

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی

مدلسازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت میامی با استفاده از مدل GMS

نگارنده : علی عزتی

اساتید راهنما :

دکتر خلیل اژدری

دکتر مهدی دلقندی

اساتید مشاور:

مهندس حسن گلی

مهندس مهدی رحیمیان

شهریور ۱۳۹۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علی عزتی

تحت عنوان: مدلسازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت میامی با استفاده از مدل GMS

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	مهندس حسن گلی		دکتر خلیل اژدری
	مهندس مهدی رحیمیان		دکتر مهدی دلقندی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر اسماعیل محمودی		دکتر صمد امام قلی زاده
			دکتر روزبه مؤذن زاده

تقدیم بہ پدرم

کوہی استوار و حامی من در طول تمام زندگی

تقدیم بہ روح مادرم

سنگ صبور می کہ الفبای زندگی بہ من آموخت

تقدیم بہ ہمسرم

کہ در سایہ ہمیاری و ہمدلی او بہ این منظور نائل شدم.

نهال را "باران" باید تا سیرابش کند از آب حیات و آفتاب "باید تا تاباند نیرو و محکم کند شاخه های تازه رویده را؛

بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه ام جناب آقای دکتر خلیل اژدری و استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر

مهدی دلفشندی آموزگاری که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند تقدیر و شکر نمایم. مراتب شکر را از

سرکار خانم سکینه پرمیرکار بخاطر کمک ایشان ابراز می دارم. همچنین از کمک های آقایان حسن کلی و مهدی

رحیمیان شکر و قدردانی میکنم.

حیات و ودعا های پدر و مادر عزیزم در تمامی مراحل زندگی شامل حال من بوده، ضمن شکر از آنها، سلامتی شان را از

درگاه خداوند متعال خواستارم.

ز بوسیدنی های این روزگار یکیشان بود دست آموزگار

تعهد نامه

اینجانب علی عزتی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت میامی با استفاده از مدل GMS تحت راهنمایی دکتر خلیل اژدری و مهدی دلقندی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ :

امضای دانشجو :

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

دشت میامی یکی از مهم‌ترین حوزه‌های آبریز استان سمنان می‌باشد. طی سال‌های اخیر بر اثر برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت مذکور دچار افت شده است. به همین دلیل ضروری است که مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به عنوان یک اصل در برنامه‌ریزی‌های منابع آب مورد توجه قرار گیرد. به همین منظور در پژوهش حاضر به شبیه‌سازی آبخوان دشت میامی با استفاده از نرم‌افزار GMS پرداخته شده است. شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود از دشت مربوط به شهریورماه ۱۳۸۶، به عنوان ماه پایدار و از داده‌های مربوط به مهرماه ۱۳۸۷ تا مهرماه ۱۳۹۲ برای حالت ناپایدار انجام شد براساس این داده‌ها مدل ریاضی آبخوان دشت مذکور تهیه و واسنجی گردید. همچنین صحت‌سنجی مدل مذکور با استفاده از داده‌های مربوط به مهرماه ۱۳۹۲ تا مهرماه ۱۳۹۶ صورت پذیرفت که نتایج حاصل از صحت‌سنجی و همچنین شاخص‌های آماری نشان از همبستگی بالایی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی داشت. بعد از تأیید صحت سنجی مدل، طی یک سناریو که با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی بود اقدام به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی برای دوره‌ی زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۷ شد. در پایان نتایج حاصل از پیش‌بینی سطح آب نشان داد که با فرض استمرار روند کنونی برداشت آب از آبخوان، سطح آب زیرزمینی به میزان ۱ تا ۵ متر در قسمت‌های مختلف آبخوان افت خواهد داشت که بیشترین افت، مربوط به قسمت‌های مرکزی تا شمال شرقی آبخوان خواهد بود.

کلمات کلیدی: دشت میامی، GMS، شبیه‌سازی آبخوان، Modflow، مدل‌سازی عددی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- اهداف تحقیق ۳
- ۳-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۴
- ۴-۱- ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم کلیات و مروری بر تحقیقات پیشین

- ۱-۲- مقدمه ۸
- ۲-۲- مدل آب‌های زیرزمینی ۸
- ۱-۲-۲- انواع مدل‌های جریان آب زیرزمینی ۹
- ۱-۱-۲-۲- مدل مفهومی ۱۰
- ۲-۱-۲-۲- مدل‌های ریاضی ۱۱
- ۱-۲-۱-۲-۲- ساختار مدل ریاضی ۱۲
- ۳-۲- پیشینه تحقیقاتی مدل‌سازی در دنیا ۲۱
- ۴-۲- پیشینه تحقیقاتی مدل‌سازی در ایران ۲۶
- ۵-۲- پیشینه تحقیقاتی دشت میامی ۳۱

فصل سوم مواد و روش‌ها

- ۱-۳- مقدمه ۳۶
- ۲-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳۶
- ۳-۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه ۳۹

- ۴۲..... ۱-۳-۳- هیدرولوژی و اقلیم منطقه
- ۴۳..... ۲-۳-۳- هیدروژئولوژی
- ۴۴..... ۱-۲-۳-۳- منحنی های هم عمق و هم تراز سطح آب
- ۴۶..... ۲-۲-۳-۳- جهت جریان آب زیرزمینی
- ۴۶..... ۳-۳-۳- پروتکل مدل سازی
- ۵۱..... ۴-۳- معرفی نرم افزار "GMS"
- ۵۱..... ۱-۴-۳- ماژول نقشه
- ۵۳..... ۲-۴-۳- ماژول شبکه مثلثی بی قاعده:
- ۵۳..... ۳-۴-۳- ماژول گمانه:
- ۵۳..... ۴-۴-۳- ماژول حجمی یا سه بعدی:
- ۵۴..... ۵-۴-۳- ماژول نقاط پراکنده دوبعدی:
- ۵۴..... ۶-۴-۳- ماژول شبکه دو بعدی:
- ۵۴..... ۷-۴-۳- ماژول شبکه سه بعدی:
- ۵۵..... ۸-۴-۳- ماژول نقاط پراکنده سه بعدی:
- ۵۵..... ۹-۴-۳- ماژول GIS:
- ۵۵..... ۵-۳- مدل سازی آبخوان میامی
- ۵۶..... ۱-۵-۳- ساخت مدل مفهومی (تعریف لایه های اطلاعاتی مدل)
- ۵۶..... ۱-۱-۵-۳- ایجاد پوسته اولیه مدل سازی
- ۵۷..... ۲-۱-۵-۳- لایه آبخوان
- ۵۷..... ۳-۱-۵-۳- لایه های شرایط مرزی
- ۵۹..... ۴-۱-۵-۳- لایه چاه های مشاهده ای
- ۶۰..... ۵-۱-۵-۳- لایه منابع آبی دشت میامی جنوبی

۶۱.....	۳-۵-۱-۶- لایه تبخیر و تعرق.....
۶۱.....	۳-۵-۱-۷- لایه هدایت هیدرولیکی آبخوان.....
۶۲.....	۳-۵-۱-۸- لایه اطلاعاتی ضریب ذخیره.....
۶۲.....	۳-۵-۲- کد رایانه‌ای انتخاب شده.....
۶۲.....	۳-۵-۳- بسته محاسباتی انتخابی و اجرای اولیه مدل.....
۶۴.....	۳-۵-۴- تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت میامی.....
۶۵.....	۳-۵-۵- کالیبراسیون (واسنجی).....
۶۵.....	۳-۵-۵-۱- تعیین معیار واسنجی.....
۶۵.....	۳-۵-۵-۲- تعیین میزان واسنجی.....
۶۷.....	۳-۵-۶- صحت سنجی.....
۶۷.....	۳-۵-۷- حساسیت سنجی مدل.....
۶۸.....	۳-۵-۸- پیش بینی.....

فصل چهارم نتایج و بحث

۷۰.....	۴-۱- مقدمه.....
۷۰.....	۴-۲- واسنجی.....
۷۰.....	۴-۲-۱- واسنجی حالت پایدار.....
۷۴.....	۴-۲-۲- واسنجی حالت ناپایدار.....
۸۳.....	۴-۳- صحت سنجی.....
۹۰.....	۴-۴- تحلیل حساسیت.....
۹۳.....	۴-۵- پیش بینی شرایط آینده.....

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۸.....	۱-۵- مقدمه
۹۸.....	۲-۵- نتایج
۹۹.....	۳-۵- پیشنهادات

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۷۱	جدول ۱-۴: مقادیر استاندارد هدایت هیدرولیکی برای مواد مختلف (تاد و میز، ۲۰۰۵).....
۷۷	جدول ۲-۴: مقادیر استاندارد آبدهی ویژه برای مواد مختلف (تاد و میز، ۲۰۰۵).....
۹۱	جدول ۳-۴: مقدار تغییرات خطای RMSE ناشی از تغییر هدایت هیدرولیکی.....
	جدول ۴-۴: مقدار تغییرات خطای RMSE ناشی از تغییر هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و
۹۱	میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری.....

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۹	شکل ۱-۲ انواع مدل آب زیرزمینی (تهیه شده با الگوبرداری تلفیقی از محمودیان شو شتری، ۱۳۹۲ و اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲).....
۱۱	شکل ۲-۲: نمودار تقسیم‌بندی مدل‌های ریاضی جریان آب زیرزمینی (تهیه شده با تلفیقی از محمودیان شو شتری، ۱۳۹۲) و (چیت‌سازان و کشکولی، ۱۳۸۱).....
۱۳	شکل ۳-۲: دستگاه آزمایش قانون داریسی (ترسیم با الهام از (تاد و میز، ۲۰۰۵)).....
۱۴	شکل ۴-۲: هم‌جهتی محورهای مختصات با محورهای اصلی ناهم‌سانی (ترسیم با الهام از (پیندر و سلیا، ۲۰۰۶)).....
۱۵	شکل ۵-۲: غیر هم‌جهتی محورهای مختصات با محورهای اصلی ناهم‌سانی (ترسیم با الهام از (پیندر و سلیا، ۲۰۰۶)).....
۱۵	شکل ۶-۲: حجم معیار برای محاسبه‌ی موازنه‌ی جرم (ترسیم با الهام از (چاو و همکاران، ۱۹۹۸)).....
۳۸	شکل ۱-۳: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه.....
۴۱	شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۷).....
۴۵	شکل ۳-۳: نقشه هم عمق آبخوان دشت میامی جنوبی در شهریورماه ۱۳۸۶.....
۴۵	شکل ۴-۳: نقشه تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت میامی جنوبی در شهریورماه ۱۳۸۶.....
۴۶	شکل ۵-۳: جهت جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت میامی جنوبی (ترسیم بر اساس داده‌های سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت میامی جنوبی در شهریورماه ۱۳۸۶).....
۵۰	شکل ۶-۳: پروتکل مدل (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲).....

- شکل ۳-۷: ساخت مدل مفهومی در نرم‌افزار GMS ۵۷
- شکل ۳-۸: لایه اطلاعاتی مرز فوقانی (m) ۵۸
- شکل ۳-۹: لایه اطلاعاتی سنگ کف آبخوان مورد مطالعه ۵۹
- شکل ۳-۱۰: لایه اطلاعاتی چاه‌های مشاهده‌ای در شرایط پایدار ۵۹
- شکل ۳-۱۱: لایه اطلاعاتی چاه‌های مشاهده‌ای در شرایط ناپایدار ۶۰
- شکل ۳-۱۲: موقعیت منابع آبی ۶۱
- شکل ۳-۱۳: آمادگی مدل برای انجام اجرای اولیه ۶۴
- شکل ۳-۱۴: وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای در اولین اجرای مدل ۶۴
- شکل ۴-۱: نمودار مقایسه‌ای مقادیر بار آبی محاسباتی و مشاهداتی در حالت پایدار ۷۲
- شکل ۴-۲: سطح تراز آب زیرزمینی محدوده مدل‌سازی بعد از مرحله واسنجی در حالت پایدار (متر) ۷۲
- شکل ۴-۳: مقدار (طیف) بهینه هدایت هیدرولیکی بعد از واسنجی (متر بر روز) ۷۳
- شکل ۴-۴: وضعیت پیزومترهای مدل و واسنجی شده در پایان واسنجی حالت ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲) ۷۵
- شکل ۴-۵: وضعیت چاه مشاهده‌ای شماره ۱ (مقایسه هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی) طی دوره ناپایدار، بعد از واسنجی ۷۶
- شکل ۴-۶: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی پیزومتر شماره ۱ طی مرحله ناپایدار، بعد از واسنجی ۷۶
- شکل ۴-۷: مقدار (طیف) بهینه آبدی ویژه بعد از واسنجی ۷۷
- شکل ۴-۸: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱، طی مرحله ناپایدار ۷۸
- شکل ۴-۹: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۳، طی

- مرحله ناپایدار ۷۹
- شکل ۴-۱۰: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۸، طی
مرحله ناپایدار ۷۹
- شکل ۴-۱۱: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۴،
طی مرحله ناپایدار ۸۰
- شکل ۴-۱۲: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۷،
طی مرحله ناپایدار ۸۰
- شکل ۴-۱۳: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱ طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷
تا مهر ۱۳۹۲) ۸۱
- شکل ۴-۱۴: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۳، طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷
تا مهر ۱۳۹۲) ۸۱
- شکل ۴-۱۵: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۸، طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷
تا مهر ۱۳۹۲) ۸۲
- شکل ۴-۱۶: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۴، طی مرحله ناپایدار (مهر
۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲) ۸۲
- شکل ۴-۱۷: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۷، طی مرحله ناپایدار (مهر
۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲) ۸۳
- شکل ۴-۱۸: وضعیت چاه مشاهده‌ای شماره ۱ (مقایسه هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی)
طی دوره صحت‌سنجی ۸۴
- شکل ۴-۱۹: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی پیزومتر شماره ۱ طی مرحله
صحت‌سنجی ۸۴
- شکل ۴-۲۰: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۲، طی

- مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۵
- شکل ۴-۲۱: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۵، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۶
- شکل ۴-۲۲: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۷، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۶
- شکل ۴-۲۳: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۰، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۷
- شکل ۴-۲۴: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۵، طی مرحله صحت‌سنجی ۸۷
- شکل ۴-۲۵: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۲ طی مرحله ناپایدار (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۸
- شکل ۴-۲۶: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۵، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۸
- شکل ۴-۲۷: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۷، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۹
- شکل ۴-۲۸: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۰، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۸۹
- شکل ۴-۲۹: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۵، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) ۹۰
- شکل ۴-۳۰: حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری طی دوره ناپایدار ۹۲
- شکل ۴-۳۱: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۳۹۷، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از

- منابع آب زیرزمینی ۹۳
- شکل ۳۲-۴: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۳۹۸، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی ۹۴
- شکل ۳۳-۴: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۳۹۹، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی ۹۴
- شکل ۳۴-۴: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۴۰۰، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی ۹۴
- شکل ۳۵-۴: نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی طی دوره پیش‌بینی (۱۳۹۷-۱۴۰۰)، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی ۹۶

فصل اول

مقدمه

حدود ۵۰ درصد از جمعیت کره زمین برای تأمین آب شرب به آب‌های زیرزمینی وابسته هستند که با توجه به واقع بودن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا، این مقدار در کشور ما به ۶۰ درصد نیز می‌رسد (شمسایی جلد دوم، ۱۳۹۶). بخش اعظم آب کره‌ی زمین ۹۶/۵۶ درصد به‌صورت آب‌شور در دریاها و اقیانوس‌ها قرار گرفته که غیر قابل استفاده می‌باشد از ۳/۴۴ درصد باقی مانده که به‌صورت آب شیرین می‌باشند نیز ۱/۷۳ درصد آن‌ها (حدود ۷۰ درصد آب‌های شیرین) به‌صورت یخچال‌های قطبی می‌باشند که دسترسی به این آب‌ها بسیار مشکل و سخت و همچنین پرهزینه است بعد از یخچال‌های قطبی، آب‌های زیرزمینی بالاترین حجم از آب‌های شیرین زمین را تشکیل می‌دهند که این مقدار به ۳۰ درصد حجم آب‌های شیرین را شامل می‌شوند که البته از این مقدار آب زیرزمینی نیز همه آن‌ها به‌صورت آب شیرین نمی‌باشند به‌طور مثال در آبخوان‌های ساحلی که آب شور دریا با آبخوان نفوذ کرده و منبع آب زیرزمینی را شور و غیر قابل استفاده کرده است (علیزاده، ۱۳۹۴). رشد و گسترش جمعیت از یک سو و تأمین آب برای برطرف نمودن نیازهای جامعه (شرب، کشاورزی، صنعتی و غیره) در حال رشد از سوی دیگر در دهه‌های اخیر موجب افزایش استفاده از منابع آب زیرزمینی گردیده و باعث بروز اختلاف‌های جدی در میان بهره‌برداران از منابع آب شده است همچنین مصرف زیاد آب زیرزمینی، باعث شده است که در بسیاری از نقاط جهان از جمله در کشور ما سطح آب زیرزمینی به‌شدت پایین برود و بسیاری از قنات‌ها خشک شود (کردوانی، ۱۳۷۴).

مدیریت و مطالعه جریان آب زیرزمینی تحت شرایط مرزی طبیعی و مصنوعی، نیازمند استفاده از روش‌های مدل‌سازی می‌باشد. مدل، ابزاری است که برای نمایش ساده‌تر واقعیت طراحی شده است. در صورتی که سامانه‌های آب زیرزمینی به‌درستی شبیه‌سازی شوند؛ به‌طوری که مدل‌های حاصله، بازگو کننده واکنش‌های واقعی سامانه باشند؛ می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یک ابزار مؤثر و

کارآمد برای مدیریت و بهبود شرایط آبخوان استفاده کرد. برای اینکه نتایج حاصل از مدل با واقعیت مطابقت مطلوب را داشته باشد؛ داشتن داده‌های صحرائی لازم، جهت انجام صحت‌سنجی^۱ امری ضروری است.

۱-۲- اهداف تحقیق

مدل‌های آب زیرزمینی اغلب در ارزیابی منابع آبی جهت تعیین دوره طولانی‌مدت بهره‌برداری از آبخوان‌های ناحیه‌ای یا محلی به کار می‌روند. مخصوصاً مدل جریان می‌تواند اطلاعات مفیدی از عوامل هیدرولیکی از قبیل نرخ جریان افت و جهت جریان ارائه دهد. علاوه بر آن شرایط زیرسطحی به آسانی قابل دسترس و قابل مشاهده نبوده و به همین جهت مدل‌ها به‌عنوان ابزاری کاربردی برای درک سیستم‌های آب زیرزمینی، شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتارشان درآمده‌اند. از جمله مهم‌ترین اهداف مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب) شناخت آبخوان‌ها، ارزیابی دقیق کمی و کیفی ذخایر آب‌های زیرزمینی، شناخت عوامل طبیعی و آلاینده‌های مؤثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی، شناخت تهدیدها و خسارات جبران‌ناپذیر ناشی از برداشت بیش‌ازحد از این منابع ملی (از جمله: میزان کاهش ذخیره دائمی آبخوان، تغییر الگوی جریان آب‌های زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنات و افزایش هزینه برداشت، نشست زمین) با به‌کارگیری روش‌های علمی و فناوری‌های نوین می‌باشد. به‌طور کلی بسته به نوع مدل آب زیرزمینی (کمی یا کیفی بودن آن)، هدف از ساختن یک مدل آب زیرزمینی به شرح ذیل است:

- تهیه مدل‌های فیزیکی و ریاضی برای سفره‌های آب‌های زیرزمینی
- تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان (هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره)
- تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف و عوامل مؤثر بر آن

^۱. Verification

- تعیین خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی و پتانسیل آسیب‌پذیری کیفی آبخوان‌ها
- مدیریت، برنامه‌ریزی و اقتصاد منابع آب‌های زیرزمینی
- تعیین آلودگی، منابع آب‌های زیرزمینی (منشأ، تکنیک‌های تشخیص و رفع آلودگی)
- تأثیر طرح‌های تغذیه مصنوعی و سدهای زیرزمینی بر سفره‌های آب‌های زیرزمینی
- ژئومورفولوژی آب‌های زیرزمینی (پدیده‌های کارستی و ...) و منابع آب کارست

از مهم‌ترین اهداف مورد مطالعه در این پژوهش می‌توان به تهیه مدل آب زیرزمینی دشت میامی با استفاده از نرم‌افزار ^۱GMS و رابط گرافیکی آن یعنی Modflow اشاره کرد؛ همچنین سعی بر این است که به پیش‌بینی وضعیت کاهش سطح آب زیرزمینی منطقه در آینده نیز پرداخته شود.

۱-۳- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

آب به‌عنوان یکی از باارزش‌ترین و مهم‌ترین مسائل و چالش‌های قرن ۲۱ خواهد بود. مصارف بی‌رویه و کنترل نشده منابع آب سطحی و زیرزمینی، کاهش نزولات جوی، تمرکز مصرف در برخی نقاط (عدم تعادل بین تقاضا و پتانسیل تأمین آب)، الگوی کشت نامناسب و عدم آبیاری صحیح، حفر چاه‌های متعدد و بهره‌برداری بی‌برنامه از آن‌ها در چند دهه گذشته باعث بحرانی شدن وضعیت منابع آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور شده است. امروزه کشورها بیش‌ازپیش دریافته‌اند که توسعه از جمله توسعه منابع آب باید پایدار باشد یکی از موارد مهم در توسعه هر کشور مدیریت پایدار منابع آب آن کشور است، که این مدیریت شامل مدیریت منابع آب سطحی و مدیریت منابع آب زیرزمینی می‌باشد (پرهیزکار وهمکاران، ۱۳۹۳).

برای دستیابی به چنین هدفی، باید ابزارهایی توسعه داده شوند که جامع و در سطح حوزه قابل کاربرد بوده و دارای مقیاس زمانی پیوسته باشد و درعین حال دارای کاربری ساده‌ای

^۱. Groundwater Modeling System

باشند. باوجود ازدیاد و گسترش مدل‌های عددی به این منظور در طی سال‌های اخیر و تشخیص نیاز مبرم به مدیریت جامع منابع آب زیرزمینی، هنوز کمبود آن در مجموعه ابزارهای مدیریتی احساس می‌گردد (سوفو کلیوس، ۲۰۰۲).

در مطالعات منابع آب، مدل‌های آب زیرزمینی جهت شبیه‌سازی جریان آب در آبخوان و شبیه‌سازی رفتار درازمدت آبخوان تحت سناریوهای مختلف مدیریتی به کار می‌روند. لازمه این امر واسنجی و ارزیابی این مدل‌ها می‌باشد. بدون تخمین مناسب از مقدار تغذیه و تغییرات مکانی و زمانی آن، نتایج این مدل‌ها قابل اعتماد نیستند. بنابراین اگر مقدار دقیق تغذیه موجود نباشد نمی‌توان تأثیر برداشت از آبخوان را به‌طور مناسبی ارزیابی نمود و به رفتار آبخوان تحت سناریوهای مختلف مدیریتی اعتماد پیدا کرد (چونگ و همکاران، ۲۰۱۰).

کاربرد روش‌های مختلف تخمین تغذیه آب زیرزمینی بر مبنای مفاهیم پارامترهای هیدرولوژیک "یکجا" به دلیل خصوصیت ذاتی آن‌ها در مدیریت و برنامه‌ریزی آب زیرزمینی محدود شده است. از آنجایی که شدت تغذیه‌ی آب زیرزمینی به دلیل شرایط آب و هوایی، کاربری اراضی و ناهمگنی هیدروژئولوژیک دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشد، این روش‌ها در مواجهه با این ویژگی‌ها دارای محدودیت می‌باشند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها می‌توان از روش تخمین تغذیه بر مبنای بیلان آب با استفاده از Modflow استفاده نمود (چونگ و همکاران، ۲۰۱۰).

دشت میامی واقع در استان سمنان می‌باشد. منابع آبی موجود در دشت شامل رودخانه‌ها، قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌ها می‌باشد. منبع اصلی تأمین آب موردنیاز منطقه از طریق چاه‌ها است که از آبخوان دشت مذکور تغذیه می‌شوند. به دلیل عدم مدیریت مناسب برداشت‌ها، به‌تبع افزایش جمعیت و صنایع وابسته به آب، مشکلات عدیده‌ای مانند افت شدید و غیرقابل برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنات و تغییرات الگوی جریان

آب زیرزمینی در منطقه ایجاد شده است. ضرورت تحقیق اینجاست که ماهیت تغییرات سطح آب سفره زیرزمینی منطقه برای آینده مبهم است و این ماهیت باید از طریق مدل سازی روشن گردد تا روش های مدیریت صحیح آب در منطقه برای آینده اعمال شود.

۱-۴- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در قالب ۵ فصل به شرح زیر نگارش یافته و ارائه گردیده است:

فصل اول پایان نامه شامل مقدمه می باشد که در ابتدا به مقدمه، بیان مسئله و در ادامه به ضرورت انجام تحقیق پرداخته است.

فصل دوم این پایان نامه با عنوان کلیات و مروری بر تحقیقات پیشین ارائه شده است و مطابق با عنوان آن به شرح سوابق مطالعاتی پژوهش و همچنین سوابق مطالعاتی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

فصل سوم نیز با عنوان مواد و روش ها ارائه شده که در ابتدا به تشریح خصوصیات عمومی و زمین شناسی منطقه و همچنین خصوصیات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه پرداخته است؛ سپس به انواع مدل آب زیرزمینی پرداخته؛ و در ادامه نیز مراحل تهیه مدل آبخوان دشت میامی (حالت پایدار و ناپایدار) پرداخته شده است.

فصل چهارم این پایان نامه با عنوان نتایج و بحث ارائه شده است که در آن نتایج حاصل از مدل سازی آبخوان دشت میامی که در فصل سوم ارائه شده است، مورد بحث واقع شده اند.

فصل پنجم این پایان نامه نیز با عنوان نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه شده است که در آن به جمع بندی بحث های صورت گرفته پیرامون یافته ها و نتایج پرداخته شده است و در نهایت هم چند پیشنهاد به منظور انجام هر چه بهتر مطالعات بعدی در جهت مدیریت بهتر آبخوان و بهبود شرایط آن ارائه گردیده است.

فصل دوم

کلیات و

مروری بر تحقیقات پیشین

این فصل که با نام کلیات و مروری بر تحقیقات پیشین ارایه شده است در ابتدا به مدل آب‌های زیرزمینی اشاره شده سپس مروری مختصر بر سابقه مدل‌سازی در دنیا و مطالعات مدل‌سازی در دنیا بعد از آن به سابقه مدل‌سازی در ایران و تحقیقات انجام‌گرفته بر روی دشت‌های مختلف کشور داشته است و در آخر نیز به سابقه مطالعاتی دشت میامی و همچنین تحقیقات انجام‌شده در دشت مذکور پرداخته است.

۲-۲- مدل آب‌های زیرزمینی

متخصصین منابع آب با استفاده از مدل جریان آب زیرزمینی می‌توانند وضعیت آینده آبخوان را پیش‌بینی کنند. معمولاً سامانه‌ها و مسائل پیچیده جریان آب زیرزمینی که راه‌حل تحلیلی ندارند و یا حل آن‌ها مشکل است به کمک مدل‌های کامپیوتری حل می‌شوند. مدل وسیله‌ای است؛ جهت نمایش و بیان واقعیت که به صورت نسخه‌ای ساده طراحی گردد (ونگ و اندرسون^۱، ۱۹۹۵). تعاریف زیادی از مدل توسط پژوهشگران مختلف بیان شده است؛ از جمله این که «مدل ابزاری است که برای نمایش ساده‌تر واقعیت، طراحی شده است؛ به عبارتی هر شیوه‌ای که یک تقریب و شباهت از وضعیت آبخوان یک منطقه را ارائه کند یک مدل جریان آب زیرزمینی نام دارد» (ونگ و اندرسون^۱، ۱۹۹۵). دومنیکو^۲ (نقل در: اندرسون و وسنر^۳، ۱۹۹۲) مدل را بیانی از یک واقعیت می‌داند که سعی دارد مفاهیم و رفتار آن را به گونه‌ای شرح دهد که همواره پیچیدگی کمتری نسبت به سامانه واقعی داشته باشد.

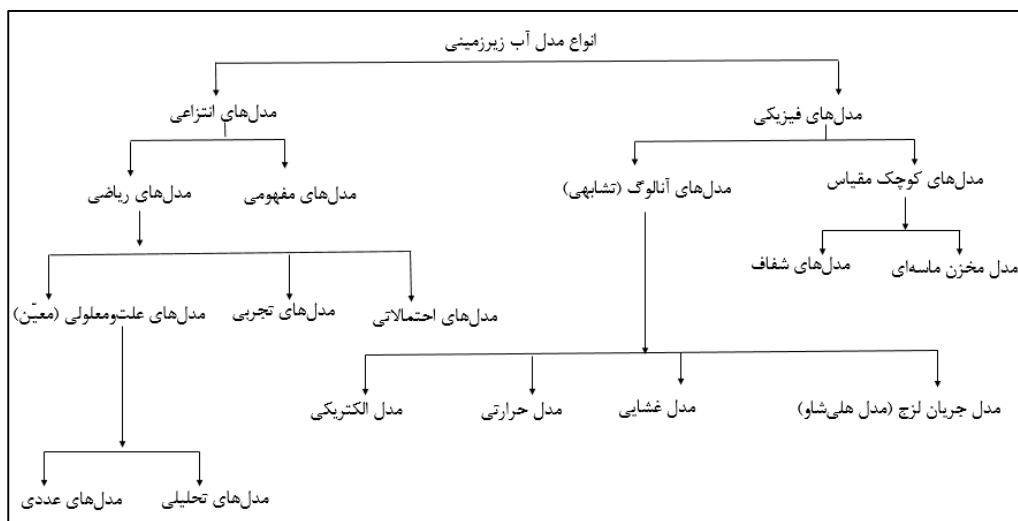
^۱. Wang and Anderson

^۲. Domenico

^۳. Anderson and Woessner

۲-۲-۱- انواع مدل‌های جریان آب زیرزمینی

به طور کلی مدل‌هایی که برای مطالعه جریان آب زیرزمینی به کار می‌روند؛ شامل دو دسته، مدل‌های فیزیکی و مدل‌های انتزاعی هستند؛ مدل‌های فیزیکی خود به دو گروه کوچک مقیاس^۱ و مدل‌های آنالوگ^۲ یا قیاسی تقسیم می‌شوند. از مدل‌های کوچک مقیاس می‌توان به مدل مخزن ماسه‌ای^۳ و مدل‌های شفاف^۴ اشاره کرد و از مدل‌های آنالوگ نیز می‌توان به مدل جریان لزج^۵ (مدل هلی - شاو^۶)، مدل غشایی^۷، حرارتی^۸ و الکتریکی^۹ اشاره نمود. مدل‌های انتزاعی نیز شامل مدل‌های مفهومی^{۱۰} و مدل‌های ریاضی^{۱۱} هستند (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱ انواع مدل آب زیرزمینی (تهیه شده با الگوبرداری تلفیقی از محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲ و اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲).

۱. Small Scale Model
۲. Analog Models
۳. Sand Tank Model
۴. Transparent Model
۵. Viscous Flow Analog Model
۶. Hele - show Model
۷. Membranes Model
۸. Heat Analog Model
۹. Electrical Analog Model
۱۰. Conceptual Models
۱۱. Mathematical Models

۲-۱-۱-۱-۲-۱ مدل مفهومی

اگرچه تهیه مدل مفهومی، اولین گام در مدل‌سازی محسوب می‌گردد؛ اما تهیه یک مدل مفهومی مناسب، لزوماً کاری نیست که به‌طور کامل در مرحله نخست مطالعات صورت پذیرد. مدل‌سازی، فرآیندی پیوسته و پویا است که در آن به تناسب ادامه مطالعات و افزایش دانش نسبت به سامانه و افزوده شدن بر حجم داده‌های موجود، مدل مفهومی نیز تکامل یافته و فرضیات تشکیل‌دهنده آن دوباره مورد بررسی قرار می‌گیرد و به آن‌ها افزوده یا کاسته شده و یا اصلاح می‌شود. مدل مفهومی خلاصه‌ای از ویژگی‌های سامانه هیدروژئولوژیکی است که ضمن برخورداری از دقت لازم معمولاً به‌صورت توصیفی و گرافیکی ارائه‌دهنده 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. با توجه به این‌که در شبیه‌سازی، بازسازی کامل سامانه واقعی امکان‌پذیر نمی‌باشد و همچنین معمولاً هیچ‌وقت داده‌های کاملی برای توصیف دقیق یک سامانه وجود ندارد؛ ناگزیر باید در مدل مفهومی فرضیات ساده‌کننده‌ای را اعمال نمود. مدل مفهومی باید به‌گونه‌ای تهیه شود که ضمن ساده بودن، رفتار سامانه را به‌خوبی شبیه‌سازی کند. ساده‌سازی بیش‌ازحد ممکن است منجر به تهیه مدلی شود که اطلاعات موردنظر را دربر نداشته باشد. از سوی دیگر ساده‌سازی کمتر از حد، ممکن است منجر به اعمال هزینه‌های زیاد شده و یا سبب شود در مراحل تخمین پارامتر یا واسنجی، داده‌های کافی در دسترس نباشند. از مهم‌ترین هدف‌های تهیه مدل مفهومی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲).

- دستیابی به دانش صحیح از وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه،
- تشریح مسئله آب زیرزمینی برای تهیه یک مدل عددی،
- کمک به انتخاب یک مدل عددی مناسب،
- ساده‌سازی منطقی مسئله به کمک فرضیات مناسب.

۲-۱-۲-۲- مدل‌های ریاضی

مدل‌های ریاضی مدلهایی هستند که جریان آب زیرزمینی را به‌طور غیرمستقیم به وسیله معادلات حاکم بر فرایندهای فیزیکی که در سامانه اتفاق می‌افتد؛ با معادلاتی که بارهای هیدرولیکی و جریان را در طول مرزهای مدل توصیف می‌کند؛ شبیه‌سازی می‌نمایند. به عبارتی مدل‌های ریاضی، شامل مجموعه‌ای از عبارات ریاضی و جملات منطقی می‌باشد که با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا بتوان از طریق آن‌ها رفتار سامانه موردنظر را شبیه‌سازی نمود؛ یعنی با در نظر گرفتن یک اصل منطقی روابط تجربی بین متغیرها و پارامترها به صورت توابع همبستگی و به شکل معادلات ریاضی نشان داده می‌شوند.

به‌طور کلی معادلات ریاضی جریان آب زیرزمینی بر اساس معیارهای مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل ۲-۲ به پاره‌ای از آن‌ها اشاره شده است.



شکل ۲-۲: نمودار تقسیم‌بندی مدل‌های ریاضی جریان آب زیرزمینی (تهیه شده با تلفیقی از (محمودیان

شوشتری، ۱۳۹۲) و (چیت‌سازان و کشکولی، ۱۳۸۱))

۲-۲-۱-۲-۱- ساختار مدل ریاضی

مدل‌های ریاضی دارای سه جزء اصلی می‌باشند که عبارت‌اند از:

(۱) معادله حاکمه که برگرفته از قانون بقای جرم و قانون داری می‌باشد که در قالب

معادلات دیفرانسیل جزئی بیان می‌شوند.

(۲) شرایط مرزی که به منظور حل معادلات دیفرانسیل جریانات آب زیرزمینی نیاز است

تا متغیرهای مورد نظر مدل‌سازی در محدوده‌های مرزی مشخص باشند.

(۳) شرایط اولیه که در مسائل وابسته به زمان نیاز است تا متغیرهای مورد نظر در یک

زمان اولیه کاملاً مشخص گردد.

در ادامه هر یک از این اجزا به تفصیل بیشتری، تشریح گردیده‌اند:

۱- معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی

معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی از معادلات پیوستگی و قانون داری به دست می‌آیند.

این معادلات در قالب معادلات دیفرانسیل جزئی می‌باشند که معمولاً به صوت دو یا سه‌بعدی

بیان می‌شوند.

• قانون داری

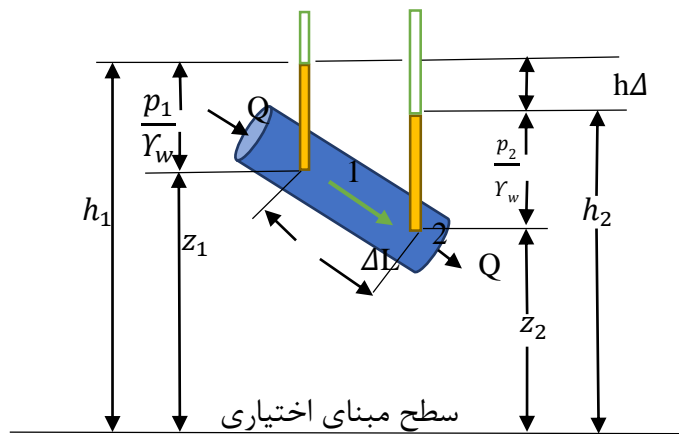
هنری داری مهندس فرانسوی در سال ۱۸۵۶ با انجام آزمایش‌های مکرر با عبور دادن آب از

درون استوانه‌ای که پر از شن و ماسه بود (شکل ۲-۳)، مشاهده نمود که سرعت جریان در یک

محیط متخلخل متناسب با شیب هیدرولیکی است. این مهندس فرانسوی سرانجام با آزمایش‌های

گوناگونی که با تغییر شدت جریان (دبی) و یا تغییر نوع ماسه (نوع فیلتر) درون استوانه همراه

بود؛ معادله ۱-۲ را ارائه داد که به معادله داری معروف است.



شکل ۳-۲: دستگاه آزمایش قانون دارسی (ترسیم با الهام از (تاد و میژا، ۲۰۰۵))

$$Q = -KA \frac{\Delta h}{\Delta s} \quad (1-2)$$

معادله دارسی در شکل دیفرانسیلی، به صورت معادله‌ی ۲-۲ می‌باشد.

$$Q = -KA \frac{dh}{ds} \quad (2-2)$$

برای بیان دبی عبوری از عرض واحد، از عبارت $q = \frac{Q}{A}$ استفاده می‌شود که دبی ویژه نامیده می‌شود (ونگ و اندرسون، ۱۹۹۵). البته به دلیل داشتن بعد سرعت، به آن سرعت دارسی هم می‌گویند.

در جریان‌های سه‌بعدی، معادله دارسی در شرایط مختلف، به صورت‌های مختلف نوشته می‌شود. اگر هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل در تمام جهات (x, y, z) یکسان باشد؛ دبی ویژه به صورت معادله‌های ۳-۲، ۴-۲ و ۵-۲ تعریف می‌شود.

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

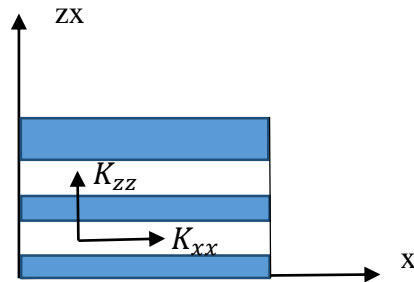
$$q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \quad (4-2)$$

$$q_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (5-2)$$

با توجه به اینکه هدایت هیدرولیکی در سفره آب زیرزمینی معمولاً در جهات مختلف با هم فرق

۱. Todd and Mays

می‌کند؛ هدایت هیدرولیکی حالت برداری (وکتوری) پیدا می‌کند. حال اگر محورهای ناهمسانگردی با محورهای مختصات هم جهت باشند؛ مانند (شکل ۴-۲) قانون داریسی به صورت معادله‌های ۶-۲، ۷-۲ و ۸-۲ تعریف می‌شود.



شکل ۴-۲: هم‌جهتی محورهای مختصات با محورهای اصلی ناهمسانی (ترسیم با الهام از (پیندر و سلیا، ۲۰۰۶))

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad (۶-۲)$$

$$q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (۷-۲)$$

$$q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (۸-۲)$$

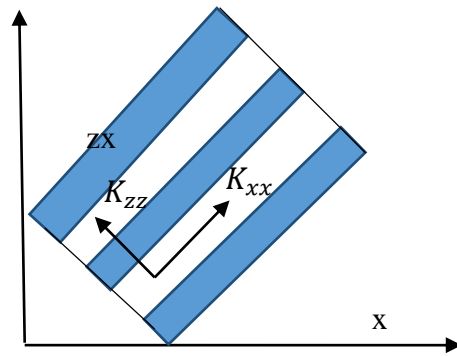
اما اگر در محیط‌های متخلخل جهت‌های ناهمسانگردی با محورهای مختصات هم جهت نباشد (شکل ۵-۲)، از حالت تانسوری هدایت هیدرولیکی استفاده می‌شود و شکل قانون داریسی به شکل معادله‌های ۹-۲، ۱۰-۲ و ۱۱-۲ تغییر می‌کند.

$$q_x = -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{xy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{xz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (۹-۲)$$

$$q_y = -K_{yx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{yz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (۱۰-۲)$$

$$q_z = -K_{zx} \frac{\partial h}{\partial x} - K_{zy} \frac{\partial h}{\partial y} - K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (۱۱-۲)$$

^۱ . Pinder and Celia

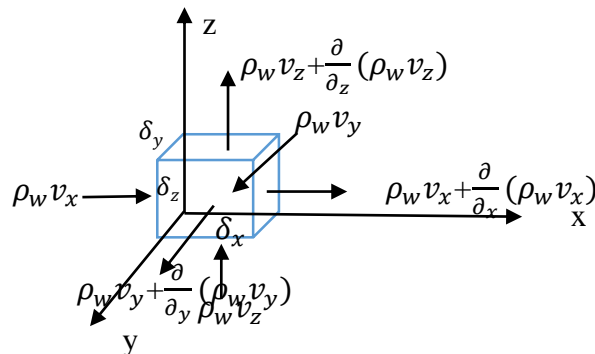


شکل ۲-۵: غیر هم‌جهتی محورهای مختصات با محورهای اصلی ناهمسانی (ترسیم با الهام از (پیندر و سلیا، ۲۰۰۶))

• معادله پیوستگی

این معادله بر اساس اصل بقای ماده استوار است. اصل بقای ماده بیان می‌دارد که در یک سامانه بسته، ماده خودبه خود به وجود نمی‌آید و یا از بین نمی‌رود. با کپی برداری از این اصل برای یک حجم کنترل اختیاری از یک سیال، می‌توان محاسبات مربوط به جرم سیال در حجم کنترل را بر مبنای تغییرات مقادیر نرخ جریان‌های ورودی و خروجی از سامانه انجام داد. این اصل را می‌توان برای حجم کنترلی از خاک به ابعاد δ_x ، δ_z و δ_y تعمیم داد و به صورت معادله ۲-۱۲ نوشت (محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲):

$$\text{سطح مقطع جریان} * \text{سرعت} * \text{جرم مخصوص سیال} = \text{نرخ جرم جریان} \quad (۲-۱۲)$$



شکل ۲-۶: حجم معیار برای محاسبه‌ی موازنه‌ی جرم (ترسیم با الهام از (چاو و همکاران^۱، ۱۹۹۸))

^۱ Chow and et al

معادله کلی پیوستگی را می‌توان به صورت معادله ۱۳-۲ نوشت:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_w \nabla} \frac{\partial M_w}{\partial t} \quad (13-2)$$

اصولاً برای استخراج معادله دیفرانسیلی جریان آب زیرزمینی باید معادله حرکت داریسی را با معادله پیوستگی ترکیب نمود و سپس با قبول کردن فرض‌هایی برای هدایت هیدرولیکی و وضعیت هندسی آبخوان، معادله حاکم را برای حالت‌های خاص نوشت.

حال اگر مؤلفه‌های سرعت داریسی را برای جریان در یک آبخوان ناهمگن و ناهمسان با شرط انطباق جهت‌های محورهای مختصات با جهت‌های اصلی هدایت هیدرولیکی معادلات ۶-۲، ۷-۲ و ۸-۲ در معادله ۱۳-۲ (رابطه پیوستگی) قرار دهیم، معادله ۱۴-۲ به دست می‌آید.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (14-2)$$

در این معادله h بار آبی با دیمانسیون L ، S_s : ذخیره ویژه با دیمانسیون L^{-1} و K نیز هدایت هیدرولیکی با دیمانسیون LT^{-1} می‌باشد. معادله ۱۴-۲ به معادله سه‌بعدی اصلی جریان آب زیرزمینی در آبخوان محبوس در شرایطی که آبخوان ناهمگن، ناهمسان و ناپایدار است؛ معروف می‌باشد. این معادله یک معادله دیفرانسیل جزئی می‌باشد و با اعمال فرض‌های مختلف می‌توان آن را به شکل‌های دیگر نوشت. برای شرایط دوعده‌ای که در مدل‌های عددی یک‌لایه‌ای و یا مدل‌های عددی مقطعی استفاده می‌شود؛ معادله اصلی جریان آب زیرزمینی به صورت معادله (۱۵-۲) خواهد بود.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (15-2)$$

• معادلات جریان در آبخوان بسته

در حالت‌های گوناگون با اعمال فرض‌های مختلف معادله جریان آب زیرزمینی به صورت‌های مختلف درمی‌آید (محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲) که بعضی از آن‌ها در زیر آورده شده است.

الف- اگر آبخوان همگن و ناهمسان فرض شود معادله ۱۴-۲ را به صورت معادله ۱۶-۲ نوشت.

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱۶-۲)$$

ب- اگر آبخوان همگن و همسان فرض شود معادله ۱۴-۲ به صورت معادله ۱۷-۲ در می‌آید.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱۷-۲)$$

یا

$$\nabla^2 h = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱۸-۲)$$

در معادله ۱۸-۲، $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ و به آن عملگر لاپلاس می‌گویند.

ج- اگر فقط فرض شود که جریان پایدار است ($\frac{\partial h}{\partial t} = 0$) و آبخوان ناهمگن و ناهمسان

است؛ معادله ۱۴-۲ به صورت معادله ۱۹-۲ در می‌آید.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (۱۹-۲)$$

د- اگر علاوه بر پایداری جریان، محیط همگن و همسان فرض شود؛ معادله ۱۵-۲ به صورت معادله

۲۰-۲ در می‌آید:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۲۰-۲)$$

معادله ۲۰-۲ به معادله لاپلاس جریان آب زیرزمینی در یک آبخوان همگن و همسان در حالت

پایدار معروف می‌باشد.

• آبخوان غیرمحصور

اگر جریان پایدار و آبخوان ناهمگن و ناهمسان باشد؛ معادله اصلی جریان آب زیرزمینی به صورت

معادله ۲۱-۲ در می‌آید.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (۲۱-۲)$$

همچنین اگر جریان پایدار و آبخوان همگن و همسان باشد؛ معادله اصلی جریان آب زیرزمینی

به صورت معادله ۲۲-۲ در می‌آید.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۲۲-۲)$$

با اینکه معادله‌های ۱۲-۲ و ۲۳-۲ همانند معادله‌های ۱۹-۲ و ۲۰-۲ می‌باشند؛ ولی توجه به این نکته ضروری است که طرف دوم در معادله‌های ۲۱-۲ و ۲۲-۲ به علت پایدار بودن جریان ($\frac{\partial h}{\partial t} = 0$) صفر نشده‌اند؛ بلکه به علت فرض $S_s = 0$ ، صفر شده‌اند (محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲).

۲- شرایط مرزی

شرایط مرزی به محدودیت‌هایی گفته می‌شود که بر شبکه مدل اعمال می‌شود تا برهم‌کنش بین محدوده شبیه‌سازی و محیط اطراف مدل را نشان دهد و به کمک آن، نتیجه تغییرات محیط بر روی محدوده مدل مشاهده می‌شود (چیت‌سازان و کشکولی، ۱۳۸۱). انتخاب شرایط مرزی یک مرحله حساس و مهم در طراحی مدل بوده و مرحله‌ای است که می‌تواند بیشترین خطا را در مدل به وجود بیاورد. انتخاب نوع شرایط مرزی بستگی به مدل مفهومی، ویژگی‌های فیزیکی و نوع اطلاعات صحرائی موجود دارد. شرایط مرزی اصلی که در واقع شرایط مرزی خارجی مدل‌های آب زیرزمینی هستند؛ به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند.

نوع اول: شرایط مرزی بار هیدرولیکی معلوم (شرایط مرزی دیریکلی)^۱:

این نوع شرط مرزی در نواحی 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 اساسی^۲ یا دیریکلی خوانده می‌شوند.

این نوع شرایط مرزی به زبان ریاضی به صورت معادله ۲۳-۲ بیان می‌شود که در آن

^۱ . Dirichlet

^۲ . Essential

$h_0(x, y, z, t)$ مقدار ثابت تعیین شده بار هیدرولیکی در مرز ∂Y است (محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲).

$$h(x, y, z, t) = h_0(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \partial Y \quad (23-2)$$

نوع دوم: شرایط مرزی جریان معلوم (شرایط مرزی نیومن^۱):

در این نوع شرط مرزی، مشتق بار هیدرولیکی که در واقع بده در واحد عرض جریان در مرز سامانه می‌باشد؛ دارای مقدار مشخصی است. مرز بدون جریان نیز یک نوع شرایط 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 طبیعی^۲ یا نیومن خوانده می‌شوند.

این نوع شرایط مرزی به زبان ریاضی به صورت معادله ۲-۲۴ بیان می‌شود که در آن v_n سرعت داری خروجی که دیمانسیون آن LT^{-1} و v_0 هم سرعت داری تعیین شده خروجی بر روی مرز ∂Y می‌باشد (محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲).

$$v_n = v_0(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \partial Y \quad (24-2)$$

نوع سوم - شرط مرزی جریان وابسته به بار هیدرولیکی (شرایط مرزی کوشی^۳):

این نوع شرایط مرزی بار هیدرولیکی را به شار جریان مرتبط می‌سازد. در این نوع شرایط 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 شرایط مرزی، شرایط مرزی مختلط

^۱. Neumann

^۲. Natural

^۳. Cauchy

نیز گفته می‌شود. رودخانه‌های نشستی یا زهکش‌ها و آبخوان‌های مجاور که جریان تبدالی بین آن‌ها با آبخوان اصلی وابسته به اختلاف بار هیدرولیکی است؛ جزء این دسته از شرایط مرزی قرار می‌گیرند. در بحث ریاضی، این نوع مرزها به نام‌های کوشی یا نیوتون^۱ خوانده می‌شوند. این نوع شرایط مرزی به زبان ریاضی به صورت معادله ۲-۲۵ بیان می‌شود که در آن v_n برابر با سرعت داری خروجی، K_n هدایت هیدرولیکی مرز، با دیمانسیون LT^{-1} و M ضخامت مرز و دیمانسیون آن L می‌باشد (محمودیان شوشتری، ۱۳۹۲).

$$v_n = \frac{K_n}{M} [h(x, y, z, t) - h_m(x, y, z, t)], \quad (x, y, z, t) \quad (25-2)$$

۳- شرایط اولیه

منظور از شرایط اولیه مقادیر متغیرهای مجهول درون محدوده مدل (مانند بارهیدرولیکی و جریان) در لحظه ابتدایی شبیه‌سازی می‌باشد. 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. یک شیوه مناسب دیگر در تعیین شرایط اولیه استفاده از داده‌های صحرائی 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 صحرائی 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 از شرایط ماندگار ساکن و شرایط ماندگار شبه‌دینامیک می‌باشند

^۱. Newton

۲-۳- پیشینه تحقیقاتی مدل‌سازی در دنیا

در طی چندین دهه گذشته، انواع مدل‌های شبیه‌سازی ریاضی که در قالب کدهای عددی با استفاده از رایانه اجرا می‌شوند؛ به فراوانی مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل‌ها به منظور تحلیل جریان و انتقال مواد حل‌شده در سامانه انتقال آب زیرزمینی، نقش قابل توجهی را در بررسی رویکردهای توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی ایفا نموده‌اند (تاد و میز ۲۰۰۵).

در جهت استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز در مطالعات آبخوان‌ها، پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است که در ادامه به مواردی از آن‌ها به اختصار اشاره شده است.

میلر^۱ (۲۰۰۰) با استفاده از کد Modflow آبخوان کورتلند^۲ در نیویورک را شبیه‌سازی کرد. هدف از شبیه‌سازی این آبخوان تعیین هدایت هیدرولیکی، تهیه بیلان و تعیین مناطق تغذیه آبخوان به منظور کاهش میزان آلودگی در منطقه بوده است؛ وی در پژوهش خود از چاه‌های بهره‌برداری به عنوان مهم‌ترین عامل در میان عوامل تخلیه آبخوان مذکور یاد کرده است (۴۱ درصد از تغذیه کل آبخوان)؛ همچنین وجود دو چاه در بالادست این آبخوان که باعث انتقال آب‌های سطحی و آلوده به این آبخوان می‌شوند را یکی از دلایل انتقال آلودگی به آبخوان مذکور معرفی نموده است؛ وی همچنین با توجه به پایین بودن سطح آب چاه‌های پمپاژ نسبت به سطح رودخانه، به وجود یک رابطه هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان پی برده است.

عبدالغنی و طیر^۳ (۲۰۰۶) با استفاده از کد رایانه‌ای Modflow و GMS آبخوان شهر موصل^۴ را به روش مدل مفهومی شبیه‌سازی کردند. هدف از این شبیه‌سازی، تعیین مسیر سرعت جریان

۱. Miller

۲. Cortland

۳. Abdulghani and Thair

۴. Mosul

آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بوده است؛ آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که روند افزایش سطح آب زیرزمینی به علت ناهمگن بودن منطقه، ایجاد گردیده و همچنین تغییرات محیطی هدایت هیدرولیکی باعث افزایش ذخیره آبخوان شده است.

آرلای و همکاران^۱ (۲۰۰۷) سیستم آبخوان بانکوک^۲ را به منظور اعمال مدیریت بهینه، شبیه‌سازی کردند. این کار با جایگزینی مدل مدیریتی بهینه‌ساز آب‌های زیرزمینی (جی دبلو ام) آبخوان در مدل Modflow-2000، انجام شد تا مناطق تغذیه و گزینش چاه‌ها برای آبدهی پایدار طولانی مدت از لحاظ کمی و کیفی بهینه شده و منافع اقتصادی چنین بهینه‌ای نیز تعیین شود. از آنجاکه مدل جی دبلو ام قادر به محاسبه انتقال مواد محلول در فرایندهای بهینه‌سازی نبود؛ از مدل سه‌بعدی SEWAT-2000 برای این منظور استفاده نمودند. اجرای چنین مدلی مشخص کرده تحت قیدهای (محدودیت‌های) پایدار ثابتی طرح بهینه‌سازی چاه قادر است مقادیر تغذیه و تعداد چاه‌های منتخب را ۵۱ درصد کاهش داده و موجب کاهش ۵ درصدی نرخ گردش جریان نسبت به حالت بهینه‌سازی نشده گردد. همچنین اجرای مدل بهینه‌سازی موجب ترمیم افت آبخوان شده و منجر به کاهش ۵۱ درصدی هزینه‌های اجرا و نگهداری پروژه می‌شود.

یادانا و افوری^۳ (۲۰۰۸) آبخوان دشت آفرام^۴ در غنا^۵ را به کمک یک مدل شبیه‌ساز - بهینه‌ساز، شبیه‌سازی کردند. هدف از این کار بیشینه نمودن بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی آبخوان کم‌عمق مذکور برای فعالیت‌های کشاورزی و مصارف خانگی بود. مدل سه‌بعدی جریان از داده‌های هیدروژئولوژیکی به کمک کد Modflow در بسته‌ی نرم‌افزاری GMS ساخته شد تا توزیع بار هیدرولیکی را در کل منطقه محاسبه کند. برای دوره‌ی پایدار مدل به کمک آمار سطح ۱۳ چاه

^۱ . Arlai et all

^۲ . Bangkok

^۳ . Yidana and Ophori

^۴ . Afram

^۵ . Ghana

مشاهده‌ای در سال ۲۰۰۰ واسنجی شد. مدل واسنجی شده جریان با تغییرات هیدروشمیایی آب‌های زیرزمینی در منطقه انطباق داشت و داده‌های مشاهده‌ای را با درجه اطمینان ۹۸ درصد برازش می‌کرد. سپس یک مدل بهینه‌ساز خطی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی طراحی شد تا با نیازهای کشاورزی و خانگی مطابقت داشته باشد. برای مطالعه ۶ دوره‌ی زمانی مدیریتی در نظر گرفته شد. در پایان مشخص گردید که آب زیرزمینی قادر به تأمین متمم نیازهای آبی در بخش آبیاری ذرت در بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ با افت هیدرولیکی کمتر از ۱۰ درصد خواهد بود.

ژو و همکاران^۱ (۲۰۰۹) برای ارزیابی اثرات مدیریتی آبیاری و استفاده از آب‌های زیرزمینی ناحیه هتاو^۲ از تلفیق تکنولوژی GIS با Modflow استفاده کردند. آن‌ها در پژوهش خود پایه و اساس مدل جریان آب زیرزمینی را بر مبنای مدل GIS بنا نهادند. پیش‌پردازش و پس‌پردازش داده‌های مدل را به کمک ابزارهای GIS انجام دادند. داده‌های متغیر در طول زمان در بخش شرایط مرزی در نرم‌افزار اکسل^۳ ویرایش کردند سپس مدل خود را با مجموعه داده‌های جدیدی واسنجی و صحت‌سنجی نمودند. اجرای مدل آن‌ها به‌خوبی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روی دینامیک آب‌های زیرزمینی سیستم مورد مطالعه را نشان داد. آن‌ها طی ۵ سناریوی که به طور متناوب مرتبط با شیوه‌های صرفه‌جویی آب بود پیشنهاد دادند تا دینامیک آب‌های زیرزمینی شبیه‌سازی شود. نتایج آن‌ها نشان داد که با کاربرد شیوه‌های صرفه‌جویی، افت سطح آب زیرزمینی به‌طور قابل توجهی تنزل پیدا می‌کند.

موتسا و همکاران^۴ (۲۰۰۲) در پژوهشی به مطالعه آبخوان دندرون^۵ پرداختند. در این مطالعه با بررسی و مقایسه نمودارهای تغذیه، بارندگی، و تبخیر از سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ به بررسی

۱. Xu et all

۲. Hetao

۳. Excel

۴. Mutsa

۵. Dendron

راهکارهای مختلف مدیریتی پرداخته شده است؛ و مناسب‌ترین راه‌حل در منطقه مورد مطالعه را تغییر نوع کشت به انواعی که آب کمتری نیاز داشته باشند، تغییر نوع پمپ از دیزلی به الکتریکی و زمان‌بندی ارائه داده‌اند.

ویز و جویرتزمان^۱ (۲۰۰۷) به وسیله‌ی بسته‌ی نرم‌افزاری Modflow اقدام به شبیه‌سازی برای تخمین میزان تغذیه آب زیرزمینی از طریق بارندگی در آبخوان کارستی واقع در رشته‌کوه‌های سماریان و جودیان^۲، فلسطین^۳ کردند. آن‌ها از آمار درازمدت ۲۰ تا ۳۰ سال و تخلیه چشمه‌ها برای بازسازی ویژگی‌های غیرثابت تغذیه سالیانه و واسنجی مدل عددی آب زیرزمینی استفاده کردند. آن‌ها در پژوهش خود برای شبیه‌سازی جریان در کانال کارستی از بسته زهکش استفاده کردن؛ همچنین برای واسنجی از مقایسه هیدروگراف چشمه‌های مشاهده‌ای با هیدروگراف چشمه‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل استفاده کردند. در این راستا در هیدروگراف‌ها، خط پایه، قله هیدروگراف و بیلان آبی باهم مقایسه کردند و بهترین برازش با حداقل خطا به دست آوردند. نتیجه این برازش‌ها و واسنجی این امکان را فراهم آورد تا مجموعه‌ای از توابع احتمالی مرتبط با میزان تغذیه آبخوان از طریق بارندگی در سال‌های خشک و تر تهیه شود.

باسیل و همکاران (۲۰۰۹) ، اضافه برداشت آب زیرزمینی را به وسیله‌ی GIS و تأثیر تغذیه مصنوعی بر روی کیفیت آب زیرزمینی به وسیله‌ی مدل عددی Modflow و یک مدل انتقال املاح ام‌تی‌تری‌دی بررسی کردند. غلظت آب زیرزمینی از یون کلرید و سختی کل به‌عنوان یک نتیجه از تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تشکیلات هیدروژئوشیمی آبخوان و کیفیت آب شارژ شده تا حد زیادی کیفیت آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به پیچیدگی آبی-زمین‌شناسی از کل منطقه مورد مطالعه و پمپاژ زیاد از مناطق مرکزی

^۱ . Weiss and Gvirtzman

^۲ . Samarian and Judean

^۳ . Palestine

آبخوان که منجر به رشد افتادگی در مخروطافکنه می‌شود، ضروری است که برنامه تغذیه مصنوعی در برنامه مدیریت آب زیرزمینی شهر جنینگ^۱ گنجانده شود. در بررسی‌های انجام‌شده به این نتایج رسیدند که تغییرات سختی کل به اندازه تغییرات کلر بر کیفیت آب تأثیر نمی‌گذارد و همچنین تأثیر بالای تغییرات سختی کل و کلر در آب شارژ شده به آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه به حضور منابع بزرگ دفع زباله نسبت داده شد که انتقال آلودگی به وسیله تزریق و نفوذ از طریق چاه‌ها زیاد شده است.

یاوتی و همکاران^۲ (۲۰۰۹) مدل سه‌بعدی تفاضل محدود جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت بوی - آرج^۳ واقع در ساحل دریای مدیترانه در شمال شرقی مراکش^۴ را به کمک کد Modflow شبیه‌سازی کردند؛ و به این نتیجه رسیدند که هد هیدرولیکی آبخوان موردنظر وابسته به نفوذ طبیعی بارندگی و آب برگشتی کشاورزی می‌باشند به طوری که با افزایش بارندگی و همچنین افزایش آب برگشتی کشاورزی هد هیدرولیکی در آبخوان موردنظر نیز بیشتر می‌شود.

ناصریم و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی و مدل انتقال محلول شهر مرادآباد که بین رودخانه‌های رامگونگا^۵ و گاگان^۶ قرار گرفته است پرداختند. آن‌ها برای پیش‌بینی و عکس‌العمل آبخوان و انتقال آلاینده (در مطالعه آن‌ها از کلرید استفاده شده است) در طول بازدهی در زمان از نرم‌افزار مادفلو و امتی‌تری‌دی استفاده کردند. آن‌ها در پژوهش خود یک سیستم شبکه ۵۰۰ متر در ۵۰ متر طراحی کردند و پارامترهای ورودی هد هیدرولیکی، ضخامت لایه، تغذیه، پمپاژ و غیره تحت پکیج‌های موجود در نرم‌افزار اعمال گردیدند.

^۱ . Jining

^۲ . Yaouti et all

^۳ . Bou - Areg

^۴ . Morocco

^۵ . Ramgunga

^۶ . Gagan

نرخ‌های پمپاژ ۵۰۰ متر، ۱۰۰۰ متر و ۱۵۰۰ مترمکعب در روز برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. هدایت هیدرولیکی در محدوده ۱۳ تا ۱۸ متر در روز تخصیص یافت. این مدل در شرایط پایدار اجرا شد و تطابق بین هدهای محاسباتی و مشاهداتی حاصل گردید. آنالیز حساسیت با تغییر دادن هدایت هیدرولیکی و پارامترهای تغذیه مدل انجام شد. انتقال آلاینده با در نظر گرفتن کلر به‌عنوان آلاینده ادغام شد. مشاهده شد که غلظت کلرید در شمال، مرکز و جنوب ناحیه مطالعه بالاتر است. داده‌های حاصله از تحلیل کیفی آب، ژوئن ۲۰۱۲ در ابتدا در شبیه‌سازی حالت پایدار مورد استفاده قرار گرفتند؛ پیش‌بینی‌های حاصله از مدل انتقال، نشان می‌دهند که غلظت کلرید در صورت عدم کنترل شرایط فعلی افزایش می‌یابد و این مسئله منجر به تخریب بیشتر کیفیت آب زیرزمینی می‌گردد.

۲-۴- پیشینه تحقیقاتی مدل‌سازی در ایران

مطالعات مدل‌سازی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۸ خورشیدی توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) برای دشت ورامین تهیه گردید (وزارت نیرو ۱۳۸۵). از آن زمان به بعد، تعداد زیادی از آبخوان‌ها در سراسر کشور توسط دانشگاه‌ها در قالب پایان‌نامه‌های دانشجویی و طرح‌های پژوهشی توسط مهندسين مشاور و شرکت‌های آب‌منطقه‌ای شبیه‌سازی گردید. در جهت استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز در مطالعات آبخوان‌ها، در کشور ایران، پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است که در ادامه به مواردی از آن‌ها به اختصار اشاره شده است.

اسدی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به پیش‌بینی شرایط آبخوان اسپکه - چاه‌هاشم به کمک کد Modflow پرداختند؛ آن‌ها در پژوهش خود بعد از ساخت مدل شبیه‌ساز و تأیید صحت آن، اقدام به پیش‌بینی شرایط آینده آبخوان برای یک دوره چهارساله (۹۴-۱۳۹۱) کردند؛ آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بعد از سپری شدن دوره‌ی پیش‌بینی، مخروط افتی در قسمت‌های مرکزی و خروجی آبخوان (بخش شمالی) رخ خواهد داد که تمرکز چاه‌های

بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه را ناشی از این افت دانستند.

- کوچک‌زاده و نصیری‌صالح (۱۳۹۳) جهت تعیین محدوده و نوع مرزهای آبخوان در دشت سیلاخور در استان لرستان و ارزیابی صحت آن‌ها از کد Modflow استفاده کردند. آن‌ها در پژوهش خود، پس از تعیین محدوده و شرایط مرزی آبخوان دشت سیلاخور، بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی و پراکندگی چاه‌های حفرشده در منطقه، صحت عملیات انجام‌شده را با استفاده از مدل ریاضی آبخوان موردبررسی قرار دادند.

- حسینی و اسدی (۱۳۹۴) در پژوهشی به کمک نرم‌افزار GMS و کد Modflow به پیش‌بینی سطح آب در آبخوان دشت خانمیرزا در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند؛ آن‌ها در پژوهش خود بعد از ساخت مدل شبیه‌ساز آبخوان و کالیبره نمودن آن در دو حالت پایدار و ناپایدار و تأیید صحت مدل خود، اقدام به پیش‌بینی تراز سطح آب برای یک دوره سه‌ساله نمودند؛ ایشان در نهایت به این نتیجه رسیدند که در صورتی که با ادامه‌ی روند کنونی آب از آبخوان برداشت شود و همچنین تغییری در میزان تغذیه آبخوان صورت نگیرد؛ افت سطح آب در قسمت‌های شمالی ادامه پیدا کرده و پهنه‌های افت سطح آب در این مناطق گسترده‌تر می‌شوند.

- امیری و شعبانلو (۱۳۹۴) آبخوان دشت روانسر در استان کرمانشاه را با استفاده از مدل Modflow و کد رایانه‌ای ام‌تی‌تری‌دی^۱ شبیه‌سازی کردند. هدف این مطالعه، شبیه‌سازی کمی و کیفی آبخوان دشت روانسر بود؛ آن‌ها پس از ارائه نتایج مدل شبیه‌ساز و تحلیل کیفی نمودارها و گراف‌های حاصل از مدل کیفی، منشأ و عوامل اصلی آلودگی را روی نقشه‌ی دشت مشخص کردند و از مراکز شهری، زمین‌های تحت کشت متناوب و مراکز با جمعیت روستایی متوسط رو بالا به‌عنوان مراکز اصلی آلودگی نام بردند.

- بهرامی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از کد Modflow آبخوان دشت فیروزآباد فارس را

^۱. MT3D

شبیه‌سازی کردند. هدف این شبیه‌سازی تعیین افت سطح ایستابی در دشت موردنظر بود. نتایج حاصل از مدل نشان داد که سطح آب زیرزمینی در طی سال‌های گذشته همواره دارای سیر نزولی بوده، به طوری که از سال ۱۳۷۱ تا سال ۱۳۹۱ حدود ۲۴ متر افت در این دشت رخ داده است و همچنان این افت ادامه خواهد داشت. آن‌ها برای بهبود وضعیت آبخوان و جلوگیری از افت در این دشت چندین راه‌کار مدیریتی پیشنهاد دادند.

- موسوی و همکاران (۱۳۹۵) جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی، زیرزمینی و حداقل‌سازی هزینه‌ها با استفاده از دو نرم‌افزار دلبیوای‌ای پی^۱ و Modflow به منظور شبیه‌سازی، و الگوریتم پی‌اس‌آ^۲ به منظور بهینه‌سازی استفاده کردند؛ آن‌ها با استفاده از مدل شبیه‌ساز خود به این نتیجه رسیدند که رودخانه‌ها توانایی تغذیه آبخوان را دارا می‌باشد و تنها در مواقعی از سال که دبی رودخانه‌ها کاهش می‌یابد و پتانسیل تأمین آب موردنیاز را ندارند مدل به‌ناچار از ذخیره آبخوان، جهت تأمین آب موردنیاز استفاده می‌کند.

- سیدی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به منظور مطالعه آبخوان و ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی، با استفاده از مدل ریاضی، جریان آب زیرزمینی در دشت کامیاران را مورد مطالعه قرار دادند؛ آن‌ها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تراز سطح آب زیرزمینی از سمت شمال به سمت جنوب این دشت کاهش می‌یابد (جهت جریان آب زیرزمینی از شمال به سمت جنوب می‌باشد)؛ آن‌ها همچنین با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مدل شبیه‌ساز خود به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور بیشترین حساسیت را نسبت به هدایت هیدرولیکی و کمترین حساسیت را به سنگ کف نشان می‌دهد.

- امیری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از نرم‌افزار "GMS آبخوان دشت میداود - دالون را باهدف بررسی وضعیت آبخوان تحت اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی، شبیه‌سازی کردند؛ طبق

^۱. WEAP

^۲. PSO

نتایج به دست آمده از مدل، بیلان آبخوان دشت میداود در سال آبی ۹۱ - ۱۳۹۰ به میزان ۳۳۶۴۹۱۵/۹۶۹ مترمکعب در سال به دست آمد؛ در نهایت با اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی واکنش آبخوان به تنش وارد شده بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

امینی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با استفاده از نرم افزار GIS اقدام به ساخت مدل ریاضی و شبیه سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت بابل - بابلسر نمودند. آن‌ها در پژوهش خود از اطلاعات سطح آب برای حالت پایدار یک دوره‌ی یک‌ماهه (مهرماه ۱۳۸۵) و در شرایط ناپایدار یک دوره‌ی ۴ ساله (۹۰-۱۳۸۶) استفاده نمودند و از داده‌ها و اطلاعات یک سال بعد صحت مدل خود را مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت با استفاده از مدل خود اقدام به پیش‌بینی سطح آب طی دو سال بعد (۹۴-۱۳۹۲) نمودند که نتایج نشان از افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان مذکور را می‌داد. آن‌ها همچنین با توجه به نوع کشت منطقه که عموماً برنج بوده، پیشنهاد دادند که با تغییر نوع کشت در بخشی از این دشت اقدام گردد تا افت چشم‌گیری در سطح آب در دشت مذکور تا حدی کمتر شود.

کرد و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزارهایی همچون GIS^۱، اسپاس اس^۲ و دی‌آی‌سی^۳ اقدام به مدل‌سازی نوسان آب‌های زیرزمینی در ارتباط با ژئومورفولوژی دشت دزفول - اندیمشک نمودند. هدف آن‌ها از انجام این پژوهش بررسی عوامل ژئومورفولوژیکی مؤثر بر نوسانات سطح ایستابی در دشت دزفول - اندیمشک بوده است؛ آن‌ها در پژوهش خود از چاه‌های بهره‌برداری به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تخلیه‌کننده آبخوان و از رودخانه‌های جاری در دشت مذکور به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تخلیه‌کننده آبخوان یاد کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان سطح آب پایین در چاه‌های قسمت جنوبی نسبت به چاه‌های قسمت‌ها شمالی این دشت را می‌داد. البته آن‌ها وجود

۱. GIS

۲. SPSS

۳. Dic

برخی از چاه‌های بهره‌برداری با سطح آب پایین، در مناطق شمالی را، به علت نزدیک‌تر بودن آن‌ها نسبت به خط گسل عنوان کردند.

سرخیل و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از نرم افزار GMS به مدل‌سازی بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت شهریار پرداختند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی وضعیت منابع آب- زیرزمینی، میزان آب قابل استخراج و تهیه مناسب‌ترین برنامه بهره‌برداری از آن در آبخوان شهریار بوده است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بهره‌برداری برای جبران کسری آبخوان کاهش ۱۰ درصد از میزان تخلیه کلیه چاه‌های بهره‌برداری است. با کاهش ۱۰ درصد از حجم برداشت سالانه چاه‌های بهره‌برداری می‌توان حدود ۲۷ میلیون مترمکعب آب ذخیره کرد و کسری آبخوان کاملاً بر طرف می‌گردد. بر این اساس آن‌ها عنوان کردند که بهترین سناریو برای جبران کسری مخزن همان کاهش ۱۰ درصد از میزان تخلیه چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

سان‌احمدی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از کد کامپیوتری Modflow اقدام به مدل‌سازی کمی و کیفی آبخوان دشت روانسر بابل نمودند. هدف آن‌ها از این شبیه‌سازی، مناسب بودن یا نبودن مقدار برداشت از آبخوان بود که نتایج مدل‌سازی آن‌ها نشان از افت سطح آب زیرزمینی را می‌داد. آن‌ها با استفاده از نتایج بیلان که مقدار تغذیه آبخوان را $۱۷۴/۸$ میلیون مترمکعب و مقدار تخلیه آبخوان را $۱۸۰/۵$ میلیون مترمکعب برآورد کرده بودند میزان $۵/۷$ - میلیون مترمکعب کمبود آب داشتند که این مقدار از ذخیره آبخوان برداشت می‌شد. آن‌ها بر اساس این نتایج آبخوان مذکور را، آبخوانی در خطر معرض شدید افت سطح آب معرفی نمودند.

اکبری و همکاران (۱۳۹۶) به کمک کد Modflow اقدام به پیش‌بینی سطح آب در آبخوان دشت ایرانشهر در استان سیستان و بلوچستان نمودند. آن‌ها در پژوهش خود از اطلاعات و داده‌های مربوط به سطح آب برای دی‌ماه ۱۳۸۹، برای مدل‌سازی در حالت پایدار و از اطلاعات و داده‌های مربوط به بهمن ۱۳۸۹ تا بهمن ۱۳۹۰ برای مدل‌سازی حالت ناپایدار استفاده نمودند؛ آن‌ها همچنین صحت مدل خود را با استفاده از داده‌های اسفند ۱۳۹۰ تا بهمن ۱۳۹۱ مورد ارزیابی

قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان از صحت مدل واسنجی شده را می‌داد. آن‌ها بعد از تأیید صحت مدل خود اقدام به پیش‌بینی سطح آب برای یک دوره‌ی یک‌ساله (دی‌ماه ۱۳۹۷ تا آذرماه ۱۳۹۸) نمودند.

لاله زاری و کراچیان (۱۳۹۶) به مدل‌سازی کمی و کیفی جریان آب زیرزمینی در آبخوان شهر کرد با استفاده از کدهای Modflow و MT3D پرداختند. نتایج حاصل از این مدل‌سازی نشان داد که ضریب هدایت هیدرولیکی از ۶ تا ۱۶ متر در روز و آبدهی ویژه از ۰/۰۳ تا ۰/۰۷ متغیر است. نتایج مدل‌سازی کیفی نشان داد که ذرات آلاینده در جنوب دشت در جایی که به چاه‌های فاغلاب شهری نزدیک است قرار دارد.

۲-۵- پیشینه تحقیقاتی دشت میامی

سابقه مطالعاتی منطقه به سالیان گذشته بر می‌گردد؛ زمانی که در سال ۱۳۵۰ توسط اکیپ مطالعاتی آب‌های زیرزمین به سرپرستی آقای خلیل میر لواسانی شناسایی و سپس به استناد آن گزارش مطالعات نیمه تفصیلی دشت مرجان به سرپرستی آقای اسفندیار اصلاح پذیر منتشر گردید. لازم بذکر است محدوده مطالعاتی میامی شامل سه دشت میامی جنوبی، میامی شمالی، مزج و جیلان می‌باشد. که دشت میامی جنوبی مهمترین آنها از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی می‌باشد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان، ۱۳۹۶)؛ همچنین در ادامه به بیان پیشینه‌ای مطالعات انجام گرفته در منطقه مورد نظر پرداخته شده است.

عباسی و کرمی (۱۳۸۸) در پژوهشی به بررسی اثرهای واحدهای سنگی بر کیفیت آب در قنات‌های دشت میامی پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود به منظور بررسی تغییرات زمانی هدایت الکتریکی قنات‌های دشت میامی، از مهرماه ۱۳۸۷ تا اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۸ مقدار هدایت الکتریکی را برای ۵ قنات از این منطقه، در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری و ثبت کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که روند تغییرات هدایت الکتریکی در ماه‌های مختلف، متغیر و بیشتر تحت تأثیر بارش منطقه

بوده است به طوری که با افزایش بارندگی، هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد.

عباسی و کرمی (۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی خصوصیات کمی و کیفی قنات‌های دشت میامی پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود ۵ رشته قنات موجود در دشت میامی را انتخاب و طی یک دوره‌ی یک‌ساله مورد ارزیابی قرار دادند؛ آن‌ها در این پژوهش هدایت الکتریکی را در محل نمونه‌برداری برداشت و ثبت کردند و میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در آزمایشگاه اندازه‌گیری نمودند. نتایج به‌دست‌آمده آن‌ها نشان داد که مقادیر هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر لیتولوژی سازندها و رسوبات موجود در منطقه است؛ آن‌ها همچنین تغییرات دبی قنات‌های مختلف را تابعی از خصوصیات حوزه‌ی آبرگیر و ساختمان قنات معرفی نمودند.

یگانه و همکاران (۱۳۹۰-الف) در پژوهشی به بررسی غلظت عناصر سنگین در رسوبات آبراهه‌ای دشت میامی پرداختند آن‌ها در پژوهش خود غلظت عناصری همچون Cr, Cu, Fe, Zn, V, pb, Mn, Cd, Ni و Co را در رسوبات آبراهه‌ای دشت میامی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود از ۱۴ آبراهه اصلی دشت نمونه‌برداری کردند که نتایج حاصل از فاکتور غنی‌شدگی نمونه‌های آن‌ها نشان از Mn و Cu بدون غنی‌شدگی، Cd غنی‌شدگی بی‌نهایت و سایر عناصر غنی‌شدگی متوسط دارند. آن‌ها همچنین با استفاده از نتایج اندیس انباشتگی نمونه‌های خود، ادعا نمودند که عنصر Mn شدیداً آلوده، عناصر Ni, Cd, pb و Cr کمی آلوده و عناصر Co, Zn, Cu, Fe و V غیر آلوده می‌باشد.

یگانه و همکاران (۱۳۹۰-ب) در پژوهشی به بررسی میزان فلئوئور در منابع آب شرب دشت میامی پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود از ۱۱ حلقه چاه بهره‌برداری و ۴ رشته قنات موجود در این دشت نمونه‌برداری کردند و آنالیزهای مربوط به فلئوئور بر روی تمامی نمونه‌ها انجام دادند. آن‌ها در نهایت با توجه به میزان استاندارد فلئوئور ثبت‌شده برای آب آشامیدنی (۱/۵ پی‌پی‌ام) در موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ادعا کردند که غلظت بالاتر از حد مجاز در آبخوان دشت

میامی وجود ندارد بلکه غلظت فلئور کمتر از حد مجاز نیز می‌باشد و باید مدیران مربوطه به دنبال منبعی برای تأمین فلئور موردنیاز بدن افراد باشند؛ آن‌ها به‌منظور کمبود این میزان فلئور فلوریداسیون آب را به‌عنوان یک راهکار پیشنهاد دادند.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت میامی پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود ۴۵ نمونه، از مکان‌های مختلف این دشت برداشت و این نمونه‌ها را به روش ICP-MS کردند. و میزان آلودگی این نمونه‌ها را به فلزات سنگینی همچون Fe, Cr, Zn, Ni و Mo بررسی کردند. آن‌ها همچنین Ec و pH نمونه‌ها را در محل نمونه‌برداری برداشت و ثبت کردند؛ بعد از انجام آنالیز بر روی نمونه‌های خود، از استاندارد سازمان بهداشت جهانی^۱ و استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای سنجش کیفیت نمونه‌های شرب و کشاورزی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشانگر Ec بالاتر از حد مجاز شرب، در تمامی نمونه‌ها، به‌جز یک نمونه که متعلق به محمودآباد میامی، بود. همچنین نتایج حاصل از pH، به‌جز در یک نمونه که با مقدار ۲۵/۹ ms مقدار بسیار بیشتر از استاندارد کشاورزی را نشان می‌داد در بقیه نمونه‌ها بیانگر مقدار پایین و کمتر از حد مجاز کشاورزی بود. آن‌ها همچنین پیشنهاد نمودند که به دلیل وجود غلظت بالای املاح و عناصری همچون آهن، در بسیاری از منابع شرب حوزه‌ی آبریز دشت میامی، انجام مطالعات گسترده‌تر جهت دسترسی به منابع آب باکیفیت‌تر می‌تواند مفید واقع شود.

۱. WHO

فصل سوم

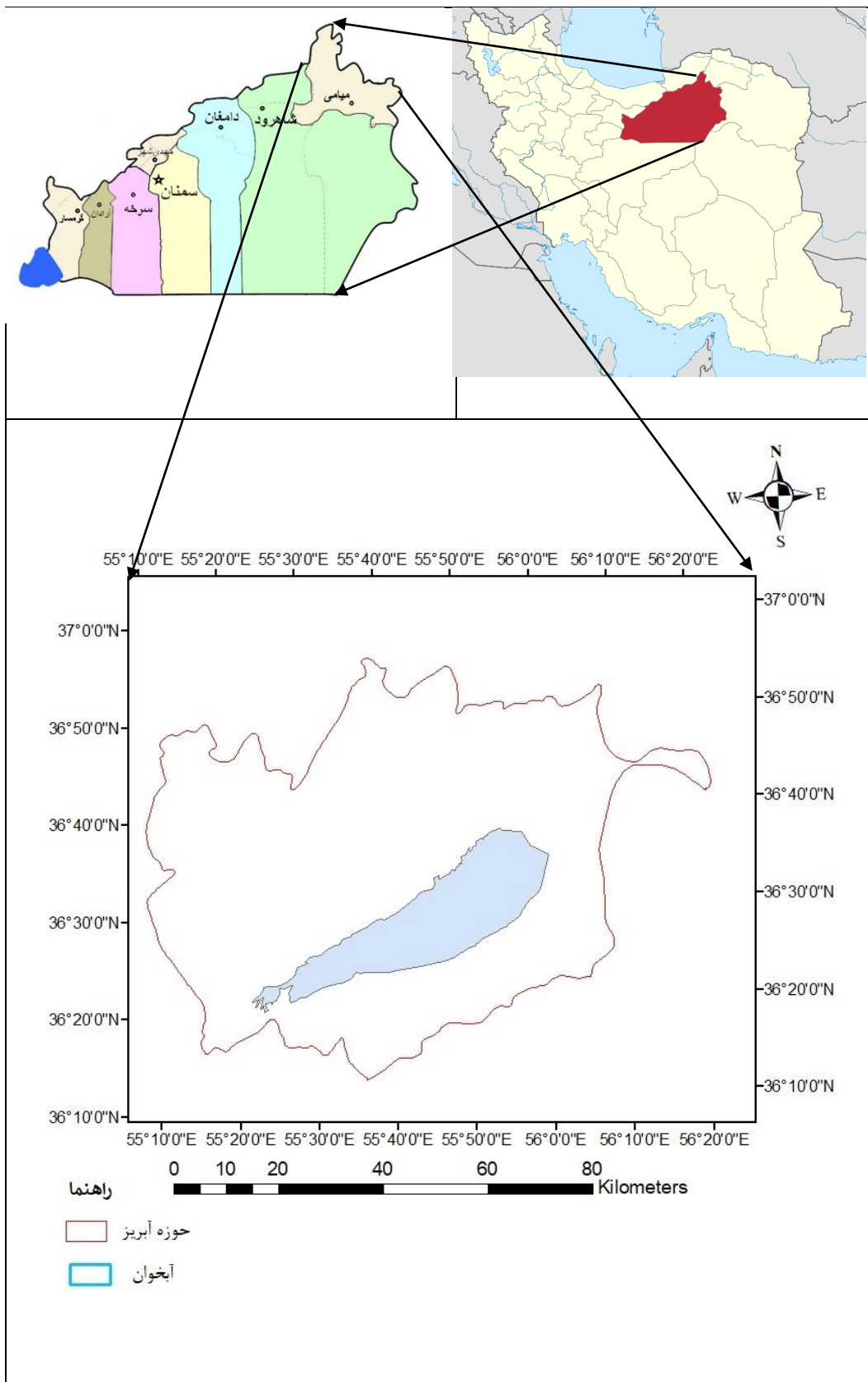
مواد و روش‌ها

در این فصل که با نام مواد و روش‌ها ارائه شده است؛ در ابتدا نگاهی اجمالی به منطقه مورد مطالعه از لحاظ جغرافیایی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی داشته سپس مدل جریان آب زیرزمینی معرفی و انواع آن به طور مختصر بیان گردیده است. در ادامه مدل‌های ریاضی جریان آب زیرزمینی به صورت مفصل‌تر، تشریح شده‌اند. آنگاه کد کامپیوتری GMS که در این پژوهش از آن به منظور شبیه‌سازی آبخوان منطقه مورد مطالعه استفاده شده معرفی گردیده است و در آخر نیز به بررسی پروتکل مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و مراحل مختلف مدل‌سازی ریاضی دشت میامی پرداخته شده است.

۳-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی میامی شامل دشت‌های مزج و جیلان، میامی شمالی و میامی جنوبی بوده است؛ این منطقه یکی شهرستان‌های استان سمنان می‌باشد؛ این شهرستان در ۶۵ کیلومتری شرق شهرستان شاهرود، در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه واقع شده است؛ ارتفاع متوسط محدوده ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا بوده و مساحت آن ۵۰۷۷ کیلومتر مربع اندازه‌گیری شده که ۳۴۳۴ کیلومتر مربع آن را دشت و اراضی هموار و مابقی کوهستان‌های کم‌وبیش مرتفع تشکیل داده که این ارتفاعات به صورت نواری، حاشیه محدوده را محصور نموده است؛ منطقه مذکور به دلیل گسترش اراضی کشاورزی در آن، یکی از مهم‌ترین حوزه‌های آبریز استان سمنان محسوب می‌شود. جاده اصلی و نیز راه‌آهن تهران - مشهد مسیری به طول حدود ۱۰۰ کیلومتر را در طول این محدوده از غرب به شرق طی می‌نماید. میامی و کلاته خیج نقاط شهری واقع در این محدوده بوده و از روستاهای آن می‌توان به ارمیان، ابراهیم‌آباد، زیدر، ری‌آباد، کردآباد، مزج و جیلان اشاره کرد. مرز شمالی آن به رشته‌کوه‌های کم‌وبیش مرتفع البرز محدود می‌شود. خط

الراس این ارتفاعات منطبق بر مرز اصلی حوزه آبریز دریای خزر و مرکز ایران بوده و از مهم‌ترین ارتفاعات آن‌ها می‌توان به کوه قلندر سر با ارتفاع ۲۱۵۹ متر و سوخته کوه و کوه‌النگ با ارتفاع ۲۹۸۰ متر در ضلع شمال غربی اشاره نمود. کوه زرین‌کمر و سیاه کوه در حد غربی و کوه قبله با ارتفاع ۲۶۹۲ متر و کوه میامی در جنوب محدوده قرار گرفته‌اند. شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۳-۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

در گستره نقشه زمین‌شناسی حوزه میامی (شکل ۳-۲) دو پهنه بینالود (البرز خاور) و ایران مرکزی هر دو وجود دارند. بخش شمالی نقشه در پهنه زمین‌شناسی ساختمانی بینالود و بخش جنوبی آن در محدوده پهنه زمین‌شناسی ساختمانی ایران مرکزی جای می‌گیرد (آقانباتی، ۱۳۹۲).

پادگانه‌های جوان و مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و آبرفت‌های جوان در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت گسترش دارند. به‌طور کلی عناصر اصلی ساختاری ناحیه، شامل شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های وابسته به گسلش‌اند. بر پایه مطالعات صحرایی، الگوی جابجایی منطقه از نوع برشی، فشارشی است و به همین دلیل گسل‌های اصلی منطقه در بیشتر موارد هر دو مؤلفه جابجایی افقی و قائم را دارا هستند. روند ساخت‌های منطقه شمال خاوری- جنوب باختری است و به تقریباً از روند البرز خاوری پیروی می‌کند. در این منطقه چین‌خوردگی‌های فراوان به‌صورت تاقدیس و ناودیس (که در موارد پلانژ نیز دارند) دیده می‌شود که اندازه‌ی زاویه محور آن‌ها با گسل میامی به‌سوی شمال کم می‌شود و به موازات نزدیک شدن به این گسل، تمایل موازی واضح‌تر می‌شود. چین‌خوردگی‌های محلی فراوانی نیز در منطقه دیده می‌شوند که محور آن‌ها زاویه کمی با گسل‌ها منطقه می‌سازد.

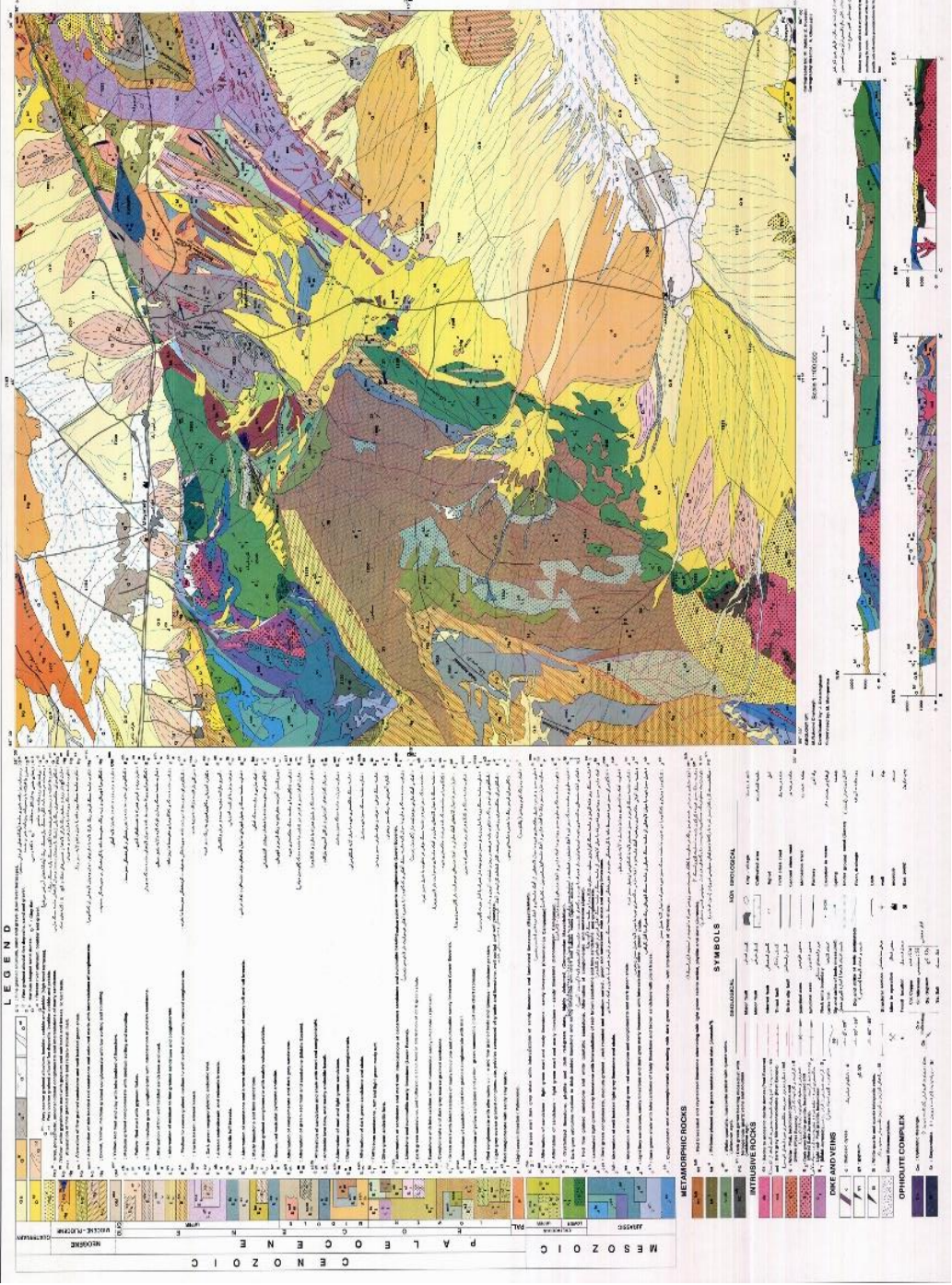
گسل میامی با طول گسلش ۱۵۰ کیلومتر، پس از بریدن واحدهای سنگی از عرض منطقه مورد مطالعه گذر می‌کند. گسل میامی یک شکستگی واحد نیست و در حقیقت یک زون گسله (متشکل از چند گسل به موازات یکدیگر) است. روند کلی گسل میامی N75E است و شیب صفحه گسله میامی متغیر و در سطح زمین نزدیک به ۷۵ تا ۸۵ درجه به سمت جنوب است. این گسله دارا مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد و مؤلفه شیب‌لغز از نوع معکوس یا راندگی است که در مجموع می‌توان آن‌ها از نوع گسل‌های اریبلغز معرفی کرد. جابجایی شیب‌لغز این گسل موجب بیرون‌زدگی بقایای افیولیتی در اطراف آن شده است. گسل‌های سکون و شیرمار با روند شمال

خاوری - جنوب باختری به موازات گسل میامی هستند و یا زاویه‌ای کوچک با آن می‌سازند و دارای سازوکار و جابجایی مشابه آن هستند (درویش‌زاده، ۱۳۸۹).

افزون بر گسل‌ها، شکستگی‌های بی‌شماری نیز در منطقه یافت می‌شوند که امکان تعیین جابجایی و روند حرکتی در آن‌ها شدنی نیست و یا در اصل در پیکر شکستگی‌های مطرح‌اند و مقدار جابجایی در وسط آن‌ها در مقیاس نقشه آن‌چنان حائز اهمیت نیست. شیب گسل‌های تراستی با نزدیک شدن به لبه‌ی جنوبی زون کپه داغ، روند فزاینده دارد و همین‌طور باعث پیدایش سرچینه‌ای شده است. با محورهای کم‌ویش موازی و هم‌راستا، همراه با شیب محورهایی که بیشترشان به سوی شمال تا شمال باختر کج شده‌اند و در بعضی مناطق باعث پیدایش چین‌های خوابیده و برگشتی شده‌اند (چین‌های وابسته به گسلش). با نگاهی به هیدروژئولوژی سازندهای سخت و آبرفت‌ها بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی و ویژگی‌ها آب‌شناختی این واحدها که در نقشه هیدروژئولوژی اطلس منابع آب کشور منتشر شده است می‌توان دریافت که بخش اعظمی از این واحدها فاقد ارزش آبی بوده و از واحدهای آبخوانه ساز می‌توان به دشت‌های میامی جنوبی میامی شمالی - مزج و جیلان اشاره نمود. سازندها آهکی کوه‌های میامی به‌عنوان مهم‌ترین آبخوان آهکی منطقه می‌باشند.

مپانی METAMEY

GEOLOGICAL MAP OF METAMEY DISTRICT



LEGEND

MESOZOIC	PALAEOGENE	QUATERNARY
<p>CRETACEOUS</p> <p>1. Upper Cretaceous (Reddish-brown)</p> <p>2. Lower Cretaceous (Yellowish-brown)</p>	<p>Eocene</p> <p>3. Upper Eocene (Greenish-brown)</p> <p>4. Lower Eocene (Brownish)</p>	<p>PLIO-QUATERNARY</p> <p>5. Alluvium (Light brown)</p> <p>6. Sandstone (Yellowish)</p> <p>7. Clay (Dark brown)</p>
<p>INTRUSIVE ROCKS</p> <p>8. Granite (Pinkish)</p> <p>9. Diorite (Greyish)</p> <p>10. Gabbro (Dark grey)</p>	<p>SEDIMENTARY ROCKS</p> <p>11. Sandstone (Yellowish)</p> <p>12. Shale (Dark grey)</p> <p>13. Limestone (Light grey)</p>	<p>HYDROLOGICAL FEATURES</p> <p>14. River (Blue)</p> <p>15. Stream (Light blue)</p> <p>16. Well (Black dot)</p>
<p>DIKE AND VEINS</p> <p>17. Diabase (Dark grey)</p> <p>18. Vein (Black)</p>	<p>OPHIOLITE COMPLEX</p> <p>19. Amphibolite (Dark green)</p> <p>20. Gabbro (Dark grey)</p>	<p>SYMBOLS</p> <p>21. Town (Black square)</p> <p>22. Village (Black dot)</p> <p>23. Road (Black line)</p>

۱- مپانہ جغرافیائی و زمین شناسی
 ۲- مپانہ زمین شناسی
 ۳- مپانہ زمین شناسی

۱- مپانہ جغرافیائی و زمین شناسی
 ۲- مپانہ زمین شناسی
 ۳- مپانہ زمین شناسی



شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مپانی (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۷)

۳-۳-۱- هیدرولوژی و اقلیم منطقه

مرز محدوده مطالعاتی میامی بر حد حوزه آبریز کال شور میامی در محل خروجی حوزه (تلاقی این کال با کال خارتوران) در انتهای شرقی حوزه منطبق می‌باشد. کال میامی زهکش اصلی جریانات سطحی و زیرزمینی محدوده فوق بوده که با توجه به وسعت حوزه آبریز، دارای شیب آرامی باشد. حوزه‌های آبریز متعددی از حاشیه به کال اصلی می‌پیوندند که از جمله آن‌ها، در حد جنوبی می‌توان به حوزه‌های ارمیان به وسعت حدود یک صد کیلومتر مربع که میانگین آورد سالانه آن حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است اشاره کرد.

رودخانه زیدر با حوزه آبریز حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع و مسیل‌ها فرعی دیگر که از ارتفاعات جنوبی سرچشمه می‌گیرند شامل، وزدر، محمدآباد، کلاته اسد و مسیل‌های فرعی دیگر که پس از گذر از دشت میامی جنوبی در جهت شرق به کال میامی ختم می‌شوند. در مرز شمالی و غرب حوزه رودخانه زرین کمر پس از گذر از روستاهای خیج و مزج و جبلان در جهت جنوب شرق به کال می‌پیوندد. به دلیل پراکندگی حوزه‌های نوعی و شیب کم و بارش کم حوزه اغلب جریانات به صورت فصلی و سیلابی بوده و در مجموع پتانسیل آب سطحی حوزه ضعیف می‌باشد. به طوری که هیچ رودخانه دائمی که دارای پایاب باشد در حوزه وجود ندارد، به همین دلیل هیچ ایستگاه هیدرومتری در این محدوده دایر نشده است.

محدوده مطالعاتی میامی از نظر اقلیمی دارای شرایط آب و هوایی متفاوتی است. بخش‌های وسیعی از مناطق مرکز و جنوبی آن گرم و خشک و بخش‌هایی از شمال آن سرد و خشک می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی تعداد دو ایستگاه باران‌سنجی معمولی در کلاته خیج و ابراهیم‌آباد میامی و نیز یک ایستگاه تبخیرسنجی در حسین‌آباد میامی از سالیان پیش احداث شده است که به طور مستمر اطلاعات هواشناسی منطقه اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس نتایج مطالعات هواشناسی در محدوده مطالعاتی که با استفاده از آمار دو ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه تبخیرسنجی متعلق به وزارت نیرو و سه ایستگاه باران‌سنجی و

اقلیم‌شناسی متعلق به سازمان هواشناسی واقع در محدوده مطالعاتی میانگین دمای محدوده ۱۳/۷ درجه سلسیوس، میانگین بارش ۳۰ ساله ۱۹۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر و تعریق پتانسیل ۱۵۰۰ میلی‌متر محاسبه شده است.

۳-۳-۲- هیدروژئولوژی

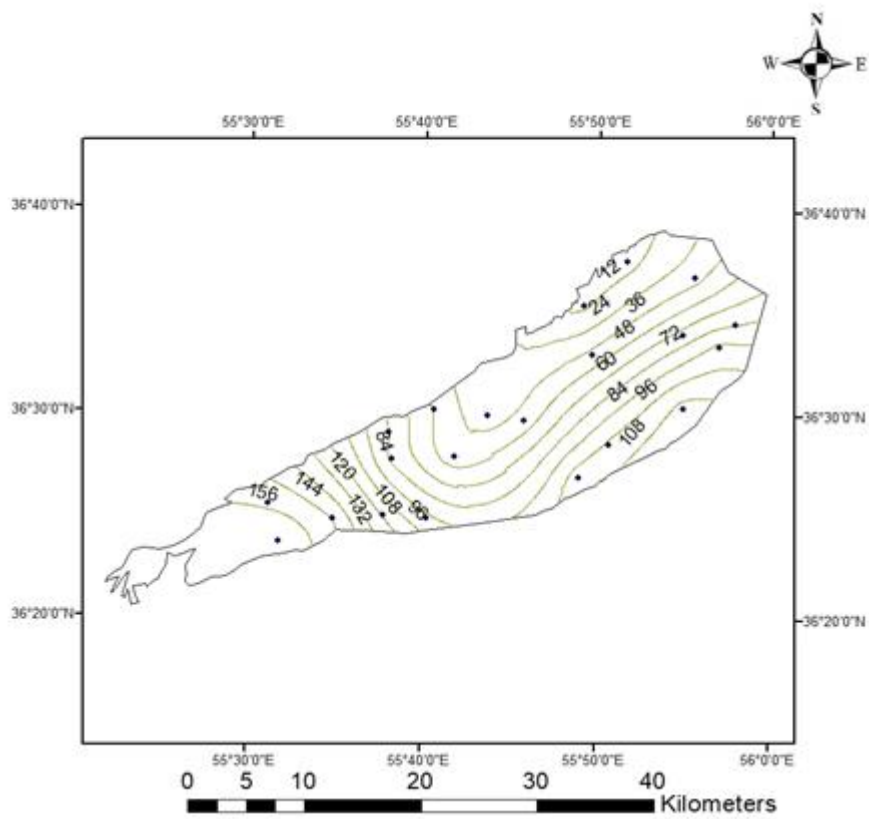
تغذیه آبخوان دشت میامی به‌طور عمده از جنوب، از سمت کوه آهکی و کارستیک قبله در جنوب شهر میامی و به‌طور کلی کوه‌های کربناته کرتاسه فوقانی می‌باشد که با زمینه‌ای هموار دشت ارتباطی گسله دارند و در پای آن‌ها ضخامت زیادی از رسوبات آبرفتی با خصوصیات هیدروژئولوژیکی قابل قبول نهشته شده است. گسل میامی در محل کنتاکت این تشکیلات با آبرفت‌های کواترنر نقش بسیار مهمی در ایجاد شکستگی، خلل و فرج و کارست‌های بزرگ دارد که سبب پیدایش چشمه‌های پر آبی در این ناحیه شده است. ، دومین منبع تغذیه دشت، احتمالاً در شمال شرقی دشت میامی و از ناحیه ارتفاعات کربناته ژوراسیک (سازندها لار و دلیچای) که به‌شدت گسل خورده‌اند، می‌باشد. البته در منطقه مذکور پیزومتری حفر نشده و اطلاعاتی در دست نیست ولی به نظر می‌رسد به علت بالا بودن سنگ کف میوسن در نزدیکی این تشکیلات، آبخوان مجال گسترش قابل توجهی نداشته باشد ولی آب سرریز شده از این سازندها به آبرفت‌های مجاور، به علت کربناته بودن و گسله بودن این تشکیلات قابلیت بررسی بیشتر دارد. عملکرد گسل میامی در آبرفت ناحیه جنوب دشت میامی باعث ایجاد حوزه نسبتاً عمیقی در حاشیه جنوبی دشت شده است که حداکثر عمق آن تا ۳۰۰ متر برآورد می‌شود؛ در این آبرفت ضخامت سفره آبی حدود ۱۵۰ متر است که مهم‌ترین بخش سفره آبی دشت میامی است. اکثر چاه‌ها عمیق منطقه در این محدوده حفر شده و بهره‌برداری می‌شود. آبرفت قسمت غرب و شمال غربی دشت میامی دارای سفره آبی مناسبی نیست. از این آبرفت تغذیه مناسبی به سفره آب زیرزمینی صورت نمی‌گیرد. در آبرفت قسمت شمالی دشت میامی سفره آب مناسبی ایجاد نشده است و در

حد سفره آبی سطحی محدود می‌گردد. به همین دلیل در این محدوده چاه‌ها نیمه عمیق و قنوات با دبی محدود وجود دارند و مهم‌ترین منبع تأمین آب زراعی و شرب اهالی روستاها است. بافت آبرفت قسمت مرکزی دشت و حواشی آن دانه‌ریز و در وسط حاوی ماسه‌بادی و بلورهای سوزنی ژیپس و نمک و شوره می‌باشد.

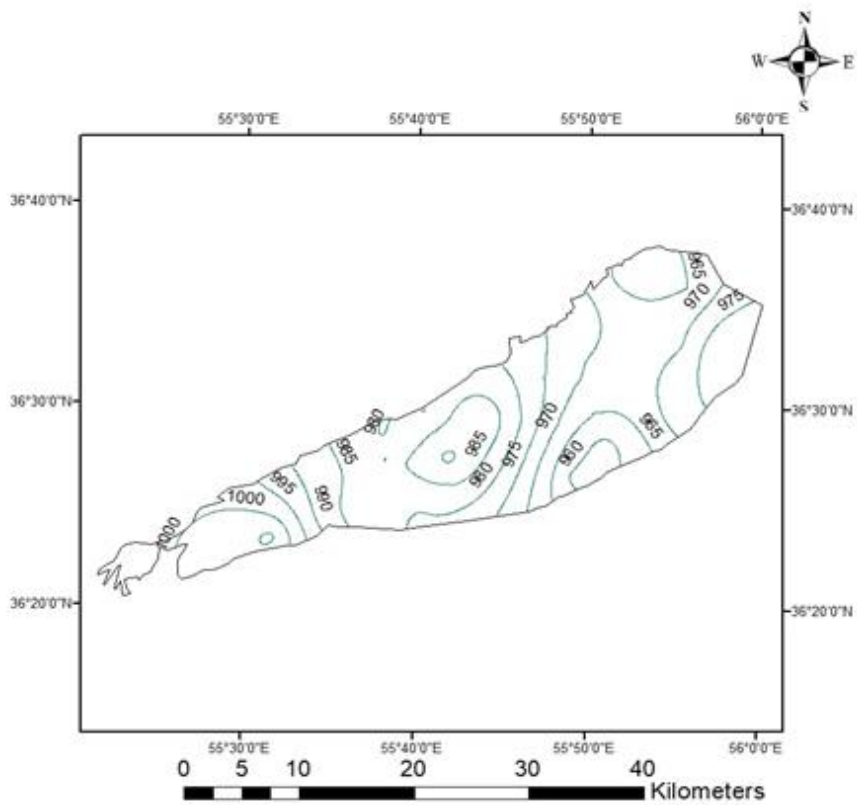
۳-۳-۱- منحنی‌های هم عمق و هم تراز سطح آب

نقشه منحنی‌های هم عمق و هم تراز سطح آب زیرزمینی دشت با توجه به عمق و ارتفاع سطح مطلق تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای منطقه و به کمک نرم‌افزار "GIS" ترسیم گردید (شکل ۳-۳) و (۳-۴). این انتخاب به‌گونه‌ای صورت گرفته که در این دوره زمانی، سفره آب زیرزمینی کمترین نوسان را داشته و به عبارتی سفره حالت تعادل نسبی داشته باشد. در انتخاب ماه پایدار، مجموعه‌ای از دیگر فاکتورها مدنظر قرار داشته که به شرح زیر می‌باشند:

۱. ماه موردنظر، حداکثر مقدار داده و آمار را داشته باشد،
۲. بین دو فصل تر و خشک قرار گرفته باشد،
۳. حتی‌الامکان به سال آماربرداری جامع از منابع آب زیرزمینی نزدیک باشد.



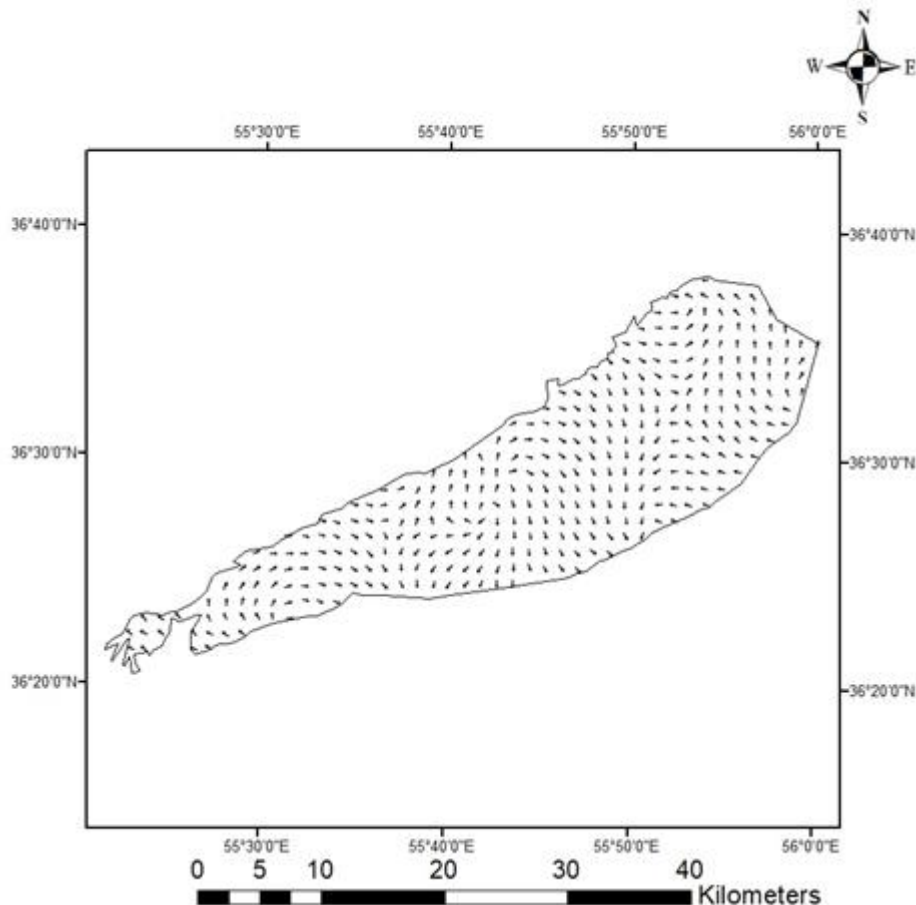
شکل ۳-۳: نقشه هم عمق آبخوان دشت میامی جنوبی در شهریورماه ۱۳۸۶



شکل ۳-۴: نقشه تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت میامی جنوبی در شهریورماه ۱۳۸۶

۳-۲-۲- جهت جریان آب زیرزمینی

به طور کلی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی از جنوب غربی به سمت شمال شرقی می باشد ولی در اثر پمپاژهای بیش از حد ناشی از تمرکز بالای چاه های بهره برداری در مرکز دشت رژیم عمومی جریان آب زیرزمینی تغییر پیدا کرده و به سمت این مناطق متمرکز شده است (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵: جهت جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت میامی جنوبی (ترسیم بر اساس داده های سطح آب چاه های مشاهده ای دشت میامی جنوبی در شهریورماه ۱۳۸۶)

۳-۳-۲- پروتکل مدل سازی

مراحل ساخت یک مدل به شرح زیر می باشد:

- ۱- تعیین هدف مدل سازی: بر اساس هدف و انتظاری که از مدل سازی وجود دارد؛ مدل ها به چهار دسته، مدل های شناسایی، پیش بینی کننده، مدیریتی و مدل های آموزشی به شرح زیر

تقسیم می‌شوند.

الف) مدل‌های شناسایی: این مدل‌ها عموماً برای تجزیه و تحلیل و تخمین مقادیر پارامترها و تعریف شرایط مرزی استفاده می‌شوند. چنین تجزیه و تحلیل‌هایی در مواردی که اطلاعات اندک و یا غیرمطمئن باشند، مناسب هستند.

ب) مدل‌های پیش‌بینی کننده: این مدل‌ها به منظور بررسی پاسخ سامانه آب زیرزمینی نسبت به تغییرات بار هیدرولیکی، تنش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و غلظت آلاینده‌ها به کار گرفته می‌شوند. مسائل سامانه جریان آب زیرزمینی که با کمک چنین مدل‌هایی تجزیه و تحلیل می‌شود؛ شامل مواردی همچون افت درازمدت در مجاورت یک چاه پمپاژ، افت درازمدت ناحیه‌ای در آبخوان، افت کوتاه‌مدت در نزدیکی چاه پمپاژ، افت کوتاه‌مدت در آبخوان، مقدار تأثیر چاه پمپاژ و تأثیر متقابل آبخوان و قنات بر یکدیگر می‌باشد.

ج) مدل‌های مدیریتی: مدل‌های مذکور که ترکیبی از شبیه‌سازی عددی می‌باشند اخیراً توسعه یافته‌اند و شامل مراحل برنامه‌ریزی، اجرا و تدابیر کنترلی مربوط به اکتشاف، توسعه و استخراج منابع آب می‌باشد.

د) مدل‌های آموزشی: این‌گونه مدل‌ها بیشتر جنبه آموزشی داشته و معمولاً برای پیش‌بینی و مدیریت آبخوان از آن‌ها استفاده‌ای نمی‌شود.

۲- توسعه مدل مفهومی^۱: معمولاً پس از تعیین اهداف مدل‌سازی دومین گام در فرآیند مدل‌سازی و در حقیقت مهم‌ترین مرحله در مطالعات مدل تهیه یک مدل مفهومی می‌باشد. یکی از عواملی که باعث می‌شود در پیش‌بینی‌های مدل دقت لازم وجود نداشته باشد؛ اشتباهات و نواقص موجود در مدل مفهومی است. مدل مفهومی، پایه مدل ریاضی است و خود بر پایه اطلاعات اولیه داده‌های صحرایی و تعبیر و تفسیرهای هیدروژئولوژیکی استوار می‌باشد.

^۱. Conceptual Model

۳- انتخاب معادلات حاکم و کد رایانه‌ای: این معادلات، رفتار کمی یا کیفی آبخوان مورد نظر را در قالب عبارات ریاضی توصیف می‌نمایند؛ این معادلات، مبتنی بر قوانینی، همچون قانون داری و معادلات پیوستگی هستند. کد رایانه‌ای در واقع یک برنامه رایانه‌ای است که شامل الگوریتمی برای حل مدل ریاضی به روش عددی است. در واقع در این گام از مدل‌سازی، محقق به این نتیجه می‌رسد که از چه کدی برای حل عددی مدل استفاده کند.

۴- طراحی مدل: پس از انتخاب کد رایانه‌ای، مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار طراحی می‌شود. طراحی مدل برای شرایط پایدار مربوط به زمانی است که کم‌ترین نوسانات سطح آب در هیدروگراف دشت وجود داشته باشد و در حالت ناپایدار انتخاب دوره‌های تنش، اندازه سلول‌های شبکه و گام‌های زمانی با توجه به اطلاعات موجود تعیین خواهد شد.

۵- کالیبره کردن مدل (واسنجی): در این مرحله، پژوهشگر مقادیر ورودی به مدل را تا زمانی که بار هیدرولیکی محاسبه شده با بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده مطابقت پیدا کند؛ تغییر می‌دهد. در واقع در این مرحله، مدل به صورت معکوس به کار گرفته می‌شود. واسنجی مدل به دو شیوه امکان‌پذیر است؛ واسنجی یا به روش سعی و خطا و یا به روش خودکار توسط نرم‌افزارهای مربوطه (یکی از نرم‌افزارهای مربوط به واسنجی خودکار نرم‌افزار پست^۱ می‌باشد) انجام می‌شود. از معایب واسنجی به روش سعی و خطا وقت‌گیر بودن آن است؛ ولی از مزایای آن این است که اگر توأم با تطبیق با واقعیت باشد؛ آنگاه اطمینان به پارامترهای واسنجی شده از درصد بالایی برخوردار خواهد بود. اولین مرحله در واسنجی مدل تعیین مقدار واسنجی می‌باشد؛ این مقدار عبارت است از مقدار مشاهده شده که می‌تواند بار هیدرولیکی جریان و یا بیلان آب زیرزمینی باشد. مهم‌ترین و ساده‌ترین نوع مقدار واسنجی، تراز سطح آب زیرزمینی است؛ چون اندازه‌گیری آن ساده‌تر بوده و با خطای کمتری همراه است و نیز واسنجی آن راحت‌تر می‌باشد. دومین مرحله در واسنجی مدل، تعیین اهداف واسنجی است که شامل نوع مقدار واسنجی و خطای مربوط به

^۱. PEST

آن می‌باشد. خطای واسنجی یا معیار خطا بستگی به نوع مقدار واسنجی دارد به طوری که اگر بار هیدرولیکی به عنوان مقدار واسنجی انتخاب شود؛ خطای آن در حد چند متر و کمتر از آن منظور می‌شود؛ ولی اگر بیلان آب به عنوان مقدار واسنجی انتخاب شود؛ خطای آن باید در حد کمتر از یک یا چند میلیون متر مکعب در سال باشد. در پایان مرحله واسنجی سامانه تحت بررسی دارای مدلی خواهد بود که تمام پارامترهای آن به خوبی تعریف شده‌اند و اکنون می‌توان با اطمینان از آن برای پیش‌بینی رفتار آبخوان در آینده استفاده نمود؛ البته با توجه به فرض‌های گوناگونی که برای ساختن مدل یک منطقه در نظر گرفته می‌شود نباید انتظار داشت که نتایج مدل واسنجی شده همواره با واقعیت مطابقت داشته باشد.

۶- تحلیل حساسیت: برای تعیین میزان حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف قبل و بعد از واسنجی در شرایط ماندگار و همچنین شرایط غیر ماندگار، تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد.

۷- صحت‌سنجی مدل: هدف صحت‌سنجی، بررسی میزان توان‌مندی مدل برای شبیه‌سازی برخی حوادث گذشته که داده‌های صحرایی در مورد آنها وجود دارد؛ می‌باشد. در واقع برای اطمینان بخشیدن به مدل طراحی شده، باید مدل برای یک دوره زمانی مشخص با پارامترهای مشاهده‌ای معلوم طراحی و اجرا گردد تا صحت آن تأیید شود. انتخاب این دوره زمانی معمولاً خارج از دوره‌ی واسنجی است و برای یک سال آبی (از اول مهر ماه تا آخر شهریور ماه) طراحی و اجرا می‌شود؛ اگر مقادیر محاسباتی با مدل و مقادیر مشاهده‌ای (واقعی) کمتر از خطای مجاز (درصد خطا) باشد صحت مدل تأیید می‌شود و می‌توان از آن مدل برای هدفی که ساخته شده استفاده نمود؛ ولی در صورتی که اختلاف مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بیشتر از خطای مجاز باشد؛ باید بازنگری مجددی روی مدل مفهومی انجام داد (البته توجه به این نکته ضروری است که بازنگری که در اینجا عنوان شد با بازنگری که آخرین گام مدل‌سازی است و معمولاً چند سال بعد از ساخت مدل، زمانی که دوره پیش‌بینی به اتمام رسیده؛ انجام می‌شود؛ متفاوت می‌باشد).

۸- پیش‌بینی پاسخ سامانه به وقایع آینده (برای مدل‌های پیش‌رونده یا مستقیم)،

۹- تحلیل حساسیت پیش‌بینی،

۱۰- ارائه طرح و نتایج مدل‌سازی،

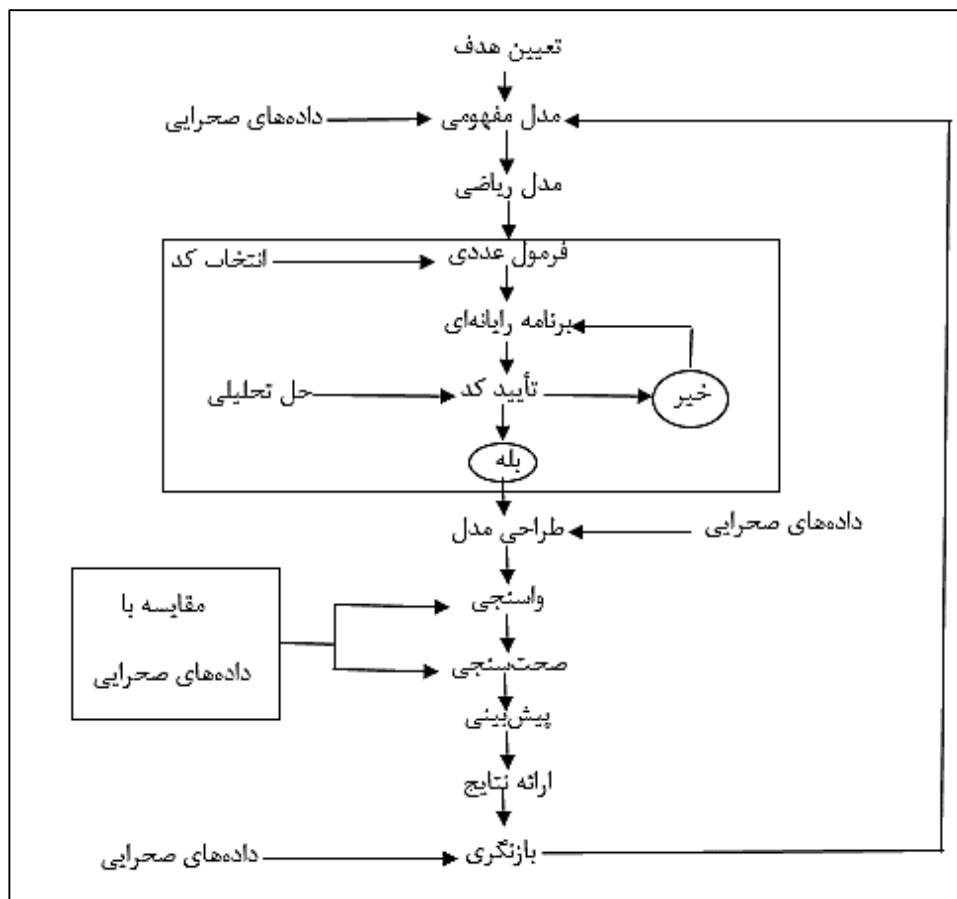
۱۱- طراحی مجدد^۱ مدل (پسابازبینی): معمولاً انجام آخرین گام در ساخت مدل یا مرحله

پسابازبینی، چند سال پس از تکمیل مطالعات مدل انجام می‌گیرد و شامل یک ارزیابی از میزان

صحت و کارایی مدل و پارامترهای کالیبره‌شده‌ی آن است. طراحی مجدد مدل معمولاً با استفاده

از بینشی که از تحلیل شرایط آینده به دست آمده است انجام می‌شود.

همچنین این مراحل به صورت شماتیک در (شکل ۳-۶) نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۶: پروتکل مدل (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲)

^۱. Post Audit

۳-۴- معرفی نرم افزار "GMS"

یکی از پیشرفته ترین و جامع ترین نرم افزارهای موجود، برای مدل سازی آب های زیرزمینی نرم افزار GMS می باشد. این نرم افزار در ابتدا، در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی توسط آزمایشگاه تحقیقات مدل سازی محیط زیست دانشگاه "بریگام یانگ"^۱ ساخته شده است؛ ولی از سال ۲۰۰۷ به بعد توسعه و تکمیل این نرم افزار توسط شرکت خصوصی "آکو"^۲ انجام گرفته است؛ به طوری که در حال حاضر مالک این نرم افزار شرکت مذکور می باشد. نرم افزار مذکور ابزارهایی را برای تمام مراحل مدل سازی از جمله مدل سازی عددی، مفهومی، واسنجی و غیره فراهم می کند؛ یکی از ویژگی های مهم این نرم افزار، صرفه جویی در زمان و دقت بالا است؛ از دیگر ویژگی های این نرم افزار می توان به وارد کردن داده ها با فرمت های گوناگون از دیگر نرم افزارها از جمله "GIS"^۳، "اکسل"^۳ و غیره اشاره کرد. نرم افزار "GMS" دارای چندین ماژول و تعدادی کد مدل سازی می باشد که وظیفه این ماژول ها ساده سازی و جداسازی داده های پیچیده و ایجاد ارتباط با کدهای ریاضی است؛ این ماژول ها در ادامه به اختصار بیان شده اند.

۳-۴-۱- ماژول نقشه^۴

ماژول های نقشه ابزارهای مناسبی برای استفاده از "GIS" را برای مدل عددی فراهم می آورند. این ماژول چهار پدیده که شامل: Feature Objects, Digital Image, Draving Objects و فایل های DXF می باشد را پشتیبانی می کند. با استفاده از این ماژول می توان اطلاعات چاه های بهره برداری که در قالب فایل اکسل می باشد را با انتخاب فرمت مناسب مثل text که برای نرم افزار "GMS" قابل قبول می باشد را تهیه نموده و وارد مدل کرد که از این پس به صورت یک پوشش در پنجره

^۱. Brigham Young University

^۲. Aquaveo

^۳. Excel

^۴. Map Module

Date tree و در ماژول نقشه قرار می‌گیرند. مفاهیم عمده مورد بحث در این ماژول عبارت‌اند از (نظری و جودوی، ۱۳۹۳):

➤ **الف) اشیای ترکیبی^۱:** برای ایجاد امکان بهره‌برداری از ویژگی‌های "GIS" در "GMS" استفاده شده است. اشیای ترکیبی شامل نقاط^۲، گره‌ها^۳، خطوط (کمان)^۴ و چندضلعی‌های بسته^۵ می‌باشد.

➤ **ب) پوشش‌ها^۶:** با گروه‌بندی اشیای ترکیبی پوشش‌ها شکل می‌گیرند. هر پوشش نشان‌دهنده‌ی یک مجموعه خاص از داده‌ها می‌باشد؛ برای مثال از یک پوشش می‌توان برای بیان زون‌های هدایت هیدرولیکی و از یک پوشش دیگر برای زون‌های تغذیه استفاده نمود.

➤ **ج) مدل مفهومی:** به مجموعه‌ای از پوشش‌ها که با هم ترکیب می‌شوند؛ مدل مفهومی می‌گویند. این پوشش‌ها می‌توانند حاوی داده‌هایی باشند که به مدل عددی مورد نظر مرتبط باشند. برای مثال، پوششی که زیر مجموعه مدل عددی Modflow باشد؛ دربرگیرنده کمان‌های نشان‌دهنده زهکش یا رودخانه می‌باشد. مدل مفهومی با یک مدل عددی خاص مثلاً Modflow پیوند برقرار می‌کند.

➤ **د) ابزارها^۷:** در "GMS" دو نوع ابزار عمومی^۸ و ابزارهای متحرک^۹ جهت ترسیم لایه‌های مدل وجود دارد. ابزارهای عمومی همیشه ثابت و فعالند و به آنها static

۱. Feature Objects

۲. Points

۳. Nodes

۴. Arcs

۵. Polygons

۶. Coverages

۷. Tools

۸. General Tools

۹. Dynamic Tools

tools گفته می‌شود. ابزارهای متحرک که با انتخاب هر یک از ماژول‌های "GMS"،

ابزار ترسیمی و انتخابی مربوط به آن ماژول فعال می‌شود.

۳-۴-۲- ماژول شبکه مثلثی بی‌قاعده^۱:

این ماژول، یکی از انواع داده‌های استاندارد در "GIS" می‌باشد که در مدل کردن سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد. در "GMS" می‌توان به طور همزمان چندین TIN را مدل کرده و با فعال کردن یکی از آنها عملیات مختلفی از جمله نمایش سه بعدی، درونیابی و غیره را بر روی TIN فعال انجام داد. TIN ها را می‌توان ویرایش کرد و به انواع دیگر داده‌های GMS تبدیل کرد. بیشترین کاربرد این ماژول، کمک به ساخت مدل‌های عناصر محدود در "GMS" است. این ماژول به‌طور مستقیم در مقداردهی شبکه‌های تفاضل محدود مانند Modflow به‌کار گرفته نمی‌شود. اما با این حال بعضی اوقات در صورت نیاز می‌توان از این ماژول برای ساخت، ویرایش و پردازش داده‌های موردنیاز برای Modflow استفاده نمود (نظری و جودوی، ۱۳۹۳).

۳-۴-۳- ماژول گمانه^۲:

از این ماژول برای مدیریت داده‌های به دست آمده از حفاری استفاده می‌شود و تهیه مقاطع در طول گمانه‌های مختلف از جنبه‌های مهم این ماژول است. داده‌های گمانه شامل: داده‌های چینه‌نگاری، داده‌های نمونه و یا هر دو می‌باشد. از داده‌های چینه‌نگاری برای نمایش لایه‌های خاک موجود در لاگ حفاری استفاده می‌شود (قدرتی و برزگری، ۱۳۹۵).

۳-۴-۴- ماژول حجمی یا سه‌بعدی^۳:

برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی چینه‌نگاری از ماژول حجمی استفاده می‌شود. پس از تهیه مدل سه

۱. TIN Module

۲. Borehole Module

۳. Solid Module

بعدی می‌توان از هر منطقه مدل مقطع عرضی تهیه کرد. همچنین از آن در محاسبه حجم مدل سه‌بعدی و تعریف داده‌های ارتفاعی کد Modflow استفاده کرد (قدرتی و برزگری، ۱۳۹۵).

۳-۴-۵- ماژول نقاط پراکنده دوبعدی^۱:

این ماژول یکی از پرکاربردترین ماژول‌های موجود در "GMS" می‌باشد. برای ورود و درون‌یابی نقاطی به کاربرده می‌شود که دارای مختصات x و y و یک مقدار می‌باشد. موقعیت چاه‌های موجود در منطقه با استفاده از این ماژول وارد مدل می‌شوند؛ چهار تابع خطی و غیرخطی از جمله "کریجینگ"^۲ برای درون‌یابی نقاط وجود دارند. با استفاده از این مدل داده‌های با فرمت text, dbf, shp و ASCII را می‌توان با استفاده از این ماژول به "GMS" وارد کرد (نظری و جودوی، ۱۳۹۳).

۳-۴-۶- ماژول شبکه دو بعدی^۳:

از این ماژول برای تهیه و ویرایش شبکه‌های کارت‌زین دو بعدی استفاده می‌شود. همچنین برای نمایش بهتر سطوح و تهیه خطوط کننتوری مورد استفاده قرار می‌گیرد (قدرتی و برزگری، ۱۳۹۵).

۳-۴-۷- ماژول شبکه سه‌بعدی^۴:

ماژول شبکه سه‌بعدی در تهیه شبکه‌های کارت‌زین سه‌بعدی با سلول‌های مربع یا مستطیل به کار می‌رود. از مهم‌ترین کاربردهای این نوع شبکه‌ها تهیه مدل‌های تفاضل محدود و ایجاد شبکه‌ای برای منفصل سازی فضایی در سه بعد می‌باشد. ماژول شبکه سه‌بعدی در GMS محلی است که مستقیماً پشتیبانی از Modflow را بر عهده دارد. منوی اصلی Modflow و پارامترهای گوناگون

^۱. 2D Scatter Point Module

^۲. Kriging

^۳. 2D Grid Module

^۴. 3D Grid Module

این منو که برای مدل‌سازی لازم است با انتخاب این ماژول، نمایان و فعال می‌شود (نظری و جودوی، ۱۳۹۳).

۳-۴-۸- نقاط پراکنده سه‌بعدی^۱:

این ماژول همانند ماژول نقاط پراکنده دو بعدی، ابزارهایی را برای درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای سه‌بعدی به شبکه‌ها یا TIN ها به کار می‌رود (قدرتی و برزگری، ۱۳۹۵).

۳-۴-۹- ماژول GIS^۲:

با وجود ماژول "GIS" در نرم‌افزار "GMS"، کاربر در شرایطی که نرم‌افزار Arc GIS را بر روی رایانه خود نصب کرده باشد؛ این امکان را پیدا می‌کند که از ویژگی‌های بسیار قدرتمند Arc Objects که در واقع توابع کتابخانه‌ای توسعه یافته توسط ESRI می‌باشند را در محیط نرم‌افزار "GMS" استفاده کند.

با استفاده از این ماژول، یک یا مجموعه‌ای از لایه‌های اطلاعاتی جغرافیایی را می‌توان مستقیماً و بدون نیاز به انجام عملیات تبدیل و تغییر، در محیط "GMS" وارد و به صورت نقشه زمینه برای ایجاد مدل مورد استفاده قرار داد. اهمیت این ماژول وقتی مشخص می‌شود که کاربر بخواهد طیف وسیعی از فایل‌های قابل پشتیبانی در Arc GIS را به نرم‌افزار "GMS" وارد کند (نظری و جودوی، ۱۳۹۳).

۳-۵- مدل‌سازی آبخوان میامی

مدل‌سازی آبخوان میامی شامل ساخت مدل مفهومی در قالب ساخت لایه‌های اطلاعاتی آبخوان، تبدیل مدل مفهومی به مدل ریاضی، واسنجی (کالیبراسیون) و صحت‌سنجی می‌باشد؛

^۱. 3D Scatter Point Module

^۲. GIS

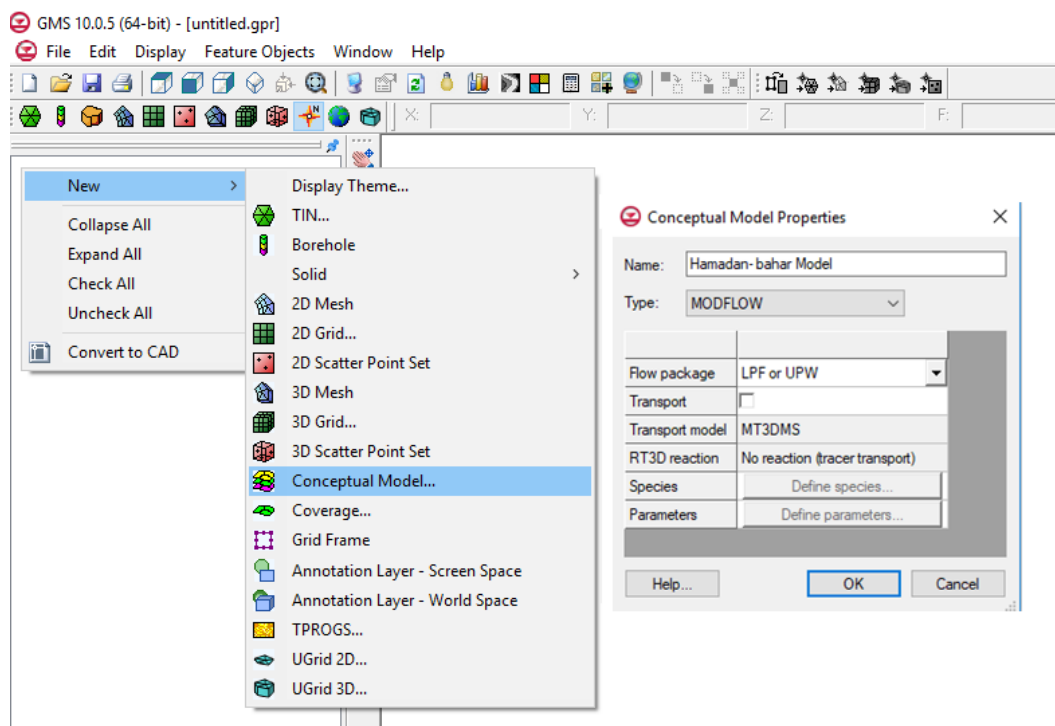
که در ادامه به‌طور مفصل شرح داده شده‌اند.

۳-۵-۱- ساخت مدل مفهومی (تعریف لایه‌های اطلاعاتی مدل)

تهیه و ساخت هر یک از لایه‌های اطلاعاتی لازم برای ساخت مدل مفهومی، بسته به شرایط آبخوان، منابع آبی موجود و سلیقه شخص مدل‌ساز بستگی دارد. برای مثال لایه چاه می‌تواند شامل انواع چاه و حتی چشمه و قنات نیز باشد یا اینکه با لحاظ کردن ویژگی‌های مربوطه، برای هر یک از انواع چاه و چشمه و قنات نیز لایه‌های مجزا در نظر گرفته شود که در هر صورت تأثیر چندانی بر نتایج خروجی مدل ندارد. در ادامه، ساخت انواع لایه‌های اطلاعاتی ساخته شده شرح داده شده است.

۳-۵-۱-۱- ایجاد پوسته اولیه مدل‌سازی

این مرحله را می‌توان در حین ساخت هر لایه‌ی اطلاعاتی نیز انجام داد؛ ولی بهتر است که ابتدا پوسته اولیه مدل مفهومی در نرم‌افزار GMS ایجاد شود و سپس اطلاعات مربوط به هر لایه با فرمت مناسب به پوسته لایه موردنظر وارد شود. برای انجام این کار در محیط نرم‌افزار GMS در قسمت Project Explorer راست کلیک کرده، از منوی باز شده گزینه New و سپس Conceptual Model انتخاب شده و در پنجره باز شده در مقابل Name، نام مدل مفهومی تعیین و مقابل Type نیز نوع مدل که Modflow می‌باشد را انتخاب کرده و بدین‌صورت پوسته اولیه مدل مفهومی آبخوان ایجاد شده است. (شکل ۳-۷) مراحل انجام این کار را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: ساخت مدل مفهومی در نرم‌افزار GMS

برای ساخت پوسته اولیه هر لایه با راست کلیک کردن روی مدل مفهومی ساخته شده و انتخاب گزینه New Coverage، لایه موردنظر ساخته شده و سپس اطلاعات مربوط به هر لایه از طریق گزینه Open به آن وارد شده است.

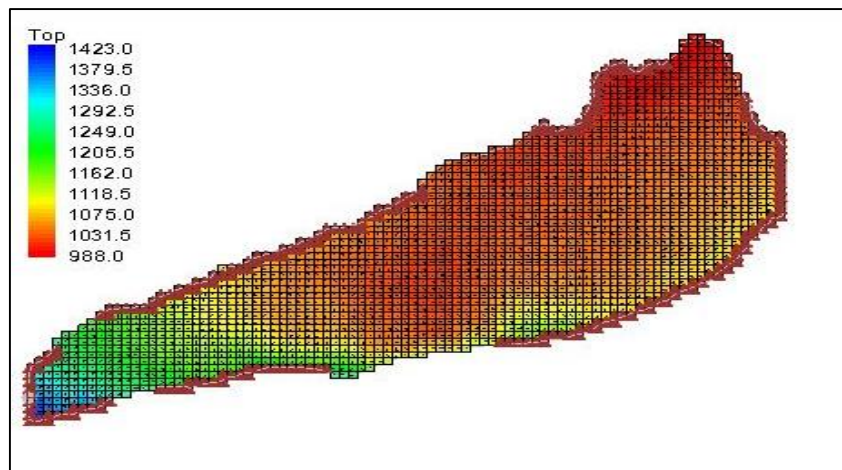
۳-۱-۵-۳- لایه آبخوان

برای ساخت این لایه، Shape file آبخوان موردنیاز می‌باشد؛ شیپ‌فایل آبخوان پس از دریافت از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان، با استفاده از ماژول "GIS" که در نرم‌افزار "GMS" می‌باشد؛ به لایه آبخوان در مدل مفهومی معرفی گردیده است.

۳-۱-۵-۳- لایه‌های شرایط مرزی

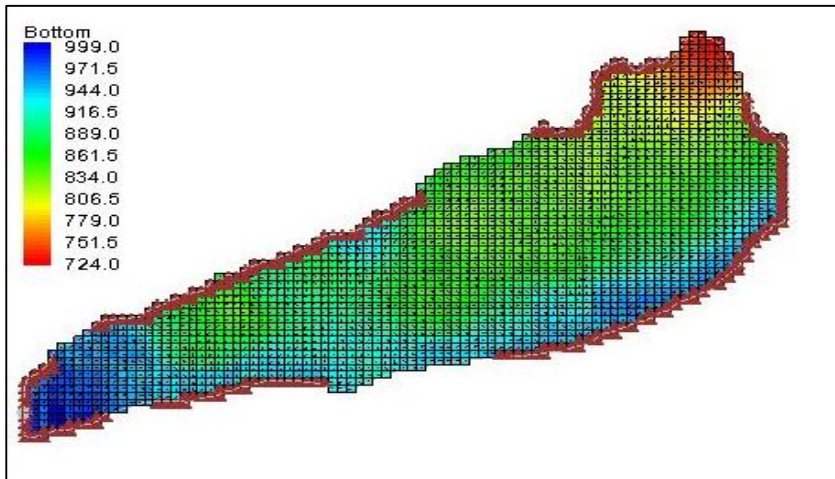
لایه‌های اطلاعاتی شرایط مرزی شامل شرایط حاکم بر مرزهای جانبی، فوقانی و تحتانی می‌باشند. برای تهیه لایه اطلاعاتی شرایط مرزهای جانبی محدوده آبخوان بر اساس (شکل ۳-۵)، دور تا

دور محدوده آبخوان به عنوان مرز ورودی و خروجی جانبی به مدل معرفی شده است البته قسمت‌هایی از آن که عمدتاً در شمال آبخوان قرار دارند و جهت جریان موازی با خطوط تراز است: به‌عنوان مرز نفوذناپذیر به مدل معرفی شده است. برای تعیین شرایط مرز فوقانی، نقشه توپوگرافی منطقه با استفاده از ابزارهای "GIS" به لایه رستری و سپس به نقاط ارتفاعی تبدیل گردیده است؛ این نقاط ارتفاعی توسط نقاط پراکنده دوبعدی^۱ به نرم‌افزار "GMS" وارد شده است و درنهایت، این نقاط پراکنده دوبعدی در نرم‌افزار "GMS" بر اساس روش درون‌یابی کریجینگ به کل منطقه تعمیم داده شده است و بدین‌صورت، لایه اطلاعاتی شرایط مرز بالایی آبخوان تهیه شده است (شکل ۳-۸). به‌منظور تهیه شرایط مرز تحتانی نیز مشابه مرز فوقانی در نرم‌افزار "GIS" عمل شده است؛ بدین ترتیب که با استفاده از نقشه سنگ کف و تبدیل آن به لایه رستری و همچنین تبدیل لایه رستری به نقاط پراکنده دوبعدی و سپس فراخوانی نقاط پراکنده دوبعدی به نرم‌افزار GMS و درون‌یابی به روش کریجینگ، اقدام به تهیه لایه اطلاعاتی شرایط مرز تحتانی (شکل ۳-۹) شده است.



شکل ۳-۸: لایه اطلاعاتی مرز فوقانی (m)

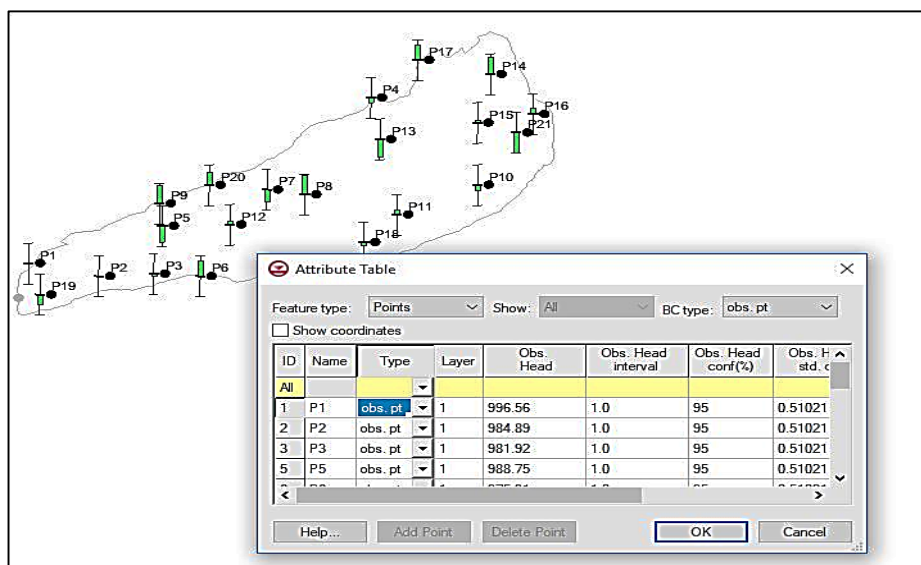
^۱. 2D Scatter Point



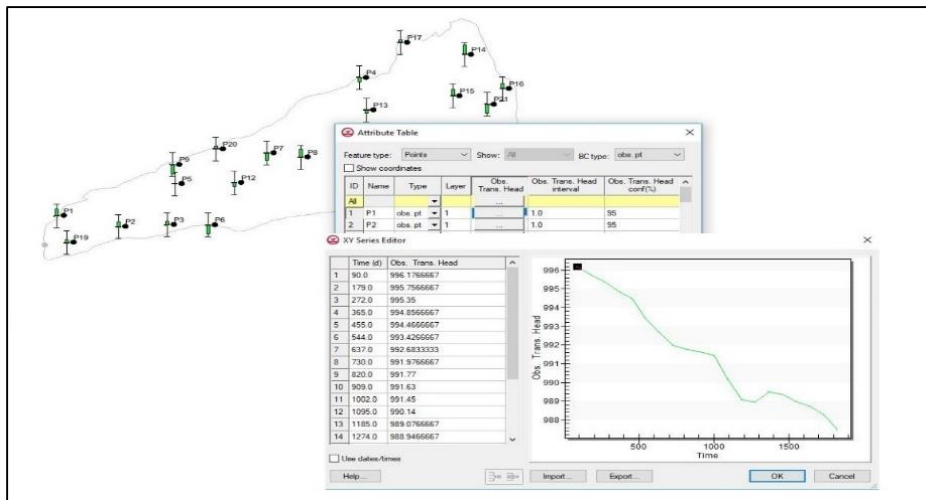
شکل ۳-۹: لایه اطلاعاتی سنگ کف آبخوان مورد مطالعه (m)

۳-۵-۱-۴- لایه چاه‌های مشاهده‌ای

یکی از مهم‌ترین لایه‌های مدل مفهومی، لایه اطلاعاتی چاه‌های مشاهده‌ای است که در این پژوهش از ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. به منظور وارد کردن این لایه به مدل مفهومی، از آمار شهریورماه ۱۳۸۶ برای دوره پایدار و از آمار مربوط به مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲ برای دوره ناپایدار استفاده شده است. این آمار پس از آماده‌سازی در نرم‌افزار "اکسل" با پسوند txt به مدل وارد گردید. شکل ۳-۱۰ و شکل ۳-۱۱ به ترتیب لایه‌های اطلاعاتی چاه‌های مشاهده‌ای در شرایط پایدار و ناپایدار را نشان می‌دهند.



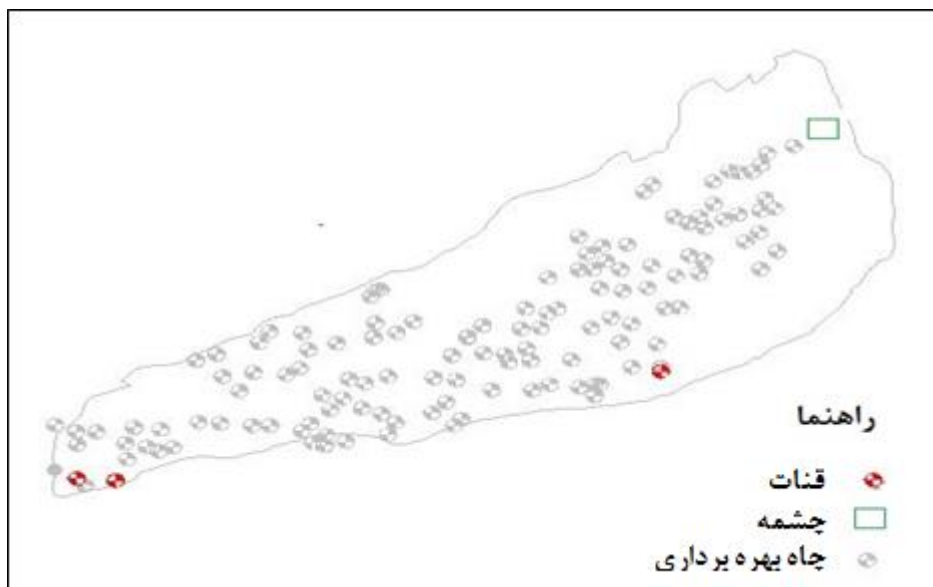
شکل ۳-۱۰: لایه اطلاعاتی چاه‌های مشاهده‌ای در شرایط پایدار



شکل ۳-۱۱: لایه اطلاعاتی چاه‌های مشاهده‌ای در شرایط ناپایدار

۳-۵-۱-۵- لایه منابع آبی دشت میامی جنوبی

لایه اطلاعاتی منابع آب زیرزمینی، شامل چشمه‌ها، قنوات و تمام چاه‌های بهره‌برداری موجود در محدوده مدل‌سازی (اعم از کشاورزی، شرب، صنعتی و دیگر مصارف) است که هر کدام به نحوی عامل تخلیه ذخیره آبخوان می‌باشند. برای وارد کردن اطلاعات مربوط به منابع آبی منطقه از بسته چاه که در نرم‌افزار GMS موجود می‌باشد؛ استفاده شده است. تعداد سه قنات و یک چشمه و همچنین ۱۴۶ چاه بهره‌برداری موجود در محدوده مدل‌سازی قرار دارند که اطلاعات این منابع آبی به مدل معرفی شده است (شکل ۳-۱۲). با در نظر گرفتن دبی استخراجی روزانه برای چاه‌های کشاورزی ۲۵ درصد، شرب و صنعت ۶۰ درصد میزان برداشت، محاسبه شده، به‌عنوان آب برگشتی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که هر کدام از لایه‌های فوق به صورت جداگانه در مدل شبیه‌ساز اضافه شده‌اند.



شکل ۳-۱۲: موقعیت منابع آبی

۳-۵-۱-۶- لایه تبخیر و تعرق

تبخیر از آبخوان در مناطقی اتفاق می‌افتد که سطح آب زیرزمینی بالا بوده و حداکثر عمق آن تا سطح زمین کمتر از ۵ متر باشد؛ بنابراین هرچه سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد؛ میزان تبخیر از آبخوان نیز بیشتر است. در نرم‌افزار GMS اثرات تبخیر بر محدوده‌ی مدل‌سازی با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری تبخیر و تعرق^۱ بر مدل مفهومی اعمال می‌گردد. با توجه به اینکه عمق سطح آب در محدوده‌ی مدل‌سازی کمتر از ۵ متر نمی‌باشد؛ لذا میزان تبخیر و تعرق از سطح آبخوان دشت میامی خیلی ناچیز بوده و قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد.

۳-۵-۱-۷- لایه هدایت هیدرولیکی آبخوان

برای تعیین این پارامتر، ابتدا با توجه به جنس ذرات آبخوان مورد نظر منطقه‌ی مورد نظر پلیگون‌بندی شده است و با توجه به جنس هر منطقه از آبخوان و همچنین با توجه به جدول استاندارد هدایت هیدرولیکی برای هر منطقه، هدایت هیدرولیکی متناسب با جنس آبخوان داده

^۱. ET. Rate Package

شده است. لازم به ذکر است که به دلیل وجود خطا در این روش، در مرحله واسنجی حالت پایدار سعی شده است با تغییر این مقادیر، مقادیر بهینه هدایت هیدرولیکی برای هر منطقه از آبخوان به دست آید.

۳-۵-۱-۸- لایه اطلاعاتی ضریب ذخیره

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در حالت ناپایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ لایه اطلاعاتی ضریب ذخیره^۱ می‌باشد؛ برای تهیه این لایه، همانند لایه هدایت هیدرولیکی عمل شده است به طوری که با توجه به جنس ذرات آبخوان مورد نظر منطقه‌ی مذکور پلیگون‌بندی شده است و با توجه به جنس هر منطقه از آبخوان و همچنین با توجه به جدول استاندارد آبدهی ویژه، برای هر منطقه، آبدهی ویژه متناسب با جنس آبخوان داده شده است؛ لازم به ذکر است که به دلیل وجود خطا در این روش، در مرحله واسنجی ناپایدار سعی شده است با تغییر این مقادیر، مقادیر بهینه آبدهی ویژه برای هر منطقه از آبخوان به دست آید.

۳-۵-۲- کد رایانه‌ای انتخاب شده

پس از تبیین مدل ریاضی، یک کد رایانه‌ای انتخاب می‌گردد. کد گزینش شده شامل الگوریتمی است که دستگاه معادلات مدل ریاضی تهیه شده را به روش‌های مختلف حل می‌کند. در این پژوهش جهت حل معادلات از کد رایانه‌ای Modflow استفاده شده است.

۳-۵-۳- بسته محاسباتی انتخابی و اجرای اولیه مدل

در این پژوهش جهت محاسبه بار هیدرولیکی در هر سلول شبکه، از روش عددی تفاضل محدود استفاده شده است. روش تفاضل محدود، رابطه بین بار هیدرولیکی در یک گره و گره‌های مجاورش

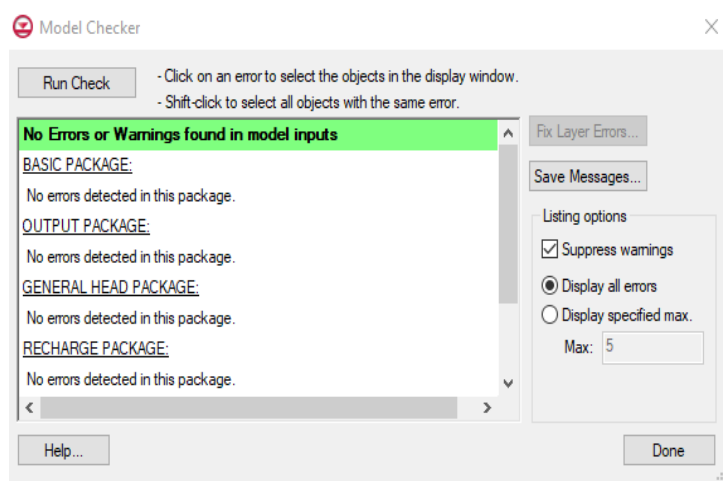
^۱. Specific Yield

در جهات مختلف (شش گره) را در پایان یک گام زمانی نشان می‌دهد. به دلیل اینکه هر معادله ممکن است چندین بار هیدرولیکی مجهول داشته باشد و مقادیر بار هیدرولیکی از یک معادله به معادله بعدی در سراسر شبکه تغییر کند؛ لذا تمام معادلات شبکه باید به‌طور هم‌زمان در هر گام زمانی حل شوند. روش به‌کار گرفته در این پژوهش برای حل معادلات ایجادشده در هر گام زمانی، روش تکرار به شیوه PCG2^۱ می‌باشد.

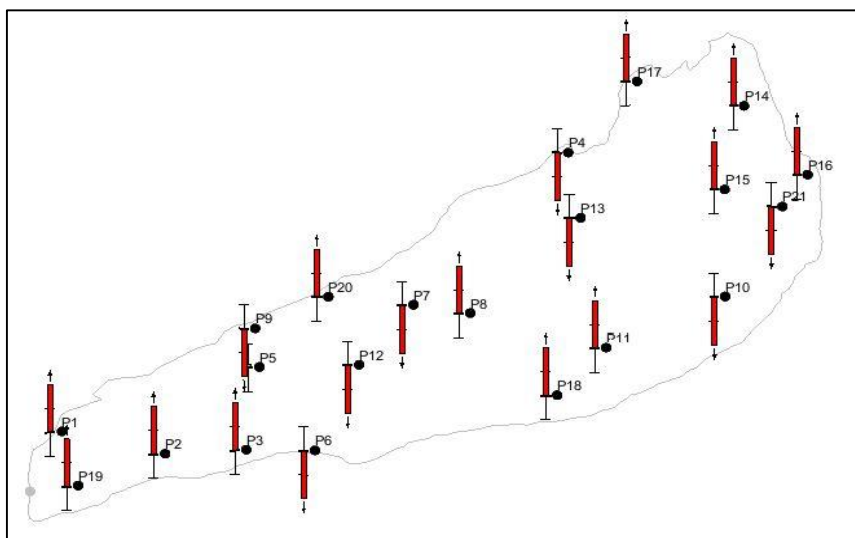
پس از تخمین پارامترهای مختلف به هر سلول و انتخاب بسته محاسباتی، به‌منظور شناسایی خطاهای احتمالی از جمله بالاتر بودن ارتفاع سنگ کف از Starting Head، صفر شدن مقدار هدایت هیدرولیکی (K) برای بعضی سلول‌ها و غیره، حداقل یک‌بار مدل اجرا می‌گردد؛ تا در صورت نیاز، نسبت به رفع مشکل اقدام گردد. نرم‌افزار "GMS" دارای ابزاری به نام چک‌کننده مدل^۲ می‌باشد که از این ابزار به‌منظور تعیین خطاهای اولیه (صحت‌سنجی) استفاده شده است. بعد از انجام این عمل و رفع خطاهای مربوطه دوباره از این ابزار جهت آزمون صحت اجرای مدل استفاده شده (شکل ۳-۱۳)؛ بعد از اینکه صحت اجرای مدل توسط ابزار چک‌کننده مدل تأیید شد؛ مدل برای اولین بار اجرا گردید (شکل ۳-۱۴)؛ در این حالت، میله‌های معرف موقعیت مکانی و سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای، همگی بر روی نقشه به رنگ قرمز درآمده‌اند که این وضعیت بیانگر این مطلب است که بین بار هیدرولیکی محاسبه‌شده توسط مدل (محاسباتی) و بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده (مشاهداتی)، اختلاف قابل توجهی وجود دارد که نیازمند اصلاح مدل می‌باشد. در این مرحله است که ضرورت مرحله واسنجی (کالیبراسیون) احساس می‌شود. در ادامه به توضیح این مبحث پرداخته شده است.

^۱. Preconditioned Conjugate Gradient

^۲. Model Checker



شکل ۳-۱۳: آمادگی مدل برای انجام اجرای اولیه



شکل ۳-۱۴: وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای در اولین اجرای مدل

۳-۵-۴- تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت میامی

پس از ساخت مدل مفهومی و تعیین مؤلفه‌ها و لایه‌های سازنده آن، مدل ریاضی منطقه تهیه شده است. در واقع این مرحله شامل بیان مدل مفهومی ساخته‌شده در قالب معادلات ریاضی است. در این پژوهش از میان روش‌های مختلف حل معادلات جبری، از روش حل عددی به شیوه تفاضل محدود استفاده شده است.

۳-۵-۵- کالیبراسیون (واسنجی)

برای اینکه بتوان از مدل در جهت مدیریت بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی استفاده کرد؛ باید مدل را به منطقه موردنظر تطبیق داد؛ به‌منظور تطبیق مدل با منطقه موردنظر، باید مقادیر سطح آب محاسباتی و مشاهداتی بر هم منطبق شوند که این فرایند را واسنجی یا کالیبراسیون مدل می‌نامند. واسنجی معمولاً به دو صورت واسنجی پایدار و ناپایدار صورت می‌گیرد که در ادامه به توضیح هر کدام پرداخته شده است.

۳-۵-۵-۱- تعیین معیار واسنجی

معیار واسنجی عبارت است از: نوع پارامتر مشاهده‌شده که می‌تواند بار هیدرولیکی، جریان هیدرولیکی و یا بیلان آب زیرزمینی باشد. در این پژوهش از بار هیدرولیکی به‌عنوان معیار اصلی واسنجی استفاده شده است. به‌منظور نمایش میزان خطا برای واسنجی مدل، از روش مقایسه ترسیمی (مانند استفاده از نمودار مقایسه‌ای مقادیر محاسباتی و مشاهداتی ارتفاع سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای) و مقایسه آماری (مانند میانگین مربع مجذور اختلاف‌های بین بار هیدرولیکی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده^۱) استفاده گردیده است.

۳-۵-۵-۲- تعیین میزان واسنجی

طبیعتاً پارامترهای استفاده‌شده در این پژوهش، مانند سایر پژوهش‌ها، مطلق نیستند و با خطا همراه می‌باشند. ازجمله این خطاها می‌توان به خطای تعیین موقعیت دقیق چاه‌های مشاهده‌ای، خطای اندازه‌گیری سطح آب، خطای حاصل از درون‌یابی که به‌منظور رسم منحنی‌های هم‌ارزش در محدوده مدل‌سازی انجام‌گرفته است (منحنی‌های هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی، منحنی‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی، نقشه توپوگرافی سطحی و توپوگرافی سنگ کف) اشاره

^۱. RMSE

کرد. بنابراین تعیین خطای قابل قبول مربوط به بار هیدرولیکی به صورت تجربی و با مشورت کارشناسان مربوطه، معادل ± 1 متر تعیین و به مدل معرفی گردیده است.

به منظور ارزیابی دقیق نتایج واسنجی، از بارهای اندازه گیری شده، شبیه سازی شده، اختلاف آنها و انواع میانگین خطاها در نتایج واسنجی استفاده شده است. سه روش معمول برای نشان دادن این معیار واسنجی عبارتند از: میانگین ریشه دوم خطا^۱ (RMSE)، ضریب تعیین^۲ (R^2) و RMSE نرمال شده^۳ (NRMSE).

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (5-4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6-4)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (7-4)$$

که در آنها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n تعداد نمونه‌های بکار رفته و \bar{O} مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. آماره R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. RMSE با نشان دادن مقدار خطا دقت مدل را مورد بررسی قرار می‌دهد. حداقل مقدار RMSE صفر می‌باشد که نشان دهنده کارایی

1 - Root Mean Square Error

۲ - Coefficient of determination

۳ - Normalized RMSE

عالی و یا خوب مدل در شبیه‌سازی متغیر مورد بررسی می‌باشد. RMSE همچنین می‌تواند با تقسیم شدن به مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی به عنوان RMSE نرمال شده (NRMSE) که ضریبی بدون بعد است تعریف شود.

انتخاب هر یک از خطاهای فوق بر مقادیر پارامترهای انتخابی برای مدل واسنجی شده مؤثر است (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲). در صورتی که خطاها به صورت نرمال توزیع شده باشند، خطای RMSE بهترین معیار خطا می‌باشد.

۳-۵-۶- صحت سنجی

پس از انجام مرحله واسنجی مدل برای شرایط خاص منطقه لازم است که برای چند سال آینده کنترل شود و صحت و دقت آن مورد ارزیابی قرار گیرد. صحت سنجی مرحله ای است که نشان می‌دهد مدل واسنجی شده قابلیت این را دارد که برای شرایط غیر از شرایط استفاده شده در واسنجی مدل، نتایج قابل قبولی و نزدیک به واقع ارائه دهد. در صورتی که شرایط شبیه‌سازی شده با شرایط صحرائی و واقعیت مطابقت نداشته باشد؛ نمی‌توان از مدل به‌عنوان ابزاری برای پیش‌بینی‌های آینده استفاده کرد؛ در این صورت مدل باید دوباره مرحله واسنجی را به‌منظور دستیابی به یک مدل واسنجی شده که با شرایط صحرائی همخوانی داشته باشد؛ طی نماید.

۳-۵-۷- حساسیت سنجی مدل

حساسیت‌سنجی به معنای ارزیابی کمی کاربر از تأثیرپذیری خروجی‌های مدل در اثر تغییر ورودی‌ها است؛ حساسیت‌سنجی برای جلوگیری از تغییرات غیرمنطقی پارامترها برای انجام فرایند واسنجی صورت می‌گیرد. نکته مهم در حساسیت‌سنجی پارامترهای مدل این است که اگر مدل نسبت به پارامتری حساسیت بیشتری داشته باشد؛ تغییرات خیلی زیاد آن باعث ایجاد

اختلال در امر واسنجی مدل می‌شود و بنابراین باید به مقدار خیلی کمی تغییر یابد تا مدل زودتر واسنجی گردد؛ اما در صورتی که مدل به پارامتری حساسیت کمتری داشته باشد، تغییرات خیلی زیاد آن، زودتر موجب واسنجی مدل می‌شود؛ ولی تغییرات کم آن، تغییری در مدل برای واسنجی ایجاد نمی‌کند. حساسیت‌سنجی می‌تواند در تعیین مسیر آینده‌ی جمع‌آوری داده‌ها نیز مؤثر باشد؛ به طوری که داده‌هایی که مدل به آن‌ها حساسیت بیشتری داشته باشد؛ در آینده نسبت به جمع‌آوری آن‌ها دقت بیشتری خواهد شد.

۳-۵-۸- پیش‌بینی

زمانی که مدل ترجیحا در دو حالت پایدار و ناپایدار صحت‌سنجی گردید، از آن می‌توان برای پیش‌بینی که هدف اغلب فعالیت‌های مدل‌سازی است، استفاده کرد. پیش‌بینی، پاداشی است برای تلاش‌های صورت گرفته قبلی توسط طراح مدل و مرحله است که او کم و بیش در انتظار آن است.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

هدف از تدوین این فصل بحث و بررسی پیرامون روش‌های به کار گرفته‌شده و یافته‌های حاصله در فصل قبل (فصل سوم) می‌باشد. فرایند مدل‌سازی معمولاً با یکسری کاستی‌ها و نواقصی مانند نقص در داده‌های ورودی، فرضیات ساده‌سازی، ناپایداری آبخوان و عدم اطلاع از پارامترهای دخیل در آبخوان در آینده همراه است. علاوه بر این، تحقیقات انجام‌گرفته مستلزم بحث و بررسی، و مقایسات و محاسبات (پس‌پردازش) بوده تا یکسری حقایق و روابط بین پارامترها مشخص گردیده و کاستی‌های که ذکر شد، نیز در صورت امکان برطرف گردند. از جمله این بررسی‌ها، می‌توان به تحلیل و بررسی یکسری مسائل از قبیل بحث در مورد نتایج مربوط به مراحل واسنجی، تحلیل حساسیت، صحت سنجی و نتایج مربوط به قسمت پیش‌بینی اشاره کرد.

۴-۲- واسنجی

در این مرحله ضمن اجرای مدل، یکسری پارامترها و ضرایب آبخوان (مانند هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره) بهینه گردید، و واسنجی مدل تا رسیدن به کمترین مقدار خطای RMSE صورت گرفته است. لازم به ذکر است که واسنجی در دو مرحله پایدار و ناپایدار صورت گرفته است، که در ادامه به تفکیک، به توضیح و بحث پیرامون هر یک پرداخته شده است.

۴-۲-۱- واسنجی حالت پایدار

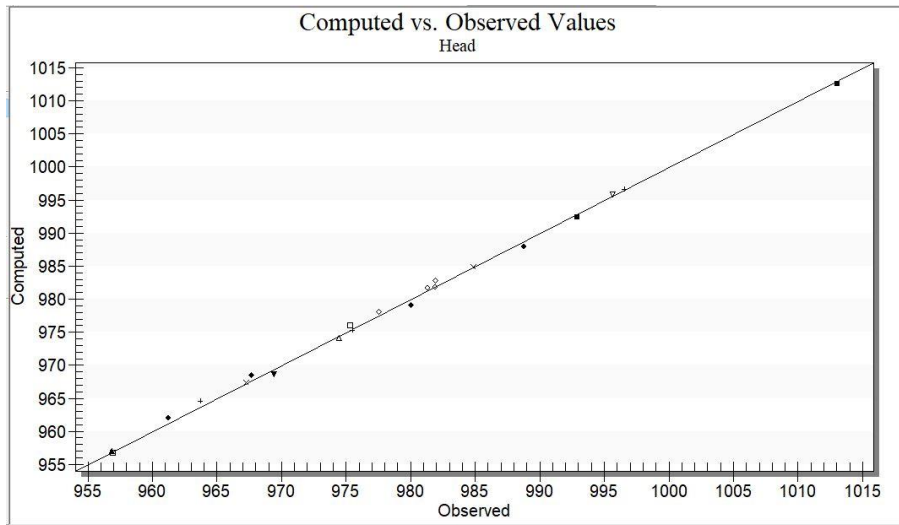
در این مرحله شهریورماه سال ۱۳۸۶ به‌عنوان ماه پایدار انتخاب گردیده و با استفاده از سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در این ماه محاسبات شبیه‌سازی صورت گرفت؛ لازم به ذکر است که از داده‌های سطح آب در ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای برای مرحله واسنجی استفاده شده است. با شروع فرایند واسنجی پارامترهای دخیل در مدل طی شرایط پایدار، نظیر: هدایت هیدرولیکی، شرایط مرزی و جریان ورودی و خروجی زیرزمینی، تغییر داده شد؛ از آنجایی که مدل در حالت پایدار

نسبت به هدایت هیدرولیکی حساسیت بیشتری را نشان می‌داد و همچنین با توجه به اینکه هدایت هیدرولیکی از روی جنس منطقه (مقادیر استاندارد هدایت هیدرولیکی برای مواد مختلف: (جدول ۱-۴) به مدل معرفی شده بود و امکان خطا در آن وجود دارد؛ ابتدا این پارامتر تغییر داده شده است و تا حد توان سعی شده است که با تغییر این پارامتر، مدل، واسنجی گردد. در ادامه، فرایند واسنجی به کمک کد پست^۱ انجام شده است. فرایند واسنجی به کمک کد پست تا جایی که به کمترین میزان خطای RMSE و نیز به حداقل اختلاف بین مقادیر بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی (محدوده خطای مجاز ± 1 متر) منجر شود؛ ادامه پیدا کرد. در پایان مرحله واسنجی پایدار، تمامی چاه‌های مشاهده‌ای در محدوده خطای مجاز (± 1 متر) قرار گرفتند. همچنین میانگین خطاها، قدرمطلق خطاها و میانگین مجذور خطاها به ترتیب ۰/۰۵۷، ۰/۹۹۸ و ۰/۵۷۸ متر به دست آمد. (شکل ۱-۴) نیز نمودار مقایسه‌ی مقادیر بار آبی محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت پایدار را نشان می‌دهد. شکل ۲-۴ و شکل ۳-۴ به ترتیب سطح تراز آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی بهینه (بعد از مرحله واسنجی در حالت پایدار) برای محدوده مدل‌سازی را نشان می‌دهند.

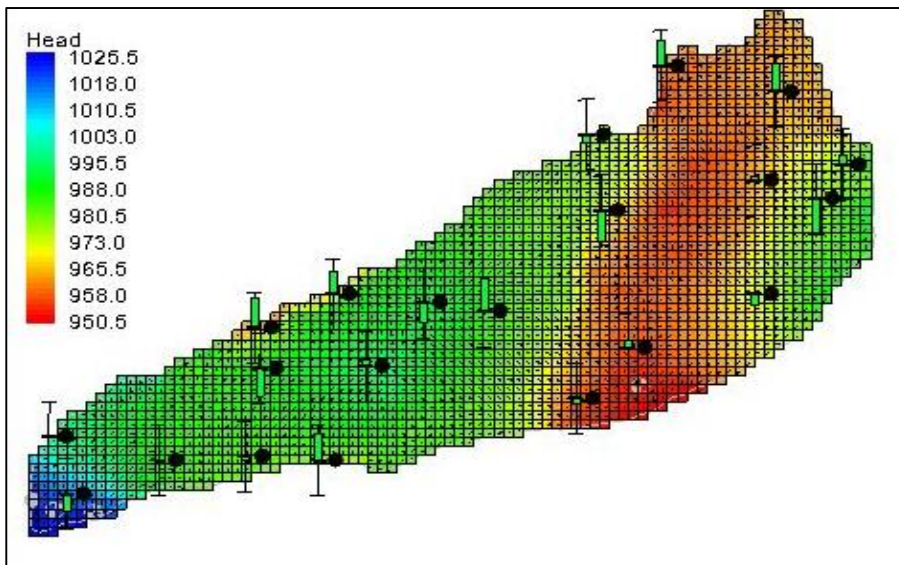
جدول ۱-۴: مقادیر استاندارد هدایت هیدرولیکی برای مواد مختلف (تاد و میز، ۲۰۰۵).

مواد	قطر ذرات (mm)	هدایت هیدرولیکی (m/day)
رس	< ۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۲
لای	۰/۰۶۲ -	۰/۰۸
ماسه‌ی ریز	۰/۲۵ -	۲/۵
ماسه‌ی متوسط	۰/۲۵ - ۰/۵	۱۲
ماسه‌ی درشت	۰/۵ - ۲	۴۵
شن ریز	۲ - ۸	۴۵۰
شن متوسط	۸ - ۱۶	۲۷۰
شن درشت	۱۶ - ۶۴	۱۵۰

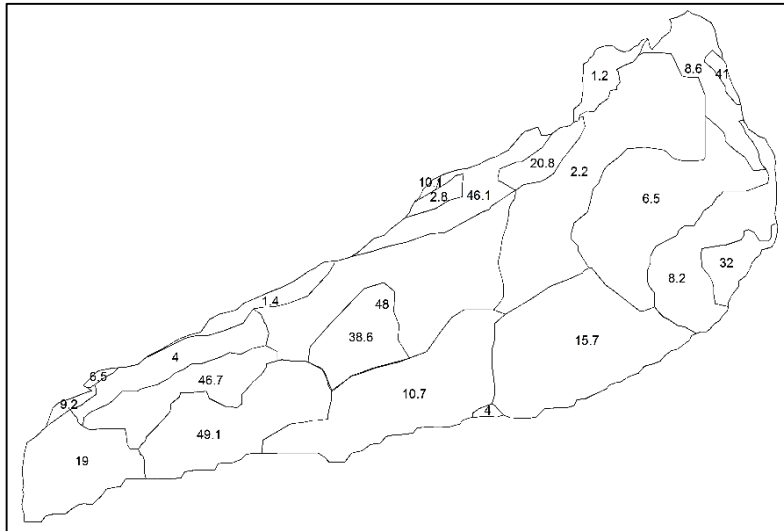
^۱. PEST



شکل ۴-۱: نمودار مقایسه‌ای مقادیر بار آبی محاسباتی و مشاهداتی در حالت پایدار



شکل ۴-۲: سطح تراز آب زیرزمینی محدوده مدل‌سازی بعد از مرحله واسنجی در حالت پایدار (متر)



شکل ۴-۳: مقدار (طیف) بهینه هدایت هیدرولیکی بعد از واسنجی (متر بر روز)

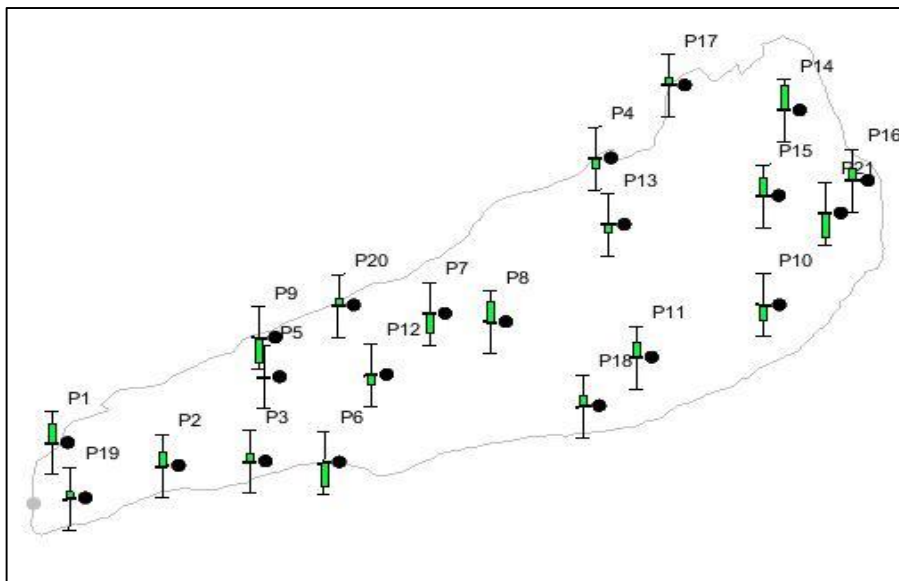
طی این مرحله پارامتر ضریب هدایت هیدرولیکی بهینه گردید. به منظور بهینه‌سازی این پارامتر، یکسری عوامل مانند لاگ چاه‌های حفاری (مقادیر معمول هدایت هیدرولیکی برای مواد مختلف)، جهت جریان آب زیرزمینی مدنظر قرار گرفته‌اند. بر اساس آنچه که از لاگ چاه‌های حفاری پیداست، قسمت‌های جنوب غربی آبخوان مورد مطالعه به لحاظ جنس مواد تشکیل‌دهنده، از قسمت‌های شمال شرقی آن دانه درشت‌تر هستند. همچنین جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب غربی به سمت شمال شرقی بوده و قسمت‌های جنوب غربی، ورودی دشت می‌باشد، و این موضوع خود بیان‌کننده این مطلب است که در قسمت‌های جنوب غربی رسوبات دانه درشت‌تر و بالطبع مقادیر هدایت هیدرولیکی در آن باید بالاتر از قسمت‌های شمال شرقی آبخوان باشد. برآزش بین بارهای محاسباتی و مشاهداتی در حالت پایدار، نشان از وجود رابطه خطی بین پارامترهای ذکر شده را دارد.

تمامی این شواهد و گفته‌ها می‌تواند دلایلی مبنی بر صحت مقادیر بهینه‌شده ضریب هدایت هیدرولیکی طی مرحله واسنجی باشد.

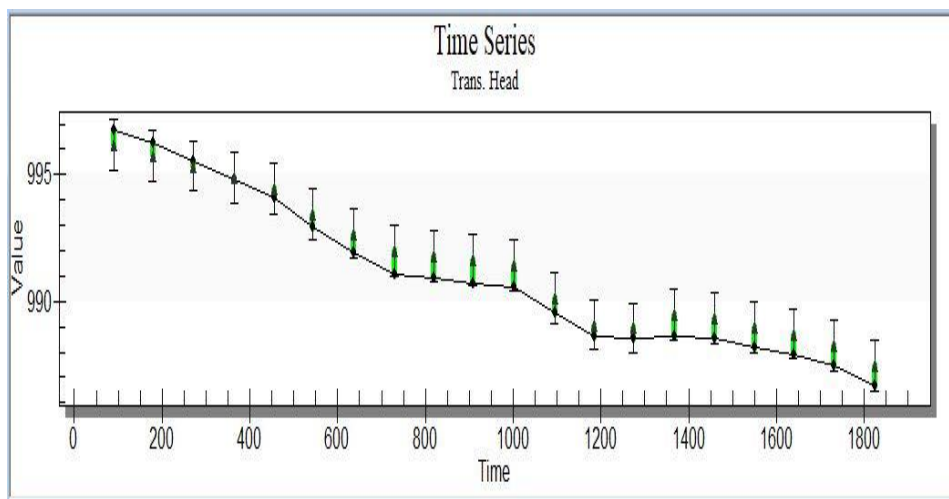
۴-۲-۲- واسنجی حالت ناپایدار

بعد از واسنجی مدل در حالت پایدار، مدل مفهومی برای حالت ناپایدار نیز ساخته شد؛ بعد از ساخت مدل مفهومی برای حالت ناپایدار، مدل واسنجی شد تا مقادیر بهینه برای هرکدام از پارامترهای مدل مفهومی به دست آید. مدل در حالت ناپایدار، در یک بازه‌ی زمانی (معمولاً بلافاصله بعد از دوره‌ی پایدار) واسنجی گردید. به‌منظور واسنجی در حالت ناپایدار از داده‌های سطح آب مربوط به ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای واقع در محدوده مدل‌سازی، مربوط به فاصله زمانی مهر ۱۳۸۷ تا مهرماه ۱۳۹۲ استفاده شده است. از آنجایی که برای ساخت مدل مفهومی آبخوان در حالت ناپایدار، پارامترهای مختلفی نظیر میزان تغذیه از طریق بارندگی، آب برگشتی و نفوذ از آب‌های سطحی، بار هیدرولیکی در چاه‌های مشاهده‌ای، مقادیر آبدهی ویژه و میزان تخلیه چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها به‌کار رفته است؛ هرکدام از پارامترهای مذکور در طی واسنجی در حالت ناپایدار با توجه به درجه اطمینان آن‌ها تغییر داده‌شده تا مدل واسنجی گردد. با فرض درست بودن پارامترهای تغذیه از طریق بارش و سطح آب اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای موجود در محدوده مدل‌سازی، طی دوره واسنجی تغییری در مقادیر داده‌های این لایه‌های اطلاعاتی داده نشده است؛ همچنین پارامتر هدایت هیدرولیکی که در طی دوره واسنجی در حالت پایدار بهینه شد؛ در این مرحله ثابت مانده و تغییر داده نشده است. مهم‌ترین پارامتری که در طی دوره واسنجی در حالت ناپایدار بهینه شد؛ آبدهی ویژه (ضریب ذخیره) آبخوان می‌باشد. جهت تعیین پارامتر آبدهی ویژه در نقاط مختلف از جدول استاندارد آبدهی ویژه برای مواد مختلف (جدول ۴-۲) استفاده گردیده است. در ابتدا با توجه به لاگ چاه‌های اکتشافی (جنس مواد تشکیل دهنده‌ی آبخوان)، محدوده مدل‌سازی زون‌بندی گردید و با توجه به لیتولوژی احتمالی زون موردنظر، مقدار اولیه‌ای از آبدهی ویژه به هر یک از زون‌های محدوده مدل‌سازی داده شد. لازم به ذکر است که در ادامه فرایند واسنجی، این مقادیر تا زمانی که به مقدار بهینه دست یافته شد؛ تغییر داده شده‌اند. در پایان مرحله واسنجی ناپایدار، میانگین خطاها، قدرمطلق

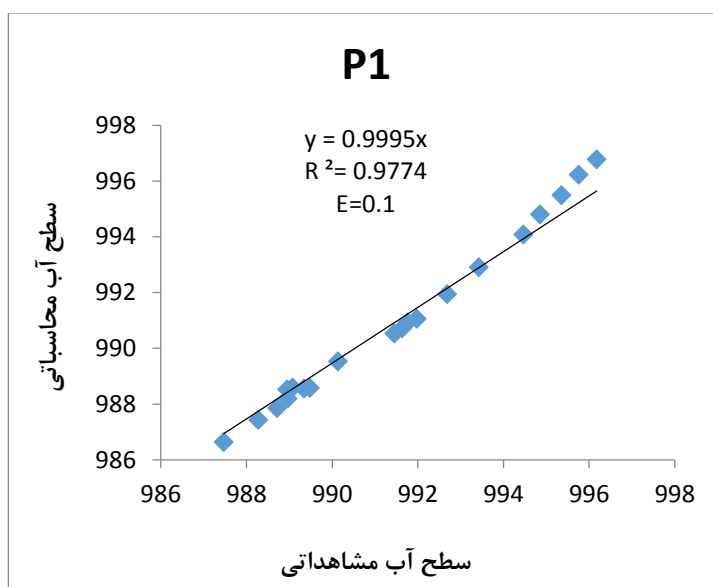
خطاها و میانگین مجذور خطاها به ترتیب به $0/143$ ، $0/859$ و $0/399$ متر رسید. شکل ۴-۴ نتیجه نهایی وضعیت چاه‌های مشاهده‌ای بعد از واسنجی مدل در حالت ناپایدار را نشان می‌دهد. همچنین برای مقایسه ترسیمی مدل در حالت ناپایدار نیز، مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار هیدرولیکی برای هر چاه مشاهده‌ای در زمانهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار GMS، و برای هر چاه مشاهده‌ای در پایان مرحله ناپایدار، با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شده‌اند؛ شکل ۴-۵ و شکل ۴-۶ به ترتیب وضعیت چاه مشاهده‌ای شماره یک طی زمانهای مختلف (طی مرحله ناپایدار) و مقادیر بدست آمده برای چاه مشاهده‌ای شماره یک در پایان مرحله ناپایدار، را نشان می‌دهند. بدین ترتیب طی مرحله واسنجی در حالت ناپایدار، مقدار آبدهی ویژه (ضریب ذخیره) بهینه گردید (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۴: وضعیت پیزومترهای مدل واسنجی شده در پایان واسنجی حالت ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲)



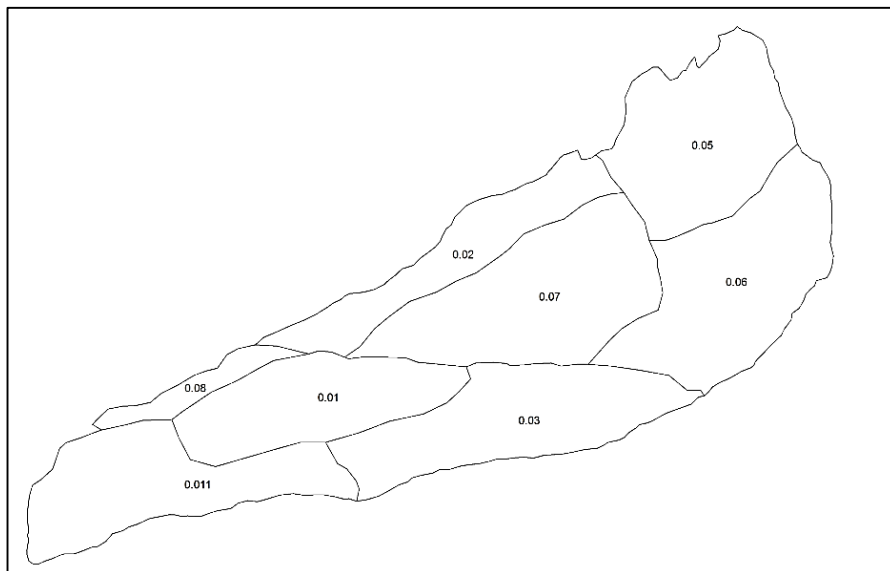
شکل ۴-۵: وضعیت چاه مشاهده‌ای شماره ۱ (مقایسه هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی) طی دوره ناپایدار، بعد از واسنجی



شکل ۴-۶: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی پیزومتر شماره ۱ طی مرحله ناپایدار، بعد از واسنجی

جدول ۴-۲: مقادیر استاندارد آبدهی ویژه برای مواد مختلف (تاد و میز، ۲۰۰۵).

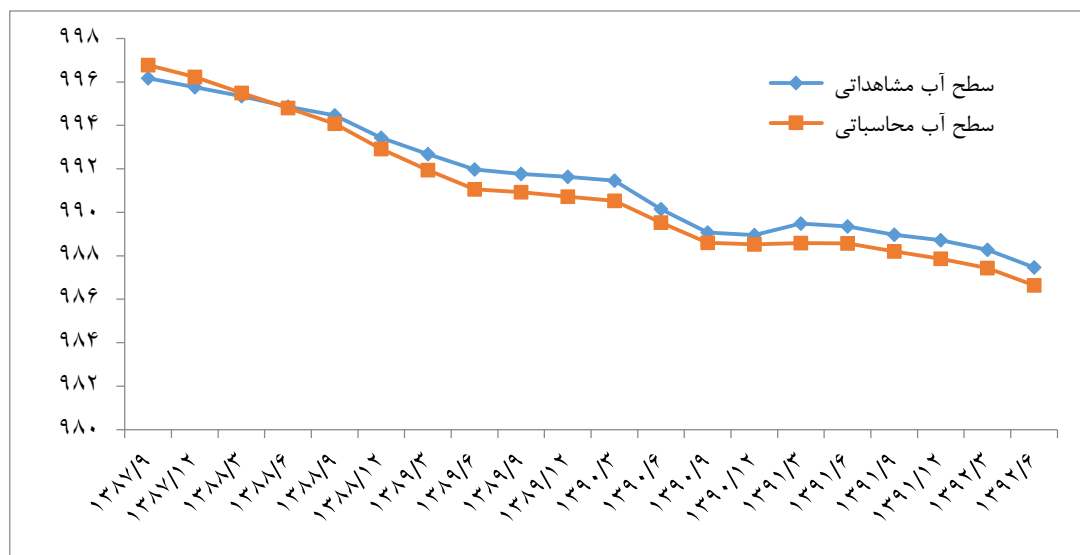
آبدهی ویژه (درصد)	قطر ذرات (mm)	مواد
۳	< ۰/۰۰۴	رس
۸	- ۰/۰۶۲	لای
۲۳	۰/۰۶۲ - ۰/۲۵	ماسه‌ی ریز
۲۸	۰/۲۵ - ۰/۵	ماسه‌ی متوسط
۲۷	۰/۵ - ۲	ماسه‌ی درشت
۲۵	۲ - ۸	شن ریز
۲۴	۸ - ۱۶	شن متوسط
۲۳	۱۶ - ۶۴	شن درشت



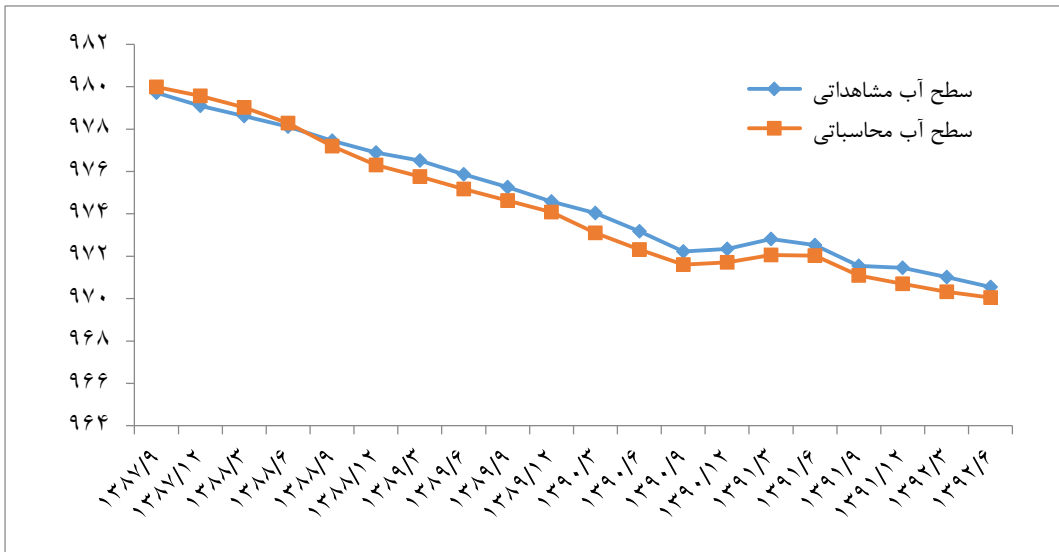
شکل ۴-۷: مقدار (طیف) بهینه آبدهی ویژه بعد از واسنجی

همچنین به منظور اطمینان از صحت مدل واسنجی شده هیدروگراف تعدادی از چاه‌های پیزومتری موجود در دشت به عنوان نمونه در شکل ۴-۸ تا شکل ۴-۱۲ نشان داده شده‌اند که این پیزومترها از قسمت‌های مختلف دشت انتخاب شده‌اند به طوری که معیار نحوه انتخاب آن‌ها، پراکندگی آن‌ها در آبخوان بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در پیزومترهای انتخابی مقادیر محاسباتی مدل، نزدیک به مقادیر مشاهداتی است که این خود می‌تواند دلیلی بر صحت

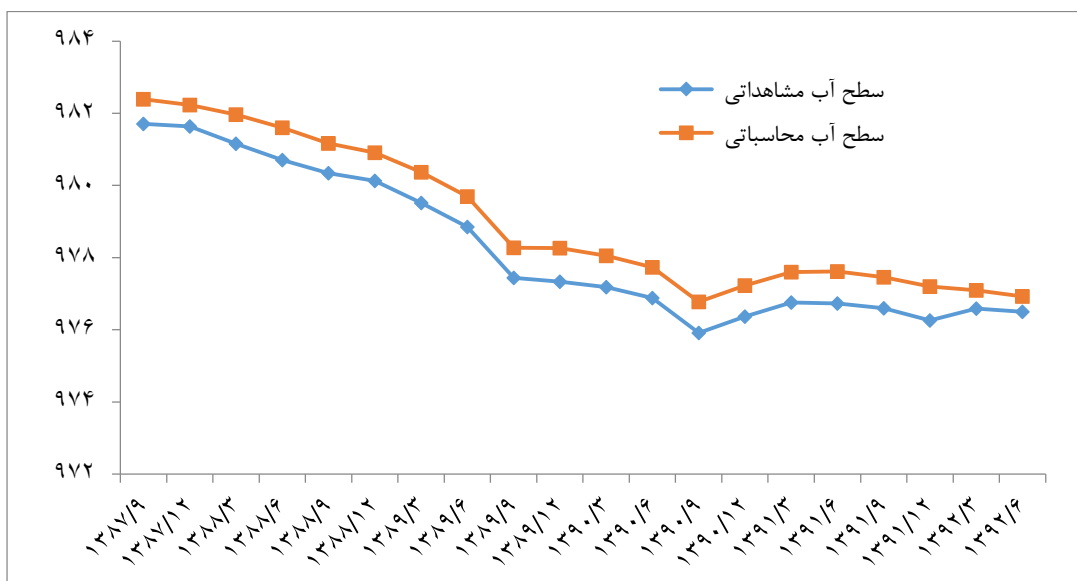
مدل واسنجی شده باشد. بر اساس نتایج بدست آمده دوره واسنجی در تمام پیزومترهای دشت و همچنین پیزومترهای مشخص شده در شکل ۴-۸ تا شکل ۴-۱۲، سطح آب شبیه‌سازی شده توسط مدل به سطح آب مشاهداتی نزدیک بوده و جذر میانگین مربعات خطا برای کل پیزومترهای دشت در این دوره ۵ ساله، $0/94$ متر به دست آمده است. در مرحله واسنجی نمودار یک به یک برای ۵ پیزومتر از بین مجموع پیزومترهای بررسی شده در دشت ترسیم گردید (شکل ۴-۱۳ تا شکل ۴-۱۷). براساس این نمودارها، هر پنج پیزومتر انتخابی نتایج رضایت بخشی داشته‌اند.



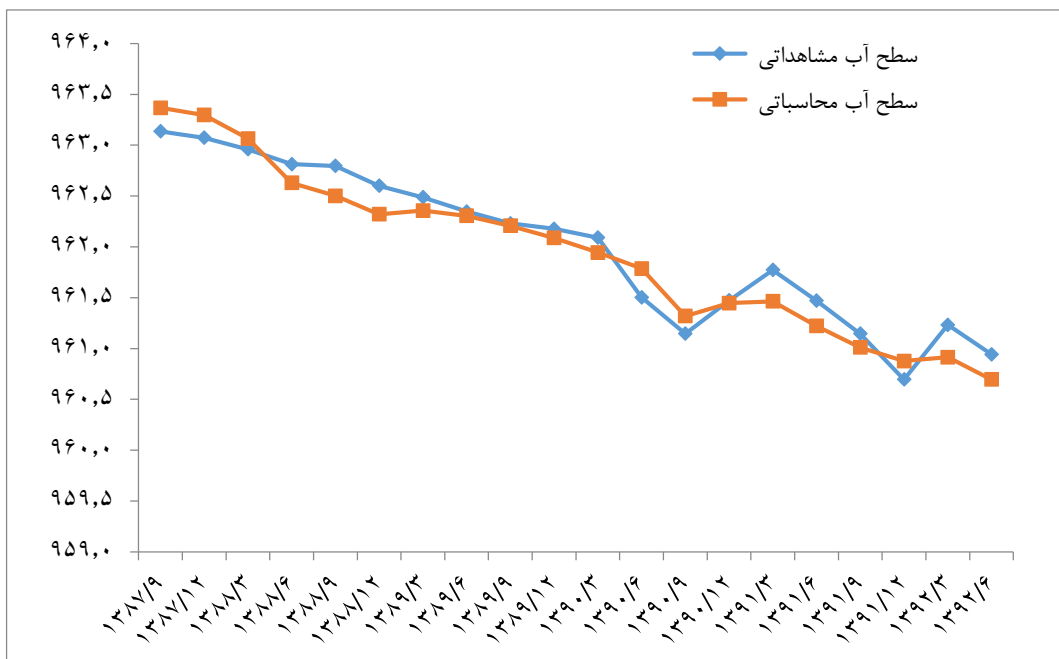
شکل ۴-۸: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱، طی مرحله ناپایدار



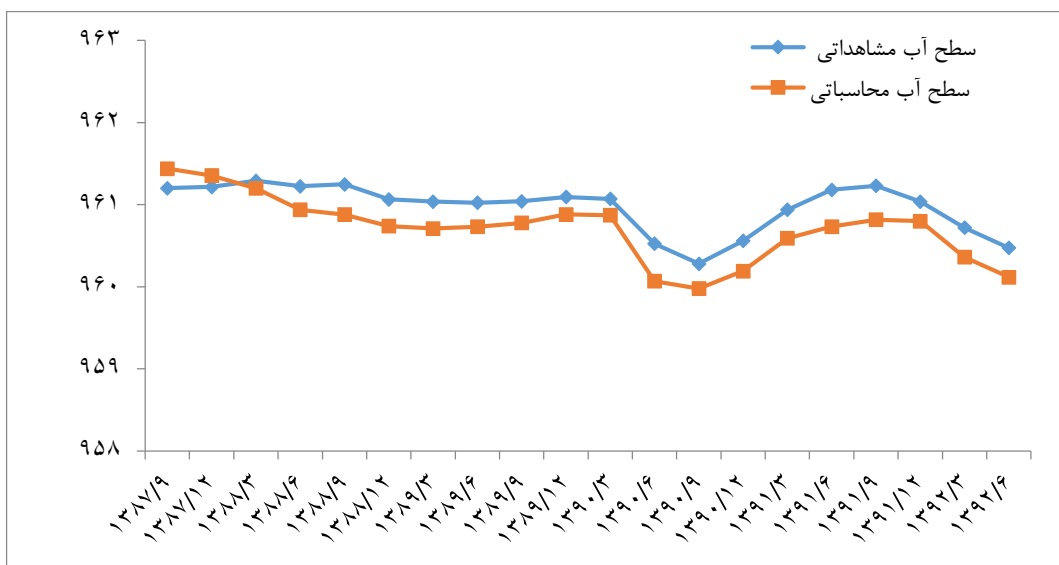
شکل ۴-۹: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۳، طی مرحله ناپایدار



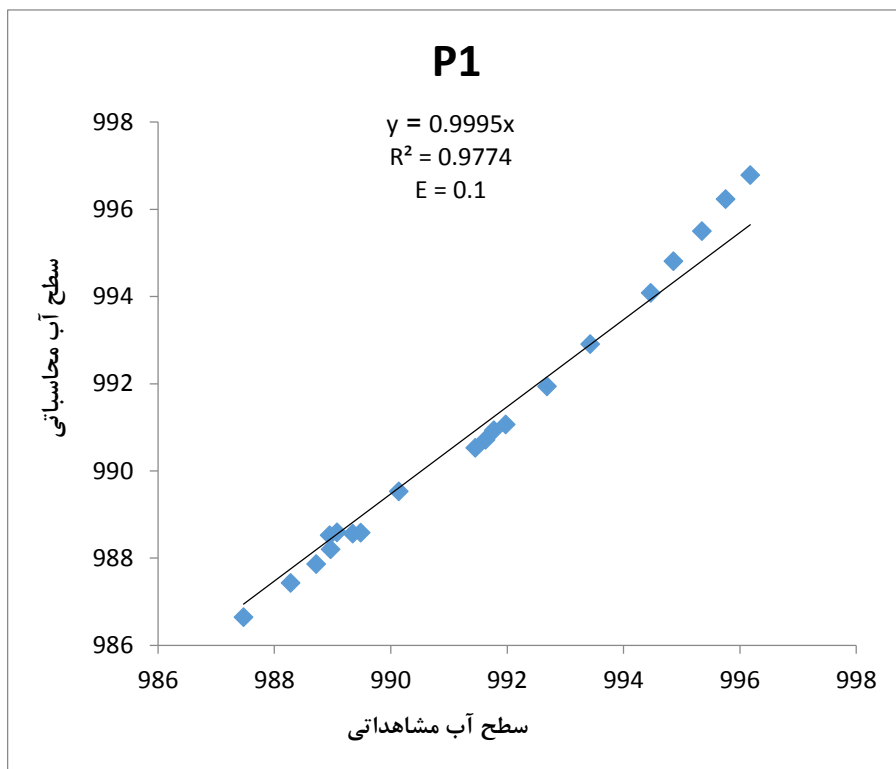
شکل ۴-۱۰: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۸، طی مرحله ناپایدار



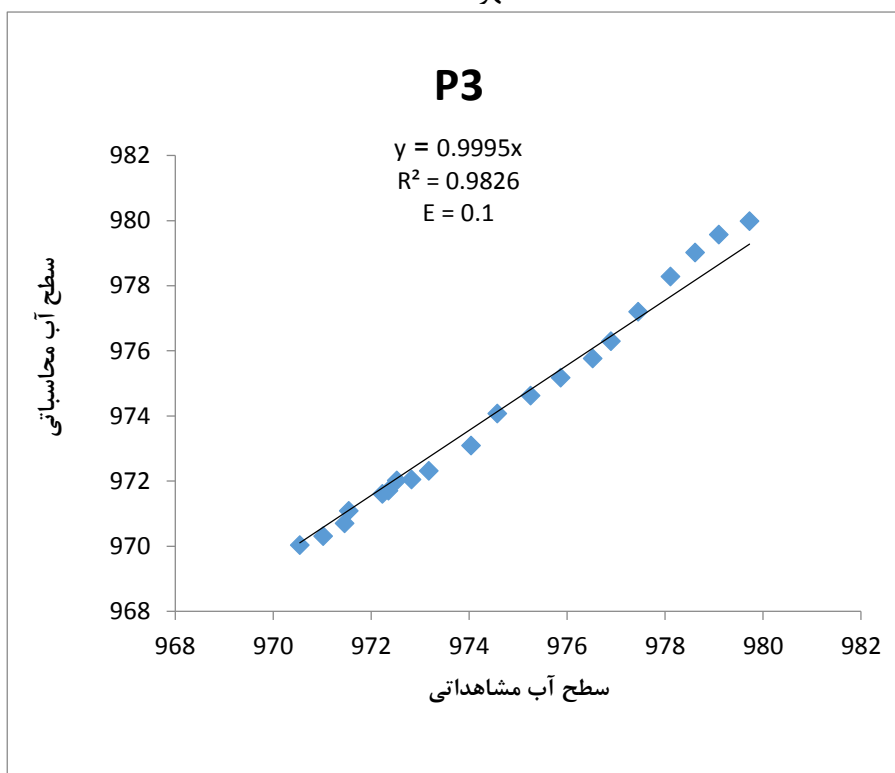
شکل ۴-۱۱: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۴، طی مرحله ناپایدار



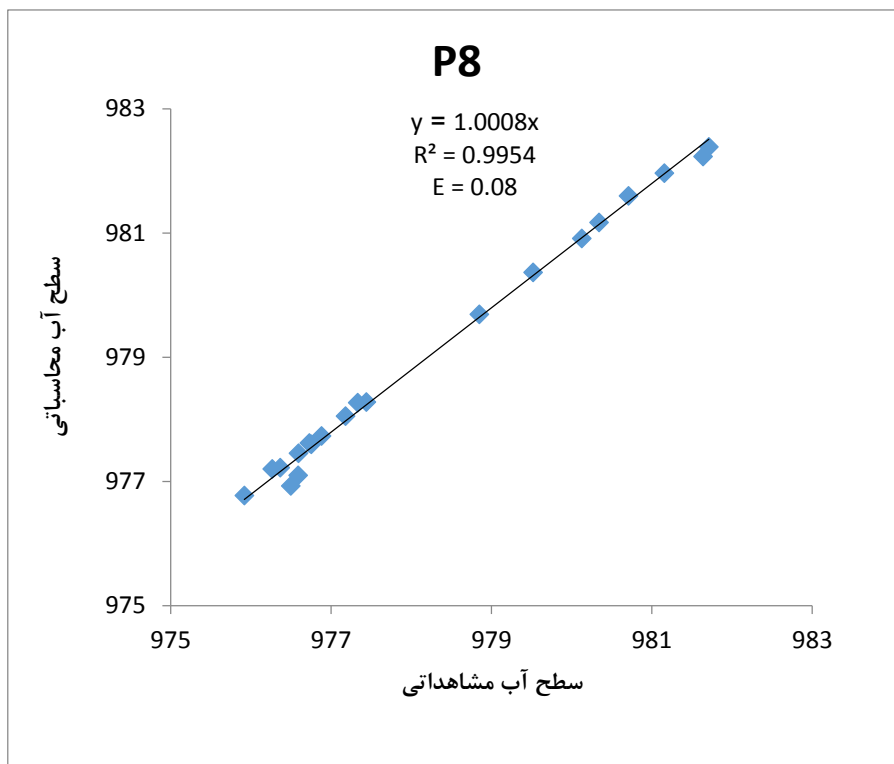
شکل ۴-۱۲: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۷، طی مرحله ناپایدار



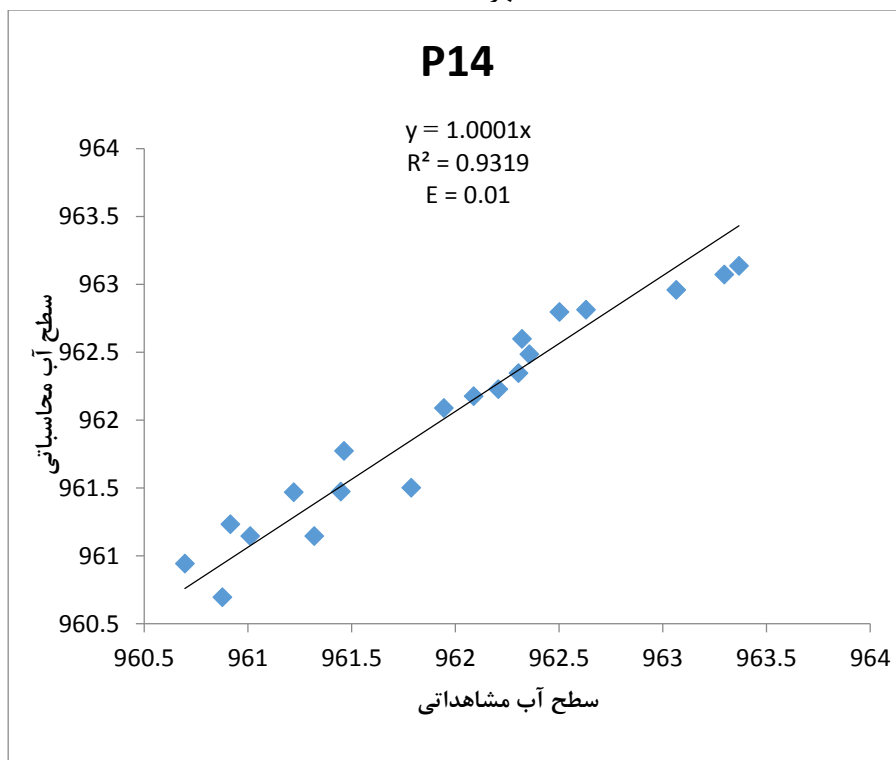
شکل ۴-۱۳: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱ طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲)



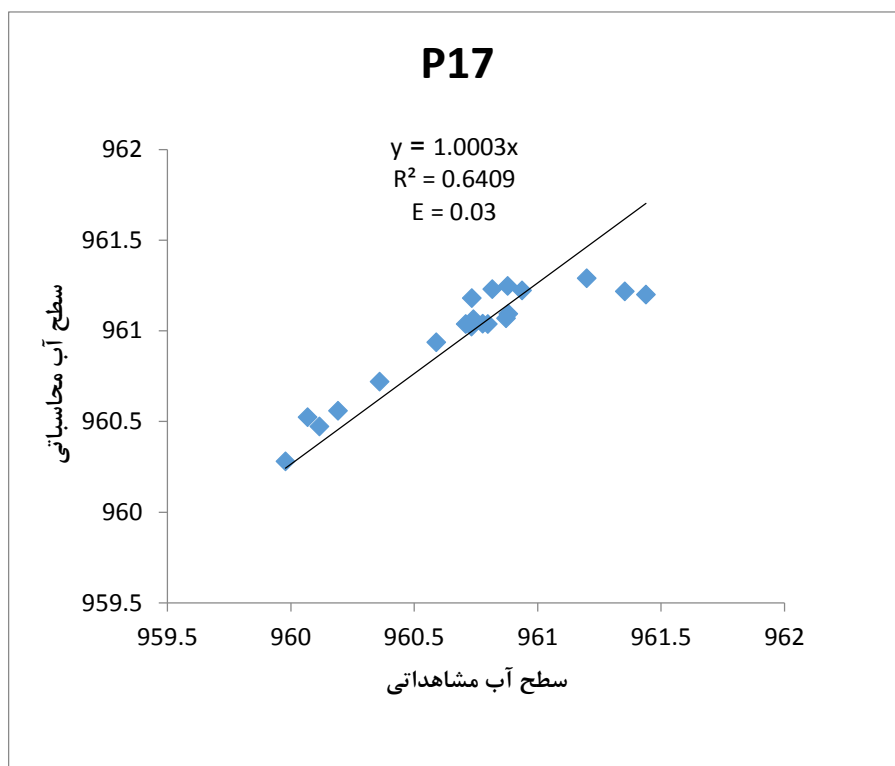
شکل ۴-۱۴: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۳، طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲)



شکل ۴-۱۵: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۸، طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲)



شکل ۴-۱۶: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۴، طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲)

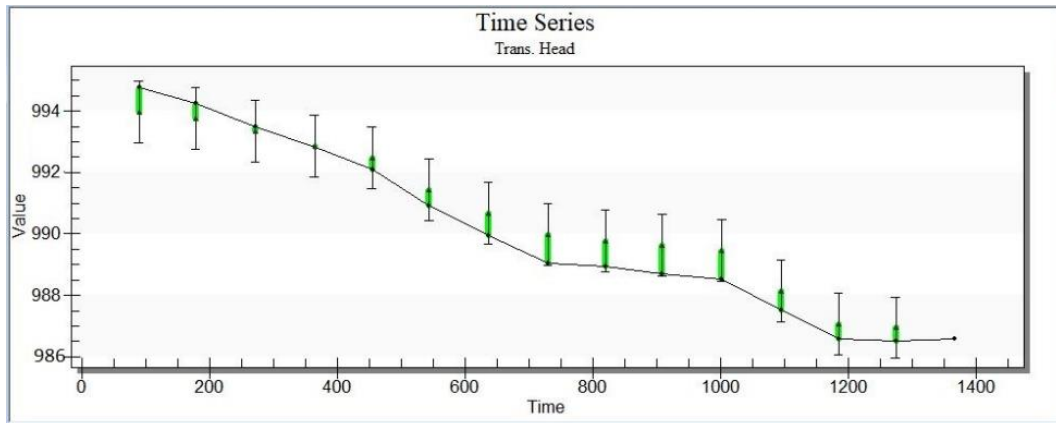


شکل ۴-۱۷: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۷، طی مرحله ناپایدار (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۲)

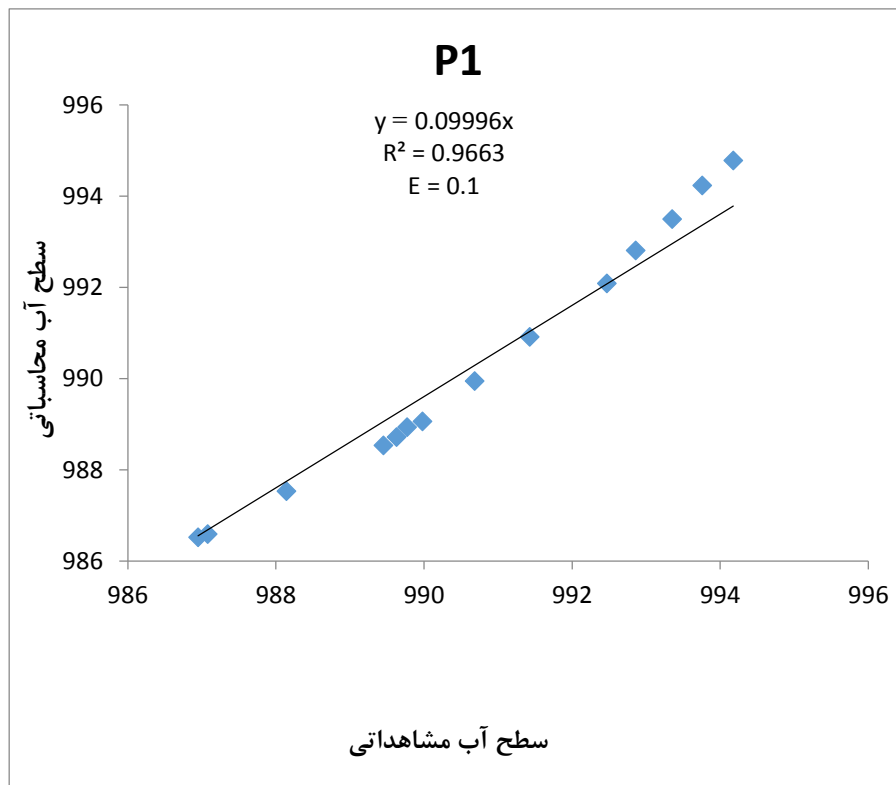
۴-۳- صحت‌سنجی

پس از واسنجی در دو حالت پایدار و ناپایدار، مدل وارد مرحله صحت‌سنجی شده و میزان تطابق آن با شرایط واقعی و صحرایی بررسی می‌شود. برای انجام این مرحله، مدل واسنجی شده در حالت ناپایدار، برای یک دوره زمانی دیگری متفاوت از دوره زمانی واسنجی ناپایدار (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶) اجرا گردیده است. در این مرحله پارامترهای هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری و شرایط مرزی، ثابت در نظر گرفته شده و همان مقداری را که در مرحله واسنجی ناپایدار استفاده شده در این مرحله نیز استفاده شده‌اند؛ اما پارامترهایی مانند میزان بارندگی متفاوت بوده و مطابق با دوره صحت‌سنجی به مدل اعمال گردیده‌اند. همچنین برای مقایسه ترسیمی مدل در مرحله صحت‌سنجی نیز مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار هیدرولیکی برای هر چاه مشاهده‌ای در زمانهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار GMS، و برای همه

چاه‌های مشاهده‌ای در هر ماه، با استفاده از نرم‌افزار اکسل در مقابل هم رسم شده‌اند؛ شکل ۴-۱۸ و شکل ۴-۱۹ به ترتیب وضعیت چاه مشاهده‌ای شماره یک طی زمانهای مختلف (طی مرحله صحت‌سنجی) و مقادیر بدست آمده برای چاه مشاهده‌ای شماره یک در پایان مرحله صحت‌سنجی، را نشان می‌دهند.

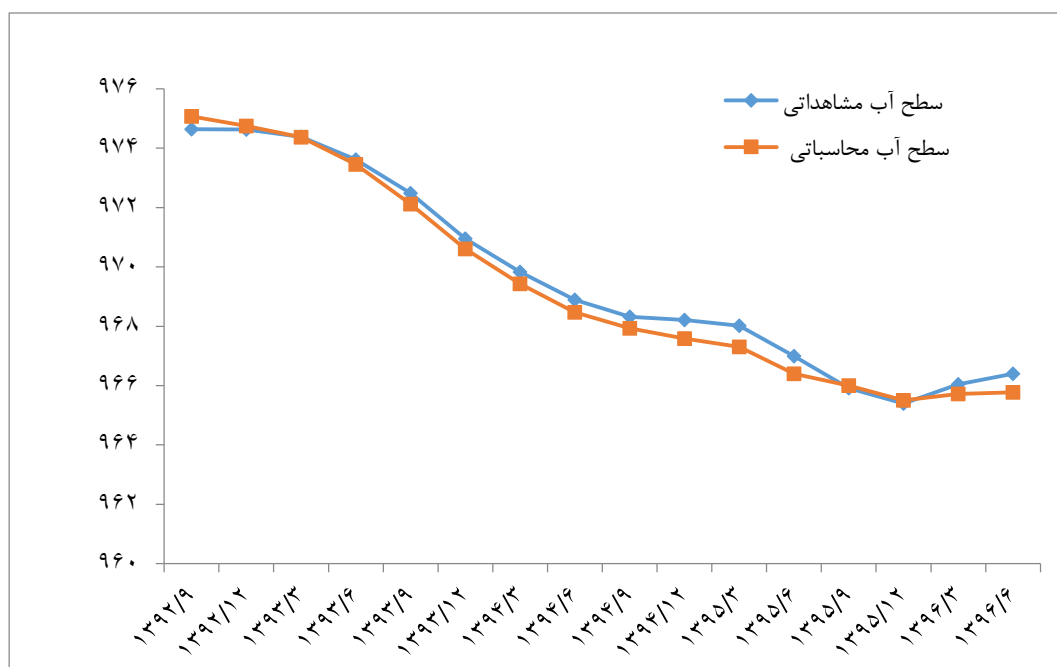


شکل ۴-۱۸: وضعیت چاه مشاهده‌ای شماره ۱ (مقایسه هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی) طی دوره صحت‌سنجی

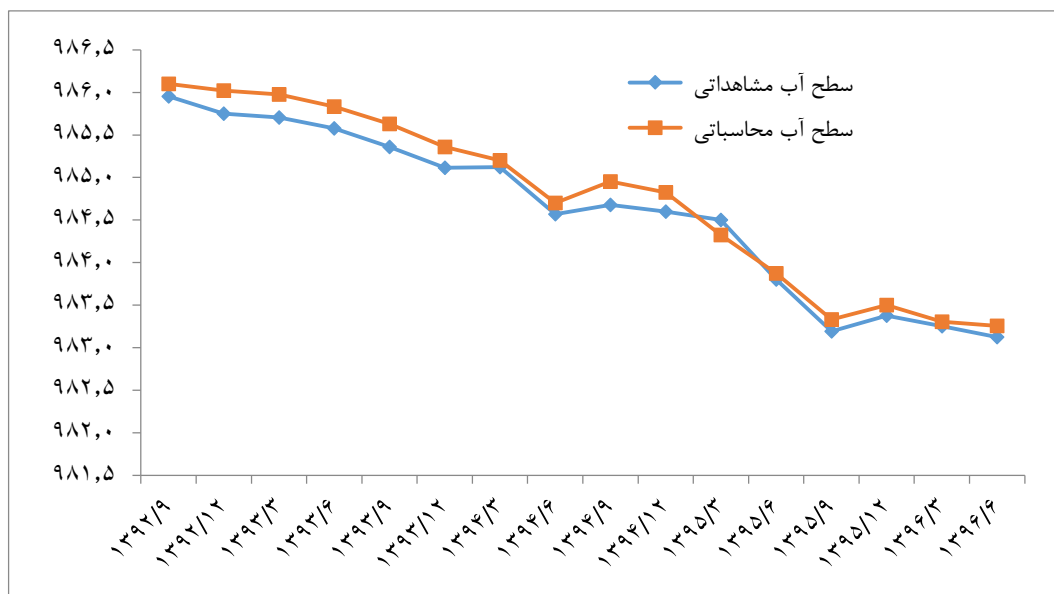


شکل ۴-۱۹: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی پیژومتر شماره ۱ طی مرحله صحت‌سنجی

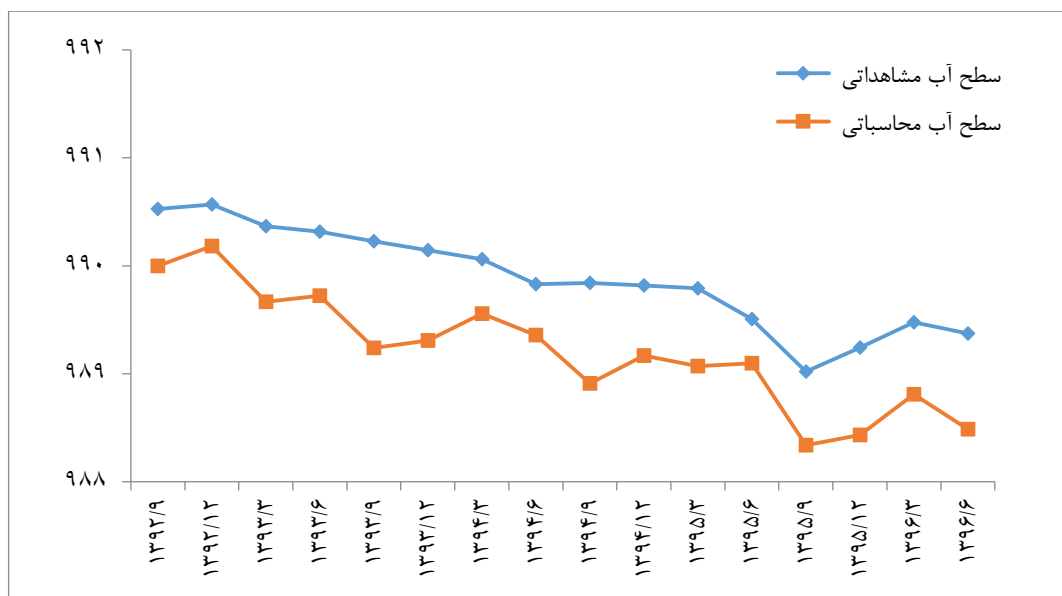
در این مرحله نیز هیدروگراف تعدادی از چاه‌های پیژومتری موجود در دشت به‌عنوان نمونه رسم و در شکل ۴-۲۰ تا شکل ۴-۲۴ نشان داده شده‌اند؛ بعد از اجرای مدل در این مرحله، نتایج نشان داد که مدل واسنجی شده در دوره ناپایدار برای دوره‌ای فراتر از آن دوره نیز قابل قبول است و خطا در محدوده مجاز قرار گرفته است. سپس شاخص‌های آماری در مرحله صحت سنجی برای ۵ پیژومتر از بین مجموع پیژومترهای بررسی شده در دشت پیاده گردید. شکل ۴-۲۵ تا شکل ۴-۲۹ مربوط به این مرحله می‌باشند. این شکل‌ها نیز نشان می‌دهند که در هر پنج پیژومتر انتخابی شاخص‌های آماری نتایج رضایت بخشی داشته‌اند. درنهایت می‌توان گفت تمامی موارد ذکرشده، گواه این مطلب است، که مدل تهیه‌شده از صحت خوبی برخوردار است و می‌توان از آن به‌عنوان مدلی که سطح آب زیرزمینی را در آینده پیش‌بینی کند استفاده کرد. از همین رو بعد از تأیید صحت مدل ساخته‌شده، از آن برای پیش‌بینی سطح آب در آبخوان موردنظر برای چند سال آینده استفاده شده است.



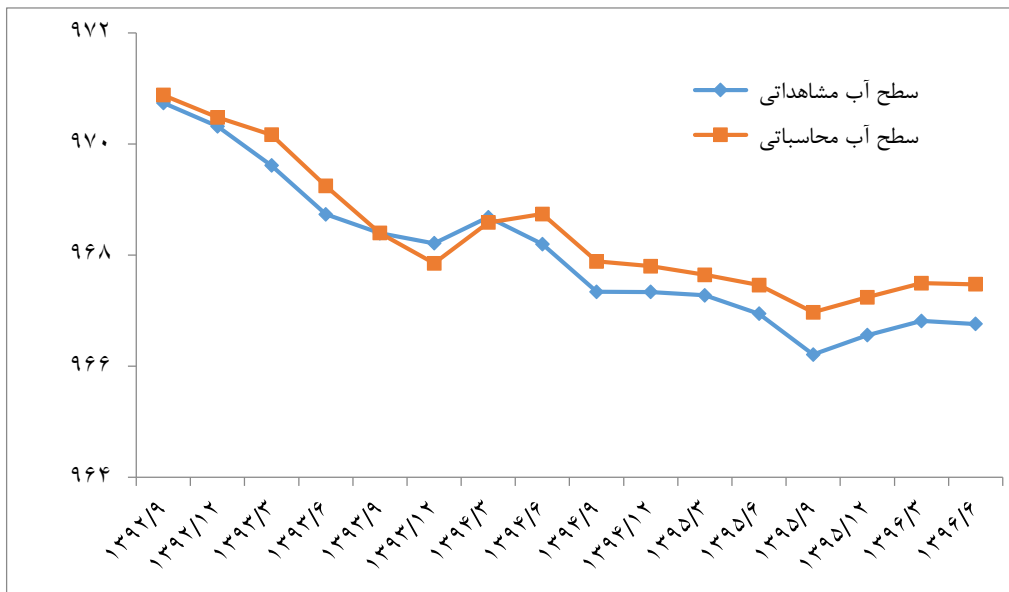
شکل ۴-۲۰: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۲، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



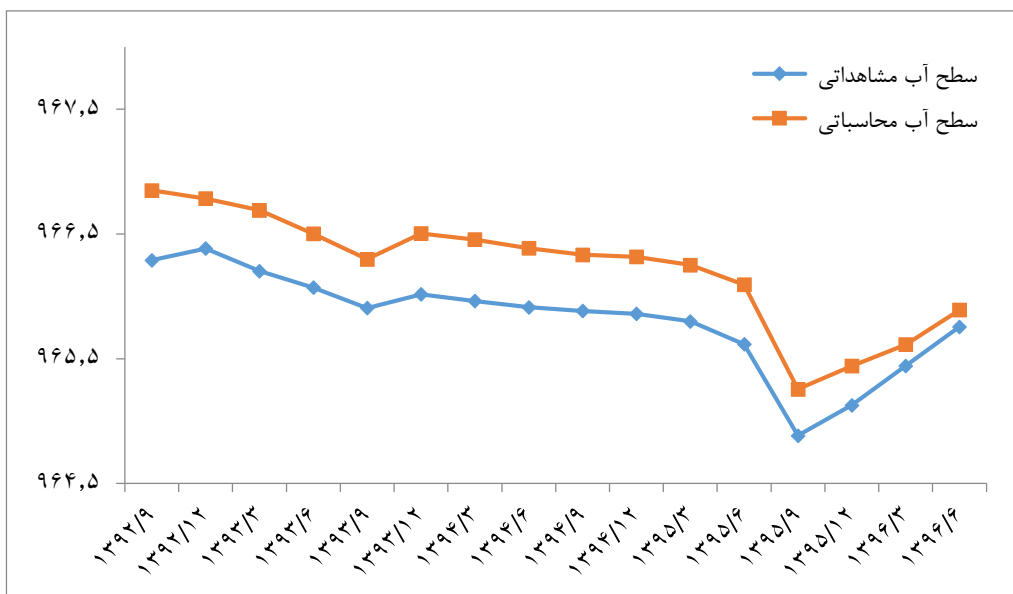
شکل ۴-۲۱: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۵، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



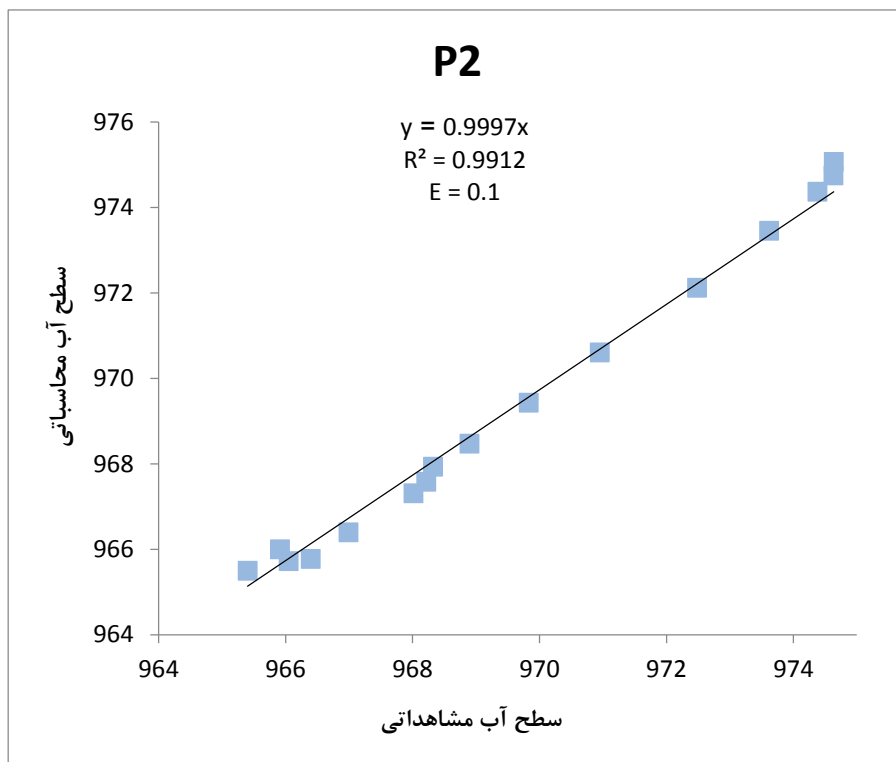
شکل ۴-۲۲: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در چاه مشاهده‌ای شماره ۷، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



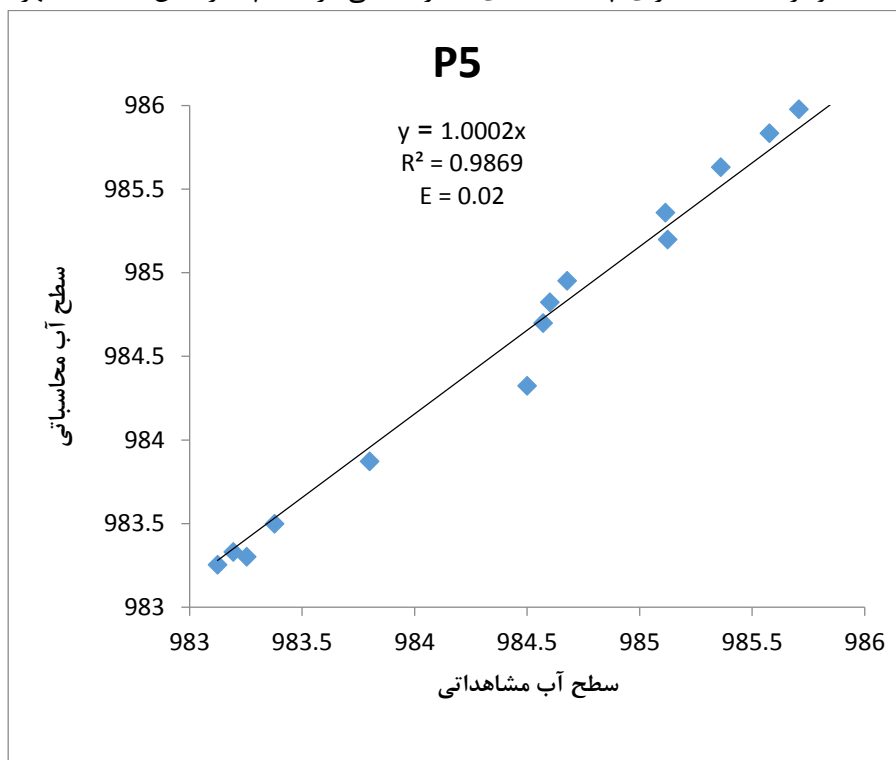
شکل ۴-۲۳: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۰، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



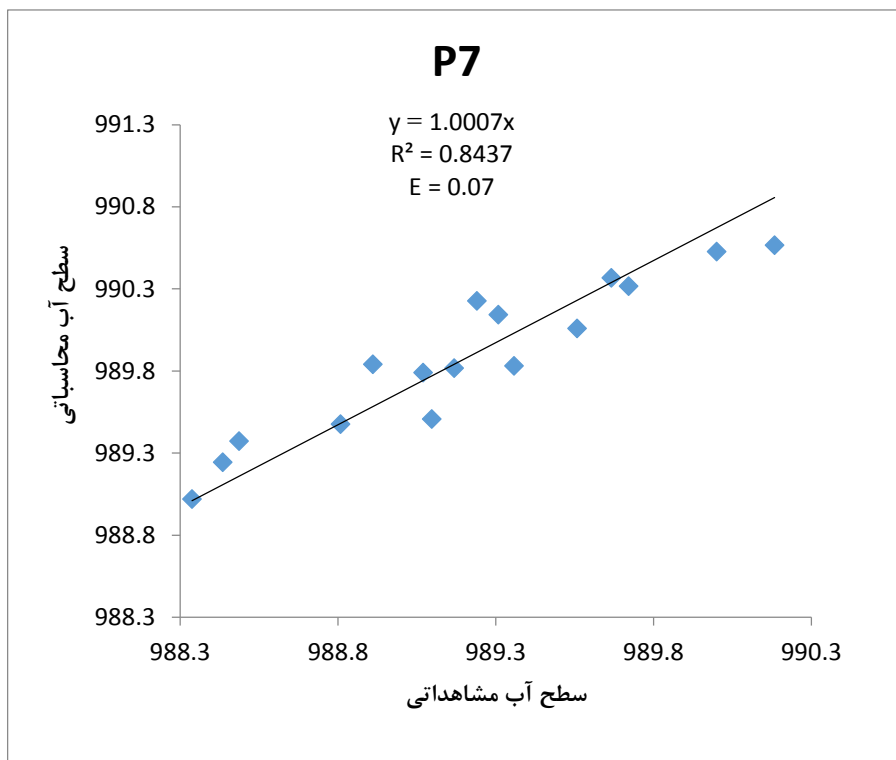
شکل ۴-۲۴: مقایسه بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در چاه مشاهده‌ای شماره ۱۵، طی مرحله صحت‌سنجی



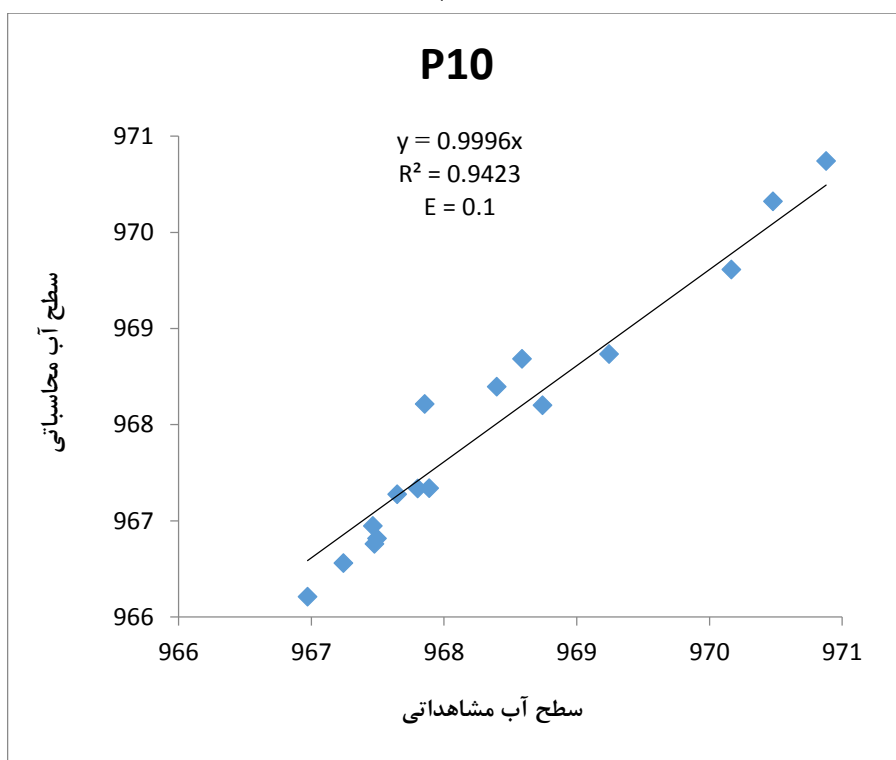
شکل ۴-۲۵: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۲ طی مرحله ناپایدار (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



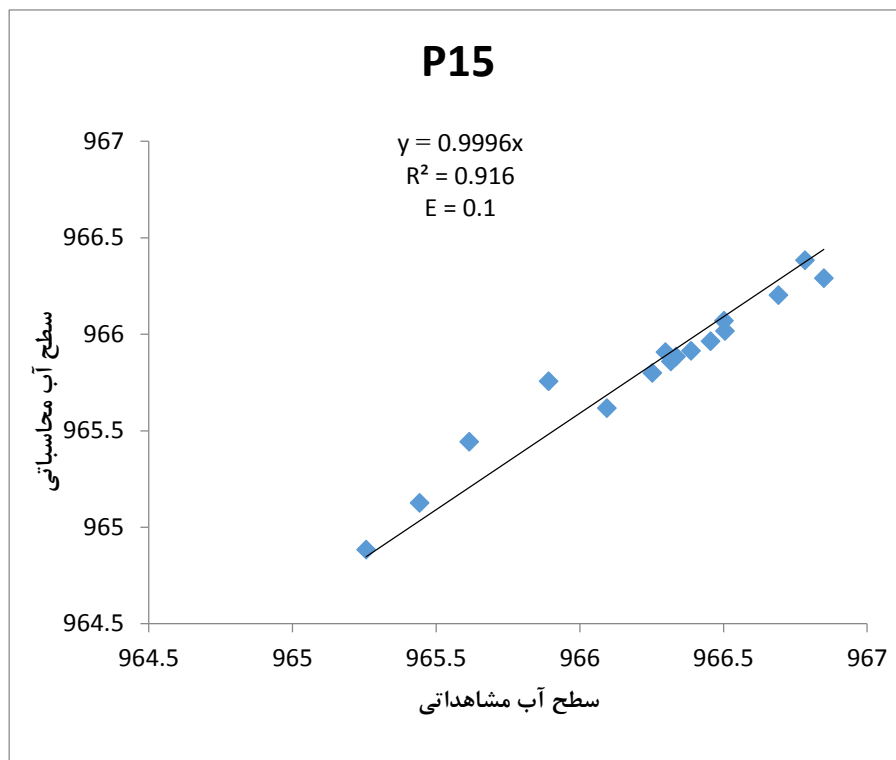
شکل ۴-۲۶: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۵، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



شکل ۴-۲۷: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۷، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



شکل ۴-۲۸: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۰، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)



شکل ۴-۲۹: نمودار یک به یک برای چاه مشاهده‌ای شماره ۱۵، طی مرحله صحت‌سنجی (آبان ۱۳۹۲ تا مهر ۱۳۹۶)

۴-۴- تحلیل حساسیت

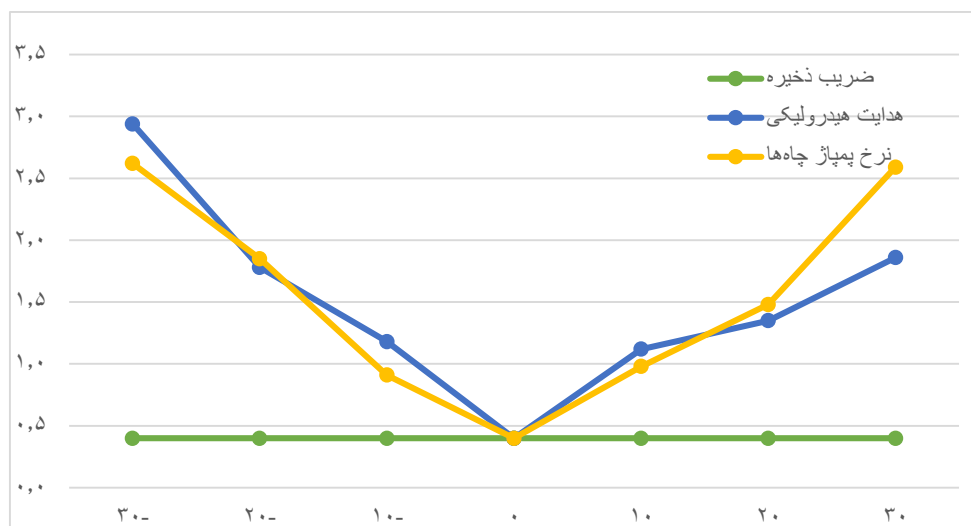
به منظور تعیین حساسیت مدل نسبت به پارامترهای به کاررفته در مدل، ابتدا مقادیر هدایت هیدرولیکی تحت شرایط پایدار به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به دو صورت افزایشی و کاهش‌ی تغییر داده شد و مدل در هر یک از این حالات اجرا گردید و مقادیر میانگین مجذور مربع خطاها مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۴-۳ مقادیر مربوط به میزان خطای ناشی از این تغییرات نشان داده شده است. در شرایط ناپایدار نیز پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد همانند دوره پایدار به دو صورت افزایشی و کاهش‌ی تغییر داده شد و مدل برای هر کدام از ۱۸ حالت فوق اجرا گردید. مقدار تغییرات RMSE ناشی از این تغییرات در جدول ۴-۴ ثبت شده است؛ همچنین شکل ۴-۳۰ نیز نتایج حساسیت سنجی حاصل از این تغییرات را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴: مقدار تغییرات خطای RMSE ناشی از تغییر هدایت هیدرولیکی

درصد تغییرات	RMSE
هدایت	
+۳۰	۳/۲۱
+۲۰	۲/۸۷
+۱۰	۱/۷۲
بدون تغییر (۰)	۰/۵۷
-۱۰	۱/۷۵
-۲۰	۴/۳۴
-۳۰	۶/۳۶

جدول ۴-۴: مقدار تغییرات خطای RMSE ناشی از تغییر هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری

درصد تغییرات	-۳۰	-۲۰	-۱۰	بدون تغییر (۰)	+۱۰	+۲۰	+۳۰
هدایت هیدرولیکی	۲/۹۴	۱/۷۸	۱/۱۸	۰/۳۹۹	۱/۱۲	۱/۳۵	۱/۸۶
ضریب ذخیره	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹	۰/۳۹۹
تخلیه از چاه‌ها	۲/۶۲	۱/۸۵	۰/۹۱	۰/۳۹۹	۰/۹۸	۱/۴۸	۲/۲۶



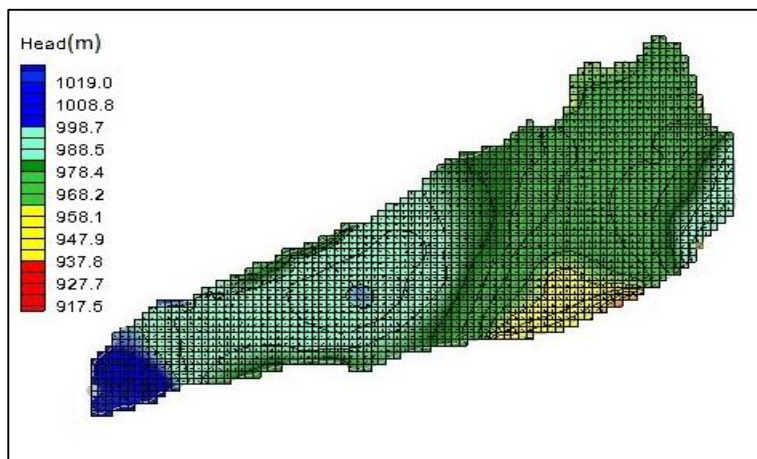
شکل ۴-۳۰: حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری طی دوره ناپایدار

پس از اجرای مدل در شش حالت فوق، مشاهده شد که بیشترین خطای RMSE مربوط به کاهش هدایت هیدرولیکی به اندازه ۳۰- درصد می‌باشد؛ با توجه به جدول ۴-۳ می‌توان به این مطلب پی برد که مدل در حالت پایدار نسبت به کاهش هدایت هیدرولیکی بیشترین حساسیت را دارد. همچنین با بررسی میزان خطای RMSE می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار بهینه‌شده هدایت هیدرولیکی که در طی مرحله واسنجی پایدار به دست آمده است؛ بهترین حالت اجرای مدل می‌باشد که این امر نیز شاهدهی برای تقویت درستی فرایند واسنجی و صحت و اعتبار مدل مذکور می‌باشد. در حالت ناپایدار، تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری انجام گرفته است (شکل ۴-۳۰). در این حالت، مدل، بیشترین حساسیت را نسبت به هدایت هیدرولیکی و بعد از آن نسبت به تخلیه از چاه‌ها نشان می‌دهد؛ به طوری که با کاهش مقدار هدایت هیدرولیکی به اندازه ۳۰ درصد، بیشترین میزان خطای RMSE، به ثبت رسیده است؛ همچنین با کاهش مقدار تخلیه از چاه‌ها به میزان ۳۰ درصد نیز خطای RMSE بیشتر می‌شود. در رابطه با سایر پارامترها نیز، مدل نسبت به آنها عاری از حساسیت نیست.

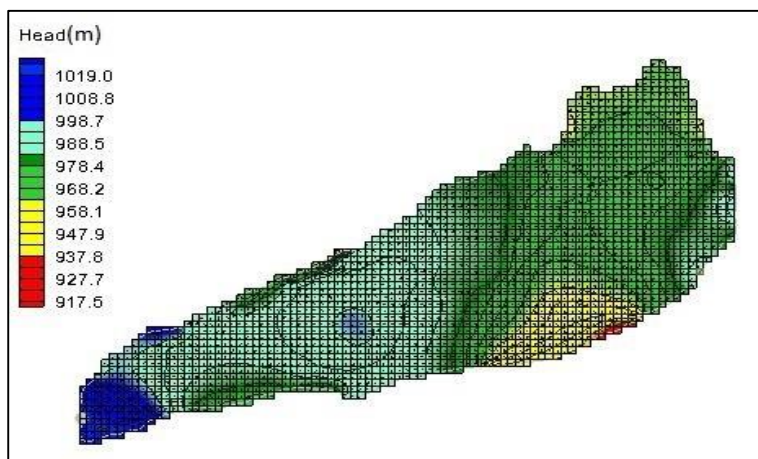
بنابراین آنچه از این بخش را نشان می‌دهد و به RMSE قابل ذکر می‌باشد این مطلب است که مدل واسنجی شده، کمترین میزان خطای نوعی می‌توان گفت صحت آن نیز قابل تأیید می‌باشد.

۴-۵- پیش‌بینی شرایط آینده

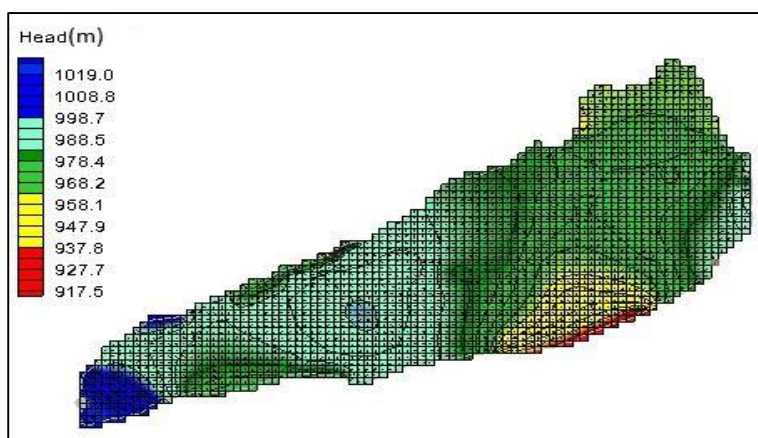
پس از انجام صحت‌سنجی مدل واسنجی شده، طی مرحله‌ی پس‌اب‌بینی، مدل مذکور، مهیای امر پیش‌بینی برای محدوده‌ی زمانی فراتر از دوره‌ی پیش‌بینی مدل اصلی گردیده است؛ لذا طی یک سناریو که با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی بوده، فرایند پیش‌بینی سطح آب در آبخوان مورد نظر، با استفاده از مدل، برای یک دوره زمانی ۴ ساله (مهر ۱۳۹۷ تا مهر ۱۴۰۰) قابل اجرا گردیده است و نتایج حاصل از این پیش‌بینی، طی یک سناریو به صورت منحنی‌های هم‌تراز سطح آب زیرزمینی ارائه شده است (شکل‌های (۴-۳۱) تا (۴-۳۴)).



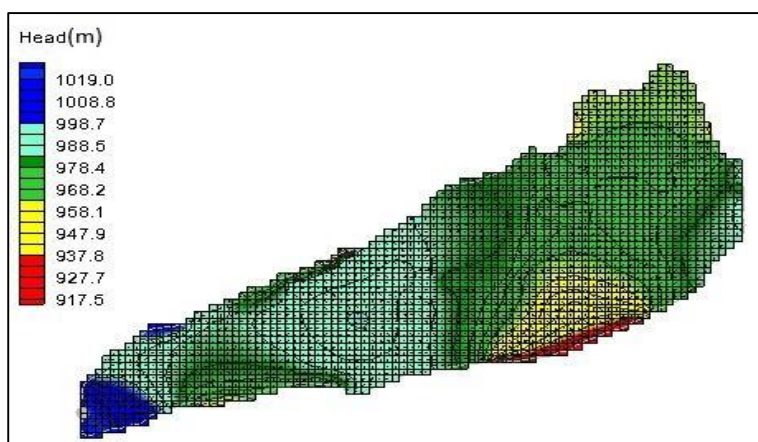
شکل ۴-۳۱: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۳۹۷، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی



شکل ۴-۳۲: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۳۹۸، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی



شکل ۴-۳۳: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۳۹۹، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی

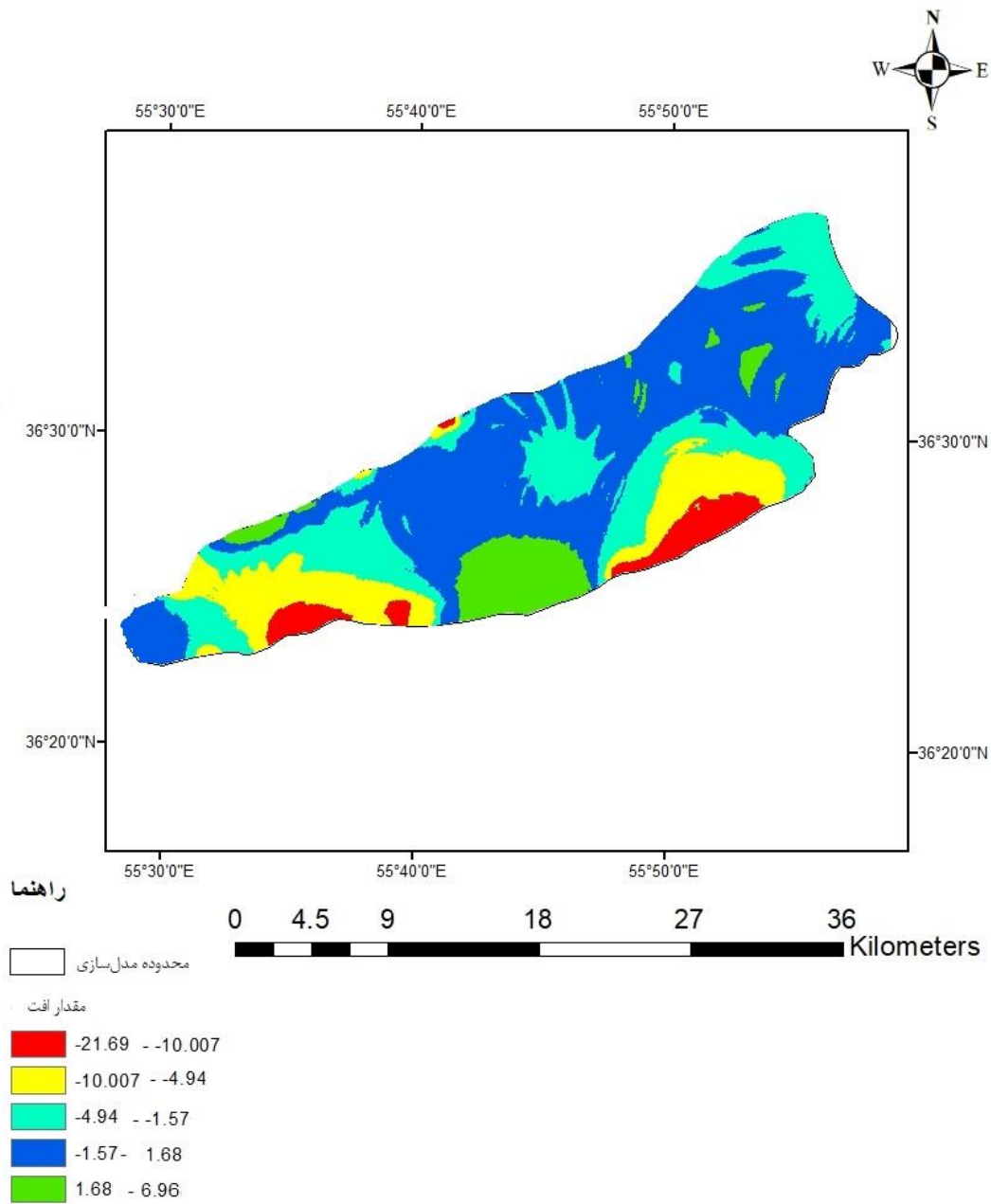


شکل ۴-۳۴: نقشه تراز سطح آب در مهرماه ۱۴۰۰، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی

همچنین برای تعیین وضعیت میزان افت سطح آب در آبخوان در انتهای دوره‌ی پیش‌بینی، نقشه هم‌افت سطح آب طی دوره پیش‌بینی با استفاده از نرم‌افزار GIS رسم شده است (شکل ۴-۳۵). به‌منظور رسم نقشه‌ی هم‌افت، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار GMS، اقدام به رسم خطوط تراز به فاصله دو متر از یکدیگر شد و سپس با استفاده از ابزار Grid و انتخاب گزینه‌ی Layer Contours Arcs این خطوط تراز به صورت Arcs تبدیل گردیده و آنگاه با استفاده از ابزار 2D Scatter Point این خطوط که به صورت Arcs می‌باشد؛ با ابزار 2D Scatter Point به کل محدوده مدل‌سازی تعمیم داده شده است و سپس از آن، خروجی به‌صورت شیپ‌فایل ذخیره گردیده و با انجام درون‌یابی در نرم‌افزار GIS، فایل رستری آن ساخته شده است؛ آنگاه با استفاده از ابزار Raster Calculator اختلاف آنها محاسبه گردیده و درنهایت، نقشه‌های هم‌افت سطح آب در سال‌های موردنظر (مهرماه ۱۳۹۷ تا مهرماه ۱۴۰۰) به‌دست آمده است.

با توجه به نتایج حاصل از پیش‌بینی و مقدار افت در قسمت‌های مختلف آبخوان شکل ۴-۳۱ تا شکل ۴-۳۴، طی ۴ سال آینده (۱۴۰۰-۱۳۹۷) با فرض ادامه‌ی روند کنونی برداشت آب از آبخوان، در محدوده مورد مطالعه، انتظار افزایش میزان افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۱ تا ۵ متر در قسمت‌های مختلف آبخوان وجود دارد؛ به‌طوری‌که بیشترین افت، مربوط به قسمت‌های مرکزی تا شمال شرقی آبخوان (قسمت آبی‌رنگ شکل ۴-۳۵)، است؛ دلیل این افت در این مناطق از آبخوان می‌تواند وجود چاه‌های بهره‌برداری و تخلیه بالا در این مناطق باشد؛ در قسمت‌های جنوب و جنوب غربی آبخوان (قسمت‌های قرمز و زردرنگ شکل ۴-۳۵) به نظر می‌رسد به دلیل بالا بودن ارتفاع در این مناطق نسبت به سایر مناطق و همچنین شیب زیاد در این مناطق، نسبت به مناطق سبزرنگ شکل ۴-۳۵ باعث می‌شود آب کمتری در این مناطق نفوذ کند و برداشت آب

با استمرار همین روند، باعث شود افت بیشتری در این مناطق اتفاق بیفتد.



شکل ۴-۳۵: نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی طی دوره پیش‌بینی (۱۳۹۷-۱۴۰۰)، با فرض استمرار روند کنونی برداشت از منابع آب زیرزمینی

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و کارهای انجام شده در فصول قبل، نسبت به ارائه نتایج به صورت تلخیص و طبقه‌بندی شده، اقدام گردیده است؛ تجمیع و تلخیص نتایج می‌تواند در درک هرچه بهتر کارهای انجام گرفته مؤثر باشد. اهم نتایج حاصل از تحقیق بصورت زیر می‌باشد. در ادامه نیز جهت انجام هرچه بهتر مطالعات بعدی و نیز بهبود شرایط آبخوان، چند پیشنهاد با توجه شناخت منطقه و آشنایی با شرایط آبخوان ارائه گردیده است.

۵-۲- نتایج

نتایج نشان‌دهنده دستاوردهایی می‌باشد که در جهت اهداف اصلی تحقیق بوده و در واقع پاسخ‌دهنده‌ی سؤالات اصلی تحقیق و تعیین صحت و سقم فرضیه‌های تحقیق می‌باشد که در ادامه به‌طور خلاصه ارائه گردیده است.

۱. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد، طی ۴ سال آتی، در جنوب و جنوب غربی

دشت شاهد بیشترین افت خواهیم بود (۱ تا ۵ متر قسمت‌های قرمز و زرد رنگ شکل

۴-۳۵).

۲. تطابق هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در مرحله‌ی صحت‌سنجی دلیلی بر صحت

مدل ساخته شده بوده و همچنین با توجه به تأیید صحت مدل، می‌توان با اطمینان

نسبی به نتایج مدل در مورد وضعیت آینده‌ی آبخوان اعتماد نمود.

۳. برای انجام سناریوهای مختلف مدیریتی می‌توان از مدل ساخته شده استفاده نمود.

۴. تحلیل حساسیت مدل شبیه‌ساز در دوره‌ی پایدار نشان می‌دهد که مدل، بیشترین

حساسیت (بیشترین خطای RMSE) را نسبت به کاهش ۳۰ درصدی هدایت

هیدرولیکی داشته است.

۵. تحلیل حساسیت مدل شبیه‌ساز در دوره‌ی ناپایدار نشان می‌دهد که مدل، بیشترین

حساسیت (بیشترین خطای RMSE) را نسبت به کاهش ۳۰ درصدی هدایت

هیدرولیکی و بعدازآن به کاهش ۳۰ درصدی تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری داشته است.

۶. مقدار بهینه ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان مذکور، طی دوره واسنجی پایدار به

دست آمده است؛ همچنین با بررسی میزان خطای RMSE، می‌توان به این مطلب پی

برد که مقادیر بهینه هدایت هیدرولیکی که طی مرحله واسنجی پایدار به دست آمده

است بهترین حالت اجرای مدل می‌باشد.

۷. مقدار بهینه ضریب آبدهی ویژه آبخوان مذکور، طی دوره واسنجی ناپایدار به دست

آمده است؛ همچنین با بررسی میزان خطای RMSE، می‌توان به این مطلب پی برد

که مقادیر بهینه آبدهی ویژه که طی مرحله واسنجی ناپایدار به دست آمده است بهترین

حالت اجرای مدل می‌باشد.

۸. تطابق هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف محاسباتی در مرحله صحت‌سنجی نشان

از صحت مدل ساخته‌شده را دارد.

۳-۵- پیشنهادات

در این بخش پیشنهاداتی جهت بررسی دقیق‌تر و بهتر شرایط آبخوان و دیگر جنبه‌های مرتبط با

مدل‌سازی ارائه شده است. این پیشنهادات که در ادامه، بیان شده است؛ نتیجه‌ای از مطالعات

صورت گرفته و تجربه به دست آمده حین تحقیق می‌باشد و می‌تواند زمینه‌ساز مطالعات تکمیلی

در دشت میامی و مطالعات بعدی باشد.

۱. از آنجایی که آزمایشات پمپاژ، دقیق‌ترین روش‌های تعیین ضرایب هیدرودینامیکی

(هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره) آبخوان بوده، و نیز با توجه به اهمیت پارامترهای

هیدرودینامیکی در مدل‌سازی، پیشنهاد می‌گردد تا نسبت به انجام آزمایشات پمپاژ بیشتر و دقیق‌تر، جهت تعیین ضرایب مذکور اقدام گردد.

۲. با توجه به اینکه لایه چاه‌های بهره‌برداری یکی از لایه‌های مهم در مدل مفهومی می‌باشد و کمبود داده‌های حاصل از تخلیه این چاه‌ها می‌تواند بر روی نتایج مدل تأثیر منفی بگذارد؛ پیشنهاد می‌شود که در اندازه‌گیری پارامترهای مذکور دقت بیشتری به عمل آید و آماربرداری از این منابع به صوت ماهانه و یا حداقل، سالانه صورت گیرد.

۳. با توجه به اینکه در این پژوهش به بررسی مدل کمی شبیه‌ساز آبخوان پرداخته شده است؛ پیشنهاد می‌شود از آن، برای ساختن مدل کیفی آبخوان استفاده کرده و با توجه به نتایج حاصل از آن نسبت به مدیریت آبخوان اقدام شود.

۴. طبق پروتکل مدل‌سازی پیشنهاد می‌شود طی چند سال آینده و بعد از گذشت دوره پیش‌بینی، نسبت به بازبینی مجدد این مدل اقدام شود تا جزئیات عملکرد مدل با دقت بیشتری بررسی گردد و نسبت به ارتقای آن و همچنین رفع خطاهای احتمالی موجود در طراحی آن، طی آخرین گام مدل‌سازی اقدام گردد.

منابع

- آقاباتی، ع.، زمین‌شناسی ایران، تهران، مرکز نشر سمرا/ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۲.
- اسدی، محمدعلی ریگی، سالار اسدی‌نسب، و مراد کاکي، پیش‌بینی شرایط آینده آبخوان اسپکه - چاه هاشم به کمک کد Modflow، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۳۹۲.
- امیری، ر.؛ سید یحیی میرزایی؛ منوچهر چیت‌سازان، و آرش ندری، بررسی وضعیت آبخوان دشت میداود- دالون تحت اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل GMS، اولین همایش ملی مدیریت آب با رویکرد مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی، همدان، ۱۳۹۵.
- امیری، س.، و سعید شعبانلو، مدل‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی با مدل Modflow و کد کامپیوتری MT3D، اوین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار، اراک، ۱۳۹۴.
- پرهیزکار، سکینه؛ خلیل اژدری؛ صمد امامقلی زاده و غلامعباس کاظمی، ۱۳۹۳، بررسی پدیده نشست زمین در جنوب دشت دامغان، دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد
- امینی، ر.، رامین فضل‌اولی و علیرضا عمادی، مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در حالت غیرماندگار با مدل ریاضی GMS (مطالعه موردی: آبخوان دشت بابل-بابلسر)، هفتمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، موسسه آموزش عالی مهر اروند، ۱۳۹۶.
- بهرامی، م.؛ سمیرا بذرکارشمس‌آبادی؛ فاطمه باقری، و فریده دهخدايي، به‌کارگیری مدل Modflow در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تعیین افت سطح ایستابی در دشت فیروزآباد فارس، یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، یاسوج، ۱۳۹۵.
- چیت‌سازان، م. و حیدرعلی کشکولی، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی (ترجمه)، تألیف: نون کرسیک، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ۱۳۸۱.

- حسینی، ف. و ناصر اسدی، استفاده از مدل ریاضی برای پیش‌بینی سطح آبخوان دشت خانمیرزا استان چهارمحال بختیاری، اولین همایش مدیریت تقاضا و بهره‌وری مصرف آب، همدان، ۱۳۹۵.
- درویش‌زاده، ع. زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم، تهران، امیرکبیر، ۱۳۸۹.
- رحیمی، ح. ر.، سعیدرضا خداشناس و مرتضی رحیمی، بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز میامی (شرق شاهرود)، اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، جزیره کیش، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، ۱۳۹۱.
- سان‌احمدی، ب.، عزت‌اله عامره‌ای، سیامک امیری و سعید شعبانلو، شبیه‌سازی کمی آبخوان دشت روانسر با مدل ModFlow، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق، اراک، ۱۳۹۶.
- سرخیل، حبیب‌الله؛ مهدی سرایی تبریزی و حسین بابازاده، ۱۳۹۶، مدل سازی بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS (مطالعه موردی: آبخوان شهریار)، سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب)، کرج، موسسه تحقیقات خاک و آب
- سیدی، ع.؛ بهرزا نورمند، رامین عبدالله کوخی، و ارشاد رضانی، مدل عددی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت کامیاران در حالت ناماندگار، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب، کردستان، ۱۳۹۵.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان، گزارش ممنوعیت دشت میامی، ۱۳۹۶.
- شمسایی، ا. هیدرولیک جریان آب در محیط متخلخل، دانشگاه امیر کبیر، جلد دوم، ۱۳۷۶.
- عباسی، ف. و غلامحسین کرمی، بررسی اثر واحدهای سنگی بر قنات کیفیت آب در میامی، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، هیدروژئولوژی، ۱۳۸۸.
- عباسی، ف. و غلامحسین کرمی، بررسی خصوصیات کمی و کیفی قنات های منطقه میامی،

- شاهرود، نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، آبهای زیرزمینی، ۱۳۸۹.
- علیزاده، ا.، اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، دانشگاه امام رضا (ع)، ویرایش هفتم، ۱۳۹۴.
- قدرتی، م. و فاطمه برزگری، مدل‌های ریاضی آبهای زیرزمینی: آموزش کاربردی مدل GMS 7.1، تهران، سیمای دانش، ۱۳۹۵.
- کرد، خ.، هیوا علمیزاده و حکیمه امانی‌پور، مدل سازی نوسان آب‌های زیرزمینی در ارتباط با ژئومورفولوژی دزفول - اندیمشک، سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست، موسسه آموزش عالی مهر اروند، ۱۳۹۵.
- کردوانی، پ.، ژئوهیدرولوژی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۴.
- کوچک‌زاده، م. ح.، و فرزین نصیری‌صالح، تعیین محدوده و نوع مرزهای آبخوان دشت سیلاخور در استان لرستان و ارزیابی صحت آن‌ها با استفاده از Modflow، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل، ۱۳۹۳.
- رضا لاله زاری و رضا کراچیان (۱۳۹۷) مدل‌سازی کمی و کیفی جریان آب زیرزمینی در آبخوان شهرکرد، مجله آبخوان و قنات، جلد ۱، شماره ۱، ص ۳۷ - ۲۶.
- محمودیان شوشتری، م.، هیدرولیک آب‌های زیرزمینی، اهواز، دانشگاه چمران، ۱۳۹۲.
- موسوی، س. م.؛ سعید علی‌محمدی، و علی نورزاد، بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی MODFLOW- WEAP- PSO، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، کردستان، ۱۳۹۵.
- نظری، ر. و عطاءالله جودوی، مدل‌سازی کاربردی جریان و انتقال آلاینده در آبخوان، مشهد، آفتاب عالمتاب، ۱۳۹۳.
- نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دشت میامی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۷.

- وزارت نیرو، راهنمای تهیه مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی، ۱۳۸۵.
- یگانه، ه.، فرج‌الله فردوست و غلامحسین کرمی، بررسی غلظت عناصر سنگین در رسوبات آبراهه‌ای دشت میامی، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۰، الف.
- یگانه، ه.، فرج‌الله فردوست و غلامحسین کرمی، بررسی میزان فلوئور در منابع آب شرب میامی، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۰، ب.

- Abdulghani, H. A., and Thair, A.T.M., Simulation and Prediction of Groundwater Paths and Flow Vectors at Mosul City, 2006.

- Anderson, M. P., and Woessner, W.W., Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press, 1992.

- Arlai, P., Koch, M., Koontanukulvong, Embedding an Optimization Module Within a 3D Density Dependent Groundwater and Solute Transport Model to Determine an Effective Groundwater Management Scheme in the Bangkok Aquifers System, ASIMMOD, Chiang Mai, Thailand, 2007.

- Basil, T.L. Long-Cang, S, "GroundWater Overdraft and the Impact of Artificial Recharge on GroundWater Quality in a Cone of Depression, Jining, China," International Water Resources Association, Vol. 34, No. 4, pp.468-483. (2009).

- Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W., Applied Hydrogeology, Mcgraw-Hill Book Company, 1988.

- Domenico, P. A. and Schwartz, F. W., Physical and Chemical Hydrogeology, Wiley & Sons, 1998.

- Fetter, C. W., Applied Hydrogeology, Fourth Edition, New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

- Miller, T., Simulation of Groundwater Flow in an Unconfined Sand and Gravel Aquifer at Maratho, U.S.G.S, 2000.
- Mutsa Masiyandima ,Isobel Van der Stoep ,Tendayi Mwanasawani , Shelton C. Pfpajena, Groundwater management strategies and their implications on irrigated agriculture: the case of Dendron aquifer inNorthern Province, South Africa, Physics and Chemistry of the Earth 27, p.p 935–940, 2002
- Naseem us Saba, Rashid Umar, Shakeel Ahmed. (2016). Assessment of Groundwater Quality of major Industrial City of central Ganga plain, Western Uttar Pradesh, India Through Mass Transport Modeling Using Chloride as Contaminant. Groundwater for Sustainable Development
- Pinder, G. F. and Celia, M. A., Sub Surface Hydrology, John Wiley & Sons, 2006.
- Todd, DK., and Mays, LW., Groundwater Hydrology, John Wiley & Sons, 2005.
- Wang, H.F. and Anderson, M. P., Introduction to Groundwater Modeliing, New York: Academic Press, 1995.
- Weiss,M., and Gvirtzman ,H., Estimating Groundwater Recharge using flow models of erched Karstic Aquifers, Groundwater, vol.45, N0.6, pp 761 – 773, 2007.
- Xu, X., Hua, H.G., Yi, Q.Z. Integrating MODFLOW and GIS Technologies for Assessing Impacts of Irrigation Management and Groundwater Use in the Hetao Irrigation District: Yellow River Basin, Sci China Ser E-Tech Sci, 52, 11, 3257-3263, 2009.
- Yaouti, F.EL . , Mandour, A.EL., Khattach, D., Benavente, J. and Kaufmann, O., Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study, Applied Geochemistry, 24(1), 2009, pp. 16-31 .
- Yidana, S.M., Ophori, D., Groundwater Resources Management in the Afram Plains Area Ghana, KSCE Journal of Civil Engineering, 12, 5, 349-357, 2008.

Abstract

Miami Plain is one of the most important watersheds in Semnan province. In recent years, due to excessive withdrawal of groundwater resources, groundwater levels in the aquifer of the plain have fallen. For this reason, it is essential to consider the management of groundwater exploitation as a principle in water resource planning. In this study, the simulation of the aquifer of the Miami plain using GMS software has been done. The simulation of the aquifer was done using available data and information from the plain in the month of 2007 as the sustainable month. Also the data from October 2008 to October 2013 was used as the unstable state. Based on these data, the aquifer mathematical model of the plain was prepared and calibrated. The validation of the model was carried out using data from October 2013 to September 2017. The results of validation as well as statistical indices showed a high correlation between the simulated values of the model and the actual measured values. After verifying the model, in a scenario assuming the continuation of the current withdrawal of groundwater resources, the prediction of the groundwater level for the period of 2013-2017 was done. The results of the water level prediction showed that with the assumption of continuity the current water withdrawal from the aquifer, the groundwater level will fall from 1 to 5 meters in different parts of the aquifer. The highest drop will be in the central to northeast parts of the aquifer.

Keywords: Miami plain, GMS, Simulation of aquifer, Modflow, Make numerical model



Shahrood University of Technology

**Faculty of Agriculture
M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering**

**Modeling of quantitative changes in groundwater of Miami plain
using GMS model**

Ali Ezzati

Supervisors:

Dr. Khalil Azhdary

Dr. Mehdi Delagandi

Advisors:

Hasan Goli

Mehdi Rahimian

September 2018