل‌سازی نشان داد که اختلاف کمی بین سطح داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های محاسباتی حاصل از نرم‌افزار وجود دارد و از این مدل‌سازی می‌توان برای بررسی وضعیت آبخوان در آینده استفاده کرد (Shang *et al.* 2011).

آبخوان سازند سخت در جنوب شرقی غنا با استفاده از کد رایانه‌ای Modflow و نرم‌افزار GMS، در شرایط پایدار شبیه‌سازی شد. هدف از این شبیه‌سازی، تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی منطقه و تخمین میزان تغذیه آبخوان بوده است. بر اساس این مدل‌سازی مقدار هدایت هیدرولیکی از ۰/۹ تا ۱۴ متر بر روز متغیر است. حساسیت سنجی مدل برای دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه انجام شد که هر کدام از این پارامترها به اندازه ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ تغییر داده شد که سطح آب نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی بیشترین حساسیت را از خود نشان داد (Yidana *et al.* 2011).

۲-۲-۲- مدل‌سازی آبخوان‌ها در ایران

مطالعات مدل‌سازی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۸ خورشیدی توسط سازمان خوار و بار جهانی انجام شده است. در پی این مطالعات مدل ریاضی دشت ورامین تهیه شد و در ادامه تعدادی مدل با همکاری مشاورین فرانسوی تهیه شده است. از آن به بعد تعداد زیادی آبخوان در سراسر کشور توسط دانشگاه‌ها در قالب پایان‌نامه‌های دانشجویی و طرح‌های پژوهشی در مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های مشاور و سازمان‌های آب منطقه‌ای شبیه‌سازی شده‌اند.

جریان آب زیرزمینی دشت فشاویه با استفاده از مدل Modflow شبیه‌سازی شد. مدل ابتدا برای مهر ماه ۱۳۷۶ در حالت پایدار برای ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای اجرا گردید و پارامترهای ضرایب هیدرودینامیکی و تغذیه و تخلیه تصحیح گردیدند. سپس مدل برای ۳۶ دوره زمانی یک ماهه اجرا گردید. مقایسه بین سطح

ایستابی مشاهداتی و نتایج شبیه‌سازی حاکی از واسنجی دقیق مدل می‌باشد. و می‌توان از آن به عنوان یک مبنای مناسب برای ساخت مدل منابع آبی دشت فشاویه در دوره‌های بلند مدت بهره‌گرفت (رسولی ۱۳۸۰).

برای بررسی تأثیر احداث تونل متروی شهر اصفهان بر جریان آب زیرزمینی، آبخوان آزاد این شهر با استفاده از نرم‌افزار PMWIN شبیه‌سازی شد. در شرایط پایدار پارامترهای هیدرودینامیکی تعدیل و تصحیح گردید و سپس نتایج حاصله در مرحله بعد در شبیه‌سازی آبخوان در حالت ناپایدار به کار گرفته شد تا نوسان سطح ایستابی آب زیرزمینی در طی زمان و تحت تأثیر عملیات احداث تونل و دیواره نفوذ ناپذیر دو سمت آن پیش‌بینی گردد. مدل‌سازی نشان داد که احداث تونل به قطر ۶ متر به موازات یکدیگر و یا احداث تنها یک تونل به قطر ۹ متر تأثیر بسزایی بر نوسان سطح ایستابی آب زیرزمینی نخواهند داشت (کتیبه و چیت‌سازان ۱۳۸۱).

به منظور تهیه بیلان آب برای تعیین تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی دشت ایرانشهر (سیستان بلوچستان) تغییرات حجم سفره با استفاده از معادله بیلان به طور دستی و سپس تغییرات حجم با استفاده از نرم افزار PMWIN شبیه‌سازی شد. نتایج خروجی مدل نشان داد که در بیلان آب محاسبه شده خروجی سالانه نسبت به ورودی سالانه بیشتر است که این کاهش ذخیره سفره با سیر نزولی هیدروگراف واحد دشت و بیلان دستی مطابقت دارد (شهابی فرد و همکاران ۱۳۸۱).

برای مدیریت بهتر منابع آب زیرزمینی دشت رامهرمز (استان خوزستان) مدل مفهومی دشت با استفاده از نرم‌افزار Modflow تهیه و با استفاده از برنامه Pest واسنجی خودکار مدل اجرا شد. در نهایت گزینه‌های مختلف مدیریتی شامل ادامه روند کنونی برداشت، توسعه‌ی آبخوان با حفر چاه‌های جدید، تأثیر زهکش‌ها و آبیاری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با ادامه روند کنونی برداشت از نظر مدیریتی گزینه قابل قبولی نمی‌باشد (چیت‌سازان و ساعت‌ساز ۱۳۸۴).

آبخوان دشت بهبهان با استفاده از GIS و انترفاز GMS مدل‌سازی شد. پس از ساخت پایگاه اطلاعاتی، جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات مورد نیاز، تهیه مدل مفهومی سیستم آبخوان دشت بهبهان در محیط GMS انجام شد. مدل برای دو حالت پایدار و ناپایدار واسنجی شد و آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای مختلف نظیر هدایت هیدرولیکی و تغذیه انجام شد (شهسواری و همکاران ۱۳۸۴).

تأثیر پخش سیلاب را در تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی دشت موسیان واقع در استان ایلام با استفاده از مدل Modflow مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل بر اساس اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای در حالت پایدار واسنجی شد خروجی مدل در حالت پایدار مبنای مدل‌سازی در حالت ناپایدار قرار گرفت. شبیه‌سازی آبخوان تا سال ۱۴۰۰ نشان داد که آبخوان مذکور با وجود عملیات تغذیه مصنوعی همچنان با افت سطح ایستابی مواجه است (فضل‌اولی و همکاران ۱۳۸۵).

با استفاده از نرم‌افزار Modflow 5.3 مدل کیفی آبخوان شهر ری برای اثرات نیترات بر آب زیرزمینی تهیه شد. در این مدل‌سازی اطلاعات نیترات چاه‌های شرب شهر ری از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۸۲ جمع‌آوری و به فرمت ورودی نرم‌افزار تبدیل شد. در این مدل‌سازی ضرایب پخش شدگی طولی و عرضی، ضریب جذب و... واسنجی شد و در نهایت مدل کیفی آبخوان شهر ری تهیه شد. نتایج نشان داد که دامنه کاهش نیترات آبخوان از سمت غرب و جنوب غرب به سمت مناطق مرکزی شهر گسترش خواهد یافت (احتشامی و همکاران ۱۳۸۵).

آبخوان دشت شیروان با استفاده از نرم‌افزار PMWIN شبیه‌سازی شد. و تأثیر عوامل مختلفی مثل تغذیه، پمپاژ و ... بر آبخوان به منظور مدیریت بهتر آبخوان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج مدل بیلان آبخوان برای سه سال واسنجی روندی افزایشی داشته که علت آن گسترش شبکه آبیاری سد و افزایش بارندگی می‌باشد (محمدی و کرمی ۱۳۸۶).

تأثیر احداث سد دودر بر آبخوان دشت لادیز با استفاده از نرم‌افزار Modflow شبیه‌سازی و بررسی گردید. در این مدل‌سازی میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از شبیه‌سازی آبخوان، مدل برای دو سال آبی آینده مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مکان برای تزریق آب جمع‌آوری شده در پشت سد شناسایی شد (سالاری ۱۳۸۶).

به منظور بررسی اثرات احداث سد تنگوئیه بر دشت سیرجان (کرمان) این آبخوان با استفاده از نرم‌افزار Modflow شبیه‌سازی شد. واسنجی و تخمین پارامترهای هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار PEST صورت گرفت. کالیبراسیون مدل در یک دوره ۹ ساله و صحت‌سنجی مدل در یک دوره ۱۲ ساله صورت گرفت. میزان تغذیه دشت قبل و بعد از احداث سد تنگوئیه محاسبه گردید و مشخص گردید که احداث این سد موجب کاهش تغذیه آبخوان دشت سیرجان شده است. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که با روند برداشت کنونی از آب‌های زیرزمینی این منطقه در آینده‌ای نه چندان دور ذخیره‌ی آب شیرین این آبخوان کم شده و اکثر آب زیرزمینی منطقه با خطر شوری روبرو خواهد شد (نجف‌آبادی و رهنما ۱۳۸۶).

به منظور پیش‌بینی فرونشست دشت شهریار برای سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹ این دشت با استفاده از نرم‌افزار PMWIN مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که فرونشست در این دشت با فرض ثابت بودن بهره‌برداری از چاه‌ها روندی افزایشی دارد (فتوت‌اسکندری و کرمی ۱۳۸۷).

با استفاده از داده‌های حفاری، چاه‌های اکتشافی و نتایج ژئوفیزیکی، و با استفاده از نرم‌افزار GMS، مدل مفهومی دشت تبریز تهیه شد و پس از ساختن مدل مفومی دشت مدل برای مهرماه ۱۳۸۳ به دو روش معکوس و مستقیم کالیبره شد. بعد از کالیبره کردن مدل، تفاوت اندکی بین مقدار مشاهده شده و مقدار محاسبه شده مشاهده گردید (اعتباری و همکاران ۱۳۸۷).

تأثیر خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی دشت میداود (استان خوزستان) با استفاده از مدل Modflow شبیه‌سازی شد. در گام اول مدل آب زیرزمینی آبخوان با استفاده از برنامه کامپیوتری PMWIN با توجه به اطلاعات سال ۸۴-۸۵ شبیه‌سازی گردید. مقدار ذخیره و بیلان آب زیرزمینی محاسبه شد. گام بعدی وارد کردن اطلاعات سال ۸۶-۸۷، که مقدار ریزش‌های جوی بسیار کاهش یافت، می‌باشد. در این حالت نیز مقدار ذخیره و بیلان آب زیرزمینی محاسبه شد. در نهایت مقادیر آنها با هم مقایسه گردید و مشاهده شد که ذخیره آبخوان از مقدار ۶۱۲ میلیون مترمکعب در سال آبی ۸۴-۸۵ به مقدار ۵۹۱/۶ میلیون مترمکعب در سال آبی ۸۶-۸۷ کاهش یافته است (عطایی‌زاده و چیت‌سازان، ۱۳۸۸).

دشت حصاروییه در فاصله تقریبی ۶۵ کیلومتری غرب شهرستان زاهدان واقع می‌باشد. در سال‌های اخیر بدلیل استحصال بی‌رویه از چاه‌های بهره‌برداری ضمن نامطلوب شدن کیفیت آب، سطح آبخوان نیز بطور مداوم کاهش یافته است. ابتدا با نتایج حاصل از آزمون پمپاژ، لاگ زمین‌شناسی چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی، مقاطع زمین‌شناسی، هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای، سونداژهای ژئوالکتریکی و بازدیدهای صحرائی، ارزیابی هیدروژئولوژیکی در دشت انجام گرفت. با در نظر گرفتن مدل تفهیمی آبخوان و تهیه کلیه فایل‌های ورودی کالیبراسیون مدل عددی ۲,۶ Modflow برای شرایط پایدار به منظور بهینه نمودن مقادیر پارامتر نفوذپذیری و جریان ورودی از مرزها انجام گردید. در ادامه کالیبراسیون مدل برای شرایط ناپایدار، ابتدا مقادیر پارامتر ضریب ذخیره بهینه و در دوره بعدی پارامتر نفوذ کالیبره شد. در نتیجه کالیبراسیون مدل به مدت یکسال (آبان ماه ۱۳۸۱ تا آبان ماه ۱۳۸۲) و صحت‌سنجی آن به مدت چهار سال صورت پذیرفت که نتایج حاصله بیانگر توانایی مدل در کارهای مدیریتی است (شفیعی مطلق ۱۳۸۸).

جهت ارائه شیوه‌ای صحیح در مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان گریگان فسا از مدل Modflow استفاده شد. شرایط مرزی و شبکه‌بندی آبخوان توسط GIS تعیین و سپس با استفاده از اطلاعات

هیدرولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی و چاه‌های پیژومتری، آبخوان مدل‌سازی گردید و مدل در شرایط پایدار برای اسفند ۱۳۵۷ و ناپایدار در ۳۳ دوره تنش از سال ۱۳۷۱ تا سال ۱۳۸۷ واسنجی شد. نتایج حاصل از واسنجی نشان داد که مدل با دقت بسیار بالایی واسنجی شده است (طایی‌سمیرمی و فاتحی‌مرج ۱۳۸۹).

مدل‌سازی دشت سرزه رضوان واقع در استان هرمزگان به دلیل اهمیتی که از لحاظ کشاورزی، معیشتی و کیفیت آب دارد جهت برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و محاسبات بیلان آبی در شرایط ماندگار با استفاده از مدل Modflow انجام گرفت. مدل در یک دوره زمانی ۳۰ روزه در شرایط ماندگار برای تصحیح هدایت هیدرولیکی و در یک دوره زمانی ۹۰ روزه در شرایط غیرماندگار برای تصحیح ضریب ذخیره آبخوان واسنجی شد. جهت واسنجی مدل برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره آبخوان از کد PEST استفاده شد (پورجنایی ۱۳۹۰).

تأثیر انتقال آب از سد چغاخور به آبخوان دشت بروجن با استفاده از GMS مدل‌سازی شد. در این تحقیق مدل کمی آب زیرزمینی این دشت بر اساس نتایج مطالعات هیدروژئولوژی تهیه شد. مدل برای شرایط طرح از مهر ۱۳۸۷ شروع شده و تا یک بازه زمانی ۱۰ ساله ادامه می‌یابد. برای تصدیق مدل‌سازی سناریوهای در نظر گرفته شده برای بازه زمانی ده ساله اجرا شده است و بر اساس نتایج خروجی مدل در سال دهم، وضعیت آبخوان در آینده تعیین شد (خلیلی و همکاران ۱۳۹۰).

با استفاده از GMS نفوذ آب زیرزمینی به قطعه شرقی - غربی تونل خط هفت متروی تهران مدل‌سازی شد. با استفاده از این مدل‌سازی میزان نرخ نفوذ آب به تونل خط هفت مترو تهران تخمین زده شد. از عوامل تأثیرگذار بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و در نهایت بر میزان نشت به تونل، تراکم و میزان پمپاژ چاه‌ها، میزان فاضلاب، بارش و نفوذ پذیری می‌باشد (ناصری و همکاران ۱۳۹۰).

دشت بیرجند با قرار گرفتن در منطقه خشک، استفاده از آب‌های زیرزمینی را به عنوان مهمترین و در عین حال تنهاترین منبع تولید آب شیرین در پیش رو دارد در همین زمینه پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های بعدی جهت تأمین دراز مدت آب شرب کشاورزی و صنعت نماید. به همین خاطر سطح ایستابی دشت بیرجند با استفاده از GMS کد Modflow روش تفاضل محدود مدل‌سازی شد. مدل برای دو حالت پایدار و ناپایدار و در سه سناریوی ترسالی، نرمال و خشکسالی اجرا و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مدل‌سازی و مقایسه سناریوها نشان داد که سطح آب به دلیل برداشت بی‌رویه آب چه در سال‌های خشکسالی و چه در سال‌های ترسالی همواره با افت مواجه است (اکبریور و دهقانی ۱۳۹۰).

جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت نهاوند با استفاده از نرم‌افزار GMS کد عددی Modflow-2000 شبیه‌سازی شد. پس از شبیه‌سازی اولیه جریان، مدل با استفاده از روش سعی و خطا و روش تخمین پارامتر برای حالت پایدار کالیبره شد. هدف از این مدل‌سازی تخمین پارامترهای هیدرولیکی آبخوان دشت نهاوند، تخمین تغذیه به آب‌های زیرزمینی و همچنین میزان آب زهکشی شده توسط رودخانه گاماسیاب در ماه‌های خشک و تر بوده است (محب‌زاده و بانژاد ۱۳۹۰).

به منظور شناسایی خصوصیت هیدروژئولوژیکی و مدیریت بهتر آبخوان دشت بزمان یکی از زیر حوزه‌های هامون جازموریان با استفاده از نرم‌افزار GMS کد عددی Modflow مدل‌سازی شد. سپس مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار مورد ارزیابی قرار گرفت. از مهم‌ترین نتایج این مدل‌سازی تصحیح و بهینه‌سازی ضرائب هیدرودینامیکی S , K بود. نتایج مدل‌سازی توسط نرم‌افزار GMS نشان داد که با ادامه روند کنونی برداشت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی به مرور از ابتدای دوره تا انتهای دوره پیش‌بینی، سطح آب زیرزمینی با افت شدیدی مواجه خواهد شد. این افزایش افت در اطراف چاه‌های بهره‌برداری مشهودتر است (مهدوی و اسدی ۱۳۹۰).

یکی از منابع عمده تغذیه دشت شاهرود چاه‌های فاضلاب موجود در سطح شهر شاهرود می‌باشد. با توجه به اینکه قرار است در آینده‌ای نزدیک، طرح جمع‌آوری فاضلاب‌ها در سطح شهر شاهرود اجرا گردد بنابراین جهت پیش‌بینی تأثیر طرح جمع‌آوری فاضلاب، آبخوان دشت شاهرود با استفاده از نرم‌افزار GMS کد عددی Modflow مدل‌سازی شد. این مدل‌سازی در دو سناریو مورد ارزیابی قرار گرفت: در سناریو اول تغییرات سطح آب در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ بعد از اجرای طرح فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی نشان داد که بعد از اجرای طرح فاضلاب سطح آب زیرزمینی در اکثر چاه‌های مشاهده‌ای به مقدار قابل توجهی پایین می‌آید. در سناریوی دوم اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری موجود در محدوده مدل به اندازه بیلان منفی انجام شد و نتایج این سناریو نشان داد که با اصلاح دبی چاه‌ها سطح آب زیرزمینی در بیشتر پیزومترها افزایش می‌یابد (ملکی و کرمی ۱۳۹۰).

با استفاده از نرم‌افزار GMS رابط کاربری Modflow اثرات آبرسانی سد تلوار بر آبخوان دشت همدان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از داده‌های سطح آب مهرماه ۱۳۸۷ در حالت پایدار و آبان‌ماه ۱۳۸۷ تا مهرماه ۱۳۸۸ در حالت ناپایدار برای واسنجی مدل استفاده شد. در مرحله واسنجی از کد کامپیوتری PEST برای تخمین ضرایب هیدرودینامیکی استفاده شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که طرح آبرسانی از سد تلوار به دشت همدان - بهار می‌تواند مفید و تأثیرگذار باشد و از ادامه روند افت سطح آب در منطقه جلوگیری نماید (فتحی و ناصری ۱۳۹۱).

همانطور که در بالا ذکر گردید امروزه مدل‌های شبیه‌سازی آب زیرزمینی به طور عمده برای آنالیز و تصمیم‌گیری در دامنه وسیعی از مسائل آب زیرزمینی استفاده می‌شوند. این مدل‌ها برای بررسی پارامترهای هیدروژئوشیمی و پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه)، اثرات احداث سدها بر روی سطح آب زیرزمینی، برآورد میزان تغذیه، تعیین نوسانات سطح آب زیرزمینی، تعیین جهت جریان، مدیریت آبخوان انتقال آلودگی و ... به کار می‌رود.

فصل سوم: مدل‌های آب زیرزمینی

و معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی

۳-۱- مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت درجهان، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از آبخوان‌ها باعث وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری به منابع طبیعی شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان‌ها تحمیل می‌کنند که برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌ها قرار گیرد. در این رابطه، مدل ریاضی در صورت شناخت درست و به شرط آماده بودن زمینه، می‌تواند به عنوان یک ابزار کارا در اختیار مدیران قرار گیرد. در سال‌های اخیر، تهیه مدل آب‌های زیرزمینی به صورت بخش عمده‌ی تعداد زیادی از پروژه‌های مربوط به بهره‌برداری، حفاظت و پاکسازی آب‌های زیرزمینی درآمده است. با ادامه پیشرفت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه و تهیه‌ی سهل‌تر آن‌ها، نقش مدل‌ها در علوم کمی زمین، نظیر هیدرژئولوژی نیز افزایش می‌یابد. اما ضروری است که هر نوع مدل آب‌های زیرزمینی تفسیر شود و به طور مناسبی مورد استفاده قرار گیرد. در این فصل انواع مدل‌های آب زیرزمینی معرفی گردیده است.

۳-۲- تعریف مدل

مدل به مفهوم نمایش یک پدیده حقیقی و یا نمایش مادی یک پدیده است که هدف آن واضح ساختن رفتار پدیده حقیقی تحت شرایط خاص می‌باشد. مدل ابزاری است که برای نشان دادن و نمایش ساده‌تر

واقعیت طراحی شده است. به طور مشابه مدل‌های آب زیرزمینی نشان دهنده واقعیت بوده که اگر به درستی ساخته شود می‌تواند به عنوان یک ابزار و وسیله برای پیش‌بینی و مدیریت منابع آب زیرزمینی استفاده شود. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی ابزاری قدرتمند برای مدیریت منابع آب، حفاظت و اصلاح می‌باشد. در مبحث آب‌های زیرزمینی، مدل توسط محققین به صورت‌های مختلف تعریف شده‌است که تمام تعاریف در مفهوم مشابه می‌باشند. مدل‌های آب زیرزمینی بسته به اهداف مدل‌سازی برای پیش‌بینی رفتار یک سیستم قبل از اجرای یک طرح یا برای اجرای طرح حمایت از تصمیم‌گیری در مورد مدیریت و تعیین کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳- انواع مدل‌های آب زیرزمینی

یک سامانه آب زیرزمینی متشکل از مجموعه‌ای از فرآیندها و پدیده‌های فیزیکی است که بیان کمی و کیفی فرآیندها و شناخت رفتار سامانه از طریق معادلات حاکم و مدل‌ها صورت می‌گیرد. در شناخت رفتار سامانه‌های آب زیرزمینی تاکنون از انواع مختلف مدل‌ها از قبیل مدل‌های فیزیکی و مدل‌های ریاضی استفاده شده‌است. انواع متعددی از مدل‌ها برای مطالعه سیستم جریان آب‌های زیرزمینی استفاده شده‌است که به سه دسته مدل فیزیکی، مدل‌های آنالوگ (مدل سیال ویسکوز و مدل الکتریکی) و مدل‌های ریاضی تقسیم می‌شود. مدل، خواص زمانی و مکانی یک سیستم یا بخش‌هایی از آن را به صورت فیزیکی (واقعی) یا ریاضی (انتزاعی) شبیه‌سازی می‌کند.

۳-۳-۱- مدل فیزیکی

مدل فیزیکی عبارت است از نمونه‌ای از یک شی یا دستگاه که می‌تواند در مقیاس کوچکتر یا بزرگتر از آن شی یا دستگاه ساخته شود. مدل‌های فیزیکی، نمونه‌های مشابه با سیستم حقیقی می‌باشند که خصوصیات فیزیکی مشابه با سیستم اصلی داشته و یا دارای معادله حاکم متناظر می‌باشند. مدل‌های فیزیکی به خاطر اینکه شرایط طبیعی عموماً پیچیده است و استفاده از این مدل‌ها مشکلات و هزینه‌های زیادی در بر دارد

لذا استفاده از این نوع مدل سازی توصیه نمی شود. مخزن پر شده از ماسه و اشباع شده از آب، مثالی از یک مدل فیزیکی است که همانند یک آبخوان آزاد یا گسترش محدود است.

۳-۳-۲- مدل های هیبریدی

همراهی یک مدل دیجیتال و تشابهی (Analog) به عنوان یک مدل هیبرید شناخته می شود. این قبیل مدل ها جهت کاهش زمان اجرای کامپیوتر مفید هستند. در مدل های کامپیوتری هیبرید داده های ورودی از قبیل: منابع تغذیه و تخلیه، خصوصیات سفره و مرزها در شکل الکتریکی به وسیله یک مبدل آنالوگ-دیجیتال بیان می شوند. این تطابق برای حل مسائل تکرار زیاد از قبیل جریان های غیر پایدار در سفره های غیر تحت فشار بسیار کاربردی و مفید می باشد.

۳-۳-۳- مدل ریاضی

مدل هایی که در آنها توصیف اجزای جریان آب زیرزمینی با استفاده از معادلات ریاضی صورت می گیرد، مدل ریاضی نامیده می شود. بسته به نوع معادلات، مدل های مذکور را می توان تجربی (آزمایشی)، احتمالاتی و علت و معلولی (معین) تقسیم بندی کرد.

الف) مدل های تجربی

حاصل داده های تجربی هستند که بر نوعی معادله ی ریاضی برازش داده می شوند. قانون داری مثال خوبی در این مورد است. اگر چه مدل های تجربی قلمروهای محدودی دارند و در محل و یا در مورد مشکل خاصی مورد استفاده قرار می گیرند ولی می توانند بخش مهمی از یک مدل پیچیده عددی را تشکیل دهند.

ب) مدل‌های احتمالاتی

براساس قوانین احتمالاتی و آماری می‌باشند. این مدل‌ها می‌توانند دارای شکل‌ها و پیچیدگی‌های گوناگونی باشند که از توزیع احتمالاتی ساده‌ی یک خاصیت هیدروژئولوژیک مورد نظر، شروع و به مدل‌های پیچیده‌ی استوکاستیک (تصادفی) وابسته به زمان ختم شوند.

ج) مدل‌های علت و معلولی (معین)

فرض بر آن است که واکنش‌های آتی سیستم (آبخوان) مورد مطالعه، با قوانین فیزیکی حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی تعیین شوند. اغلب مسائل در هیدروژئولوژی متعارف با استفاده از مدل‌های معین ساده، مانند معادله‌ی تاپس یا مدل‌های معین پیچیده، مانند جریان چند فازه‌ی عبوری از یک سیستم چند لایه‌ی غیرهمگن یا ناهمسان حل می‌شوند. مدل‌های معین، براساس معادله‌ی ریاضی که در آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد به دو گروه عمده تحلیلی (Analytical) و عددی (Numerical) تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱- تحلیلی

این مدل‌ها براساس معادلات محض ریاضی حل می‌شوند. مدل‌های تحلیلی هر بار یک معادله‌ی جریان آب را حل می‌کنند که نتیجه‌ی آن می‌تواند در یک نقطه یا خطی از نقاط، در میدان جریان مورد تحلیل به کار گرفته شود. مدل‌های تحلیلی، حل دقیق معادله انتشار را در حالت‌های ساده یا ساده‌سازی شده در اختیار قرار می‌دهند. این مدل‌ها ساده و سریع بوده و امکان انجام رگرسیون غیرخطی بر روی پارامترهای آن وجود دارد. مدل‌های تحلیلی در حقیقت حالات خاص و ساده‌ای از معادله انتشارند که به روش‌های تحلیلی به دست آمده‌اند.

۲- عددی

مدل‌های عددی، توصیف کننده‌ی تمام میدان جریان مورد نظر به طور هم‌زمان می‌باشند، به شرط آنکه برای تمام نقاط مشخص شده توسط کاربر، حل ریاضی وجود داشته باشد. منطقه‌ی مورد نظر، به تعدادی

منطقه‌ی کوچکتر که اغلب سلول یا المان نامیده می‌شود، تقسیم می‌گردد و یک معادله پایه جریان برای هر سلول (المان) که غالباً بیلان آبی آن (ورود و خروج آب) مورد نظر قرار می‌گیرد، حل می‌شود. حل مدل عددی، منجر به تعیین بار هیدرولیکی در نقاط مشخص کننده‌ی سلول‌های انفرادی می‌گردد. این نقاط را می‌توان در مرکز هر سلول، در محل‌های تقاطع سلول‌های مجاور و یا هر محل دیگر قرار داد. معادله‌ی دیفرانسیل پایه‌ای جریان آب‌های زیرزمینی، توسط یک معادله جبری جایگزین می‌شود به طریقی که تمام میدان جریان توسط x معادله با x مجهول که در آن x نشان دهنده تعداد سلول‌هاست، مشخص می‌شود. سیستم معادلات جبری مذکور، به صورت عددی از طریق فرایند تکرار حل می‌گردد و به همین جهت، این نوع مدل‌ها را "مدل‌های عددی" می‌نامند.

حل مدل‌های عددی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد. روش‌های مستقیم متعددی برای حل دستگاه معادلات خطی وجود دارد. معمولاً حل عددی معادله حاکم بر حرکت آب‌های زیرزمینی با کاربرد روش‌های متداول عددی منجر به حل یک دستگاه معادلات خطی شامل N معادله و N مجهول می‌شود. کاربرد روش‌های عددی مستقیم عملاً زمانی امکان‌پذیر می‌باشد که تعداد معادلات (N) زیاد نباشد، زیرا با افزایش تعداد معادلات:

الف- میزان حافظه مورد نیاز کامپیوتر به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که این افزایش متناسب با N^2 می‌باشد.

ب- حجم محاسبات نیز متناسب با N^3 افزایش می‌یابد.

افزایش حجم محاسبات نخست باعث افزایش حافظه مورد نظر کامپیوتر می‌شود. دوم این که باعث افزایش خطاهای محاسباتی ناشی از گرد شدن اعداد می‌شود. این مسئله به‌ویژه در بررسی جریان‌های ناماندگار دارای اهمیت می‌باشد، زیرا در این روش بار هیدرولیکی محاسبه شده در هر گام زمانی به عنوان شرایط اولیه برای گام زمانی بعدی در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه جمع شدن اشتباهات سیستماتیک به سرعت با تعداد معادلات و تعداد فاصله‌های زمانی افزایش می‌یابد و منجر به جواب‌های نادرست می‌شود.

در روش‌های غیرمستقیم (تکراری) متداول محدوده مورد مطالعه به تعدادی سلول یا اجزای محاسباتی تقسیم می‌شود و معادله حاکم بر پدیده مورد نظر به وسیله روابط تقریبی بر روی سلول‌ها جانشین می‌شود که این معادلات هم در داخل حوضه و هم در شرایط مرزی صادق می‌باشند. در روش اجزای مرزی که به نام‌های روش معادله انتگرال روش انتگرال مرزی نیز مطرح می‌باشد، سطوح خارجی یا مرزهای حوضه به تعدادی اجزا تقسیم می‌شود و تغییرات کمیت فیزیکی موردنظر (به عنوان مثال بار هیدرولیکی (h)) در روی این اجزا تعیین می‌شود. اساس این روش بر اساس استفاده از یک تابع تقریبی استوار می‌باشد که در معادلات حاکم بر میدان مورد مطالعه صادق می‌باشد ولی در روابط شرایط مرزی صدق نمی‌کند. در این صورت معادلات حاکم در داخل حوضه صفر خواهد شد و فقط حل معادلات شرایط مرزی باقی خواهد ماند. تاکنون روش‌های غیرمستقیم متعددی توسط محققین در مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مطرح شده است که برخی از آنها عبارتند از

- روش تفاضل محدود (Finit difference)

- روش اجزا محدود (Finit elements)

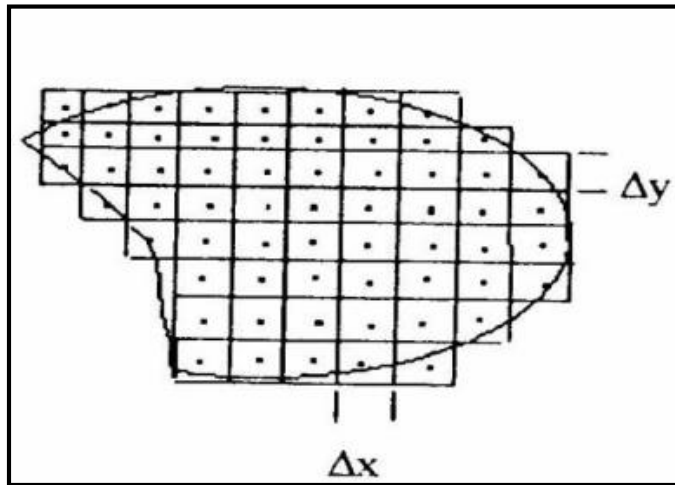
- معادله انتگرال‌گیری مرزی (Boundary integral equation)

- المان‌های تحلیلی (Analytic elements)

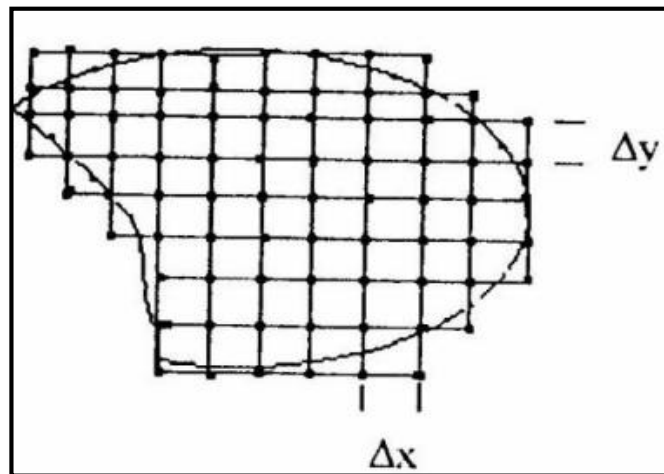
که در این میان روش تفاضل‌های محدود (Finite Differences Method) و روش عناصر محدود (Finite Element Method) نسبت به بقیه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. توضیح مختصری در مورد هر کدام از این روش‌ها در زیر آمده است:

الف) روش تفاضل‌های محدود (FDM)

در روش تفاضل محدود دامنه مدل به سلول‌های چهار ضلعی مربع یا مستطیل شکل تقسیم می‌شود. این شبکه‌ها می‌توانند با هم برابر یا نابرابر باشند این روش بایستی محل نقاط تعیین گردد که این نقاط گره‌ها می‌توانند در مرکز چهار گوش‌ها (Block Centered) یا در محل تقاطع خطوط شبکه (Centered Mesh) واقع شوند (شکل ۳-۱ و ۳-۲).



شکل ۳-۱- شبکه بندی تفاضل محدود Block centered (Wang and Andersson, 1982)

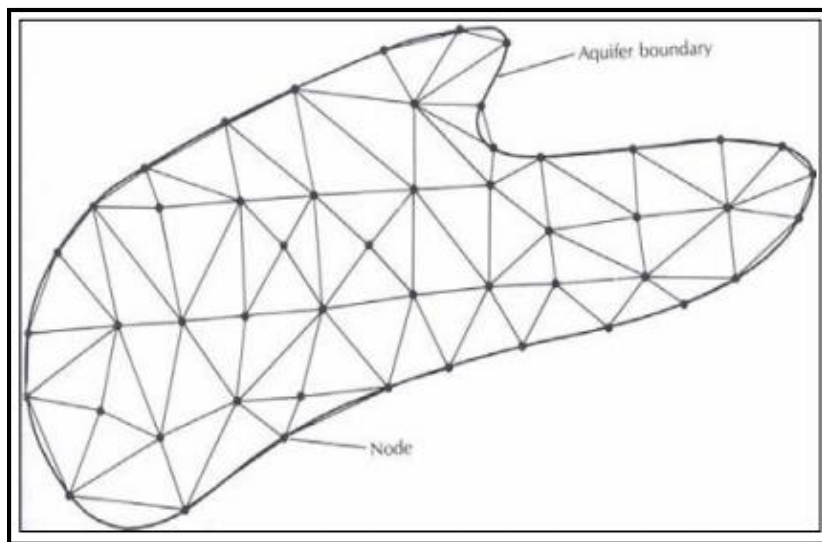


شکل ۳-۲- شبکه بندی تفاضل محدود Mesh centered (Wang and Andersson, 1982)

ب) روش عناصر محدود (FEM)

در این روش سیستم آب زیر زمینی به شبکه‌های چند ضلعی به ویژه مثلثی تقسیم می‌شود و عناصر یا المان‌های مختلفی باید تعیین شوند. این المان‌ها به وسیله گره‌ها تعیین می‌گردند و می‌توانند به صورت منظم یا نامنظم باشند. این گره‌ها ممکن است در محل تقاطع چند ضلعی‌ها و به ندرت در درون آنها در

وسط اضلاع در نظر گرفته شوند. در واقع این گره‌ها، نقاطی هستند که در آنها پارامترهای مجهول محاسبه خواهد شد لذا محدوده مورد نظر به وسیله این گره‌ها تعیین می‌شود (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳- شبکه بندی عناصر محدود (Wang and Andersson, 1982)

۳-۴- پروتکل یا روند ساخت و توسعه‌ی مدل

پروتکل مدل‌سازی شامل تمام مراحل تهیه یک مدل یعنی تعیین هدف، مراحل انتخاب کد کامپیوتری، صحت‌سنجی، طراحی مدل، واسنجی مدل، تحلیل حساسیت و پیش‌بینی می‌باشد. اهمیت انتخاب یک پروتکل مناسب در درجه‌ی اول به دلیل نقش آن در سرعت دادن به پیشرفت مدل‌سازی می‌باشد. الگوریتم‌های متعددی تاکنون توسط محققین ارائه شده است که با مروری بر منابع قابل دسترس می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم‌های ارائه شده هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت می‌باشند. مراحل پروژه مدل‌سازی و توسعه مدل به صورت مختصر توضیح داده شده است (شکل ۳-۴).

مراحل مختلف تهیه مدل ریاضی سیستم‌های آب زیرزمینی به شرح زیر است:

الف - شناخت و تعیین مشخصات سیستم مورد بررسی

ب - واسنجی یا همان‌سازی مدل با سیستم مرجع

ج - تأیید درستی عملکرد مدل

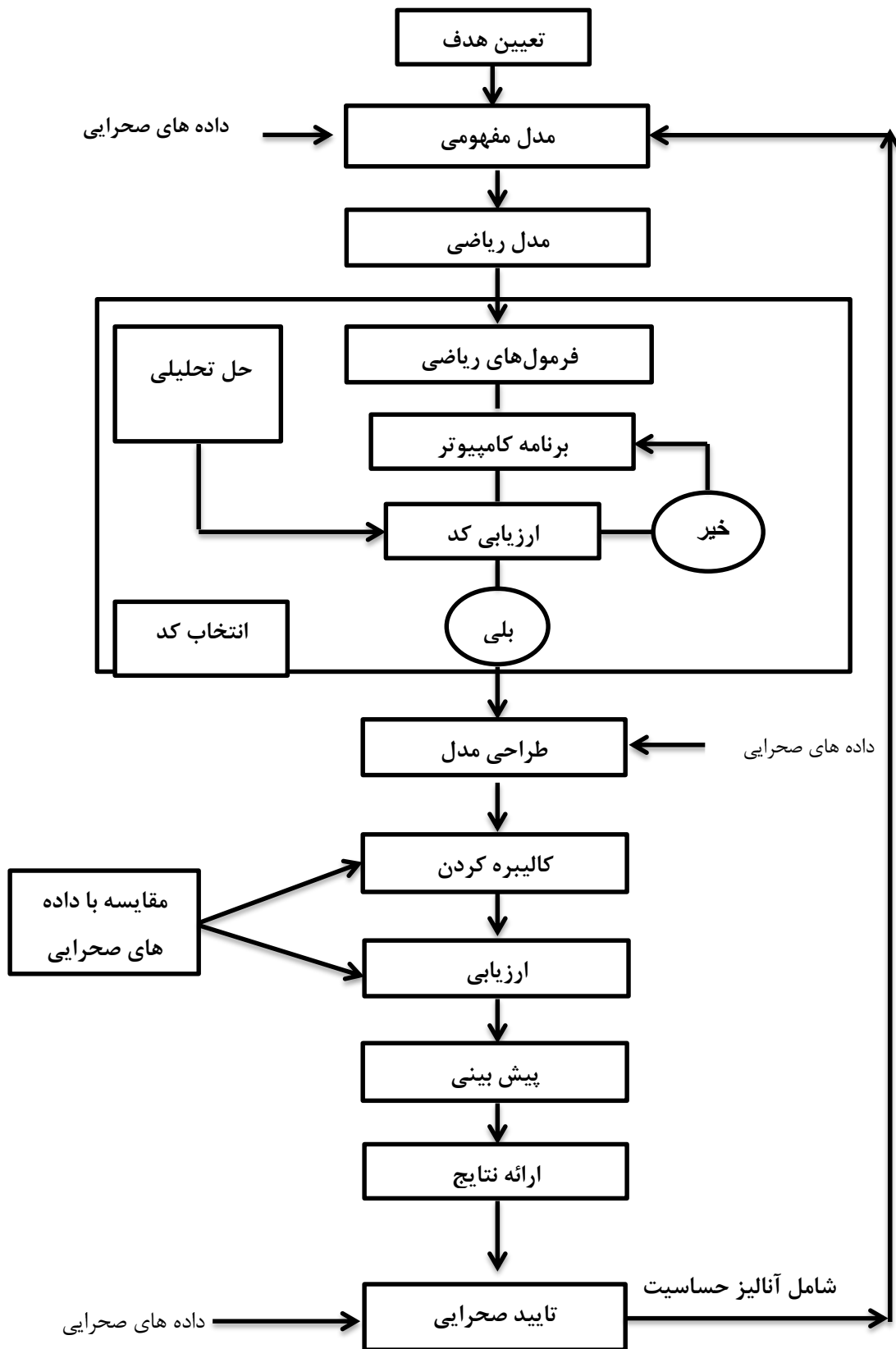
د - بهره‌برداری از مدل

مرحله اول - شناخت و تعیین مشخصات سیستم مورد بررسی

این مرحله شامل تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات، توصیف و تشریح سیستم آب زیرزمینی است و به منظور دستیابی به یک مدل مفهومی مناسب از سیستم انجام می‌شود. در این مرحله حدود، اصول و فرضیات قابل قبول که می‌توانند در آزمون‌های مختلف در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار گیرند، تعیین می‌گردد. بدیهی است، پذیرش این اصول و فرضیات و احیاناً تجدید نظر در آنها از تجزیه و تحلیل آزمون‌های مختلف در مرحله واسنجی مدل حاصل می‌شود. شایان ذکر است شناخت هرچه بیشتر و بهتر سیستم آب زیرزمینی سبب می‌شود فرضیات و اصولی مد نظر قرار گیرند که با فرآیند حاکم بر سیستم تطابق بیشتری دارند و در نتیجه مرحله واسنجی مدل با سهولت بیشتری انجام خواهد گرفت. بطور خلاصه این مرحله در نهایت منجر به تهیه یک مدل مفهومی از سیستم آب زیرزمینی و انتخاب یک یا چند سیستم مرجع می‌شود که در مرحله واسنجی و همانندسازی برای دستیابی به یک مدل ریاضی نمایانگر سیستم آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۴-۱- تعیین اهداف مدل

تعیین اهداف مدل اولین گام در مدل‌سازی است. ابتدا باید هدف از مدل‌سازی مشخص شود و این هدف باید به وضوح مورد بررسی قرار گیرد. برای اینکه هدف از مدل‌سازی مشخص شود باید ابتدا تعیین شود که مدل چه مسائلی باید پاسخگو باشد و یا اینکه چه موضوعی را باید بررسی کند (افت سطح ایستابی، اثر آلودگی و ...). به عبارت دیگر نیاز به مدل‌سازی مشخص شود و این که چه نیازی است که مدل‌سازی انجام شود. مدل‌های آب زیرزمینی بسته به اهداف مدل‌سازی برای پیش‌بینی رفتار یک سیستم قبل از اجرای یک طرح یا برای اجرای طرح حمایت از تصمیم‌گیری در مورد مدیریت و تعیین کیفیت آب زیرزمینی



شکل ۳-۳- مراحل مدل سازی (Anderson and Woessner 1992)

مورد استفاده قرار می‌گیرد با توجه به اهداف مدل‌سازی، نوع رویکرد مدل‌سازی ممکن است متفاوت باشد.

به طور کلی اهداف مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی عبارتند از:

- ارتقای دانش هیدروژئولوژیک (تولید داده)

- شبیه‌سازی آبخوان (ارزیابی رفتار کمی و کیفی آبخوان)

- طراحی راه‌حل‌های کاربردی برای رسیدن به اهداف خاص (طراحی مهندسی)

- مدیریت منابع (ارزیابی سیاست‌های موجود)

می‌توان گفت به طور کلی فعالیت‌های مدل‌سازی آب زیرزمینی به دو منظور انجام می‌گیرد:

الف) پیش‌بینی (Prediction) که وضعیت آینده آبخوان را پیش‌بینی می‌نماید.

ب) تفسیر سامانه (Interpretation) که به مواردی همچون تعیین مرزهای آبخوان، میزان آب موجود در

سامانه و میزان نفوذ می‌پردازد.

۳-۴-۲- ایجاد مدل مفهومی

این مرحله مهم‌ترین مرحله مدل‌سازی می‌باشد. این مرحله به درک کامل هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و دینامیک جریان آب‌های زیرزمینی در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه نیاز دارد. نتیجه‌ی نهایی، یک پایگاه اطلاعات رایانه‌ای و نقشه‌ها و مقاطع عرضی ساده شده‌ای است که در طراحی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع یک مدل مفهومی، نمونه ساده‌ای از سیستم آب زیرزمینی است که نمایانگر طبیعت سیستم آب زیرزمینی، ورودی و خروجی‌های آبخوان، شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی آن می‌باشد. دقت و صحت مدل عددی، به میزان دقت مدل مفهومی و شرایط خاص درون آبخوان بستگی دارد. ماهیت مدل مفهومی، ابعاد مدل عددی و طراحی شبکه را مشخص می‌کند. در هیدروژئولوژی مدل مفهومی نشان دهنده تصویر ساده شده‌ای از سیستم جریان آب زیرزمینی است که بر اساس داده‌های صحرایی جمع‌آوری شده شامل اطلاعات سطح آب، پارامترهای آبخوان، ضرایب هیدرودینامیک و بیلان آب ساخته می‌شود. در این مرحله واحدهای استراتیگرافی و مرزهای سیستم تعریف می‌شوند. ماهیت مدل مفهومی

تعیین، و اندازه فرمول عددی و طراحی شبکه است. هدف از ساخت یک مدل مفهومی ساده‌سازی مسائل صحرایی و سازماندهی کردن داده‌های صحرایی مربوطه می‌باشد. ساده‌سازی در مدل‌سازی لازم است زیرا ساختن یک مدل مفهومی پیچیده از طبیعت میسر نمی‌باشد. باید این نکته را در نظر داشت که ساده‌سازی بیش از حد، ممکن است منجر به بار آمدن نتایج منفی در تهیه مدل شود.

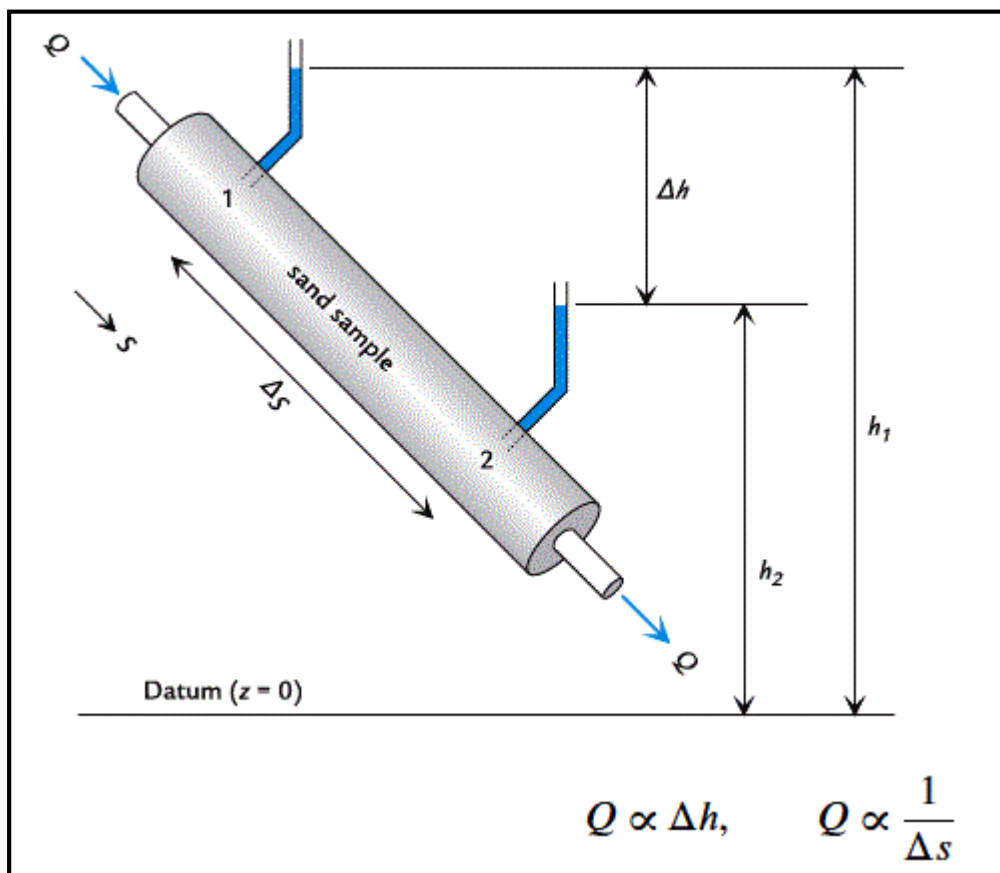
۳-۴-۳- معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی

از ترکیب قانون کلی داری و معادله پیوستگی جریان معادلات جزئی آب‌های زیرزمینی به دست می‌آید. این معادلات ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان را مشخص می‌کنند. با در دست داشتن ابعاد آبخوان، شرایط مرزی، شرایط اولیه و خصوصیات هیدرولیکی می‌توان این معادلات را حل کرد و مقادیر مجهول، میزان ارزش پتانسیل را در نقاط مختلف محاسبه کرد.

۳-۴-۱- قانون داری

هنری داری مهندس فرانسوی در سال ۱۸۵۶ در شهر دیژون (Dijon) فرانسه مشغول انجام پروژه شامل استفاده از فیلتر ماسه برای تصفیه منابع آب بود و با انجام دادن کارهای آزمایشگاهی به بررسی عوامل موثر بر جریان آب زیرزمینی در محیط‌های ماسه‌ای پرداخت وی نتایج حاصل از آزمایشات خود را که اصول اساسی جریان آب زیرزمینی است را تعریف و در یک معادله که در حال حاضر به عنوان معادله داری شناخته می‌شود مندرج کرد.

دستگاه داری از یک استوانه شیشه‌ای پر شده از شن و ماسه با سطح مقطع A و طول ΔL با یک ورودی و خروجی تشکیل شده است (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- آزمایش داریسی (Fitts, 2002)

وی در حین انجام دادن این آزمایش به این نتیجه رسید که نرخ جریان عبوری (q) از این استوانه با اختلاف هیدرولیکی (h) و سطح مقطع جریان (A) نسبت مستقیم و با طول استوانه (ΔL) نسبت عکس دارد. هنری داریسی با استفاده از این آزمایش و تعریف هدایت هیدرولیکی (k) برای مواد مختلف معادله حرکت سیال درون محیط متخلخل را به دست آورد.

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta s} \quad (1-3)$$

برای بیان دبی عبوری از عرض واحد از عبارت $q = Q/A$ استفاده می‌شود که به آن دبی ویژه یا به دلیل داشتن بعد سرعت به آن سرعت داریسی هم گفته می‌شود. در صورت یکسان بودن هدایت هیدرولیکی در

کل محیط متخلخل، دبی ویژه را می‌توان در جهات مختلف سیستم مختصاتی (x,y,z) به صورت زیر تعریف نمود.

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2-3)$$

$$q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3-3)$$

$$q_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (4-3)$$

با توجه به اینکه ویژگی‌های سفره‌های آب زیرزمینی در جهات مختلف فرق می‌کند و هدایت هیدرولیکی در جهات مختلف اختلاف دارند، بنابراین هدایت هیدرولیکی حالت برداری پیدا می‌کند. اگر محورهای ناهمسانگردی با محورهای مختصاتی هم جهت باشند، شکل قانون داری به صورت زیر تغییر می‌کند.

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad (5-3)$$

$$q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (6-3)$$

$$q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (7-3)$$

$$q = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} - K_y \frac{\partial h}{\partial y} - K_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (8-3)$$

ولی اگر در محیط‌های متخلخل جهات ناهمسانگردی با محورهای مختصاتی هم جهت نباشد، از حالت تانسوری هدایت هیدرولیکی استفاده می‌شود و شکل قانون داری به شکل زیر تغییر می‌کند.

$$q_x = -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{xy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{xz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (9-3)$$

$$q_y = -K_{yx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{yz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (10-3)$$

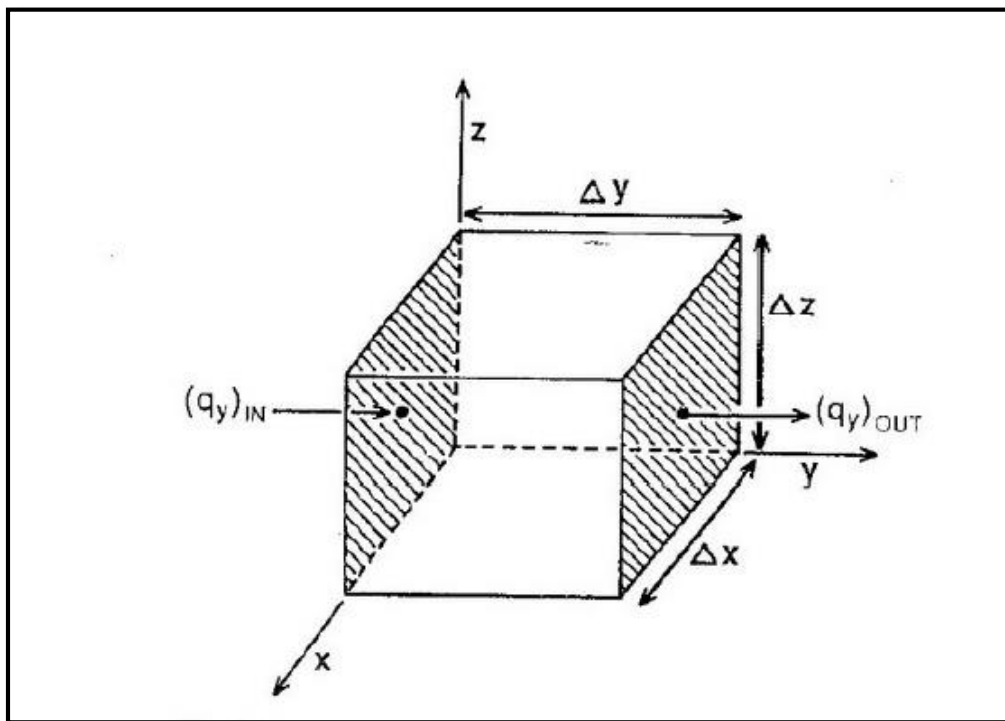
$$q_z = -K_{zx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{zy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (11-3)$$

۲-۳-۴-۳- معادله پیوستگی

چارلز اسلیکتر (Charles Slichter, ۱۸۸۹) معادلات پیوستگی برای جریان سیالات درون یک حجم ثابت یا حجم کنترل شده را به صورت زیر تعریف کرد:

$$q(\text{in}) - q(\text{out}) = \Delta S \quad (12-3)$$

این معادله بیان می‌کند که مجموع تمامی جریان‌های داخلی $q(\text{in})$ منهای تمامی جریان‌های خارجی $q(\text{out})$ باید معادل با تغییرات حجم ذخیره (ΔS) سیال داخل حجم ثابت باشد. شکل ۳-۵ مفهوم معادله پیوستگی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵- نمایش مفهوم معادله پیوستگی (Anderson and Woessner 1992)

الف) - معادله پیوستگی برای جریان پایدار

برای شرایط جریان ماندگار ضرورت اصلی پیوستگی این است که مقدار جریان ورودی به قطعه‌ای مشخص برابر مقدار جریان خروجی از آن بوده و همچنین ارتفاع تابع زمان نمی‌باشد.

مکعبی بسیار کوچک را با ابعاد $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ در نظر می‌گیریم (شکل ۳-۵) توازن جرمی با جمع کردن اجزاء ورودی و خروجی جریان در سه جهت حاصل می‌شود. به طور مثال q نشان دهنده حجم جریان بر واحد سطح از طرف چپ مکعب می‌باشد. دبی جریان از جهت چپ به راست در مکعب مورد نظر برابر با حاصل ضرب مقدار جریان به ازاء واحد سطح در مقطع مربوط یعنی $\Delta z \Delta x$ می‌باشد که از سطح مذکور

جریان برقرار می‌گردد. در طرف راست q_y به اندازه $\Delta y \left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\right)$ از جریان ورودی (سمت چپ) متفاوت می‌باشد. در نتیجه تغییر واقعی مقدار جریان در امتداد y عبارت است از

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x}\right)\Delta y(\Delta x \cdot \Delta z) = \left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\right)\Delta V \quad (13-3)$$

در امتداد محورهای x و z نیز روابط مشابهی برقرار است. طبق قانون بقا جرم مجموع تغییرات در سه جهت باید مساوی صفر شود یعنی :

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x}\right)\Delta V + \left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\right)\Delta V + \left(\frac{\partial q_z}{\partial z}\right)\Delta V = 0 \quad (14-3)$$

در صورت تقسیم فرمول (۱۴-۳) به واحد حجم مکعب ΔV خواهیم داشت :

$$\left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right] = 0 \quad (15-3)$$

عبارت سمت چپ معادله (۱۵-۳) نشان‌دهنده تغییرات حجم جریان به ازاء واحد حجم می‌باشد.

ب) - معادله پیوستگی برای جریان ناپایدار

$$\left[\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z}\right] = \rho(\alpha + n\beta) \frac{\partial p}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z \pm Q_s \quad (16-3)$$

که در آن q آب تخلیه‌ی تغذیه‌ای در واحد حجم، p فشار حفره‌ای یا فشار بار پی‌زومتری، n تخلخل محیط جریان، ρ جرم حجمی آب، α ضریب تراکم پذیری عمودی مواد جامد و β ضریب تراکم پذیری آب می‌باشد.

۳-۳-۴-۳ - معادله لاپلاس

معادله لاپلاس از تلفیق قانون دارسی و معادله پیوستگی به دست آمده و در فرم یک معادله دیفرانسیل درجه دوم ارائه می‌شود. به این ترتیب که قانون دارسی به صورت جز به جز در معادله (۱۶-۳) قرار گرفته و معادله زیر به دست می‌آید:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (17-3)$$

اگر محیط جریان همگن و ایزوتروپ باشد ($k_x=k_y=k_z=k$)، معادله لاپلاس به شکل ساده‌تری به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (18-3)$$

معادله (۱۸-۳) معادله حاکم بر جریان آب زیر زمینی در شرایط ماندگار و در محیط همگن و ایزوتروپ می‌باشد

۱- حالت ناپایدار

الف) معادله جریان در آبخوان محبوس

معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی برای شرایط محبوس در حالت ناپایدار، در یک محیط ناهمگن، آنیزوتروپ و حالت سه بعدی به صورت رابطه زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (19-3)$$

رابطه فوق، یک معادله دیفرانسیل جزئی خطی است که جواب‌های آن توزیع زمانی و فضایی ارتفاع پیژومتری را در آبخوان‌های تحت فشار ناهمگن و ناهمسان نشان می‌دهد سیستم مختصات در معادله (۱۹-۳) اختیاری نیست، بلکه باید طوری انتخاب شود که محورهای مختصات با جهت‌های اصلی هدایت هیدرولیکی هم محور باشد. در این رابطه h بار آبی با ابعاد L ، S_s ذخیره ویژه با ابعاد L^{-1} ، k هدایت هیدرولیکی با ابعاد $L T^{-1}$ ، t زمان با ابعاد T و x ، y ، z محورهای مختصات در جهات عمود بر هم می‌باشد. رابطه (۱۹-۳) برای آبخوان‌های محبوس و همگن و ناهمسان به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (20-3)$$

چنانچه آبخوان همسانگرد فرض گردد ($K_x = K_y = K_z = K$)، معادله به صورت (۲۱-۳) در می‌آید در این حالت انتخاب جهت قرار گرفتن محورهای مختصات اختیاری است. معادله (۲۱-۳) یک معادله دیفرانسیل جزئی سهمی و خطی است که در شاخه‌های متعددی از علوم مهندسی و فیزیکی بررسی می‌گردد.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (21-3)$$

برای شرایط دو بعدی، یکنواخت و همسانگرد، معادله به صورت زیر خواهد بود :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S_s}{K} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (22-3)$$

در بسیاری از موارد، می توان ضخامت آبخوان را ثابت b و جریان را به صورت افقی فرض نمود با یادآوری اینکه ضریب ذخیره حاصل ضرب ذخیره ویژه و ضخامت ($S=S_s \cdot b$) و قابلیت هدایت هیدرولیکی ($T=kb$) است معادله دیفرانسیل به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (23-3)$$

در رابطه ($23-3$) T قابلیت انتقال (Transmissivity) و S ضریب ذخیره (Storage coefficient) آبخوان می باشد.

گاهی از افت به عنوان متغیر وابسته در معادله های دیفرانسیل جریان آب زیرزمینی استفاده می شود. افت عبارت است از :

$$S = h_0 - h \quad (24-3)$$

در معادله ($24-3$) h_0 به عنوان بار هیدرولیکی اولیه یا head نامیده می شود چون $ds = -dh$ ، بنابراین این معادله به صورت زیر در می آید

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (25-3)$$

گاهی جریان هایی از آب زیرزمینی وجود دارد که در آنها میزان تغذیه تقریباً برابر با جریان خروجی است. در چنین شرایطی هیچ تغییری در ذخیره رخ نمی دهد و ارتفاع پیزومتری با زمان تغییر نمی کند از این رو:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (26-3)$$

معادله ($26-3$) به نام معادله لاپلاس مشهور است و جریان پایدار را در آبخوان تحت فشار توصیف می کند.

ب) معادله جریان در آبخوان آزاد

در آبخوان آزاد آب از طریق زهکشی فضای خالی انبساط آب و فشردگی آبخوان خارج می شود. در هنگام پمپاژ یک چاه، سطح ایستابی پایین می افتد و یک مخروط افت تشکیل می شود بیشتر آبی که به داخل

چاه وارد می‌شود بر اثر تخلیه آب آبخوان از داخل مخروط افت است. آبی که از انبساط آب و فشردگی آبخوان در زیر سطح ایستابی خارج می‌گردد نسبت به آبی که از مخروط افت خارج می‌شود ناچیز و قابل چشم پوشی است.

بنابراین تغییر در ذخیره آبخوان معادل با حاصل ضرب حجم مخروط افت در آبدهی ویژه می‌باشد. برای آبخوان‌های آزاد، با به کارگیری کمیت آبدهی ویژه (S_y) به جای ذخیره ویژه (S_s) معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی عبارت خواهد بود از

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{S_y}{K} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (27-3)$$

معادله (27-3) به معادله بوسینسک (Boussinesq) معروف است. به سبب غیر خطی بودن حل این معادله با روش‌های تحلیلی دشوار است. هنگامی که تغییرات فضایی h در مقایسه با h کوچک باشد می‌توان معادله بوسینسک را خطی نمود در این حالت می‌توان عمق جریان اشباع را با ضخامت متوسط b جایگزین نمود.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S_y}{bk} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (28-3)$$

معادله (28-3) با نام معادله بوسینسک خطی معروف است که برای جریان ناپایدار دو بعدی آزاد در شرایط همگن و همسانگرد با ضخامت اشباع ثابت به کار برده می‌شود. که به سهولت به وسیله روش‌های تحلیلی حل می‌گردد. روش‌های دیگری نیز برای خطی کردن معادله فوق وجود دارد. ورنر در سال ۱۹۵۷ رابطه $h = \sqrt{u}$ را انتخاب کرده و معادله را با $u = h^2$ به عنوان متغیر وابسته ارائه می‌دهد.

۲- حالت پایدار

در شرایط پایدار که میزان ورودی و خروجی برابر است و تحت آن هیچ تغییری در ذخیره روی نمی‌دهد بار پیژومتری با زمان تغییر نمی‌کند به این رابطه لاپلاس می‌گویند. اصولاً محل سطح ایستابی در زمان و فضا را می‌توان با حل معادله () با قرار دادن $S_s = 0$ محاسبه کرد که عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (3-29)$$

این معادله به معادله لاپلاس در آبخوان آزاد معروف است اما بر خلاف آبخوان تحت فشار سمت راست معادله به این خاطر صفر است که $S_s=0$ است و نه به خاطر اینکه جریان پایاست.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (30-3)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (31-3)$$

۳-۴-۳-۴- معادله جریان آب زیرزمینی با مؤلفه قائم

در تمام معادلات گذشته فرض بر این بود که هیچ‌گونه منبع تغذیه یا تخلیه در آبخوان وجود نداشته باشد. بر این اساس تمام آب‌های ورودی یا خروجی از آبخوان در طول مرزهای خارجی سیستم محاسبه می‌شود. در صورتی که توابع تغذیه و یا تخلیه نظیر پمپاژ چاه‌ها، نشت از طریق لایه محبوس کننده، تبخیر و تعرق از سطح آب و تغذیه طبیعی یا مصنوعی ممکن است به طور یکنواخت توزیع گردد یا نسبت به زمان و مکان در آبخوان تغییر نماید، تابع عمومی w به طرف راست معادله بوسینسک غیر خطی اضافه می‌گردد که علامت مثبت نشان دهنده تابع تخلیه و علامت منفی حاکی از تغذیه آبخوان می‌باشد. در شرایط یک بعدی یا دو بعدی یا سه بعدی، تابع w به ترتیب مبین میزان جریان به ازاء واحد طول، سطح و حجم می‌باشد و لذا معادله جریان در فضای دو بعدی و برای آبخوان آزاد عبارتست از:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \pm w \quad (32-3)$$

با به کار بردن تعادل جرم و در نظر گرفتن جریان دو بعدی افقی در آبخوان محبوس، زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{w}{K} \quad (33-3)$$

این رابطه برای شرایط همگن، همسانگرد، دو بعدی، محبوس، ناپایدار و نفوذ ثابت به صورت مؤلفه قائم حاصل شده است.

میزان نفوذ قائم (w)، یک کمیت اسکالر به ازاء واحد سطح می‌باشد که در آبخوان‌های آزاد با مؤلفه نفوذ

قائم ثابت و برای شرایط همگن، همسانگرد، دو بعدی و ناپایدار، معادله حاکم عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{S_y}{K} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{W}{K} \quad (3-34)$$

معادله مزبور برای آبخوان همگن، همسانگرد، دو بعدی، آزاد، شرایط ناپایدار و با مؤلفه نفوذ قائم ثابت برقرار می‌باشد. چنانچه به معادله حاکم بر جریان در لایه آبدار آزاد با مؤلفه نفوذ قائم در شرایط پایدار یکنواخت همگن و دو بعدی تابع W (تغذیه)، اضافه گردد، معادله پواسون حاصل می‌گردد.

همچنین معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان غیرمحبوس، در شرایط همسانگرد دو بعدی ناپایدار با وجود تغذیه و تخلیه به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R(x, y, t) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-35)$$

این معادله نیز به عنوان معادله بوسینسک معروف است که تابع $R(x, y, t)$ معرف میزان تغذیه و تابع $Q(x, y, t)$ نشان دهنده تخلیه است.

۳-۴-۴- انتخاب کد رایانه‌ای و نرم‌افزار

کد همان برنامه کامپیوتری است که شامل یک الگوریتم برای حل مدل ریاضی به روش عددی می‌باشد. در یک برنامه رایانه‌ای، مدل آب‌های زیرزمینی در سیستمی از معادلات جبری حل می‌شود. این ماتریس، تقریبی از مدل ریاضی است که توسط معادلات دیفرانسیل جریان آب زیرزمینی تدوین شده است. تفاضل محدود و عناصر محدود، دو روش متداولی هستند که تقریب‌سازی در آنها صورت می‌گیرد. انتخاب روش مورد استفاده، عمدتاً به نوع مسأله و معلومات طراح مدل بستگی دارد.

۳-۴-۴-۱- معرفی کد کامپیوتری GMS

کدهای کامپیوتری زیادی با هدف شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی از دهه هشتاد قرن بیستم توسعه یافتند که بیشتر این کدهای کامپیوتری برای حل معادلات از روش تفاضل محدود و عناصر محدود استفاده می‌کنند. معروف‌ترین کد کامپیوتری MODFLOW نام دارد که توسط مک دونالد و هاربارگ

(McDonald and Harbaugh, 1988) در سازمان زمین شناسی ایالت متحده توسعه یافته است که در حال حاضر آخرین نسخه آزاد آن MODFLOW-2005 توسط کاربران زیادی برای شبیه سازی استفاده می شود. این کد از یک سری قسمت های مجزا و مستقل تشکیل شده که هر یک از این قسمت ها دارای چندین بسته برای طراحی سیستم های هیدروژئولوژیکی می باشد و یکی از بهترین نسخه های این کد نسخه ارائه شده تحت رابط GIS است که در ارتباط با سیستم جغرافیایی به خوبی عمل می کند به طوری که از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای آماده سازی داده های مورد نیاز این نرم افزار (GIS) استفاده می شود. GIS از کامل ترین و پیچیده ترین نرم افزار مدل سازی آب های زیرزمینی در دسترس است که در یک محیط جامع و گرافیکی برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی توسط آزمایشگاه تحقیقات مدل سازی محیط زیست دانشگاه بیرگام یانگ (Brigham Young) با مشارکت مؤسسه تحقیقاتی مهندسی آب ارتش آمریکا تهیه شده است و انواع مختلف مدل های عددی را پشتیبانی می کند. GIS برای هر یک از مراحل شبیه سازی آب زیرزمینی، شامل توصیف منطقه مورد مطالعه، تهیه مدل مفهومی، ایجاد شبکه (Mesh & Grid)، واسنجی، پس پردازش (Post-processing)، مجسم سازی (Visualization)، زمین آمار (Geostatistic) و غیره، ابزار مناسب را فراهم می کند.

GIS در مدل سازی از مدل Finite difference و هم از مدل Finite element استفاده می کند. این نرم افزار، یک نرم افزار کامل و پیچیده در زمینه مدل سازی است و نسبت به بقیه نرم افزارهای مدل سازی دارای ویژگی های منحصر به فردی است که در ادامه ذکر شده است:

۱. تهیه مدل عددی Modflow به روش مدل مفهومی

۲. برخورداری از امکان وارد کردن (Import) و انتقال دادن (Export) داده های برداری و رستری GIS از Arc Info، Arc View و GRASS به نرم افزار.

۳. ابزار چک کننده مدل (Model checker) فراهم شده در GIS این امکان را فراهم آورده تا قبل از اجرا و ذخیره مدل مشکلات و مسائل احتمالی را بررسی کنیم.

۴. برخورداری از امکان ترکیب داده‌ها با استفاده از ابزار حسابگر اطلاعات (Data calculator) که قادر است از هر معادله ریاضی، مجموعه داده‌های جدیدی را ایجاد کند.

۵. برخورداری از امکان افزودن عناوین، فلش، زیرنویس و ... به نمودارهای GMS، با استفاده از ابزار ساده طراحی فراهم شده در نرم افزار GMS.

۶. برخورداری از امکان ورود و خروج فایل های DXF شامل فرمت‌های Auto cad

۷. قابلیت پشتیبانی و اجرای بسیاری از مدل‌های عددی و کدهای تحلیلی از جمله UTCHEM, NUFT

MODFLOW MT3EDMS, RT3D, SEAM3D, MODPATH, SEEP2D, FEMWATER

GMS به عنوان یک پیش‌پردازشگر و پس‌پردازشگر بسیار قدرتمند برای کد Modflow به حساب می‌آید. Modflow موجود در این نرم‌افزار قابلیت تهیه شبکه با هر دو روش مرکز شبکه‌ای و مرکز سلولی را دارد. داده‌های ورودی برای Modflow به هنگام راه‌اندازی از GMS فراخوانی می‌شوند. این نرم‌افزار دارای ساختار مدولار می‌باشد که از یک برنامه اصلی و یک سری از برنامه‌های فرعی به نام ماژول یا (Modular) تشکیل شده است. منظور از مدولار بودن برنامه این است که برنامه از قسمت‌های مجزا و مستقل تشکیل شده است که هر کدام از آنها وظیفه خاصی را به عهده دارند. این ماژول‌ها به صورت بسته‌هایی گروه‌بندی شده‌اند که هر بسته با قسمتی از سیستم هیدرولوژیکی که بایستی شبیه‌سازی شود در ارتباط است.

مدل‌های عددی زیر در حال حاضر در GMS پشتیبانی می‌گردد که هر یک به اختصار توضیح داده می‌شود:

➤ MODFLOW 2000: (Modular groundwater flow) یک مدل سه بعدی جریان اشباع، تفاضل

محدود، و سلول مرکز (cell-centered) که توسط سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده (USGS)

تهیه شده است. GMS به عنوان یک پیش‌پردازشگر و پس‌پردازشگر، Modflow را پشتیبانی

می‌کند. داده‌های ورودی برای Modflow توسط GMS تهیه و در فایل‌هایی ذخیره می‌شوند که

این فایل‌ها توسط Modflow به هنگام راه‌اندازی GMS فراخوانی می‌شوند.

➤ MODPATH: برنامه شبیه‌ساز انتقال ذرات (Particle Tracking Code) است که در اتصال با

MODFLOW مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه برای شبیه‌سازی ذراتی است که با مکانیسم

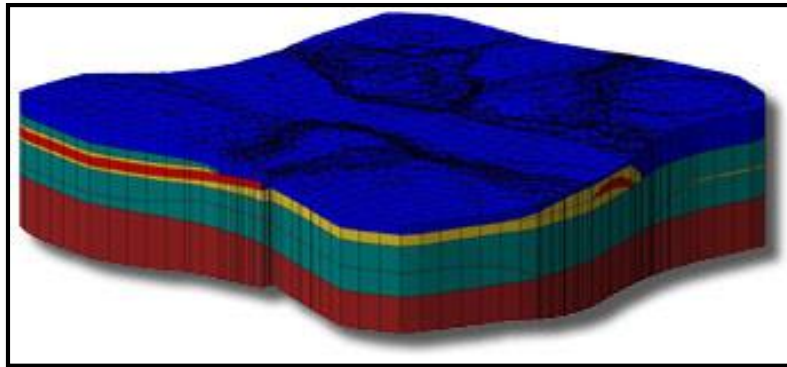
- جابه‌جایی توده‌ای در طول زمان جابه‌جا می‌شوند. MODPATH توسط سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده (USGS) تهیه شده و نسخه 4,2 آن در حال حاضر در GMS پشتیبانی می‌شود.
- **RT3D**: (Reactive Transport in 3D) یک برنامه کامپیوتری است که با حل معادلات دیفرانسیل جزئی، انواع جریان سیالات واکنش‌پذیر و انتقال آلودگی را در محیط‌های متخلخل اشباع سه بعدی شبیه‌سازی می‌کند.
- **SEAM3D**: مدل انتقال واکنش‌پذیر است که برای شبیه‌سازی مسائل زیست محیطی پیچیده کاربرد دارد.
- **ART3D**: یک مدل انتقال تحلیلی سه بعدی است که می‌توان از آن برای حل طیف گسترده‌ای از مسائل مربوط به انتقال مواد آلاینده واکنش‌پذیر استفاده کرد. با توجه به اینکه ART3D از روش تحلیلی استفاده می‌کند می‌تواند در هر نقطه از محدوده مدل، بدون درون‌یابی حل دقیقی از مسئله را به دست آورد.
- **MODAEM**: مدل عناصر تحلیلی برای محاسبات ساده جریان و انتقال است.
- **FEMWATER**: یک مدل با روش عناصر محدود (Finite element) و کاملاً سه بعدی می‌باشد که جهت شبیه‌سازی انتقال آلودگی در زون‌های اشباع و غیراشباع به کار می‌رود.
- **SEEP2D**: یک مدل دوبعدی به روش عناصر محدود است که برای شبیه‌سازی رخنمون‌ها یا بیرون زدگی از قبیل مقاطع عرضی سدها یا خاکریزها طراحی شده است.
- **PEST**: مدلی مستقل و تخمین‌زننده پارامتر به صورت غیر خطی است. هدف PEST کمک به تفسیر اطلاعات، واسنجی مدل و بررسی پیش‌بینی هاست.
- **UCODE**: یک برنامه مدل‌سازی معکوس است که برای حل مسائل تخمین پارامترها بکار می‌رود. این برنامه توسط USGS تهیه شده است.
- **T-PROGS**: برای انجام تغییر و تحولات زمین‌آماري بر روی اطلاعات گمانه ایجاد شده است.

۳-۴-۲- قطعات نرم‌افزار (Moudules GMS)

از ویژگی‌های جالب توجه در نرم‌افزار GMS وجود چندین ماژول مختلف است که در ادامه به اختصار معرفی می‌شود:

۱- قطعه سه بعدی (Solids Module)

این قطعه حجمی یا سه بعدی GMS، در تهیه مدل‌های سه بعدی چینه‌نگاری به کار برده می‌شود. پس از تهیه این مدل می‌توان از مکان‌های مختلف آن برش تهیه کرد. با استفاده از این ماژول می‌توان داده‌های ارتفاعی لایه‌های مختلف آبخوان را برای MODFLOW مستقیماً استخراج کرد. از این ماژول برای شناسایی بهتر منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. پس از تهیه مدل سه بعدی می‌توان از هر منطقه مدل مقطع عرضی تهیه کرد (شکل ۳-۶).

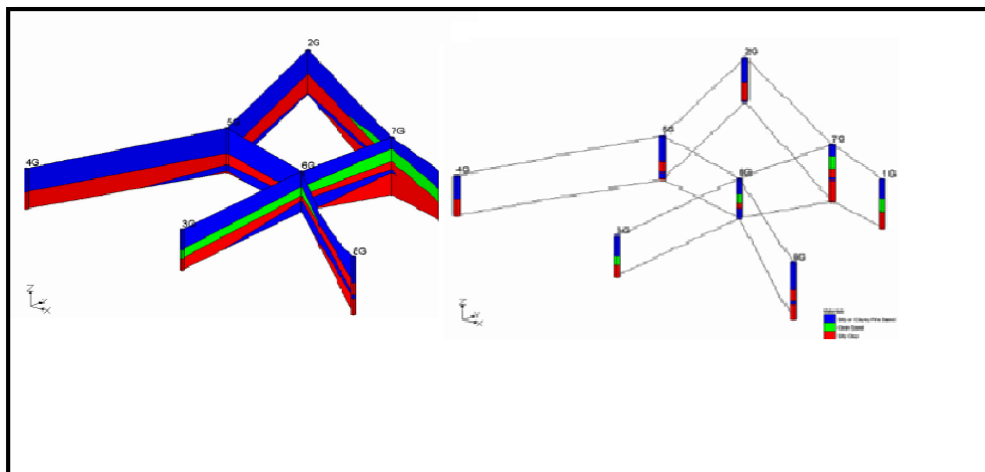


شکل ۳-۶- قطعه سه‌بعدی.

۲- قطعه گمانه (Borehole Module)

قطعه گمانه برای مدیریت اطلاعات گمانه‌ای، حفاری و شناسایی موقعیت بکار می‌رود. تهیه مقاطع در طول گمانه‌های مختلف از جنبه‌های مهم آن است که با این قطعه می‌توان با وارد کردن اطلاعات لاگ چاه‌ها، مقاطع عرضی در جهات مختلف ایجاد کرد. یک گمانه می‌تواند در بردارنده اطلاعات نمونه (Sampl data)،

اطلاعات چینه‌شناسی (Strathgraphy data) و یا هر دو باشند. داده‌های چینه‌نگاری برای نمایش لایه‌های خاک موجود در لاگ‌های حفاری به کار می‌روند (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- قطعه گمانه.

۳- قطعه تور دو بعدی (2D Mesh Module)

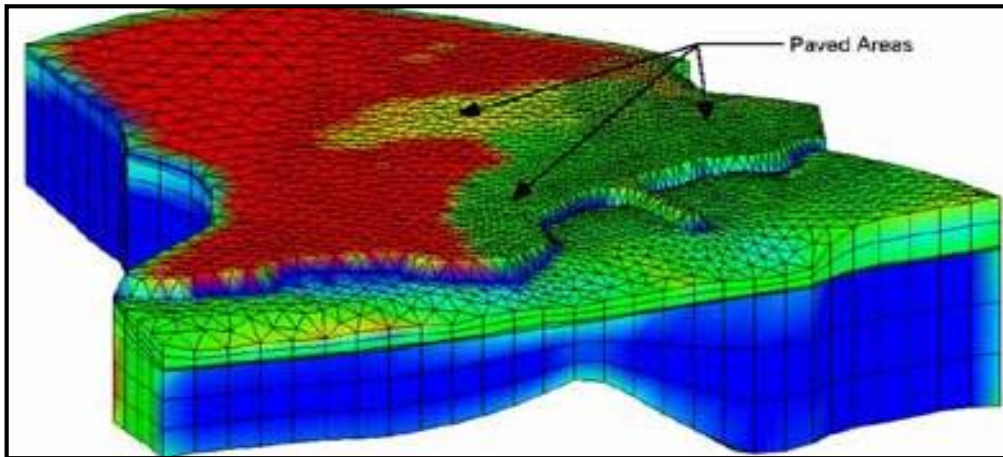
قطعه تور دو بعدی، در تهیه شبکه‌های اجزای محدود دو بعدی استفاده می‌شود. 2D Mesh برای مدل‌سازی SEEP2D و با هدف ساخت 3D Mesh استفاده می‌شود.

۴- قطعه تور سه بعدی (3D Mesh Module)

این قطعه، در تهیه شبکه‌های سه بعدی اجزاء محدود کاربرد دارد. این شبکه می‌تواند برای درون‌یابی، تهیه خطوط تراز آب زیرزمینی، تهیه مقاطع عرضی و مدل‌سازی عناصر محدود با برنامه Femwater استفاده شود (شکل ۳-۸).

۵- قطعه شبکه دو بعدی (2D Grid Module)

برای تهیه و ویرایش شبکه‌های دو بعدی کارترین به کار می‌رود. این ماژول برای نمایش بهتر سطوح و تهیه خطوط کنترولی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۸- شبکه عناصر محدود سه بعدی

۶- قطعه شبکه سه بعدی (3D Grid Module)

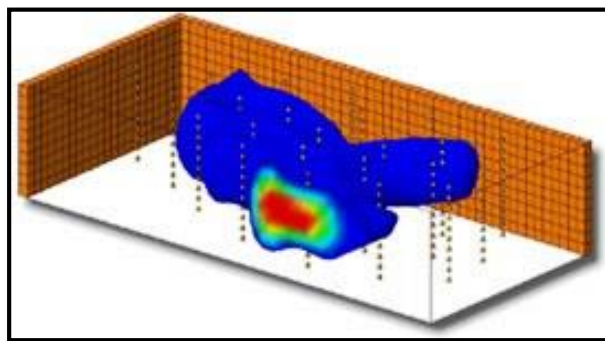
این قطعه در تهیه شبکه‌های کارت‌زین سه بعدی به کار می‌رود. از این شبکه‌ها می‌توان برای درون‌یابی، تهیه خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی، تهیه مقاطع عرضی و مدل‌سازی عناصر محدود استفاده کرد.

۷- قطعه نقاط پراکنده دو بعدی (2D Scatter Point Module)

برای درون‌یابی یک سری داده‌های دو بعدی که در سطح توزیع شده‌اند به کار برده می‌شود که برای این کار از چندین روش درون‌یابی استفاده می‌کند. یکی از این روش‌های درون‌یابی Kriging می‌باشد.

۸- قطعه نقاط پراکنده سه بعدی (3D Scatter Point Module)

این قطعه، برای درون‌یابی یک سری نقاط سه بعدی برای شبکه‌ها یا TIN به کار می‌رود. درون‌یابی برای تنظیم اطلاعات ورودی برای برنامه‌های تحلیلی و شناسایی منطقه مورد مطالعه مفید است.



شکل ۳-۹- قطعه نقاط پراکنده سه بعدی

۹- قطعه سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS Module)

این قطعه از ویرایش ۵ به بعد، به GMS اضافه شد. این قطعه برای نمایش مستقیم و بدون تبدیل فرمت داده‌های پایگاه اطلاعاتی GIS به کار می‌رود. برای استفاده کامل مدول GIS، می‌بایست نسخه‌ی اصلی ArcGIS یا Arc view در سیستم نصب شده باشد. در این حالت بخش‌های مختلف ArcGIS به کمک منوی New Arcobject درون GMS اجرا می‌شوند. در نتیجه از طریق مدول GIS، هر نوع پایگاه داده‌ای که توسط ArcGIS پشتیبانی می‌گردد، در داخل GMS باز می‌شود. این خود باعث داشتن یک نقشه حرفه‌ای شده که می‌تواند در زمینه پروژه مدل‌سازی نمایش داده شوند. با استفاده از این قطعه می‌توان همه یا بخشی از داده‌های GIS را به داده‌های GMS تبدیل کرد تا در ساخت مدل آب زیرزمینی به کار گرفته شوند.

۱۰- قطعه نقشه (Map Module)

مدول نقشه (Map Module) ابزارهای مناسبی برای استفاده از اجزاء GIS برای تهیه مدل مفهومی، اضافه کردن حاشیه زیرنویس و غیره به نمودار، نشان دادن نقشه‌های رقومی و فایل‌های CAD فراهم می‌آورد. اجزای این مدول (Feature object) برای فراهم کردن قابلیت‌های GIS درون سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی به کار می‌روند. این اجزاء (object) نقاط، خطوط و پلیگون‌ها هستند. Feature object‌ها به لایه‌ها یا Coverage‌ها گروه بندی می‌شوند. مجموعه‌ای از Coverage‌ها برای ساخت مدل مفهومی مسائل آب

زیرزمینی استفاده می‌شود. مدول نقشه یا GMS به کاربر اجازه می‌دهد تا از اطلاعات بسیاری نرم‌افزارهای دیگر استفاده نماید. بعضی از فرمت فایل‌هایی که سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی قادر به خواندن و اجرای آن‌هاست عبارتند از:

- ARC GIS TM Shape files
- USGS DLG files
- CAD DXF files
- Georeferenced or Regular TIFF files
- Georeferenced or Regular JPEG files

۱۱- قطعه شبکه مثلثی نامنظم (TIN)

مدل‌های رقومی شبکه مثلثی بی‌قائده (Traingulated Irregular Network) در مدل کردن سطوح (Surface Modeling) به کار می‌رود. یک TIN از اتصال نقاط دارای z y x به یکدیگر بوجود می‌آید و برای نشان دادن سطوح یک واحد زمین‌شناسی یا سطحی که توسط یک تابع ریاضی تعریف شده به کار می‌روند. TIN عوارض سطح زمین را به سطوح مثلثی تقسیم می‌کند. در GMS به طور هم‌زمان می‌توان چندین TIN را مدل کرد. در GMS از TIN می‌توان برای ساخت مدل حجمی و تهیه شبکه‌های سه بعدی استفاده کرد.

۳-۴-۴-۳- روش مدل‌سازی آبخوان در نرم‌افزار GMS

تهیه مدل با استفاده از این نرم‌افزار، از چهارچوب قواعد کلی پروتکل مدل پیروی می‌کند با این وجود، از آنجا که هر نرم‌افزار دارای توانمندی‌ها و محدودیت‌های خاص خود است لازم است مراحل ساخت مدل توسط این نرم‌افزار، به طور جداگانه تشریح گردد. به طور کلی، روش مدل‌سازی در نرم‌افزار GMS را می‌توان به سه مرحله پیش‌پردازشگر (Processing-Pre)، مرحله پردازش (processing step) و مرحله پس‌پردازش (Processing-Post) تقسیم بندی کرد که به اختصار در ادامه تشریح گردیده‌اند.

الف) مرحله پیش پردازش (Processing-Pre)

این مرحله، در ارتباط با تهیه اطلاعات ورودی به مدل است که شامل چندین گام از جمله تعیین اهداف مدل، تهیه و گردآوری اطلاعات و بررسی و ترکیب آنهاست.

در این مرحله لازم است پس از تعیین هدف، اطلاعات بدست آمده طی اندازه‌گیری‌های محدوده‌ای و نقطه‌ای جهت وارد نمودن و استفاده در نرم‌افزار ساماندهی گردند. بنابراین در بخش اطلاعات استخراج شده از اندازه‌گیری‌های محدوده‌ای، از ابزار GIS برای تهیه عکس‌ها، Shape file های ضروری، مرزهای حوزه آب زیرزمینی، جریان آب‌های سطحی، رخنمون سازندهای زمین‌شناسی و نقشه‌های پایه مورد نیاز استفاده می‌شود. سپس این اطلاعات وارد GIS می‌شوند، قطعه نقشه (Map module)، این اطلاعات ورودی را پردازش کرده و داده‌های مورد نیاز برای ساخت مدل مفهومی را تولید می‌نماید. در مرحله بعد، اطلاعات بدست آمده از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای (شامل موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و نرخ تخلیه چاه و چشمه)، باید با زمان به صورت فایل txt به GIS منتقل می‌شوند. اطلاعات مورد نیاز دیگر از جمله داده‌های مربوط به هدایت هیدرولیکی، ارتفاع سطح فوقانی لایه آبدار، سنگ کف و سطح ایستابی با استفاده از مدول 2D Scatter Point وارد نرم افزار GIS شده و پس از بررسی داده‌ها به کمک روش‌های درون‌یابی مختلف نقشه تراز آنها تهیه می‌شود.

ب) مرحله پردازش (Processing Step)

این مرحله مربوط به طراحی، اجرا و آزمون مدل است و خود شامل چندین بخش زیر است:

- طراحی مدل مفهومی
- تهیه مدل مفهومی
- واسنجی مدل
- تحلیل حساسیت
- صحت سنجی یا تأیید مدل

به دو روش می توان در نرم افزار GIS مدل مفهومی ساخت:

(۱) روش شبکه (Grid approach)

در این روش، پارامترهای مختلف مستقیماً به هر سلول اختصاص داده می شود. در این روش، مقادیر تغذیه تخلیه و پارامترهای دیگر که در ساخت مدل مفهومی دخیل است مستقیماً به هر سلول وارد می شود. این روش برای مدل سازی های ساده کاربرد دارد.

(۲) روش مدل مفهومی (Conceptual model approach)

این روش، شامل استفاده از ابزارهای GIS در قطعه نقشه، برای تهیه مدل مفهومی منطقه ای است که قرار است مدل ریاضی آن تهیه گردد. مدل مفهومی در قطعه نقشه، با استفاده از نقاط، خطوط و چند وجهی ها تهیه می شود. پس از اینکه مدل مفهومی تعریف شد، با ایجاد شبکه مدل کلیه پارامترهای تعریف شده در مدل مفهومی به سلول های شبکه نسبت داده می شوند. این روش، وارد کردن داده ها را به طور خودکار مقدور می نماید و دیگر نیازی به وارد کردن پارامترهای ورودی مدل به صورت سلول به سلول نیست. برای تهیه مدل مفهومی از مدول نقشه GIS استفاده می شود. اطلاعات به دست آمده از اندازه گیری های مشخص مکانی و نقطه ای به لایه اطلاعاتی (Coverage) تبدیل می شوند. یک مدل مفهومی کامل از چندین لایه اطلاعاتی (Coverage) تشکیل می شود. اولین لایه اطلاعاتی برای تعیین مناطق تغذیه و تخلیه (Source & sink) مانند چاه ها، چشمه ها، قنات ها، رودخانه و زهکش ها استفاده می گردد. دومین لایه جهت تعیین خصوصیات منطقه (Areal Properties) از جمله مناطق تغذیه و مقدار تغذیه استفاده می گردد. سومین لایه، اختصاص به پارامترهای مشخص لایه، مانند هدایت هیدرولیکی یا قابلیت انتقال دارد. یکی دیگر از لایه های اطلاعاتی مهم برای فرموله کردن مدل مفهومی، لایه ای است که برای تعیین شرایط مرزی استفاده می گردد. جهت حل معادله دیفرانسیل وابسته به زمان نسبت به متغیر مورد نظر،

مشخص نمودن شرایط مرزی و شرایط اولیه لازم می‌باشد. تنظیم شرایط مرزی مرحله‌ای در طراحی مدل می‌باشد که شدیداً تحت تاثیر خطای زیاد قرار دارد.

ج) مرحله پس پردازش (Processing-Post)

مرحله پس پردازش شامل ارائه و بررسی نتایج خروجی‌هاست. ارائه نتایج، آخرین مرحله تهیه و مهمترین بخش است و باید سعی شود تا مدرکی قابل استفاده ایجاد شود که تمام مراحل قبلی طراحی مدل را به وضوح انتقال دهد.

۳-۴-۵- وضعیت هندسی مدل

وضعیت هندسی مدل، تعریف کننده اندازه و شکل مدل است و حاوی مرزهای مدل خارجی و داخلی می‌باشد.

۳-۴-۵-۱- مرزهای داخلی

در داخل محدوده مدل قرار می‌گیرند همانند شرایط مرزی چاه.

۳-۴-۵-۲- مرزهای خارجی

در مرز تقسیم و یا لبه محدوده مدل‌سازی قرار دارد و به دو دسته مرزهای فیزیکی و هیدرولیکی تقسیم می‌شود.

الف) مرزهای فیزیکی

مرزهای فیزیکی آب‌های زیرزمینی در مناطقی که لایه‌های نفوذناپذیر و یا پهنه‌های وسیع آب‌های سطحی حضور دارند، به وجود می‌آید. سطح تماس نفوذناپذیر بین دو واحد زمین‌شناسی، گسل (به عنوان مسیر

ترجیحی آب زیرزمینی یا به عنوان یک مانع نفوذناپذیر) تماس بین محیط متخلخل و سازه ساخته شده مثال‌هایی از مرزهای فیزیکی است. عموماً ترجیح داده می‌شود که مرزهای خارجی مدل به صورت مرزهای فیزیکی واقعی باشند چون از ثبات و پایداری بیشتری برخوردار است.

ب) مرزهای هیدرولیکی

در صورت نبود مرزهای فیزیکی مشخص، مرزها با توجه به شرایط هیدرولیکی موجود در نظر گرفته می‌شوند، مثلاً در صورتی که در یک محل مقادیر بار هیدرولیکی و یا شار جریان از طریق اندازه‌گیری و یا تخمین، مشخص باشد می‌توان آن منطقه را به عنوان یک شرط مرزی هیدرولیکی در نظر گرفت. مرزهای هیدرولیکی می‌توانند به صورت مرزهای فاقد جریان مشخص شده با خطوط جریان انتخابی یا مرزهایی با بار هیدرولیکی معلوم باشند که با خطوط هم‌پتانسیل مشخص شده‌اند. چون مرزهای هیدرولیکی سیماهای دائمی نیستند و ممکن است با زمان تغییر کنند تهیه مدل با این گونه مرزها ترجیح داده نمی‌شود.

۳-۴-۶- شرایط مرزی

شرایط مرزی به محدودیت‌هایی گفته می‌شود که بر شبکه مدل اعمال می‌شود تا اندرکنش بین محدوده شبیه‌سازی و محیط اطراف مدل را نشان دهد و به کمک آن نتیجه تغییرات محیط بر روی محدوده مدل مشاهده می‌شود. انتخاب درست شرط مرزی یک گام حیاتی در طراحی مدل‌ها می‌باشد. وجود خطا در آن می‌تواند باعث ایجاد خطاهای قابل توجهی در نتایج شبیه‌سازی شود. انتخاب نوع شرط مرزی بستگی به مدل مفهومی، ویژگی‌های فیزیکی و نوع اطلاعات صحرائی موجود دارد.

انواع اصلی شرایط مرزی

شرایط مرزی اصلی که در واقع شرایط مرزی خارجی مدل‌های آب زیرزمینی هستند، به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

➤ شرط مرزی بار هیدرولیکی معلوم

➤ شرط مرزی جریان معلوم

➤ شرط مرزی جریان وابسته به بار هیدرولیکی

هر کدام از این سه شرط مرزی در ادامه به طور کامل شرح داده می‌شود.

الف - شرط مرزی بار هیدرولیکی معلوم

این نوع شرط مرزی در نقاطی وجود دارد که تراز آب و یا بار هیدرولیکی مشخصی به صورت ثابت یا متغیر با زمان وجود داشته باشد. مثل نواحی ساحلی، دریاچه‌ها یا مخازن و رودخانه‌ها که دارای بار هیدرولیکی معلوم هستند.

در بحث مدل آبهای زیرزمینی این نوع مرزها مرز با بار ثابت و یا مرز وابسته به بار هیدرولیکی خوانده می‌شوند. در بحث ریاضی این نوع مرزها به نام‌های Essential یا Stable یا Dirichlet، خوانده می‌شود.

ب - شرط مرزی جریان معلوم

در این نوع شرط مرزی، مشتق بار هیدرولیکی که در واقع بده در واحد عرض جریان در مرز سامانه (امتداد عمود بر عرض) می‌باشد، دارای مقدار مشخصی است. مرز بدون جریان نیز یک نوع شرط مرزی جریان معلوم می‌باشد که در آن بده صفر در نظر گرفته می‌شود. چشمه‌ها، تبادل آب از طریق تبخیر، جریان‌های جانبی خروجی و ورودی و یا هر نوع منبع تغذیه و یا جذب جریان مثل آبخوان‌های مجاور یا چاه‌ها نیز از این نوع شرط مرزی هستند که البته در اکثر مدل‌ها جداگانه تعریف می‌شوند.

در مدل آب‌های زیرزمینی به این نوع مرزها مرز تغذیه گفته می‌شود. در بحث ریاضی، این نوع مرزها به نام‌های Unstable، Neuman یا Natural خوانده می‌شوند.

به طور کلی جریان معلوم توسط یکی از بسته‌های زیر می‌توان شبیه‌سازی کرد:

➤ بسته تغذیه

➤ بسته تبخیر و تعرق

➤ بسته چاه

➤ بسته نهر

ج - شرط مرزی جریان وابسته به بار هیدرولیکی

در این نوع شرط مرزی میزان بده عبوری در مرز با توجه به بار هیدرولیکی موجود در آن مرز طبق یک رابطه که می‌تواند توسط کاربر مشخص شود، تعیین می‌شود. به این نوع شرط مرزی، شرط مرزی مختلط نیز گفته می‌شود. در بحث ریاضی، این نوع مرزها به نام‌های Cauchy یا Unstable یا Newton خوانده می‌شود.

سه بسته مادفلو می‌توانند چنین شرایطی را شبیه‌سازی کنند:

➤ بسته رودخانه

➤ بسته زهکش

➤ بسته مرزی با بار هیدرولیکی

نقطه مشترک تمام بسته‌های مذکور، آن است که استفاده کننده از مدل باید یک واژه ضریب هدایتی (Conductance) را مشخص کند که اغلب تعریف کامل آن فقط در اثنای فرایند واسنجی امکان پذیر است. با وجود چنین دشواری، هر سه بسته دارای قابلیت‌های خوبی جهت توصیف مرزهای گوناگون داخلی و خارجی می‌باشند.

۳-۴-۷- تعیین شرایط اولیه

منظور از شرایط اولیه مقادیر متغیرهای مجهول درون محدوده مدل (مانند بارهیدرولیکی و جریان) در لحظه ابتدایی شبیه‌سازی می‌باشد. یا مقدار بار هیدرولیکی برای هر سلول فعال و سلول دارای بار هیدرولیکی ثابت در مدل می‌باشد. مقادیر مذکور باید بالاتر از ارتفاع کف سلول باشند که برای شروع محاسبات تکراری مدل، ضروری هستند. در شبیه‌سازی‌های غیرماندگار لازم است شرایط اولیه مشخص باشد. معمولاً مدل برای یک حالت ماندگار واسنجی شده و نتایج آن به عنوان شرایط اولیه در شبیه‌سازی غیرماندگار مورد استفاده قرار می‌گیرد. بارهای هیدرولیکی در شبیه‌سازی غیر ماندگار باید شباهت نزدیکی با بارهای هیدرولیکی به دست آمده از روی زمین داشته باشند. برای شرایط ماندگار فقط باید بارهای هیدرولیکی در سلول‌های با بار هیدرولیکی ثابت مقادیر واقعی باشند. یک شیوه مناسب در تعیین شرایط اولیه استفاده از داده‌های صحرایی می‌باشد. استفاده از مدل برای تولید مقادیر بار هیدرولیکی باعث سازگاری شرایط اولیه، شرایط مرزی هیدرولوژیکی و پارامترهای مربوط به مدل می‌شود. در صورتی که اگر از مقادیر اندازه‌گیری شده صحرایی به عنوان مقادیر اولیه استفاده شود، در گام‌های زمانی اولیه مدل تنها به شرایط مرزی اعمال شده عکس‌العمل نشان نمی‌دهد، بلکه مدتی را صرف تعدیل توزیع بارهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شده می‌کند به گونه‌ای که بین داده‌های هیدرولوژیکی مدل و پارامترهای آن با مقادیر اولیه بار هیدرولیکی تعادل برقرار شود. این مرحله اصطلاحاً گرم شدن مدل نامیده می‌شود. دو نوع شرایط اولیه به صورت ماندگار می‌تواند، مورد استفاده قرار گیرد که عبارت است از شرایط ماندگار ساکن و شرایط ماندگار شبه دینامیک. در شرایط ماندگار ساکن، بار هیدرولیکی در کل محدوده مدل ثابت بوده و هیچ جریانی در سامانه وجود ندارد. حالت ماندگار ساکن برای شبیه‌سازی افت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این معنی که مثلاً برای شبیه‌سازی افت بار هیدرولیکی ناشی از پمپاژ آب از یک نقطه، شرایط اولیه در آن محدوده شرایط ماندگار ساکن در نظر گرفته می‌شود.

این نوع شرایط اولیه (ماندگار ساکن) نمی‌تواند بین جریان‌های اصلی که در اثر گرادیان بار هیدرولیکی به وجود می‌آیند، رابطه‌ای برقرار نماید به این دلیل ممکن است در بعضی شبیه‌سازی‌ها مناسب نباشد اغلب

برنامه‌های محاسباتی مثل MODFLOW یا AQUIFEM-1 محاسبات را بر پایه توزیع بار هیدرولیکی اولیه که توسط کاربر تعیین شده است انجام می‌دهند.

معمولاً توزیع بار هیدرولیکی پیش از شبیه‌سازی‌های غیرماندگار به وسیله شبیه‌سازی ماندگار تعیین می‌شود. نتیجه این عمل ایجاد شرایط ماندگار شبه دینامیک است. تحت این شرایط بار هیدرولیکی می‌تواند به صورت مکانی متغیر باشد و جریان ورودی و خروجی سامانه مقدار یکسانی دارند، ولی باز هم تغییرات زمانی برای جریان و بار هیدرولیکی وجود ندارد. اغلب شبیه‌سازی‌ها بر پایه این نوع شرایط اولیه انجام می‌شود.

مرحله دوم – واسنجی یا همانندسازی مدل با سیستم مرجع

در این مرحله بر اساس سیستم مرجع انتخابی اندازه‌های متناظر با متغیرها و پارامترهای ساختاری تعیین شده در مرحله قبل تهیه شده و به عنوان داده‌های ورودی به مدل ریاضی که در برگزیده روابط حاکم بر عملکرد سیستم است، داده می‌شود. سپس تلاش می‌شود با تغییر در پارامترهای سیستم و احیاناً در فرضیات و داده‌های مربوط به شرایط مرزی، اختلاف بین جواب‌های محاسباتی مدل و اطلاعات مشاهده شده سیستم مرجع به حداقل ممکن و حد قابل قبول برسد. بطوری‌که ملاحظه می‌شود انجام این مرحله ایجاب می‌کند مجموعه اطلاعات مشاهده‌ای برای متغیرها و پارامترهای ساختاری با دقت کافی موجود باشد. همچنین لازم است رفتارهای سیستم آب زیرزمینی به عنوان رفتارهای مرجع به‌خوبی شناسایی شده تا در همانندسازی مدل مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب رفتار مرجع مسأله‌ای بسیار حساس و دقیق است و حتی با وجود دستیابی به سیستم‌های مرجع شناخته شده همانندسازی یا واسنجی دقیق‌ترین و حساس‌ترین مرحله در کاربرد روش مدل است.

۳-۴-۸- واسنجی و تحلیل حساسیت

عملیات تطبیق پارامترها جهت هماهنگی و سازگاری مدل در تولید داده‌هایی همانند پاسخ حوضه یا نمونه اصلی سیستم، تنظیم مدل یا کالیبره کردن آن می‌گویند. هدف از کالیبراسیون کم کردن اختلاف بین خروجی پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهده شده‌است و این کار ممکن است بوسیله اندازه‌گیری دقیق پارامترها و یا بوسیله روش‌های بهینه‌سازی انجام شود. معمولاً رابطه خاص بین شکل عمومی مدل و سیستم فیزیکی مورد مطالعه از طریق پارامترهای مدل وجود دارد که این رابطه، دقت مقادیر پارامترها را برای برآزش مناسب، بین خروجی مدل و خروجی ثبت شده تعیین می‌کند. برای کالیبره کردن مدل روش‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان از آنها استفاده کرد ممکن است این روش‌ها در خود مدل تعبیه شده باشد. اگر مدل فیزیکی باشد (Physically based) مقدار پارامترها را می‌توان از طریق اندازه‌گیری‌های صحرایی و یا نقشه‌های موجود و یا با استفاده از امکانات GIS تعیین کرد. در این حالت پارامترها براساس مشخصات واقعی قابل اندازه‌گیری در صحرا و یا نقشه بوده و مفهوم واقعی فیزیکی دارند و شاید نیازی به کالیبره کردن مدل هم نباشد.

واسنجی مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار صورت می‌گیرد، که در حالت پایدار هدایت هیدرولیکی آبخوان و رسانایی هیدرولیکی رسوبات کف زهکش و در حالت ناپایدار ضریب ذخیره و تغذیه بهینه می‌شود. بدیهی است که دقت و صحت موارد بهینه شده در فرایند واسنجی بستگی به داده‌های اولیه درک صحیح از سیستم و تجربه شخص دارد.

واسنجی هر مدل، باید از قبل دارای هدفی از خطای قابل قبول باشد دامنه خطای قابل قبول، عمدتاً به هدف مدل بستگی دارد.

بطور معمول سه روش عمومی کالیبره کردن که در اکثر مدل‌ها بکار می‌رود به شرح زیر است:

۱- کالیبره کردن مدل بوسیله آزمون و خطا (روش دستی)

۲- کالیبره کردن مدل به صورت خودکار (اتوماتیک)

۳- کالیبره مدل به صورت ترکیبی از دو حالت فوق

در روش اول، کاربر تمام پارامترهایی را که می‌تواند براساس مشاهدات فیزیکی انجام دهد وارد کرده و تخمینی از پارامترهای ناشناخته را بعنوان برآورد اولیه انجام می‌دهد. سپس مدل اجرا می‌شود و خروجی آن با خروجی مشاهده شده در نمونه اصلی مقایسه می‌گردد. این کار تا بهترین تطبیق این دو خروجی ادامه می‌یابد.

در روش دوم، کالیبره کردن اتوماتیک مدل توسط یک برنامه‌ریزی داخلی انجام می‌شود و پارامترهای مورد آزمون را مرحله به مرحله تطبیق می‌کند تا بطور خودکار تعدیل و تنظیم شود. اجرای برنامه آزمون تا بدست آوردن بهترین مقدار پارامترها تکرار می‌شود. این واسنجی توسط کدهای رایانه‌ای صورت می‌گیرد و از روش معکوس حل معادلات دیفرانسیل جزئی استفاده می‌شود. اغلب کدهای رایانه‌ای مربوط به واسنجی خودکار به دنبال مجموعه پارامترهای بهینه‌ای هستند که مجموع مربعات انحرافات بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی به یک حداقل کاهش می‌یابد. از بین کدهای مورد استفاده برای واسنجی خودکار می‌توان به PEST، UNCODE و MF2K PES Process اشاره کرد.

روش سوم کالیبره کردن، تلفیقی از دو روش فوق‌الذکر است و از طریق آزمون و خطا و تطبیق پارامترها تا تنظیم تقریبی مدل پیگیری می‌شود و بعد با اجرای روش پیگیری و جستجوی خودکار که با دقت بیشتری انجام می‌گیرد بهترین برازش پارامترهای مدل بدست می‌آید.

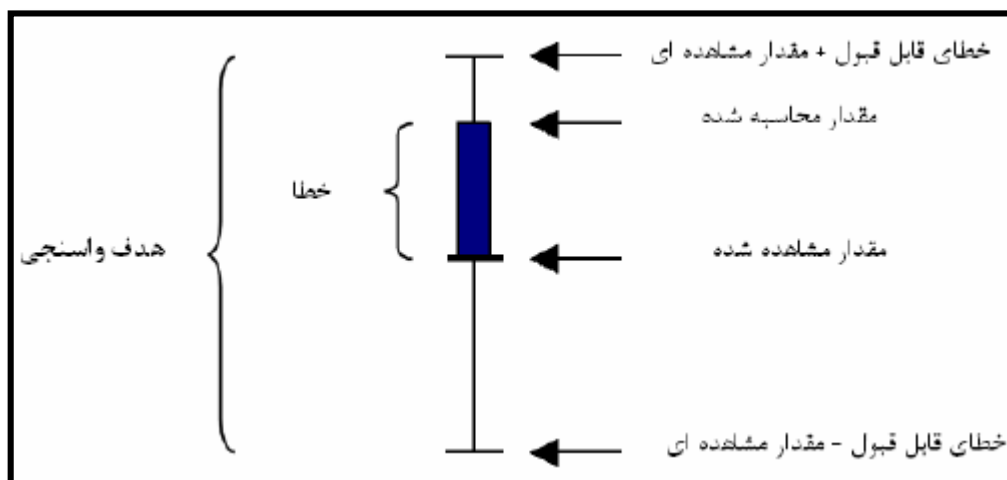
باید توجه داشت که در اصول کالیبراسیون، بعضی از پارامترها نسبت به بقیه حساس‌ترند. یک پارامتر "حساس" پارامتری است که تأثیر بیشتری روی خروجی مدل دارد بنابراین اگر مقدار یک پارامتر حساس به آرامی تغییر کند تأثیر زیادتری در پیشگویی مدل خواهد داشت. در آنالیز حساسیت تخمین دقیق یک پارامتر حساس از اهمیت بالایی برخوردار است.

نتایج واسنجی

از مزایای مهم رابط کاربر GMS در حین فرایند واسنجی، نمایش بصری میزان خطا در اختلاف بار هیدرولیکی محاسبه شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد، بدین صورت که با رسم یک هدف واسنجی

(Calibration Target) در مجاورت هر یک از پیزومترها، می‌توان به وضعیت واسنجی پس از اجرای مدل پی برد.

میله رنگی (Colored bar) نماینگر خطای واسنجی می‌باشد، مرکز آن منطبق بر مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گیرد، میله به رنگ سبز خواهد بود و اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول (در این مطالعه ۱ متر) و کمتر از ۲۰٪ خطای قابل قبول باشد میله رنگی زرد و در صورتی که مقدار خطا بیشتر از ۲۰٪ خطای قابل قبول باشد میله رنگی قرمز خواهد شد (۳-۶).



شکل ۳-۱۰ هدف از کالیبراسیون

تفاوت بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی ارتفاع‌های هیدرولیکی به صورت مقایسه کمی با استفاده از سه معیار زیر صورت می‌گیرد:

الف) استفاده از معیار میانگین خطا (Mean Error)

این معیار اگر چه به ندرت برای تجزیه و تحلیل میزان دقت و حساسیت مدل به کار گرفته می‌شود، اما از آنجا که وجود خطاهای مثبت و منفی در یک جمع جبری می‌تواند مجموعه آن‌ها را به سمت صفر میل دهد، معیار کاملی برای واسنجی نیست. این میانگین خطا (ME) طبق رابطه (۳-۳۶) بیان می‌گردد:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (h_m - h_s)_i \quad (36-3)$$

در رابطه فوق n ، تعداد مشاهدات، h_m ، ارتفاع هیدرولیکی مشاهده شده و h_s ، ارتفاع هیدرولیکی محاسبه شده است.

ب) استفاده از میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error)

از رابطه می توان میانگین قدر مطلق خطا را محاسبه نمود:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |(h_m - h_s)_i| \quad (37-3)$$

ج) ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Error)

جذر میانگین مربعات خطا یا انحراف معیار، میانگین اختلاف بین بار های هیدرولیکی شبیه سازی شده و مشاهده شده را شامل می شود

$$RMS = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i^2 \right]^{0.5} \quad (38-3)$$

در صورتی که خطاها به صورت نرمال توزیع شده باشند، خطای RMS (Root mean Standard) بهترین معیار خطا می باشد.

مرحله سوم - تأیید درستی عملکرد مدل

برای تکمیل مراحل قبلی و به منظور دسترسی به مدل نمایشگر سیستم آب زیرزمینی ضروری است، رفتار مدل برای سیستم های مرجع دیگر که از تجزیه و تحلیل اطلاعات سیستم آب زیرزمینی بدست آمده است مورد آزمون و بررسی قرار گیرد. بررسی مدل به منظور اطمینان از تطابق کافی مدل با سیستم آب زیرزمینی است چرا که واسنجی و عملیات همانندسازی تنها در مورد یک سیستم مرجع انجام گرفته است. بنابراین نتایج حاصل بطور نسبی قابل قبول است در حالی که مدل نمایشگر سیستم باید برای حالت های مختلف، و سیستم های مرجع متفاوت تطابق لازم را داشته باشد. در صورت عدم تطابق مدل با

سایر سیستم‌های مرجع هر چند واسنجی ظاهراً قابل قبول باشد لازم است با برگشت به مرحله تشریح و توصیف سیستم آب زیرزمینی و احیاناً تهیه داده‌های تکمیلی، عملیات را ادامه داد.

۳-۴-۹- صحت سنجی

یک مدل زمانی صحت سنجی شده است که ثابت شده باشد که صحت و قابلیت پیش‌بینی آن در محدودیت‌های قابل قبولی از آزمون‌های مستقل از داده‌های واسنجی واقع می‌شود. نمونه‌ای از یک صحت سنجی برای مجموعه‌ای از داده‌های اضافی صحرائی در شرایط ماندگار یا غیرماندگار انجام می‌گردد. اگر پارامترهای مدل واسنج نظیر شرایط مرزی، تنش‌ها و توزیع خصوصیات هیدروژئولوژیک (نظیر نفوذپذیری، قابلیت انتقال، تخلخل موثر) صحیح باشند، مجموعه‌ی داده‌های مستقل صحرائی باید به طور نزدیک شرایط مرزی و تنش‌های جدید مدل را برازش کنند. اگر مدل اجرا شده با شرایط تغییر یافته‌ی مذکور، توزیع بارهای هیدرولیکی را ایجاد کند که به طور نزدیک با مجموعه داده‌های مذکور سازگار باشد، مدل صحت‌سنجی شده است. اما اغلب اوقات لازم است که برخی پارامترهای هیدروژئولوژیک تغییر یابد تا برازش قابل قبولی به دست آید. در چنین مواردی صحت سنجی در واقع به صورت واسنجی در می‌آید و به مجموعه‌ی داده‌های جدید مستقل، برای صحت سنجی نیاز است.

به علت آنکه مدل‌ها اغلب در شرایط ماندگار واسنجی می‌شوند لازم است که پارامترهای ذخیره در اثنای صحت سنجی غیرماندگار تخمین زده شود که این کار تا حدودی باعث کاهش صحت مدل می‌گردد. علیرغم این محدودیت، صحت سنجی غیرماندگار ترجیح داده می‌شود زیرا این نوع صحت سنجی، نگرشی بهتر را در مورد واکنش آبخوان نسبت به تنش‌های وابسته به زمان ارائه می‌دهد.

مرحله چهارم- بهره برداری مدل

پس از تهیه مدل مرحله نهایی که بهره‌برداری از مدل است فرا می‌رسد، که هدف اصلی مدل است و سودمندی آن را آشکار می‌سازد. در این مرحله بر اساس شرایط و فرضیاتی که برای آینده در نظر گرفته

می‌شود داده‌های ورودی مدل تنظیم می‌گردند. پس از اجرای مدل نمایشگر سیستم اطلاعات خروجی که معرف رفتار آتی سیستم آب زیرزمینی است مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان برای حالت‌های مختلف بهره‌برداری و فرضیات مختلف رفتار سیستم را در زمان و مکان مورد بررسی و ارزیابی قرار داد و در نهایت به مناسب‌ترین برنامه‌ریزی بهره‌برداری از سیستم با توجه به اهداف مورد نظر دست پیدا کرد

۳-۴-۱۰- پیش بینی

زمانی که مدل برای دو حالت ماندگار و غیرماندگار صحت سنجی شد، از آن می‌توان برای پیش‌بینی که اغلب فعالیت‌های مدل‌سازی است استفاده کرد. پیش‌بینی، پاداشی است برای تلاش‌های صورت گرفته‌ی قبلی توسط طراح مدل و مرحله‌ایست که او کم و بیش در انتظار آن است.

۳-۴-۱۱- ارائه نتایج

ارائه نتایج آخرین مرحله‌ی تهیه مدل و مهم‌ترین بخش است. باید سعی شود تا مدرکی قابل استفاده ایجاد شود که تمام مراحل قبلی طراحی مدل را به وضوح انتقال دهد. توجه خاصی باید معطوف شود تا محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌های مرتبط با پارامترهای واسنجی به روشنی بیان شود.

فصل چهارم

طراحی و اجرای مدل

۴-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل به معرفی منطقه، بیان ویژگی‌های آبخوان مورد مطالعه، مروری بر مدل‌سازی، انواع مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و مراحل مدل‌سازی پرداخته شد. در این فصل به تهیه مدل عددی دشت سعادت‌شهر با نرم‌افزار GMS پرداخته می‌شود. مدل سه بعدی دشت سعادت‌شهر نمایش ریاضی جریان آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار GMS است که از کد MODFLOW استفاده می‌کند. مراحل تهیه این مدل سه بعدی به شرح زیر است:

- جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی (وضعیت هندسی آبخوان، هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، میزان تغذیه از جریان‌های زیرزمینی و بارندگی، تخلیه و زهکشی)
- وارد کردن مقادیر پمپاژ و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و چاه‌های مشاهده‌ای
- وارد کردن شرایط مرزی
- کالیبره کردن مدل
- صحت‌سنجی مدل
- پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی دشت در سناریوهای مختلف

۴-۲- مدل مفهومی

مرحله آغازین مدل و مهم‌ترین مرحله در مطالعات مدل تهیه یک مدل مفهومی می‌باشد. مدل مفهومی یک تصویر ساده شده از دنیای واقعی است. این مدل خلاصه‌ای از ویژگی‌های سامانه هیدروژئولوژیکی است

که ضمن برخورداری از دقت لازم معمولاً به صورت توصیفی و گرافیکی (نیم‌رخ زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و یا نمودار بلوکی) ارائه دهنده ویژگی‌های اصلی سامانه می‌باشد. مدل مفهومی، پایه مدل ریاضی است و خود بر پایه اطلاعات اولیه داده‌های صحرایی و تعبیر و تفسیرهای هیدروژئولوژیکی استوار می‌باشد. در طی این فرآیند پیچیدگی‌های آبخوان ساده می‌شوند. داده‌های مشاهده‌ای تجزیه و تحلیل می‌شود به طوری که به راحتی و سهولت می‌توان سیستم را بررسی نمود. یکی از ویژگی‌های نرم‌افزار GIS همان‌گونه که در فصل قبل ذکر شد تهیه مدل مفهومی در مدول نقشه با استفاده از ابزارهای GIS می‌باشد. در واقع GIS با این روش کلیه اطلاعات مورد نیاز را که در پایگاه اطلاعاتی GIS ذخیره شده است برای تهیه مدل مفهومی جمع‌آوری می‌کند و پس از تهیه مدل مفهومی در مدول MAP آن را به آرایه‌های مدل تبدیل می‌کند. در این مطالعه ابتدا مدل مفهومی دشت تهیه و سپس این مدل مفهومی به مدل ریاضی تبدیل شد. اولین مرحله برای تهیه مدل مفهومی دشت سعادت‌شهر وارد کردن نقشه زمین‌شناسی منطقه به محیط GIS و ژئورفرنس کردن آن است که البته ژئورفرنس کردن نقشه توسط نرم‌افزار GIS هم امکان‌پذیر است. پس از ژئورفرنس کردن نقشه، محدوده و مرز منطقه ترسیم گردید و پارامترهایی که در ساخت مدل مفهومی نقش دارد تعیین و وارد نرم‌افزار GIS شد.

۴-۳- شرایط اولیه

قبل از ساخت مدل، اولین قدم تعیین شرایط اولیه است. برای اجرای مدل باید شرایط اولیه بار آبی تعیین شود و به مدل وارد شود تا بر اساس آن مدل بتواند بار آبی در کل آبخوان را محاسبه کند. بدین منظور برای تعیین بار اولیه در شرایط پایدار از هیدروگراف واحد دشت استفاده گردید و زمانی که در این منطقه کمترین نوسان را دارد و به حالت پایدار نزدیک باشد، انتخاب شد. هیدروگراف واحد با توجه به بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ دشت ترسیم گردید و بهمن ۱۳۸۸ به عنوان دوره پایدار انتخاب گردید. داده‌های سطح آب در این ماه با فرمت txt به مدل وارد گردید و با روش کریجینگ، درون‌یابی و به همه سلول‌ها تعمیم

داده شد. بار آبی نهایی محاسبه شده توسط مدل در حالت پایدار به عنوان شرایط اولیه حالت ناپایدار فرض می‌گردد. محل و مختصات چاه‌های مشاهده‌ای در جدول (۴-۱) بیان شده است.

جدول ۴-۱- مختصات جغرافیایی چاه‌های مشاهده‌ای دشت سعادت‌شهر

شماره پیزومتر	نام چاه	UTM X	UTM Y
۱	علی‌آباد	۷۰۵۸۲۰	۳۳۲۸۶۰۷
۲	شمال آموزشگاه علی‌آباد	۷۰۷۵۸۴	۳۳۲۵۶۰۶
۳	غرب آموزشگاه علی‌آباد	۷۰۵۷۷۹	۳۳۲۳۸۹۷
۴	جیسقان	۶۹۷۴۸۵	۳۳۲۶۷۱۲
۵	بوکان	۷۰۲۸۱۷	۳۳۲۷۵۹۰
۶	همت‌آباد	۶۹۳۷۲۳	۳۳۲۹۸۶۶
۷	کوشک	۷۰۱۲۹۶	۳۳۲۹۵۷۸
۸	غرب قصرالدشت	۶۹۷۹۲۱	۳۳۳۰۷۰۵
۹	بین قصرالدشت و اکبرآباد	۷۰۰۵۱۶	۳۳۳۲۷۴۷
۱۰	کنار پل قصرالدشت	۶۹۸۶۴۵	۳۳۳۲۸۸۳
۱۱	زمین متقی	۶۹۶۶۳۴	۳۳۳۲۳۵۵
۱۲	زمین حبیب‌آگهی	۶۹۳۴۹۳	۳۳۳۲۱۱۵
۱۳	قوام‌آباد	۶۹۰۲۳۴	۳۳۳۲۹۷۸

۴-۴- تبیین شرایط مرزی

هدف از تعیین شرایط مرزی مشخص کردن محدوده مدل‌سازی است. شرایط مرزی به محدودیت‌هایی گفته می‌شود که بر شبکه مدل اعمال می‌شود تا اندرکنش بین محدوده شبیه‌سازی و محیط اطراف مدل را نشان دهد و به کمک آن نتیجه تغییرات محیط بر روی محدوده مدل مشاهده می‌شود. انتخاب درست شرایط مرزی یک گام حیاتی در طراحی مدل‌ها می‌باشد. وجود خطا در آن می‌تواند باعث ایجاد خطاهای قابل توجهی در نتایج شبیه‌سازی شود. انتخاب نوع شرایط مرزی بستگی به مدل مفهومی، ویژگی‌های

فیزیکی و نوع اطلاعات صحرایی موجود دارد. مرز هیدروژئولوژیکی به دو دسته مرزهای فیزیکی (واقعی) و هیدرولیکی (مصنوعی) تقسیم می‌شود. مرزهای فیزیکی سیماهای مشخص زمین‌شناسی و هیدرولوژیک هستند که به طور دائم بر الگوی جریان آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند. مرزهای هیدرولیکی از شبکه‌ی جریان آب زیرزمینی به دست می‌آیند؛ در نتیجه، مرزهای مصنوعی هستند که توسط طراح مدل ایجاد می‌گردند.

برای ترسیم مرزهای دشت سعادت‌شهر از نقشه سطح آب و نقشه توپوگرافی استفاده شد. برای این کار با توجه به داده‌های سطح ایستایی، چاه‌های پیژومتریک منطقه و رسم خطوط هم‌پتانسیل نقاط خروجی و ورودی جریان آب زیرزمینی مشخص گردید. طبق نقشه هم‌پتانسیل جهت جریان آب زیرزمینی از سمت شرق به سمت غرب می‌باشد. بر این اساس قسمت‌های غربی و جنوبی دشت به عنوان خروجی دشت و قسمت‌های جنوب شرقی و شرق دشت به عنوان ورودی دشت در نظر گرفته شده است. در قسمت‌های شمالی دشت، آبخوان از طریق سازندهای اطراف خود در حال تغذیه می‌باشد. مرز فاقد جریان در قسمت‌هایی از دشت که تغذیه صورت نمی‌گیرد (موازی با خطوط جریان) در نظر گرفته شد. قسمت‌هایی از مرزهای شمالی و جنوبی که موازی با خطوط جریان است و هیچ تغذیه یا تخلیه‌ای صورت نمی‌گیرد به عنوان مرزهای نفوذ ناپذیر در نظر گرفته شد (شکل ۴-۱).

۴-۵- تبیین مدل ریاضی

این مرحله شامل بیان مدل مفومی در قالب معادلات ریاضی است برای حل این معادلات روش‌های متعددی وجود دارد که روش‌های تفاضل محدود و روش‌های عددی از متداول‌ترین روش‌ها در حل معادلات ریاضی آبخوان‌ها به شمار می‌آید.

۴-۶- گزینش کد رایانه

کد انتخابی برای مدل سازی منطقه مورد نظر MODFLOW (Modular groundwater flow) با کد رابط GMS می‌باشد. MODFLOW توسط سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده ایجاد گردیده است و در دسترس عموم قرار گرفته است. مادفلو ۲۰۰۰ یک برنامه کامپیوتری است که جریان آب زیرزمینی را به صورت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی با استفاده از معادلات تفاوت محدود شبیه‌سازی می‌کند.

۴-۷- طراحی و تهیه مدل عددی

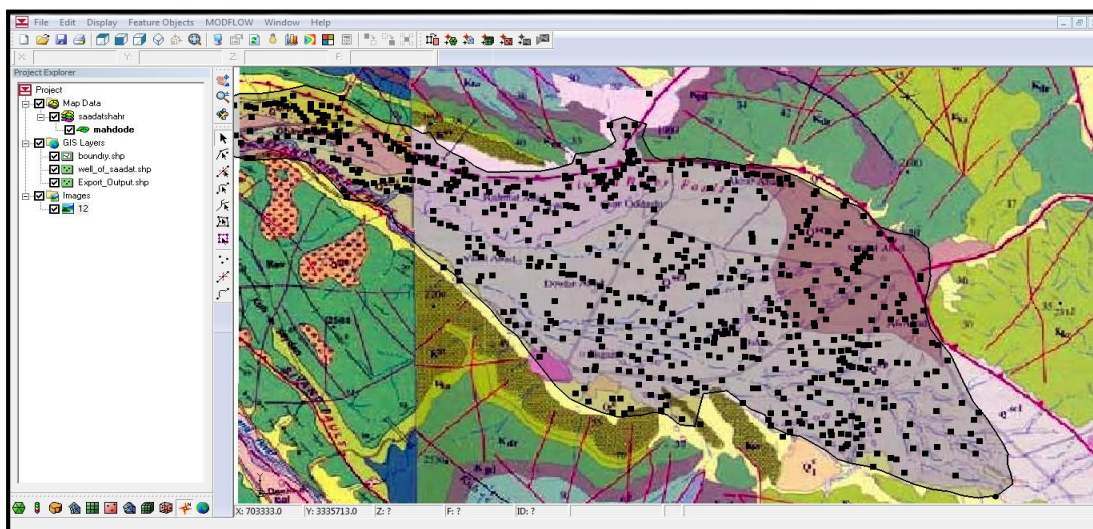
در این مرحله کلیه داده‌های مدل و پارامترهای مدل به نرم‌افزار مدل‌سازی وارد گردید مدل مفهومی تهیه شده برای منطقه مطالعاتی از چند لایه (Coverage) تشکیل شده است.

۴-۷-۱- لایه اطلاعاتی آبخوان

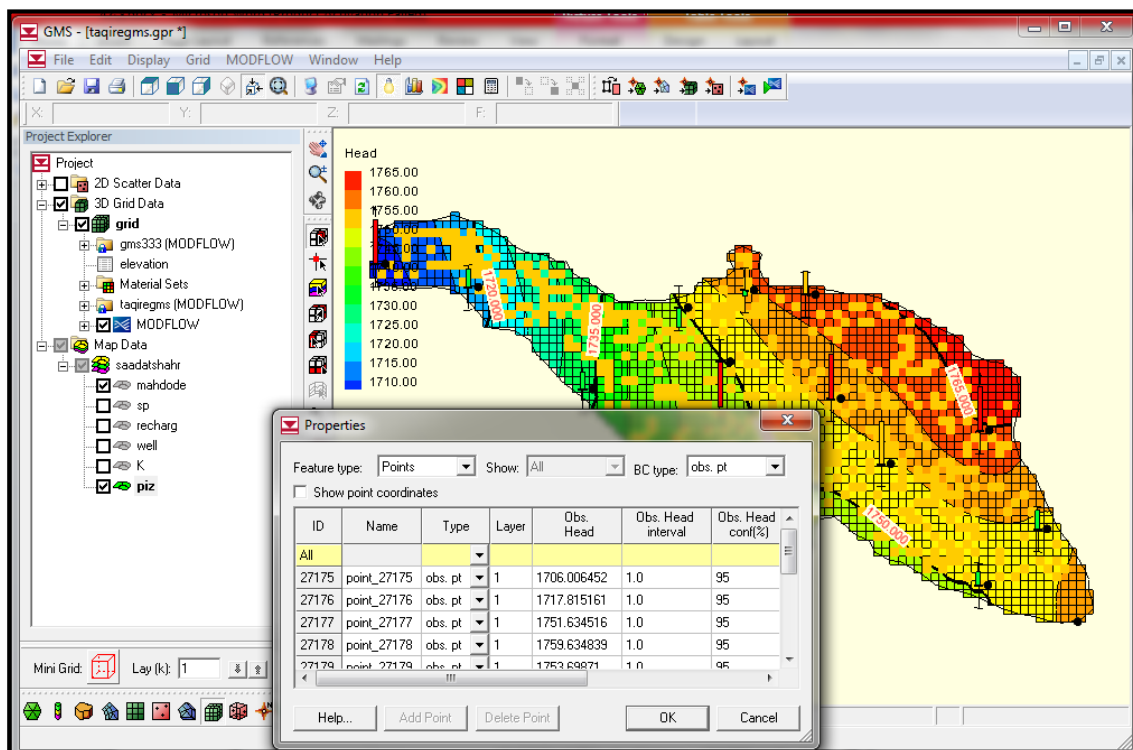
اولین لایه اطلاعاتی شامل تعیین محدوده مطالعاتی است این محدوده شامل محدوده‌ی اطراف چاه‌های بهره‌برداری و پیزومترها می‌باشد که در نرم‌افزار GIS با استفاده از نقشه توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تهیه و در قالب یک فایل با پسوند Shp (Shape file) وارد نرم‌افزار GMS گردید (شکل ۴-۱).

۴-۷-۲- لایه اطلاعاتی پیزومتر

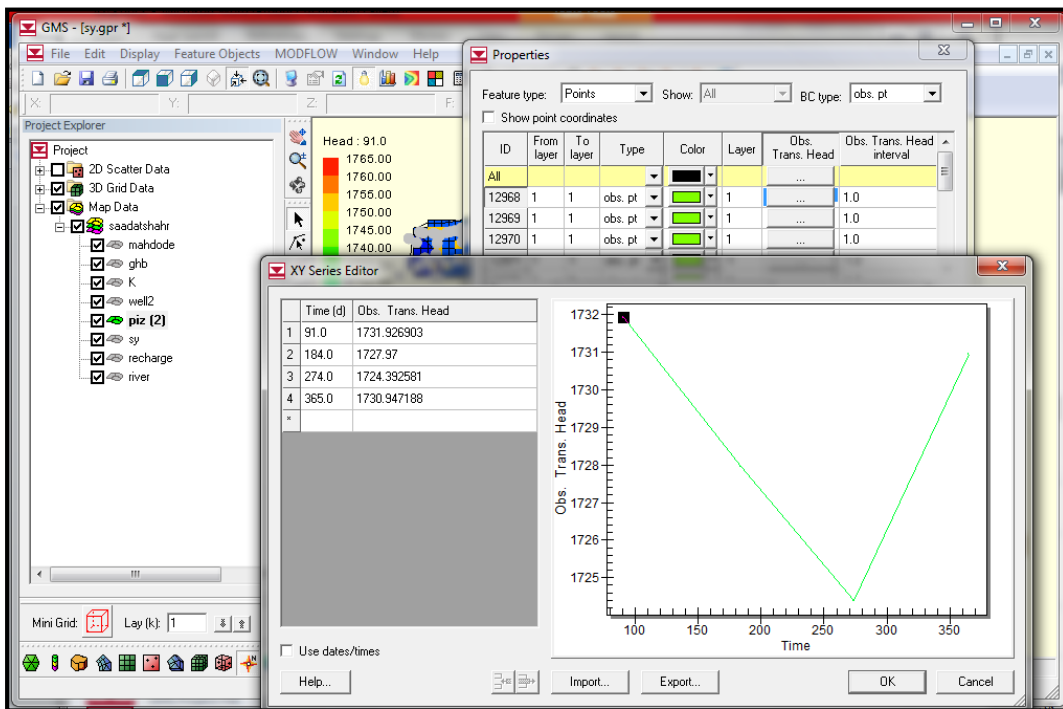
این لایه با استفاده از داده‌های ۱۳ حلقه چاه مشاهده‌ای و با نام PIZ در نرم‌افزار معرفی شد. برای این لایه از داده‌های پیزومتری بهمن ۱۳۸۸ برای حالت پایدار و از داده‌های پیزومتری اسفند ۱۳۸۸ تا بهمن ۱۳۸۹ برای حالت ناپایدار استفاده شد. این داده‌ها بعد از انجام دادن یک سری مراحل محاسباتی در نرم‌افزار Excel با فرمت txt وارد نرم‌افزار GMS شد. شکل ۴-۲ لایه اطلاعاتی پیزومتر در حالت پایدار و شکل ۴-۳ لایه اطلاعاتی پیزومتر در حالت ناپایدار را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- محدوده مطالعاتی دشت سعادت شهر



شکل ۴-۲- لایه اطلاعاتی پیزومتر در حالت پایدار



شکل ۴-۳- لایه اطلاعاتی پیزومتر در حالت ناپایدار

۴-۷-۳- لایه اطلاعاتی چاه بهره‌برداری

لایه اطلاعاتی چاه با استفاده از داده‌های ۶۰۵ حلقه چاه بهره‌برداری در مدل ایجاد شد. این داده‌های اولیه داده‌هایی خام و به صورت تخلیه سالیانه است از آنجا که واحد انتخابی برای استفاده از این داده‌ها در نرم‌افزار GMS به صورت روزانه تعیین شده است پس باید این داده‌ها را به صورت تخلیه خالص و به صورت روزانه محاسبه کرد.

برای به دست آوردن تخلیه خالص چاه‌های بهره‌برداری، ابتدا با در نظر گرفتن ساعت کارکرد چاه‌های بهره‌برداری، ضرایبی برای هر ماه در نظر گرفته شد (بر اساس نظر کارشناس اداره آب (جدول ۴-۲)). با ضرب تخلیه سالیانه هر چاه بهره‌برداری در ضریب هر ماه تخلیه ناخالص به صورت ماهانه به دست می‌آید. چون تخلیه خالص (تخلیه انجام شده با کسر مقدار آب برگشتی) مد نظر است با کسر آب برگشتی آبیاری از میزان تخلیه ماهانه، تخلیه خالص به دست می‌آید. میزان آب برگشتی از آبیاری با در نظر گرفتن سطح زیر کشت و نوع فعالیت کشاورزی یا باغداری در منطقه و با توجه به گزارش اداره آب منطقه‌ای ۲۰ درصد

در نظر گرفته شد. با کسر این مقدار از تخلیه ماهانه هر چاه میزان تخلیه خالص به صورت ماهانه، و با تقسیم تخلیه خالص ماهانه بر تعداد روز در هر ماه، به صورت روزانه به دست می‌آید. این داده‌ها در نرم افزار Excel و با فرمت txt وارد نرم‌افزار GMS شد. برای حالت پایدار از داده‌های تخلیه بهمن‌ماه استفاده شد و در حالت ناپایدار چون دوره‌ها به صورت فصلی در نظر گرفته شده است، از میانگین داده‌های هر دوره به صورت روزانه استفاده گردید (شکل ۴-۴ و ۴-۵).

جدول ۴-۲- درصد ضرایب ماهانه تخلیه هر چاه (اداره آب منطقه‌ای استان فارس)

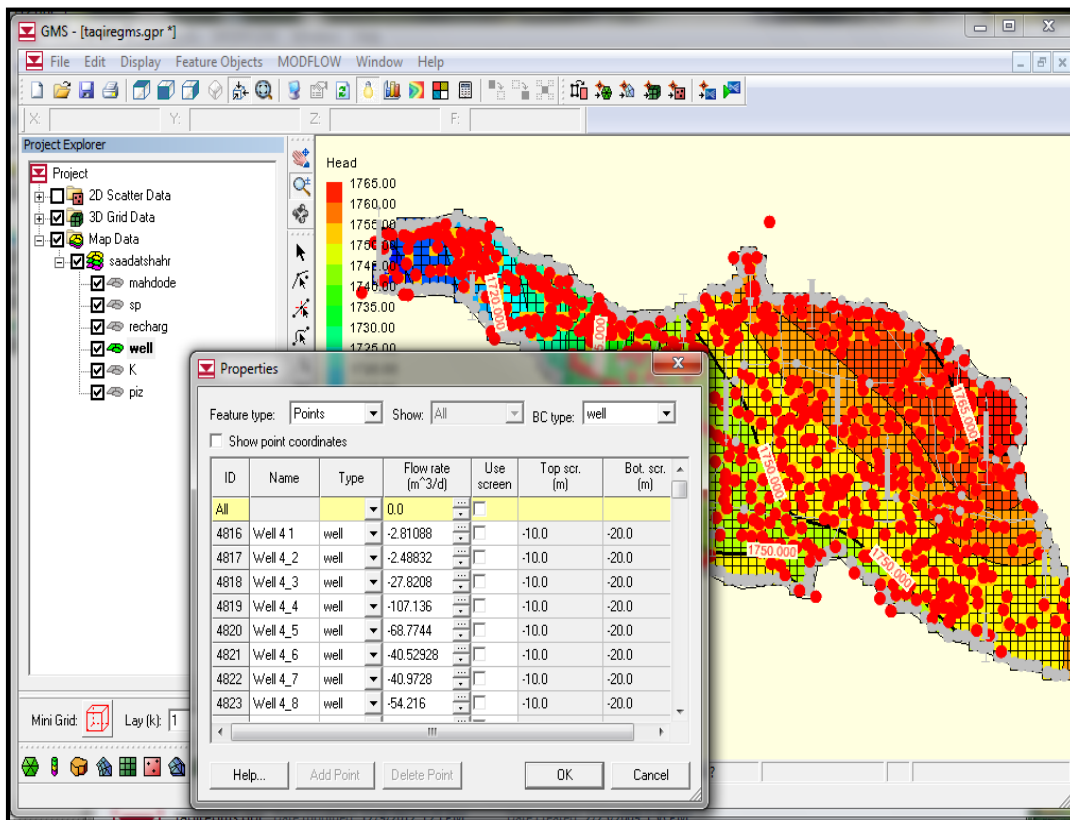
فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۸	۱۳	۱۶	۱۷	۱۷	۱۲	۸	۴	۲	۱	۱	۱

۴-۷-۴- لایه اطلاعاتی تغذیه

در تهیه مدل مفهومی دشت از بسته‌ی Recharge برای وارد کردن تغذیه استفاده شد. به دلیل ویژگی‌های متفاوت خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و شدت بارندگی، میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی در نقاط مختلف متفاوت است. منابع تغذیه در دشت عبارتند از: بارندگی، فاضلاب شهری، آب بازگشتی از کشاورزی و رودخانه. باتوجه به پوشش گیاهی، شدت بارندگی، تراکم چاه‌های بهره‌برداری و موقعیت منطقه شهری، منطقه مورد مطالعه به ۱۳ زون تقسیم شده است. داده‌های تغذیه بر حسب متر بر روز به مدل وارد گردید.

۴-۷-۵- لایه اطلاعاتی تبخیر

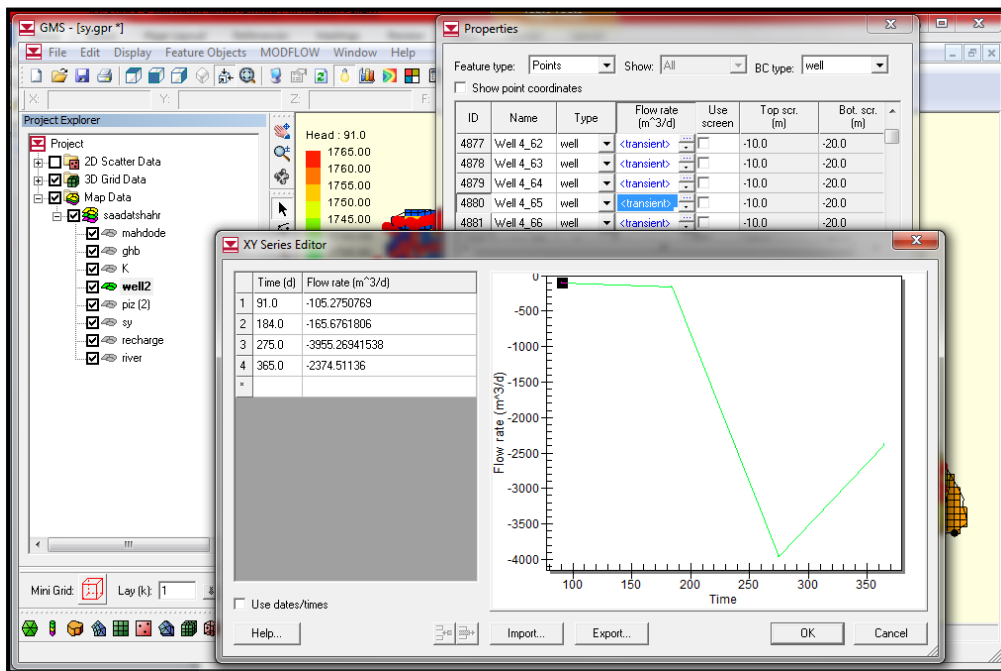
با توجه به عمق سطح آب زیرزمینی در منطقه مدل شده اگر تبخیر وجود داشته باشد در نرم‌افزار MODFLOW با نام بسته نرم‌افزاری تبخیر و تعرق شبیه‌سازی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که تبخیر تا عمق ۲/۵ متری از سطح زمین قابل توجه و از عمق ۳ تا ۵ متری ناچیز و از ۵ متری به بعد صفر می‌باشد. با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی در منطقه و محدوده مطالعاتی پایین تر از حدی است که تبخیر بر آن اثر بگذارد، بنابراین این پارامتر در محاسبات بیلان و مدل‌سازی صفر در نظر گرفته شده است.



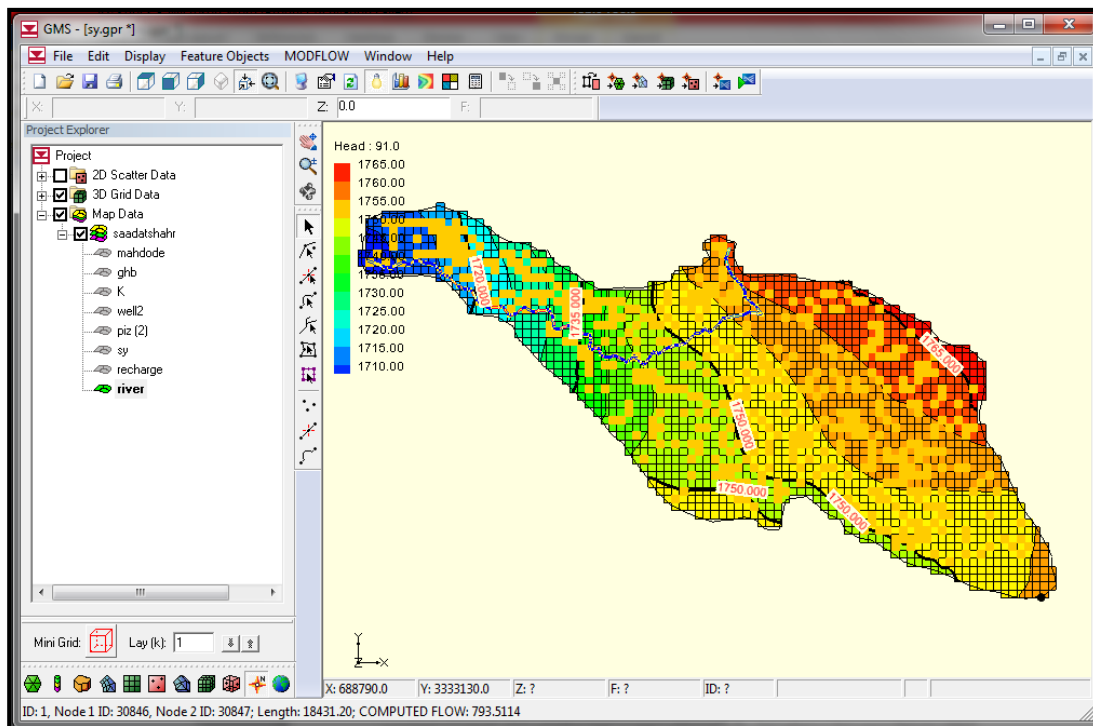
شکل ۴-۴- لایه اطلاعاتی چاه‌های بهره‌برداری در حالت پایدار

۴-۷-۶- لایه اطلاعاتی رودخانه

رودخانه سیوند تنها رودخانه دائمی این منطقه است که باعث تغذیه آبخوان می‌شود. برای اعمال رودخانه در مدل‌سازی از پکیج RIVER استفاده می‌شود. برای وارد کردن رودخانه به محیط مدل ابتدا مسیر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Google Earth مشخص شد. بعد از مشخص شدن مسیر رودخانه در محیط GIS، رودخانه به صورت POLYLINE ترسیم و با فرمت SHP وارد نرم افزار GMS شد.



شکل ۴-۵- لایه اطلاعاتی چاه‌های بهره‌برداری در حالت ناپایدار



شکل ۴-۶ لایه اطلاعاتی رودخانه

۴-۷-۷- لایه اطلاعاتی شرایط مرزی

انتخاب شرایط مرزی مناسب برای مدل یکی از مراحل مهم در تهیه و طراحی مدل جریان آب زیرزمینی است. شرایط مرزی شامل مرزهای فوقانی، جانبی و تحتانی می‌باشد. با استفاده از نقشه هم‌پتانسیل، موقعیت چاه‌های بهره‌برداری، پیزومترها و نقشه زمین‌شناسی مرز آبخوان ترسیم گردید. مرزهای هیدروژئولوژیکی به دو دسته مرزهای فیزیکی و هیدرولیکی تقسیم می‌شود. مرزهای فیزیکی بر اساس سیمایهای مشخص زمین‌شناسی توده‌های نفوذناپذیر مشخص می‌شود و مرزهای هیدرولیکی از شبکه جریان آب‌های زیرزمینی مشخص می‌شود در واقع مرزهای مصنوعی هستند که توسط طراح مدل ایجاد می‌گردند. مرزهای آبخوان در قسمت‌های شمال غرب بر اساس موقعیت پیزومترها و خطوط جریان، هیدرولیکی و در مناطق دیگر مرزها فیزیکی انتخاب شد. با توجه به شرایط زمین‌شناسی منطقه و خطوط جریان رسم شده در ماه‌های مختلف مرزهای خروجی و ورودی دشت تعیین گردید. با توجه به این مطالب ورودی دشت در قسمت‌های شرقی و شمال شرق و جنوب شرق و خروجی در قسمت‌های غربی دشت می‌باشد.

برای تعیین شرایط مرزی بر روی مرزهای منطقه، با بررسی داده‌های سطح ایستابی چاه‌های پیزومتریک منطقه و رسم خطوط تراز ارتفاع سطح ایستابی نقاط ورودی و خروجی جریان آب زیرزمینی مشخص شد و نهایتاً مرزهای محدوده به شرح زیر بازسازی شدند.

الف) مرز بدون جریان

این مرز به عنوان مرز نفوذ ناپذیر یا جریان صفر نامیده می‌شود مرزی است که هیچ‌گونه جریانی از آن عبور نمی‌کند. این مرز که عمود بر خطوط هم‌پتانسیل می‌باشد، خود یک خط جریان محسوب شده و معمولاً مرز بین سازندهای نفوذناپذیر با آبخوان در نظر گرفته می‌شود. مرزهای شمال غربی و مرزهای جنوب دشت به عنوان مرز نفوذ ناپذیر در نظر گرفته شد.

ب) مرز با بار عمومی

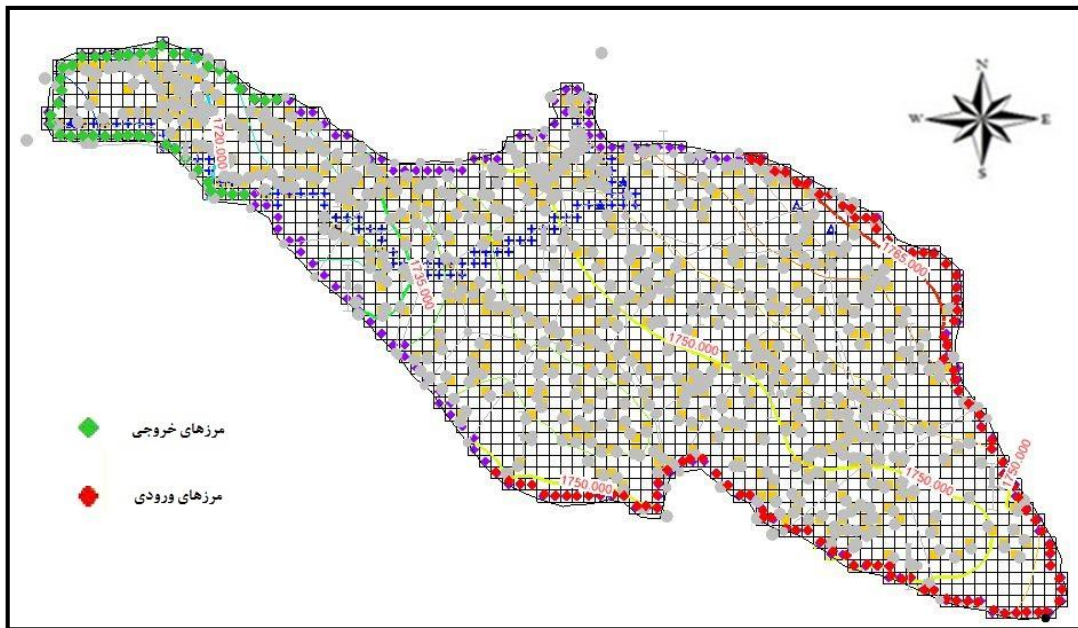
از بسته مرز با بار عمومی که به اختصار GHB^1 خوانده می‌شود برای شبیه‌سازی نقاط ورودی خروجی آب زیرزمینی استفاده شد. این نوع مرز برای تعیین مقدار جریان انتقالی از رابطه (۴-۱) استفاده می‌کند.

$$Q_b = C_b \times (h_b - h) \quad (۴-۱)$$

در این رابطه، h_b بار هیدرولیکی در سلول مرزی، h بار هیدرولیکی در سلول آبخوان مجاور به مرز و C_b میزان هدایت هیدرولیکی بین منبع تأمین کننده جریان و مرز شبکه اصلی است که به مقدار K ضریب هدایت هیدرولیکی روی مرز، A مساحت عمود بر جریان انتقالی و L فاصله بین منبع تأمین کننده جریان و مرز شبکه اصلی وابسته است. مقادیر C_b و h_b در طول یک دوره استرس ثابت می‌باشد. بسته مرز با بار هیدرولیکی عمومی یک جریان خطی نامحدود را بین مرز و آبخوان مفروض می‌دارد و باید آن را با احتیاط مورد استفاده قرار داد اگر مقدار رسانایی مورد استفاده در این بسته بزرگ باشد، سلول شبیه‌سازی شده توسط آن مانند سلول دارای بار هیدرولیکی ثابت خواهد بود و ممکن است یک بیلان آبی آشکار دهد. در این گونه موارد مدل یک مقدار برای بار هیدرولیکی نزدیک به مرز محاسبه می‌کند که اختلاف کمی با بار هیدرولیکی سلول مرزی طراحی شده دارد که این شیب کمی را بین آبخوان و گره مرزی به وجود خواهد آورد. در محاسبات بیلان آبی جریان در امتداد مرز با استفاده از شیب کم و رسانایی بالا محاسبه خواهد شد که جریان زیادی از آب را سبب می‌شود. اگر تعداد سلول‌های شبیه‌سازی شده توسط بسته GHB بیشتر گردد، خطای بیلان آبی نیز افزایش خواهد یافت. اگر چه مرز GHB به عنوان منشأ خطا شناخته شده است لیکن این خطای بیلان نتایج مدل را نامعتبر نمی‌سازد.

این نوع خطا را می‌توان به وسیله کاهش مقدار رسانایی (Conductance) و افزایش بار هیدرولیکی سلول مرزی تا زمانی که مدل بیلان آبی قابل قبولی ارائه دهد، از بین برد.

¹ - General Head Boundry

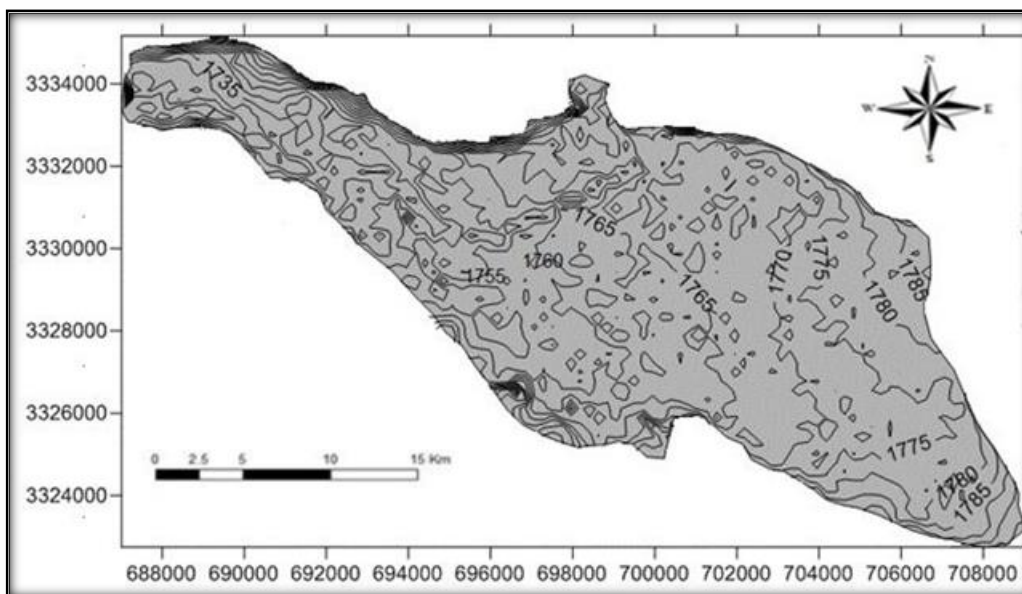


شکل ۴-۷- لایه اطلاعاتی مرز با بار عمومی

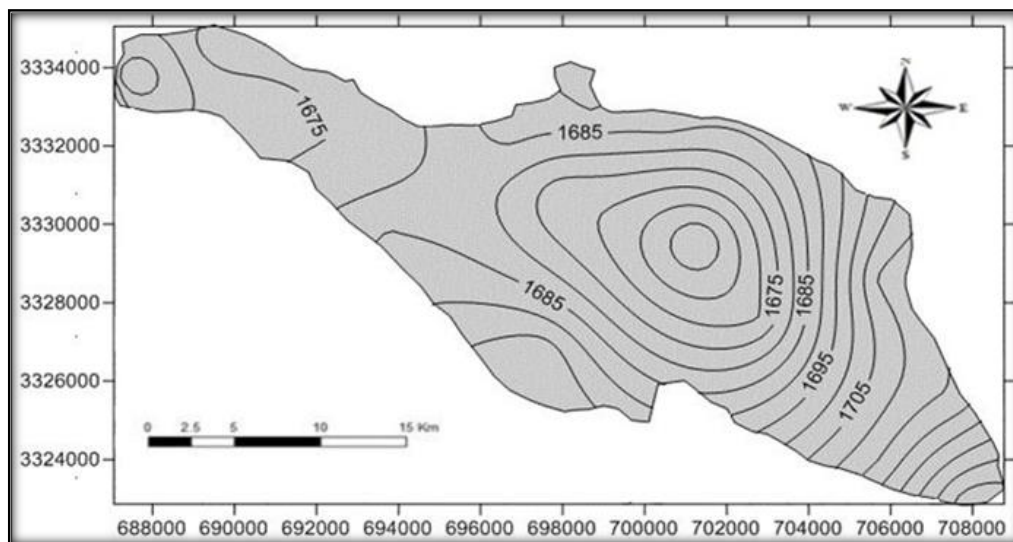
برای ترسیم مرز فوقانی از نقشه توپوگرافی و dem استفاده گردید. اطلاعات رقومی توپوگرافی سطح زمین از نقشه dem استخراج و به صورت فایل txt وارد نرم‌افزار مدل‌سازی شد. در نرم‌افزار GMS با استفاده از روش^۵ IDW درونیابی گردید و به کلیه سلول‌ها اختصاص داده شد و مرز فوقانی مدل تهیه گردید (شکل ۴-۸).

برای تهیه مرز تحتانی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک و لاگ‌های حفاری نقشه منحنی تراز سنگ کف ترسیم گردید. بعد از ترسیم نقشه، در محیط Arc View به لایه رستری، و با استفاده از ابزارهای Arc View به نقاط ارتفاعی تبدیل شد. این داده‌ها با فرمت txt وارد نرم‌افزار GMS شد و با استفاده از مدول 2D Scatter Point و روش IDW درونیابی و به کلیه سلول‌ها تعمیم داده شد (شکل ۴-۹).

¹- Inverse Distance Weighted



شکل ۴-۸- تراز لایه فوقانی محدوده مورد مطالعه



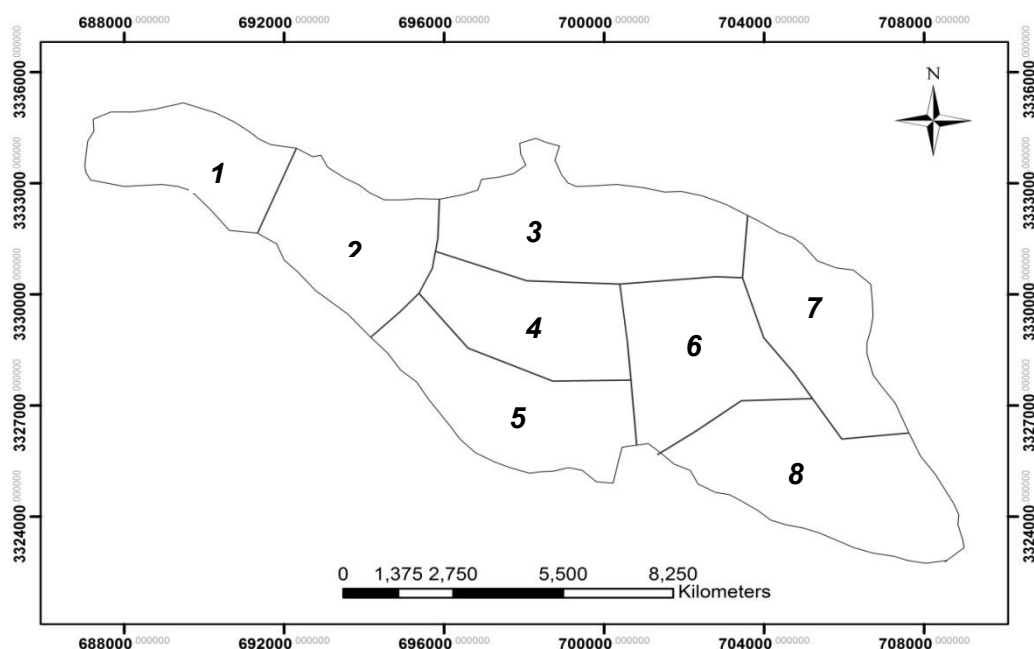
شکل ۴-۹- تراز سنگ بستر محدوده مورد مطالعه

۴-۷-۸- پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان

پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان شامل هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه می‌باشد.

الف) هدایت هیدرولیکی

برآورد اولیه این پارامتر با استفاده از آزمایش‌های پمپاژ در منطقه، جنس لایه‌های آبرفتی و دانه‌بندی منطقه به دست آمد. برای مشخص کردن پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان از روش منطقه‌ای استفاده و بر اساس لاگ‌های حفاری و آزمایش‌های پمپاژ به ۸ منطقه تقسیم‌بندی گردید (شکل ۴-۱۰). مقادیر اولیه این پارامتر بر حسب متر بر روز وارد مدل شد تا در مرحله واسنجی به وسیله مدل بهینه گردد (جدول ۴-۳).



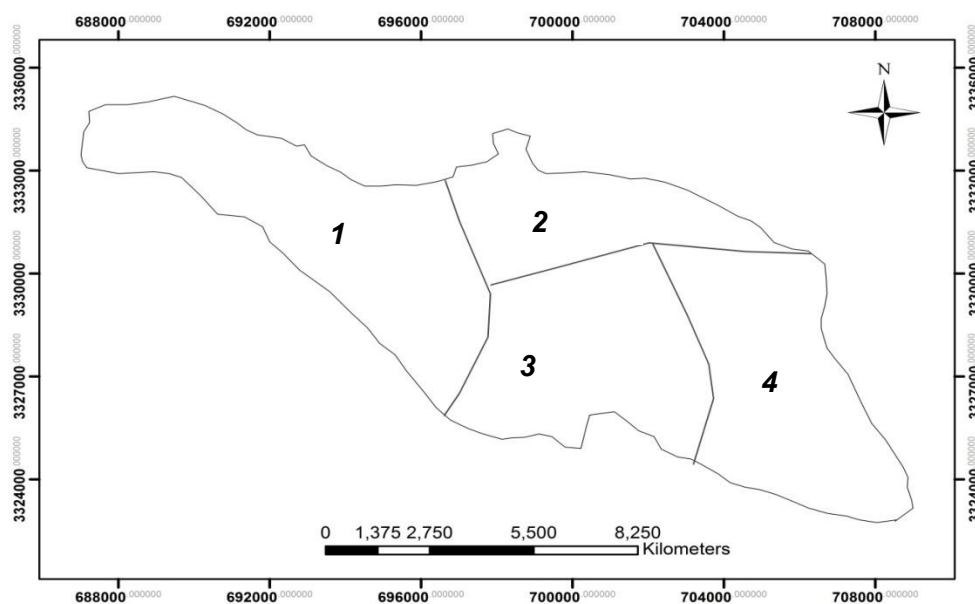
شکل ۴-۱۰- منطقه‌بندی اولیه هدایت هیدرولیکی

جدول ۴-۳- مقدار اولیه هدایت هیدرولیکی متر بر روز

منطقه‌بندی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
K(m/d)	۲۸	۲۴/۵	۲۱	۱۷	۱۵	۱۸	۲۰	۱۳

ب) آبدهی ویژه

ضریب ذخیره یک آبخوان عبارت است از حجم آبی که هر واحد سطح از سطح افقی آبخوان به ازاء واحد افت سطح ایستابی (در آبخوان های آزاد) یا سطح پیزومتریک (در آبخوان تحت فشار) می تواند آزاد کند. این پارامتر بدون بعد می باشد آبخوان های آزاد از اصطلاح آبدهی ویژه (Specific storage) یا تخلخل مفید (Effective porosity) استفاده می شود که عبارت است از حجم آب آزاد شده یا ذخیره شده به ازاء واحد حجم سفره که زهکشی می شود یا اشباع می گردد. مقدار اولیه این پارامتر با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ و دانه بندی منطقه به صورت منطقه ای وارد مدل گردید تا در خلال واسنجی مورد تصحیح و تدقیق قرار گیرد (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱- منطقه بندی اولیه آبدهی ویژه

جدول ۴-۴- مقدار اولیه آبدهی ویژه

منطقه بندی	۱	۲	۳	۴
S_y	۰/۰۳۴	۰/۰۱۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۶۵

۴-۸- طراحی و اجرای مدل

گام بعدی در اجرای شبیه‌سازی جریان، ایجاد یک شبکه و اختصاص پارامترهای مدل به شبکه است.

۴-۸-۱- شبکه بندی

برای حل معادلات دیفرانسیل، مدل باید به ابعاد کوچکتر تقسیم شود در روش تفاضل محدود معمولاً منطقه مطالعاتی با استفاده از خطوط عمود بر هم یا غیرعمود بر هم در فضای منحنی الخط به تعدادی جزء چهار ضلعی تقسیم می‌شود چهار ضلعی‌ها تشکیل شده سلول (خانه) نامیده می‌شود. فرض بر این است که خواص هیدرولیکی و هیدروژئولوژیک، در محدوده یک سلول یکنواخت است در نتیجه هر سلول توسط گره وابسته به آن مشخص می‌شود این نوع شبکه مرکز شبکه‌ای نامیده می‌شود. موقعیت هر سلول در شبکه توسط یک سیستم نمایه ای ijk مشخص می‌شود که

➤ i نمایه ردیف است.

➤ j نمایه ستون است

➤ K نمایه لایه است

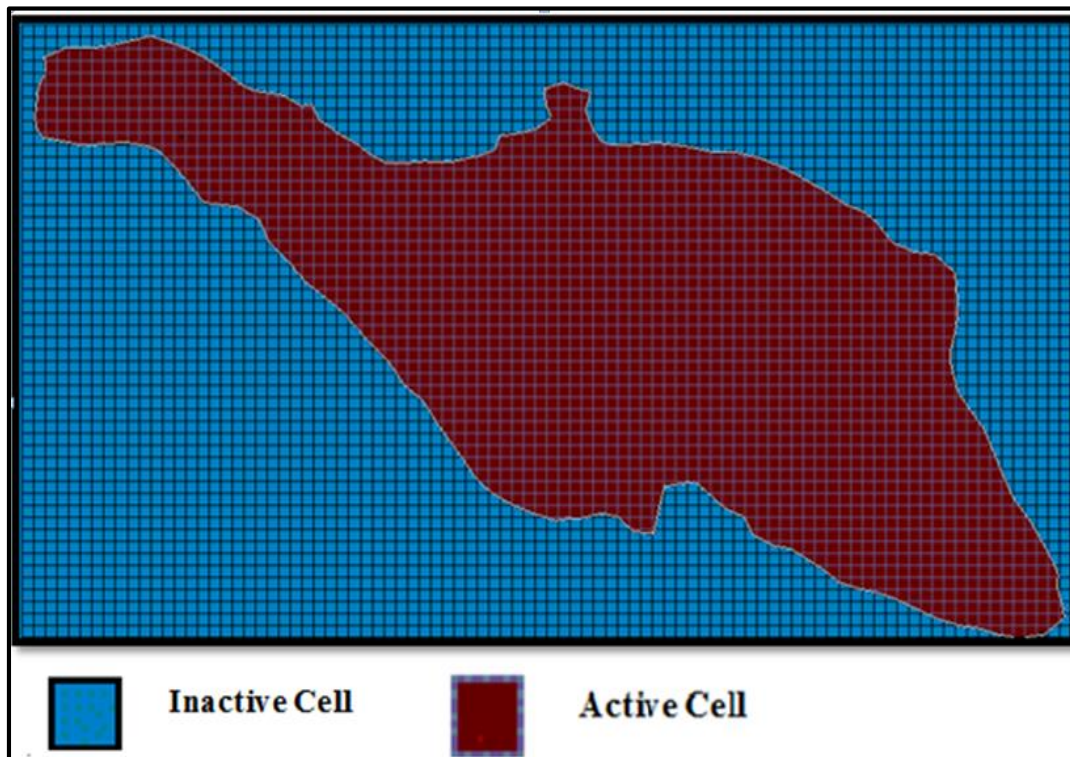
شبکه می‌تواند به صورت یکنواخت یا غیر یکنواخت باشد که در حالت اول سلول‌ها دارای ابعاد یکسان هستند. در حالت دوم اندازه سلول‌ها متغیر است اگرچه شبکه یکنواخت از لحاظ ریاضی ترجیح داده می‌شود ولی در بیشتر موارد به طراحی شبکه غیریکنواخت نیاز است. انتخاب شبکه یکنواخت در موارد زیر بهتر است:

داده‌های موجود در مورد ویژگی‌های آبخوان به صورت یکنواخت در سطح منطقه مدل توزیع شده‌اند.

تمام میدان جریان دارای اهمیت یکسانی است.

شبکه غیر یکنواخت زمانی مناسب‌تر است که در بخش‌هایی از منطقه مدل داده‌های کمی وجود داشته یا اصلاً داده‌ای وجود نداشته باشد یا اینکه توجه خاص معطوف به یک یا چند منطقه کوچکتر از میدان جریان باشد.

ابعاد هر سلول برای مطالعه هر آبخوان به اطلاعات موجود در آبخوان بستگی دارد. هر قدر اطلاعات جمع آوری شده از آبخوان بیشتر باشد ابعاد سلولها کوچکتر و تعداد سلولها بیشتر و دقت محاسبات افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد سلولها، حجم کار آماده‌سازی داده‌ها و نیز حجم عملیات محاسباتی به مراتب بیشتر خواهد شد. در دشت سعادت‌شهر با در نظر گرفتن داده‌های در دسترس، شکل مرزهای آبخوان و وسعت منطقه محدوده مدل به ۹۰ ردیف و ۵۱ ستون از نوع مرکز شبکه‌ای با ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ شبکه‌بندی گردید. سلول‌هایی که در محدوده مدل قرار می‌گیرد فعال، و به سلول‌هایی که در خارج از محدوده مدل قرار می‌گیرد سلول‌های غیر فعال می‌گویند (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲- سلول‌های فعال و غیر فعال در محدوده منطقه مورد مطالعه

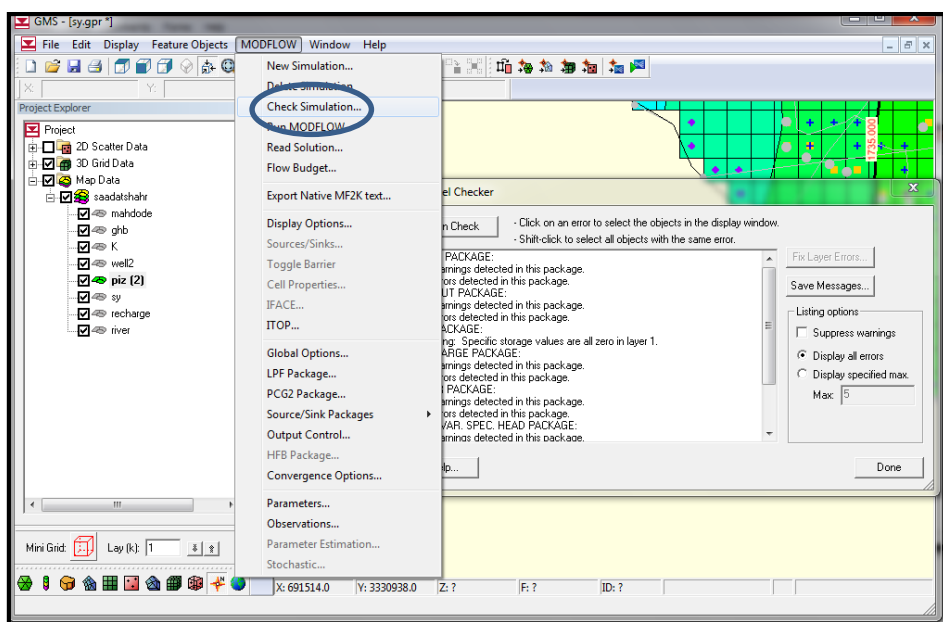
۴-۸-۲- تبدیل مدل مفهومی به مدل عددی

بعد از ساخت مدل مفهومی این مدل باید به مدل عددی تبدیل شود. برای تبدیل مدل مفهومی به مدل عددی از قابلیت نرم‌افزار GMS استفاده شد. با استفاده از مدول Map Data از منوی Feature و با انتخاب گزینه Map > Modflow مدل مفهومی ساخته شده به مدل عددی تبدیل می‌گردد.

قبل از اجرای مدل بهتر است از ابزار چک کننده مدل در مدول Modflow استفاده شود. با استفاده از این ابزار تمام اطلاعات ورودی مدل بررسی می‌شود و تمامی خطاهای نرم‌افزار بررسی و حل می‌شود. در این تحقیق قبل از اجرای مدل از ابزار Check Simulation استفاده گردید. شکل ۴-۱۳ خطای مدل تهیه شده را قبل از اولین اجرای مدل نشان می‌دهد. از جمله خطاهایی که قبل از اولین اجرای مدل وجود داشت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

➤ بالاتر بودن ارتفاع سنگ کف از Starting Head در تعدادی از سلول‌ها

➤ صفر شدن مقدار هدایت هیدرولیکی برای بعضی از سلول‌ها



شکل ۴-۱۳- ابزار چک کننده مدل قبل از اجرای مدل

بعد از برطرف کردن خطاهای اولیه و احتمالی و با اطمینان از نبود خطا مدل طراحی شده در حالت پایدار اجرا گردید.

۴-۹- واسنجی

همانگونه که قبلاً گفته شد تقریباً در ساخت هر مدلی، نتایج حاصل از اولین محاسبه، با مشاهدات اختلاف زیادی داشته، بر آن منطبق نشده و اختلاف آن با مشاهدات در حد قابل قبول نمی باشد. به منظور کاهش اختلاف بین نتایج محاسباتی با مشاهدات، کالیبراسیون یا واسنجی مدل صورت گرفته و مدل کالیبره می شود. واسنجی فرایند تغییر پارامترهای ورودی به مدل (شامل میزان تغذیه و تخلیه از منابع آبی و مرزهای GHB، هدایت هیدرولیکی، ضریب آبدهی و...) در یک محدوده معین است تا زمانی که بهترین درجه از تطابق بین سیستم هیدروژئولوژیکی فیزیکی مشاهده شده با سیستم شبیه سازی شده برقرار گردد.

۴-۹-۱- واسنجی در حالت پایدار

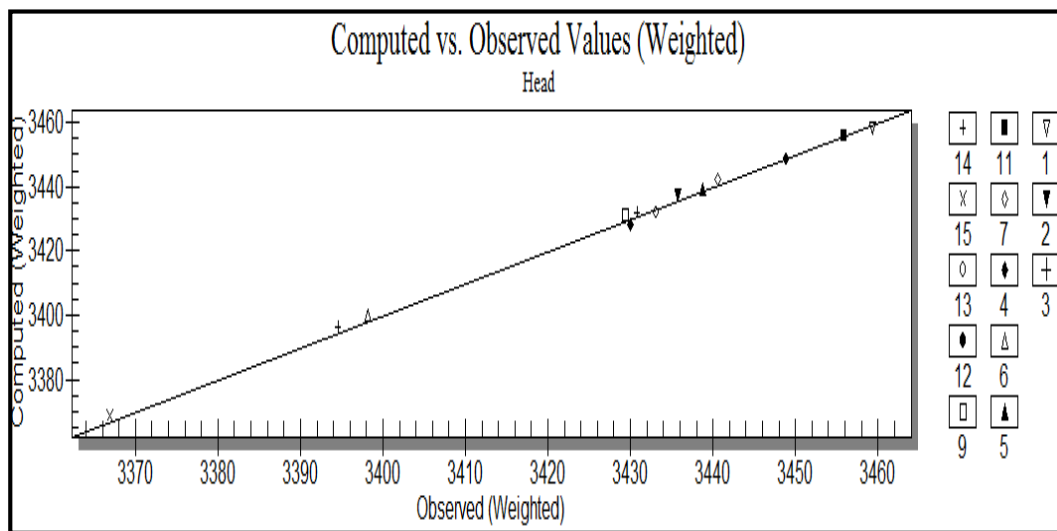
مدل برای یک دوره پایدار یک ماهه (بهمن ۱۳۸۸) با استفاده از روش سعی و خطا و برای بهینه سازی مقدار هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه انجام شد. اطلاعات مربوط به سطح آب برای کلیه گره ها و پیژومترها محاسبه گردید. طی مرحله واسنجی پارامترهایی مثل هدایت هیدرولیکی، پارامتر تغذیه، فاکتور قابلیت هدایت مرزها، جریان خروجی و ورودی و شرایط مرزی با توجه به جهت جریان در طول چند ده مرتبه اجرای مدل تغییر داده شد تا برازش مناسبی بین بارهای هیدرولیکی محاسبه شده و مشاهده شده ایجاد گردد و میزان خطا و اختلاف به حد مطلوب و مجاز برسد. خطای قابل قبول و مجاز بسته به هدف مدل سازی متفاوت است در این تحقیق میزان خطای قابل قبول یک متر می باشد. در طول کالیبره کردن و واسنجی میزان خطای RMS مد نظر است هر چه این خطا به صفر نزدیک تر شود مدل از دقت و صحت بالایی برخوردار خواهد بود.

$$\text{Mean Error} = 0.273$$

$$\text{Mean Abs. Error} = 0.657$$

$$\text{Root Mean Sq. Error} = 0.723$$

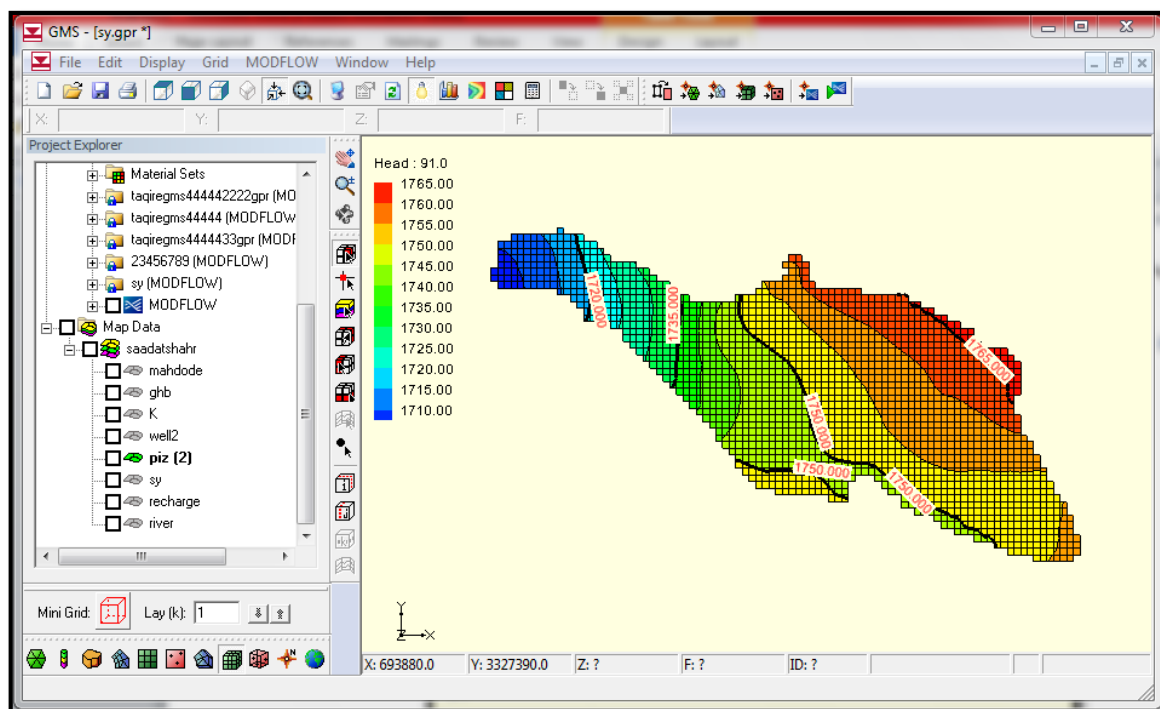
بعد از اتمام کالیبراسیون تمام پیزومترها در محدوده خطای مجاز قرار گرفتند و همگی به رنگ سبز درآمدند (شکل ۴-۱۵). مقایسه بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی سطح آب در پیزومترها حاکی از آن است که انطباق مناسبی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی وجود دارد (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴-برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای آخرین اجرای مدل در حالت پایدار.

۴-۹-۲- گسسته سازی زمانی برای حالت ناپایدار

برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی علاوه بر شبکه‌بندی مکانی، زمان نیز باید به دوره‌های زمانی کوچکتر (Δt) تقسیم گردد. این عمل با در نظر گرفتن داده‌های هیدروژئولوژیکی در دسترس، تنش‌های وارده به سیستم، هیدروگراف واحد دشت و هدف مدل‌سازی صورت می‌گیرد. در منطقه مورد مطالعه دوره‌های تنش با توجه به داده‌های هیدروژئولوژیکی در دسترس منطقه انتخاب گردید. دشت سعادت‌شهر در یک دوره زمانی یک ساله (اسفند ۱۳۸۸ تا بهمن ۱۳۸۹) با ۴ دوره تنش فصلی برای حالت ناپایدار شبیه‌سازی گردید. طول هر یک از دوره‌های تنش برابر با تعداد روزهای هر فصل می‌باشد. این چهار دوره در مدل به دوره‌های تنش معروف هستند. تقسیمات زمانی ذکر شده برای تمام چاه‌های مشاهده‌ای، چاه‌های بهره‌برداری، تغذیه و تنش‌های موجود در دشت اعمال گردید و وارد نرم‌افزار شد (شکل ۴-۱۶).

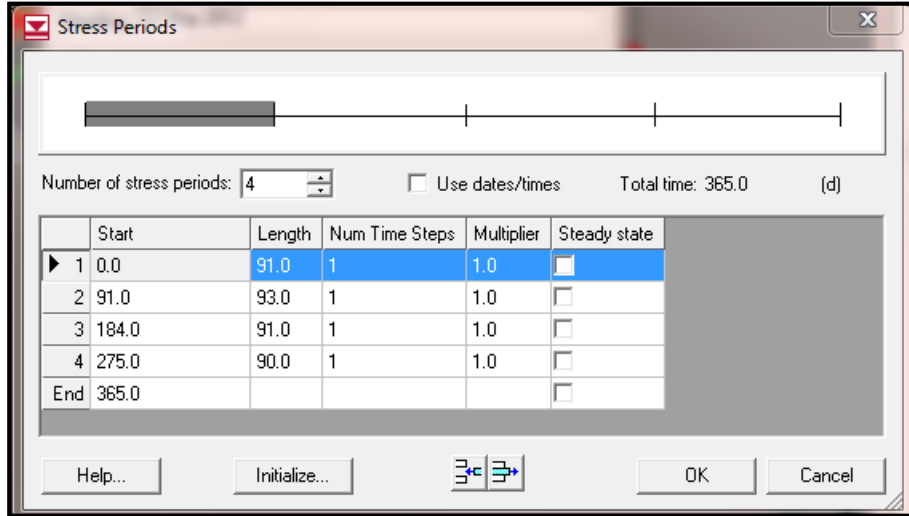


شکل ۴-۱۵- وضعیت تراز سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بعد از مرحله واسنجی در شرایط پایدار

۴-۹-۳- واسنجی در حالت ناپایدار

بعد از واسنجی مدل در شرایط پایدار، سطح آب به دست آمده به عنوان شرایط اولیه به مدل داده شده و مدل برای ۳۶۵ روز واسنجی شد. برای واسنجی در شرایط ناپایدار، از داده‌های ۱۳ حلقه چاه پیژومتری در محدوده مطالعاتی مربوط به اسفند ۱۳۸۸ تا پایان بهمن ۱۳۸۹، استفاده و مدل در این بازه زمانی تحت شرایط ناپایدار واسنجی شده است.

پارامترهای مختلفی مانند آبدهی ویژه، میزان تغذیه و... طی فرایند واسنجی در شرایط ناپایدار تغییر داده می‌شود و هدایت هیدرولیکی در این مرحله ثابت باقی می‌ماند چون در شرایط پایدار کالیبره شده است. این پارامترها تا زمانی واسنجی می‌شود که روند هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در بازه قابل قبول واقع شود و RMS حداقل شود و همه پیژومترها در محدوده خطای مجاز قرار گیرد.

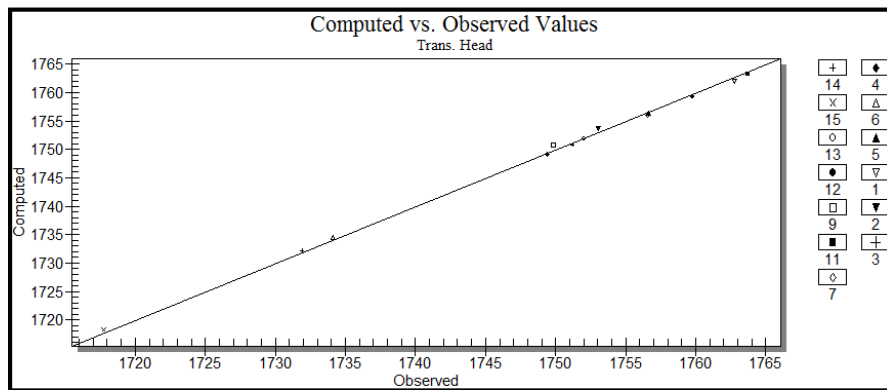


شکل ۴-۱۶- دوره‌های تنش و گام‌های زمانی در حالت ناپایدار

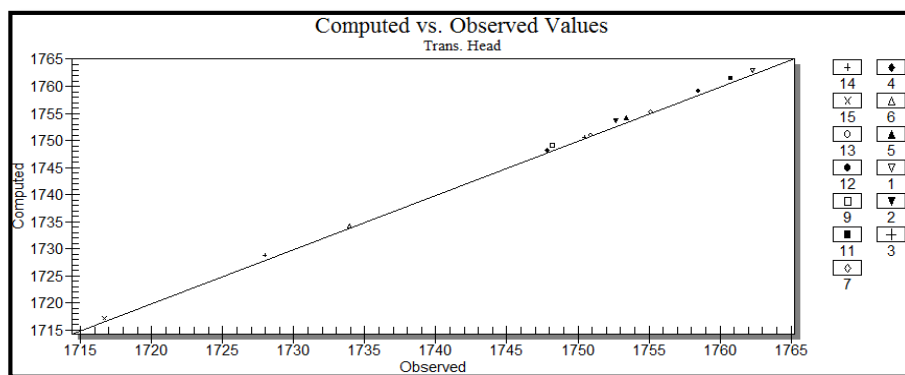
Error Summary	
Trans. Head	
Mean Error:	0.192
Mean Abs. Error:	0.562
Root Mean Sq. Error:	0.626

شکل ۴-۱۷- میانگین خطای آخرین اجرای مدل در حالت ناپایدار.

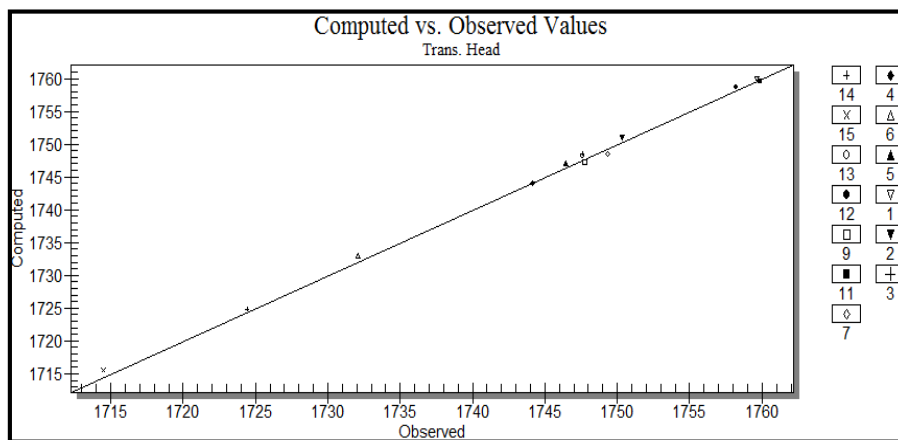
بعد از پایان مرحله واسنجی مقدار هدایت هیدرولیکی به ۶، آبدهی ویژه به ۳ و تغذیه به ۵ زون تقسیم گردید..



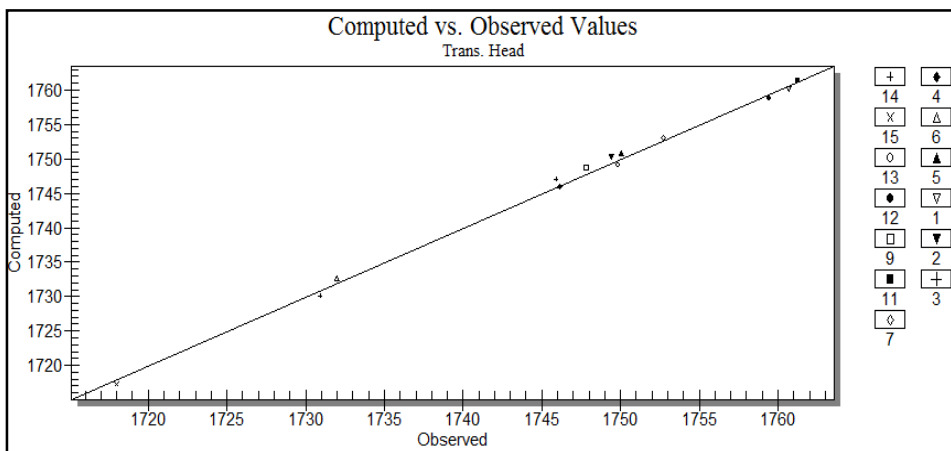
شکل ۴-۱۸- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره اول.



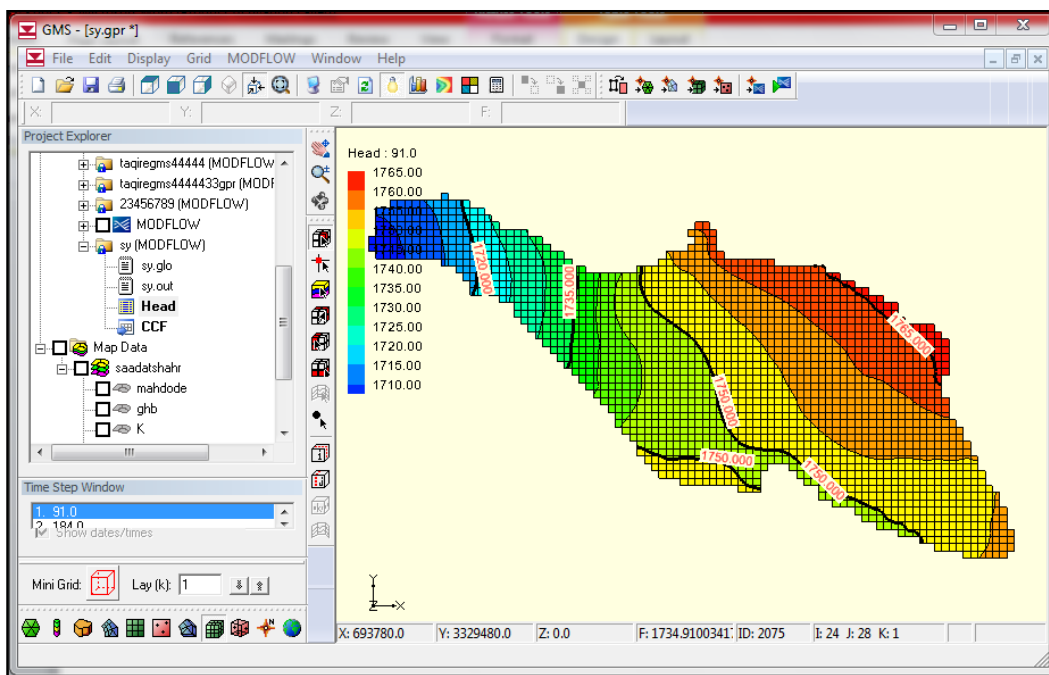
شکل ۴-۱۹- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره دوم.



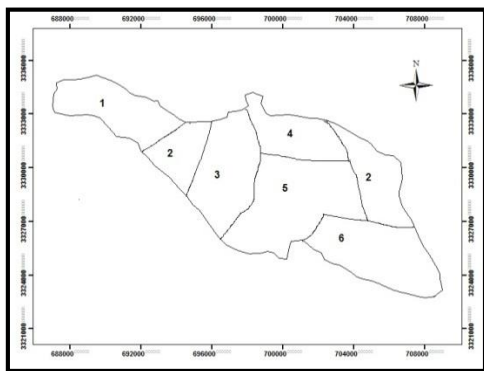
شکل ۴-۲۰- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره سوم.



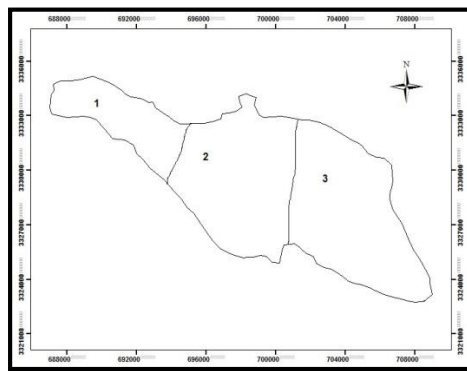
شکل ۴-۲۱- برازش مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی دوره چهارم.



شکل ۴-۲۲- تراز سطح آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بعد از مرحله واسنجی شرایط ناپایدار دوره اول.

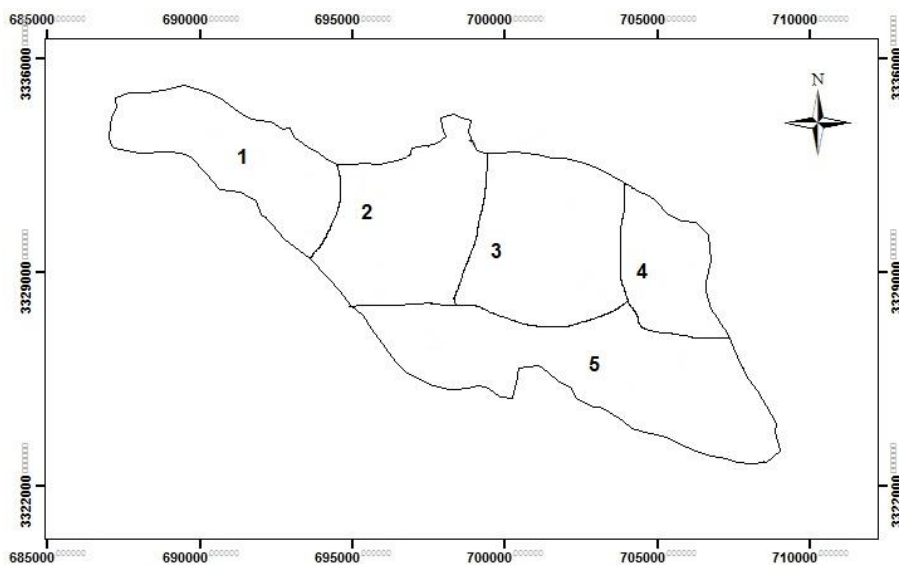


(a)



(b)

شکل ۴-۲۳- زون بندی نهایی منطقه بعد از مرحله واسنجی (a) زون بندی هدایت هیدرولیکی (b) زون بندی آبدهی ویژه



شکل ۴-۲۴- زون بندی نهایی تغذیه بعد از مرحله واسنجی.

با توجه به شکل (a) ۴-۲۳ و جدول (۴-۵) بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی مربوط به زون ۳ و کمترین مقدار مربوط به زون شماره ۵ می باشد. اندازه دانه ها در این زون نسبت به مناطق دیگر ریزدانه تر و عمق سنگ کف در این منطقه نسبت به مناطق دیگر بیشتر است. منطقه ۳ به خاطر درشت دانه تر بودن رسوبات دشت و رسوبات رودخانه ای بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی را به خود اختصاص داده است. با توجه به جدول ۴-۶ بیشترین مقدار تغذیه مربوط به زون ۴ می باشد این منطقه مربوط به منطقه شهری سعادت شهر می باشد که تأثیر بیشتری در تغذیه این دشت دارد. جمعیت این شهر طبق آخرین آمار

۱۶۰۰۰ نفر است که با توجه به میزان مصرفی هر نفر و مساحت شهری ۰/۰۰۳۷۷ متر بر روز تخمین زده شد. مناطق دیگر با توجه به افت زیاد سطح آب زیرزمینی و کم بودن میزان بارندگی نسبت به این منطقه خیلی کم و ناچیز می باشد.

جدول ۴-۵- مقادیر نهایی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه

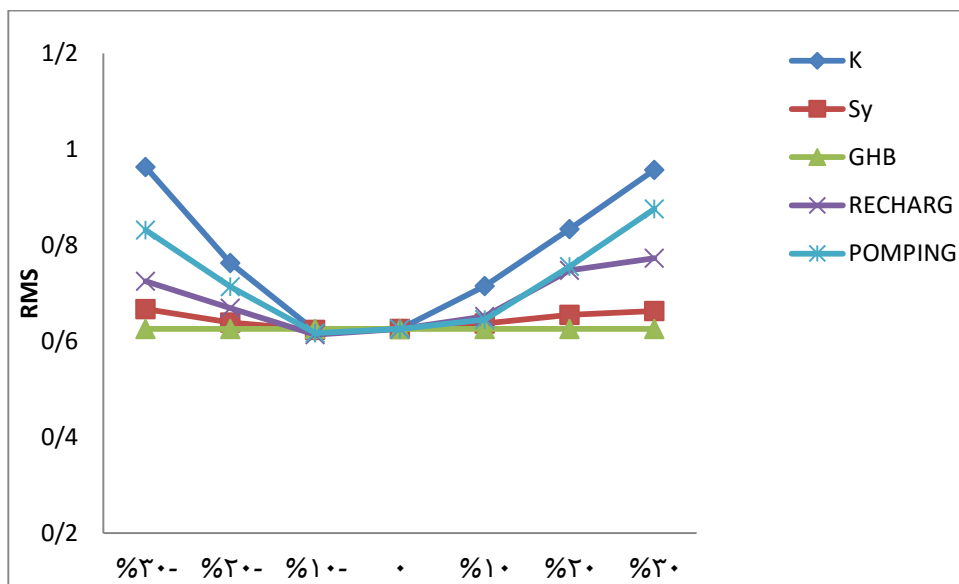
شماره منطقه (K)	K(m/d)	شماره منطقه (S _y)	S _y
۱	۱۹	۱	/۰.۲۵
۲	۱۶		
۳	۲۳	۲	/۰.۲۲۵
۴	۱۴		
۵	۱۲	۳	/۰.۲
۶	۱۵		

جدول ۴-۶- مقادیر نهایی تغذیه

شماره منطقه	Recharge (m/d)
۱	۰/۰۰۰۰۰۹۲
۲	۰/۰۰۰۰۰۸۶۷
۳	/۰۰۰۰۰۶۷
۴	/۰۰۰۳۷
۵	/۰۰۰۰۰۷۴۵

۱۰-۴- تحلیل حساسیت

برای تعیین حساسیت مدل نسبت به پارامترهای به کار رفته در فرایند مدل سازی، حساسیت سنجی مدل انجام گرفت. مدل نسبت به تغییر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، میزان تغذیه، تخلیه و رسانایی GHB حساسیت سنجی شد. برای اعمال حساسیت سنجی، هر کدام از پارامترهای ذکر شده به اندازه $\pm 10\%$ ، $\pm 20\%$ و $\pm 30\%$ تغییر داده شد و مدل در هر مرحله اجرا گردید. تغییر شاخص RMS جهت تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار گرفت.



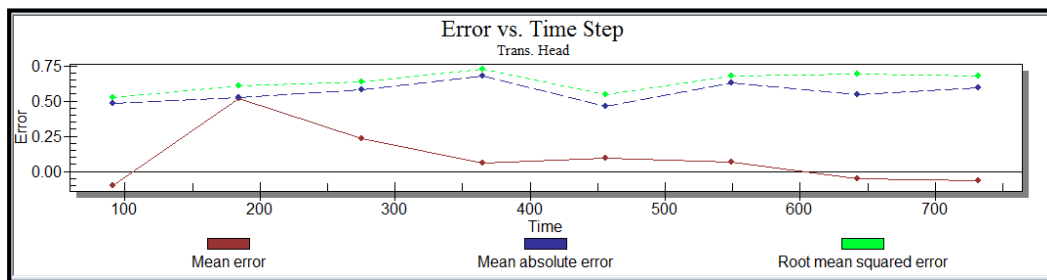
شکل ۴-۲۵- حساسیت مدل نسبت به تغییر یکنواخت پارامترها

با توجه به شکل (۴-۲۵) مشخص گردید که مدل نسبت به تغییر هدایت هیدرولیکی و تغییرات آبدهی ویژه به ترتیب بیشترین حساسیت و کمترین حساسیت، و نسبت به تغییرات رسانایی GHB هیچ گونه حساسیتی از خود نشان نمی دهد.

۱۱-۴- صحت سنجی

در این مرحله با استفاده از داده‌هایی که تاکنون در مدل سازی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند مدل اجرا می گردد. اگر مدل با دقت مناسبی واسنجی شده باشد، وقتی تحت استرس‌های مختلفی قرار گیرد باید

نتیجه قابل قبولی ارائه کند یعنی بدون تغییر منطقه‌بندی‌های به دست آمده برای مقادیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، مدل باید بتواند شرایط جدید را شبیه‌سازی کند. بدین صورت که پارامترهای تعیین شده در دوره واسنجی بدون تغییر وارد مدل شده و سپس با استفاده از آن شرایط جدید را می‌توان شبیه‌سازی کرد در صورت تطابق شرایط شبیه‌سازی شده با شرایط صحرائی، از مدل برای پیش‌بینی‌های آینده استفاده می‌کنند و در غیر این صورت مدل باید مراحل واسنجی را دوباره طی نماید. برای این حالت از داده‌ها و اطلاعات سطح آب اسفند ۱۳۸۹ تا بهمن ۱۳۹۰ استفاده می‌شود. این داده‌ها به صورت تنش‌های فصلی به مدل وارد گردید. و بدین ترتیب مقدار بار هیدرولیکی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. در طی فرایند صحت‌سنجی سعی شد برای برطرف کردن اختلاف جزئی که در برخی از چاه‌های مشاهده‌ای وجود داشت، برخی پارامترهای قابل تغییر در حد مجاز تغییر داده شود. در پایان دوره صحت‌سنجی، مدل توانست نتایج قابل قبولی ارائه دهد.



شکل ۴-۲۶- میانگین خطاها در دوره‌های زمانی

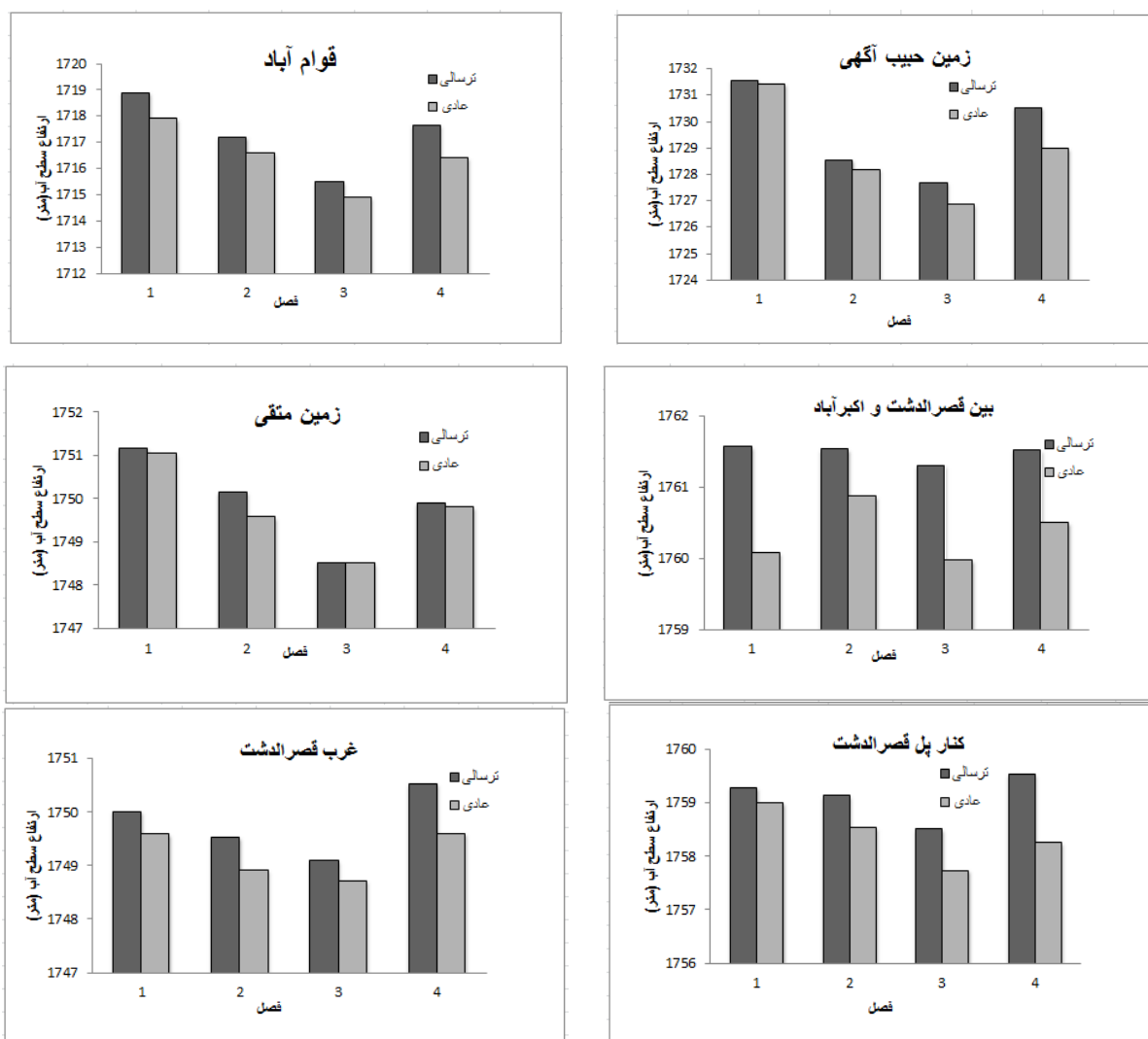
۱۲-۴- پیش‌بینی

هدف اصلی از شبیه‌سازی آبخوان‌ها فرآیند پیش‌بینی می‌باشد که این فرآیند بعد از مرحله صحت‌سنجی انجام می‌گیرد. بعد از اطمینان از صحت مدل تهیه شده می‌توان سناریوهای مختلفی روی آن پیاده کرد و وضعیت آبخوان را پیش‌بینی نمود. اگر مدل به خوبی واسنجی شده باشد و آمار و اطلاعات نیز به اندازه کافی و دقیق در دسترس باشد می‌توان از این ابزار با صرف کمترین هزینه و امکانات به عنوان یک ابزار مدیریتی استفاده کرد و وضعیت آینده آبخوان را طی چند سال آتی مورد ارزیابی قرار داد و راه کارهای

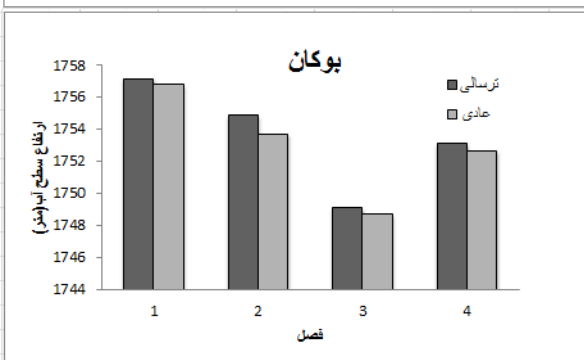
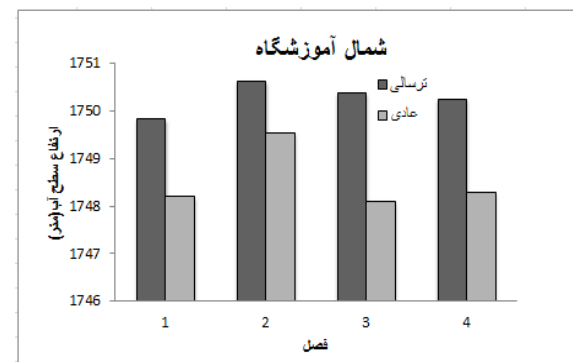
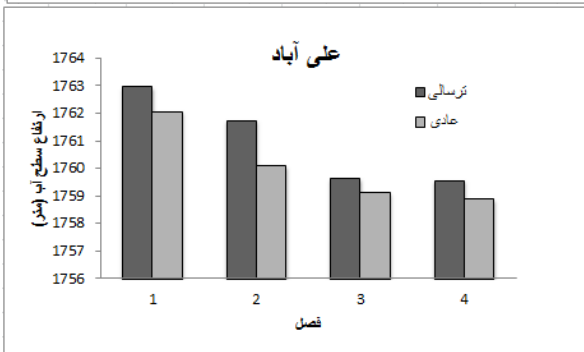
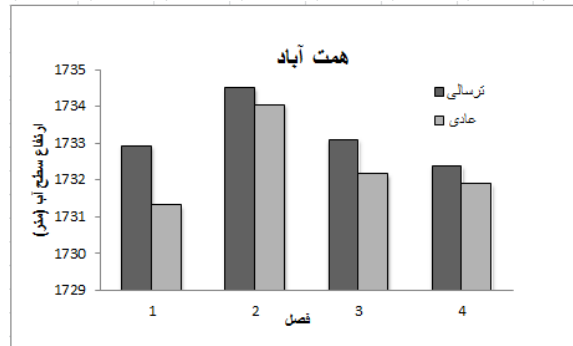
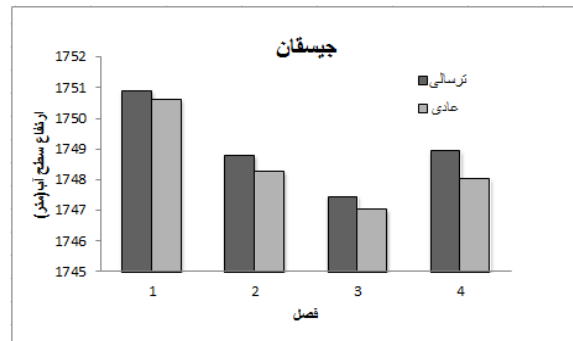
مهم مدیریتی برای وضعیت آبخوان پیشنهاد داد. در این تحقیق سه سناریو برای پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان استفاده گردید و رفتار سیستم نسبت به استرس‌های وارده به آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴-۱۲-۱- سناریوی اول: پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی

به منظور بررسی سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی، میانگین بارش سالانه دراز مدت به مقدار ۵۰ درصد افزایش داده شده است و سپس مدل برای سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ اجرا گردید.



شکل ۴-۲۷- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی ترسالی (پیزومتر شماره ۸ تا ۱۳)

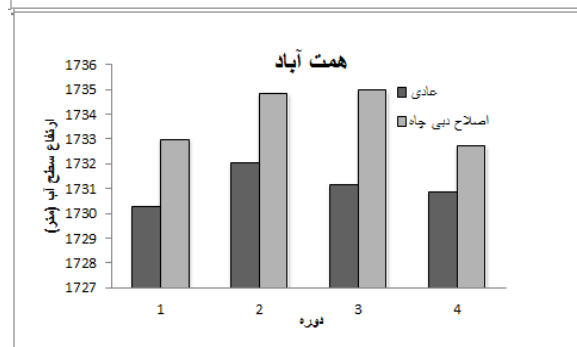
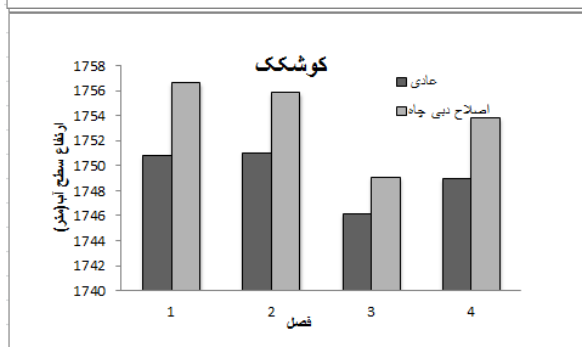
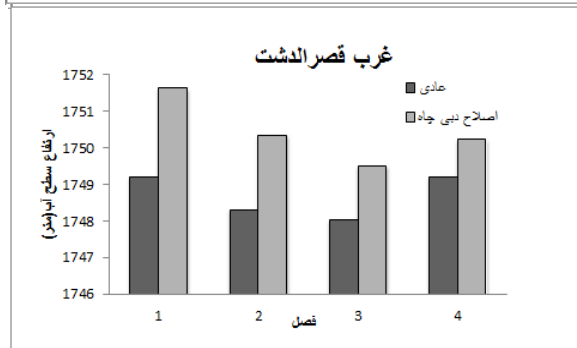
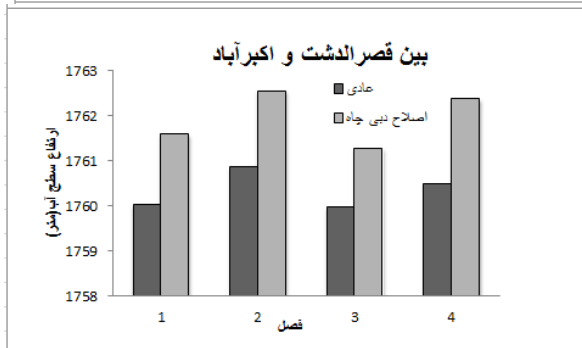
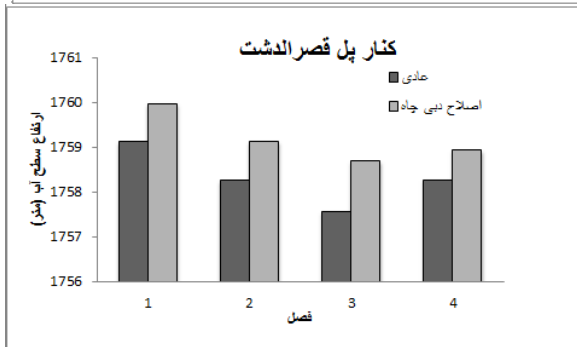
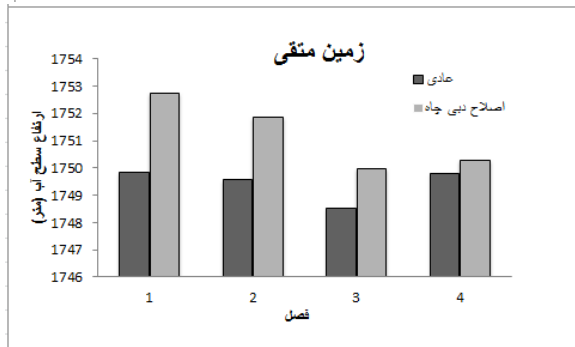
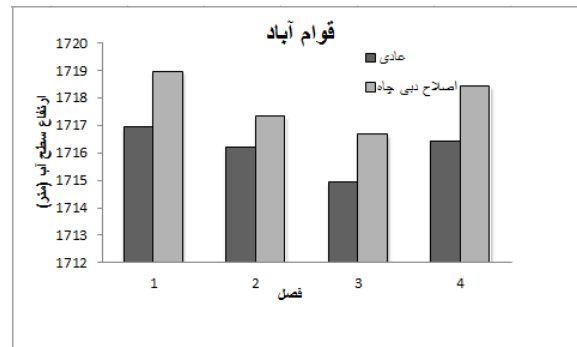
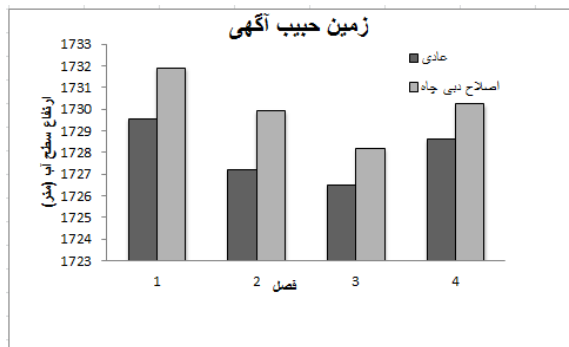


شکل ۴-۲۸- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی تربالی (پیزومتر شماره ۱ تا ۷)

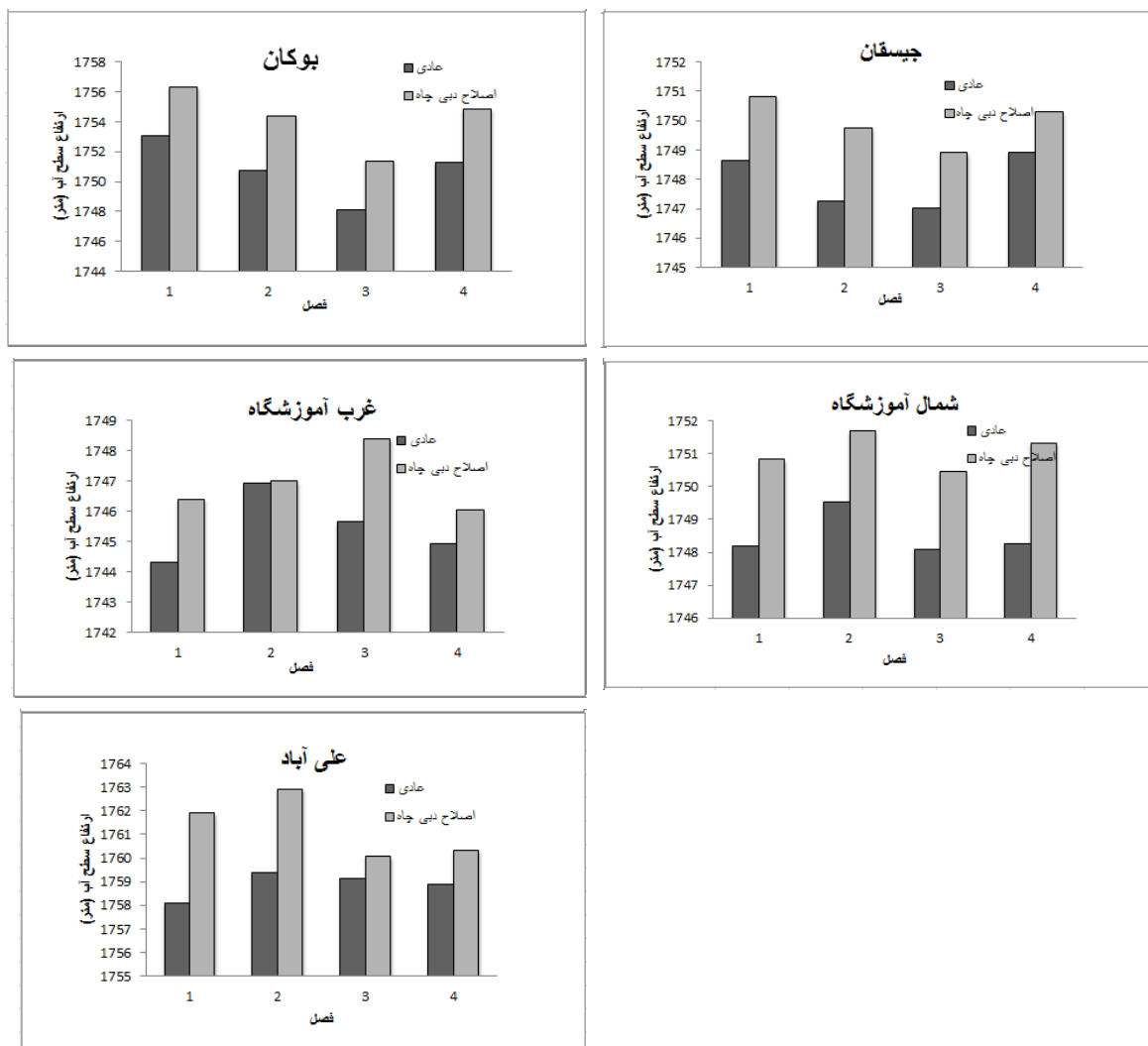
همانطور که شکل‌های ۴-۲۷ و ۴-۲۸ نشان می‌دهد نتایج حاصله از این سناریو بیانگر این است که سطح آب در تمامی پیزومترها بالا می‌آید. متوسط بالآمدگی سطح آب از ۴/۱ متر تا ۲ متر در پیزومترها متغیر است. پیزومتر منطقه بوکان و کوشک که در مناطق مرکزی دشت واقع شده‌اند تغییرات کمی را نسبت به این سناریو از خود نشان می‌دهند. متوسط بالآمدگی سطح آب در این دو پیزومتر در چهار دوره به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۴۲ متر می‌باشد. که یکی از دلایل اصلی آن تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه از چاه‌های این بخش از دشت می‌باشد. بیشترین افزایش سطح آب مربوط به منطقه جنوب شرقی دشت است که دو پیزومتر شمال آموزشگاه و جنوب آموزشگاه در این منطقه واقع شده‌اند و بیشترین افزایش را نسبت به این سناریو از خود نشان می‌دهند. متوسط بالآمدگی سطح آب در این دو پیزومتر به ترتیب برابر با ۱/۷۴ و ۱/۸۳ متر می‌باشد. دلیل افزایش سطح آب در این منطقه، تراکم کمتر چاه‌های بهره‌برداری و مجاورت با ورودی آب‌های زیرزمینی دشت است.

۴-۱۲-۲- سناریوی دوم: پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی

به منظور بررسی سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی، میانگین بارش سالانه دراز مدت به مقدار ۵۰ درصد کاهش داده شده است و سپس مدل برای سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ اجرا گردید.



شکل ۴-۲۹- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی خشکسالی (پیزومتر ۶ تا ۱۳)



شکل ۴-۳- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی خشکسالی (پیزومتر شماره ۱ تا ۵)

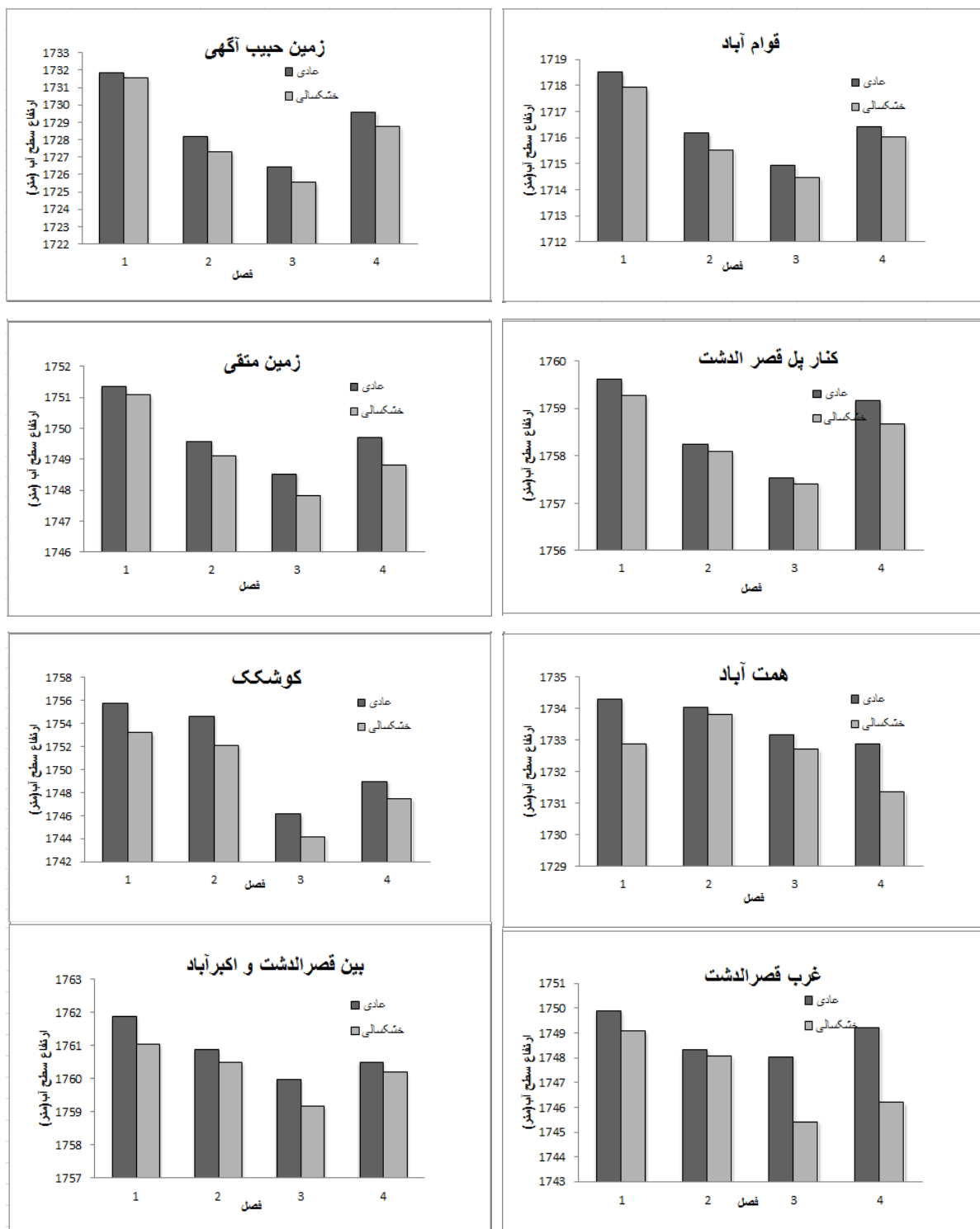
شکل‌های ۴-۲۹ و ۴-۳۰ تغییرات سطح آب در پیزومترها قبل و بعد از اجرای سناریو خشکسالی نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود بعد از اجرای سناریو خشکسالی سطح آب در اکثر پیزومترها کاهش یافت. میزان افت در پیزومترها از ۰/۲ تا ۱/۵ متر متغیر است. بیشترین افت سطح آب مربوط به پیزومتر بوکان و کوشک می‌باشد. دلیل اصلی آن، تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در این منطقه است.

۴-۱۲-۳- سناریوی سوم: اصلاح مقدار بهره‌برداری با توجه به بیلان دشت

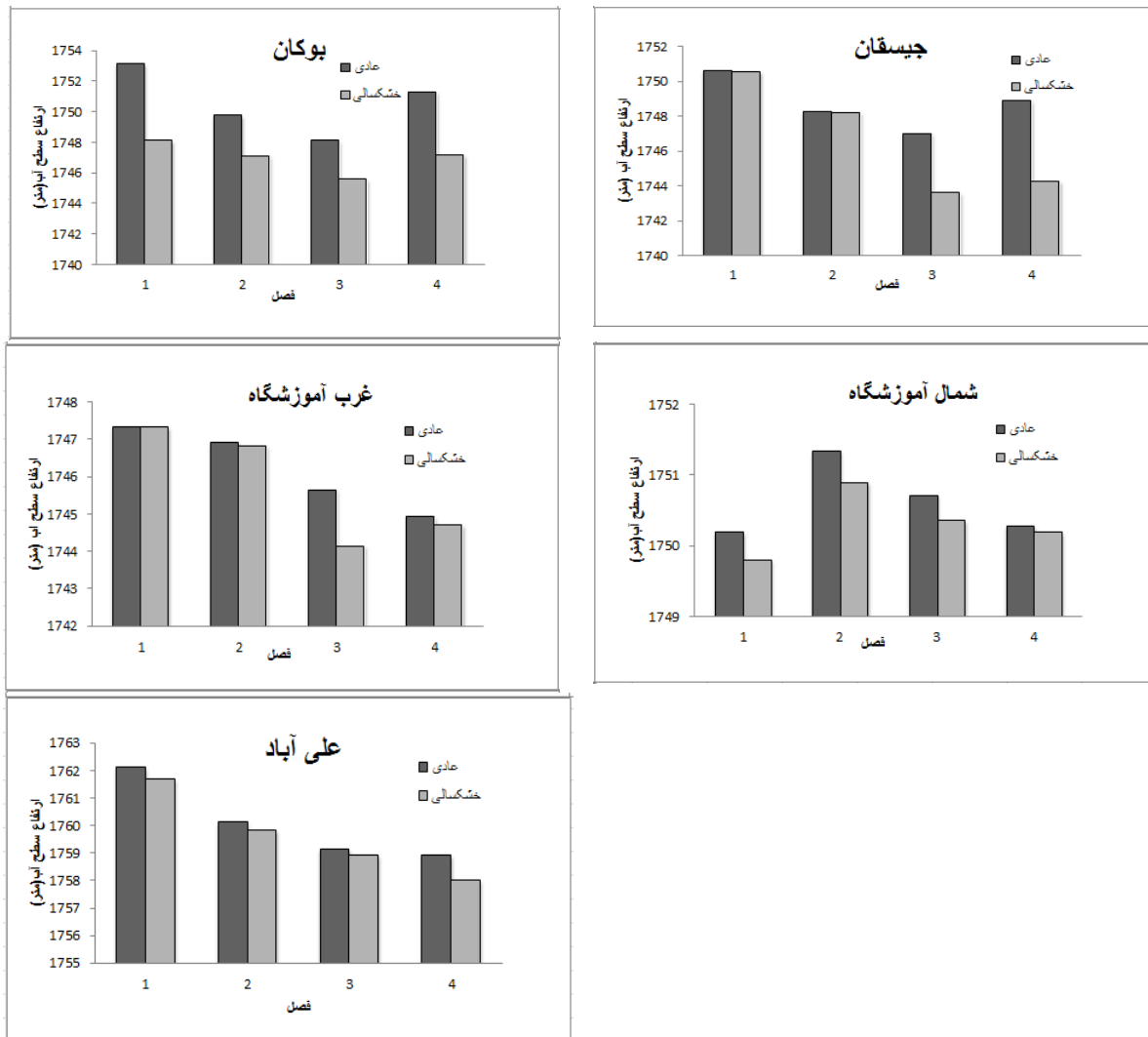
همانطور که در فصل اول اشاره شد با توجه به شکل (۱-۸) منطقه مورد مطالعه به لحاظ افت به دو بخش تقسیم می‌شود. منطقه (۱) منطقه‌ای است که افت آن در دوره ۱۵ ساله برابر با ۱۱/۴۱ متر و افت سالانه آن برابر با ۰/۷۶ متر است و منطقه (۲) منطقه‌ایست با افت کم، که افت آن در دوره ۱۵ ساله برابر با ۳/۷۲ متر و افت سالانه آن ۰/۲۴ متر می‌باشد. با توجه به مقدار ضریب ذخیره در مناطق فوق الذکر (در منطقه ۱ و منطقه ۲ به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۰۲) میزان اضافه برداشت از این آبخوان ۲ میلیون متر مکعب محاسبه شد. با توجه به بیلان منفی دشت لازم است که چاه‌های بهره‌برداری با توجه به حجم اضافه برداشت اصلاح شود. درصد اضافه برداشت برای هر چاه بهره‌برداری در این آبخوان ۶٪ محاسبه شد و در نهایت دبی چاه‌های این دشت به اندازه درصد فوق تقلیل داده شد و دوباره مدل برای سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ اجرا گردید.

جدول ۴-۷- بیلان محاسبه شده برای محدوده مدل

	ورودی (m ³ /d)	خروجی (m ³ /d)
Storage	2057.353447	-42065.1945
Constant heads	193205.5906	-16220.1666
Rivers	564.2177943	0
Wells	0	-339120.762
Recharge	201578.8228	0
Total Source/Sink	397405.9847	-397406.123
TOTAL FLOW	397405.9847	-397406.123
In - Out	-0.138744984	
% difference	-3.4913E-05	



شکل ۴-۳۱- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی اصلاح دبی (پیزومتر شماره ۶ تا ۱۳)



شکل ۴-۳۲- مقایسه سطح آب قبل و بعد از اجرای سناریوی اصلاح دبی (پیزومتر شماره ۱ تا ۵)

با توجه به شکل ۴-۳۱ و ۴-۳۲ مشاهده می‌گردد که پس از اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری ارتفاع سطح آب در همه پیزومترها بالا می‌آید این بالا آمدگی در چاه‌های مشاهده‌ای ۱/۵ تا ۴ متر متغیر می‌باشد. بیشترین تغییرات سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای کوشکک، بوکان و همت آباد مشاهده می‌شود که میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی بعد از اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری در این پیزومترها به ترتیب برابر با ۴/۳۶، ۳/۴۲ و ۲/۱۷ متر می‌باشد. میانگین تغییرات سطح آب بعد از اجرای این سناریو در دیگر پیزومترها بیشتر از ۱/۵ متر می‌باشد.

شکل‌های ۴-۲۶، ۴-۲۸، ۴-۲۹، ۴-۳۰، ۴-۳۱ و ۴-۳۲ تغییرات سطح آب را بعد از اعمال سه سناریو نشان می‌دهد. تغییرات سطح آب بعد از اصلاح دبی چاه‌ها، در پیزومترها مشهودتر می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که مهمترین عامل در بیان دشت سعادت‌شهر و تغییرات سطح آب زیرزمینی برداشت از آب‌های زیرزمینی منطقه است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان موارد زیر را به عنوان مهمترین نتایج به دست آمده معرفی کرد:
با توجه به آمار ۴۰ سال ایستگاه‌های هواشناسی علی‌آباد کمین متوسط بارندگی سالانه دشت حدود ۳۸۰/۸ میلی‌متر در سال و متوسط دما در حدود ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. طبق روش دومارتن اقلیم منطقه از نوع نیمه‌خشک است.

آبخوان سعادت‌شهر از نوع آبخوان آزاد می‌باشد. براساس منحنی خطوط تراز سطح آب زیرزمینی جهت جریان آب زیرزمینی از شرق دشت به طرف غرب و از شمال دشت به سمت جنوب غربی دشت می‌باشد. با توجه به جهت جریان مرزهای شرقی دشت به عنوان ورودی آب زیرزمینی بوده و آب از طریق مرزهای غربی دشت تخلیه می‌گردد.

هیدروگراف معرف آبخوان نشان دهنده سیر نزولی سطح ایستابی می‌باشد با توجه به هیدروگراف واحد دشت سطح ایستابی با کاهش بارندگی روندی کاهشی و با افزایش بارندگی روندی افزایشی داشته است. ولی در سال‌های اخیر علی‌رغم افزایش بارندگی افزایشی در ارتفاع سطح آب زیرزمینی مشاهده نشده است. این به دلیل افزایش تعداد حلقه‌های چاه پمپاژ و در نتیجه افزایش برداشت آب زیرزمینی از آبخوان مربوطه می‌باشد.

با توجه به منحنی‌های همسان هدایت الکتریکی، میزان هدایت الکتریکی از کناره‌های دشت به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد به طوری که در مرکز دشت، به بیشترین مقدار می‌رسد و در مسیر حرکت جریان (شرق به غرب) مجدداً رو به کاهش می‌گذارد.

نتایج طراحی مدل و واسنجی مدل در حالت پایدار نشان می‌دهد که ضریب هدایت هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه بین ۱۲ تا ۲۳ متر بر روز متغیر می‌باشد به طوری که این مقادیر در اطراف رودخانه سیوند و خروجی دشت بیشترین مقدار خود ۲۳ متر بر روز و مرکز دشت کمترین مقدار خود را دارد.

مقدار آبدهی ویژه بهینه شده در شرایط ناپایدار از قسمت‌های شرقی دشت، ورودی آب‌های زیرزمینی به سمت خروجی دشت افزایش پیدا می‌کند. دامنه تغییرات آبدهی ویژه از ۰.۲ تا ۰.۲۵ می‌باشد.

فرایند حساسیت سنجی مدل نشان داد که مدل طراحی شده نسبت به پارامترها از حساسیت یکسانی برخوردار نیست به گونه‌ای که نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت مدل نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی است و تأثیر میزان پمپاژ و تغذیه به ترتیب در درجات بعدی از اهمیت قرار دارد. مدل نسبت به تغییرات GHB هیچ‌گونه حساسیتی از خود نشان نداد.

بعد از مرحله واسنجی مدل جهت تأیید و صحت سنجی اجرا گردید که از تطابق نسبتاً خوب مدل طراحی شده با شرایط طبیعی حکایت می‌کند.

نتایج حاصل از پیش بینی مدل در سه سناریو به طور خلاصه ارائه می‌شود:

تغییرات سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ بعد از اجرای سناریوی ترسالی مورد بررسی قرار گرفت با افزایش ۵۰ درصدی میزان بارندگی و به تبع آن افزایش تغذیه، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در

بسیاری از پیزومترها مشاهده شده است به طوری که افزایش سطح آب در پیزومتر سطح شمال آموزشگاه و پیزومتر غرب آموزشگاه نسبت به پیزومترهای دیگر مشهودتر است. سطح آب در پیزومتر کوشک و بوکان برخلاف دو پیزومتر ذکر شده به میزان کمتری تحت تأثیر این سناریو قرار گرفته است چون تعداد حلقه‌های چاه‌های پمپاژ در اطراف دو پیزومتر شمال آموزشگاه و غرب آموزشگاه نسبت به چاه‌های دیگر دشت کمتر است.

سناریوی دوم سناریو خشکسالی است بعد از اعمال استرس خشکسالی به مدل، سطح آب زیرزمینی دچار افت شد. تغییرات سطح آب زیرزمینی بعد از اجرای این سناریو ۲/ تا ۱/۵ متر می‌باشد.

در سناریوی سوم اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری موجود در محدوده مدل به اندازه بیلان منفی انجام شد. انجام این سناریو باعث بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی در پیزومترها شد. اصلاح دبی چاه‌ها در مناطقی که تمرکز چاه‌های بهره‌برداری بیشتر است تأثیر بیشتری گذاشته است به طوری که افزایش سطح آب در اکثر پیزومترها بیشتر از ۱/۵ متر می‌باشد. نقش این سناریو در بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی واضح تر است به طوری که می‌توان نتیجه گرفت که مهمترین عامل در تغییرات بیلان این منطقه برداشت از آب زیرزمینی است.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه و به جهت تدقیق بیشتر پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان آزمایش‌های پمپاژ به گونه ای انجام گیرد که پوشش کاملی از مقادیر S و K در منطقه به دست آید.

در حال حاضر آماربرداری از منابع آبی دشت و وضعیت برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، هر پنج سال یک بار انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه آمار موجود یکی از مهمترین ابزارهای ساخت مدل می‌باشد، پیشنهاد

می‌شود به منظور تهیه بیلان دقیق‌تر مدل و مدیریت دقیق‌تر منابع آبی در صورت امکان برداشت از منابع آبی به صورت سالیانه انجام شود.

با توجه به نتایج حاصل از مدل برای حفظ تعادل آبخوان و جلوگیری از افزایش افت سطح آب می‌بایست از حفر چاه یا افزایش برداشت در مناطق دارای افت زیاد بالاخص در قسمت‌های مرکزی دشت جلوگیری به عمل آید.

تراز دهانه پیزومترها با کمک روش‌های دقیق نقشه‌برداری اصلاح گردد. به طوریکه در ارتفاع دهانه بعضی از پیزومترها چند متر اختلاف دیده می‌شود.

منابع مورد استفاده

- آماربرداری محدوده مطالعاتی سعادت‌آباد (داده‌های خام ۱۳۹۰)، شرکت مهندسیین مشاور پویاب فارس، شیراز.
- اعتباری ب، یعقوب‌زاده م، شهابی‌فرد ف، عادل ح. و رضایی مناوند م، (۱۳۸۷)، "بررسی مدل مفهومی آبخوان با استفاده از نرم افزار GMS"، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.
- احتشامی م. و شریفی ع، (۱۳۸۵)، "ارزیابی مدل کیفی آبخوان شهر ری"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۴، دوره هشتم، ص ۱۰-۱.
- پورجنایی ع، نوحه‌گرا، چوپانی س. و نکوآمال کرمانی م، (۱۳۹۰)، "تعیین مناطق هیدروژئولوژیکی و محاسبه بیلان آب زیرزمینی در شرایط ماندگار با استفاده از مدل MODFLOW"، اولین همایش منطقه‌ای توسعه منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه.
- جاویدی م، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه ارشد: "بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت سعادت‌شهر"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- چیت‌سازان م. و ساعت‌ساز م، (۱۳۸۴)، "کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز"، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۴، قسمت ب، ص. ۱۵.
- دهقانی قهفرخی ا، (۱۳۸۱)، پایان‌نامه ارشد: "کاربرد مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی در مدیریت آبخوان دشت شهرکرد"، دانشکده علوم پایه گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ریاحی‌پور م. و خلیلی، خ، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی تأثیر انتقال آب از سد چغاخور به آبخوان دشت بروجن - فرادنبه در استان چهارمحال بختیاری با استفاده از مدل عددی GMS"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- زارع س، ناصری ح ر، حسن‌پور ج. و مرسلی م، (۱۳۹۰)، "مدل‌سازی تفاضل محدود نفوذ جریان آب زیرزمینی به قطعه شرقی - غربی تونل خط هفت مترو تهران و مقایسه نتایج با روش‌های تحلیلی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

- سالاری م و اژدری مقدم م، (۱۳۸۶) "بررسی اثرات احداث سد درود بر روی آبخوان دشت لادیز و مدیریت آبخوان توسط مدل ریاضی"، پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران ۱۳۸۶.
- شفیعی مطلق خ. و لشکری پور غ. ر، (۱۳۸۸)، " شبیه سازی تاثیر تغذیه مصنوعی آبخوان دشت حصاروئیه در استان سیستان بلوچستان با استفاده از MODFLOW" دومین کنفرانس سراسری آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- شهابی فرد ف، لشکری پور غ. و زارع م، (۱۳۸۳)، "محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت ایرانشهر با روش دستی و مدل عددی" بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- شهسواری ع. و خدایی ک، (۱۳۸۴)، "تهیه مدل جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت بهبهان با استفاده از GIS"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- صداقت م، (۱۳۹۰)، "زمین و منابع آب (آب های زیرزمین)" چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور، ص. ۳۷.
- طایی سمیرمی م، فاتحی مرج ا. و میرنیا خ، (۱۳۸۹)، "شبیه سازی سطح ایستابی آبخوان دشت گریبایگان فسا با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW"، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب ۸ تا ۹ اردیبهشت ۱۳۸۹.
- فتوت اسکندری آ، (۱۳۸۷)، پایان نامه ارشد: "مدل سازی ریاضی فرونشست دشت شهریار"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- فتحی س و اسدی ن، (۱۳۹۱)، "مدل سازی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با استفاده از GMS"، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی، دانشگاه شیراز.
- عطایی زاده س. و چیت سازان م، (۱۳۸۸)، " بررسی تأثیر خشکسالی بر کاهش کمی آب های زیرزمینی دشت میداود با استفاده از مدل ریاضی"، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان، اصفهان.

- علیزاده ا، (۱۳۸۹)، "اصول هیدرولوژی کاربردی" چاپ بیست و نهم، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد، ص ۲۷۰.

- کتیبه ه، طاهری ع. و ابوطالبی میر صالح ا، (۱۳۸۱)، "مدل سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده مرکزی متروی اصفهان"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۲، ص ۴۱-۴۶.

- کرسیک ن، (۱۹۹۷)، "مدل سازی آب های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی"، چیت سازان م. و کشکولی ح.ع، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص. ۴۳۲.

- گزارش بیان محدوده مطالعاتی سعادت آباد در سال ۱۳۸۵-۱۳۸۴ (منتشر شده در ۱۳۸۷) مهندسین مشاور فارساب صنعت به سفارش شرکت سهامی آب منطقه ای فارس، شیراز.

- محب زاده ح، بانژاد ح، قبادی م.ح. و حیدری م، (۱۳۹۰)، "شبیه سازی عددی جریان آب های زیرزمینی آبخوان دشت نهاوند"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

- محتشم م، اکبرپور ا، مفتاح هلقی م. و اعتباری ب، (۱۳۹۰)، "پیش بینی سطح ایستابی در بخوان با بکارگیری نرم افزار GMS"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

- محمدی ا، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "مدیریت آبخوان دشت شیروان با استفاده از مدل ریاضی PMWIN"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- ملکی ر، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "تهیه مدل ریاضی دشت شاهرود برای بررسی اثر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- مهدوی ق، اسدی ن. و نهتانی فرد ع، (۱۳۹۰)، "مطالعه بهینه سازی بهره برداری از آبخوان دشت بزمان با استفاده از مدل ریاضی"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

- میر عباس نجف آبادی ر، رهنما م. ب، (۱۳۸۶)، "شبییه‌سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل MODFLOW و بررسی احداث سد تنگویییه بر آن"، **مجله پژوهشی آب ایران**، دوره اول شماره اول زمستان ۱۳۸۶ (۹-۱).

- مؤسسه تحقیقات منابع آب، (۱۳۸۲)، "راهنمای تهیه مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی"، نشریه شماره ۳۳۷ - الف.

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیوند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سعادت‌شهر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- Abdulghani A. H., (2006), "Simulation And Prediction Of Groundwater Paths and Flow Vectors at Mosul City", *J. of Al-Rafidain Engineering*, Vol.14, pp. 73-81.

- Abdulla F. And Al Assad T., (2006), "Modeling Of Groundwater Flow For Mujib Aquifer", *J.of Earth System Science*, Vol.115, I. 3, pp.289-297.

- Anderson M.P. and Woessner, W.W., (1992), "**Applied Groundwater Modeling**", Academic Press. San Diego, California, pp. 2-16 & pp. 238-241.

- Borgia A., (2010), "Using A Mudflow Grid Generated With GMS To Solve A Transport Problem With TOUGH2 In Complex Geological Environments: The Intertidal Deposit Of The Venetion Lagoon", *J. of Computers & Geoscience*, Vol. 37, I. 6, pp. 783- 790.

- Douglas M. P, and Peggy B., (2002), "**Simulation Of Groundwater Flow In The Middle Rio Grande Basin between Cochiti And San Acacia New Mexico**", U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, 2002, Vol.2, I.4200.

- Fitts C. F. R., (2002), "**Groundwater Science**", Academic press an imprint of Elsevier Science, pp. 39-40.

- Laronne Ben-Itzhak .L. and Gvirtzman H., (2005), "Groundwater Flow Along And Across Structural Folding: An example From The Judean Desert, Israel" *J. of Hydrology*, Vol.312, I.1-4, pp. 51-69.

- Medhat A. E., (2009), "Groundwater Flow Modeling Of Quaternary Aquifer Ras Sudr, Egypt", *J. of Environmental Geology*, Vol. 58, I. 5, pp.1095-1105

- Miller T.S., (2000), “**Simulation Of Groundwater Flow In An Unconfined Sand and Gravel Aquifer At Marathon, Cortland County New York**”, U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, 2000, Vol 0-4026 of Water-resources investigations report.
- Pliakas F., Petalas C., Diamantis I. and Kallioras A., (2005), “Modeling Of Groundwater Artificial Recharge By Reactivating An Old Stream Bed”, **J. of Water Resources Management**, Vol. 19, I. 3, , pp.279–294.
- Senthilkumar M., (2011), “Modelling The Impact Of A Subsurface Barrier An Groundwater Flow In The Lower Palar River Basin, Southern India”, **J. of Hydrology**, Vol. 19, I. 4, pp. 917-928.
- Shange H., Wang W., Zhang J.,(2011), Application of GMS in Groundwater Numerical Simulation in the Northern Foot of Tianshan Mountain, pp. 254-258
- Shaki A.A. and Adeloye A.J., (2007), “Mathematical Modelling Of Effects Of Irawan Irrigation Project Water Abstractions On The Murzuq Aquifer Systems In Libya”, **J. of Arid Enviroment**, Vol.71, Nom.2, pp.133-156.
- Scanlon B.R. and Dutton A., (2000), “Groundwater Recharge In Texas”.Bureauof economic Geology, The University of Texas at Austin, Marios Sophocleous, Kansas Geological Survey Lawrence, KS Tolikas, D., Latinopoulos, P., Tolikas, P. and Ganoulis, J (1983) Optimum Management of a regional confined aquifer Advance in Water Resource , pp. 469-494.
- Todd K. D. and Mays L.W., (2005) “**Groundwater Hydrology**”, New York, John Wiley & Sons, Inc., Edition 3, pp.413-447.
- Wang H. F. And Anderson M. P., (1982), “**Introduction to Groundwater Modeling**”, Academic Press, New York, pp.2.
- Williams R.M., Merrick N.P. and Ross J.B., (1989), “Natural and Induced Recharge in the Lower Namoi Valley, New South Wales”. In: Sharma. M.L.(ed.), Groundwater Recharge, Proceedings of the Symposium on Groundwater Recharge, Mandurah, 6-9 July 1987. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 239-253.
- Whorter D.B. and Sunada D.K., (1977), “**groundwater hydrology and hydraulics**”, water resources publications, pp.90.

- Yaouti, F. El., Mandour, A. El., Khattach , D. and Kaufmann O., (2008), “Modelling Groundwater Flow And Advective Contaminant Transport In The Bou-Areg Unconfined Aquifer (NE Morocco)”. **J. of Hydro-environment Research** Vol. 2, I. 3, pp. 192-209.

-http://www.scisoftware.com/products/gms_details/gms_details.html.

- http://www.ems-i.com/GMS/GMS_Overview/gms_overview.html

Abstract

The plain of Saadatshahr with area 130 km² is located in 120 km NE of Shiraz. Due to the limited water resources and the excessive exploitation from the aquifer, groundwater level is steadily declining in the plain and The amount of annual decline in the plains is about 0/76 m. The fundamental aim of this research is mathematical modeling of Saadatshahr Plain aquifer with the purpose of predicting the behaviour of the aquifer for different conditions. For gaining to this aim, GMS computer code MODFLOW and with conceptual model approach were applied. After collecting the required data including pumping test data, driller's logs, water level data and geophysical data, the conceptual model of the plain was constructed. The developed model was calibrated in steady state (February 2010) and transient state (March 2010 to February 2011) using water table data of 13 piezometric wells. Parameters K and S are the most important parameters that optimize in stages Based on the results, average values of K is 12 to 23 m/d and values of S is variable /02 to /025. The sensitivity analysis was examined for the change of different parameters. The obtained results reveals that the most sensitivity of the model is related to the values of hydraulic conductivity. Based on the results obtained during the verification stage (Marche 2010 - February 2011) the accuracy of the model was confirmed. Finally, the verifed model was used for predicating the future condition of aquifer in three different management scenarios and the obtained results were considered. The results obtained from prediction of model show that with a 50 % increase in rainfall results in 0.2 to 2 meters increas in groundwater level in piezometere. Moreover, a 50 % decrease in rainfall results in 0/4 to 1/5 meters decrease in groundwater level. Furthermore, amending the pumping rate of production wells (i.e. 6% decrease in their pumping rate) increases the groundwater levels ranging from 1/5 to 4 m.

Keywords: Saadatshahr Plain, Modeling, Groundwater, GMS