

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

گروه زمین شناسی زیست محیطی و آب شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

مدلسازی ریاضی آبخوان میامی در استان سمنان

دانشجو

سمانه محمدی

اساتید راهنما

دکتر غلامحسین کرمی

دکتر هادی جعفری عظیم آبادی

زمستان ۱۳۹۱

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم

گروه : آب شناسی و زیست محیطی

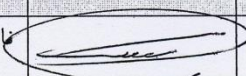
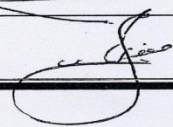
پایان نامه کارشناسی ارشد خانم

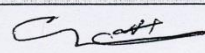
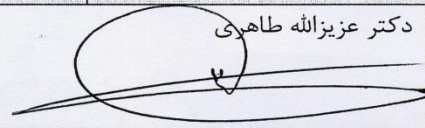
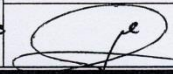
سمانه محمدی

تحت عنوان:

مدل سازی ریاضی آبخوان میامی در استان سمنان

در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد آب شناسی مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		دکتر غلامحسین کرمی
	نام و نام خانوادگی :		دکتر هادی جعفری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر عزیزالله طاهری		دکتر غلامعباس کاظمی
			دکتر صمد امامقلی زاده



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

شماره: ۱۱۵۹۱۹۰

تاریخ: ۲۳/۱۱/۱۳۹۹

ویرایش:

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمانه محمدی رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی تحت عنوان مدل سازی ریاضی آبخوان میامی در استان سمنان که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ قبول (با درجه : بسیار ضعیف امتیاز ۱۸-۱۷)	☐ دفاع مجدد	☐ مردود
---	------------------------------------	--------------------------------

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۲- استاد راهنما دوم	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عزیزالله طاهری	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامعباس کاظمی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر صمد امامقلی زاده	استادیار	

رئیس دانشکده:

خداوندا

به ماتوفیق تلاش در شکست، صبر در نوسیدی، رفتن بی همراه، جهاد بی سلاح، کار بی پاداش، فداکاری در سکوت، دین بی دنیا،

مذهب بی عوام، عظمت بی نام، خدمت بی نان، ایمان بی ریا، خوبی بی نمود، کتاختی بی حامی، مناعت بی غرور، عشق بی

هوس، تنهایی در انبوه جمعیت و دوست داشتن بی آنکه دوست بداند را عنایت فرما.

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپرهای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده

ام. برسم.

تقدیم بہ ہمسر عزیزم

کہ سایہ مہربانیش سایہ ساز زندگیم می باشد، او کہ اسوہ صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برائیم تسهیل نمود.

شکر و قدردانی

حد و پاس آن خدایی کہ بہ ما عقل و ادو از طریق عقل بہ ما علم آموخت. خداوند بجان را حمد گویم کہ جز او معبودی نیست و تمام ستایش ما مخصوص اوست. در دو خالتی را کہ بہ من توفیق داد تا در زمرہ یونندگان علم و معرفت باشم. باشد کہ این مجموعہ چہ چند ناچیز، قطرہ ای بر دریای بی کران علم بنماید. بی شک انجام این تحقیق بدون راہنمایی ہای بزرگوارانی کہ در طی مسیر مرایاری نمودند، میسر نبود. در این راہ خود را بدیون اساتید کرامتقدیری می دانم کہ علم و اخلاق را بہ من آموختند. از زحمت بی دریغ و خالصانہ اساتدان کرامتقدرم آقایان دکتر غلامحسین کرمی و دکتر ہادی جعفری کہ راہنمایی این پایان نامہ را بر عہدہ داشتند و با راہنمایی ما و مساعدت ہای ارزندہ خود در تمامی مراحل انجام این پژوهش دلسوزانہ مرایاری نمودند، شکر و قدردانی می نمایم و مراتب قدردانی خود را از اساتید کرامتقدرم آقایان دکتر کاظمی و دکتر امامقلی زادہ کہ داورانی این پایان نامہ را بر عہدہ داشتند، ابرازی دارم. از بھکاری و مساعدت کاکلثان محترم ادارہ آب منطقہ ای شاحرود، کہ با دقت و اقبال قرار داد و دادہ و نقطہ ہای مورد نیاز، اینجاں را در انجام این تحقیق کمک و یاری کردند، تقدیر و بھکرمی - نمایم.

قدردانی می کنم از خانوادہ عزیزم و والدین کرامتقدرم، کہ سایہ پر مهر پدرم و دعای خیر مادرم آراش بخش محظات نگارانی و سخت زندگی من بوده و ہمسرہ کارم، کہ با صبر و حوصلہ، ہموارہ یاور و مشوقم بہ انجام این پایان نامہ بوده است. از دوستان خوبم خانم ہادی پیکان، غیوراز، غلامی، نجفی، امیری، طاحری، تاتاری، دیہیمی، کاظمی، علینژاد و رستی، کمال شکر و قدردانی را دارم.

سازہ محمدی

زستان ۱۳۹۱

تعهدنامه

اینجانب سمانه محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی آب شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی ریاضی آبخوان میامی در استان سمنان تحت راهنمایی دکتر کرمی و دکتر جعفری متعهد می‌شوم:

- 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 می‌باشد 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 می‌گردد.
- 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

تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۳

رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

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 می‌باشد. 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 نمی‌باشد.

چکیده

دشت میامی جنوبی در بخش شرقی استان سمنان و در شهرستان شاهرود واقع شده است. در سال‌های اخیر به دلیل برداشت بیش از حد چاه‌های بهره برداری ضمن نامطلوب شدن کیفیت، سطح آبخوان نیز به‌طور مداوم کاهش یافته است. در این راستا ارزیابی هیدروژئولوژیکی و پیش‌بینی شرایط آینده آبخوان به منظور مدیریت آن ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق جریان آب زیرزمینی در آبخوان میامی جنوبی با استفاده از کد مادفلو در قالب نرم افزار GMS شبیه سازی گردید. ابتدا بر اساس نتایج حاصل از آزمون پمپاژ، لاگ زمین شناسی چاه‌های مشاهده‌ای، هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای و سونداژهای ژئوالکتریک، ارزیابی هیدروژئولوژیکی در دشت انجام گرفت. با ترسیم هیدروگراف واحد دشت میامی جنوبی بر اساس ۱۲ حلقه چاه مشاهده‌ای، اسفند ۱۳۸۸ با داشتن نوسانات کم سطح آب، به عنوان دوره پایدار انتخاب گردید. سپس با در نظر گرفتن مدل مفهومی آبخوان و تهیه کلیه فایل‌های ورودی، کالیبراسیون مدل عددی GMS برای شرایط پایدار به منظور بهینه نمودن مقادیر پارامتر K و جریان ورودی از مرزها، انجام گردید. در ادامه کالیبراسیون مدل برای شرایط ناپایدار، ابتدا مقادیر پارامتر Sy بهینه و سپس پارامتر نفوذ (تغذیه ناشی از بارندگی و آب برگشتی) کالیبره شد. در نتیجه، کالیبراسیون مدل به مدت یک سال (فروردین ۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۸۹) و صحت سنجی آن به مدت یک سال پس از آن صورت گرفت. بر اساس نتایج کالیبراسیون، میزان خروجی سالانه نسبت به ورودی آن بیشتر می‌باشد که سیر نزولی هیدروگراف واحد دشت، این مطلب را تایید می‌کند. متوسط مقادیر کالیبره شده هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره آبخوان به ترتیب ۸/۵ متر بر روز و ۰/۰۶۴ به دست آمده است.

در پایان مدل صحت سنجی شده جهت پیش‌بینی وضعیت آبخوان در آینده در قالب سه سناریوی مختلف مورد استفاده قرار گرفت. در سناریوی اول با اعمال تنش خشکسالی (کاهش بارندگی به میزان ۵۰ درصد)، سطح آب در پی‌زومترها به مقدار قابل توجهی افت نمود. در سناریوی دوم با اعمال تنش ترسالی

(افزایش بارندگی به میزان ۵۰ درصد)، بالا آمدن سطح آب در پیزومترها مشاهده گردید. در سناریوی سوم با اصلاح دبی چاه‌های بهره برداری، ملاحظه گردید، افت سطح آب به مقدار زیادی جبران می گردد. البته این تغییرات سطح آب در بخش‌های مختلف منطقه متفاوت بوده است.

کلمات کلیدی: مدل ریاضی، آبخوان، میامی جنوبی.

فهرست مطالب

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق	۱
۲-۲- ساختار پایان نامه	۲
۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۳
۵-۱- آب و هوای منطقه	۵
۶-۱- هیدرولوژی	۷
۷-۱- هیدروژئولوژی	۸
۸-۱- زمین شناسی	۹
۱-۸-۱- چینه شناسی منطقه	۱۰
۲-۸-۱- زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه	۱۴
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- مروری بر مطالعات مدل سازی آبهای زیرزمینی در نقاط مختلف جهان	۱۶
۳-۲- مروری بر مطالعات مدل سازی آبخوانها در ایران	۲۱
۴-۲- سابقه مدل سازی در دشت میامی	۲۷
جمع بندی	۲۷
۱-۳- مقدمه	۲۸
۲-۳- تعریف مدل سازی	۲۸
۳-۳- مبانی فیزیکی و معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی	۲۹
۱-۳-۳- قانون دارسی	۳۰
۲-۳-۳- معادله پیوستگی برای جریان حالت پایدار	۳۱
۳-۳-۳- معادله لاپلاس و شرایط مرزی	۳۳
۴-۳-۳- معادله دیفرانسیل مربوط به جریان در آبخوان های تحت فشار	۳۴
۵-۳-۳- معادله دیفرانسیل مربوط به جریان در آبخوان های آزاد	۳۵
۶-۳-۳- معادله دیفرانسیل جریان آب زیرزمینی با مولفه تغذیه یا تخلیه	۳۷
۴-۳- انواع مدل های آب زیرزمینی	۳۷
۱-۴-۳- مدل های فیزیکی	۳۸
۲-۴-۳- مدل های ریاضی	۴۰
۵-۳- پروتکل مدل سازی	۴۷
۱-۵-۳- تعیین هدف	۴۹
۲-۵-۳- ایجاد مدل مفهومی	۴۹

۴۹	۳-۵-۳- انتخاب کد کامپیوتری و نرم افزار.....
۵۶	۳-۵-۴- طراحی مدل.....
۵۸	۳-۵-۵- واسنجی مدل.....
۵۹	۳-۵-۶- نتایج واسنجی.....
۶۰	۳-۵-۷- صحت سنجی.....
۶۰	۳-۵-۸- پیش‌بینی.....
۶۱	۳-۵-۹- ارائه نتایج و نحوه طراحی مدل.....
۶۱	۳-۵-۱۰- بازرسی مجدد.....
۶۲	۴-۱- مقدمه.....
۶۲	۴-۲- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در پی‌زومترهای موجود در دشت.....
۶۳	۴-۳- هیدروگراف طولانی مدت پی‌زومترهای موجود در دشت میامی جنوبی.....
۶۶	۴-۴- تهیه مدل GMS دشت میامی جنوبی.....
۶۷	۴-۴-۱- ایجاد مدل مفهومی.....
۶۷	۴-۴-۲- آماده سازی داده‌های ورودی به مدل.....
۷۷	۴-۴-۳- انتخاب کد رایانه‌های.....
۷۸	۴-۴-۴- طراحی و تهیه مدل عددی.....
۸۰	۴-۵- تبدیل مدل مفهومی به مدل عددی.....
۸۰	۴-۶- چک کردن مدل.....
۸۰	۴-۷- اجرای مدل.....
۸۱	۴-۸- واسنجی مدل برای حالت پایدار.....
۸۳	۴-۹- واسنجی مدل برای حالت ناپایدار.....
۸۷	۴-۱۰- صحت سنجی.....
۸۹	۴-۱۱- استفاده از مدل شبیه سازی شده دشت برای سناریوهای مختلف.....
۸۹	۴-۱۲- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی.....
۹۲	۴-۱۳- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی.....
۹۴	۴-۱۴- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی همراه با اصلاح دبی چاه‌های بهره برداری.....
۹۷	۵-۱- نتیجه گیری.....
۹۷	الف- نقشه هم پتانسیل و تعیین جهت جریان.....
۹۷	ب- پیش‌بینی سطح آب در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳.....
۹۸	ب (۱)- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی.....

- ب (۲) - پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی ۹۹
- ج - پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی با اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری ۹۹
- ۵-۲ - پیشنهادها ۱۰۰
- مراجع ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن ۴
- شکل ۱-۲- حد کوه و دشت محدوده مطالعاتی میامی ۵
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی میامی جنوبی ۱۳
- شکل ۱-۳-۱- نمودار طرح کلی از آزمایش داری ۳۰
- شکل ۲-۳- مکعبی از سفره آب زیرزمینی جهت توضیح معادله پیوستگی ۳۲
- شکل ۳-۳- انواع مدل‌های جریان آب زیرزمینی ۳۸
- شکل ۳-۴- شبکه بندی تفاضل محدود، سیستم مرکز بلوکی و مرکز شبکه‌ای ۴۳
- شکل ۳-۵- مختصات محلی یک سیستم شبکه بندی شده ۴۴
- شکل ۳-۶- برآورد تفاضل محدود ۴۵
- شکل ۳-۷- شبکه بندی عناصر محدود ۴۷
- شکل ۳-۸- مراحل تهیه مدل ۴۸
- شکل ۳-۹- هدف واسنجی در نرم افزار GMS ۶۰
- شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترها و نقشه هم پتانسیل دشت میامی جنوبی در اسفند ۸۸ ۶۳
- شکل ۴-۲- هیدروگراف پیزومترهای موجود در دشت میامی جنوبی ۶۴
- شکل ۴-۳- هیدروگراف واحد دشت میامی جنوبی ۶۵
- شکل ۴-۴- نقشه تقسیم بندی دشت بر اساس افت سطح آب زیرزمینی ۶۶
- شکل ۴-۵- موقعیت چاه‌های بهره برداری در منطقه مورد مطالعه ۶۹
- شکل ۴-۶- منطقه بندی تغذیه ۷۱
- شکل ۴-۷- موقعیت چاه‌های مشاهده ای در منطقه مورد مطالعه ۷۲
- شکل ۴-۸- منطقه بندی هدایت هیدرولیکی ۷۳
- شکل ۴-۹- شرایط مرزهای جانبی ۷۴
- شکل ۴-۱۰- منحنی تراز توپوگرافی دشت میامی جنوبی ۷۶
- شکل ۴-۱۱- منحنی تراز سنگ کف دشت میامی جنوبی ۷۷
- شکل ۴-۱۲- شبکه بندی محدوده مورد مطالعه ۷۸
- شکل ۴-۱۳- دوره‌های تنش و گام‌های زمانی در حالت ناپایدار ۷۹
- شکل ۴-۱۴- اولین اجرای مدل پس از رفع خطاها ۸۱

- شکل ۴-۱۵- واسنجی مدل در حالت پایدار..... ۸۲
- شکل ۴-۱۶- نمودار مقایسه مقادیر بار آبی محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت پایدار..... ۸۲
- شکل ۴-۱۷- میانگین خطای آخرین اجرای مدل دشت میامی جنوبی در حالت پایدار..... ۸۳
- شکل ۴-۱۸- منطقه بندی آبدهی ویژه..... ۸۳
- شکل ۴-۱۹- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی اول..... ۸۴
- شکل ۴-۲۰- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی دوم..... ۸۵
- شکل ۴-۲۱- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی سوم..... ۸۵
- شکل ۴-۲۲- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی چهارم..... ۸۵
- شکل ۴-۲۳- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی اول..... ۸۶
- شکل ۴-۲۴- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی دوم..... ۸۶
- شکل ۴-۲۵- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی سوم..... ۸۷
- شکل ۴-۲۶- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی چهارم..... ۸۷
- شکل ۴-۲۷- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی اول..... ۸۸
- شکل ۴-۲۸- - برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی دوم..... ۸۸
- شکل ۴-۲۹- - برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی سوم..... ۸۸
- شکل ۴-۳۰- - برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهدات در گام زمانی چهارم..... ۸۹
- شکل ۴-۳۱- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و عادی برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۰
- شکل ۴-۳۲- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و عادی برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۱
- شکل ۴-۳۳- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی و عادی برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۲
- شکل ۴-۳۴- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی و عادی برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۳
- شکل ۴-۳۵- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی و عادی برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۴
- شکل ۴-۳۶- مقایسه سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از اصلاح دبی چاهها برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۵
- شکل ۴-۳۷- مقایسه سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از اصلاح دبی چاهها برای تعدادی از پیزومترها..... ۹۶
- شکل ۵-۲- مقایسه میانگین سطح آب زیرزمینی در کل پیزومترها در شرایط عادی و خشکسالی..... ۹۸
- شکل ۵-۳- مقایسه میانگین سطح آب زیرزمینی در کل پیزومترها در شرایط عادی و ترسالی..... ۹۹
- شکل ۵-۴- مقایسه میانگین سطح آب زیرزمینی در کل پیزومترها در شرایط عادی و اصلاح دبی..... ۱۰۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین خصوصیات آب و هوایی ایستگاه ابراهیم آباد میامی ۶
- جدول ۱-۲-: آمار منابع و مصارف محدوده مطالعاتی میامی در سال آبی ۸۴-۸۵ ۹
- جدول ۱-۴- ضرایب مصرف نسبی چاه‌ها در ماه‌های مختلف ۶۹
- جدول ۲-۴- مقادیر تغذیه در هر منطقه در حالت ماندگار ۷۱
- جدول ۳-۴- مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی در منطقه ۷۳
- جدول ۴-۴- ارتفاع سطح آب چاه‌های مشاهده‌های دشت میامی جنوبی ۷۵
- جدول ۴-۵- مقادیر آبدهی ویژه پس از واسنجی ۸۴

فصل اول: کلیات

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

کشور ما ایران در منطقه خشک و نیمه خشک کره زمین قرار گرفته است. متوسط بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارش جهان بوده و علاوه بر کمبود بارش توزیع زمانی و مکانی آن نیز بسیار نامناسب می‌باشد. رشد سریع جمعیت در سال‌های اخیر و در کنار آن توسعه روزافزون فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی سبب شده است تا میزان بهره‌برداری از منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی بیش از ظرفیت و پتانسیل بالقوه آن افزایش یابد که متأسفانه افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر مناطق را به دنبال داشته است.

آب زیرزمینی نه تنها یک منبع طبیعی در نواحی خشک بوده، بلکه یک عنصر تعیین‌کننده برای رشد سریع و یکی از شاخص‌های اصلی توسعه در این مناطق محسوب می‌شود. شناخت منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی و نظارت بر بهره‌برداری از آن‌ها از اهم وظایف متولیان امور آب زیرزمینی محسوب می‌گردد. محدوده مطالعاتی میامی که در شرق استان سمنان است شامل دشت‌های مزج و میلان، میامی شمالی و میامی جنوبی می‌باشد. این نواحی خشک به دلیل پایین بودن میزان بارش سالیانه از پتانسیل منابع آبی زیرزمینی و سطحی محدودی برخوردار می‌باشد. علی‌رغم وسعت بسیار زیاد منطقه و وجود مناطق مسکونی، شهرها و آبادی‌ها و نیز اراضی زراعی فراوان، این کمبود منابع آبی توسعه محیط انسانی و نیز

توسعه همه جانبه اقتصادی اجتماعی را تحت الشعاع خود قرار داده است. به دلیل برداشت از سفره های آب زیرزمینی از طریق چاه های عمیق دشت های محدوده مورد نظر دچار افت سطح آب و کاهش حجم مخزن منابع آب زیرزمینی شده و به همین دلیل در سالیان اخیر تمامی محدوده مطالعاتی با وسعتی بالغ بر ۵۰۰۰ کیلومتر مربع از نظر توسعه بهره برداری از منابع آب زیرزمینی طبق قانون توزیع عادلانه آب ممنوعه اعلام شده است. به منظور اعمال مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی لازم است که مدل ریاضی دشت تهیه شود. بنابراین هدف اساسی از انجام این تحقیق تهیه مدل ریاضی با استفاده از نرم افزار GMS و پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی بر اساس سناریوهای احتمالی می باشد.

۱-۲- ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر که با هدف کلی بهینه سازی بهره برداری از چاه های آبخوان دشت میامی جنوبی و پیش بینی شرایط آینده آبخوان تهیه شده، در قالب پنج فصل، به شرح زیر ارائه شده است:

فصل اول: در این فصل به کلیاتی درباره اهمیت مسئله و معرفی منطقه از لحاظ موقعیت جغرافیایی، آب و هوا، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

فصل دوم: در این فصل به بررسی تحقیقات انجام شده در خصوص مدل سازی در ایران و جهان پرداخته شده است.

فصل سوم: در این فصل به مباحثی پیرامون مدل سازی (تعریف مدل، معادلات اساسی حاکم بر جریان، انواع مدل و ...) پرداخته شده است.

فصل چهارم: این فصل به تهیه مدل عددی آبخوان میامی جنوبی، کالیبراسیون و صحت سنجی آن اختصاص یافته و نتایج شبیه سازی رفتار آبخوان در آینده، ارائه شده است؛ و با استفاده از نتایج مدل،

بیلان سالانه آبخوان مذکور برای سال اجرای مدل محاسبه گردیده و تغییرات سطح آب برای چند سال بعد پیش‌بینی گردید.

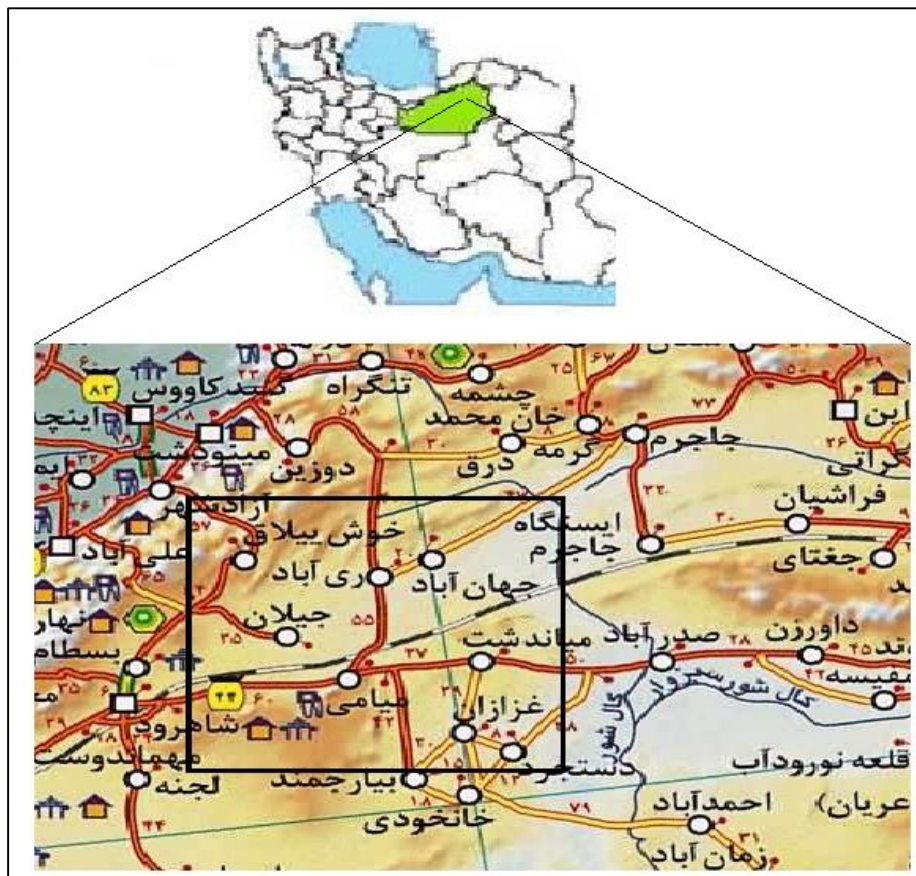
فصل پنجم: در این فصل به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است.

۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی میامی در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی قرار دارد. ارتفاع متوسط محدوده ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. بر اساس ارقام ارائه شده توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران این محدوده جزو مناطق مطالعاتی مشترک بین استان‌های سمنان و گلستان و خراسان شمالی است؛ این در حالی است که درصد بسیار ناچیزی از این محدوده (حدود ۰/۷ درصد) در استان گلستان و حدود ۰/۴ درصد در استان خراسان شمالی قرار گرفته است. جاده اصلی و نیز راه آهن تهران مشهد مسیری به طول حدود ۱۰۰ کیلومتر را در طول این محدوده از غرب به شرق طی می‌نماید (شکل ۱-۱). میامی به عنوان تنها شهر واقع در این محدوده بوده و از مهمترین روستاها و آبادی‌های آن می‌توان به محمدآباد، ارمیان، ری‌آباد، کردآباد، مزج و جیلان اشاره نمود. از نظر اقتصادی، زراعت و باغبانی در درجه اول و دامداری و سایر مشاغل فرعی در درجه بعدی به عنوان منبع اصلی درآمد مردم منطقه به شمار می‌آید.

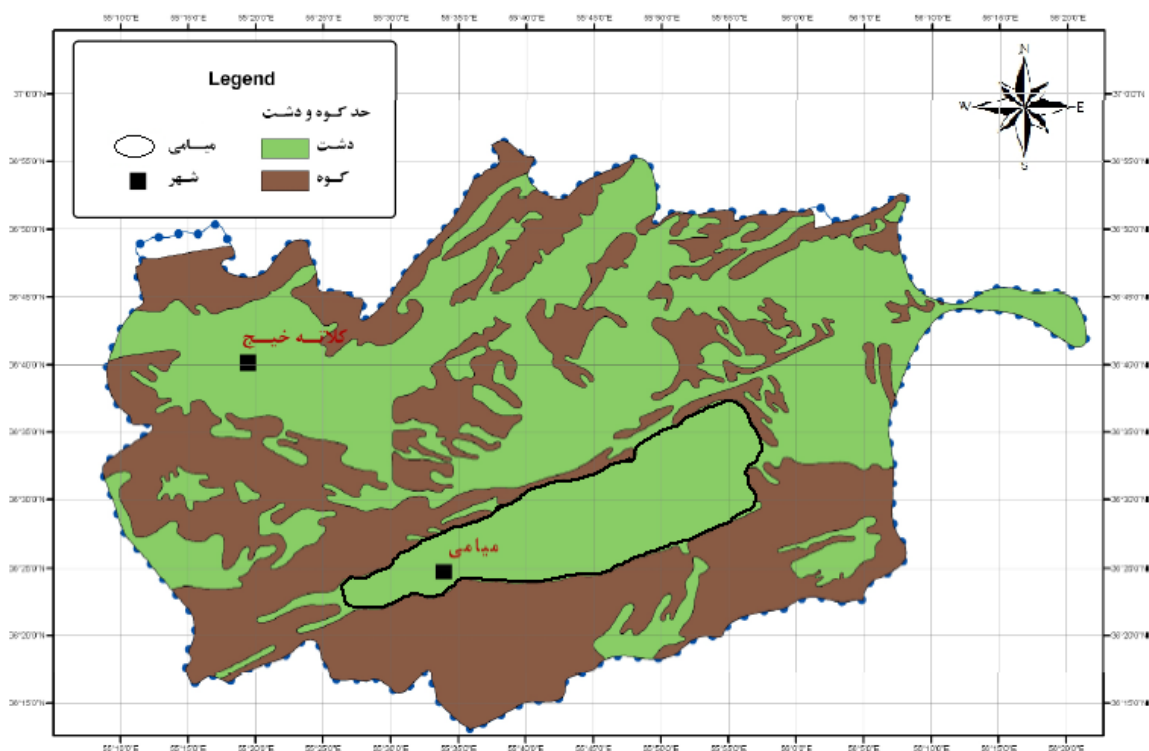
مرز شمالی محدوده مطالعاتی میامی به رشته کوه‌های کم و بیش مرتفع البرز محدود می‌شود. خط‌الرأس این ارتفاعات منطبق بر مرز اصلی حوضه آبریز دریای خزر و مرکزی ایران بوده و از مهم‌ترین ارتفاعات آن-ها می‌توان به کوه قلندر سر با ارتفاع ۲۱۵۹ متر و کوه النگ با ارتفاع ۲۹۸۰ متر در ضلع شمال غربی اشاره نمود. کوه زرین کمر و سیاه کوه در حد غربی و کوه قبله با ارتفاع ۲۶۹۲ متر و کوه میامی در جنوب محدوده قرار گرفته‌اند. با توجه به شیب عمومی حوضه که از غرب به سمت بخش‌های مرکزی و شرق

(۲-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه دسترسی به آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

در شکل (۱-۲) حد کوه و دشت محدوده مطالعاتی میامی ارائه شده است. همانطور که در این تصاویر مشخص است حوضه از سمت شمال و جنوب توسط ارتفاعاتی احاطه شده است که کوه‌های واقع شده در شمال شرقی محدوده از ارتفاع بیشتری برخوردار است.



شکل ۱-۲- حد کوه و دشت محدوده مطالعاتی میامی

از جمله نقاط شهری واقع شده در محدوده میامی، شهر میامی یکی از شش شهرستان شاهرود را می‌توان نام برد. بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ جمعیت شهر میامی، برابر با ۴۳۵۴ نفر می‌باشد که ۱/۸۵ درصد جمعیت کل شهرستان و ۲/۷ درصد جمعیت شهری شهرستان شاهرود را تشکیل می‌دهد. لازم به ذکر است متوسط رشد سالانه جمعیت طی سال‌های ۱۳۶۵ الی ۱۳۸۵ شهر میامی ۲/۳۸ درصد ذکر شده است.

۱-۵- آب و هوای منطقه

در این قسمت از مطالعات درجه حرارت، بارندگی و تبخیر، به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های بررسی اقلیم و وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۱-۱- میانگین خصوصیات آب و هوایی ایستگاه ابراهیم آباد میامی

سال آماری	متوسط دمای سالانه (°C)	میانگین بارش سالانه (mm)
۱۳۷۳	۱۵/۴	۸۰/۵
۱۳۷۴	۱۴/۸	۱۴۵
۱۳۷۵	۱۳/۹	۸۵
۱۳۷۶	۱۳/۹	۲۸/۱
۱۳۷۷	۱۶/۷	۹۵
۱۳۷۸	۲۸/۷	۲۸
۱۳۷۹	۱۵/۴	۵۲/۵
۱۳۸۰	۱۷/۵	۳۷
۱۳۸۱	۱۶/۹	۷۸/۵
۱۳۸۲	۱۵/۵	۷۷/۵
۱۳۸۳	۱۵/۵	۹۸
۱۳۸۴	۱۵/۵	۸۶/۵
۱۳۸۵	۱۴/۸	۱۰۶
۱۳۸۶	۱۵/۵	۱۱۵
۱۳۸۷	۱۴/۲	۱۱۷/۴
۱۳۸۸	۱۵/۶	۸۰/۲
۱۳۸۹	۱۴/۱	۴۸/۵

منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی دارای شرایط آب و هوایی متفاوتی است. بخش‌های وسیعی از مناطق مرکزی و جنوبی آن گرم و خشک و بخش‌هایی از شمال آن سرد و خشک می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی یک ایستگاه باراسنجی معمولی در ابراهیم‌آباد و نیز یک ایستگاه تبخیرسنجی در حسین‌آباد از سالیان پیش احداث شده است که به‌طور مستمر پارامترهای هواشناسی در آنها اندازه‌گیری می‌شود. خلاصه پارامترهای هواشناسی در جدول (۱-۱) آورده شده است. در دوره آماری (۱۳۷۳-۱۳۸۹) متوسط درجه حرارت سالانه ۱۵/۵ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه در حدود ۷۹/۹ میلی متر می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن و بر اساس نقشه‌های متوسط بارش سالانه و متوسط درجه حرارت سالانه در محدوده بسیار خشک تا نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌گردد.

۱-۶- هیدرولوژی

در انتهای شرقی حوضه مرز محدوده مطالعاتی میامی بر حد حوضه آبریز کالشور میامی در محل خروجی حوضه (تلاقی این کال با کال خارتوران) منطبق می‌باشد. کال میامی زهکش اصلی جریانات سطحی و زیرزمینی این محدوده بوده که با توجه به وسعت حوضه آبریز، دارای شیب آرامی می‌باشد. حوضه‌های آبریز متعددی از حاشیه به کال اصلی می‌پیوندند که از جمله آن‌ها در حد جنوبی می‌توان به حوضه‌های ارمیان به وسعت حدود یکصد کیلومتر مربع اشاره نمود که میانگین آورد سالانه آن حدود ۱/۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. رودخانه زیدر با حوضه آبریز حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع و مسیل‌های فرعی دیگر که از ارتفاعات جنوبی (کوه‌های میامی) 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 حوضه رودخانه زرین کمر پس از گذر از روستاهای خیج و مزج و جیلان در جهت جنوب شرق به کال میامی می‌پیوندد. به دلیل پراکندگی حوضه‌های نوعی و شیب کم و بارش کم حوضه، اغلب جریانات به صورت فصلی و سیلابی بوده و در مجموع پتانسیل آب سطحی حوضه ضعیف می‌باشد. به طوری که هیچ رودخانه دائمی در حوضه وجود ندارد. بنابر برآوردهای اولیه در سال آبی ۸۴-۸۳ حجم جریانات سطحی خروجی از محدوده فوق به کال خاروتوران حدود پنج میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است (گزارش تحلیلی منابع آب محدوده مطالعاتی میامی آماربرداری سراسری منابع آب سطحی و زیرزمینی استان سمنان).

در حال حاضر چندین پروژه مهار سیلاب‌های سطحی در مسیل‌های ارمیان و آب مرجان انجام شده که علاوه بر کنترل سیلاب‌ها نقش مهمی در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دارند. پروژه تغذیه مصنوعی و مهار سیلاب رودخانه زرین کمر نیز در دست مطالعه می‌باشد.

۱-۷- هیدروژئولوژی

با توجه به مورفولوژی و نیز زمین شناسی حاکم در محدوده مطالعاتی میامی، می‌توان دریافت که بخش اعظمی از این واحدها فاقد ارزش آبی بوده و از واحدهای آبخوانه ساز می‌توان به دشت‌های میامی جنوبی، میامی شمالی و مزج و جیلان اشاره نمود. سازندهای آهکی کوه‌های میامی به عنوان مهم‌ترین آبخوان آهکی منطقه می‌باشد. آبخوان موجود در این منطقه، تک سفره ای و از نوع آزاد می‌باشد. به دلیل پراکندگی حوضه‌های نوعی و شیب کم و بارش کم حوضه اغلب جریانات به صورت فصلی و سیلابی بوده و در مجموع پتانسیل آب سطحی حوضه ضعیف می‌باشد. به طوری که هیچ رودخانه دائمی در حوضه وجود ندارد. در سال ۱۳۷۹ در قالب طرح مشترک حفاظت و مطالعات منابع آبی دشت میامی آماربرداری شده و در طرح آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۲ منابع کل محدوده مطالعاتی میامی تکمیل شده است که نتیجه

آن به صورت گزارشی مدون توسط مشاور مربوطه ارائه شده است. براساس آمار فوق مجموعاً تعداد ۴۳۲ منبع شامل ۱۹۹ حلقه چاه عمیق، ۱۰۱ حلقه چاه نیمه عمیق، ۸۵ رشته قنات و ۴۷ دهنه چشمه شناسایی شده است که مجموعاً ۱۲۳/۵ متر مکعب آب از آنها استحصال می‌شود. در جدول شماره (۱-۲) خلاصه آمار منابع و مصارف در محدوده مطالعاتی میامی در سال آبی ۸۴-۸۵ بر مبنای آمارهای سال ۱۳۷۹ در دشت میامی و ۱۳۸۲ در سایر بخش‌های محدوده آورده شده است.

جدول ۱-۲:- آمار منابع و مصارف محدوده مطالعاتی میامی در سال آبی ۸۴-۸۵

نوع مصرف	نوع منبع	شرب	صنعت خدمات	کشاورزی	جمع کل
چاه عمیق	تعداد	۲۰	۶	۱۷۳	۱۹۹
	تخلیه (Mm^3)	۴/۷	۱/۲۸	۱۰۰/۸۷	۱۰۶/۸۵
چاه نیمه عمیق	تعداد	۲۱	۵	۷۵	۱۰۱
	تخلیه (Mm^3)	۱/۲۹	۰/۰۰۱	۳/۰۲	۴/۳۲
چشمه	تعداد	۴	۴	۳۹	۴۷
	تخلیه (Mm^3)	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۲/۰۶	۲/۰۷
قنات	تعداد	۱	۲	۸۲	۸۵
	تخلیه (Mm^3)	۰/۱۶	۰/۴۸	۹/۶۳	۱۰/۲۷
مجموع تخلیه هر مصرف (Mm^3)		۶/۱۵۲	۱/۷۷	۱۱۵/۵۸	۱۲۳/۵۱

۸-۱- زمین‌شناسی

محدوده مطالعاتی میامی در زون ساختاری البرز قرار گرفته است. شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی این منطقه را نشان می‌دهد. در این شکل مرز آبخوان میامی جنوبی نیز به نمایش گذاشته شده است.

۱-۸-۱- چینه شناسی منطقه

تفکیک واحدهای موجود در این منطقه بر اساس داده‌های فسیل‌شناسی و خصوصیات سنگ‌شناسی و جایگاه چینه‌شناسی آن‌ها صورت گرفته است. شرح این واحدها از قدیم به جدید با توجه به نقشه ارائه شده به شرح زیر می‌باشد:

الف- پرمین

Pd: پریدوتیت که شامل هارزبورژیت، دونیت، لرزونیت و وبستریت می‌شود که به‌طور پراکنده در قسمت‌های شمال و شمال غرب محدوده مطالعاتی برونزد دارد و مجموعاً مساحتی در حدود ۲۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود.

ب- کرتاسه

نهشته‌های کرتاسه در جنوب میامی با ضخامت شایان توجه، ستیغ قله‌های مرتفع را می‌سازد. نهشته‌های کرتاسه زیرین گسترش و ضخامتی بیش از رسوبات کرتاسه بالایی دارند. واحدهای گوناگون کرتاسه به شرح زیر است:

K1 (سازند تیزکوه): شامل سنگ‌آهک اوربیتولین‌دار ضخیم‌لایه تا توده‌ای به سن کرتاسه زیرین که قسمت‌های جنوب تا جنوب شرقی محدوده مطالعاتی را در بر گرفته است. مساحت این سازند در حدود ۱۰۹ کیلومتر مربع می‌باشد.

Kn: سنگ‌های تفکیک نشده کرتاسه بالایی که در قسمت شمال محدوده مطالعاتی رخنمون دارد. مساحت این واحد در حدود ۱۳۲ کیلومتر مربع می‌باشد.

ج- ائوسن

واحدهای ائوسن بیشترین گسترش را در منطقه دارد و با یک امتداد شمال خاوری- جنوب باختری ارتفاعات نه چندان مرتفع را می‌سازد. در ناحیه میامی، نهشته‌های ائوسن بیشتر از سنگ‌های رسوبی

تشکیل شده است و مقدار کمتری سنگ‌های آتشفشانی وجود دارد. ائوسن زیرین با یک پیشروی گسترده دریا همراه بوده که حاصل آن رسوبات کنگلومرایی و ماسه سنگ و مارنی گسترده‌ای است که در جنوب باختر منطقه برونزد دارد.

E1: سنگ آهک ماسه‌ای حاوی نومولیت، کنگلومرای پلی‌ژنتیک قرمز و ماسه‌سنگ که در قسمت جنوب محدوده مطالعاتی رخنمونی با مساحت اندک (در حدود ۹ کیلومترمربع) را شامل می‌شود.

Em: این واحد شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن و سنگ‌آهک ماسه‌ای بوده که در قسمت جنوب محدوده مطالعاتی با وسعتی در حدود ۳۶ کیلومترمربع رخنمون دارد.

Eml: شامل سنگ آهک مارنی و سنگ آهک ماسه‌ای نازک لایه به رنگ سبز روشن که در قسمت جنوب محدوده مطالعاتی رخنمون دارد و مساحتی در حدود ۲۷ کیلومترمربع را شامل می‌شود.

Emsl: این واحد سنگی در جنوب محدوده مطالعاتی میامی رخنمون دارد و شامل مارن، ماسه سنگ و آهک نومولیتیک به سن ائوسن میانی می‌باشد. این واحد مساحت کمی در حدود ۳ کیلومترمربع را شامل می‌شود.

Ea: گدازه‌های آندزیتی-بازالتی که در جنوب منطقه رخنمونی در حدود ۱۳ کیلومترمربع را در بر می‌گیرند.

Esm: شامل ماسه‌سنگ و مارن با مساحتی در حدود ۵۲ کیلومترمربع در قسمت جنوب محدوده مطالعاتی رخنمون دارد.

د- کواترنر

Qt1: عناصر قلوه‌ای و شنی و گاه ماسه‌ای، بدون سیمان و به‌صورت ناپیوسته، که سطوح توپوگرافی بلندتر را اشغال کرده و بیشتر به‌صورت پادگانه‌هایی منفرد قابل مشاهده‌اند. خاستگاه آن‌ها سیلاب‌هایی است که

در فازهای رسوب‌گذاری کواترنری ایجاد شده است. این رسوبات در تمامی قسمت‌های محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند.

Qt2: این آبرفت‌ها هم از نظر نوع مصالح و هم از نظر سطح ترازوی که تشکیل یافته‌اند، با آبرفت‌های *Qt1* تفاوت دارند. مصالح این آبرفت‌ها، اگرچه دانه‌درشت هستند، ولی مصالح ریزدانه همچون ماسه‌های ریزدانه و سیلت نیز در آنها دیده می‌شوند. این پادگانه‌های کم‌ارتفاع با ابعاد زیادی در قسمت‌های مرکزی از شمال، شرق تا غرب گسترش دارند.

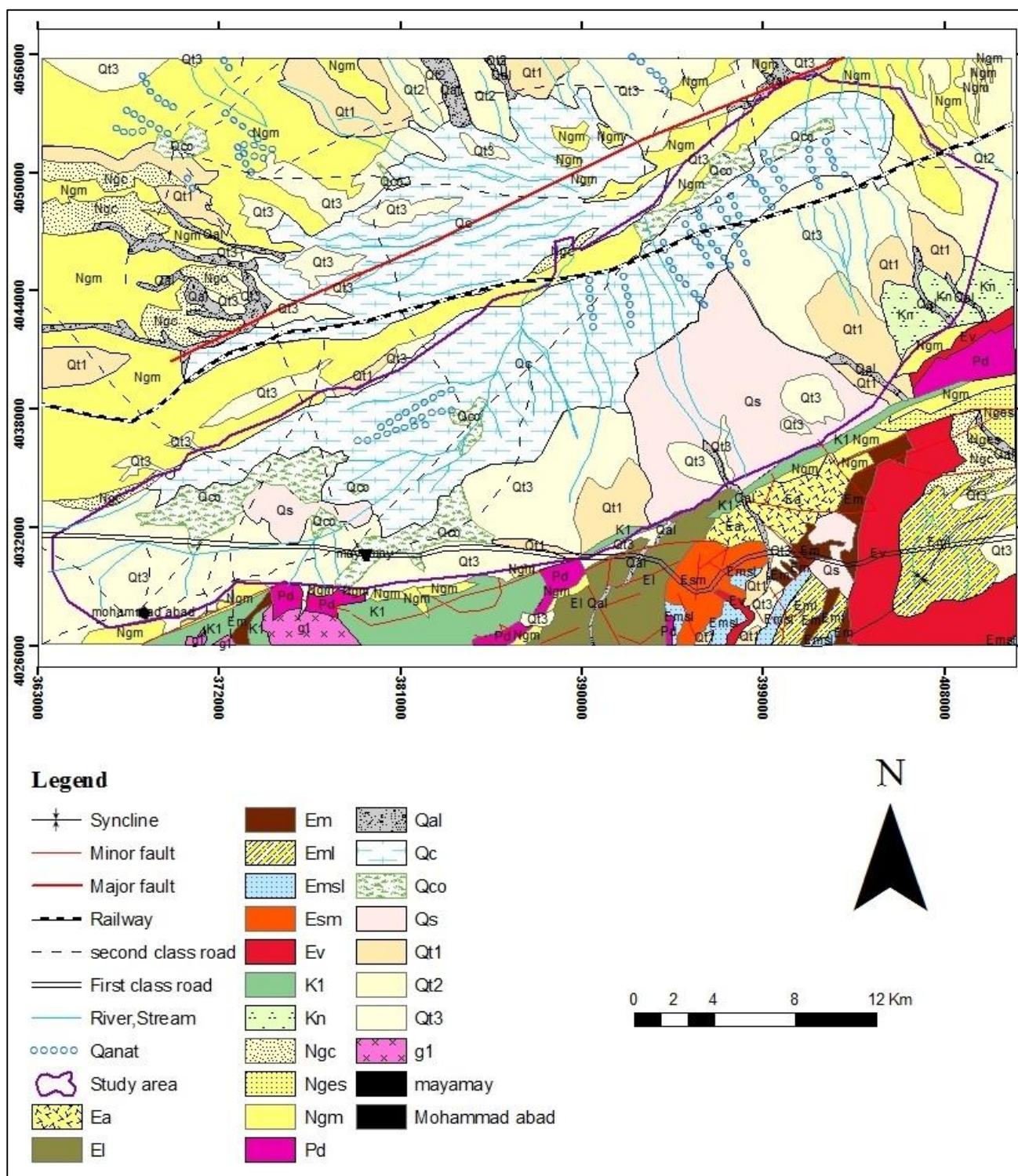
Qt3: شامل پادگانه‌های جوان و دشت‌های آبرفتی هستند که بخش عمده‌ای از منطقه را به خود اختصاص داده است.

Qal: از جدیدترین آبرفت‌ها در محدوده مطالعاتی میامی، آبرفت‌هایی است که در رودخانه‌ها تشکیل شده و یا در حال تشکیل هستند. عناصر متشکله آن با توجه به موقعیت توپوگرافی، متفاوت می‌باشند. ولی در مجموع، عناصر این آبرفت‌ها، درشت دانه بوده و در برخی نقاط می‌توانند به عنوان منبع قرضه مورد استفاده قرار گیرند. این آبرفت‌ها در غرب محدوده مطالعه وجود دارند.

QC: شامل پهنه‌های رسی که بخش قابل توجهی از مرکز، شرق و جنوب غربی محدوده مطالعاتی را دربر-گرفته است.

Qc0: شامل مناطق کشاورزی که به‌طور پراکنده در بخش مرکزی محدوده مطالعاتی دیده می‌شود.

QS: شامل رسوبات ماسه‌ای سست دربردارنده تلماسه‌ها می‌باشد که در مرکز و جنوب شرق محدوده مطالعاتی رخنمون دارد.



شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی میامی جنوبی

۱-۸-۲- زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

در این بخش به گسل‌ها و سیستم شکستگی‌های منطقه و همچنین چین خوردگی‌های منطقه پرداخته می‌شود:

الف) گسل‌های منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیم بندی‌های ساختاری جزئی از ایران مرکزی است که در جنوب گسل میامی قرار دارد و مناطق شمال این گسل در محدوده پهنه بینالود است. عناصر اصلی ساختاری ناحیه شامل شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین خوردگی‌ها می‌باشند. گسل‌های منطقه عمدتاً دارای سه روند اصلی هستند:

۱- گسل‌های با روند شرقی - غربی.

۲- گسل‌های با روند شمال غرب - جنوب شرق.

۳- گسل‌های با روند شمال شرق - جنوب غرب.

گسل‌های منطقه عمدتاً دارای روند شرقی - غربی هستند. از مهم‌ترین گسل‌هایی که روند شرقی - غربی داشته گسل میامی می‌باشد که جدا کننده زون بینالود و البرز شرقی از ایران مرکزی است و دارای مولفه‌های امتداد لغز راستگرد می‌باشد. گسل‌های سکون و شیر مار با روند شمال شرق - جنوب غرب تقریباً به موازات گسل میامی از گسل‌های فرعی منطقه هستند. گسل آب آسمانو با روند شمال غرب - جنوب شرق در قسمت شرق محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است. از آن جایی که گسل میامی جزء مهم‌ترین گسل‌های منطقه می‌باشد به‌طور مختصر ویژگی‌های آن ذکر می‌شود. این گسل با طول گسلش بیش از ۱۵۰ کیلومتر، پس از بریدن واحدهای سنگی از منطقه مورد مطالعه گذر می‌کند. گسل میامی یک شکستگی واحد نیست در حقیقت یک زون گسله (متشکل از چند گسل به موازات یکدیگر) است. روند کلی گسل میامی N75E می‌باشد. شیب صفحه گسله میامی متغیر و در سطح زمین نزدیک به ۷۵

تا ۸۵ درجه به سمت جنوب است. این گسل دارای مولفه امتداد لغز راستگرد و مولفه شیب لغز از نوع معکوس یا راندگی است که در مجموع می‌توان آن را از نوع گسل‌های اریب لغز معرفی کرد. جا به جایی شیب لغز این گسل منجر به بیرون‌زدگی بقایای افیولیتی در اطراف آن شده است.

ب) چین خوردگی های منطقه

در صفحات بین گسل‌ها ، چین خوردگی‌های پر شماری را می‌توان مشاهده کرد. بسیاری از آن‌ها کوچک هستند. چین خوردگی‌ها از نظر اندازه، توزیع و گسترش بسیار متغیرند و در اغلب موارد به موازات گسل‌های اصلی یا با زاویه کمی نسبت به آن‌ها جای دارند. در اواخر ژوراسیک فاز کوهزایی سیمین بالائی، منطقه را تحت تاثیر قرار داده و سنگ‌های ژوراسیک را دچار چین خوردگی و گاه دگرگونی کرده است.

فصل دوم: مروری بر مطالعات مدل سازی جریان آب زیرزمینی

۲-۱- مقدمه

مدل سازی عددی آب های زیرزمینی ابزاری مهم برای مدیریت منابع آب در آبخوان ها می باشد. این مدل ها می توانند برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی و همچنین مدیریت منابع آب و پیش بینی چگونگی تغییر یک آبخوان در مقابل تغییرات آب و هوایی و پمپاژ استفاده شوند. امروزه مدل های شبیه سازی آب زیرزمینی به طور عمده ای برای آنالیز و تصمیم گیری، در دامنه وسیعی از مسائل آب زیرزمینی استفاده می شوند. در این فصل به بررسی تحقیقات انجام شده در خصوص مدل سازی در ایران و جهان پرداخته شده است.

۲-۲- مروری بر مطالعات مدل سازی آب های زیرزمینی در نقاط مختلف جهان

دوره جدید هیدرولوژی آب های زیرزمینی از سال ۱۹۳۵ با معادله تاپس شروع شد. ژاکوب و هانتوش در دهه های ۴۰ و ۵۰ میلادی روابطی را در زمینه حل مسائل جریان چاه ها مطرح کردند. مطالعات مربوط به مدل سازی مربوط به سال ۱۹۷۰ میلادی است. از آن زمان به بعد مطالعات بسیار گسترده ای در زمینه های گوناگون بر روی مدل های ریاضی صورت گرفته است و توانایی ها و نقاط ضعف آن ها مورد بررسی قرار

گرفته است. جهت آشنایی بیشتر با تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌های ریاضی مقالات و کتب در دسترس بررسی شده، که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره شده است.

مدهات و بیهری (Medhat and El-Bihery, 2009) جریان آب‌های زیرزمینی دلتای راس سودر (Ras Sudr) واقع در کشور مصر را به وسیله مدل MODFLOW شبیه‌سازی کردند. آن‌ها توانستند جهت حرکت آب‌های زیرزمینی را تعیین کنند. آن‌ها همچنین موفق به محاسبه مقدار هدایت هیدرولیکی و تخمین میزان تغذیه به آب‌های زیرزمینی شدند.

اف ای ال یائوتی و همکاران (Yaouti et al., 2008) آبخوان غیر محصور بو آرگ (Bou-Areg) در ساحل مدیترانه در شمال شرق Morocco را با استفاده از پکیج مدل‌سازی MODFLOW، تحت استرس‌های مختلف برای بررسی تغییرات شرایط هیدروژئولوژیکی و شبیه‌سازی رفتار جریان، شبیه‌سازی کردند. آن‌ها با استفاده از روش‌های سعی و خطا به شبیه‌سازی هدایت هیدرولیکی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نوسانات بارهای هیدرولیکی وابسته به تغییرات فصلی در تغذیه از طریق نفوذ طبیعی بارش و آبیاری است.

یه و ماک (Yeh and Mock, 1996) یک روش سازمان یافته به منظور کالیبراسیون دو بعدی مدل‌های جریان آب زیر زمینی در شرایط پایدار ارائه کردند. اولین گام از روش پیشنهادی جایگزین سفره ناهمگن با یک همگن معادل با استفاده از میانگین هندسی قابلیت انتقال است. سپس شرایط مرزی با کمک نمودار پراکنش در کاهش انحراف توزیع هد هیدرولیکی شبیه سازی شده در سفره همگن معادل، تنظیم می‌شود. پس از اینکه انحراف حذف شد، تفاوت بین میانگین هد هیدرولیکی شبیه سازی شده و هد هیدرولیکی مشاهده شده، کاهش می یابد.

لارون و جیورتمن (Laronne and Gvirtzman, 2005) تاثیر ساختار زمین‌شناسی را بر روی جریان آب-های زیرزمینی آبخوان کربناته ضخیم در زیر صحرای جودین واقع در فلسطین اشغالی مورد ارزیابی قرار

دادند و با استفاده از مدل عددی MODFLOW، رژیم جریان آب‌های زیرزمینی، نفوذ آن از یک آبخوان به آبخوان دیگر و از یک زیر حوضه به زیر حوضه دیگر، موازنه جرم آب زیرزمینی و خصوصیات هیدرولیکی سفره را مورد ارزیابی قرار دادند.

میلر (Mille, 2000) یک آبخوان گراولی ماسه‌ای در روستای Marathon در منطقه Cortland نیویورک را با استفاده از مدل عددی MODFLOW شبیه‌سازی کردند. هدف از مدل، محاسبه بارهای هیدرولیکی آبخوان تحت شرایط ماندگار، تهیه بیلان آبی و تعیین مناطق تغذیه آبخوان و چاه‌های موجود بوده است. وانگ و همکاران (Wang et al. 1998) آلودگی آب زیرزمینی در Engelse Werk را با استفاده از کدهای PM-MODFLOW-MODPATH-MT3D مدل‌سازی کردند. منابع عمده آلودگی، رودخانه IJssel و منطقه صنعتی نزدیک ایستگاه راه‌آهن بوده که در داخل زون تغذیه چاه‌های استخراجی قرار دارند. آلاینده اصلی کلرید می‌باشد. بر اساس نتایج مدل حداقل زمان سیر برای آلاینده‌ها از رودخانه IJssel به چاه‌های استخراجی ۴ تا ۱۳ سال پیش‌بینی شده است.

مایکل (Michl, 1996) جریان آب زیرزمینی در آبخوان نزدیک به رودخانه Sieg در آلمان را برای شرایط ماندگار و ناماندگار با استفاده از مدل تفاوت محدود MODFLOW و MODPATH، شبیه‌سازی کرد. مدل مفهومی، از ترکیب پایه رستری GIS IDRISI با PROCESSING MODFLOW و MODFLOW به‌دست آمد.

سینگهال و گوپال (Singhal and Goyal, 2011) مدل مفهومی جریان آب زیرزمینی برای منطقه Pali در هند را با استفاده از GMS شبیه‌سازی کردند. آن‌ها در این مطالعه به طور گسترده از GIS برای پردازش داده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی استفاده کردند. با استفاده از نرم افزارهای GMS و GIS امکان ایجاد تصاویر سه بعدی از منطقه مورد مطالعه وجود دارد که درک بهتری از هیدروژئولوژی، توپوگرافی و نوسانات سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه را ارائه می‌دهد.

اشنایدر و همکاران (Schneider *et al.*, 2008) جریان آب زیرزمینی در آبخوان Surficial در فلوریدای شمالی را با استفاده از نرم افزار GMS در دو حالت ماندگار و غیرماندگار شبیه سازی کردند.

تاکونجو و همکاران (Takounjou *et al.*, 2009) مدل ردیابی ذره ای و جریان آب زیرزمینی را با استفاده از نرم افزار MODFLOW برای تعیین جریان آب زیرزمینی و مهاجرت ذره در سفره آزاد کم عمق حوضه آبریز بالایی رودخانه Anga'a در ایالت Yaounde IV، جنوب شرق شهر Yaounde، در کامرون انجام دادند. نتایج حاصل از مدل نشان می دهند که توپوگرافی، جریان آب زیرزمینی در حوضه را کنترل می کند و جریان پایه در رودخانه یک فاکتور مهم حرکت آب زیرزمینی در حوضه آبریز رودخانه Anga,a می باشد. مارتین و فریند (Martin and Frind, 1998) جریان آب زیرزمینی آبخوان چند لایه ای یخچالی Waterloo در کانادا را با استفاده از مدل سه بعدی اجزای محدود WATFLOW، شبیه سازی کردند.

تشیو و همکاران (Tsehayu *et al.*, 2005) میدان چاه Akaki واقع در ۲۲ کیلومتری جنوب مرکز آدیس آبابا را جهت کنترل و مدیریت آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار PMWIN مدل سازی کردند. نتایج آن-ها نشان داد که مدل سازی آب زیرزمینی، کمک به طراحی و توسعه منابع آب زیرزمینی بدون تاثیر محیط زیست و پتانسیل منابع می کند.

عبدل رم و همکاران (Abdelrhem *et al.*, 2008) وضعیت آب زیرزمینی در آینده پس از ورود آب از رودخانه Great Man-Made در جنوب غرب لیبی را مطالعه کردند. آن ها تغییرات سطح آب را با استفاده از نرم افزار آب زیرزمینی GW (Groundwater) بررسی کردند، که از بسته های MODFLOW و MODOFIC به ترتیب برای شبیه سازی و بهینه سازی ساخته شده است.

یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2011) یک مدل سه بعدی جریان آب زیرزمینی در شهر Tongliao چین را به وسیله MODFLOW تهیه نمودند. نتایج مدل نشان می دهد که مقادیر محاسبه شده انطباق خوبی با داده های اندازه گیری شده دارند. بنابراین مدل مفهومی قابل قبول بوده و می تواند برای پیش بینی آینده

تغییرات سطوح آب زیرزمینی تحت سناریوهای بهره‌برداری مختلف با توجه به تقاضای آب در آینده به کار برده شود.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2008) جریان آب زیرزمینی در دشت چین شمالی را با استفاده از مدل MODFLOW جهت مدیریت آب زیرزمینی، بررسی کردند. آن‌ها مدل را در دو حالت ماندگار (قبل از سال ۱۹۵۹) و ناماندگار (از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۴) شبیه‌سازی کردند.

ماسوئل و همکاران (Massuel *et al.*, 2007) جریان آب زیرزمینی حوضه آبریز Musi در هند را جهت مدیریت منابع پایدار، با استفاده از مدل تفاوت محدود MODFLOW2000 شبیه‌سازی کردند.

آینیو و همکاران (Ayenew *et al.*, 2008) از مدل MODFLOW برای به کمیت در آوردن جریان آب زیرزمینی و آنالیز هیدرودینامیک زیر سطحی در حوضه آبخیز Akaki استفاده کردند و پس از کالیبراسیون مدل از آن برای پیش‌بینی الگوی جریان زیرسطحی، اثر متقابل بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین تاثیر پمپاژ در سناریوهای مختلف مدیریتی بهره گرفتند.

آیواز (Ayvaz, 2009) از تلفیق مدل‌های شبیه سازی- بهینه سازی برای حل مشکلات مدیریتی آب زیرزمینی استفاده نموده و در مطالعه خود برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی از مدل MODFLOW و از الگوریتم جستجوی هماهنگی (Harmony search) برای بهینه سازی تابع هدف بهره گرفت. در نتیجه با بکار گیری و تلفیق دو مدل به بررسی سه مشکل مدیریتی آب‌های زیرزمینی یعنی ۱. به دست آوردن ماکزیمم نرخ پمپاژ از یک سفره (در حالت پایدار) ۲. به حداقل رساندن هزینه پمپاژ کل برای تامین یک تقاضای مفروض (در حالت پایدار) ۳. به حداقل رساندن هزینه پمپاژ کل برای تامین تقاضا در چندین پیوند مدیریتی (در حالت ناپایدار) پرداخت.

۲-۳- مروری بر مطالعات مدل سازی آبخوان ها در ایران

استفاده از مدل های ریاضی در ایران از سال ۱۳۴۶ آغاز شده و به دنبال آن مدل ریاضی دشت ورامین تهیه شد. از این سال به بعد آبخوان های زیادی در ایران توسط مدل های ریاضی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. تعداد بسیار زیاد این مطالعات در جهت تعیین خصوصیات هیدرولوژیکی آبخوان و بقیه نیز در جهت پیش بینی های مربوط به سطح آب در آینده و اهداف مدیریتی به کار گرفته شده اند (اصلانی، ۱۳۸۲). از جمله این مطالعات می توان به موارد زیر اشاره کرد.

نورانی و همکاران (۱۳۸۶) سطح ایستابی آب های زیرزمینی محدوده شهر تبریز در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از شبکه های عصبی و مصنوعی شبیه سازی کردند. به علت پیچیده و چندلایه ای بودن آبخوان این محدوده، مدلسازی آن با مدل های ریاضی معمول با مشکلات فراوانی روبه رو بوده است. آن ها از ساختارهای مختلف شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی سطح ایستابی این آبخوان استفاده کردند. از میان ساختارهای مختلف مورد استفاده بهترین نتایج مربوط به شبکه های عصبی مصنوعی پیشرو با الگوریتم لونیبرگ- مارکوارت (FNN-LM) می باشد. آن ها با استفاده از نتایج به دست آمده از این ساختار، توانستند پیش بینی ماهانه ای از سطح ایستابی آب های زیرزمینی پیرومتر مرکزی در بازه زمانی دوساله ارائه نمایند.

زمزم و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت رفسنجان را برای ۲ و ۵ سال آینده با استفاده از مدل PMWIN شبیه سازی کردند. با توجه به نتایج به دست آمده، کاهش برداشت، افزایش تغذیه، کاهش فعالیت کشاورزی و گسترش سیستم های آبیاری نوین می تواند تا حدودی بر بهبود وضعیت موجود در منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان موثر است.

نیک منش (۱۳۸۸) تراز آب زیرزمینی در آبخوان محدوده ارسنجان در استان فارس را با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی پیشرو با الگوریتم لونیبرگ- مارکوارت شبیه سازی نمود. ایشان با این ساختار

توانست پیش‌بینی ماهانه‌ای از سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در بازه زمانی دو ساله برای مراحل آموزش و آزمایش ارائه نماید.

طایی سمیرمی و همکاران (۱۳۸۹) سطح ایستابی آبخوان دشت گربایگان فسا را با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW، جهت ارائه شیوه‌ای صحیح در مدیریت منابع آب زیرزمینی به عنوان منطقه‌ای با اهمیت استراتژیک از نظر کشاورزی، شبیه‌سازی کردند.

مظفری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) آبخوان دشت گتوند در شهرستان شوشتر را با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و نرم‌افزار PMWIN5.3 شبیه‌سازی نموده و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ، مقادیر و زون‌های اولیه مناسبی را برای ورود به مدل ایجاد می‌نماید. با توجه به اینکه انجام تعداد زیاد آزمایش پمپاژ به دلیل هزینه‌های بالا امکان‌پذیر نیست، استفاده از مدل‌سازی معکوس و بهینه‌سازی پارامتری ابزاری مناسب برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی و توزیع مناسب آن‌ها در محدوده مطالعاتی معرفی شده است. نحوه توزیع مقادیر هدایت هیدرولیکی در دشت نشان دهنده تغییرات زیاد در این دشت است که دلیل این امر را وجود سازندهای گچساران، آغاچاری و بخش لهری و ایجاد ناهمگنی توسط رسوبات آن‌ها در دشت معرفی شده است.

عطایی زاده و چیت‌سازان (۱۳۸۶) آبخوان دشت میداود- دالون را با استفاده از نرم‌افزار PMWIN5.3 شبیه‌سازی کرده و ضرایب هیدرودینامیکی K و S را تصحیح کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با توجه به اینکه انجام آزمایش پمپاژ به تعداد زیاد به دلیل هزینه‌های بالا امکان‌پذیر نیست، استفاده از مدل‌سازی معکوس و بهینه‌سازی پارامتری ابزار مناسبی برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی و توزیع مناسب آن‌ها در محدوده مطالعاتی می‌باشد.

سالاری و اژدری مقدم (۱۳۸۸) جریان آب زیرزمینی جلگه چاه هاشم در دشت اسپکه واقع در غرب شهرستان ابرانشهر را به کمک نرم‌افزار Visual MODFLOW premium 4.2 در دو حالت ماندگار و غیر

ماندگار مدل سازی کردند. بعد از شبیه سازی مشاهده شد که در قسمت شرقی آبخوان به دلیل وجود چاه های عمیق، مخروط افت نسبتاً بزرگی به وجود می آید که با کاهش ۳۰ درصدی پمپاژ این چاه ها در سال های مورد پیش بینی، می توان از افت بیش از اندازه آب در آبخوان جلوگیری کرد.

ادراکی و همکاران (۱۳۸۹) جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت دوزدوزان در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از نرم افزار Visual MODFLOW V 3.1 شبیه سازی کردند. صحت سنجی مدل برای سال آبی ۸۶-۸۷ نشان داد که مدل تا حد قابل قبولی قادر به شبیه سازی شرایط طبیعی آبخوان می باشد و در اکثر مناطق دشت انطباق خوبی بین سطوح آب محاسباتی و مشاهداتی وجود دارد.

فاضلی و همکاران (۱۳۸۹) پارامترهای هیدرولیکی دشت زیدون را به روش مدل سه بعدی تفاضلات محدود و با استفاده از نرم افزار PMWIN5.3 بهینه سازی کردند. با توجه به اینکه انجام آزمون های پمپاژ به تعداد زیاد به دلیل هزینه بالا امکان پذیر نیست، استفاده از مدل سازی معکوس و بهینه سازی پارامتری ابزار مناسبی برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی و توزیع مناسب آن ها در این محدوده معرفی شده است. رهنما و کوچک علیزاده (۱۳۸۹) آبخوان دشت بردسیر در استان کرمان را مدل سازی کردند و اثر انتقال آب از این آبخوان به شهرستان رفسنجان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقایسه بار آبی محاسباتی و مشاهداتی و تطابق خوب آن ها کرائی کد PEST را در برآورد و تخمین پارامترها اثبات می کند. صحت سنجی مدل نشان می دهد که مدل ساخته شده با دقت کافی قادر به پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی می باشد.

ملکی و همکاران (۱۳۹۰) برای پیش بینی طرح جمع آوری فاضلاب، با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و نرم افزار GMS 6.0 برای یک دوره یکساله ۱۳۸۵-۱۳۸۶، آبخوان دشت شاهرود را شبیه سازی کردند. سپس مقدار تغذیه از طریق چاه های فاضلاب را از کل تغذیه حذف کرده و میزان تأثیر آن بر سطح آب زیرزمینی را از طریق ترسیم هیدروگراف دشت قبل و بعد از اجرای طرح فاضلاب مورد بررسی قرار

دادند. نتایج نشان می‌دهد که اجرای طرح تاثیر مستقیم بر سطح آب زیرزمینی داشته و باعث افت سطح آب می‌گردد.

اکبرپور و همکاران (۱۳۸۹) در راستای نیاز آبخوان مختاران به ارزیابی بهره‌برداری، تخلیه‌ها و تغذیه‌های طبیعی و مصنوعی، سفره آب زیرزمینی دشت مختاران را با استفاده از مدل GMS شبیه‌سازی کردند. در فرایند مدل‌سازی ابتدا با استفاده از اطلاعات پایه، مدل مفهومی آبخوان تهیه گردید. پس از تعیین شبکه-های مدل، شرایط مرزی و ورود داده‌های لازم از قبیل ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، مدل اجرا شده و سپس مقایسه نتایج حاصل از سطح آب منتج شده از مدل و ارقام مشاهده‌ای، مرحله واسنجی و کالیبراسیون مدل انجام گرفت. پس از تهیه مدل کالیبره شده، از آن جهت مدیریت آب‌های زیرزمینی استفاده گردید و عکس العمل آبخوان در شرایط بهره‌برداری فعلی توسط مدل مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شرایط آبخوان مشخص گردید هرگونه برداشت جدید از سفره باعث تشدید روند خسارت به منابع آب زیرزمینی منطقه و همچنین کاهش بیشتر آبدهی چاه‌های فعلی بهره‌برداری و تا حدی غیراقتصادی شدن بهره‌برداری از آبخوان خواهد شد.

انصاری مهابادی و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از نرم‌افزارهای PMWIN، MODFLOW و GMS شبیه-سازی سفره آب زیرزمینی سفید دشت واقع در حوضه آبریز چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری را انجام دادند. واسنجی مدل GMS در حالت ماندگار (به‌وسیله واسنجی پارامترهای هدایت هیدرولیکی و تغذیه و معیار خطای $RMS=1.6$) و در شرایط غیر ماندگار در 12 دوره ماهانه (به‌وسیله واسنجی پارامترهای آبدهی ویژه و تغذیه و معیار خطای $RMS=1.9$) انجام شده و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده در چاه‌های مشاهده‌ای با مقادیر اندازه‌گیری شده در آن‌ها مقایسه شدند. صحت‌سنجی مدل با استفاده از پارامترهای واسنجی شده و داده‌های چهار سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۰ انجام گرفت. نتایج نشان داد که با به کارگیری مدل GMS، پاسخ آب زیرزمینی در یک منطقه دارای اقلیم خشک و سرد به خوبی شبیه‌سازی

شده و روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر در شرایط تغذیه بر اساس سناریوهای مختلف و طرح‌های موجود در دوره‌های آتی قابل پیش‌بینی می‌باشد.

محب زاده و همکاران (۱۳۹۰) آبخوان غیر محصور دشت نهاوند را با استفاده از کد عددی MODFLOW_2000 که در قالب نرم‌افزار مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS) قرار گرفته است، برای شبیه‌سازی سه بعدی جریان آب‌های زیرزمینی در حالت شرایط پایدار مورد ارزیابی قرار دادند. طبق مقادیر محاسبه شده تراز آب توسط مدل، جریان آب‌های زیرزمینی از جنوب شرقی به شمال غربی بوده که این جریان با شیب غالب منطقه مطابقت دارد. این محققین با ثابت فرض کردن هدایت هیدرولیکی افقی برای ماه‌های تر و خشک، توانستند مقدار تغذیه به آب‌های زیرزمینی و همچنین میزان آب زهکشی شده توسط رودخانه گاماسیاب را در ماه‌های تر و خشک نیز برآورد نمایند.

اعتباری و همکاران (۱۳۸۷) به کمک نرم‌افزار GMS و با استفاده از داده‌های حفاری چاه‌های اکتشافی و نتایج ژئوفیزیکی، مدل مفهومی دشت تبریز را تهیه کردند و مدل را به دو روش مستقیم و معکوس کالیبره نمودند. در طی مراحل کالیبراسیون مشخص شد که آبخوان حساسیت قابل ملاحظه‌ای به تغییر قابلیت هدایت هیدرولیکی، میزان تنش‌های هیدرولوژیکی (نفوذ از رودخانه، برداشت از طریق چاه‌ها) و تغییر شرایط مرزی نشان می‌دهد.

مهدوی و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت بزمان سردگال در غرب شهرستان ایرانشهر را به کمک نرم‌افزار GMS، بررسی کردند. بر اساس مدل ساخته شده، وضعیت آبخوان را برای دو سال آینده پیش‌بینی کردند. بررسی خطوط تراز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار افت در خروجی‌های دشت می‌باشد. لذا با توجه به مناسب بودن مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی و افت کمتر تراز سطح آب، این نواحی جهت بهره‌برداری و حفر چاه پیشنهاد گردید.

دلخواهی و اسدیان (۱۳۸۸) به منظور ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران با استفاده از مدل ریاضی، ابتدا کلیه اطلاعات و داده‌های مورد نیاز را به صورت لایه‌های اطلاعاتی مختلف در محیط GIS، جهت ورود به مدل، تنظیم کردند. سپس با استفاده از این داده‌ها، مدل ریاضی عددی آبخوان را با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی GMS V.6.5 تهیه کردند. بعد از آن مدل جریان آب زیرزمینی برای شرایط ماندگار واسنجی شده و از نتایج مدل به همراه پارامترهایی نظیر تخلخل مواد تشکیل دهنده آبخوان، در ترسیم منطقه تسخیر و حریم‌های حفاظتی تعداد ۲۴ حلقه چاه شرب منطقه یافت آباد تهران، به وسیله برنامه مکان‌یابی ذره‌ای MODPATH استفاده شده است. پس از تهیه مناطق تسخیر و حریم‌های حفاظتی با زمان‌های سیر ۵۰ روز، ۲ و ۱۰ سال برای چاه‌های فوق الذکر، تاثیر پارامترهای مختلف آبخوان و چاه بر روی شکل و چگونگی گسترش حریم حفاظتی، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

محتشم و همکاران (۱۳۹۰) سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند را با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW موجود در نرم‌افزار GMS و روش تفاضل محدود پیش‌بینی کردند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از مدل ریاضی GMS تا ۲۴ ماه آینده و با دقت مناسبی می‌توان تغییرات سطح آب را پیش‌بینی نمود.

ریاحی پور و خلیلی (۱۳۹۰) تاثیر انتقال آب از سد چغاخور به آبخوان دشت بروجن- فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری را با استفاده از مدل عددی GMS پیش‌بینی کردند. در این تحقیق مدل کمی آب زیرزمینی این دشت بر اساس نتایج مطالعات هیدروژئولوژی تهیه شده و پس از کالیبره کردن و تصدیق این مدل، امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف انتقال آب از سد چغاخور به این دشت بررسی شده است. مقایسه نتایج سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که در صورت اجرای طرح‌های انتقال آب به این دشت، حداکثر افزایش تراز سطح آب نسبت به سناریوی آینده بدون طرح، در مرزهای جنوبی مدل برابر ۸ متر، در اراضی کوثر برابر ۱/۵ متر و در مرکز شهر بروجن برابر ۴/۵ متر بالغ می‌گردد. با توجه به نتایج مطالعات

مدلسازی و اثرات سناریوهای انتقال آب به این دشت، امکان تجدیدنظر در ممنوعیت حفر چاه در نقاط شرقی و جنوبی این دشت وجود دارد.

۲-۴- سابقه مدل سازی در دشت میامی

کرمی و همکاران (۱۳۸۸) منابع آب زیرزمینی منطقه شاهرود را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق، داده‌های سطح آب برای ۶ دشت از جمله دشت میامی را جمع آوری نموده و هیدروگراف واحد آن‌ها را تهیه کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، به دلیل برداشت زیاد آب میزان افت در دشت میامی زیاد بوده و در نتیجه پیشنهاد شده است که دولت تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری را خریده و پمپاژ آن‌ها را متوقف کند. تاکنون مدلسازی جریان آب زیرزمینی در دشت میامی انجام نگرفته است. در این تحقیق جریان آب زیرزمینی در محدوده آبخوان میامی جنوبی شبیه سازی شده است.

جمع بندی

بررسی مطالعات ذکر شده در بالا نشان می‌دهد که یکی از روش‌های موثر در مطالعه منابع آب زیرزمینی مدل سازی جریان آب زیرزمینی می‌باشد. در واقع مدل مخلوطی از واقعیت و تخیل بوده و در مواقعی که امکان تجزیه و تحلیل مستقیم یا بررسی و اندازه‌گیری صحرایی مقدور نباشد، مدل می‌تواند بسیار مفید واقع شود. علاوه بر این، با توجه به اینکه انجام آزمایش پمپاژ به تعداد زیاد به دلیل هزینه‌های بالا امکان پذیر نیست، استفاده از مدل سازی و بهینه سازی پارامتری، ابزار مناسبی برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی و بررسی توزیع آن‌ها می‌باشد. مسئله مهمی که در مدل سازی با هدف پیش‌بینی باید بدان توجه نمود، تعیین نمودن زمانی است که مدل بتواند با دقت زیادی آن را پیش‌بینی نماید. با استفاده از نرم افزارهای GIS و GMS امکان ایجاد تصاویر سه بعدی از منطقه مورد مطالعه وجود دارد که درک بهتری از هیدروژئولوژی، توپوگرافی و نوسانات سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه را ارائه می‌دهد.

فصل سوم: مدل‌های آب زیرزمینی و معادلات اساسی حاکم بر جریان آب

۳-۱- مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت در کشور، کمبود منابع آب‌های سطحی و بهره برداری بیش از حد از آبخوان‌ها در سال‌های گذشته سبب وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری به منابع طبیعی کشور شده است. فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری از جمله عوامل دیگری هستند که آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان‌ها تحمیل می‌کنند. برای جلوگیری از ادامه افت، مدیریت بهره برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به عنوان یک مبنا در برنامه ریزی‌های کشور مد نظر قرار گیرد. به این منظور استفاده از مدل‌های آب زیر زمینی به عنوان ابزاری مفید در شبیه‌سازی سیستم آب زیرزمینی مورد توجه محققین بوده است.

۳-۲- تعریف مدل‌سازی

در مبحث آب‌های زیرزمینی، مدل توسط محققین به صورت‌های مختلف تعریف شده است که تمام تعاریف در مفهوم مشابه می‌باشند. مدل بیانی از یک واقعیت است که سعی دارد مفاهیم و رفتار آن را به گونه‌ای شرح دهد که همواره پیچیدگی کم‌تری نسبت به سامانه واقعی داشته باشد (Domenico, 1972). یک سامانه واقعی مانند یک آبخوان، متشکل از مجموعه‌ای از فرآیندها و پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی است. بیان کمی و کیفی این پدیده‌ها و شناخت رفتار سامانه از طریق معادلات حاکم و مدل‌ها صورت می‌گیرد.

مدل وسیله‌ای برای نمایش دادن یک نسخه ساده شده از واقعیت است که برخی از جنبه‌های رفتار آن واقعیت را بیان می‌کند. (Wang et al., 1982).

بر اساس نظر (Prickett 1975)، یک مدل آب زیرزمینی در واقع شکل ساده شده‌ای از یک سیستم واقعی آب‌های زیرزمینی است که همبستگی بین عمل و عکس العمل هیدرودینامیکی را در یک سیستم نشان می‌دهد. در واقع مدل ریاضی آب زیرزمینی که مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل است، چگونگی جریان آب زیرزمینی را شبیه سازی می‌نماید.

در سال‌های اخیر تهیه مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی به صورت بخش مهمی از پروژه‌های مربوط به بهره برداری، حفاظت و پاکسازی آب‌های زیرزمینی در آمده است. با ادامه پیشرفت سخت افزاری و نرم افزاری رایانه و تهیه آسانتر آن‌ها، نقش مدل‌ها در علوم کمی زمین، نظیر هیدروژئولوژی نیز افزایش یافته است (چیت سازان و کشکولی، ۱۳۸۱).

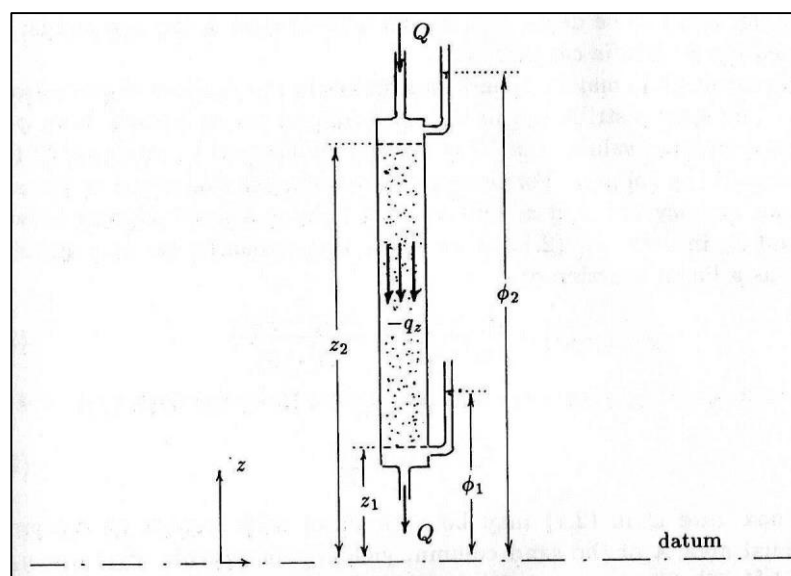
یکی از مواردی که می‌بایست در تهیه مدل‌های آب زیرزمینی در نظر گرفت این است که پارامترهای هیدروژئولوژیک و هیدرولوژیک مورد استفاده در مدل، تقریبی از پارامترهای واقعی روی زمین هستند و نمی‌توان آن‌ها را با دقت ۱۰۰ درصد تعیین کرد. با این وجود مدل‌های آب زیرزمینی از بهترین وسیله‌های موجود جهت کمک به آب‌شناسان در حل مسایل هیدروژئولوژی مانند چگونگی تغییر سطح آب زیرزمینی در چند سال آینده و یا پیش‌بینی تغییرات سطح رودخانه و تاثیر آن بر سطح ایستابی و ... می‌باشد.

۳-۳- مبانی فیزیکی و معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی

از اواخر سال ۱۹۷۰ میلادی مدل‌های ریاضی در مطالعه جریان آب زیرزمینی وارد شده‌اند. این مدل‌ها مجموعه‌ای از مطالعات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب زیرزمینی می‌باشند (McDoland and Harbaugh, 1988).

۳-۳-۱- قانون دارسی

در سال ۱۸۵۶ دارسی مهندس فرانسوی، یک سری آزمایش بر روی جریان آب از طریق ستونی از شن و ماسه انجام داد. آب از طریق یک لوله آهنی که ستونی از ماسه است، جریان یافته و از طریق یک شیر آب خارج می‌شود. فشار آب به وسیله یک فشار سنج نصب شده در بالا و پایین ستون ماسه‌ای کنترل می‌شود. آزمایش دارسی بطور شماتیک در شکل (۳-۱) نشان داده شده است (Haitjema, 1995).



شکل ۳-۱- نمودار طرح کلی از آزمایش دارسی (Haitjema, 1995)

دارسی به این نتیجه رسید که دبی عبوری Q از محیط متخلخل با افت بار Δh رابطه مستقیم و با طول مسیر جریان Δl نسبت معکوس داشته و به جنس مواد درون سازند نیز وابسته است. اگر جریان را در حالت سه بعدی در نظر بگیریم، بار هیدرولیکی تابعی از محورهای سه گانه خواهد بود. به عبارتی خواهیم داشت $h=h(x,y,z)$ و عبارت $\frac{dh}{dl}$ نیز بیان کننده میزان تغییرات بار هیدرولیکی به ازاء موقعیت در سه جهت فضایی می‌باشد.

در ابتدا ما $q = Q/A$ را به عنوان نرخ حجم جریان بر واحد سطح تعریف می‌کنیم که در اینجا مقدار q دبی ویژه نامیده شده است. دبی ویژه (q) واحد سرعت را دارد و به این دلیل به عنوان سرعت داری نیز شناخته می‌شود. زمانی که افت بار $h_2 - h_1$ بسیار کوچکتر از فاصله $l_2 - l_1$ می‌شود، ما می‌توانیم قانون داری را به شکل زیر بنویسیم.

$$q = -K dh/dl \quad (۸-۳)$$

عمومیت دادن فرم سه بعدی قانون داری، نیازمند شکل یک بعدی آن است. رابطه بالا برای هر یک از مولفه های x ، y و z صحیح است:

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \quad q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \quad q_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (۹-۳)$$

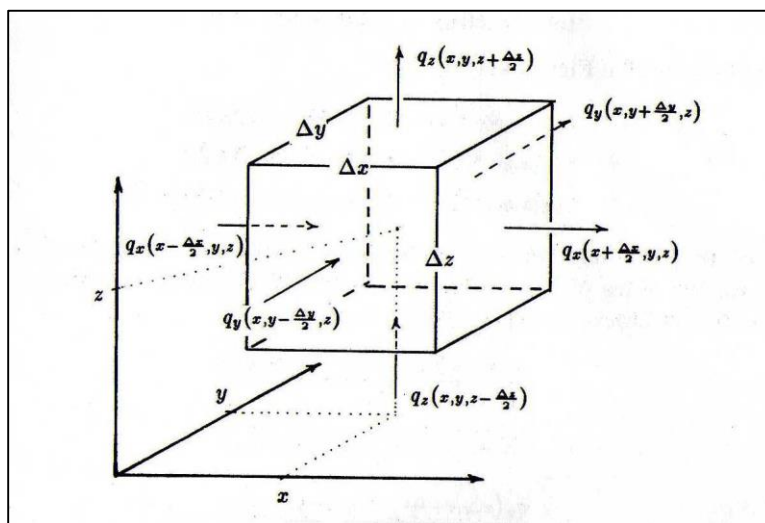
از آنجاییکه بار هیدرولیکی تابعی از سه محور اصلی است، بنابراین مشتقات فوق، مشتق‌های جزئی می‌باشند. رابطه بالا را می‌توان به شکل برداری به صورت زیر نوشت:

$$q = -K \text{grad } h \quad (۱۰-۳)$$

بردار سرعت q دارای مولفه های q_x ، q_y و q_z می‌باشد و بردار گرادیان $\text{grad } h$ دارای اجزاء $\frac{\partial h}{\partial x}$ و $\frac{\partial h}{\partial y}$ و $\frac{\partial h}{\partial z}$ است. از آنجایی که هر مولفه q همان K چندگانه عددی مربوط به مولفه $-\text{grad } h$ است، بردار q و $-\text{grad } h$ دو نقطه در همان جهت هستند. این نتیجه گیری از فرض همسانی پیروی می‌کند (Wang and Anderson, 1982).

۳-۲-۳- معادله پیوستگی برای جریان حالت پایدار

برای شرایط حالت پایدار، پیوستگی نیازمند برابری میزان جریان ورودی با حجم مشخص با میزان جریان خروجی از آن است. وجود شرایط حالت پایدار حاکی از آن است که بار هیدرولیکی مستقل از زمان است. مکعب بسیار کوچکی را با ابعاد Δx ، Δy و Δz در نظر می‌گیریم (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- مکعبی از سفره آب زیرزمینی جهت توضیح معادله پیوستگی (Haitjema, 1995)

توازن جرمی به وسیله جمع اجزاء ورودی و خروجی جریان در سه جهت محاسبه می‌شود. برای مثال، جزء q_x نشان دهنده نرخ حجم جریان بر واحد سطح از سمت چپ مکعب می‌باشد. تخلیه از سمت چپ به راست در مکعب مورد نظر، حاصل ضرب نرخ جریان بر واحد سطحی که از آن جریان برقرار می‌شود یعنی $\Delta x \cdot \Delta z$ ، است بر اساس قانون بقاء جرم مجموع تغییرات در سه جهت باید برابر با صفر باشد. بنابراین:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot \Delta V + \frac{\partial q_y}{\partial y} \cdot \Delta V + \frac{\partial q_z}{\partial z} \cdot \Delta V = 0 \quad (۱۱-۳)$$

ما می‌توانیم عبارت سمت چپ رابطه بالا را بر ΔV تقسیم کنیم، که نتیجه آن می‌شود:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \quad (۱۲-۳)$$

سمت چپ رابطه بالا نشان دهنده تغییر خالص در نرخ حجم جریان بر واحد حجم است. در این حالت آن دیورژانس (divergence) $\mathbf{q}$ نامیده می‌شود و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{div } \mathbf{q} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \quad (۱۳-۳)$$

دیورژانس مجموعه اعمال انجام شده بر روی یک بردار است که تولید کمیت عددی (اسکالر) می‌کند. بر خلاف آن، گرادیان مجموعه اعمال انجام شده بر روی اسکالر است که تولید کمیت برداری می‌کند (Wang and Anderson, 1982).

۳-۳-۳- معادله لاپلاس و شرایط مرزی

معادله لاپلاس از ترکیب قانون دارسی و معادله پیوستگی در فرم یک معادله دیفرانسیلی درجه دوم به دست می‌آید. قانون دارسی به صورت جزء به جزء در رابطه (۳-۱۲) جایگزین شده و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (۳-۱۴)$$

در اینجا $K = K(x, y, z)$ است. اگر K مستقل از x ، y و z فرض شود (یعنی اگر محیط همگن و یکنواخت فرض شود) آنگاه رابطه بالا به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۳-۱۵)$$

رابطه بالا همان معادله لاپلاس است که بر جریان آب زیرزمینی در یک محیط همگن و یکنواخت تحت شرایط حالت پایدار حاکمیت دارد. معادله لاپلاس همچنین در شاخه‌های دیگر فیزیک استفاده شده است. حل معادله لاپلاس نیازمند درک شرایط مرزی است که مسئله را محدود می‌کند و راه حل خاصی را مشخص می‌نماید. انتخاب شرایط مرزی یک گام اصلی در تفهیم و توسعه یک مدل برای سیستم جریان آب زیرزمینی است. اگر یکی از شرایط تعریف شده برای مسئله، نامناسب باشد، باعث می‌شود نتیجه نهایی با خطا همراه شود یا نتایج مبهمی را ایجاد نماید. در حل مسائل جریان در سفره انواع مختلفی از شرایط مرزی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱- مرز با بار ثابت (Constant Head Boundary)

۲- مرز با جریان مشخص (Specified Flux Boundary)

۳- مرز بدون جریان (No- Flow Boundary)

۴- مرز با شدت جریان وابسته بار هیدرولیکی (Head-dependent flux boundary)

۳-۴- معادله دیفرانسیل مربوط به جریان در آبخوان‌های تحت فشار

معادله‌های دیفرانسیل آب زیرزمینی از ترکیب معادله داری با اصل موازنه جرم به دست آمده است. موازنه جرم در نظر گرفتن جریان ورودی، جریان خروجی و تغییرات در ذخیره آب زیرزمینی است. معادله (۳-۳) یک معادله دیفرانسیل جزئی به صورت خطی است که نتایج آن توزیع زمانی و فضایی ارتفاع پیزومتری را در آبخوان‌های تحت فشار ناهمگن و ناهمسان نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۱۶)$$

سیستم مختصات در معادله (۳-۱۶) اختیاری نیست، بلکه باید طوری انتخاب شود که محورهای مختصات با جهت‌های اصلی هدایت هیدرولیکی هم محور باشد. معادله زیر:

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۱۷)$$

هنگامی که آبخوان همگن ولی ناهمسان است کاربرد دارد. اگر $K_x=K_y=K_z=K$ باشد، ساده کردن بیشتر معادله امکان پذیر می‌شود،

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۱۸)$$

این شکلی است که برای آبخوان همگن و همسان قابل کاربرد است. با توجه به اینکه ضریب ذخیره، حاصل ضرب ذخیره ویژه و ضخامت است، معادله دیفرانسیل به صورت زیر می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{bK} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱۹-۳)$$

گاهی جریان‌هایی از آب زیرزمینی وجود دارند که در آن‌ها میزان تغذیه برابر، یا تقریباً برابر با میزان تخلیه است. در چنین شرایطی هیچ تغییری در ذخیره ایجاد نمی‌شود و ارتفاع‌های پیزومتری با زمان تغییر نمی‌کنند. از اینرو:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (۲۰-۳)$$

که این معادله به نام معادله لاپلاس مشهور است و جریان پایا را در آبخوان‌های تحت فشار توصیف می‌کند (McWhorter and Sunada, 1977).

۳-۳-۵- معادله دیفرانسیل مربوط به جریان در آبخوان‌های آزاد

آب از آبخوان آزاد از طریق زهکشی فضای خالی، انبساط آب و فشرده شدن ماده متخلخل از ذخیره خارج می‌گردد. ولی دو مکانیزم انبساط و فشرده‌گی سفره سهم ناچیزی دارند، بنابراین آبی که از لایه آبدار آزاد توسط چاه‌های پمپاژ خارج می‌گردد، نتیجه زهکشی از منافذ سفره و بی‌آب شدن بخشی از سفره در حین پایین رفتن سطح ایستابی و کاهش حجم ذخیره آن می‌باشد. بنابراین، تغییر در ذخیره آبخوان را می‌توان با ضرب کردن تغییر در حجم مخروط افت در آبدهی ویژه ظاهری محاسبه نمود. محل سطح ایستابی در زمان و فضا را می‌توان با حل معادله (۳-۱۶) با قرار دادن $S_s=0$ محاسبه کرد که عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (۲۱-۳)$$

دوپویی در سال ۱۳۸۶، برای راه حل مناسب برای معادله بالا در آبخوان آزاد، فرضیاتی را وضع کرد که عبارتند از:

۱- سرعت جریان با تانژانت α (زاویه‌ای است که سطح آب زیرزمینی با افق می‌سازد) متناسب می‌باشد:

$$V = k \frac{dh}{dx} \quad (۲۲-۳)$$

این فرض، در صورتی که α زاویه کوچکی بوده و سطح آب دارای شیب بسیار کمی باشد، صحیح است.

۲- در یک مقطع قائم جریان افقی و یکنواخت است.

با توجه به فرضیات دوپوئی - فورشه‌ایمر و مفهوم توازن جرمی و فرض اینکه آب به عنوان یک سیال بدون

قابلیت فشردگی در تعادل حجمی است، معادله بوزینسک غیر خطی حاصل می‌شود. معادله (۲۳-۳) برای

آبخوان‌های همسان و ناهمگن به کار می‌رود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۲۳-۳)$$

و، اگر آبخوان همگن و همسان باشد، معادله به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = \frac{S_y}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۲۴-۳)$$

هنگامی که تغییرات فضایی h در مقایسه با مقدار h کوچک باشد، خطی نمودن معادله بوزینسک مجاز

است. در این حالت امکان پذیر است که عمق جریان اشباع متغیر را با ضخامت متوسط b جایگزین نمود و

رابطه زیر را به دست آورد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_y}{bK} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۲۵-۳)$$

که این معادله به نام معادله خطی بوزینسک مشهور است (McWhorter and Sunada, 1977).

۳-۳-۶- معادله دیفرانسیل جریان آب زیرزمینی با مولفه تغذیه یا تخلیه

معادله عمومی جریان آب زیرزمینی با مولفه تغذیه یا تخلیه در آبخوان‌هایی که در آن‌ها جریان آب‌های ورودی یا خروجی علاوه بر مرزهای خارجی سیستم، از بالا یا پایین لایه آبدار نیز انجام می‌شود، کاربرد دارد. برای مثال آبخوان‌هایی که در آن‌ها تخلیه از طریق چاه‌های پمپاژ یا تبخیر و تعرق و یا تغذیه از آب برگشتی چاه‌های بهره برداری صورت می‌گیرد. در چنین شرایطی تابع عمومی ω به طرف چپ معادله (۳-۲۵) اضافه می‌گردد. ω نرخ جریان حجمی بر واحد حجم است، که در شرایط تغذیه علامت ω مثبت و در شرایط تخلیه علامت ω منفی است.

در آبخوان تحت فشار، با در نظر گرفتن جریان افقی دو بعدی و توازن جرمی و شرایط تغذیه، معادله زیر به کار برده می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\omega}{k} = \frac{S}{bK} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۲۶)$$

و برای آبخوان‌های آزاد همسان، همگن و با مولفه نفوذ قائم در شرایط ناپایدار معادله زیر کاربرد دارد:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\omega}{k} = \frac{S_y}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۲۷)$$

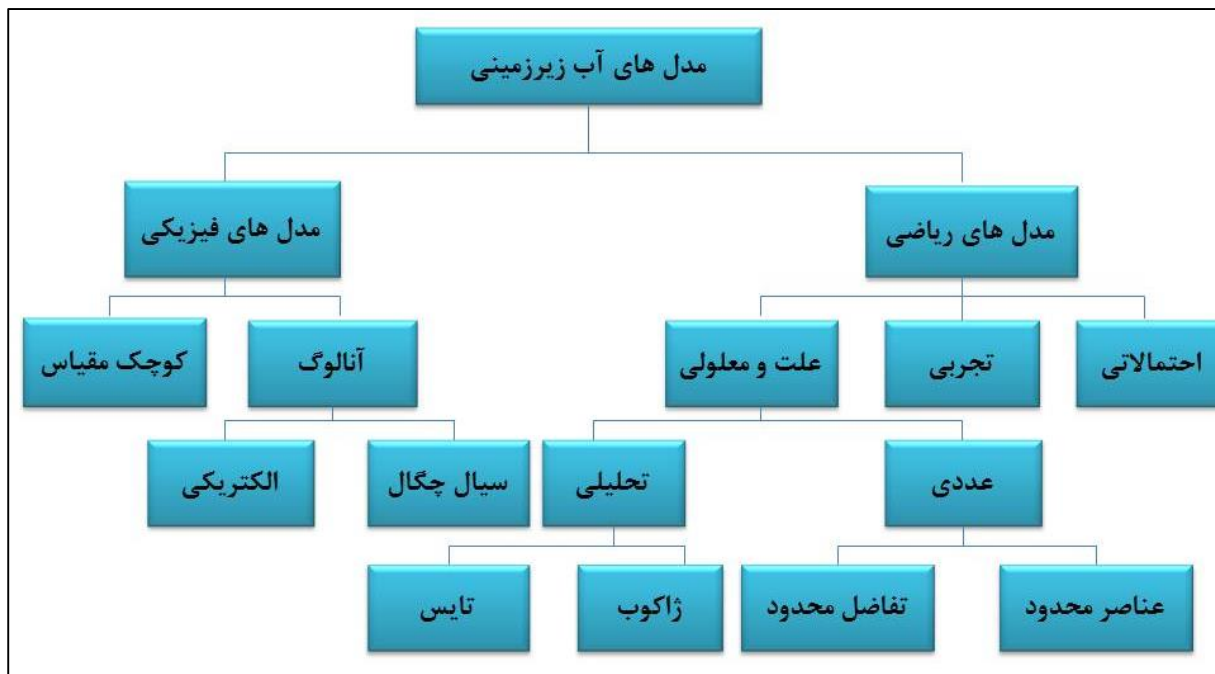
برای آبخوان‌های آزاد همسان، همگن و با مولفه نفوذ قائم در شرایط پایدار معادله زیر که مشهور به معادله پواسون است، به کار می‌رود:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\omega}{k} = 0 \quad (۳-۲۸)$$

۳-۴- انواع مدل‌های آب زیرزمینی

یک مدل باید به عنوان تصویر منطقی از رفتار کل سیستم (سفره) ساخته شده و همه پارامترهای فیزیکی مربوطه را که ویژگی‌های قابل توجهی را توصیف می‌کند، شبیه‌سازی می‌کند. تعداد زیادی از مدل‌ها وجود دارند که یا برای پیش‌بینی رفتار آینده هستند و یا برای مطالعه انواع دینامیک‌های سیستم می‌باشند

(Thangarajan, 2007). انواع متعددی از مدل‌های آب زیرزمینی جهت مطالعه سیستم جریان آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفتند. مجموعه مدل‌های آب زیرزمینی را می‌توان در دو گروه کلی مدل‌های فیزیکی و مدل‌های ریاضی تقسیم بندی کرد (Kresic, 1997).



شکل ۳-۳- انواع مدل‌های جریان آب زیرزمینی (Kresic, 1997)

۳-۴-۱- مدل‌های فیزیکی

فورشهیمر (۱۸۸۶) از اتریش برای اولین بار پدیده جریان آب زیرزمینی را به وسیله ساخت مدل‌های فیزیکی (مدل مخزن ماسه) بررسی نمود. مقدار حرکت با استفاده از مدل‌های فیزیکی برای مطالعه مسائل آب زیرزمینی در طی ۱۹۳۰-۱۹۵۰ برداشت شد، تا زمانی که مدل‌های آنالوگ الکتریکی در حال اجرا در آمد. در مدل مخزن ماسه، بعد حقیقی صحرائی به بعد آزمایشگاهی کاهش یافته و مواد مناسب سفره در یک جعبه معرفی شده و مدل به وسیله ترکیب پمپاژ مناسب آب از مدل و تزریق آب در مدل با یک شرایط مرزی مناسب شبیه سازی شده بود. مدل مخزن ماسه در میان مهندسين عمران در مطالعه پاسخ

چاه و مسایل جریان ناحیه ای به خوبی شناخته شده است. همانطور که در بالا ذکر شد، یک مدل مخزن شن و ماسه یک مدل مقیاس پایین از سیستم واقعی است. اشکال مختلف مدل (مستطیلی، مکعبی و غیره) و ابعاد مختلف آن برای شبیه سازی شرایط جریان محیط متخلخل ساخته شده اند (Thangarajan, 2007).

مدل‌های فیزیکی در یک تقسیم بندی کلی شامل مدل‌های کوچک مقیاس و آنالوگ می‌شود.

الف- مدل‌های کوچک مقیاس

بر اساس اصول و خواص فیزیکی طبیعی آبخوان در یک مقیاس کوچکتر ساخته می‌شوند. این گونه مدل‌ها در مطالعات منابع آب زیرزمینی کاربرد چندانی ندارند. چرا که شرایط طبیعی آبخوان اغلب ناشناخته و پیچیده است. تهیه این گونه مدل‌ها در بیشتر موارد پر هزینه و مشکل می‌باشد.

ب- مدل‌های آنالوگ

در مدل‌های آنالوگ بر خلاف مدل‌های کوچک مقیاس از موادی غیر از مواد آبخوان برای شبیه سازی استفاده می‌شود. این مواد رفتاری شبیه به آبخوان دارند و با وارد کردن استرس بر آن‌ها واکنشی شبیه واکنش آبخوان نسبت به آن استرس را نشان می‌دهد. روش‌های مدل سازی آنالوگ متعددی در گذشته برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی استفاده شده که به وسیله Prickett (1975) بررسی شده است. از روش‌های مدل سازی آنالوگ که برای جریان آب زیرزمینی مطالعه شده‌اند عبارتند از: (۱) مدل‌های آنالوگ الکتریکی و (۲) مدل‌های سیال چگال (Thangarajan, 2007).

۳-۴-۲- مدل‌های ریاضی

مدل ریاضی سیستم آب زیرزمینی مبنی بر مجموعه‌ای از معادلات می‌باشد. این معادلات بر اساس شرایط مرزی، شرایط اولیه، و خواص فیزیکی آبخوان فرموله شده‌اند. مدل‌های ریاضی، اجازه دستکاری آسان و سریع مدل‌های پیچیده را می‌دهند. زمانی که مدل ریاضی تنظیم شده باشد، معادلات به‌دست آمده می‌تواند به‌صورت تحلیلی (اگر مدل ساده باشد) و یا عددی حل گردند. (Konig and Weiss, 2009). در مدل‌های ریاضی سیستم هیدروژئولوژیکی با استفاده از فرمول‌ها و روابط ریاضی توصیف می‌گردد. این فرمول‌ها شامل معادلات دیفرانسیل با شرایط مرزی و اولیه مناسب می‌باشند. مدل‌های ریاضی ممکن است علت و معلولی، تصادفی (آماري) و یا ترکیبی از هر دو باشند (Thangarajan, 2007). این مدل‌ها بسته به نوع معادلات به انواع زیر تقسیم بندی می‌شوند:

- مدل‌های تجربی (Emprical Models)
- مدل‌های احتمالی (Probabilistic Models)
- مدل‌های علت و معلولی (Deterministic Models)

الف- مدل‌های تجربی

این مدل‌ها حاصل داده‌های تجربی می‌باشند که به نوعی معادله ریاضی را برازش می‌دهند (Kresic, 1997). از جمله این مثال‌ها، قانون دارسی است. اگرچه مدل‌های تجربی محدود هستند و در مورد مسئله خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی می‌توانند بخش مهمی از یک مدل پیچیده عددی را تشکیل دهند.

ب- مدل‌های احتمالی

بر اساس نظر Kresic (1997)، این مدل‌ها بر اساس قوانین احتمالاتی و آماری هستند. آن‌ها می‌توانند دارای شکل‌های گوناگونی باشند که از توزیع احتمالاتی ساده یک پدیده هیدرولوژیک ساده شروع و به مدل‌های پیچیده تصادفی وابسته به زمان ختم می‌شوند. یک مدل احتمالاتی چندین مولفه تصادفی دارد و مدل‌هایی مثل وقوع بارش که مدل‌هایی هستند که رابطه بین علت و معلول از یک رابطه فیزیکی تبعیت نمی‌کند و شناخته شده نیست؛ زیرا بخشی از آن فیزیکی و بخشی تصادفی است.

ج- مدل‌های علت و معلولی

در مدل‌های علت و معلولی فرض بر این است که متغیرها از یک قاعده مشخص یا از یک رابطه شناخته شده فیزیکی پیروی کنند و در واقع رابطه بین علت و معلول کاملاً مشخص باشد و هیچ‌گونه متغیر تصادفی در مدل وجود ندارد. بنابراین، فرض می‌شود که واکنش‌های بعدی آبخوان مورد مطالعه، با قوانین فیزیکی حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، جریان آب زیرزمینی به طرف چاهی که به طور کامل در آبخوان محصور حفر گردیده است، توسط معادله تاپس توصیف می‌شود. این مدل‌ها، بر اساس نوع روش حل ریاضی به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

- مدل‌های تحلیلی (Analytical Models)
- مدل‌های عددی (Numerical Models)

الف- مدل‌های تحلیلی

هدف مدل تحلیلی، به دست آوردن یک راه حل دقیق از توصیف ریاضی فرایندهای فیزیکی است. با این حال، معادله جریان آب زیرزمینی که می‌تواند تابع روش‌های تحلیلی باشد، نیاز به چند فرض ساده

سیستم از جمله مرز و شرایط اولیه دارد. این فرایند معمولاً سیستم تحت مطالعه را به دور از واقعیت، ارائه می‌دهد. این روش عمدتاً جهت آنالیز آزمایش پمپاژ برای تخمین پارامترهای سفره، راه حل‌های معکوس برای تفسیر آزمایش‌های جریان و تایید مدل‌های عددی، استفاده می‌شود (Thangarajan, 2007). اولین کار بر روی راه حل‌های تحلیلی مرتبط به جریان آب زیرزمینی توسط Carslaw و Jaeger در سال (1959) و پس آن توسط Strack (1989) انجام گرفت. از مدل‌های تحلیلی در شرایط جریان یک بعدی یا دوبعدی، هموژن و بدون در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی استفاده می‌شود. اگر وضعیت پیچیده‌تر شود، نظیر مواقعی که چندین مرز و چندین آبخوان از لحاظ هیدرولیکی متصل به یکدیگر وجود داشته باشد، کاربرد مدل‌های تحلیلی امکان‌پذیر نخواهد بود.

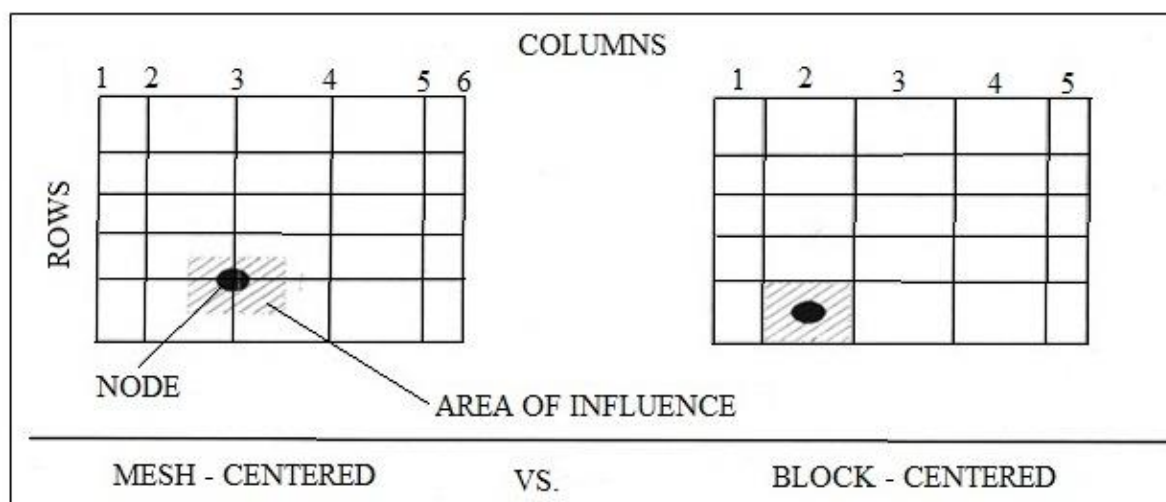
ب- مدل‌های عددی

مدل‌های عددی قادر به حل معادلات پیچیده جریان و انتقال مواد محلول در آب زیرزمینی می‌باشند. برای استفاده از این مدل‌ها باید متغیرهای سیستم که به صورت پیوسته هستند، با متغیرهای ناپیوسته جایگزین شوند. بنابراین، احتیاج به شبکه بندی منطقه یا به عبارت دیگر تقسیم بندی محدوده به ابعاد کوچک‌تر است. در نتیجه، معادلات تفاضلی پیوسته که بیانگر سطح آب در هر قسمت سفره می‌باشند، توسط تعدادی نقطه که گره نامیده می‌شوند، جایگزین شده و به تعداد گره‌ها معادلات جبری به دست می‌آید. با حل این معادلات، ارتفاع سطح آب زیرزمینی در هر گره قابل محاسبه خواهد بود. روش‌های مدل سازی عددی در اواخر دهه هفتاد و دهه هشتاد میلادی توسعه زیادی یافتند. به طور کلی، مدل سازی عددی از روش‌های تقریبی برای حل معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی (PDE) استفاده می‌کند، که جریان در محیط‌های متخلخل را توصیف می‌کند. تفاضل محدود (Finite Difference)، عناصر محدود (Finite Element)، تفاوت محدود تلفیقی (Integrated Finite Element)، روش معادله انتگرال

مرزی (Boundary Integral Equation Method) و المان تحلیلی (Analytic Elements) از روش‌های عددی مهمی هستند که در حال حاضر رواج دارند (Thangarajan, 2007). در این میان دو روش عناصر محدود و تفاوت محدود نسبت به بقیه روش‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Anderson and Wossner, 1992). توضیح مختصری از این روش‌ها در زیر ارائه شده است:

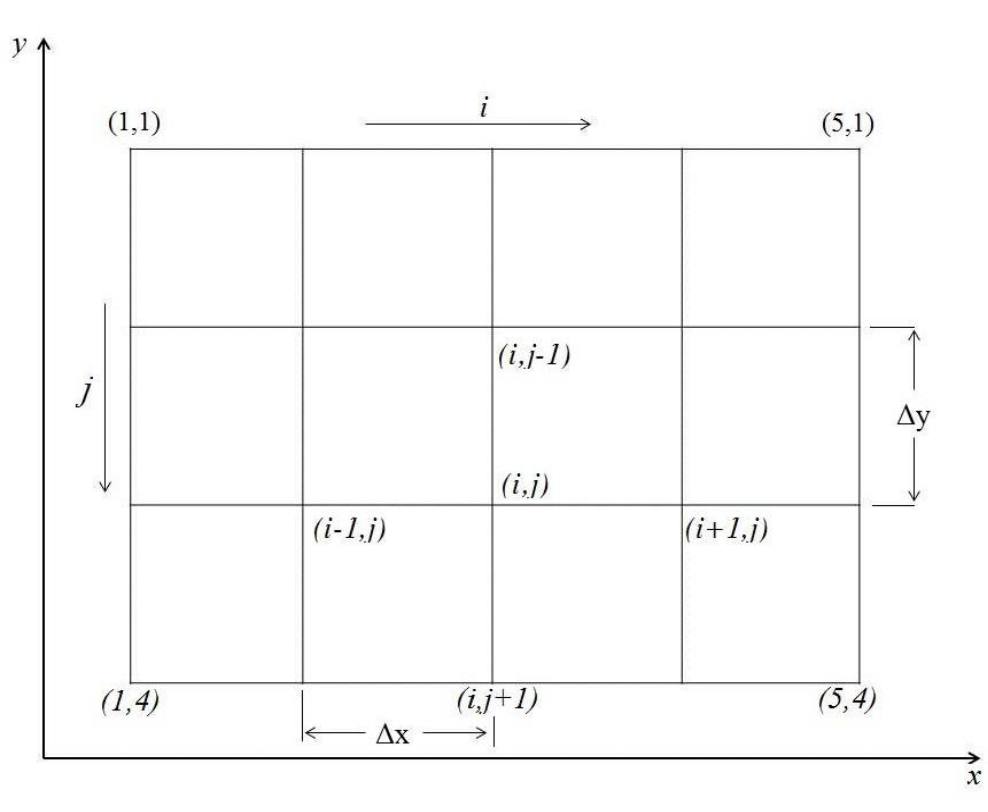
۱- روش تفاضل محدود (FDM)

در این روش از شبکه‌های چهار گوش برابر یا نابرابر استفاده می‌شود. در این روش می‌بایست محل نقاط تعیین شود که این نقاط یا گره‌ها می‌توانند در مرکز چهارگوش‌ها (Block- centered) یا در محل تقاطع خطوط شبکه (Mesh- centered) واقع شوند (شکل ۳-۴). در روش مرکز شبکه‌ای، گره‌ها در محل برخورد خطوط موازی قرار دارند و سلول‌ها در اطراف این گره‌ها طوری ساخته می‌شوند که وجوه وابسته به آن‌ها در مرکز فاصله بین دو گره مجاور قرار می‌گیرند. در این حالت، فاصله گره‌ها می‌بایست طوری انتخاب شود که خصوصیات هیدرولیکی در یک سلول کاملاً یکنواخت باشد.

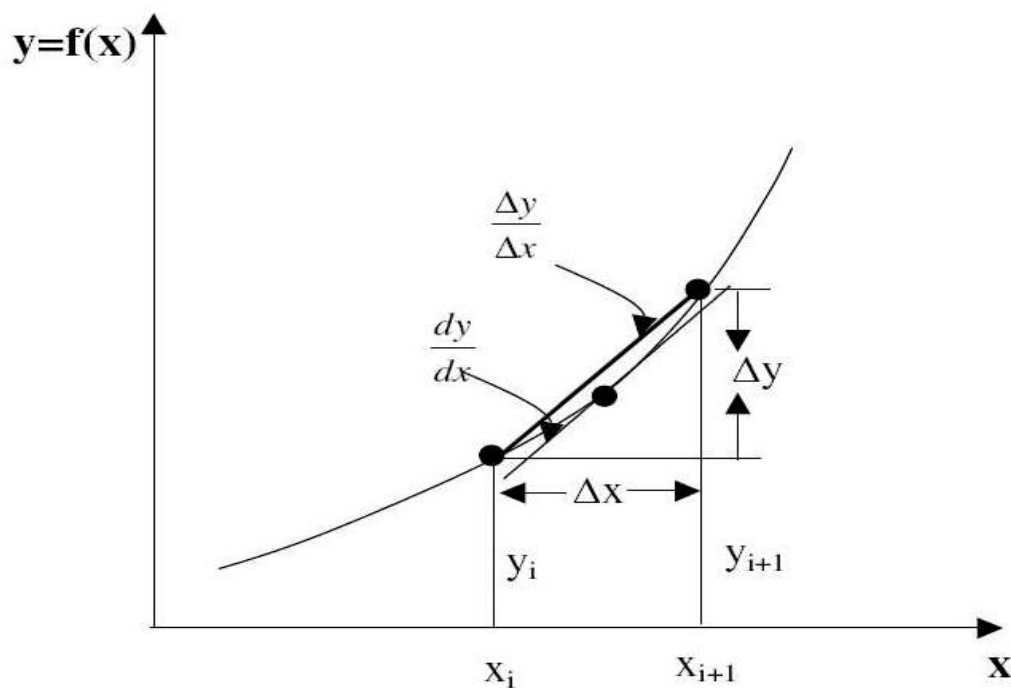


شکل ۳-۴- شبکه بندی تفاضل محدود، سیستم مرکز بلوکی و مرکز شبکه‌ای (Thangarajan, 2007)

در روش تفاضل محدود، یک محیط پیوسته توسط یک مجموعه‌ای گسسته از نقاط به نام گره‌ها جایگزین شده و پارامترهای مختلف هیدروژئولوژیکی به هر یک از این گره‌ها اختصاص داده می‌شود. بر این اساس، عملگرهای متفاوت، روابط مکانی-زمانی بین پارامترهای مختلف جایگزین مشتقات جزئی را تعریف می‌کنند. مجموعه معادلات تفاضل محدود برای هر گره به دست آمده است. بر این اساس، حل یک معادله تفاوت محدود، با توزیع اولیه بار هیدرولیکی شروع شده و بارهای هیدرولیکی در زمان‌های بعد محاسبه می‌شود (Thangarajan, 2007). در روش تفاضل محدود برای بسط معادلات جریان آب زیرزمینی، ابتدا مشتقات با تفاوت‌های بین نقاط گره‌ای جایگزین می‌گردند (شکل ۳-۵)



شکل ۳-۵- مختصات محلی یک سیستم شبکه بندی شده (Wang and Anderson, 1982)



شکل ۳-۶- برآورد تفاضل محدود (Konig and Weiss, 2009)

محاسبه مشتق در روش تفاضل محدود به صورت زیر است:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-3)$$

مطابق تعریف مشتق اول بین دو نقطه (i, j) و $(i+1, j)$ ، معادله زیر به دست می آید:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}}{\Delta x} \quad (2-3)$$

و نیز بین دو نقطه (i, j) و $(i-1, j)$ معادله زیر حاصل می گردد:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)}}{\Delta x} \quad (3-3)$$

مشتق دوم در نقطه (i, j) از تفاوت مشتقات اول در آن نقطه حاصل می شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{(h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)})}{\Delta x^2} \quad (4-3)$$

با همان روش مشتق دوم نسبت به محور y را نیز به دست می آوریم:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{(h_{(i,j+1)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i,j-1)})}{\Delta y^2} \quad (5-3)$$

اگر معادله عمومی جریان آب زیرزمینی (معادله لاپلاس) با مشتقات بالا جایگزین شود، معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{(h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)})}{\Delta x^2} + \frac{(h_{(i,j+1)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i,j-1)})}{\Delta y^2} = 0 \quad (6-3)$$

اگر فرض شود $\Delta x = \Delta y = 1$ باشد، معادله به صورت نوشته می‌شود:

$$h_{(i-1,j)} - 4h_{(i,j)} + h_{(i+1,j)} + h_{(i,j+1)} + h_{(i,j-1)} = 0 \quad (7-3)$$

معادله (7-3) که بیان کننده تفاضل عددی معادله لاپلاس است، به نام عملگر پنج نقطه‌ای مطرح می‌باشد (Wang and Anderson, 1982).

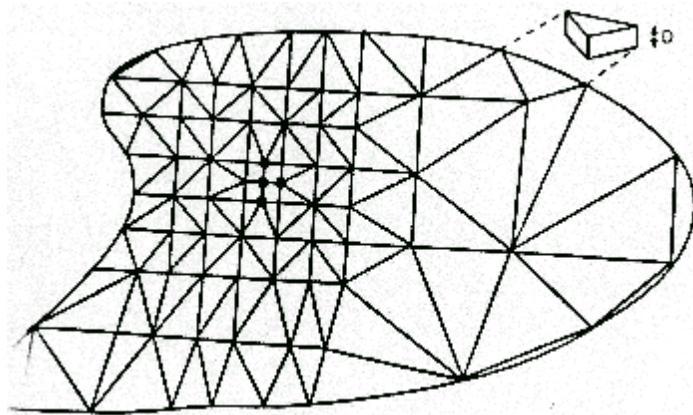
دقت این روش بستگی به اندازه شبکه و یکنواختی دارد. سه روش متفاوت در تفاضل محدود وجود دارد: تفاضل رو به جلو (forward)، عقب (backward) و مرکزی (central)، که بسته به روش تفاضل محدود به اجرا درآمده‌اند (Pinder and Grey, 1977).

مدل تفاضل محدود همچنین به عنوان MODFLOW مطرح می‌گردد و در حال حاضر بسیاری از دانشمندان در سراسر جهان از آن استفاده می‌کنند. آخرین نسخه، MODFLOW-2000 است. چندین مدل عالی تفاضل محدود، توسط سازمان زمین شناسی آمریکا تهیه شده و در اختیار عموم قرار گرفته است. یکی از این مدل‌ها، مدل سه بعدی تفاضل محدود MODFLOW است که McDonald و Harbaugh در سال ۱۹۸۸ ارائه داده‌اند.

۲- روش اجزاء محدود (FEM)

در این روش از شبکه‌های چند وجهی به‌ویژه مثلثی استفاده شده و اجزای مختلفی تعیین می‌گردند. این اجزاء به‌وسیله گره‌ها که به‌صورت منظم یا نامنظم هستند، تعیین می‌شوند. گره‌ها ممکن است در محل

تقاطع چند وجهی‌ها و گاهی در درون آن‌ها یا در وسط اضلاع باشند و نمایانگر تقاطعی هستند که در این نقاط پارامترهای مجهول محاسبه می‌شوند (شکل (۷-۳)).



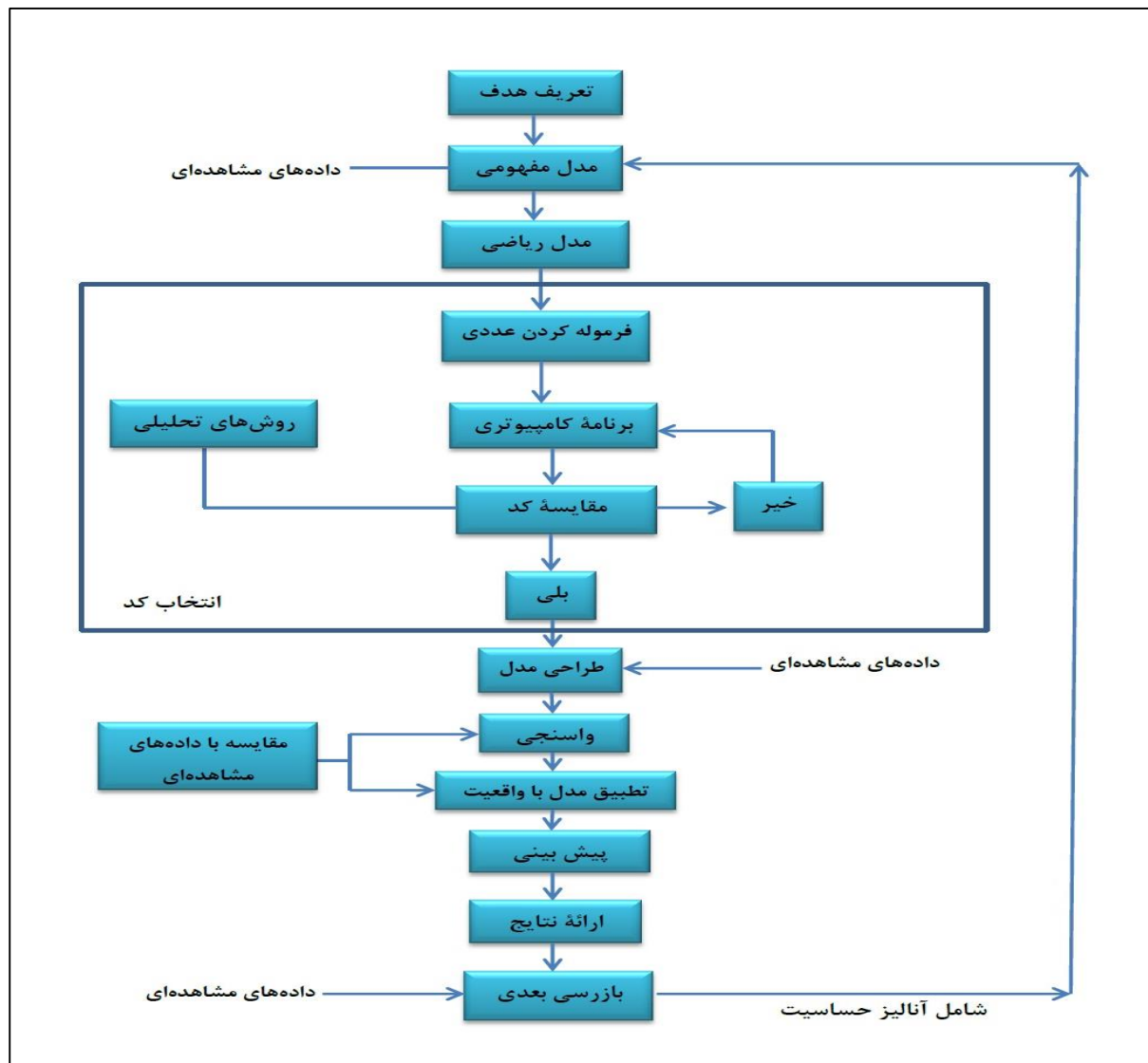
شکل ۷-۳- شبکه بندی عناصر محدود (Bobba and Singh, 1995)

روش اجزاء محدود در محاسبه مرزهایی که از نظر شکل، بی‌قاعده و نامنظم هستند، از قابلیت بالایی برخوردار است. همچنین این روش در شبیه‌سازی مرزهای داخلی نظیر مناطق گسلی، منابع تخلیه‌کننده و تغذیه‌کننده متمرکز، سطوح نشت و جابه‌جایی سطح ایستابی، توانایی زیادی دارد.

۳-۵- پروتکل مدل سازی

پروتکل مدل سازی شامل تمام مراحل تهیه یک مدل (تعیین هدف، مراحل انتخاب کد کامپیوتری، صحت سنجی، طراحی مدل، واسنجی مدل، تحلیل حساسیت و پیش‌بینی) است. در مورد مراحل مختلف مدل سازی و نحوه ارائه الگوریتم مدل‌سازی بین محققین اختلاف نظرهایی وجود دارد. اهمیت انتخاب یک پروتکل مناسب در درجه اول به دلیل نقش آن در سرعت دادن به پیشرفت مراحل مدل سازی است. تاکنون الگوریتم‌های متعددی توسط محققین ارائه شده است که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوتی هستند. با توجه به اینکه اطلاعات موجود در خصوص دشت‌های کشور چندان قابل اعتماد نبوده و با

روش‌های مختلف باید مورد کنترل و اصلاح قرار گیرند، لذا استفاده از یک الگوریتم مدل‌سازی که با شرایط موجود هماهنگی داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. شکل ۳-۸ مراحل تهیه یک مدل آب زیر-زمینی را نشان می‌دهد. این مراحل در ادامه به صورت مختصر توضیح داده شده است.



شکل ۳-۸- مراحل تهیه مدل (Anderson and Woessner, 1992)

۳-۵-۱- تعیین هدف

اولین مرحله در تهیه هر مدلی تعیین هدف استفاده از مدل است. یک مدل آب زیرزمینی می‌تواند برای فهم مکانیزم‌های موثر بر جریان آب زیرزمینی، انتقال محلول، پیش‌بینی حساسیت آب زیرزمینی نسبت به استرس‌های محتمل، پیش‌بینی آینده، شناخت مسیر حرکت، تخمین زمان آلودگی، ارزیابی خطرات محیطی و غیره به کار می‌رود. بنابراین قبل از شروع ساخت مدل ابتدا باید اهداف مدل مشخص شود تا داده‌های لازم برای هدف، مشخص شده و جمع آوری گردد.

۳-۵-۲- ایجاد مدل مفهومی

معمولاً پس از تعیین اهداف مدل سازی دومین مرحله در فرایند مدل سازی و در حقیقت اصلی‌ترین مرحله در مطالعات مدل، تهیه یک مدل مفهومی می‌باشد. ایجاد مدل مفهومی، فرایندی است که در آن داده‌هایی که بیانگر شرایط صحرایی هستند برای شناخت فرایندهای جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی، به روش مشخصی جمع آوری می‌شوند. به عبارت دیگر، هدف از ایجاد مدل مفهومی، ساده کردن شرایط واقعی مورد مطالعه و سازمان دهی داده‌های صحرایی است، به‌طوری‌که سیستم مورد نظر آسان‌تر مورد تحلیل و تجزیه قرار گیرد (Anderson and Woessner, 1992).

۳-۵-۳- انتخاب کد کامپیوتری و نرم افزار

کد یا برنامه کامپیوتری، مجموعه دستوراتی است که رایانه برای حل مدل ریاضی مورد استفاده قرار می‌دهد. کد کامپیوتری یک مفهوم عمومی و کلی است، در حالیکه یک مدل شامل مجموعه‌ای از شرایط مرزی و اولیه، شبکه، مقادیر پارامتری و تنش‌های هیدرولوژیکی مربوط به یک منطقه خاص است.

نرم افزار مورد استفاده در این پروژه GMS می باشد و کد انتخابی برای مدل سازی عددی منطقه مورد مطالعه MODFLOW (Modular Groundwater Flow) است که در زیر به طور خلاصه شرح داده می شود:

الف- شرحی بر نرم افزار MODFLOW

MODFLOW یک برنامه کامپیوتری است که جریان آب زیرزمینی را با استفاده از روش تفاضل محدود در یک محیط متخلخل شبیه سازی می کند (McDonald and Harbaugh, 1988). MODFLOW به گونه ای طراحی شده که دارای یک ساختار مودولار است و این امر برای تسهیل در فهمیدن برنامه و تسهیل در توسعه و پیشبرد مدل می باشد.

آخرین نسخه از MODFLOW مدل MODFLOW2000 نام دارد. این مدل بر اساس دیدگاه مودولاریزاسیون که از ابتدا در مادفلو وجود داشته است، طراحی شده است. طراحی مادفلو از دو بعد می تواند مورد توجه قرار گیرد. یکی از این ابعاد، کاربر مدل است. به این صورت که یک کاربر مدل را با توجه به قابلیت های آن برای شبیه سازی انواع مختلفی از معادلات جریان آب زیرزمینی در نظر می گیرد. برای راحتی در کاربرد این بخش از مدل، برنامه به بخش هایی تقسیم می شود که هر کدام یک بسته یا Package نام دارد. هر یک از پدیده های هیدرولیکی از قبیل نشت به رودخانه، تغذیه، تبخیر و تعرق، که در معادله جریان آب زیرزمینی وجود دارند، به عنوان یک بسته جداگانه می باشند.

دومین بعد از طراحی مدل مادفلو، بعد برنامه نویسی آن می باشد که در این مرحله برنامه به قطعاتی شکسته می شود که برنامه را هر چه ساده تر به صورت منطقی ارائه می کند، ضمن اینکه عملکرد برنامه همچنان محفوظ می باشد. این قطعات در مادفلو Procedures نامیده می شوند (بوالی گزیک، ۱۳۸۳).

عدۀ زیادی مدل سه بعدی تفاضل محدود جریان آب زیرزمینی مادفلو را که توسط مک دونالد و هارباگ (۱۹۸۸) تهیه شده است، به عنوان قابل اعتمادترین و قابل استفاده ترین مدل موجود در ارتباط با جریان آب‌های زیرزمینی، مورد توجه قرار داده‌اند. این مدل توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده ایجاد شده است و در دسترس عموم قرار گرفته است.

ب- معرفی نرم افزار GMS

نرم افزاری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، GMS می‌باشد که برای آشنایی با نرم افزار GMS (Groundwater Modeling System) و شناخت بیشتر آن به معرفی کلی GMS و ابزارهای موجود، پرداخته می‌شود:

GMS محیطی جامع برای شبیه‌سازی‌های جریان آب زیرزمینی می‌باشد. کل سیستم GMS شامل یک رابط کاربر گرافیکی (برنامه GMS) و تعدادی از کدهای تجزیه و تحلیل نظیر MODFLOW، MT3DMS، RT3D، SEAM3D، MODPATH، SEEP2D، FEMWATER، NUFT، UTCHEM است. رابط GMS توسط Environmental Modeling Research Laboratory از دانشگاه Brigham Young با مشارکت US. Army Engineer Watrways Experiments Station تهیه شده است.

در GMS انواع مختلفی از مدل‌ها پشتیبانی می‌شوند و امکانات زیادی برای به اشتراک گذاشتن اطلاعات بین مدل‌های مختلف و انواع داده‌ها ارائه شده است. GMS به‌عنوان یک پیش پردازشگر و پس پردازشگر بسیار قدرتمند برای کد مادفلو ۲۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود. مادفلو موجود در این نرم افزار قابلیت تهیه شبکه با هر دو روش مرکز شبکه‌ای و مرکز سلولی را دارد. داده‌های ورودی برای مادفلو به‌هنگام راه اندازی از GMS فراخوانی می‌گردند. این نرم افزار دارای ساختاری مودولار است که از یک برنامه اصلی و یک سری از برنامه‌های فرعی به نام ماژول یا مدول (Module) تشکیل شده است. منظور از برنامه مودولار این

است که برنامه از قسمت‌های مجزایی تشکیل شده است که هر کدام از آن‌ها وظیفه خاصی را به عهده دارند. این مدول‌ها به صورت بسته‌هایی گروه بندی می‌شوند که هر بسته با بخشی از سیستم هیدرولوژیکی نظیر جریان آب به سمت زهکش، ارتباط هیدرولیکی با رودخانه، در ارتباط است. طراحی برنامه مودولار به کاربر اجازه می‌دهد تا بتواند شرایط هیدرولوژیکی متفاوت را به طور جداگانه در داخل مدل مورد نظر قرار دهد. از مزیت دیگر این طراحی این است که مدول‌های جدید را می‌توان بدون تغییر نسخه موجود مورد استفاده قرار داد.

- انواع مدول‌های GMS

رابط GMS شامل ۱۰ مدول می‌باشد که در ذیل به طور خلاصه ذکر شده است:

- TIN Module

مدول شبکه مثلثی بی‌قاعده (Triangulated Irregular Network) در مدل کردن سطوح (Surface Modeling) به کار می‌رود. TINها با اتصال مجموعه‌ای از نقاط XYZ با لبه‌های به شکل شبکه-ای از مثلث‌ها، تشکیل شده‌اند. TINها می‌توانند برای نشان دادن سطوح یک واحد زمین شناسی یا سطحی که توسط یک تابع ریاضی تعریف شده، به کار روند. مقادیر هر یک از لبه‌های سطوح تشکیل شده در TIN به صورت خطی تغییر می‌یابد. در GMS می‌توان به طور همزمان چندین TIN را مدل کرد و با فعال کردن یکی از آن‌ها و غیر فعال کردن سایرین، عملیات متفاوتی از جمله نمایش سه بعدی، درونیایی و غیره را بر روی TIN فعال انجام داد.

- Borehole Module

مدول گمانه‌ها در مدیریت داده‌های گمانه‌ای و حفاری‌ها به کار برده می‌شود. تهیه مقاطع در طول گمانه‌های مختلف از جنبه‌های مهم آن است. داده‌های گمانه می‌تواند شامل داده‌های نمونه (Sample Data) و داده‌های چینه نگاری یا هر دو باشد.

- Solid Module

مدول حجمی یا سه بعدی GMS برای ساخت مدل‌های سه بعدی چینه نگاری به کار برده می‌شود. هنگامی چنین مدلی تهیه شد، می‌توان از مکان‌های مختلف آن، مقطعی تهیه کرد. در واقع از این مدول برای شناسایی بهتر منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. همچنین می‌تواند برای استخراج داده‌های ارتفاعی لایه‌های مختلف آبخوان برای مدل MODFLOW مورد استفاده قرار گیرد. پس از تهیه مدل سه بعدی می‌توان از هر منطقه مدل مقطع عرضی تهیه کرد و از آن در محاسبه حجم سه بعدی و تعریف داده‌های ارتفاعی (تراز سنگ کف، توپوگرافی، تراز لایه‌های محبوس کننده) مدل عددی مادفلو استفاده کرد.

- 2D Mesh Module

مدول شبکه‌ای دو بعدی برای ساخت شبکه‌های اجزای محدود دو بعدی استفاده می‌شود.

- 2D grid Module

برای ایجاد و ویرایش شبکه‌های دوبعدی کارترین مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدول نیز برای نمایش بهتر سطوح و تهیه خطوط تراز استفاده می‌شود.

- 2D Scatter Point Module

مدول نقاط پراکنده دو بعدی، برای درونیابی گروه‌هایی از داده‌های دو بعدی به اهداف دیگر (مش‌ها، شبکه‌ها، TINها) که در سطوح توزیع شده‌اند، به کار برده می‌شود که برای این کار از چهار تابع خطی و غیر خطی درون یابی از جمله کریجینگ (Kriging) استفاده می‌شود. این مدول، یکی از مهم‌ترین مدول‌های موجود در نرم افزار GMS است. در GMS از این مدول استفاده زیادی شده است. از جمله مزیت‌های مدول نقاط پراکنده، درون یابی نقاط، تبدیل آن‌ها به دیگر داده‌های GMS نظیر TIN، نقاط مشاهده‌ای، گره‌های شبکه و آزمون و آنالیز داده‌های نقاط با استفاده از توابع آماری مختلف، است.

- 3D Mesh Module

این مدول برای ساخت شبکه‌های سه بعدی اجزای محدود استفاده می‌شود. زمانی که یک مش ساخته می‌شود، رابط FEMWATER می‌تواند برای طراحی شرایط مرزی و تجزیه و تحلیل پارامترها مورد استفاده قرار گیرد.

- 3D grid Module

مدول شبکه‌ای سه بعدی برای ایجاد شبکه‌های کارترین سه بعدی به کار می‌رود. این شبکه‌ها می‌توانند برای درون یابی، تهیه خطوط هم تراز آب زیرزمینی، تهیه مقاطع عرضی و تهیه مدل به روش تفاضل محدود مورد استفاده قرار گیرند.

- Map Module

مدول نقشه مجموعه‌ای از ابزارهای مناسبی را برای تهیه مدل عددی با استفاده از انواع مختلف اجزاء ساده GIS (نقطه، خط و چند ضلعی) فراهم می‌آورد. مدول نقشه چهار پدیده را پشتیبانی می‌کند که شامل

feature objects, digital image, drawing objects و فایل‌های DXF می‌باشند. از خصوصیات مهم GMS، صرفه جویی در زمان و دقت بالا است. مدول نقشه با استفاده از مجموعه‌ای از ابزارهای ترسیمی در کلیه مراحل تهیه مدل به خصوص تهیه مدل مفهومی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. یک مدل جریان آب زیرزمینی در GMS را می‌توان به دو روش تهیه کرد:

- روش شبکه (Grid approach)

شبکه‌بندی منطقه مدل، نقطه آغازین طراحی واقعی مدل کامپیوتری می‌باشد. شبکه مادفلو (که از نوع تفاضل محدود است)، از مجموعه سلول‌هایی تشکیل شده است و خواص هیدرولیکی و هیدروژئولوژیک در محدوده یک سلول یکنواخت فرض شده است. در این روش پارامترهای مختلف به هر سلول مستقیماً داده می‌شود. در حقیقت، ما در این روش با شبکه‌ای از سلول‌ها سر و کار داریم و پارامترها از قبیل تغذیه و تخلیه سلول به سلول وارد می‌شوند. در مدل‌هایی که از پیچیدگی کمتری برخوردارند، این مدل کارایی بیشتری دارد.

- روش مدل مفهومی

در این روش، استفاده از ابزارهای GIS در مدول نقشه برای ایجاد مدل مفهومی منطقه‌ای کاربرد دارد. مدل مفهومی در مدول نقشه با استفاده از نقاط، خطوط و چند وجهی‌ها تهیه می‌شود. پس از تهیه مدل مفهومی، پارامترهای تعریف شده به سلول‌های شبکه نسبت داده می‌شوند. در این روش، وارد کردن داده‌ها به صورت خودکار انجام می‌گیرد و نیازی به وارد کردن داده‌های ورودی زیاد به صورت سلول به سلول نیست.

۳-۵-۴- طراحی مدل

در این مرحله مدل مفهومی را به صورتی قابل استفاده برای مدل سازی تبدیل می کنیم. این مرحله شامل طراحی شبکه، انتخاب گام های زمانی، تنظیم شرایط اولیه و شرایط مرزی و انتخاب دقیق مقادیر پارامترهای سفره و تنش های هیدرولوژیکی می باشد.

الف- تقسیم بندی مکانی

به دلیل اینکه در مدل MODFLOW، جهت حل معادلات دیفرانسیل جزئی از روش تفاضل محدود استفاده می گردد و چون در مدل های عددی قلمروی پیوسته (Continuos domain) به وسیله قلمرو گسسته (Discretised domain) جایگزین می شود، محدوده مورد نظر پس از تهیه مدل مفهومی می بایست به بلوک هایی تقسیم گردد. این بلوک ها در روش تفاضل های محدود مربع یا مستطیل شکل هستند. موقعیت هر کدام از این بلوک ها بر حسب شماره ردیف، ستون و لایه به وسیله یک سیستم شماره گذاری i, j, k مشخص می شود. برای سیستمی شامل n سطر، n ستون و n لایه، i شماره سطر، j شماره ستون و k شماره لایه تعریف می گردد.

ب- شرایط مرزی

در طراحی مدل، انتخاب شرایط مرزی، یکی از حساس ترین مراحل در مدل سازی است. در طراحی مدل بیشترین مرحله ای که تحت تاثیر خطای زیاد قرار می گیرد، تنظیم شرایط مرزی است. (Franke and et. al., 1987). در مدل سازی آب های زیرزمینی چهار نوع مرز تعریف شده است که در زیر به طور مختصر ذکر شده اند:

۱- مرز با بار هیدرولیکی مشخص (Specific head boundary)

در این نوع مرز، فرض شده است که هد ثابت است. خط هم‌تراز یا تماس بین آبخوان و یک توده آب سطحی را می‌توان با سلول‌های بار هیدرولیکی ثابت شبیه سازی کرد. به دلیل تغییرات در مرز آبخوان و باقی ماندن سلول‌های مملو از آب، شبیه سازی مرز با بار هیدرولیکی مشخص باید با احتیاط زیاد انجام شود. به‌همین دلیل در تمام مراحل شبیه سازی، بار هیدرولیکی در این سلول‌ها به‌صورت اولیه باقی می‌ماند.

۲- مرز با شدت جریان وابسته به بار هیدرولیکی (Head dependent flux boundary)

در این نوع مرز، میزان جریان ورودی یا خروجی بر اساس اختلاف بار هیدرولیکی سلول‌های مرزی آبخوان مجاور محاسبه می‌گردد.

۳- مرز با شدت جریان معلوم

از نمونه‌های این مرز، می‌توان به سطح ایستابی در آبخوان‌های آزاد، ورودی و خروجی جانبی از محل تماس بین آبخوان‌های مختلف، نشت از لایه‌های مجاور، جریان چشمه و تغذیه به رودخانه و یا تغذیه از رودخانه‌های سطحی، اشاره کرد.

۴- مرزهای فاقد جریان (No flow boundary)

در این نوع مرز، میزان جریان ورودی صفر در نظر گرفته می‌شود. مدل مادفلو به‌طور خودکار یک مرز فاقد جریان را در اطراف شبکه فرض می‌کند.

ج- تقسیم بندی زمانی

تقسیم بندی زمانی که تعیین گام‌های زمانی و دوره‌های تنش را شامل می‌شود، نتایج حل عددی را به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهد. معمولاً بهتر است از گام‌های زمانی کوچک استفاده شود و برای جلوگیری از نوسانات عددی، گام‌های زمانی را باید کاهش داد. یک دوره تنش، شامل مجموعه‌ای از گام‌های زمانی است. برای هر دوره استرس، زمان کلی تعداد گام‌های زمانی و ضریب افزایش گام زمانی باید مشخص شود. طول گام زمانی i برابر حاصل ضرب گام زمانی $i-1$ با ضریب افزایشی می‌باشد.

۳-۵-۵- واسنجی مدل

فرایند یافتن مجموعه‌ای از پارامترها، شرایط مرزی و تنش‌ها واسنجی مدل نامیده می‌شود که بارهای هیدرولیکی شبیه‌سازی شده مطابق با مقادیر اندازه‌گیری شده در صحرا ایجاد می‌کند. بدون شک یکی از حساس‌ترین مراحل مدل سازی، مرحله واسنجی می‌باشد. به عبارت دیگر این مرحله را می‌توان به عنوان کلید مدل سازی در نظر گرفت. به طور کلی پارامترهایی که در مدل، نیاز به تصحیح دارند، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره) و مقادیر عددی تغذیه و تخلیه طبیعی از آبخوان، می‌باشند. واسنجی را می‌توان با دو روش آزمون و خطا و واسنجی خودکار انجام داد.

الف- واسنجی دستی یا سعی و خطا

یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها در این زمینه، واسنجی دستی و به روش سعی و خطا است و هنوز بسیاری از کاربران استفاده از این روش را ترجیح می‌دهند. در این روش مقادیر پارامترهای ورودی به مدل داده می‌شود و پس از اجرای مدل، مقایسه بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده، انجام می‌شود. در صورتی که

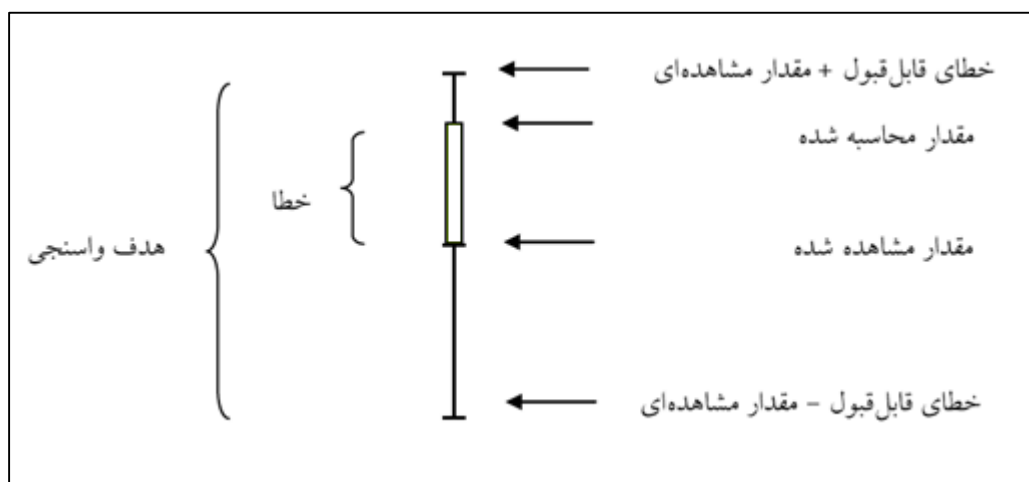
تفاوت قابل ملاحظه بین این دو وجود داشت، پارامترها تصحیح شده و مجدداً مدل اجرا می شود. این کار آن قدر تکرار می شود تا نتایج قابل قبولی حاصل شود.

ب- واسنجی خودکار

واسنجی خودکار توسط کدهای کامپیوتری انجام می شود و از روش معکوس حل معادلات دیفرانسیل جزئی استفاده می گردد. برخی از کدهای کامپیوتری مربوط به واسنجی خودکار، با مجموعه پارامترهای بهینه‌ای همراه می باشند که مجموع مربعات انحراف بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی به یک حداقل کاهش می یابد. از جمله کدهای مورد استفاده برای واسنجی خودکار، PEST، UCODE و MF2K PES Process می باشند (معاونت امور آب و آبفا).

۳-۵-۶- نتایج واسنجی

ارائه نتایج مدل در قالب یک گزارش کامل و مفید از اهمیت زیادی برخوردار است. در اهمیت گزارش نویسی می توان گفت یک مدل هر قدر هم موفق و مهم باشد، اگر نتایج آن درست ارائه نشود، بی ارزش خواهد بود. از خصوصیات نرم افزار GMS، نمایش تصویری میزان خطای ناشی از اختلاف بار هیدرولیکی محاسبه شده و شبیه سازی شده است. به این صورت که با رسم یک هدف واسنجی در کنار هر یک از پیزومترها، وضعیت واسنجی پس از هر اجرای مدل را نشان می دهد. اجزای هدف واسنجی در شکل ۳-۹ آورده شده است. میله رنگی نشان دهنده خطای واسنجی است و مرکز آن بر مقادیر مشاهده‌ای منطبق می باشد. اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گیرد، میله به رنگ سبز می شود و اگر خطا خارج از محدوده خطای قابل قبول و کمتر از ۲۰۰٪ باشد، میله رنگی زرد و در صورتی که مقدار خطا بیشتر از ۲۰۰٪ باشد، میله رنگی قرمز می شود.



شکل ۳-۹- هدف واسنجی در نرم افزار GMS

۳-۵-۷- صحت سنجی

برای اطمینان از درستی و صحت مدل سازی، باید مدل ایجاد شده را با داده‌ها و شرایط واقعی ارزیابی کرد. این مرحله که صحت سنجی نامیده می‌شود، بیانگر توانایی مدل در پیشگویی رفتار جریان و انتقال املاح در آبخوان می‌باشد. هدف از صحت سنجی، آزمودن دقت الگوریتم‌های محاسبه‌ای استفاده شده برای حل معادلات و اطمینان پیدا کردن از عملکرد کامل کد کامپیوتری، می‌باشد. (Batu, 2006).

۳-۵-۸- پیش‌بینی

هدف از پیش‌بینی، پاسخ سیستم نسبت به حوادث آینده است. زمانی که مدل نسبت به پارامترهای آبخوان و تنش‌های هیدرولوژیکی کالیبره می‌شود، برای پیش‌بینی آماده است. بنابراین در این مرحله، مدل برای حوادث احتمالی بعدی شبیه سازی می‌شود. عدم اطمینان از پیش‌بینی‌های شبیه سازی شده، از عدم اطمینان نسبت به مدل کالیبره شده و عدم توانایی در ارزیابی صحیح بزرگی و زمان حوادث بعدی ناشی می‌شود.

۳-۵-۹- ارائه نتایج و نحوه طراحی مدل

ارائه نتایج واضح از طراحی و اجرای مدل، یک امر ضروری و مهم در مدل سازی می باشد.

۳-۵-۱۰- بازرسی مجدد

پس از طراحی و پیش بینی های انجام شده توسط مدل، برای تطابق دوباره مدل با شرایط جدید بازرسی مجدد انجام می شود.

فصل چهارم: طراحی و اجرای مدل آب زیرزمینی

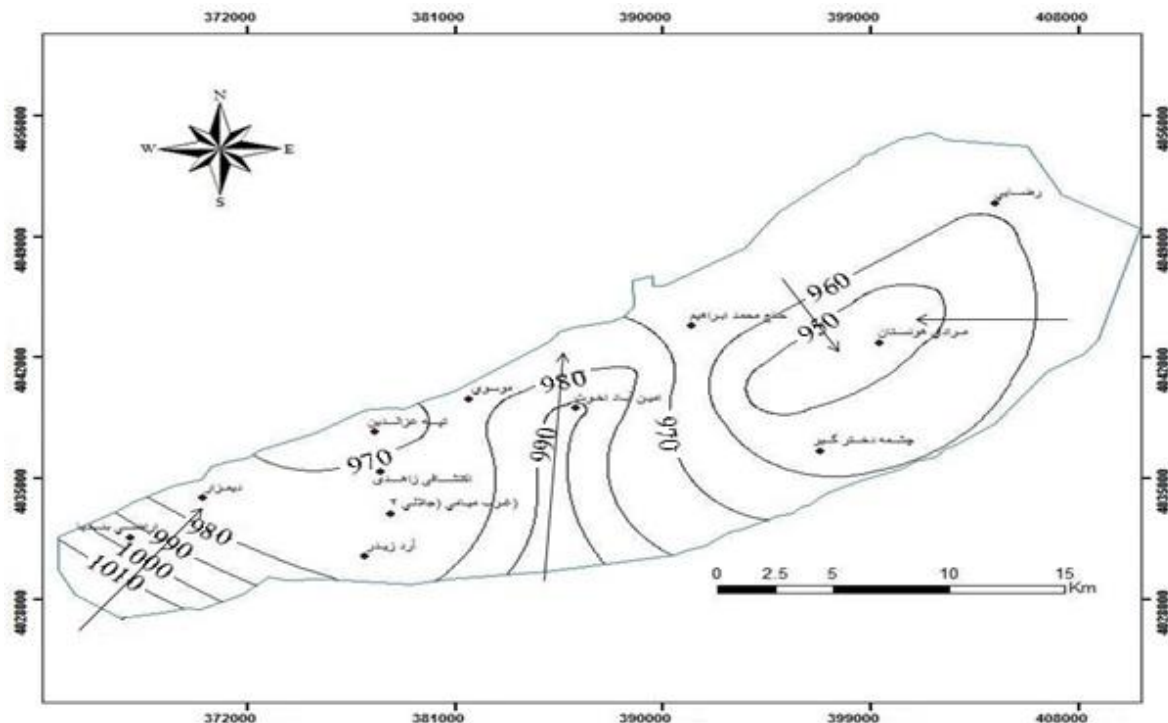
۴-۱- مقدمه

در این فصل چگونگی طراحی و اجرای مدل آب‌های زیرزمینی در دشت میامی جنوبی به طور مفصل ارائه خواهد شد و در نهایت تغییرات سطح آب دشت برای سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۲- بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای موجود در دشت

برای بررسی تغییرات سطح آب در دشت میامی با استفاده از اطلاعات سطح آب پیزومترها و با استفاده از نرم افزار Arc GIS 9.3، نقشه هم پتانسیل آبخوان میامی جنوبی برای اسفند ماه ۱۳۸۸ ترسیم گردید (شکل ۴-۱). بر اساس این نقشه، ارتفاع سطح آب زیرزمینی از حدود ۱۰۱۰ متر در ورودی دشت (منطقه جنوبی و جنوب غربی) تا حدود ۹۵۰ متر در خروجی دشت (شمال شرق دشت) متغیر می‌باشد. بر این اساس جهت جریان آب زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی و غربی از جنوب غرب به سمت شمال شرق می‌باشد. در قسمت‌های شرقی، محدوده بسته ایجاد شده در خطوط تراز بیانگر یک محدوده افت بوده و جهت جریان زیرزمینی در آن مرکزگرا و از طرفین به سمت مرکز می‌باشد. طبق این نقشه مرز جنوبی آبخوان و بخش‌هایی از مرز شمالی آبخوان از نوع مرز ورودی بوده و سبب تغذیه آبخوان می‌گردند. آبخوان از طریق چاه‌های پمپاژ و بخش‌هایی از مرز شمالی (در قسمت شمال غرب آبخوان) تخلیه می‌گردد.

طبق نقشه تراز، گرادیان هیدرولیکی در بخش جنوب غربی دشت (منطقه تغذیه) در مقایسه با دیگر مناطق بالاتر بوده و به حدود ۰/۰۰۶ می‌رسد. به سمت شرق میزان گرادیان هیدرولیکی کاهش یافته و به حدود ۰/۰۰۲ می‌رسد.



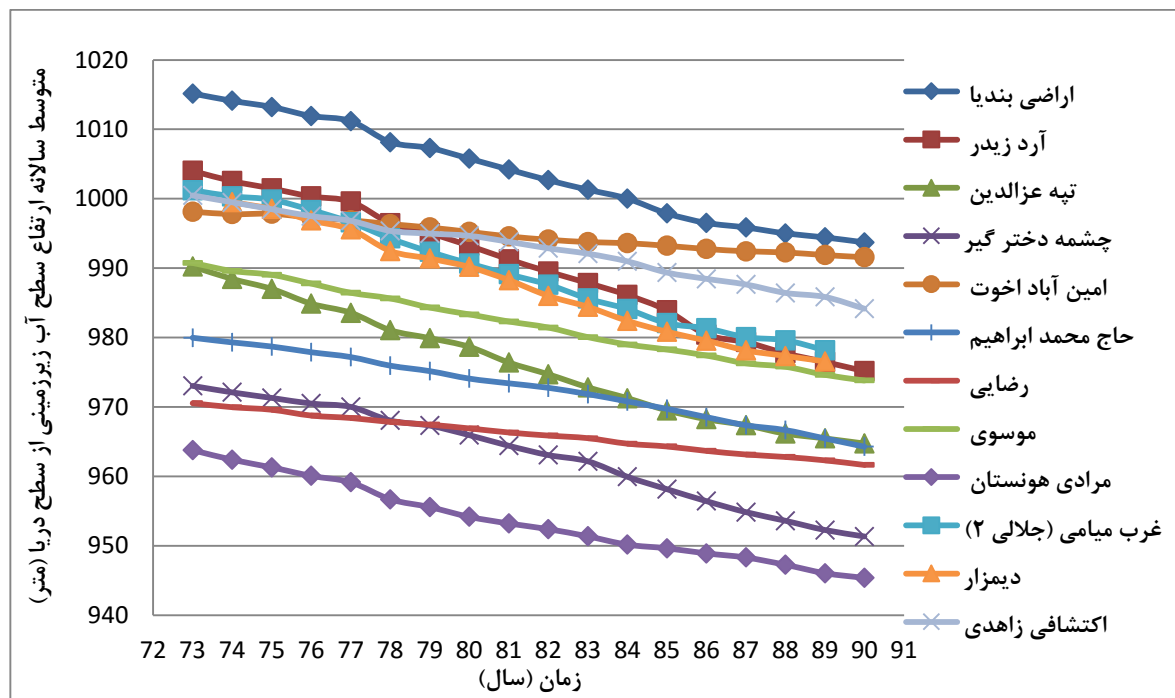
شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترها و نقشه هم پتانسیل دشت میامی جنوبی در اسفند ۸۸

۴-۳- هیدروگراف طولانی مدت پیزومترهای موجود در دشت میامی جنوبی

به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان میامی جنوبی، هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای از سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴ تا سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ ترسیم گردید (شکل ۴-۲).

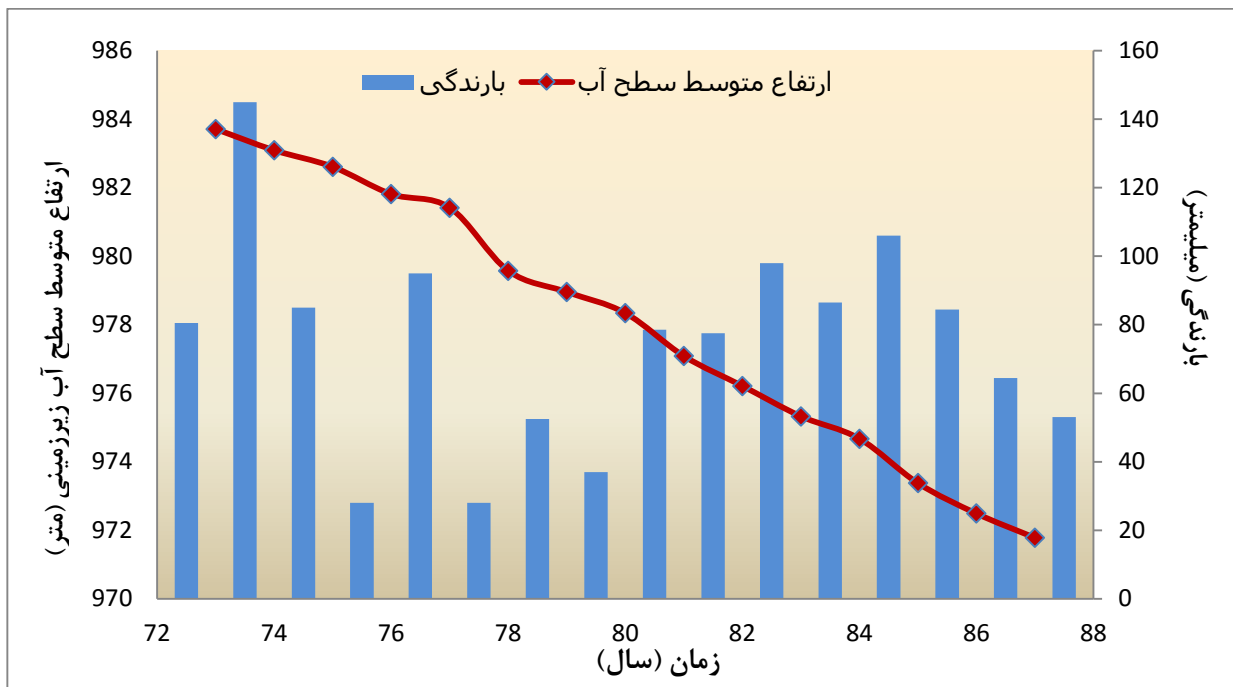
با توجه به هیدروگراف‌های رسم شده، می‌توان روند کاهش سطح آب زیرزمینی را با گذشت زمان مشاهده نمود. بر اساس این شکل، سطح آب زیرزمینی در پیزومترهای مختلف افتی از حدود ۶/۲ متر تا ۲۶/۳ متر

در دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۳۷۳ تا ۱۳۸۸) داشته است. حداقل افت مربوط به پیزومترهای واقع در بخش شرقی و حداکثر آن در پیزومترهای بخش غربی دیده می‌شود.



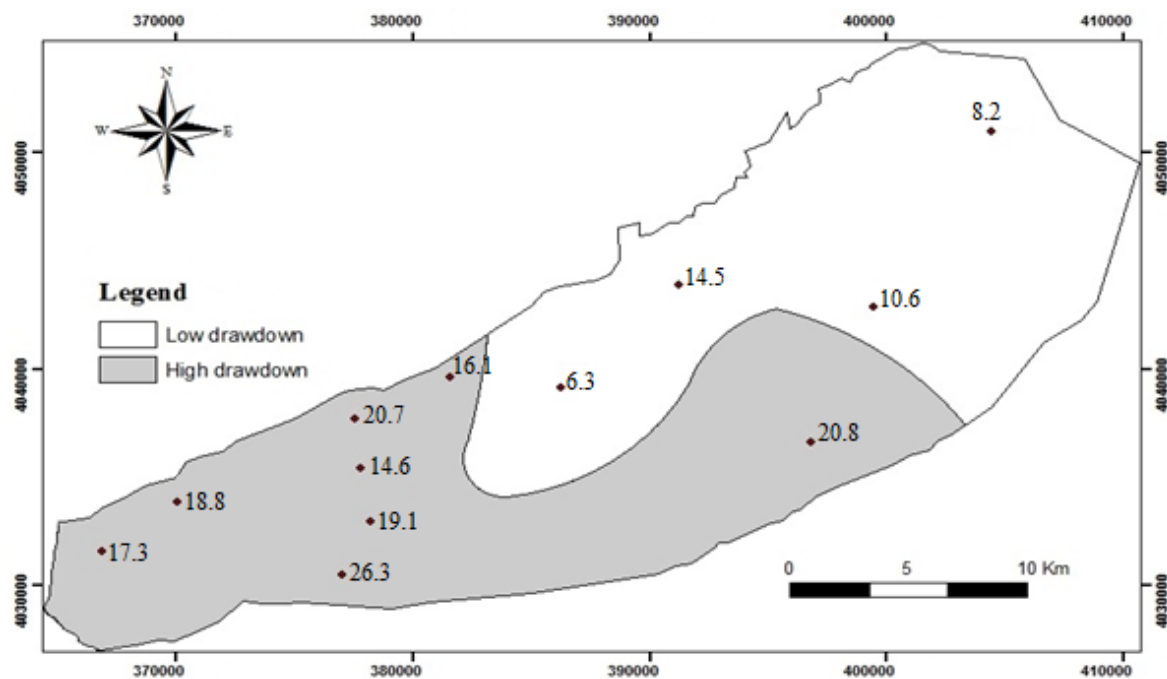
شکل ۴-۲- هیدروگراف پیزومترهای موجود در دشت میامی جنوبی

به منظور بررسی تغییرات کلی سطح آبخوان، هیدروگراف واحد کل دشت به همراه داده‌های بارندگی در شکل (۴-۳) رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود سطح آب زیرزمینی در منطقه به طور مداوم یک روند کاهشی قابل توجهی را نشان می‌دهد. مهم‌تر اینکه این روند کاهشی عمدتاً تحت تاثیر برداشت بی رویه از آبخوان منطقه است. در هر حال مقدار افت از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۸ (۱۵ سال) حدود ۱۹/۴ متر می‌باشد که سالانه افتی حدود ۱/۳ متر را شامل می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود در طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵، افزایش محسوسی در میزان بارش دیده می‌شود ولی روند کاهشی سطح آب زیرزمینی همچنان ادامه داشته است که بیانگر برداشت بی رویه از آبخوان است.



شکل ۴-۳- هیدروگراف واحد دشت میامی جنوبی

بر اساس میزان افت مشاهده شده در پیزومترها در طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۰، محدوده آبخوان قابل تقسیم به دو بخش می‌باشد. شکل (۴-۴) این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، میزان افت در بخش‌های شرقی محدوده مورد مطالعه کمتر و در حدود $\frac{6}{3}$ تا $\frac{14}{5}$ متر (متوسط ۹ متر) بوده، در حالی که در بخش‌های غربی بیشتر و در حدود $\frac{14}{6}$ تا $\frac{26}{3}$ (متوسط ۲۰ متر) دیده می‌شود. مطابق شکل (۴-۴) بیشترین تراکم چاه‌های بهره‌برداری در بخش‌های غربی قرار گرفته است و برداشت در این ناحیه بیشترین مقدار بوده، بنابراین هرچه به سمت نواحی غربی می‌رویم میزان افت افزایش می‌یابد. افت سطح آب زیرزمینی در نواحی شرقی به دلیل تعداد کم روستاها و در نهایت برداشت کم از آب‌های زیرزمینی، کم می‌باشد.



شکل ۴-۴ - نقشه تقسیم بندی دشت بر اساس افت سطح آب زیرزمینی

۴-۴ - تهیه مدل GMS دشت میامی جنوبی

برای تهیه مدل ریاضی هر دشت، ابتدا بایستی محدوده مدل مشخص شود که این کار با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی (مرزهای غیرقابل نفوذ) و شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه انجام می‌شود. اطلاعات مورد نیاز به منظور شبیه سازی دشت مورد مطالعه از قبیل نقشه‌های ژئوالکتریک، موقعیت جغرافیایی و آمار پمپاژ چاه‌های مورد بهره برداری (کشاورزی و شرب) و لاگ چاه‌های اکتشافی و همچنین رقوم سطح آب زیرزمینی منطقه با توجه به آمار پیزومترهای موجود و دیگر موارد لازم تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که هرچه آمار در دسترس کامل‌تر و از دقت بالاتری برخوردار باشند، شبیه سازی منطقه نیز از شرایط و وضعیت بهتری برخوردار خواهد بود.

۴-۴-۱- ایجاد مدل مفهومی

هدف از تهیه مدل مفهومی ساده نمودن وضعیت پیچیده حاکم بر طبیعت می‌باشد. به علت بالا بودن هزینه دسترسی مستقیم به مخازن آب زیرزمینی، شناخت دقیق همه پارامترهای موثر در جریان آب زیرزمینی که شامل خصوصیات هیدرودینامیکی و خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب و وضعیت هندسی آبخوان می‌باشد، امری بسیار دشوار بوده و نیاز به مطالعات مفصل و پر هزینه دارد. بنابراین اغلب لازم است قبل از تهیه مدل فرضیاتی اعمال شود تا شرایط پیچیده حاکم بر طبیعت تا حدی ساده‌تر شده و امکان تهیه مدل فراهم گردد. این عمل برای دشت میامی جنوبی نیز با تهیه مدل مفهومی منطقه انجام گردید.

GMS، کلیه اطلاعات مورد نیاز که در پایگاه اطلاعاتی GIS ذخیره شده است، با استفاده از مدول نقشه برای تهیه مدل مفهومی جمع آوری می‌کند و پس از تهیه مدل مفهومی، آن را به آرایه‌های مدل تبدیل می‌کند. به عنوان مثال، در تهیه مدل مفهومی تغذیه آبخوان، از داده‌های هواشناسی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و داده‌های ماهواره‌ای موجود در پایگاه اطلاعاتی GIS استفاده می‌شود و سپس بسته نرم افزاری تغذیه به آرایه‌های مدل تبدیل می‌شود. موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت رودخانه، چشمه و چاه‌ها، پارامترهای لایه از قبیل هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، تغذیه و تخلیه از طریق جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی در شبکه‌های مرزی و تغذیه از طریق بارندگی در سطح دشت که مورد نیاز برای مدل سازی است، به عنوان اطلاعات پایه به مدل داده شده و در محاسبات جریان ماندگار و غیرماندگار مورد تصحیح قرار گرفته است.

۴-۴-۲- آماده سازی داده‌های ورودی به مدل

از جمله اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه مدل اولیه دشت می‌توان به آمار سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای، پمپاژ چاه‌های کشاورزی، سنگ کف، توپوگرافی، هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و مقدار بارندگی اشاره

کرد. پارامترهای فوق به عنوان اطلاعات پایه به مدل داده شده و در جریان پایدار و ناپایدار مورد تصحیح قرار می گیرند.

الف - محدوده مطالعاتی

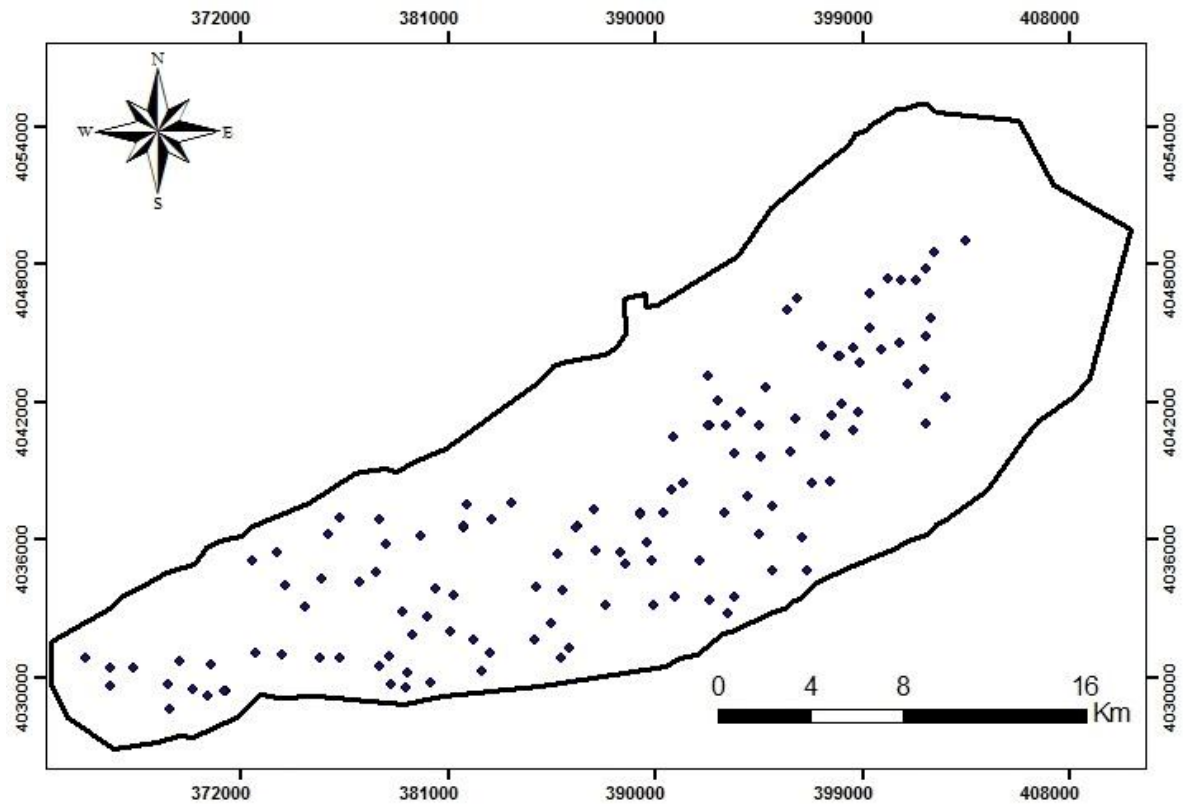
این محدوده، شامل منطقه اطراف پیژومترها و عمده چاههای بهره برداری می باشد که تحت عنوان (لایه اطلاعاتی آبخوان) در نرم افزار GIS تهیه و به نرم افزار GMS وارد می شود.

ب - چاههای بهره برداری

اطلاعات مربوط به تخلیه سالیانه ۱۹۸ حلقه چاه با استفاده از آمار و اطلاعات شرکت آب منطقه ای شاهرود بدست آمده است. از آنجا که آمار میزان تخلیه چاهها به صورت سالیانه وجود دارد و واحد انتخابی مدل سازی در این تحقیق روزانه در نظر گرفته شده است، لذا با اعمال یک فرض ساده سازی، اطلاعات روزانه مورد نیاز مدل با تقسیم داده های سالیانه به طور همگن و یکسان برای روزهای سال، محاسبه گردید. برای به دست آوردن مقدار تخلیه خالص، ابتدا مقادیر تخلیه سالانه را در ضریب مصرفی هر ماه (به صورت درصد) ضرب می کنیم (جدول ۴-۱). از آنجا که تخلیه خالص مورد نظر است، پس لازم است در مرحله بعدی با کم کردن مقدار آب برگشتی از مقدار استحصال شده توسط چاهها، مقدار خالص برداشت از سفره تعیین شود. از آنجا که اندازه گیری و آمار خاصی در خصوص میزان آب برگشتی در منطقه مطالعاتی وجود ندارد، بر اساس شیوه های تجربی موجود، این مقدار برابر با ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. آمار به دست آمده پس از اعمال ضرایب فصلی و کسر میزان آب برگشتی، پس از آماده سازی در نرم افزار Excel به صورت یک فایل با فرمت text به مدل وارد شد (شکل ۴-۵).

جدول ۴-۱- ضرایب مصرف نسبی چاه‌ها در ماه‌های مختلف

ماه‌های سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
درصد مصرف	۱۱	۱۳	۱۶	۱۴	۱۳	۱۰	۸	۶	۳	۱	۱	۴



شکل ۴-۵- موقعیت چاه‌های بهره برداری در منطقه مورد مطالعه

پ- تبخیر

تبخیر از سطح خاک نقش مهمی در بیلان آب در طبیعت دارد. رابطه نزدیکی بین عمق سطح ایستابی و تبخیر از سطح خاک وجود دارد. تبخیر از سطح ایستابی آب زیرزمینی، هنگامی که سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین قرار داشته باشد، وجود دارد. در نرم افزار MODFLOW این مورد به وسیله بسته تبخیر و تعرق وارد مدل می‌شود. در این بسته، اگر سطح ایستابی نسبت به سطح تبخیر و تعرق از حد

معینی بیشتر باشد، تبخیر و تعرق از سطح ایستابی متوقف خواهد شد. مطالعات نشان می‌دهد که تبخیر تا عمق ۲/۵ متری از سطح زمین قابل توجه و از عمق ۳ تا ۵ متری ناچیز و از ۵ متر به پایین تقریباً صفر می‌باشد (Todd, 2005). با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی در منطقه و محدوده مطالعاتی پایین‌تر از حدی است که تبخیر بر آن اثر بگذارد، لذا این پارامتر در محاسبات بیلان و مدل‌سازی صفر در نظر گرفته شده است.

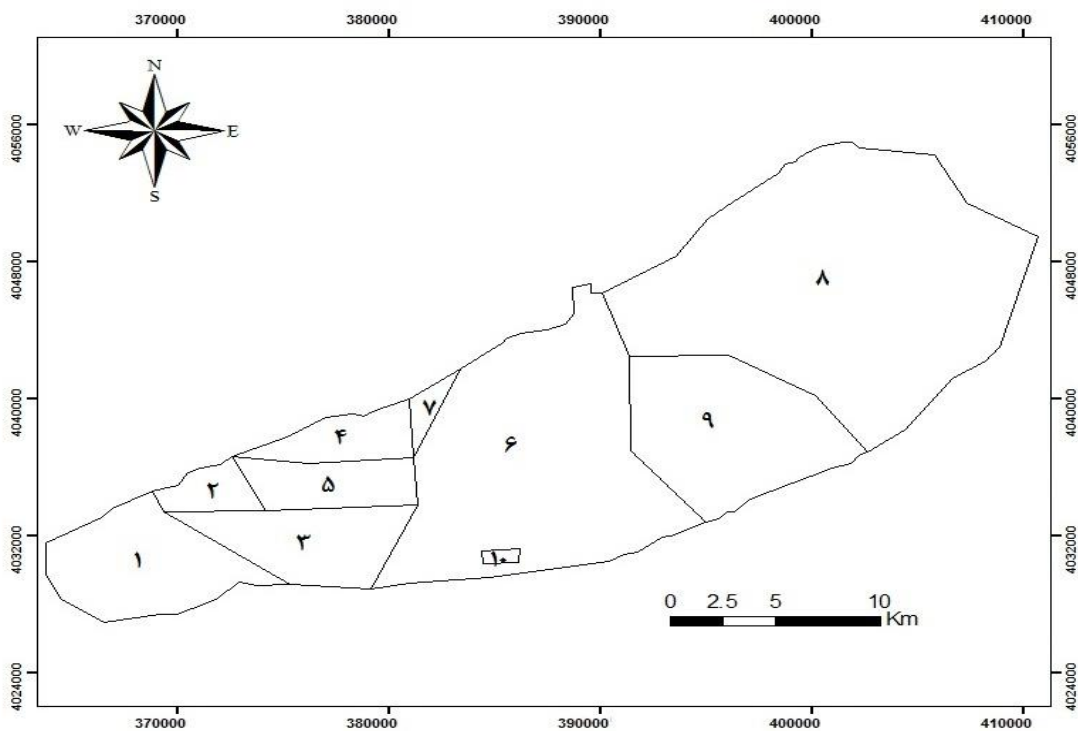
ت - تغذیه

از جمله عوامل موثر در تغذیه دشت می‌توان به برف و باران و آب برگشتی از کشاورزی اشاره کرد که معمولاً به دلایل مختلفی از قبیل خاک شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی و غیره، متفاوت می‌باشد. مقدار بارندگی از داده‌های هواشناسی به دست آمده و سپس بر اساس نقشه خاک منطقه، مقدار نفوذ ناشی از بارندگی تعیین گردید. مقدار آب برگشتی کشاورزی در این دشت ۲۰٪ در نظر گرفته شده است. بنابراین با مجموع مقادیر بالا، مقادیر کل تغذیه در آبخوان به دست آمده و آبخوان به ۱۰ منطقه تغذیه‌ای تقسیم شده است (شکل ۴-۶).

مقدار میانگین تغذیه ۰/۰۰۰۱۶ متر بر روز محاسبه شده است و بیشترین تغذیه در بخش مرکزی و بخش غربی دشت بوده است. یکی از دلایل این افزایش، وجود تغذیه از شهر میامی و تراکم بالای چاه کشاورزی (آب برگشتی کشاورزی) می‌باشد. در جدول (۴-۲) مقادیر تغذیه مربوط به هر منطقه نشان داده شده است.

جدول ۴-۲- مقادیر تغذیه در هر منطقه در حالت ماندگار

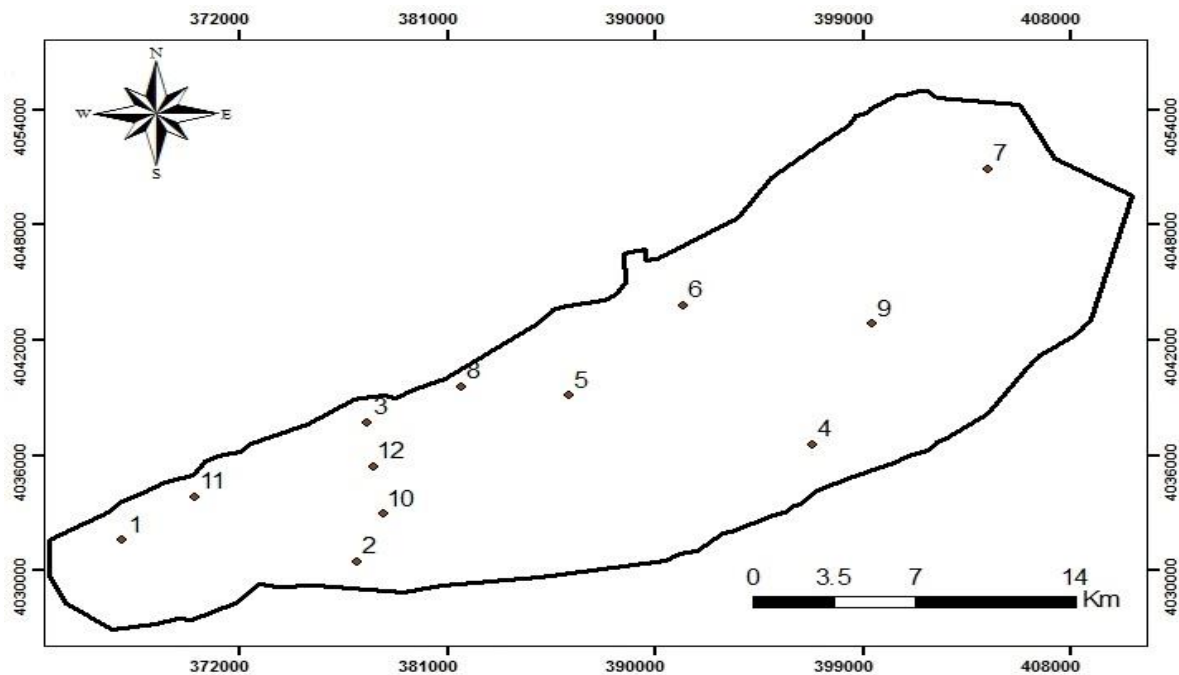
شماره منطقه	تغذیه (m/day)
۱	۰/۰۰۰۰۲۱
۲	۰/۰۰۰۱۳
۳	۰/۰۰۰۰۱
۴	۰/۰۰۰۰۱
۵	۰/۰۰۰۰۲۲۳۶
۶	۰/۰۰۰۳۳
۷	۰/۰۰۰۰۱
۸	۰/۰۰۰۰۰۱
۹	۰/۰۰۰۰۰۷۵۲۶۳
۱۰	۰/۰۰۰۹۹۹۹



شکل ۴-۶- منطقه بندی تغذیه

ث- چاه‌های پیزومتری

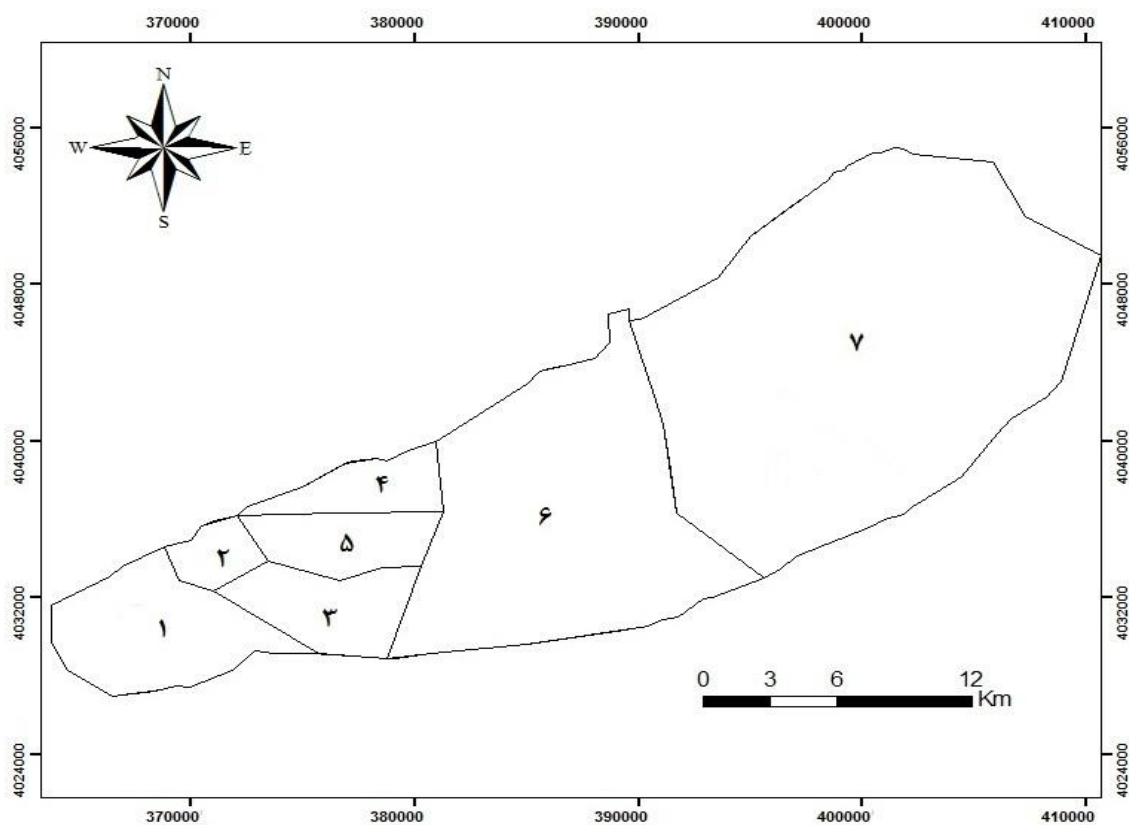
جهت بررسی و مقایسه سطح آب محاسبه شده در دوره شبیه سازی با مقادیر مشاهده شده صحرایی، از آمار سطح آب ۱۲ چاه‌های مشاهده‌ای در اسفند ماه ۱۳۸۸ استفاده شده است. این آمار پس از آماده سازی به صورت فایل text به مدل وارد گردید (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه مورد مطالعه

ج- پارامترهای هیدرولیکی آبخوان

از پارامترهای هیدرولیکی می‌توان به هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و ضریب نشت عمودی و غیره اشاره کرد، ولی از آنجایی که آبخوان دشت میامی شاهرود از نوع آزاد است، پارامترهای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه برای مدل تعریف می‌شود. به دلیل عدم اطلاعات آزمایش پمپاژ کافی از اطلاعات موجود در لاگ چاه‌های حفاری استفاده است. بدین منظور هدایت هیدرولیکی به ۸ منطقه تقسیم گردید (شکل ۴-۸). مقادیر هر کدام از این منطقه‌ها در جدول (۴-۳) نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- منطقه بندی هدایت هیدرولیکی

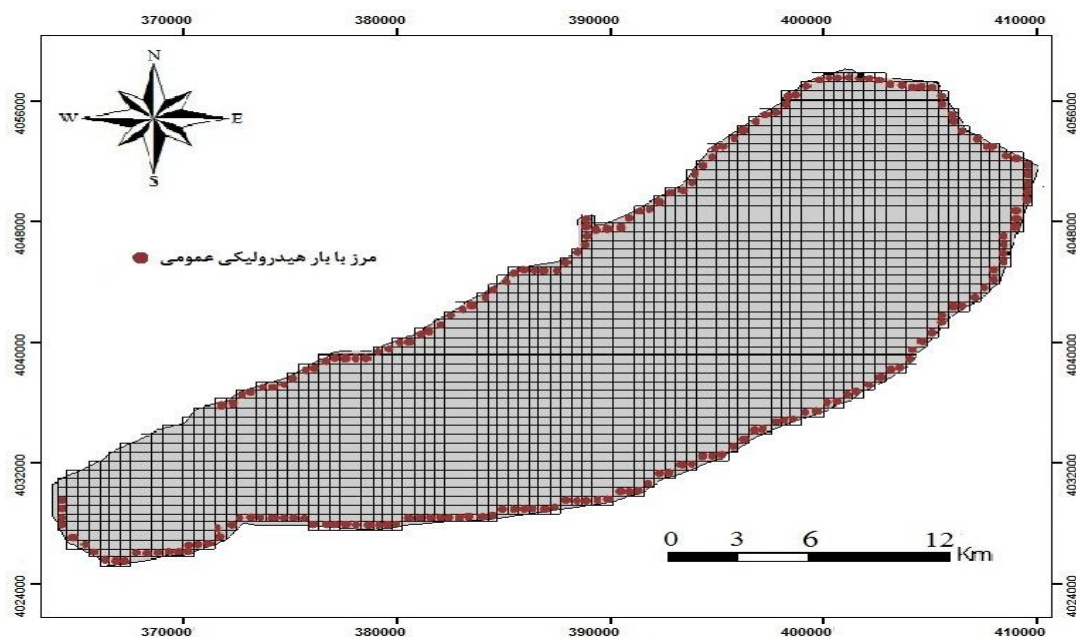
جدول ۴-۳- مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی در منطقه

شماره منطقه	هدایت هیدرولیکی اولیه (m/day)
۱	۴
۲	۱۶/۷
۳	۱۵
۴	۱۰
۵	۱۱
۶	۳
۷	۴

چ- شرایط مرزی

از نقشه سطح آب و الگوی جریان، برای تعیین مرزهای آبخوان منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با توجه به شکل (۴-۱)، مرز جنوبی و بخش‌هایی از مرز شمالی آبخوان از نوع مرز ورودی و بخش‌هایی از مرز شمالی (در قسمت شمال غرب آبخوان) از نوع مرز خروجی می‌باشند. با توجه به افت بسیار زیاد سطح آب‌های زیرزمینی منطقه، مرزها به صورت مرز با بار هیدرولیکی عمومی (GHB) انتخاب شدند.

بر خلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در مرز با بار هیدرولیکی عمومی، ثابت نمی‌باشد و ممکن است با رسیدن اثر استرس‌های داخلی به مرز، سطح آب تغییر نماید. دبی جریان ورودی یا خروجی با توجه به گرا دیان هیدرولیکی در مرز تغییر می‌کند. علاوه بر این، حساسیت بارهای هیدرولیکی محاسباتی مدل به پارامتر مرزی نوع GHB کمتر از سایر مرزهاست (چیت سازان، ۱۳۸۱). مقدار بار هر کدام از گره‌های موجود در مرز با استفاده از خطوط تراز سطح ایستابی مجاور هر گره محاسبه و به مدل وارد شد. این مقادیر در طی شرایط ماندگار واسنجی گردید (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹- شرایط مرزهای جانبی

ح- بار هیدرولیکی اولیه

برای اجرای مدل چه در شرایط پایدار و چه در شرایط ناپایدار نیاز به شرایط اولیه بار هیدرولیکی می‌باشد. اهمیت بار هیدرولیکی اولیه ورودی به مدل در دو شرایط ذکر شده یکسان نمی‌باشد. بار هیدرولیکی اولیه در شرایط پایدار (با توجه به اینکه مدل پایدار برای اسفند ۱۳۸۸ تهیه شده است) در بهمن ماه ۱۳۸۸ در نظر گرفته شده است. انتخاب این ماه به دلیل نوسانات بسیار کم هیدروگراف واحد دشت می‌باشد. در نتیجه نزدیک به حالت پایدار است. جدول (۴-۴) ارتفاع سطح آب این چاه‌ها را نشان می‌دهد.

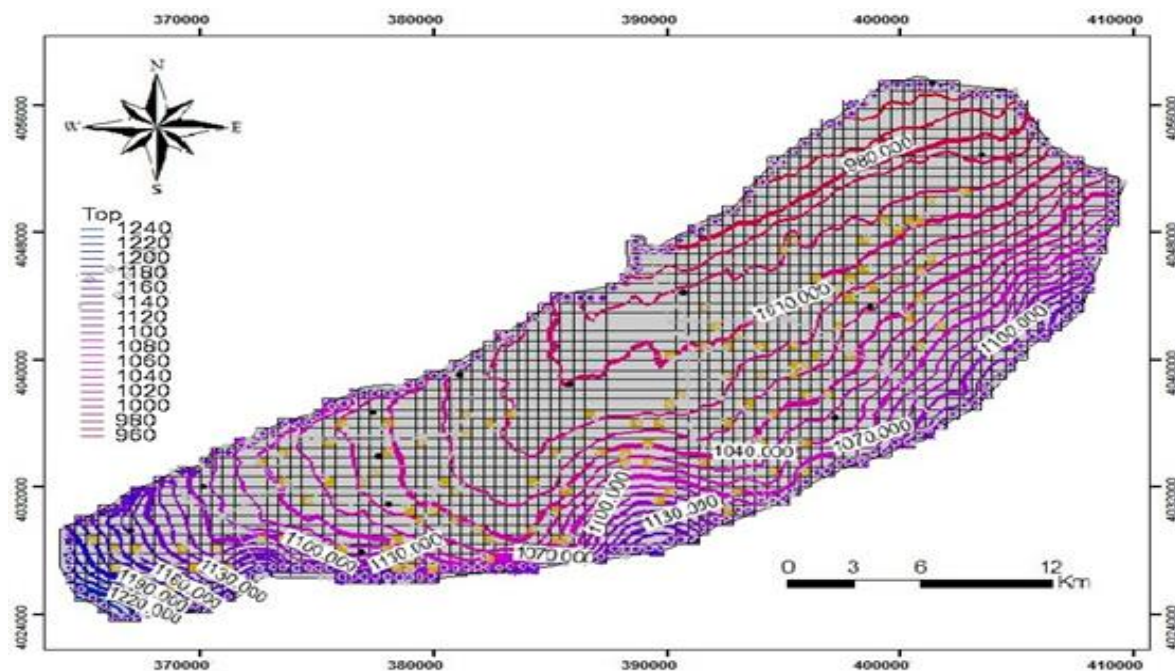
جدول ۴-۴- ارتفاع سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت میامی جنوبی (اداره امور آب شاهرود)

شماره	نام چاه	UTM(x)	UTM(y)	ارتفاع سطح آب بهمن ۱۳۸۸ (متر)	عمق پیزومتر (متر)
۱	اراضی بندیا	۳۶۶۹۱۵	۴۰۳۱۵۶۴	۹۹۳/۲۶	۱۴۲/۶
۲	آردزیدر	۳۷۷۰۴۷	۴۰۳۰۴۸۱	۹۷۸/۵	۹۴/۳
۳	تپه عزادین	۳۷۷۵۳۵	۴۰۳۷۶۹۰	۹۶۳/۵۴	۶۶/۴
۴	چشمه دخترگیر	۳۹۶۸۲۱	۴۰۳۶۵۸۷	۹۵۹/۸	۹۱/۴
۵	امین آباد اخوت	۳۸۶۲۳۶	۴۰۳۹۰۹۵	۹۹۲/۱۲	۴۱/۲
۶	حاج محمد ابراهیم	۳۹۱۲۲۵	۴۰۴۳۸۲۷	۹۶۶/۶۶	۳۵/۳
۷	موسوی	۳۸۱۵۵۹	۴۰۳۹۵۸۷	۹۷۵/۷	۴۵
۸	مرادی هونستان	۳۹۹۴۰۶	۴۰۴۲۸۳۷	۹۴۴/۵۷	۷۶/۵
۹	غرب میامی	۳۷۸۱۹۳	۴۰۳۲۹۳۷	۹۷۶/۴۹	۵۷/۲
۱۰	دیمزار	۳۷۰۰۳۹	۴۰۳۳۸۵۴	۹۷۳/۹	۱۰۴/۹
۱۱	اکتشافی زاهدی	۳۷۷۷۶۹	۴۰۳۵۳۹۷	۹۷۱/۲۵	۵۱
۱۲	رضائی	۴۰۴۴۰۲	۴۰۵۰۹۲۶	۹۶۲/۵۶	۳۶/۱

سپس با استفاده از داده‌های ۱۳ چاه مشاهده‌ای در بهمن ۱۳۸۸ بار هیدرولیکی اولیه به همه سلول‌های مدل از طریق درون یابی اختصاص داده شد. در شرایط ناپایدار، بار هیدرولیکی نهایی محاسبه شده توسط مدل کاملاً به بار هیدرولیکی اولیه وابسته است و با تغییر آن، نتیجه نهایی نیز تغییر می‌یابد. در نتیجه بار هیدرولیکی محاسبه شده در حالت پایدار به عنوان بار هیدرولیکی اولیه شرایط ناپایدار فرض شده است.

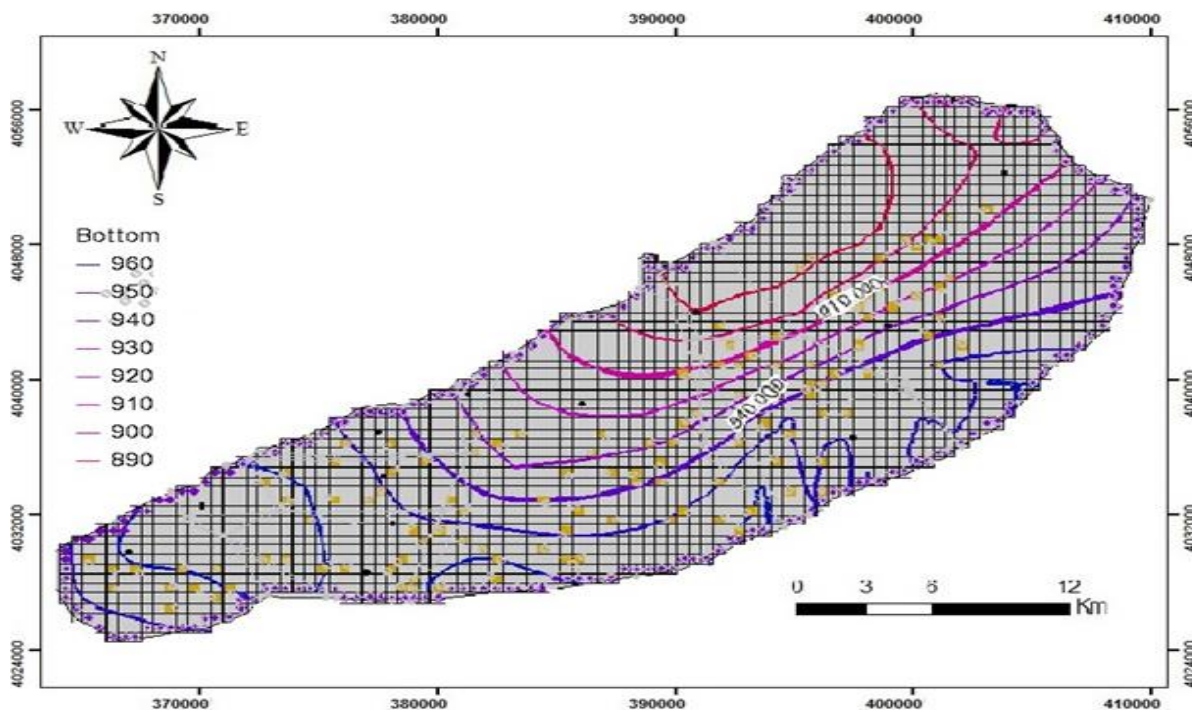
خ- تبیین شکل هندسی آبخوان

محدوده آبخوان مورد مطالعه در حد فاصل بین توپوگرافی سطح آبخوان و سنگ بستر آن قرار دارد. اطلاعات توپوگرافی سطح زمین از نقشه dem استخراج شده و به صورت فایل text به مدل وارد شد و در محیط GIS با استفاده از روش درون یابی کریجینگ، درون یابی و سپس به کل سلول‌های مدل نسبت داده شد (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰- منحنی تراز توپوگرافی دشت میامی جنوبی

جهت بررسی وضعیت سنگ کف در آبخوان می‌توان از عوامل مختلفی از جمله مطالعات ژئوفیزیک، لاگ حفاری چاه‌ها و عمق چاه‌های بهره‌برداری استفاده کرد. مطالعات ژئوفیزیک در صورت اجرا و تفسیر صحیح نتایج، اطلاعات نسبتاً دقیقی از وضعیت عمق سنگ کف را در اختیار قرار می‌دهد. سنگ کف دشت میامی جنوبی بر اساس گزارشات مطالعات ژئوفیزیکی تعیین شده و همانند داده‌های توپوگرافی وارد مدل شدند (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱- منحنی تراز سنگ کف دشت میامی جنوبی

۴-۳- انتخاب کد رایانه‌ای

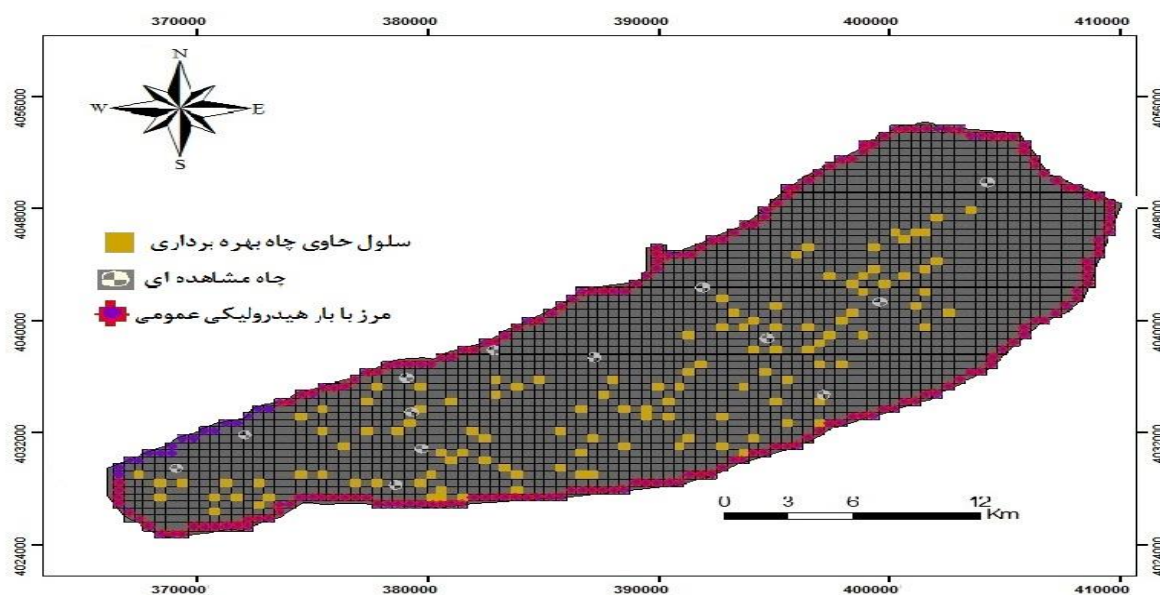
در این تحقیق برای مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه، از کد کامپیوتری MODFLOW و رابط کاربر GMS، استفاده شده است.

۴-۴-۴- طراحی و تهیه مدل عددی

در این مرحله، ایجاد شبکه و اختصاص پارامترهای مدل مفهومی به شبکه تشریح شده است.

الف- شبکه بندی

محدوده مدل توسط دو سری خطوط عمود بر هم به تعدادی خانه‌های مربع، مربع- مستطیل تقسیم می- شود. تقسیم بندی مکانی جهت رسیدن به همگرایی بیشتر در حل مدل، کاهش حافظه و زمان لازم برای اجرای مدل در کامپیوتر می‌باشد. شبیه سازی درست مستلزم انتخاب سلول کوچکتر به منظور نمایش تغییرات بار هیدرولیکی می‌باشد (Spitz and Moreno, 1996). انتخاب اندازه سلول بر اساس اهداف مدل سازی، داده‌های صحرایی، کاهش حافظه مورد نیاز کامپیوتر و کاهش زمان اجرا، انتخاب می‌شود. در مطالعه حاضر، سطح منطقه به مربعات 500×500 متری تقسیم شده است. بر این اساس شبکه‌ای با ۹۵ ستون و ۵۷ ردیف طراحی شده است. بدین ترتیب تعداد کل سلول‌ها ۵۴۱۵ سلول می‌باشد. شکل (۴-۱۲) شبکه‌ی مدل را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۴-۱۲- شبکه بندی محدوده مورد مطالعه

ب- انتخاب دوره‌های تنش و گام‌های زمانی

بازه‌های زمانی که در مدل‌های جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دو دسته تقسیم می‌شوند:

دوره‌های تنش (Stress period): دوره‌های تنش در هر دوره شرایط مرزی بدون تغییر و ثابت هستند.

گام‌های زمانی (Time steps): گام‌های زمانی برای محاسبات ناپایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند. گام‌های

زمانی کوچک‌تر باعث رسیدن به نتایج شبیه‌سازی دقیق‌تر می‌گردند (Spitz and Moreno, 1996).

میزان تنش‌های وارده به آبخوان، در هر یک از این فواصل زمانی ثابت می‌باشند. انتخاب پله زمانی بستگی

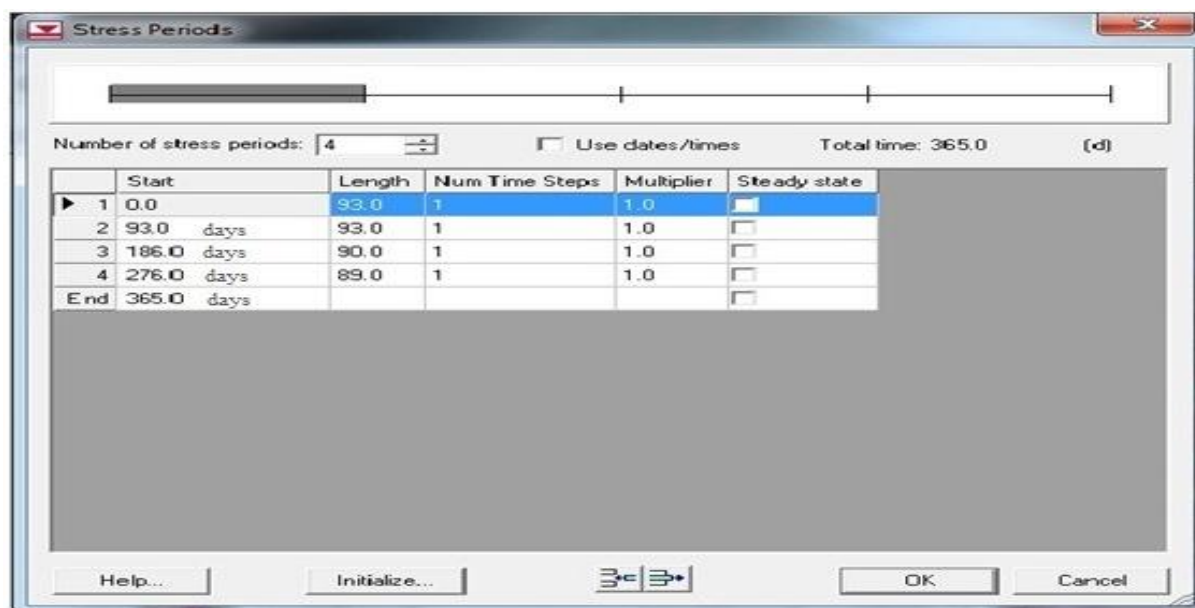
به نوع و میزان داده‌ها و اطلاعات موجود قابل دسترس دارد.

مدل ریاضی دشت میامی جنوبی برای دو حالت پایدار و ناپایدار تهیه شده است. در شرایط پایدار، مدل

برای یک دوره تنش یک ماهه (اسفند ۱۳۸۸) و در شرایط ناپایدار، برای یک دوره یک ساله (فروردین

۱۳۸۹ تا اسفند ۱۳۸۹) با ۴ دوره تنش فصلی (۴ گام زمانی)، اجرا و واسنجی شده است (شکل ۴-۱۳).

افزایش پله‌های زمانی برای حالت ناپایدار تاثیر چندانی در نتایج خروجی مدل ندارد.



شکل ۴-۱۳- دوره‌های تنش و گام‌های زمانی در حالت ناپایدار

۴-۵- تبدیل مدل مفهومی به مدل عددی

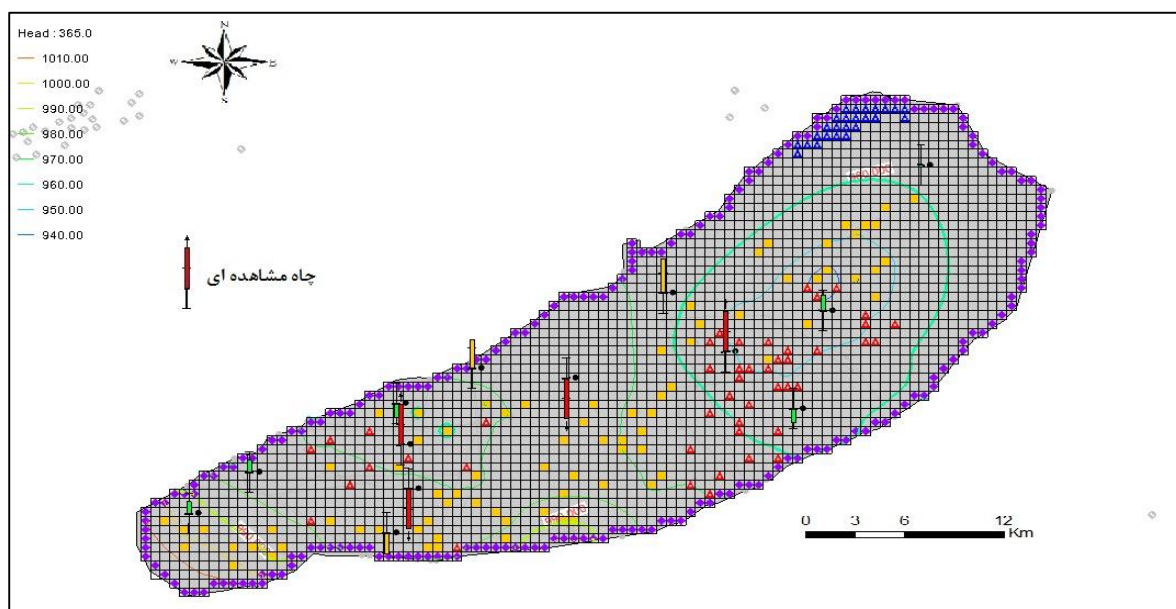
پس از تکمیل شدن مدل مفهومی بایستی این مدل را به مدل عددی تبدیل کنیم. این عمل با رفتن به مودول map در منوی Feature objects با انتخاب گزینه Map > MODFLOW/MODPATH مدل مفهومی ساخته شده به تمام سلول‌های شبکه نسبت داده می‌شود.

۴-۶- چک کردن مدل

قبل از اجرای مدل، بهتر است از ابزار چک کننده مدل (Model Checker) استفاده کرد. این ابزار تمام اطلاعات ورودی به مدل را بررسی کرده و تمام خطاهای بدیهی و هر نوع مشکل بالقوه و یا احتمالی را گزارش می‌دهد.

۴-۷- اجرای مدل

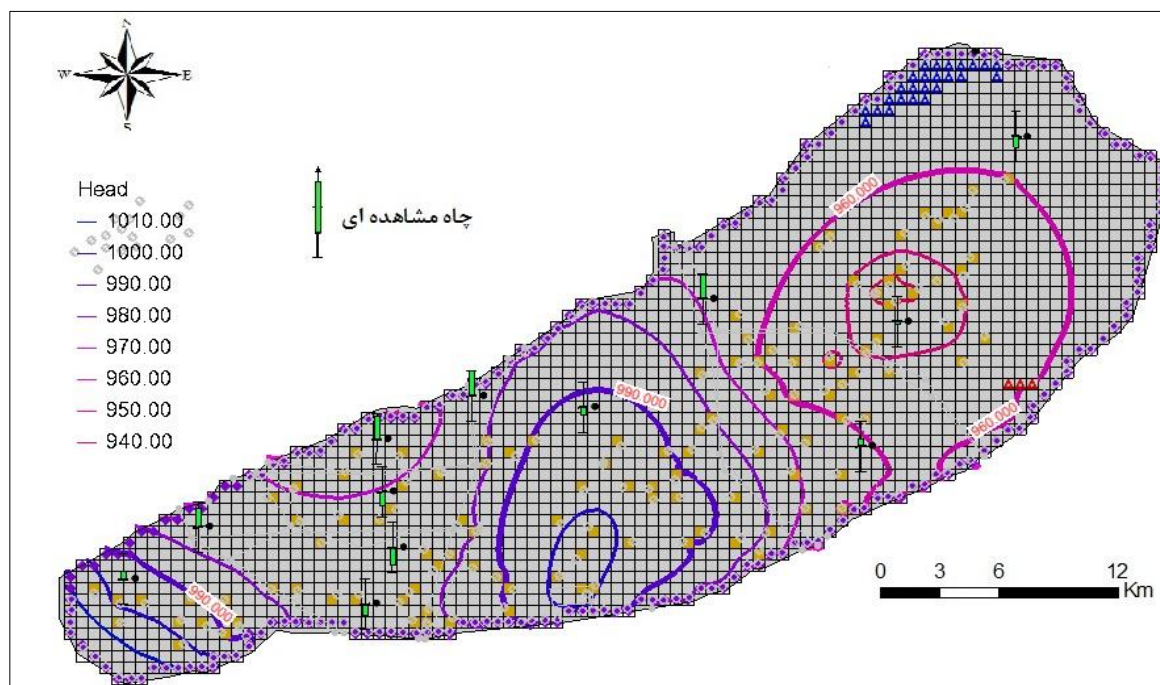
بعد از بررسی هشدارهای ارائه شده توسط ابزار Model Checker و تصحیح اشتباهات احتمالی، مدل اجرا می‌گردد. در این مرحله در مودول 3D Grid Data در منوی MODFLOW، گزینه Run MODFLOW انتخاب می‌شود و مدل برای اولین بار اجرا می‌شود. شکل (۴-۱۴) نتیجه یکی از اولین اجراهای مدل را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۱۴- اولین اجرای مدل پس از رفع خطاها

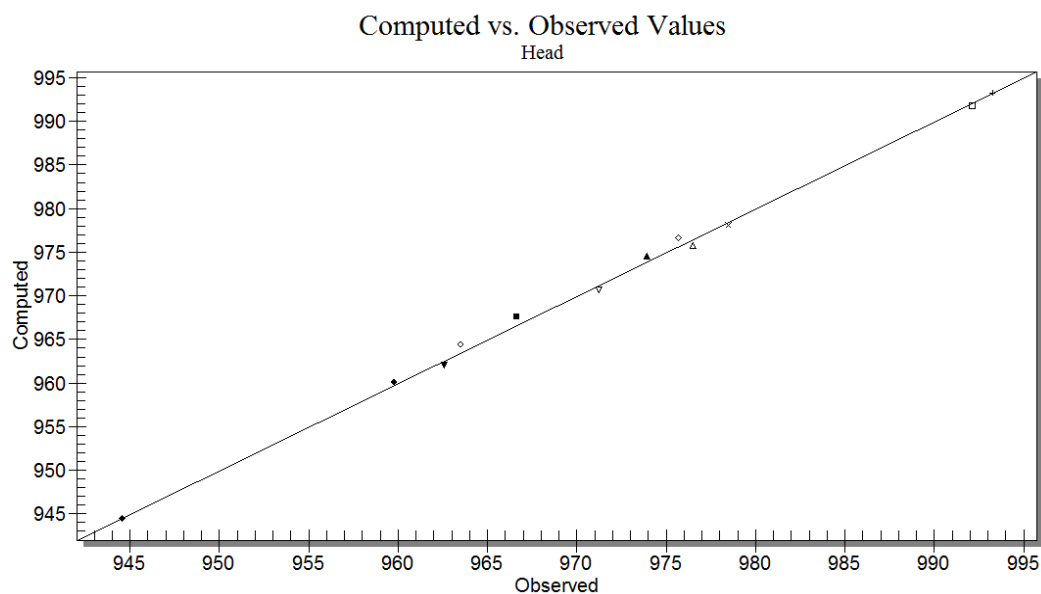
۴-۸- واسنجی مدل برای حالت پایدار

واسنجی مدل در حالت پایدار شامل انتخاب تعدادی از پارامترهای سفره و تعیین شرایط مرزی، برای به دست آوردن بهترین انطباق بین مقادیر بار آبی مشاهده شده و محاسبه شده انجام می‌گیرد. دوره واسنجی با انتخاب مقدار اولیه بار آبی برای همه نقاط شبکه شروع می‌شود. البته غالباً نتایج به دست آمده از اولین اجرای مدل به صورت برازش بین بار هیدرولیکی محاسبه شده و اندازه گیری شده، رضایت بخش نیست که احتمالاً به دلیل عدم قطعیت پارامترهای مربوط به شرایط مرزی و هدایت هیدرولیکی می‌باشد. با شروع فرایند واسنجی به روش سعی و خطا، پس از اجرای اولیه مدل، پارامترهای به کار رفته در مدل طی شرایط پایدار نظیر هدایت هیدرولیکی، شرایط مرزی، جریان ورودی و خروجی تغییر یافت. در پایان مرحله واسنجی، تمامی پیزومترها در محدوده خطای قابل قبول (خطا یک متر در نظر گرفته شده) واقع شدند (شکل ۴-۱۵).



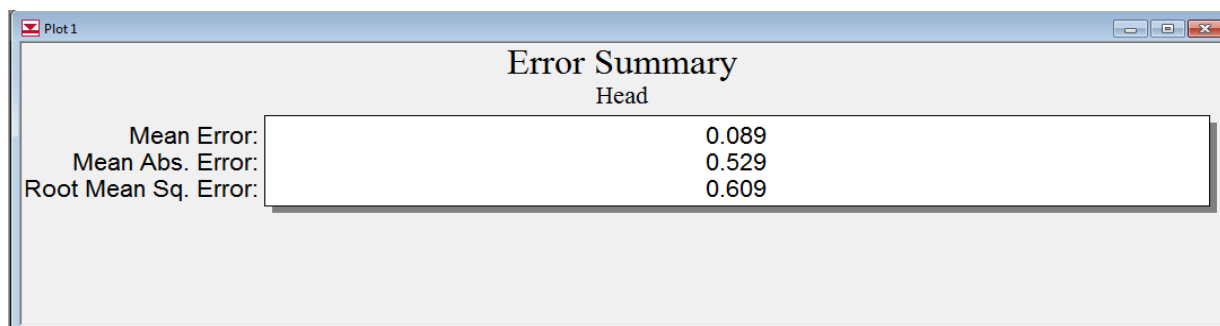
شکل ۴-۱۵- واسنجی مدل در حالت پایدار

شکل (۴-۱۶) نمودار مقایسه مقادیر بار آبی محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت پایدار را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶- نمودار مقایسه مقادیر بار آبی محاسباتی و مشاهداتی پس از واسنجی در حالت پایدار

شکل (۴-۱۷) میانگین خطای آخرین اجرای مدل دشت میامی جنوبی را در حالت پایدار نشان می‌دهد.

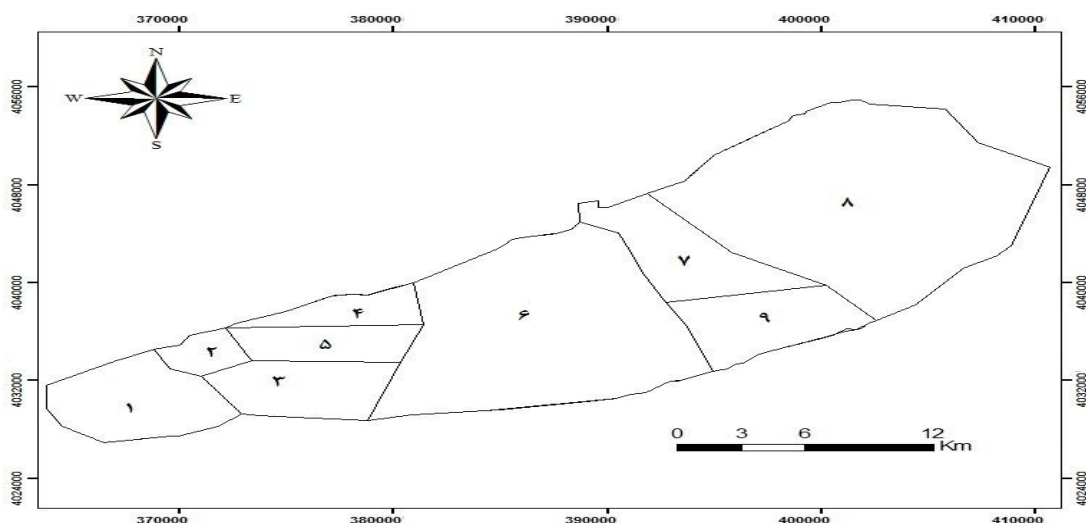


شکل ۴-۱۷- میانگین خطای آخرین اجرای مدل دشت میامی جنوبی در حالت پایدار

۴-۹- واسنجی مدل برای حالت ناپایدار

بعد از واسنجی مدل برای حالت پایدار، این کار در حالت ناپایدار نیز انجام می‌شود. تعیین شرایط اولیه برای شبیه سازی در وضعیت ناپایدار ضروری می‌باشد. همانطور که قبلاً ذکر شد، سطح آب زیرزمینی در اسفند ماه ۱۳۸۸ به عنوان سطح آب اولیه برای شروع شبیه سازی در نظر گرفته شد.

پارامتر دیگری که در شرایط ناپایدار باید به مدل اضافه شود، آبدهی ویژه است. در شرایط ناپایدار، آبدهی ویژه با توجه به داده‌های موجود و شرایط دشت تقسیم بندی شد (شکل ۴-۱۸).



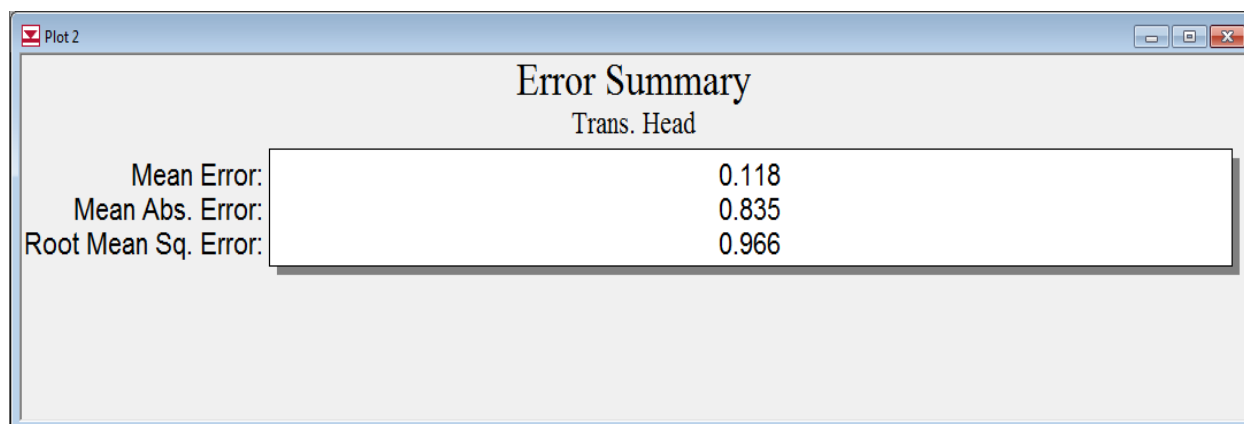
شکل ۴-۱۸- منطقه بندی آبدهی ویژه

استرس پریودهای ناپایدار به مدل اضافه شد و مدل در حالت ناپایدار اجرا گردید. جدول (۴-۵) مقادیر نهایی آبدهی ویژه را پس از واسنجی نشان می‌دهد.

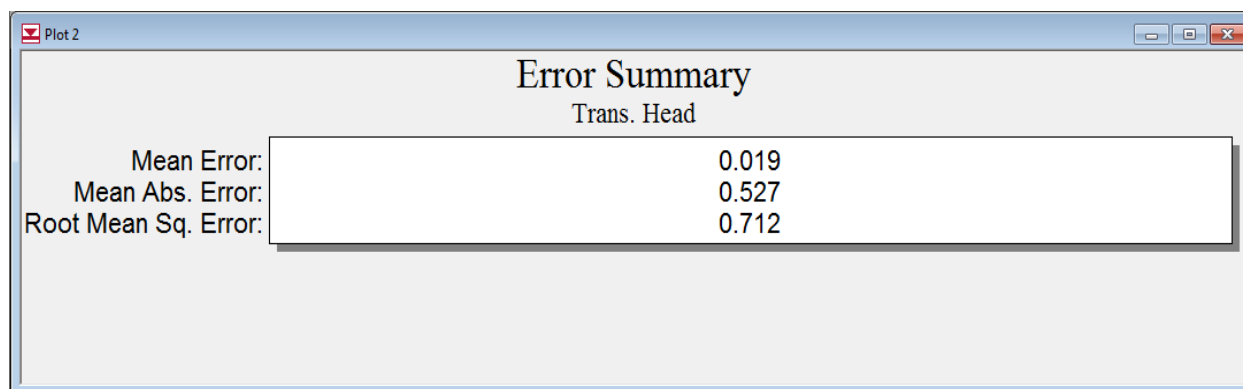
جدول ۴-۵- مقادیر آبدهی ویژه پس از واسنجی

شماره منطقه	آبدهی ویژه
۱	۰/۰۰۶
۲	۰/۰۰۹۱
۳	۰/۰۰۹۵
۴	۰/۰۰۶۵
۵	۰/۰۰۸۵
۶	۰/۰۰۳
۷	۰/۰۰۵
۸	۰/۰۰۶
۹	۰/۰۰۴

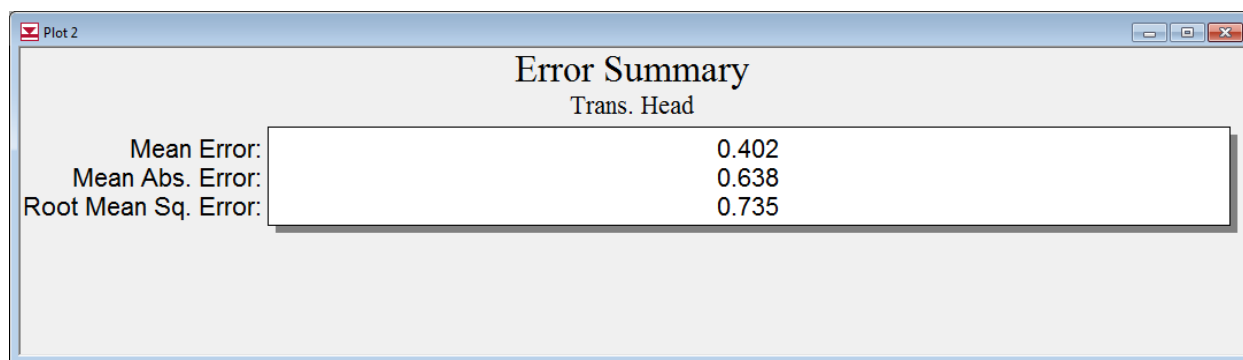
پس از اتمام فرایند واسنجی، میزان خطای RMS در اکثر پیزومترها و در ۴ دوره تنش از ۱ متر بیشتر نبود. در شکل‌های (۴-۱۹) تا (۴-۲۲) میانگین خطای واسنجی در گام‌های زمانی اول تا چهارم نشان داده شده است.



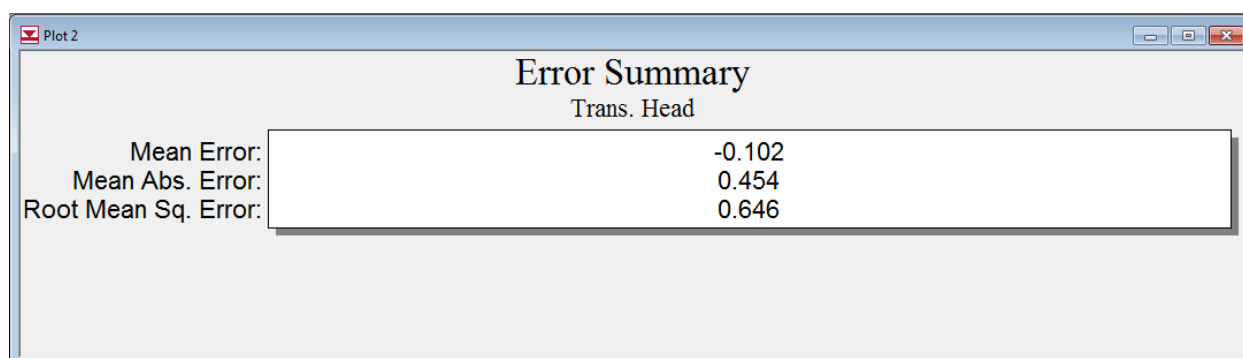
شکل ۴-۱۹- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی اول



شکل ۴-۲۰- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی دوم

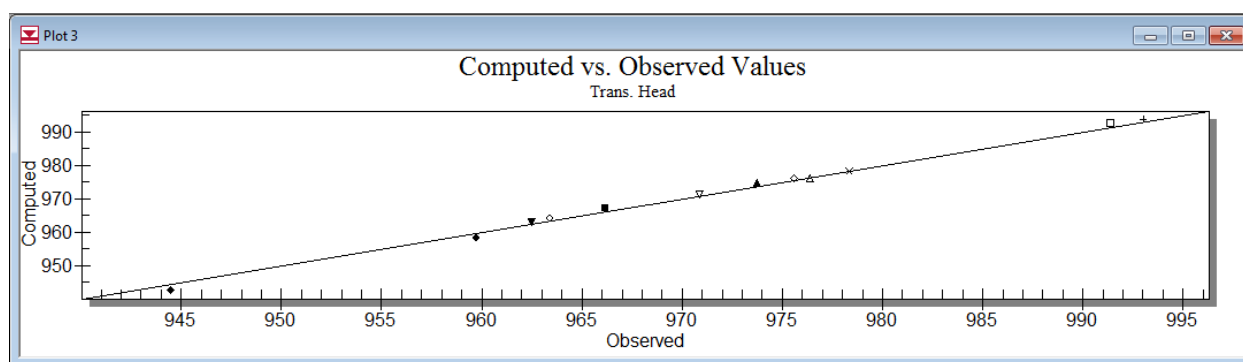


شکل ۴-۲۱- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی سوم

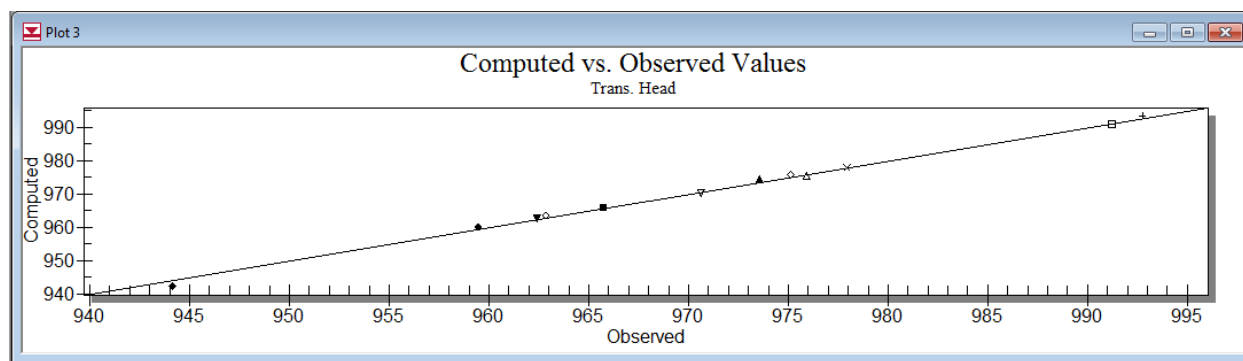


شکل ۴-۲۲- میانگین خطای واسنجی در گام زمانی چهارم

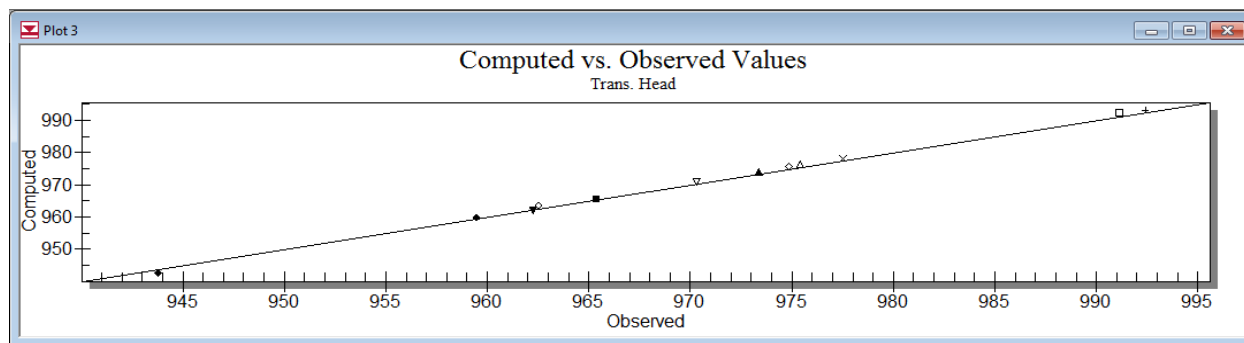
جریان‌های ورودی و خروجی و تغذیه سطحی در مدل پس از تصحیح مقادیر آبدهی ویژه، واسنجی شدند. در شکل‌های (۲۳-۴) تا (۲۶-۴) برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در گام‌های زمانی اول تا چهارم نشان داده است. انطباق نسبتاً خوب تراز مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در پیزومترها نشانه قابل قبول بودن فرایند شبیه سازی مدل دشت میامی جنوبی است.



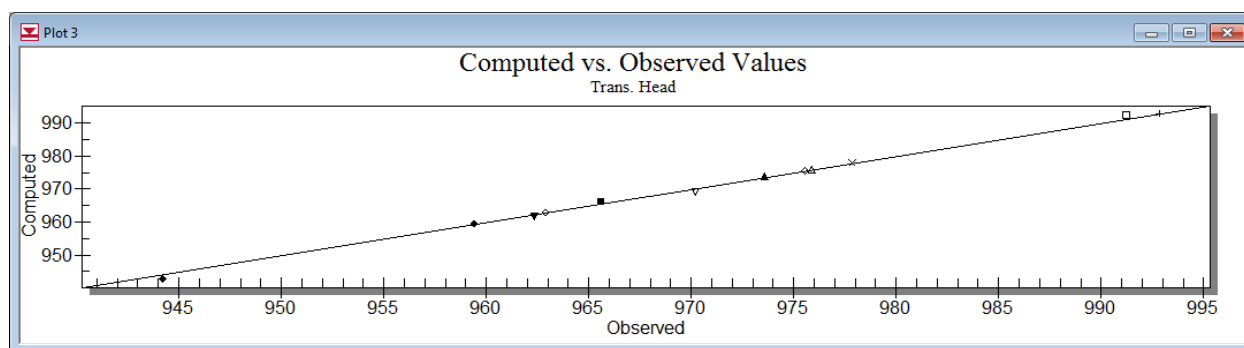
شکل ۴-۲۳- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی اول



شکل ۴-۲۴- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی دوم



شکل ۴-۲۵- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی سوم

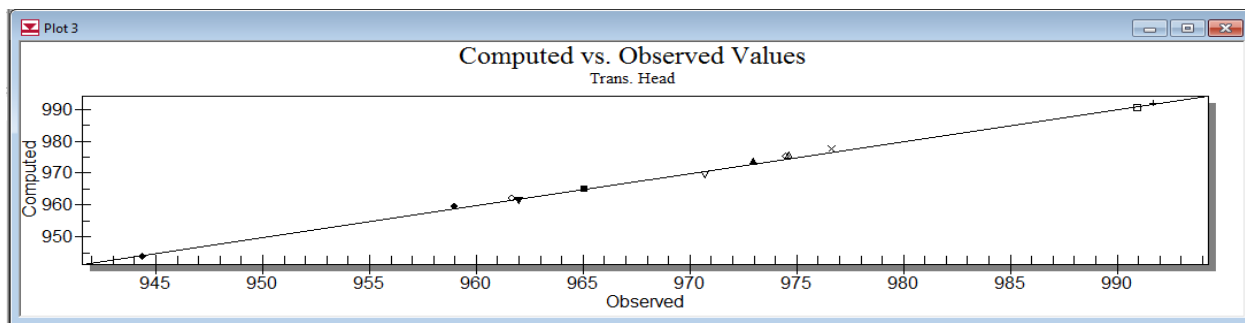


شکل ۴-۲۶- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی چهارم

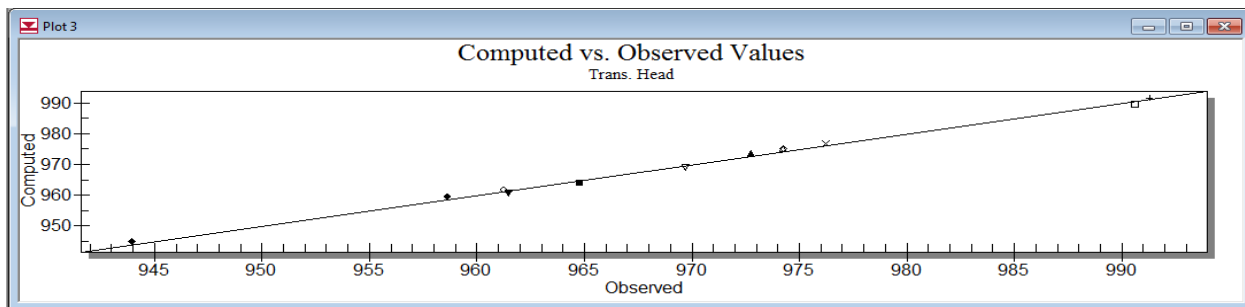
۴-۱۰- صحت سنجی

بعد از واسنجی در حالت ناپایدار، مدل نیازمند تایید یا صحت سنجی است؛ تا بتوان به آن اطمینان کرد. یک مدل که با دقت مناسبی واسنجی شده باشد، چنانچه تحت استرس‌های مختلف غیر از استرس‌های دوره کالیبراسیون قرار گیرد؛ باید نتایج قابل قبولی را ارائه کند. یعنی بدون تغییر زون بندی‌های به دست آمده برای مقادیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تا حدودی درصد نفوذ آب ناشی از بارندگی، مدل باید بتواند شرایط جدید را شبیه سازی نماید. برای این کار ابتدا در یک بازه زمانی برای سطح آب زیرزمینی میامی جنوبی، توسط مدل پیش‌بینی به عمل آمده و سپس این مقادیر به وسیله داده‌های مشاهده شده

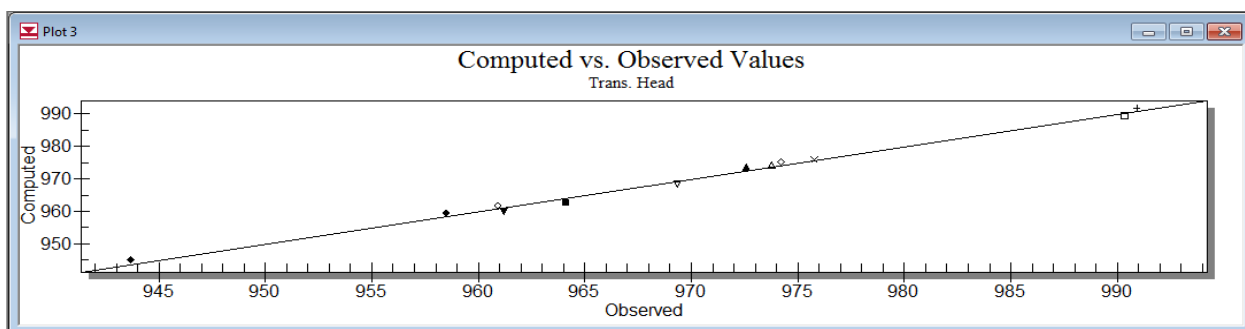
تایید می‌شود. بدین منظور یک دوره یک ساله از فروردین ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۰ صحت سنجی شده است. در اشکال (۴-۲۷) تا (۴-۳۰) برازش بار هیدرولیکی در گام‌های زمانی صحت سنجی نشان داده شده است.



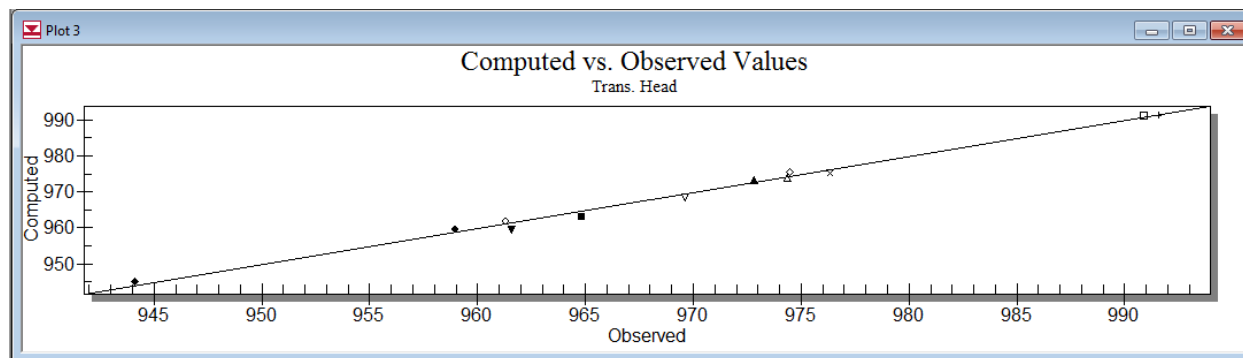
شکل ۴-۲۷- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی اول



شکل ۴-۲۸- - برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی دوم



شکل ۴-۲۹- - برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی سوم



شکل ۴-۳۰ - برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهده‌ای در گام زمانی چهارم

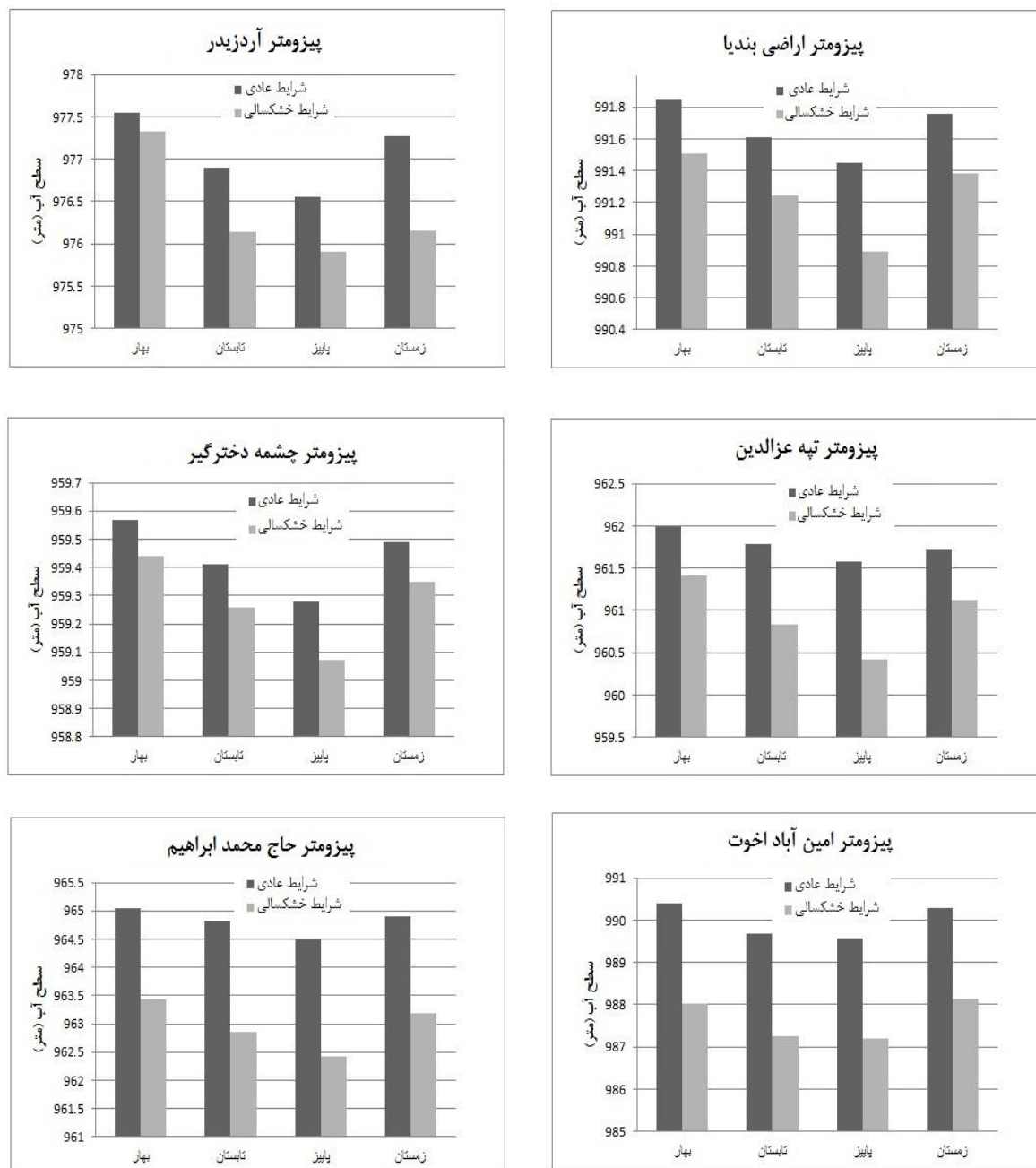
۴-۱۱- استفاده از مدل شبیه سازی شده دشت برای سناریوهای مختلف

جهت آگاهی از نحوه استفاده و حفاظت منابع آب زیرزمینی، می‌توان از مدل ریاضی تهیه شده برای پیش‌بینی و مدیریت آبخوان استفاده کرد. در صورتیکه مراحل ساخت مدل ریاضی یک آبخوان با دقت و موفقیت انجام شده باشد، مدل قادر به پیش‌بینی نحوه تاثیر استرس‌های مختلف وارد بر سفره آب زیرزمینی مورد نظر در آینده می‌باشد. پس از کالیبره کردن مدل، با اعمال استرس‌های هیدروژئولوژیکی مورد نظر در آینده، پیش‌بینی‌ها صورت می‌پذیرد. استرس‌های مورد نظر می‌توانند، افزایش و کاهش میزان بارندگی و حذف اضافه برداشت، باشند.

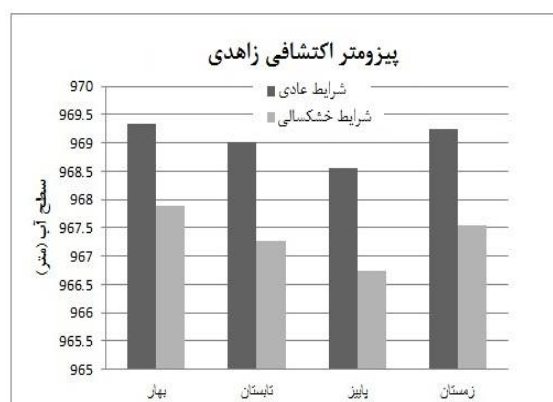
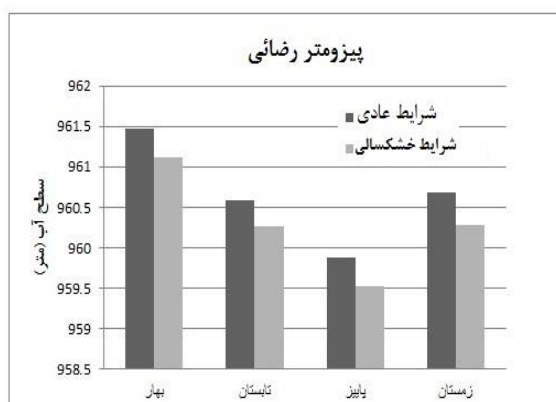
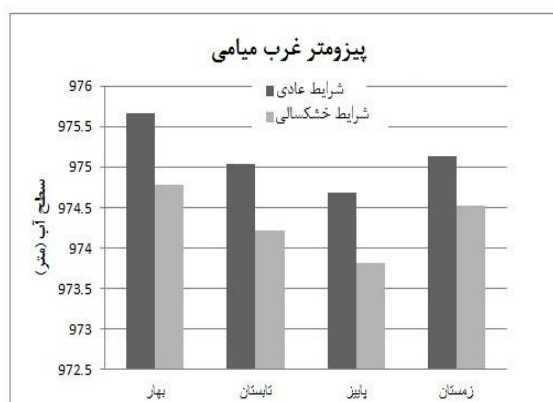
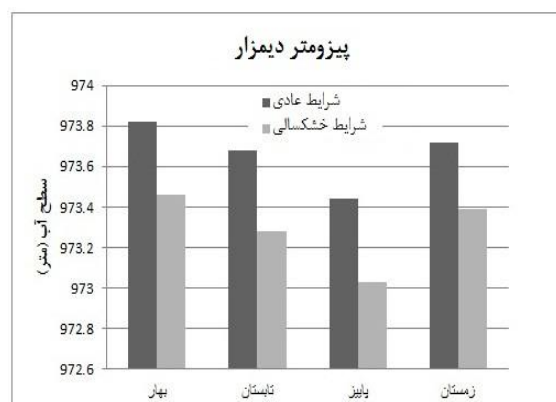
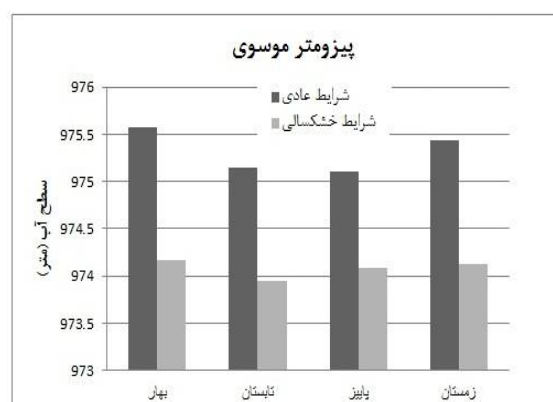
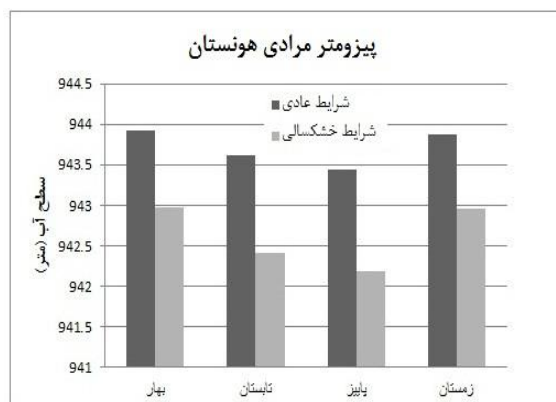
۴-۱۲- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی

برای پیش‌بینی سطح آب در سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲، مدل برای کمترین مقدار بارندگی (برابر با کاهش ۵۰ درصد نسبت به میانگین ۱۵ ساله) اجرا شد. نتایج به دست آمده از مدل نشان می‌دهند که با کاهش مقدار بارندگی و به دنبال آن کاهش میزان تغذیه، سطح آب در پیرومترها پایین می‌رود. در شکل‌های (۴-۳۱) تا (۴-۳۳) سطح آب محاسباتی مدل در شرایط عادی و خشکسالی و بعد از آن نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، سطح آب پس از اعمال تنش خشکسالی پایین می‌افتد که

این میزان کاهش در پیزومترها، متفاوت است. به‌طوری که در پیزومترهای آردزیدر، تپه عزالدین، موسوی و امین آباد اخوت بیشترین اختلاف سطح آب مشهود است که به دلیل تراکم زیاد چاه‌های بهره برداری در اطراف این پیزومترهاست.



شکل ۴-۳۱- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و شرایط عادی برای تعدادی از پیزومترهای منطقه



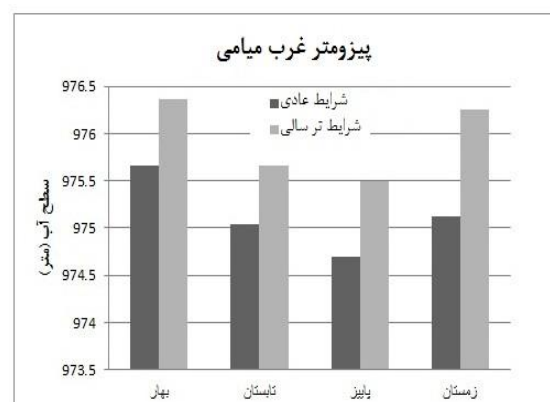
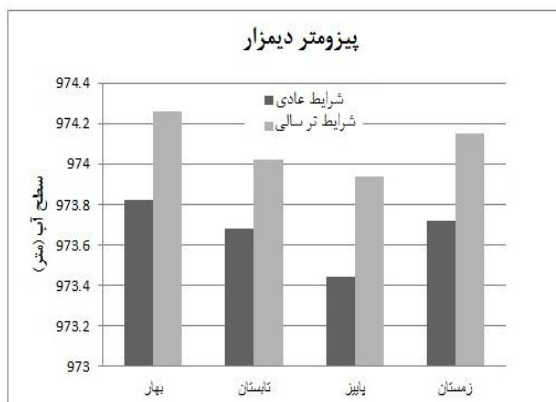
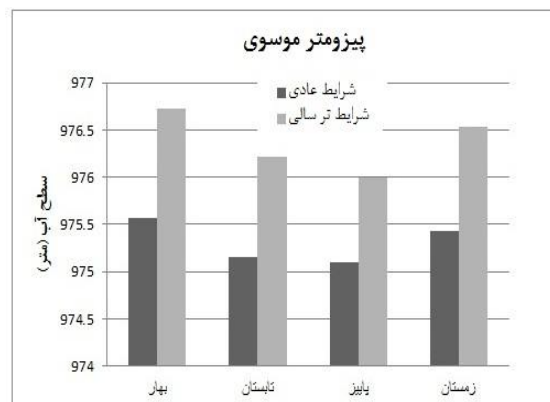
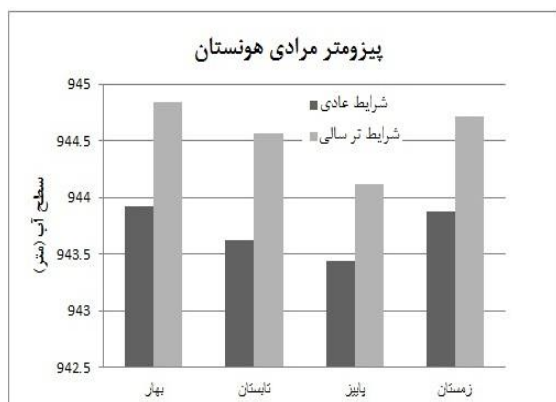
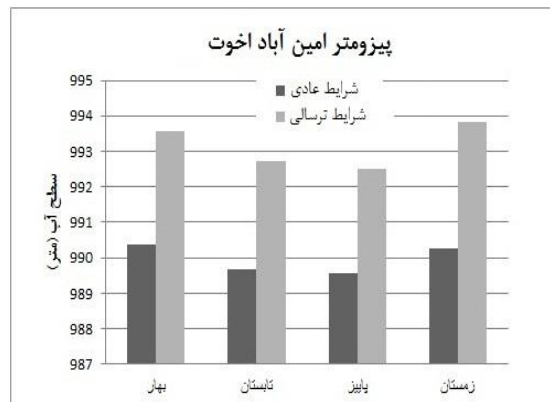
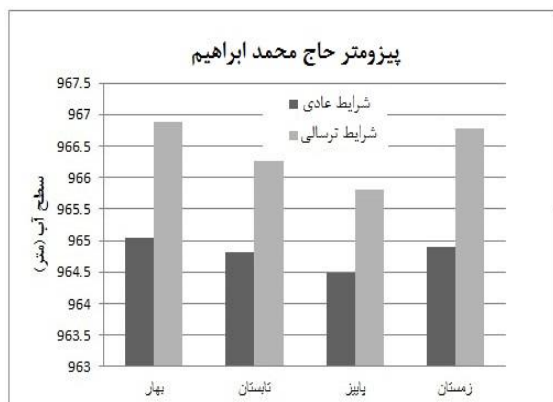
شکل ۴-۳۲- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و شرایط عادی برای تعدادی از پیزومترهای منطقه

۴-۱۳- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی

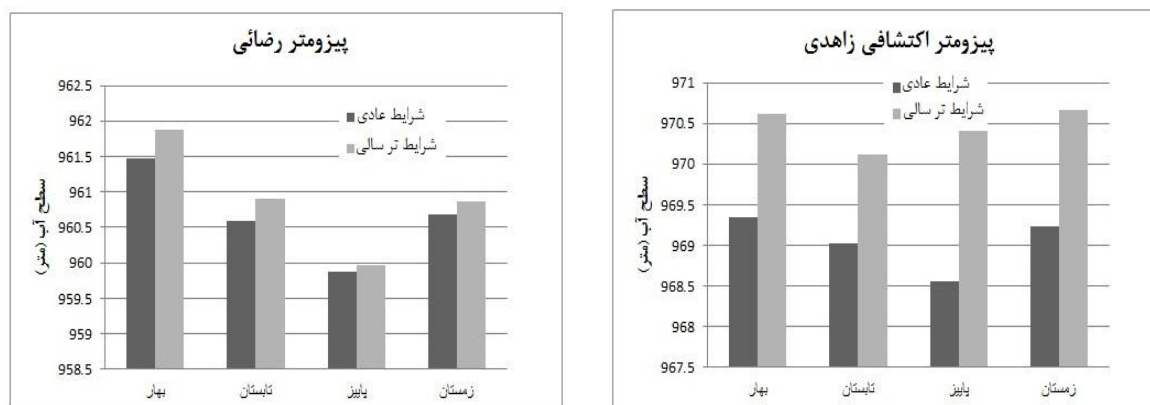
برای ارزیابی تاثیر شرایط ترسالی، مقدار بارندگی برای سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، برابر با ۵۰ درصد نسبت به میانگین ۱۵ ساله افزایش داده شد و سپس با استفاده از مدل تهیه شده سطح آب پیزومترها پیش‌بینی گردید. نتایج حاصله از مدل نشان می‌دهند که با افزایش ۵۰ درصد مقدار بارندگی، سطح آب در پیزومترها بین ۰/۵ تا ۲ متر بالا می‌آید. در شکل‌های (۴-۳۴) تا (۴-۳۶) سطح آب محاسباتی مدل در شرایط عادی و ترسالی نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش میزان بارندگی سطح آب بالا می‌رود. این افزایش در برخی از پیزومترها مانند حاج محمد ابراهیم، امین آباد اخوت، موسوی، مرادی هونستان و اکتشافی زاهدی بیشتر است که به دلیل تعداد کمتر چاه‌های بهره برداری در اطراف این پیزومترهاست.



شکل ۴-۳۳- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی و شرایط عادی برای تعدادی از پیزومترهای منطقه



شکل ۴-۳۴- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی و شرایط عادی برای تعدادی از پیزومترهای منطقه



شکل ۴-۳۵- مقایسه سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی و شرایط عادی برای تعدادی از پیزومترهای منطقه

۴-۱۴- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی همراه با اصلاح دبی چاه‌های بهره برداری

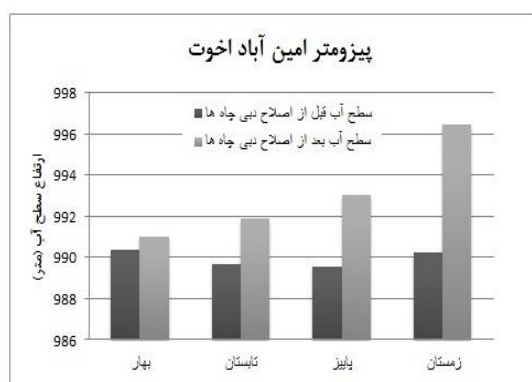
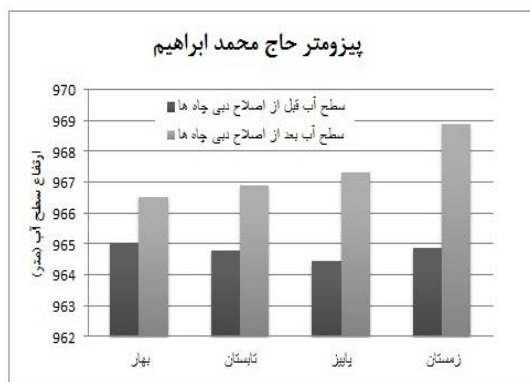
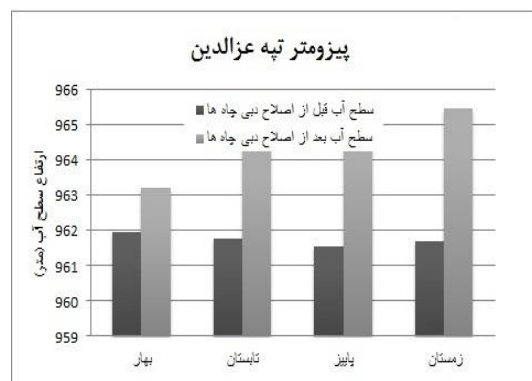
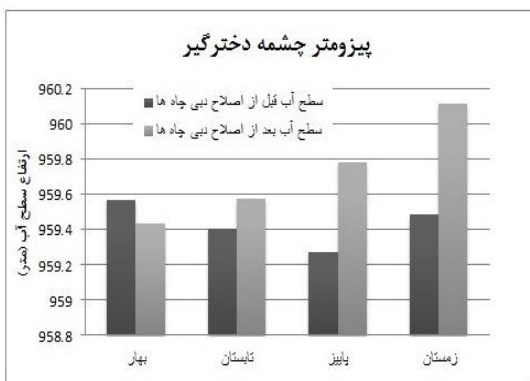
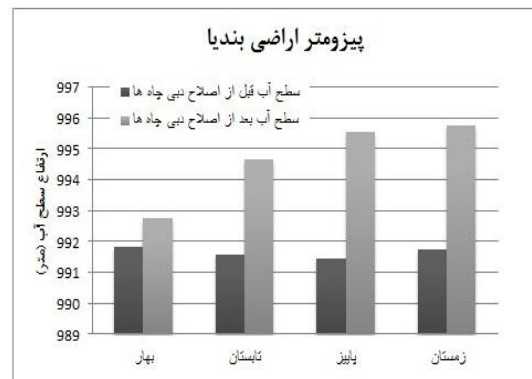
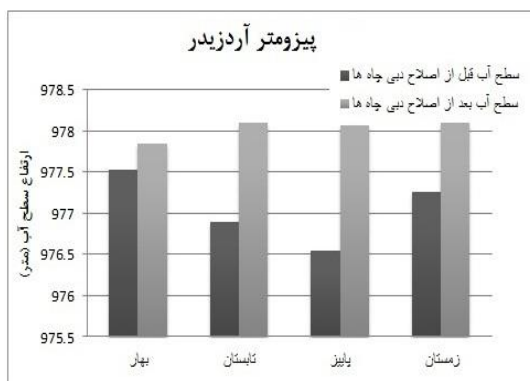
در این سناریو، برای اصلاح برداشت، ابتدا میزان اضافه برداشت از آبخوان با توجه به هیدروگراف واحد دشت تعیین گردید. به این ترتیب که با توجه به مقادیر ضریب ذخیره دشت، که به وسیله مدل کالیبره شده‌اند و مقدار افت سالانه در دشت، مقدار اضافه برداشت و به دنبال آن درصد اضافه برداشت برای هر چاه بهره‌برداری محاسبه شد.

$$S_y = \frac{\Delta V}{\Delta h \cdot A} \quad (۴-۱)$$

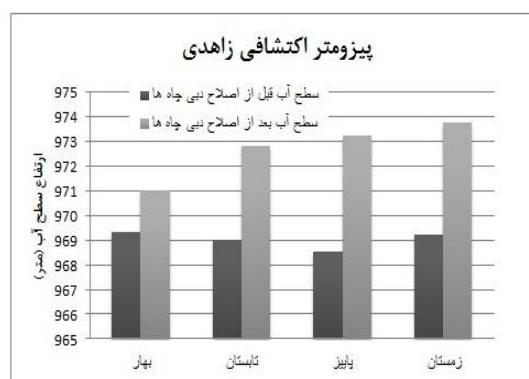
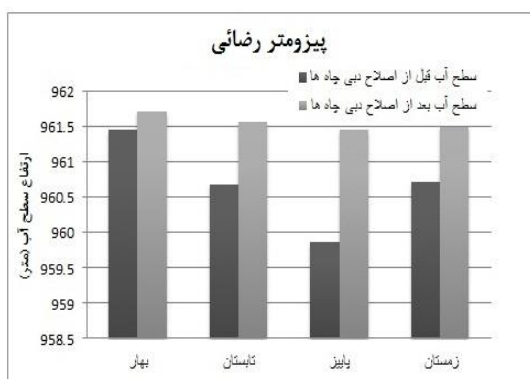
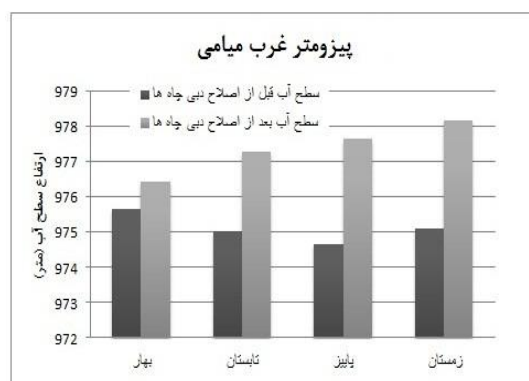
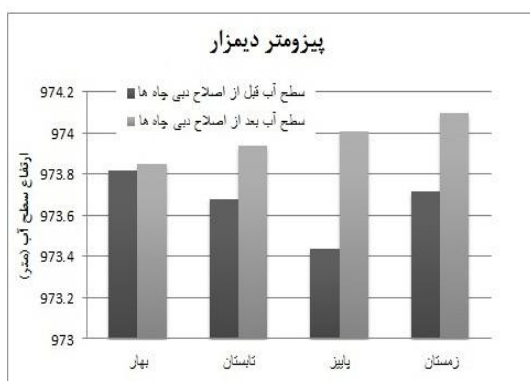
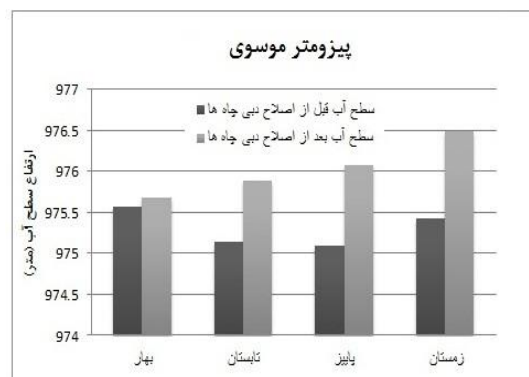
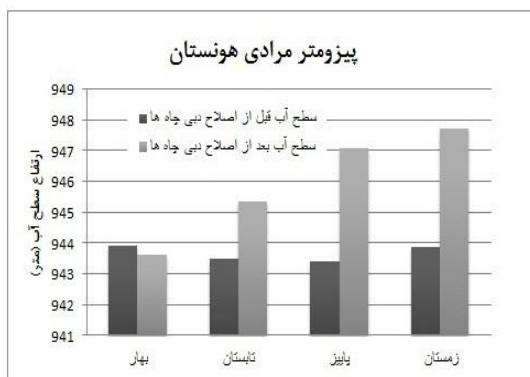
در فرمول بالا، S_y ضریب ذخیره دشت (با توجه به مقادیر به دست آمده از مدل)، ΔV مقدار کاهش حجم آب در آبخوان (این میزان ۴۲ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده است)، Δh میزان افت سطح آب زیرزمینی و A مساحت دشت می‌باشد.

سپس این مقدار اضافه برداشت بین کل چاه‌های بهره‌برداری منطقه (به نسبت دبی آن‌ها) تقسیم گردید و درصد اضافه برداشت برای تمام چاه‌ها اصلاح گردید. در نهایت مدل ساخته شده با دبی‌های جدید اجرا و سطح آب برای پیزومترهای مختلف محاسبه گردید. نتایج به دست آمده بیانگر افزایش سطح آب در پیزومترهای مختلف از ۰/۵ تا ۶ متر می‌باشد. کمترین مقدار افزایش سطح آب در شرق منطقه رخ داده

است که دلیل آن تراکم کمتر چاه‌های بهره‌برداری در این منطقه است. بیشترین مقدار افزایش سطح آب در غرب منطقه اتفاق افتاده است که احتمالاً به خاطر تراکم بالای چاه‌های بهره‌برداری است.



شکل ۴-۳۶- مقایسه سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از اصلاح دبی چاه‌ها برای تعدادی از پیزومترهای منطقه



شکل ۴-۳۷- مقایسه سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از اصلاح دبی چاه‌ها برای تعدادی از پیزومترهای منطقه

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

به منظور مدیریت درست آبخوان میامی جنوبی، مدل ریاضی این دشت با استفاده از نرم افزار GMS تهیه گردید. مهم ترین نتایج به دست آمده از انجام این تحقیق به طور مختصر در زیر ارائه شده است:

الف- نقشه هم پتانسیل و تعیین جهت جریان

طبق نقشه تراز مرز جنوبی و بخش هایی از مرز شمالی آبخوان میامی از نوع مرز ورودی بوده و سبب تغذیه آبخوان می گردند. آبخوان از طریق چاه های پمپاژ و بخش هایی از مرز شمالی آن (در قسمت شمال غرب آبخوان) تخلیه می گردد. گرادیان هیدرولیکی در بخش جنوب غربی دشت (منطقه تغذیه) در مقایسه با دیگر مناطق بالاتر می باشد و به حدود ۰/۰۰۶ می رسد. به سمت شرق میزان گرادیان هیدرولیکی به حدود ۰/۰۰۲ کاهش می یابد.

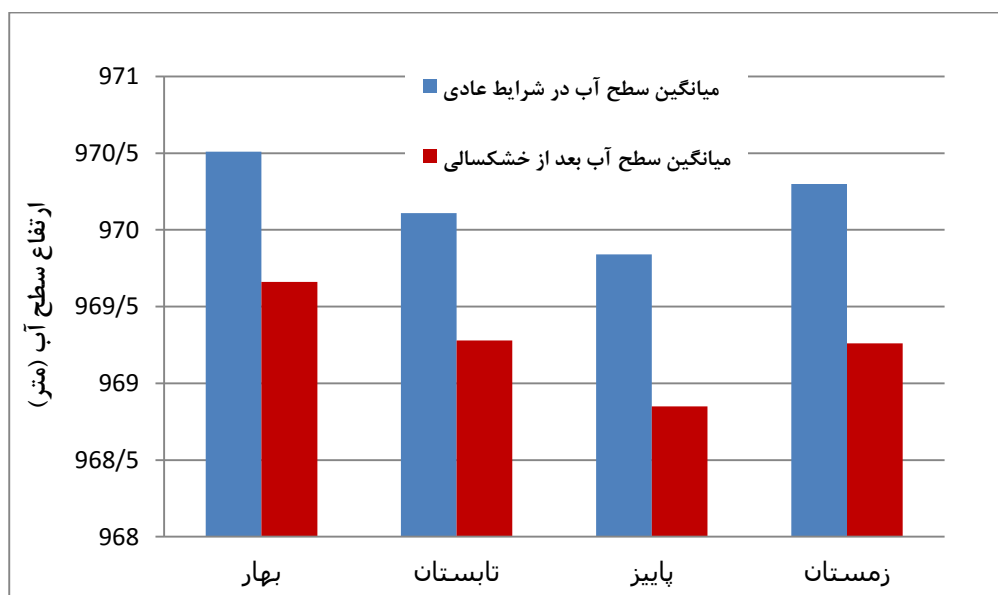
ب- پیش بینی سطح آب در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳

پیش بینی شرایط آبخوان در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ تحت دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول فرض شده است که سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ یک سال خشک باشد یعنی میزان بارش آن حدود

۵۰ درصد کمتر از بارش سال قبل باشد. در حالت دوم، ترسالی فرض شده است یعنی در نظر گرفته شده است که میزان بارش در حدود ۵۰ درصد افزایش یابد. در ادامه هر یک از سناریوها به صورت مفصل تر ارائه شده است:

ب (۱) - پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی

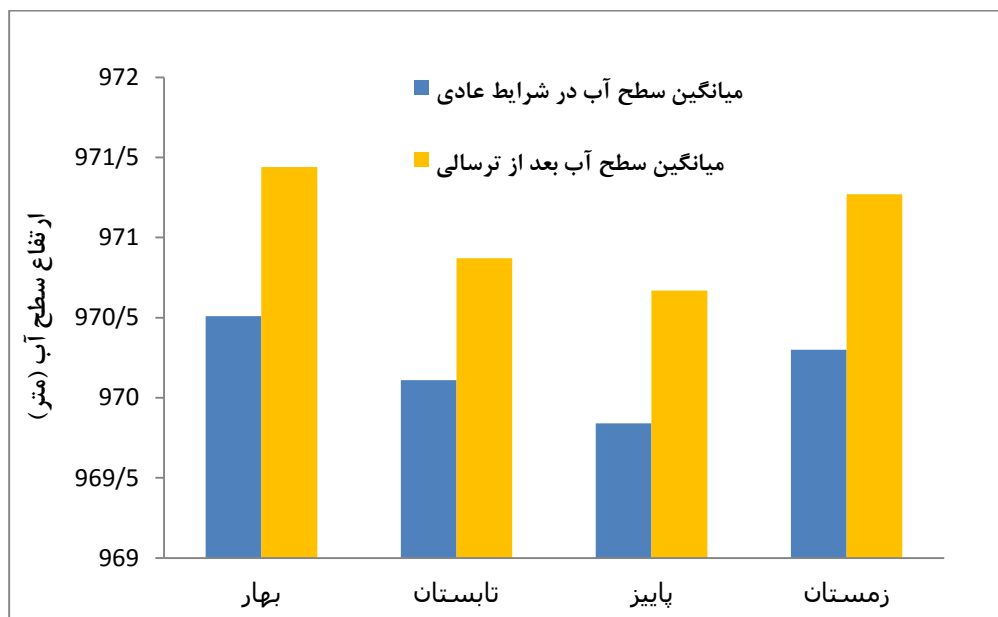
در این سناریو حساسیت مدل نسبت به کاهش میزان بارندگی بررسی شده است. به این صورت که تغییرات سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ پس از اعمال تنش خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل مشخص گردید که سطح آب در بیشتر پیزومترها با کاهش میزان بارندگی به مقدار قابل توجهی پایین می‌آید. به طوری که در پیزومترهای آردزیدر، تپه عزالدین، موسوی و امین آباد اخوت بیشترین اختلاف سطح آب مشهود است. شکل (۵-۲) میانگین سطح آب محاسباتی در کل پیزومترها قبل از خشکسالی و بعد از آن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲- مقایسه میانگین سطح آب زیرزمینی در کل پیزومترها در شرایط عادی و خشکسالی

ب (۲) - پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی

در سناریوی ترسالی، پس از اعمال تنش ترسالی سطح آب در بیشتر پیزومترها بالا آمد. به‌طوری که در پیزومترهای حاج محمد ابراهیم، امین آباد اخوت، موسوی، مرادی هونستان و اکتشافی زاهدی بیشترین اختلاف سطح آب مشهود است. شکل‌های (۲-۵) و (۳-۵) میانگین سطح آب محاسباتی در کل پیزومترها قبل از خشکسالی و ترسالی و بعد از آن را نشان می‌دهند.

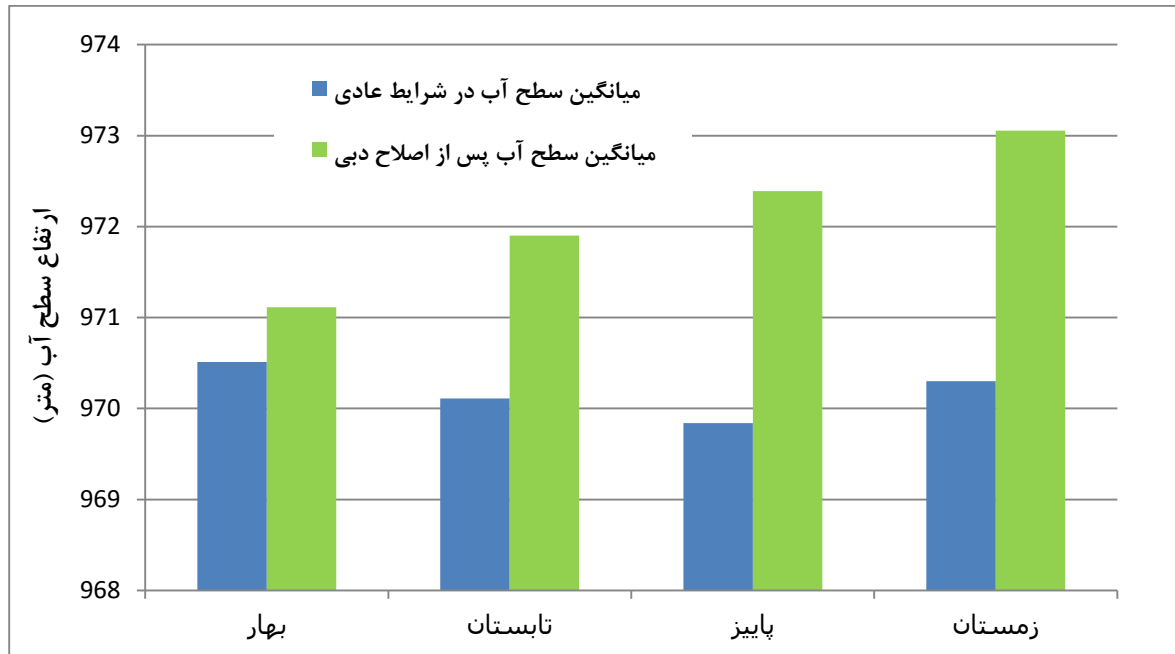


شکل ۳-۵ - مقایسه میانگین سطح آب زیرزمینی در کل پیزومترها در شرایط عادی و ترسالی

ج - پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی با اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری

در این مرحله، اصلاح دبی چاه‌های بهره‌برداری موجود در محدوده مدل انجام شد. پس از حذف برداشت اضافه، سطح آب زیرزمینی در بیشتر مناطق دشت بالا آمد. نتایج به‌دست آمده بیانگر افزایش سطح آب در پیزومترهای مختلف از ۰/۵ تا ۶ متر می‌باشد. کمترین مقدار افزایش سطح آب در شرق منطقه رخ داده

است که دلیل آن تراکم کمتر چاه‌های بهره‌برداری در این منطقه است. بیشترین مقدار افزایش سطح آب در غرب منطقه اتفاق افتاده است که احتمالاً به خاطر تراکم بالای چاه‌های بهره‌برداری است.



شکل ۵-۴- مقایسه میانگین سطح آب زیرزمینی در کل پیزومترها در شرایط عادی و پس از اصلاح دبی

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق در زمینه بیان آب‌های زیرزمینی و مدل دشت میامی جنوبی، موارد زیر به صورت پیشنهاد مطرح می‌گردد:

۱. به منظور تعیین دقیق مقادیر پارامترهای هیدرودینامیکی در نقاط مختلف دشت، پیشنهاد می‌شود که چند آزمایش پمپاژ در دشت انجام شود.
۲. برای ارزیابی مقدار آب برگشتی به آبخوان، نصب چند لیسیمتر در منطقه توصیه می‌شود.

۳. با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی و دبی چاه‌های بهره‌برداری در مطالعات آب‌های زیرزمینی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، لذا توصیه می‌شود که این اندازه‌گیری‌ها با دقت بالایی انجام شود.

مراجع

۱. ادراکی ج. اصغری مقدم الف. و حسن پور م.ع.، (۱۳۸۹)، "شبیه سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت دوزدوزان با استفاده از مدل ریاضی"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه.
۲. داده‌های اداره امور آب شاهرود.
۳. اعتباری ب. یعقوب زاده م. شهابی فرد ف. عادلی ح. و رضایی مناوند م.، (۱۳۸۷)، "بررسی مدل مفهومی آبخوان با استفاده از نرم افزار GMS (مطالعه موردی: دشت تبریز)"، اولین کنفرانس بین-المللی بحران آب، دانشگاه زابل، زابل.
۴. اکبرپور الف. عزیزی م. آقا حسینعلی شیرازی م.، (۱۳۸۹)، "مدیریت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی دشت مختاران با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS6.5"، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۵. انصاری مهابادی ث. شمسایی الف. و مساح بوانی ع.ر.، (۱۳۹۰)، "مدل سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی سفید دشت به وسیله مدل GMS"، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان.
۶. بوالی گزیک م.ی.، (۱۳۸۳)، "آنالیز حساسیت مولفه‌های بیلان هیدروژئولوژیکی نسبت به پارامترهای مختلف با استفاده از مدل ریاضی آب زیرزمینی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، پایان نامه کارشناسی ارشد.
۷. چیت سازان م. و کشکولی ح.ع.، (۱۳۸۱)، "مدل سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی"، دانشگاه شهید چمران اهواز، فصل ۸، ۳۰۰-۳۳۵.

۸. دلخواهی ب. و اسدیان ف.، (۱۳۸۸)، "تعیین حریم حفاظتی چاه با استفاده از مدل ریاضی عددی؛ مطالعه موردی چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران"، نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان.
۹. رهنما م. و کوچک‌علیزاده س.، (۱۳۸۹)، "مدلسازی آبخوان دشت بردسیر و بررسی اثر انتقال آب از این آبخوان به شهر رفسنجان"، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
۱۰. ریاحی پور م. و خلیلی خ.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی تاثیر انتقال آب از سد چغاخور به آبخوان دشت بروجن- فردانیه در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از مدل عددی GMS"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۱۱. زمزم ع. رهنما م. و عامری ع.، (۱۳۸۹)، "مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان تحت سناریوهای مختلف توسط مدل ریاضی"، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
۱۲. سالاری م. و اژدري مقدم م.، (۱۳۸۸)، "مدیریت آبخوان جلگه چاه هاشم با استفاده از مدل MODFLOW 4.2"، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، تهران.
۱۳. طایی سمیرمی م. فاتحی مرج الف. و میرنیا خ.، (۱۳۸۹)، "شبیه‌سازی سطح ایستابی آبخوان دشت گربایگان فسا با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW"، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۱۴. عطایی زاده س. و چیت‌سازان م.، (۱۳۸۶)، "تصحیح ضرایب هیدرودینامیکی K و S دشت میداود- دالون با استفاده از نرم افزار PMWIN5.3"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، تهران.

۱۵. فاضلی م. کلانتری ن. رحیمی م.ح. عطایی زاده س. باقرزاده س. بوسلیک ز. و احمدنژاد ز.، (۱۳۸۹)، "بهینه سازی پارامترهای هیدرولیکی دشت زیدون با استفاده از مدل سه بعدی تفاضلات محدود"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه.
۱۶. گزارش تحلیلی منابع آب محدوده مطالعاتی میامی آماربرداری سراسری منابع آب سطحی و زیرزمینی استان سمنان.
۱۷. محب زاده ح. بانژاد ح. قبادی م.ح. و حیدری م.، (۱۳۹۰)، "شبیه سازی عددی جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت نهاوند"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
۱۸. محتشم م. دهقانی الف. اکبر پور الف. مفتاح هلقی م و اعتباری ب.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی سطح ایستابی در آبخوان با بکارگیری نرم افزار GMS (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند)"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
۱۹. مظفری زاده ج. چیت سازان م. و ماجدی ح.، (۱۳۸۵)، "تصحیح ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از مدل تفاضلات محدود (MODFLOW) و روش کریجینگ"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، تهران.
۲۰. ملکی ر.، (۱۳۹۰)، "تهیه مدل ریاضی دشت شاهرود برای بررسی اثر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد.
۲۱. ملکی ر. کرمی غ.م. دولتی ارده جانی ف. حسینی ح. و اسدیان ف.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی تاثیر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی دشت شاهرود"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

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

۲۳. مهدوی ق.، (۱۳۹۰)، "مطالعه بهینه سازی بهره‌برداری از آبخوان دشت بزمان توسط MODFLOW"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه سیستان و بلوچستان، پایان نامه کارشناسی ارشد.

۲۴. مهدوی ق.، اسدی ن. و نهتانی فر ع.، (۱۳۸۹)، "مدیریت بهره‌برداری از آبخوان بزمان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل ریاضی"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، کرمانشاه.

۲۵. نقشه زمین شناسی جاجرم، ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.

۲۶. نورانی و. اصغری مقدم ا. و ندیری ع.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان محدوده شهر تبریز با شبکه‌های عصبی و مصنوعی"، سومین کنگره مهندسی عمران، تبریز.

۲۷. نیک منش م.، (۱۳۸۸)، "پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در آبخوان محدوده ارسنجان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، دومین کنفرانس سراسری آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان.

۲۸. وثوق ع. باغوند الف. ابطحی م. و قلی زاده م.، (۱۳۸۸)، "مدل ریاضی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مشهد"، نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان.

29. Abdelrhem I.M. Rashid Kh. Ismail A., (2008) "Integrated Groundwater Management for Great Man-Made River Project in Libya" **European J. of Scientific Research**, Vol.22, No.4, pp.562-569.

30. Anderson M.P. Woessner W.W., (1992) "Applied Groundwater Modeling; Simulation of Flow and Advective Transport". Academic press. San Diego, CA. Academic press, inc., 381p.
31. Ayenew T. Demlie M. Wohnlich S., (2008) "Application of numerical modeling for groundwater flow system analysis in the akaki catchment ,central Ethiopia" **J. Mathematical Geosciences**, V. 40, pp 887-906.
32. Ayvaz T., (2009) "Application of Harmony search algorithm to solution of groundwater management models" *Advances in water management.*, pp 916-924.
33. Batu, V., (2006) "Applied Flow and Solute Transport Modeling in Aquifers: Fundamental Principles and Analytical and Numerical Methods". Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton.
34. Bobba A.G. Singh V.P., (1995) "Groundwater contamination modelling". *Environmental Hydrology*. V.P. Singh (Ed.),. Kluwer Academic Publishers. 225-319.
35. Carslaw, H. S., and J. C. Jaeger, (1959) "Conduction of Heat in Solids", 2nd ed., University Press, Oxford.
36. Domenico P.A., (1972) "Concepts and model in groundwater hydrology", Mc- Graw- Hill, N. Y., 405p.
37. Forchheimer, P., (1886) "Ueber die Ergiebigkeit von Brunnen-Anlagen und Sickerschlitzen", *Archit. Ing. Vet. Hannover*, 32, 539-563.
38. Franke O.L. Reilly T.E. Bennete G.D., (1987) "Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated groundwater flow systems- an introduction", U.S. Geological Survey, *Techniques of Water-Resources Investigation*, Book 3, Chapter B5, 15p.

- 39.Haitjema H.M., (1995) "Analytic element modeling of groundwater flow", Academic press, Inc., pp 5-18.
- 40.Karami G.H. Bakhshi M. Hosseini H., (2009) "Evaluating groundwater resources in Shahrood region" ,International conference on water Resources.
- 41.Konig L.F. Weiss J.L., (2009) "Grounwater:modeling, management and contamination", Nova Science Publishers, Inc.
- 42.Kresic N., (1997) "Quantitative solutions in hydrogeology and ground water modeling", CRC Press LLC.
- 43.Laronne. Ben-Itzhak L. Gvirtzman H., (2005). "Groundwater flow along and across structural folding: an example from the Judean Desert, Israel" **J. Hydrology**, 312, 51–69.
- 44.Liu J. Zheng Ch. Zheng L. Lei Y., (2008) "Ground Water Sustainability: Methodology and Application to the North China Plain" **Groundwater**, Vol. 46, No. 6, pp 897–909.
- 45.Martin P.J. Frind E.O., (1998) "Modelling a complex Multi- aquifer system: the Waterloo moraine" **Ground Water**, Vol. 36, No. 4.
- 46.Massuel S. George B. Gaur A. Nune R., (2007) "Groundwater Modeling for Sustainable Resource Management in the Musi Catchment, India".
- 47.McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., (1988) " A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model", U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, A1.
- 48.Mc Whorter D.B. Sunada D.K., (1977) "Groundwater hydrology and hydraulics", Water Resources Publications, Colorado, 290p.

49. Medhat A. El-Bihery., (2009) "Groundwater flow modeling of Quaternary aquifer Ras Sudr, Egypt. Environ Geology" **J. Environmental Geology**, Volume 58, Issue 5, pp 1095-1105.
50. Michl C., (1996) "Using GIS, MODFLOW and MODPATH for ground water management of an alluvial aquifer of the River Sieg, Germany" **HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management**, No. 235.
51. Miller T.S., (2000) "Simulation of Groundwater flow in an unconfined sand and gravel aquifer at Maratho. Cortland County, New York. U.S. Geological Survey" **Water Resources Investigation**, Report 00-4026.
52. Pinder G.F. Grey W.G., (1970) "Finite element simulation in surface and subsurface hydrology", Academic press, New York.
53. Prikett T.A., (1975) "Modeling Techniques for Groundwater Resource Evaluation" . **Advance in Hydroscience** , vol . 10 , pl- 143.
54. Schneider J. and et al., (2008), "Simulation of Groundwater Flow in North Florida and South-Central Georgia" **Suwannee River Water Management District**.
55. Singhal V. Goyal R., (2011) "Development of conceptual groundwater flow model for Pali Area, India" **African J. of Environmental Science and Technology**, Vol. 5(12), pp. 1085-1092.
56. Spitz K. Morena J., (1996) "A practical guide to groundwater and solute transport modeling", John Wiley and Sons, Inc., 461p.
57. Strack O. D. L., (1989) "Groundwater Mechanics", Englewood Cliffs, New Jersey:Prentice-Hall.
58. Takounjou A.F. Gurunadha Rao V.V.S. Ndam Ngoupayou J. Sigha Nkamdjou L. Ekodeck G.E., (2009) "Groundwater flow modelling in the

- upper Anga'a river watershed, Yaounde, Cameroon" **African J. of Environmental Science and Technology**, Vol. 3 (10), pp 341-352.
- 59.Thangarajan M., (2007) "Groundwater: Resource evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and management", Springer, pp 189-278.
 - 60.Tsehayu K. WaltaNigus S. Lulu S. G/Hiwot AGConsult A., (2005) " Groundwater management using groundwater modeling: case study on Akaki groundwater model".
 - 61.Wang H.F and Anderson M.P., (1982) "Introduction to Groundwater Modeling; Finite Difference and Finite Element methods", W.H. Freeman and Company.
 - 62.Wang X. and et el., (1998) "Modeling and remediation of ground water contamination at the Engelse Werk wellfield" GWMR, Pages 114-124.
 - 63.Yang Q. Lu W. Fang Y., (2011) "Numerical Modeling of Three Dimension Groundwater Flow in Tongliao (China)" **International Conference on Advances in Engineering**, pp 638 – 642.
 - 64.Yaouti F.El. Mandour A.El. Khattach D. Kaufmann O., (2008) "Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco)" **J. Hydro-environment Research**2, pp 192-209.
 - 65.Yeh j. Mock P.A., (1996) "A structured Approach for calibrating steady – state ground water flow models, Groundwater" Vol.34.No.3.

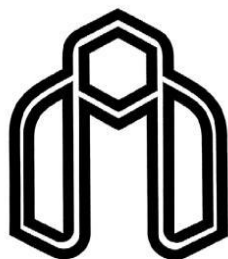
Abstract

South Mayamey Plain is located in Shahrood district at the east of Semnan province. High exploitation of groundwater has continuously decreased quantity and quality of the aquifer. Therefore, hydrogeological assessment and prediction of the future situation of aquifer is needed for management. In this study, groundwater flow in South Mayamey aquifer was simulated by MODFLOW code in GMS program.

Hydrogeological characteristics of aquifer were firstly evaluated based on the results of pumping tests, log and hydrograph of observation wells and geophysical studies. Regarding to plain hydrograph, Esfand 1388 was selected as the steady state period. Conceptual model was prepared and converted to a numerical model. Model was calibrated for hydraulic conductivity (K) and inflows from boundaries. After that, model was calibrated for steady state and values of specific yield (Sy) and recharge (from precipitation and irrigation return flow) were optimized, respectively. Verification of model was performed for one year after calibration period of Farvardin 1389 to Esfand 1389. According to calibration results, annual out flows from aquifer are more than inflow, confirming the declining trend of plain hydrograph. Average values of calibrated K and Sy were 8.5 m/day and 0.0064, respectively. Verified model was used to predict effects of different scenarios on Mayamey aquifer. At the first scenario, drought condition was simulated by 50 percent reduction in precipitation, representing water level in observation wells was significantly decreased. At the second scenario, precipitation was increased 50 percent for simulated of wet periods. Water level rose in observation wells in this scenario. At the third scenario, discharge by production wells was

modified, showing loss drawdown in aquifer levels, which is not the same at different parts of aquifer.

Key words: South Mayamey aquifer, mathematical model, MODFLOW.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
MSc. Thesis

Preparing the mathematical model of Mayamei Aquifer

Samaneh Mohammadi

Supervisors:

Dr. G.H. Karami

Dr. H. Jafari

January 2013