

اللَّهُمَّ الرَّحْمَنُ الرَّحِيمُ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی

شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با استفاده از مدل GMS

نگارنده : امید کلهری

اساتید راهنما

دکتر خلیل اژدری

اساتید مشاور

دکتر روزبه موذن زاده

سرکار خانم سکینه پرهیزکار

تیر ۱۳۹۶



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امید کلهری با شماره دانشجویی ۹۳۱۴۴۳۴ رشته کشاورزی گرایش سازه های آبی تحت عنوان: شبیه سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با استفاده از مدل GMS که در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ... درجه ...) مردود

نوع تحقیق: نظری عملی

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر خلیل اژدری	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر روزبه موذن زاده	۲- استاد مشاور
	مربی	سکینه پرهیزکار	۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر شاهین شاهسونی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر زهرا گنجی نوروزی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر سید حسین حسینی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم به

تو ای پدر که هرچه از شا بگویم باز هم کم می آورم
خورشیدی شدی و از روشنایی ات جان گرفتم و در ناامیدی ها امیدم دادی
و لبریزم کردی از شوق
اکنون حاصل دستان خسته ات رمز موفقیتم شد
به خود تبریک می گویم که تو را دارم و دنیا با همه بزرگش مثل تو را ندارد.....
و تو ای مادر، ای شوق زیبایی نفس کشیدن
ای روح مهربان هستی ام
تو رنگ شادی هایم شدی و عمری خشکی ها را به جان خریدی
تا اکنون توانستی طعم خوش پیروزی را به من بچشانی

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش پروردگاری همیانی را که ذات بیکرانیش آکنده از علم و دانش است و چه با سخاوت انسان را موهبتی شگرف بخشیده و درهای کمالات خود را بروی گشود.

با حمد و سپاس خدای متعال که توانایی قدم گذاشتن در این مسیر را به من عطا فرمود، در این جا لازم می دانم مراتب قدردانی و سپاسگذاری خود را از کلیه کسانی که به نحوی در پیشبرد این امر مرا یاری نمودند، ابراز دارم.

در ابتدا از پدر و مادر عزیزم که صادقانه در تمام دوران تحصیل ارزشمندترین پشتوانه من بوده اند، همچنین خواهران عزیزم که در تمام مراحل همراه و امید دهنده من بودند، نهایت سپاس و قدردانی را دارم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر خلیل اژدری و جناب آقای دکتر روزه مؤذن زاده و سرکار خانم سکینه پرهیزکار که بارها به منی های ارزشمندشان مراد تدوین پایان نامه یاری رسانند، کمال تشکر را دارم.

امید کهری تیر ۹۶

تعمدنامه

اینجانب امید کلهری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه شبیه سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان- بهار با استفاده از مدل GMS تحت راهنمایی دکتر خلیل اژدری و دکتر روزبه موذن زاده و سرکار خانم سکینه پرهیزکار متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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 می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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 همدان - بهار یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان همدان از لحاظ کشاورزی و کیفیت آب است. وقوع خشکسالی‌های متعدد و بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار از عوامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی محسوب می‌شوند. ابتدا مدل مفهومی آب زیرزمینی با استفاده از تمامی داده‌ها و اطلاعات تهیه گردیدند. در این تحقیق شبیه‌سازی سفره آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در حالت پایدار و ناپایدار با استفاده از مدل GMS7.1 و کد کامپیوتری MODFLOW به روش تفاضل محدود انجام گرفت. در حین شبیه‌سازی به منظور واسنجی مدل در شرایط ماندگار از تراز آب زیرزمینی فروردین ۱۳۸۴ و به منظور واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار از آمار سطح آب طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۹ استفاده گردید. واسنجی مدل در هر دو شرایط با استفاده از کد PEST صورت گرفت. همچنین برای ارزیابی صحت مدل از آمار تراز آب در سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۳ استفاده گردید و پس از آن که نتایج حاصل از صحت سنجی تطابق مدل را با شرایط طبیعی آبخوان به اثبات رساند، از مدل ریاضی ساخته شده برای رسیدن به هدف مطالعه استفاده گردید. با توجه به آمار ۲۷ حلقه چاه مشاهداتی و مقایسه سطح آب محاسباتی مدل و مشاهداتی، پارامترهایی نظیر ضریب هدایت هیدرولیکی در حالت پایدار و ضریب ذخیره آبخوان در حالت ناپایدار، که دارای عدم قطعیت بیشتری بودند، بهینه گردیدند. سطح آب شبیه‌سازی شده توسط مدل به سطح آب مشاهداتی نزدیک بوده و جذر میانگین مربعات خطا برای کل پیژومترهای دشت در این دوره ۵ ساله ۱/۵۶ بدست آمده است. به منظور پیش بینی سطح آب زیرزمینی در سال‌های آینده، ۳ سناریوی ترسالی بارش ۲ برابر، خشکسالی بارش نصف مقدار بارش و ادامه روند فعلی برای دشت تعریف گردید. نتایج نشان داد که در طی شهریور ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۴۰۰ در صورت ادامه روند فعلی بارش، سطح آب زیرزمینی به اندازه ۳ متر دچار افت خواهد شد و براساس این مقدار افت و با در نظر گرفتن مساحت کل آبخوان دشت همدان - بهار و متوسط ضریب ذخیره ۰/۰۵ حدوداً ۷۷ میلیون متر مکعب آب از این دشت خارج خواهد شد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی، سطح آب زیرزمینی، دشت همدان - بهار، مدل GMS، مدل‌سازی عددی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱- مقدمه: ۲
- ۱-۲- بیان مسئله ۳
- ۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق ۴
- ۱-۴- سازمان دهی فصل‌های پایان نامه ۵

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

- ۲-۱- مقدمه ۸
- ۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته در جهان ۹
- ۲-۳- مروری بر مطالعات گذشته در ایران ۱۴

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۳-۱- مقدمه ۲۲
- ۳-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲۲
- ۳-۳- ژئومورفولوژی منطقه ۲۳
- ۳-۴- وضعیت آب و هوای منطقه مورد مطالعه ۲۴
- ۳-۴-۱- بارندگی ۲۴
- ۳-۴-۲- درجه حرارت ۲۶
- ۳-۴-۳- تبخیر ۲۶
- ۳-۵- زمین شناسی عمومی ۲۷
- ۳-۶- منابع آب سطحی شهرستان همدان ۲۸
- ۳-۶-۱- رودخانه قره چای ۲۸
- ۳-۶-۲- رودخانه آبشینه ۲۹
- ۳-۶-۳- رودخانه مریانج ۲۹
- ۳-۶-۴- رودخانه عباس آباد ۳۰
- ۳-۶-۵- رودخانه کانال خروجی سد اکباتان ۳۰

۳۱	..... ۳-۶-۶ رودخانه سیمینه رود
۳۳	..... ۷-۳ مدل های آب زیرزمینی و معادلات اساسی حاکم بر جریان آب
۳۳	..... ۱-۷-۳ تعریف مدل سازی
۳۴	..... ۲-۷-۳ معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی
۳۴	..... ۱-۲-۷-۳ قانون دارسی
۳۶	..... ۲-۲-۷-۳ معادله پیوستگی
۳۶	..... ۱-۲-۲-۷-۳ معادله پیوستگی برای جریان پایدار
۳۸	..... ۳-۷-۲-۲-۲ معادله پیوستگی برای جریان ناپایدار
۳۸	..... ۸-۳ انواع مدل های آب زیرزمینی
۳۹	..... ۱-۸-۳ مدل ریاضی
۳۹	..... ۲-۸-۳ مدل های عددی
۴۰	..... ۱-۲-۸-۳ روش تفاضل محدود
۴۳	..... ۲-۲-۸-۳ روش اجزاء محدود
۴۴	..... ۹-۳ مراحل مختلف تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت همدان - بهار
۴۵	..... ۱-۹-۳ تعیین هدف برای تعیین مدل
۴۶	..... ۲-۹-۳ جمع آوری داده ها و اطلاعات
۴۷	..... ۳-۹-۳ تهیه مدل مفهومی و تحلیل سیستم آبخوان
۴۷	..... ۱-۳-۹-۳ انتخاب کد کامپیوتری و نرم افزار
۴۹	..... ۲-۳-۹-۳ شرایط مرزی
۵۰	..... ۳-۳-۹-۳ عوامل تغذیه و تخلیه کننده آبخوان
۵۱	..... ۱-۳-۳-۹-۳ تغذیه آبخوان از طریق بارندگی
۵۱	..... ۲-۳-۳-۹-۳ تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی، شرب و صنعتی
۵۱	..... ۳-۳-۳-۹-۳ برداشت آب زیرزمینی توسط چاه ها
۵۲	..... ۴-۳-۳-۹-۳ تبخیر - تعرق
۵۲	..... ۵-۳-۳-۹-۳ تغذیه و تخلیه آبخوان از مرزهای جانبی
۵۲	..... ۴-۳-۹-۳ اطلاعات هیدرودینامیکی
۵۳	..... ۵-۳-۹-۳ اعمال توپوگرافی سطح و کف آبخوان به سلول های شبکه
۵۳	..... ۶-۳-۹-۳ اطلاعات مربوط به چاه های مشاهده ای
۵۷	..... ۴-۹-۳ طراحی شبکه مدل

۵۸	..... ۳-۹-۵- مدل سازی دشت همدان _ بهار در شرایط پایدار
۵۸	..... ۳-۹-۶- مدل سازی دشت در حالت ناپایدار
۶۲	..... ۳-۹-۶-۱- شرایط اولیه
۶۲	..... ۳-۹-۶-۲- تنش های هیدرولوژیکی
۶۳	..... ۳-۹-۶-۳- اطلاعات مربوط به چاه های مشاهداتی در حالت ناپایدار
۶۴	..... ۳-۹-۷- واسنجی مدل

فصل چهارم: نتایج و بحث

۶۸	..... ۴-۱- مقدمه
۶۸	..... ۴-۲- واسنجی مدل
۶۸	..... ۴-۲-۱- واسنجی مدل در شرایط ماندگار جهت تخمین هدایت هیدرولیکی آبخوان
۷۲	..... ۴-۲-۲- واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار جهت تخمین آبدهی ویژه
۷۹	..... ۴-۳- صحت سنجی مدل
۸۴	..... ۴-۴- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در هر پیزومتر برای دوره ۵ ساله
۹۴	..... ۴-۵- نقشه هم افت سطح ایستابی آبخوان

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۸	..... ۵-۱- خلاصه تحقیق و نتایج
۹۹	..... ۵-۲- پیشنهادات
۱۰۱	..... منابع

فهرست اشکال

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- شکل ۳-۱- نقشه محدوده مطالعاتی دشت همدان - بهار ۲۳
- شکل ۳-۲- موقعیت ایستگاه‌ها و آبراه‌های دشت همدان - بهار ۳۲
- شکل ۳-۳- هیدروگراف دراز مدت دشت همدان - بهار ۳۳
- شکل ۳-۴- استوانه آزمایشی قانون دارسی (بدینت، ۲۰۰۵) ۳۵
- شکل ۳-۵- نمایش مفهومی معادله پیوستگی (بدینت، ۲۰۰۵) ۳۷
- شکل ۳-۶- انواع مدل‌های جریان آب‌های زیرزمینی (پریچکت، ۱۹۷۵) ۳۹
- شکل ۳-۷- تفاوت بین سیستم مرکز بلوکی و سیستم مرکز شبکه‌ای (اندرسون و وسنر، ۱۹۸۲) ۴۱
- شکل ۳-۸- دستگاه مختصات در نظر گرفته شده برای حل معادلات جبری (اندرسون و وسنر، ۱۹۸۲) ۴۲
- شکل ۳-۹- شبکه اجزاء محدود مثلثی ۴۴
- شکل ۳-۱۰- مراحل تهیه مدل آب زیرزمینی (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲) ۴۶
- شکل ۳-۱۱- نمایی از مدل مفهومی دشت همدان - بهار و مرزهای آبخوان دشت همدان - بهار ۴۹
- شکل ۳-۱۲- نمایی از سطح توپوگرافی دشت همدان - بهار ۵۴
- شکل ۳-۱۳- نقشه خطوط تراز سطح آب زیرزمینی دشت برای سال ۱۳۸۴ ۵۶
- شکل ۳-۱۴- شبکه بندی آبخوان دشت همدان - بهار ۵۹
- شکل ۳-۱۵- نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمده توسط MODFLOW ۶۰
- شکل ۳-۱۶- دوره‌های تنش به صورت فصلی ۶۱
- شکل ۳-۱۷- مقدار دهی شرایط اولیه برای حالت ناپایدار ۶۳
- شکل ۳-۱۸- مقدار دهی میزان برداشت چاه‌های بهره برداری از آب زیرزمینی ۶۴
- شکل ۳-۱۹- اطلاعات نوسانات سطح آب هر چاه مشاهده‌ای در طول دوره آماری در دوره ناپایدار ۶۵
- شکل ۳-۲۰- شاخص میزان خطا در مدل ۶۶

فصل چهارم: نتایج و بحث

- شکل ۴-۱- مقایسه بارآبی مشاهداتی و محاسباتی حاصل از واسنجی مدل در شرایط ماندگار سال ۱۳۸۴ ۶۹
- شکل ۴-۲- نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمده توسط MODFLOW ۷۰
- شکل ۴-۳- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت همدان - بهار ۷۲
- شکل ۴-۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹) ۷۳

شکل ۴-۲۱- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲).....	۸۳
شکل ۴-۲۲- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲).....	۸۳
شکل ۴-۲۳- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲).....	۸۴
شکل ۴-۲۴- نقشه تیسن بندی و مساحت مربوط به هر یک از پیزومترهای دشت همدان - بهار.....	۸۷
شکل ۴-۲۵- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۱.....	۸۸
شکل ۴-۲۶- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۶.....	۸۸
شکل ۴-۲۷- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۷.....	۸۹
شکل ۴-۲۸- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۱۰.....	۸۹
شکل ۴-۲۹- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۱۵.....	۹۰
شکل ۴-۳۰- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۱۸.....	۹۰
شکل ۴-۳۱- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۱۹.....	۹۱
شکل ۴-۳۲- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۲۰.....	۹۱
شکل ۴-۳۳- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۲۲.....	۹۲
شکل ۴-۳۴- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۲۶.....	۹۲
شکل ۴-۳۵- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۵ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومترشماره ۲۷.....	۹۳
شکل ۴-۳۶- هیدروگراف پیش بینی سطح آب میانگین پیزومترهای انتخابی در سناریوهای مورد مطالعه (شهریور ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۴۰۰).....	۹۴
شکل ۴-۳۷- نقشه هم افت تراز آب زیرزمینی.....	۹۵

فهرست جداول

فصل سوم: مواد و روش‌ها

جدول ۱-۳- میزان بارندگی سالانه در ایستگاههای محدوده مطالعاتی همدان- بهار در دوره آماری (میلیمتر)..... ۲۵

جدول ۲-۳- مشخصات چاههای مشاهداتی موجود در دشت همدان - بهار..... ۵۵

فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۱-۴- مقادیر تخمینی هدایت هیدرولیکی توسط کد PEST..... ۷۱

جدول ۲-۴- میانگین خطای آخرین اجرای مدل دشت همدان - بهار در حالت ناپایدار..... ۷۸

جدول ۲-۴- میزان تخلیه در هر منطقه با توجه به نقشه تیسن بندی..... ۸۶

فصل ۱: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه:

یکی از مهمترین دغدغه‌های امروزه در بسیاری از کشورهای جهان بخصوص کشورهای خاورمیانه تامین آب در راستای تداوم توسعه پایدار می‌باشد. آب برای بسیاری از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، مصارف کشاورزی، شهری و صنعتی و تولید برق آبی ضروری و مولفه مهمی از محیط زیست محسوب می‌شود به عنوان یکی از ارزش‌ترین منابع طبیعی و مهمترین مسئله چالش در قرن حاضر می‌باشد. لزوم شناخت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی از آنجا ناشی می‌شود که این منابع ۹۹ درصد از کل آب‌های شیرین قابل استفاده را تشکیل می‌دهند. اوضاع جوی و زمین ساختی مناطق خشک، ساکنان این مناطق را به بهره‌برداری بیشتر از منابع آب زیر زمینی واداشته و پایه‌های بسیاری از اجتماعات بشری بر آن استوار گشته است و این منابع از عوامل توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). کشور ما ایران نیز اگر چه دارای مناطق مرتفع و یا ساحلی با میزان بالای نزولات جوی است ولیکن با توجه به مساحت وسیع آن، در کل جزء مناطقی با رژیم آب و هوایی خشک و نیمه خشک بوده و طبیعی است در چنین وضعیتی برنامه‌ریزی‌های متعدد و به موازات کارشناسی همگام به موازات پیشرفت روش‌های مطالعاتی در مسائل آبی جزء پیش شرط‌های لازم جهت توسعه پایدار می‌باشد. برای جلوگیری از روند افت کمی و کیفی آبخوان‌ها، مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در راستای پیش بینی رفتار سیستم آب‌های زیرزمینی به عنوان ابزار قدرتمندی در مطالعات هیدروژئولوژی در بخش‌های مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. از اوایل قرن بیستم استفاده از مدل‌های آب زیرزمینی و تکنیک‌های شبیه‌سازی به عنوان یکی از راه‌های نظارت، کنترل و اعمال مدیریت منابع آب زیرزمینی آغاز و طی سالهای اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در توسعه مدل به ویژه مدل‌های عددی حاصل شده است (تندیسه و همکاران، ۱۳۹۲). از آنجایی که در مدل‌های ریاضی می‌توان با تغییر ورودی‌ها و پارامترهای مختلف، نتایج حاصل در سیستم را مشاهده نمود، لذا می‌توان از این گونه مدل‌ها به عنوان

ابزاری مفید در جهت شناسایی سیستم هیدروژئولوژیکی، مشاهده عکس العمل آبخوان نسبت به تنش‌های وارده و انتخاب گزینه‌های مختلف مدیریتی استفاده کرد.

مدل می‌تواند جهت جریان آب‌های زیرزمینی، تراز هیدرولیکی و سرعت جریان را محاسبه کرده و در تعیین مکان‌های مناسب برای حفرچاه‌های بهره‌برداري آب دریک سفره مورد استفاده قرار گیرند (پیداناو افوری ۲۰۰۸). اگر مدل یک سامانه طبیعی با دقت ساخته شود، به طوری که بازگو کننده رفتار واقعی سامانه در برابر تغییرات باشد، وسیله‌ای با ارزش برای پیش‌بینی و برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب زیرزمینی خواهد بود (تاو ۲۰۰۵).

۱-۲- بیان مسئله

افزایش بی‌رویه جمعیت در جهان، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداري‌های بی‌رویه از آبخوان‌ها باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان وارد می‌کنند. مدل ریاضی آب زیرزمینی، شبیه‌سازی یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیکی و ریاضی کمک می‌گیرد و به عنوان ابزاری کارآمد در درک پتانسیل آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در جهت سیاست‌های مختلف بهره‌برداري مورد استفاده قرار گیرد (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۳).

در دشت همدان - بهار به دلیل فقدان رودخانه‌های دائمی سبب شده تا درصد برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی از حد مجاز تجاوز کند. افزایش بی‌رویه برداشت و کاهش حجم مخازن آب زیرزمینی در این دشت باعث کاهش شدید سطح ایستابی در منطقه شده و مشکلاتی همچون افزایش عمق چاه، افزایش هزینه پمپاژ و کاهش کیفیت آب را به همراه داشته است.

۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق

سرزمین ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی، دارای میزان نزولات جوی ناچیزی است به طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین حدود ۸۶۰ میلی متر در نظر گرفته شود و این میزان با متوسط بارندگی سالانه ایران که حدود ۲۴۰ میلی متر است مقایسه شود، ملاحظه می‌شود که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست. به همین دلیل در اغلب مناطق ایران منابع آب سطحی وجود ندارد و آب مورد نیاز برای مصارف مختلف محدود به آب‌های زیرزمینی می‌شود. برای جلوگیری از ادامه‌ی افت کمی و کیفی، حفاظت آب‌های زیرزمینی و مدیریت بهره‌برداری باید به عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد. در این رابطه، مدل ریاضی در صورت شناخت درست و به شرط آماده بودن زمینه، می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد در اختیار مدیران قرار گیرد. مدل ریاضی آب زیرزمینی، شبیه‌سازی یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می‌گیرد. مدل آب زیرزمینی ابزاری در اختیار قرار می‌دهد تا بتوان داده‌های موجود را تبدیل به ویژگی‌های عددی برای سامانه آب زیرزمینی نمود و عمدتاً وسیله‌ای برای پیش بینی عکس العمل آبخوان تحت تاثیر عوامل تغذیه و تخلیه است (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۸۲).

دو مولفه اساسی مدل ریاضی یک سفره آب زیرزمینی، مدل مفهومی و مدل ریاضی می‌باشد. مدل ریاضی مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی است که با توجه به فرضیات خاص، به فرآیندهای فیزیکی فعال در درون یک سامانه مقدار می‌بخشد و مدل مفهومی تصویری ساده شده‌ای از تبادلات آبی آبخوان را به نمایش در می‌آورد. به این ترتیب با استفاده از مدل در صورت شبیه‌سازی آبخوان و تطبیق با شرایط طبیعی میزان افت را پیش بینی کرد و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف تاثیرات مقایسه و بررسی نمود.

هدف از مدل کردن آبخوان در حقیقت پیش بینی و در راستای آن مدیریت آبخوان است تا بتوان بین پارامترهای مهم بیلان آب توازن متعادل برقرار کرد. به این صورت که برای رسیدن به یک توازن

متعادل ابتدا باید میزان خروجی و ورودی‌های بیلان را تعیین و در مرحله بعدی با تهیه یک مدل کمی وضعیت و راهکارهای مدیریتی مختلفی را پیش بینی کرد. در مرحله نهایی با تصمیمات حاصل شده از نتایج مدل می‌توان یک برنامه ریزی کارآمد و صحیح در جهت کاهش بهره‌برداری مناسب و به تعادل رساندن آبخوان، با یک بهینه‌سازی وضعیت برداشت از آبخوان را طوری تنظیم نمود تا بیلان آب زیرزمینی به تعادل نزدیک شود. جهت مقابله با از بین رفتن آبخوان و کاهش سرعت افت سطح ایستابی بررسی وضعیت حال دشت و مدل‌سازی صحیح می‌تواند راهکارهای مناسبی را ارائه بدهد.

۱-۴- سازمان دهی فصل‌های پایان نامه

فصل اول پایان نامه شامل مقدمه، بیان مسئله، اهداف و کاربردهای موضوع مورد مطالعه می‌باشد. فصل دوم به مروری بر مطالعات گذشته اختصاص یافته است. فصل سوم به تشریح منطقه مورد مطالعه، خصوصیات زمین شناسی، اقلیم، هیدرولوژی، انواع مدل عددی و معادلات حاکم بر جریان زیرزمینی، مراحل تهیه مدل مفهومی و تبدیل آن به مدل عددی و مدل سازی در شرایط پایدار و ناپایدار آبخوان دشت همدان - بهار پرداخته است. در فصل چهارم نتایج حاصل از مدل سازی جریان آب زیرزمینی در دشت و پیش بینی سناریوهای مختلف بررسی و مورد بحث قرار گرفته است. در فصل پنجم ضمن ارائه نتایج به دست آمده به صورت کلی و خلاصه، پیشنهاداتی در رابطه با ادامه تحقیقات ارائه گردیده است.

فصل ۲: مروری بر تحقیقات پیشین

یکی از اهداف بلند مدت مدیریت راهبردی منابع آب، تعادل بخشیدن میان تقاضای آب و منابع آب موجود با کمترین هزینه ممکن می‌باشد. مدیریت منابع آب در دوبرخ اصلی آب‌های سطحی و زیرزمینی قابل تعریف است و هر کدام نیز مستلزم در نظر گرفتن شرایط خاص خود می‌باشد. یکی از روش‌های مناسب مدیریت منابع آب زیرزمینی، استفاده از مدل‌های عددی و نتایج بیلان آبی مدل می‌باشد. استفاده از مدل‌سازی به عنوان روشی کارآمد و کم هزینه شناخت ماهیت پیچیده آبخوان را ممکن می‌سازد. مدل در هر شاخه‌ای از علم، سیستم ساده شده‌ای است که دارای شباهت فیزیکی با نمونه اصلی می‌باشد. به بیان دیگر مدل، روش حل مسائل پیچیده‌ی فیزیکی با استفاده از نمونه‌های ساده می‌باشد. در دهه‌های اخیر بکارگیری کامپیوتر در مطالعات منابع آب و همچنین پیش بینی وضعیت آب زیرزمینی توسعه زیادی پیدا کرده است بطوریکه در اکثر نقاط جهان بهره گیری از مدل‌های دقیق و مطمئن در ارتباط با شناسایی سیستم‌های هیدروژئولوژیکی اجتناب ناپذیر شده است. از آنجایی که در مدل‌های ریاضی می‌توان با تغییر ورودی‌ها و پارامترهای مختلف، نتایج متفاوتی را در سیستم مشاهده نمود، لذا می‌توان از این گونه مدل‌ها به عنوان ابزاری مفید در جهت شناسایی سیستم هیدروژئولوژیکی، مشاهده عکس العمل آبخوان نسبت به تنش‌های وارده و انتخاب گزینه‌های مختلف مدیریتی استفاده کرد. استفاده از مدل‌های ریاضی از سال ۱۸۰۰ شروع شده است. پیشرفت مدل‌های ریاضی وابستگی شدیدی به دو عامل، فرمول‌های هیدرولیکی و ماشین‌های حسابگر از خود نشان داده است. تحول در فرمول‌های هیدرولیکی از سال ۱۹۳۵ توسط تائیس^۱ آغاز شد. پس از او ژاکوب و هانتسون^۲ با ارائه روابط خود، این تحول را تکمیل نمودند. پس از آن مدل‌های ریاضی با راه حل عددی به عنوان یکی از روش‌های مناسب در مطالعه علوم هیدروژئولوژی به کار گرفته شد و دو

¹ Theis

² Jacobe and Hantsun

راه حل عددی و تفاضل محدود^۱ و اجزای محدود^۲ کمک شایانی به مدل سازی مطالبات موجود در این زمینه نمودند.

۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته در جهان

تاکنون بر روی آبخوان های زیادی به منظور اهداف مختلف مانند تعیین پارامترهای هیدرولیکی، مقدار نفوذ موثر، اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی و ... در ایران و جهان مطالعه صورت گرفته شده است که در این قسمت سیر تکمیلی استفاده از مدل های شبیه ساز در بحث مدیریت منابع آب زیرزمینی بصورت اجمالی بررسی و نتایج آن گزارش خواهد شد.

پونساکی و همکاران (۱۹۹۴)^۳ با استفاده از کد MODFLOW، زیر حوضه رودخانه مورم بیدگی سفلی را شبیه سازی کردند. برای شبیه سازی کامپیوتری از یک شبکه تفاضلات محدود به ابعاد ۷۵۰۰×۷۵۰۰ متر برای ناحیه تحت پوشش مدل استفاده شد، که مساحتی نزدیک به ۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می داد. مدل ارائه شده با استفاده از داده های مشاهداتی در بازه زمانی ۱۹۸۵-۱۹۸۰ و اسنجی شد. مقایسه خطوط تراز آب مشاهداتی و محاسباتی برای سه آبخوان شیپارتن، کالیویل و رنمارک تطابق خوبی را نشان داد.

بیست و پواتر (۱۹۹۴)^۴ اثرات متقابل بین آبخوان و نهر در شرایط نیمه خشک را با استفاده از مدل ارزیابی کردند. وابستگی آب زیرزمینی به رودخانه در ارتباط با تغذیه آبخوان به خوبی شناخته شده است. اما تعیین چگونگی این ارتباط دشوار است. آن ها به این منظور از کد MODFLOW استفاده کردند. منطقه مورد مطالعه یک محدوده صحرائی در ناحیه گلدن کلرادو^۵ در امریکا است که یک نهر فصلی در آن قرار گرفته و در این محدوده بین نهر آبخوان اثرات متقابل وجود دارد. ابتدا

¹ Finite difference

² Finite element

³ Punthakey et al ۱۹۹۴

⁴ Beest and Puater et al ۱۹۹۴

⁵ Golden of Colorado

داده‌های صحرایی در مورد سیلاب، هدایت هیدرولیکی کف نهر، فشار هدایت هیدرولیکی آبخوان و فشار آبی هیدرولیکی آبخوان تهیه شد و سپس ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان و نهر به طور کامل بررسی شد.

میشل (۱۹۹۵)^۱ کاربرد MODFLOW، MODPATH و GIS^۲ را در مدیریت آب زیرزمینی بررسی کرد. این مطالعه موردی در یک آبخوان آبرفتی از رود زیگ در نزدیکی شهر بن در کشور آلمان انجام شده است و در آن از یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و از کد MODFLOW برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی بهره گرفته است. از این تحقیق نتیجه شده که استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی آب زیرزمینی به نحو بسیار قابل توجهی بر سهولت و دقت کار می‌افزاید.

اماک و همکاران (۲۰۰۰)^۳ یک مدل سه بعدی برای آبخوان فوقانی و میانی ترینیتی در منطقه هیل کانتری در جنوب تگزاس با هدف شناسایی سیستم هیدروژئولوژی و کمک به تخمین میزان آب و نوسانات سطح آب نسبت به پمپاژ و پتانسیل خشکسالی در آینده تهیه نمودند. آن‌ها برای این کار از کد MODFLOW استفاده نمودند. در این تحقیق واسنجی در حالت جریان ماندگار برای شرایط سال ۱۹۹۵ و واسنجی در حالت غیرماندگار برای شرایط سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ انجام شده است. همچنین با استفاده از این مدل، مقادیر هدایت هیدرولیکی عمودی و ضریب ذخیره برای آبخوان واسنجی شده است. بر این اساس سطح آب در مدل بیشترین حساسیت را به تغذیه، هدایت هیدرولیکی افقی لایه میانی و هدایت هیدرولیکی لایه فوقانی نشان داده است. نتایج مدل ایشان نشان داد که ۲۰ درصد از تغذیه آبخوان به طرف جنوب (آبخوان ادواردز) حرکت می‌کند.

¹ Michel

² Geographic Information System

³ Emace et al.

رامیردیگاری و همکاران^۱ (۲۰۰۰) با تلفیق دو مدل آب سطحی و آب زیرزمینی و با استفاده از کد MODFLOW تاثیر سازه‌های حوزه آبریز و آبیاری روی تراز آب زیرزمینی و جریان رودخانه را گزارش دادند. تخمین این تاثیرات به وسیله این دو مدل شبیه سازی به خوبی قابل انجام بود و صحت مدل به اثبات رسید. بنابراین آن‌ها با استفاده از مدل ریاضی تغییرات جهت جریان آب زیرزمینی و در نتیجه تغییرات کیفی حاصل از تبادل آب بین رودخانه و آبخوان را بررسی کردند.

گوروین و لابسینزکی^۲ (۲۰۰۴) سیستم پیچیده چند سفره ای منطقه سوئیدنیکا^۳ در لهستان را برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی توسط مدل عددی GMS شبیه سازی کردند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های طبیعی سطح آب و اطلاعات قابلیت انتقال کالیبراسیون مدل در حالت پایدار انجام گرفت. این مدل نشان داد که ذخیره و منابع آب تجدیدپذیر در سفره هنوز وجود دارد. همچنین نشان دادند که با تلفیق مدل مفهومی درون مدل‌های عددی محیطی و به کارگیری راه حل Quasi-3D می‌توان سیستم‌های پیچیده چند سفره ای را به طور موثری مدل کرد.

ژنگ^۴ (۲۰۰۱) جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی در شمال شرق آیووا^۵ را که به دلیل سیستم گسترده کارستی در معرض آلودگی بیولوژیکی است با استفاده از مدل GMS و به منظور فهم بهتر از آلودگی و حرکت آلودگی شبیه سازی کرد.

رین و همکاران^۶ (۲۰۰۱) به منظور مشخص کردن محدوده تغذیه کننده چاه‌های شرب ایالت ویسکانسن آمریکا، وضعیت آب‌های زیرزمینی این منطقه را با کد MODFLOW شبیه سازی نمودند. ایشان مدل را در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار اجرا کرده و نهایتاً با توجه به نتایج به دست آمده از مدل و مقایسه آن‌ها با داده‌های مشاهداتی به این نتیجه رسیدند که برای منطقه مذکور، اجرای مدل در حالت غیر ماندگار بازتاب بهتری از رفتار آبخوان ارائه می‌دهد.

¹ Ramireddygarı et al

² Gurvin and Lubczynski

³ Swidnica

⁴ Zhang

⁵ IOWA

⁶ Rayne et al

ادریسی و اسمد^۱ (۲۰۰۶) مدل جریان آب زیرزمینی در آبخوان تریفا^۲، در شمال شرقی کشور مراکش را با استفاده از کد MODFLOW در قالب نرم افزار PMWIN^۳ توسعه دادند. صحت سنجی مدل مورد نظر برای سال آبی ۱۹۹۶-۱۹۹۵ در ۴۶ چاه مشاهده‌ای انجام شد. همچنین تاثیر توسعه کشاورزی بر منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به وسیله مدل‌های هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژیکی بررسی شد. نتیجه مدل بدون کالیبره شدن انطباق خوبی با داده‌های مشاهده‌ای نشان داد. محققین مذکور ادعا نمودند که مدل توسعه داده شده و نتایج بدست آمده از آن می‌توانند ابزار مناسبی برای پیش بینی و ارزیابی خطر افت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باشند.

مارکز و همکاران^۴ (۲۰۰۶) آبخوان پابلا والی^۵ واقع کشور مکزیک را با استفاده از کدهای MODFLOW و MT3D (این مدل جریان و آلودگی را به صورت دو بعدی و سه بعدی و به روش تلفیقی از روش کاراکتراستیک و روش تفاضل محدود مدل‌سازی می‌کند) شبیه‌سازی کرده و هجوم آب‌های ژئوترمال به آبخوان و انتقال مواد محلول آن را بررسی کرده‌اند.

ملوپوس و همکاران^۶ (۲۰۰۷) حوضه آبیگیر مقدونیه متشکل از دو آبخوان کم عمق و عمیق که در شمال شرق کشور یونان واقع گردیده است را با استفاده از کد MODFLOW شبیه‌سازی کرد و ارتباط هدرولیکی بین این دو آبخوان و همچنین آبخوان و دریاچه کورونیا را که بر روی آن قرار گرفته، تعیین نمودند.

هرزاگ^۷ (۲۰۰۷) با استفاده از کد Modflow، منطقه کامپالا^۸ در اوگاندا را به دلیل بالا بودن تراز آب زیرزمینی و احتمال آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از فاضلاب در حالت غیرماندگار شبیه‌سازی نمود. نتایج آن نشان داده است که در ماه‌های تر که کانال‌های انتقال رواناب با ظرفیت کامل عمل

¹ Idrysy and Smedt

² Trifa aquifer

³ Processing Modflow for Windows

⁴ Maquez et al.

⁵ Puebla Valley

⁶ Mylopoulos et al

⁷ Herzog

⁸ Kampala

می‌کنند، این کانال‌ها به عنوان مانعی برای خروج آب زیرزمینی عمل کرده و باعث بالا آمدن تراز آب زیرزمینی می‌شود، همچنین احتمال آلودگی آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد.

ال- بیهری^۱ (۲۰۰۸)، و ییدانا^۲ (۲۰۱۰)، برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی و تخمین مقادیر

نفوذ موثر از کد MODFLOW گنجانیده شده در مدل (Groundwater Modeling System)GMS

استفاده نمودند که در نتیجه آن، مقدار هدایت هیدرولیکی آبخوان کواترنری Sudr Ras در مصر بین

۳/۰۵ تا ۳/۳۵ متر بر روز و نرخ تغذیه موثر آبخوان^۳ 3×10^6 متر مکعب بر سال برآورد گردیده است.

لوتز و همکاران^۴ (۲۰۰۸)، با اعمال سناریوهای خشکسالی و افزایش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری در

آبخوان میل^۴ غرب آفریقا، با استفاده از کد MODFLOW در نرم افزار GMS، تحمل پذیری آبخوان

را نسبت به افزایش این تنش‌ها بررسی نمودند.

جوسرت و همکاران^۵ (۲۰۰۸) با استفاده از کد MODFLOW، جریان آب زیرزمینی در زون

مرکزی شهر هانوی^۶ در کشور ویتنام را طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴ به صورت مدل سه بعدی در

شرایط پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که فرضیات مفهومی اتخاذ

شده در دوره مدل‌سازی قابل قبول بوده است. در تحقیق ایشان به کمک مدل‌سازی صورت پذیرفته

جهت جریان آب زیرزمینی و همچنین فعل و انفعالات بین آب‌های زیرزمینی و رودخانه سرخ در این

منطقه مشخص شده است.

ییدانا و همکاران^۷ (۲۰۰۸) با استفاده از کد MODFLOW و نرم افزار GMS اقدام به شبیه‌سازی

آبخوانی واقع در کشور غنا و در شرایط پایدار نمودند. هدف از این شبیه‌سازی، تخمین پارامترهای

هیدروژئولوژیکی و میزان تغذیه آبخوان بوده است.

¹ El-Bihery

² Yidana

³ Lutz et al

⁴ Mail

⁵ Jusseret et al

⁶ Hanoi

⁷ Yidana et al

کوش واهها و همکاران^۱ (۲۰۰۹)، وضعیت منابع آب زیرزمینی زیر حوضه منها^۲ در شمال شرق راجستان^۳ هند را با استفاده از کد MODFLOW بررسی نمودند. برای این منظور مدل در بازه زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۸ و اسنجی و برای بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۳ صحت سنجی شده و سپس برای پیش بینی تا سال ۲۰۲۰ از آن استفاده شده است. نتایج بیلان مدل نشان داد که ذخیره آبخوان حوضه از ۳۴۹/۵ به ۲۲۲/۹ میلیون متر مکعب کاهش خواهد یافت.

روبرت و همکاران^۴ (۲۰۰۹) با استفاده از کد MODFLOW به بررسی آسیب پذیری منابع آبی ایالت هاوایی آمریکا در مقابل خطرات ناشی از آلودگی پرداختند.

جاووسکا و زولک^۵ (۲۰۰۹) با استفاده از کد MODFLOW جریان آب زیرزمینی درون سیستم چند سفره‌ای را شبیه‌سازی نمودند. این شبیه‌سازی منجر به شناخت چهار سفره آزاد و چهار سفره نشتی در منطقه گدانسک^۶ در لهستان گردید. در این مطالعه برای توسعه مدل مفهومی از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای و برای مدل‌سازی سیستم چند سفره‌ای از مدل GMS استفاده شده است.

های و همکاران^۷ (۲۰۱۰) تاثیر تغییرات شرایط آب و هوایی بر وضعیت سطح آب زیرزمینی در آبخوان ویکتوریا^۸ را با استفاده از کد MODFLOW مورد بررسی قرار دادند.

۲-۳- مروری بر مطالعات گذشته در ایران

مطالعات مدل‌سازی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۸ توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) انجام شده است. در پی این مطالعات مدل ریاضی دشت ورامین تهیه شد و در ادامه تعدادی مدل با همکاری مشاورین فرانسوی تهیه شده است. از آن به بعد تعداد زیادی از آبخوان‌های کشور در

¹ Kushvaha et al

² Menha

³ Rajasthan

⁴ Robert et al

⁵ Jaworska and Szulk

⁶ Gdansk

⁷ Hi et al

⁸ Victoria

قالب طرح‌های مختلف پژوهشی و با اهداف متفاوتی مورد شبیه‌سازی واقع شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

ابریشمی و همکاران (۱۳۸۰) به مدل‌سازی کمی آب‌های زیرزمینی غرب طبس پرداختند. در این تحقیق مدل کمی آب‌های زیرزمینی منطقه به کمک سیستم شبیه‌سازی پیشرفته برای تخمین پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان و شبیه‌سازی جریان با برنامه تخمین اتوماتیک پارامتر MODFLOW کالیبره گردید و به وسیله آن تأثیرات فوق‌الذکر مورد بررسی قرار گرفت.

احمدی (۱۳۸۰) از برنامه MODFLOW به منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و شناسایی سیستم هیدرولوژیکی آبخوان، پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان بر اثر تنش‌های وارده و بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی از قبیل امکان اجرای تغذیه مصنوعی در دشت ایذه، استفاده نمود.

کاظمی (۱۳۸۱) با استفاده از کد MODFLOW در دشت شیروان - قوچان مدلی را براساس اطلاعات مربوطه در حالت ماندگار و غیر ماندگار واسنجی نمود و نتایج حاصل نشان داد که اثر تغذیه ناشی از ۵۰ درصد آب تبارک آباد به منظور تامین آب شرب شهر قوچان اثر تعدیل‌کننده‌ای بر سطح آب زیرزمینی منطقه قوچان خواهد داشت.

کتیبه و همکاران (۱۳۸۲) به بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان آزاد شهر اصفهان و تأثیر عملیات احداث تونل متروی این شهر بر رژیم آب زیرزمینی پرداختند. آن‌ها ابتدا آمار سطح آب پیژومترهای موجود طی یک دوره ۴/۵ ساله (۱۳۷۶-۱۳۸۰)، و نتایج تست پمپاژ، توپوگرافی سطح شهر و اطلاعات مربوط به ضخامت و جنس لایه‌ها تهیه کردند. سپس کلیه اطلاعات در سیستم‌های GIS، WINSURFER، AUTOCAD پردازش شده و آنگاه در مدل ریاضی سه بعدی با روش تفاضل محدود به کمک نرم افزار PMWIN5.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مدل در واسنجی از دقت مناسب برخوردار بود. سپس نوسان سطح ایستابی آب زیرزمینی در طی زمان تحت تأثیر عملیات احداث تونل و دیواره نفوذناپذیر دو سمت رودخانه زاینده‌رود پیش‌بینی گردید. نتایج نشان می‌دهند

که احداث دو تونل به قطر ۶ متر به موازات یکدیگر (گزینه اول) و یا احداث تنها یک تونل به قطر ۹ متر (گزینه دوم) تاثیر بسزایی بر نوسان سطح ایستابی آب زیرزمینی نخواهند داشت.

چیت سازان و ساعت ساز (۱۳۸۴) برای غلبه بر مشکلات بهره‌برداری، طرح استفاده توام منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت رامهرمز را مطرح کردند. لذا از کد MODFLOW به عنوان یک ابزار کارآمد و با صرفه جهت بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی مورد بررسی واقع شد. پس از تهیه مدل مفهومی، داده‌های لازم در بسته کد MODFLOW تعریف گردید. سپس واسنجی مدل توسط کد PEST صورت گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ادامه روند کنونی برداشت از نظر مدیریتی گزینه قابل قبولی نمی‌باشد و برعکس حفر چاه‌های بهره‌برداری در مناطق شرقی و مرکزی و اعمال زهکشی در شمال و جنوب دشت گزینه مناسبی برای استفاده توام منابع آب سطحی و زیرزمینی خواهد بود.

مظفری زاده و همکاران (۱۳۸۵) به تصحیح ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از مدل تفاضلات محدود MODFLOW و روش کریجینگ پرداختند. یکی از روش‌های موثر در مطالعه منابع آب زیرزمینی استفاده از مدل‌سازی عددی است. در این تحقیق آبخوان دشت گتوند در شهرستان شوشتر با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و نرم افزار PMWIN شبیه‌سازی گردید. یکی از مشکلات موجود در این دشت توزیع نامناسب هدایت هیدرولیکی (K) در محدوده دشت می‌باشد. بنابراین با استفاده از داده‌های آزمون‌های پمپاژ منطقه، هدایت هیدرولیکی با روش کریجینگ درونیابی گردیده و در ۷ زون با مقادیر اولیه وارد گردید. سپس با استفاده از مدل‌سازی معکوس و مقایسه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و سطح آب زیرزمینی محاسبه شده در مدل‌سازی با هدف کمینه کردن اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و پاسخ مدل (کالیبراسیون مدل)، داده ای اولیه K بهینه و تصحیح گردیدند.

رزاق منش و همکاران (۱۳۸۵) آبخوان تبریز را با اهدافی چون شناخت وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی و بررسی امکان برآورده نمودن نیازهای آینده و با توجه به احداث شبکه آبیاری وزهکشی، بررسی اثرات احداث این شبکه بر وضعیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از نرم افزار MODFLOW و MT3D شبیه‌سازی کردند. مدل مطالعاتی نشان داد که افزایش برداشت در طولانی مدت باعث افت سطح ایستابی تا حدود ۵ متر خواهد گردید و میزان شوری آب زیرزمینی در دراز مدت افزایش پیدا خواهد کرد.

فضلی اولی و همکاران (۱۳۸۵) به منظور ارزیابی تغذیه مصنوعی و طبیعی سفره‌های آب زیرزمینی دشت موسیان (واقع در استان ایلام) و نیز پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی طی سال‌های آتی، از مدل عددی سه بعدی آب زیرزمینی MODFLOW استفاده کردند. با استفاده از قدیمی‌ترین اطلاعات ثبت شده (آبان ۱۳۸۶)، سطح ایستابی در ۸ حلقه چاه مشاهده ای به عنوان حالت پایدار منظور و مدل برمبنای آن در حالت ماندگار واسنجی شد. سپس مدل برای حالت غیر ماندگار در دوره زمانی ۷ ساله (سال‌های آبی ۶۹-۱۳۶۸ الی ۷۶-۱۳۷۵) اجرا گردید. سپس برای ۲۴ سال آینده از اردیبهشت ۱۳۷۶ لغایت اردیبهشت ۱۴۰۰، با استفاده از مقادیر بارش و سیلاب برآورده شده و با فرض اینکه میزان برداشت طی سال‌های آینده مطابق با آخرین سال واسنجی (سال آبی ۷۶-۱۳۷۵) باشد، مدل اجرا شد. شبیه‌سازی آبخوان تا سال ۱۴۰۰ نشان داد که آبخوان مذکور با وجود انجام عملیات پخش سیلاب طی سال‌های آتی، همچنان با افت سطح ایستابی مواجه خواهد بود.

نجف آبادی و رهنما (۱۳۸۶) با استفاده از کد MODFLOW تغییرات سطح ایستابی دشت سیرجان را شبیه‌سازی کردند. واسنجی مدل در یک دوره ۹ ساله (۱۳۷۴-۸۴) صورت گرفت. صحت سنجی مدل در یک دوره یک ساله (۱۳۸۴) نشان داد که مقادیر سطح آب پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر مشاهداتی ازدقت خوبی برخوردارند و جذر خطای میانگین $0/۸۹۲۳$ متر به دست آمد.

تأثیرات احداث سد تنگ‌ئوئیه توسط مدل بررسی گردید و مشخص شد که احداث این سد موجب کاهش تغذیه و افت سطح ایستابی دشت سیرجان شده است.

اعتباری و یعقوب زاده (۱۳۸۸) مدل مفهومی دشت تبریز را با استفاده از داده‌هایی همچون حفاری چاه‌های اکتشافی و نتایج ژئوفیزیکی، به کمک مدل GMS و کد MODFLOW تهیه و برای مدل ریاضی بکار بردند. پس از آن نتایج حاصل از مدل به دو روش مستقیم و معکوس کالیبره شده است و توزیع خطا و منحنی پراکنش در منطقه مورد مطالعه تعیین گردیده است. نتایج مشخص نمود که تفاوت اندکی ما بین مقادیر مشاهده شده تراز سطح آب زیرزمینی و محاسبه شده توسط مدل وجود دارد و اختلاف بین مقادیر ورودی و خروجی حداقل و قابل قبول می‌باشد.

نخعی و صابری نصر (۱۳۸۹) در ابتدا با استفاده از شبکه عصبی - موجکی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت قره را پیش بینی کردند. سپس نتایج را با کد MODFLOW مقایسه کردند. سپس به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی - موجکی از کارایی بالایی برخوردار می‌باشد.

طایی سمیرمی و همکاران (۱۳۸۹) آبخوان دشت گربایگان فسا را با استفاده از کد MODFLOW شبیه‌سازی کردند. سپس از مدل شبیه‌سازی شده برای پیش بینی سطح ایستابی و مدیریت آبخوان استفاده نمودند.

رضایی و سرگزی (۱۳۸۹) برای تهیه مدل عددی دشت گوهرکوه با استفاده از لاگ‌های حفاری، آماربرداری از منابع آبی، داده‌های پیزومتری و آزمایش‌های پمپاژ با کد MODFLOW و تغییرات سطح آب را پیش بینی نمودند. بهمن ماه سال ۱۳۸۱ را به دلیل نوسانات کمتر در تراز آب زیرزمینی به عنوان حالت پایدار انتخاب و مورد واسنجی قرار دادند و سپس از اسفند ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۲ را برای حالت ناپایدار انتخاب و در انتها نیز برای تحلیل حساسیت و صحت سنجی مدل از اسفند ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۳ بر روی مدل اعمال نمودند. پس از اتمام ساخت مدل، به بررسی اثرات اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر

روی آبخوان دشت گوهرکوه پرداختند، که بر اساس شرایط موجود، بهترین محل برای اعمال تغذیه مصنوعی بخش‌های شمالی آبخوان است. واکنش آبخوان در برابر اعمال تغذیه مصنوعی مثبت است.

بانژاد و همکاران (۱۳۹۱) پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از قبیل اطلاعات زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی برای دشت نهاوند در جنوب استان همدان ابتدا مدل سه بعدی هیدرولوژیکی دشت با استفاده از لاگ چاه‌های منطقه و اطلاعات ارتفاعی لایه سطحی دشت تهیه شد و سپس کد عددی MODFLOW در قالب مدل GMS برای شبیه‌سازی جریان مورد استفاده قرار گرفت. پس از شبیه‌سازی اولیه مدل برای سال ۱۳۷۶ برای حالت ناپایدار کالیبره گردید. نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل نتایج معقولی بین تراز مشاهده شده و محاسبه شده در سال ۱۳۷۶ را نشان داد.

تندیسه و همکاران (۱۳۹۲) آبخوان مشهد را با استفاده از روش تفاضلات محدود و مدل GMS، برای بررسی اثر اجرای طرح فاضلاب بر نوسانات سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی کردند. مدل برای یک دوره یک ساله (۱۳۸۷-۱۳۸۸) با استفاده از روش سعی و خطا کالیبره گردید و مدل در صحت‌سنجی (سال ۱۳۸۸-۱۳۸۹) از دقت خوبی برخوردار بود. نتایج نشان داد که طرح فاضلات تأثیر مستقیم بر سطح آب زیرزمینی دارد و باعث افت سطح ایستابی از ۱ متر در جنوب شرق شهر مشهد تا ۱۶ متر در شمال و شمال غرب شهر مشهد می‌شود.

جنوبی و همکاران (۱۳۹۲) برای سامان‌دهی و سنجش واکنش منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در مقابل اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی و اجرایی از مدلسازی با نرم افزار MODFLOW استفاده کردند. مدل برای سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ با ۲۸ حلقه چاه مشاهداتی مورد سنجش و اعتبارسنجی قرار گرفت. مقایسه خطوط تراز بارهای هیدرولیکی محاسباتی حاصل از مدل با خطوط تراز بارهای-مشاهداتی، بیانگر عملکرد خوب مدل با آبخوان طبیعی است. این موضوع موجب شد اعمال سناریوهای مختلف روی مدل مورد سنجش قرار گیرد. در این راستا، سناریوی کاهش ۲۵ درصدی

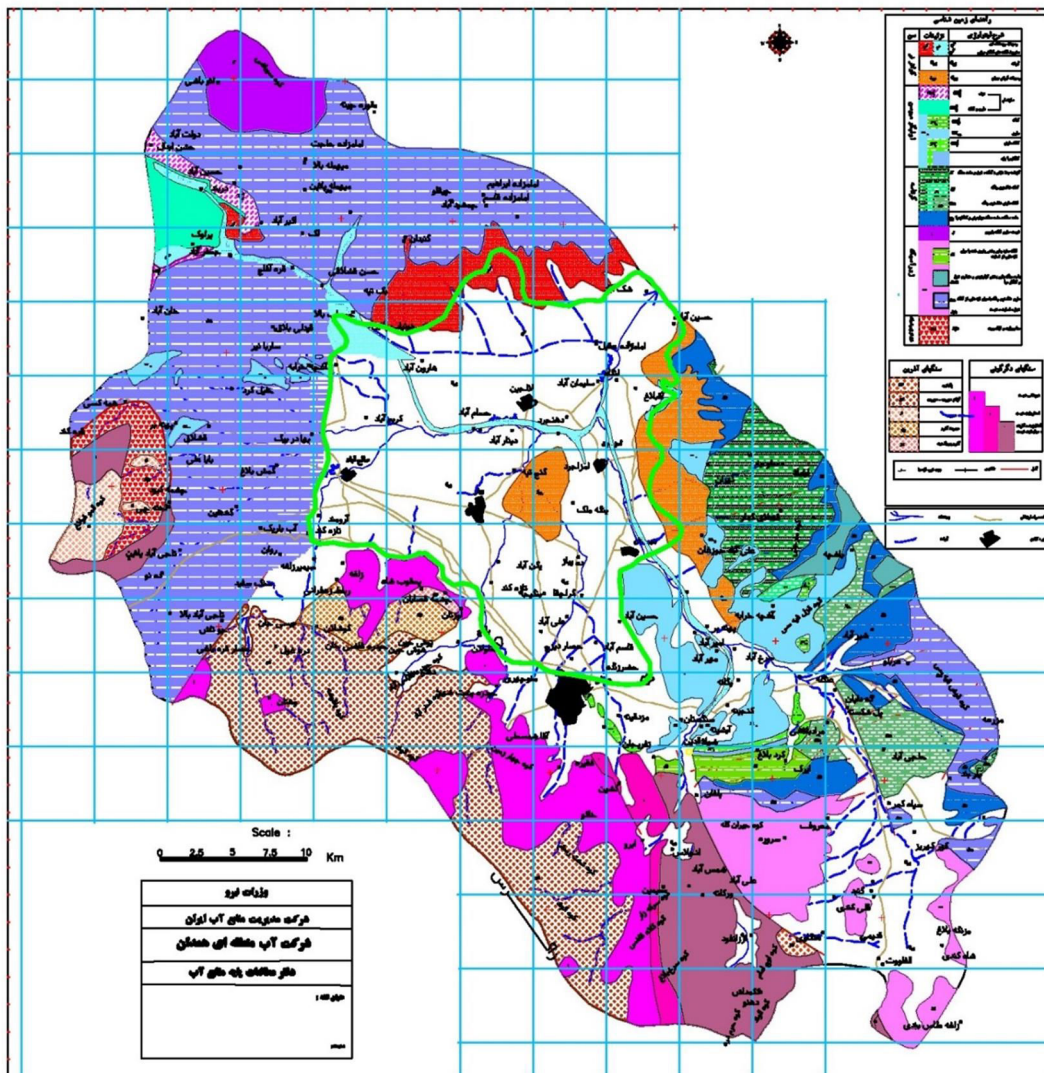
پمپاژ و قطع پمپاژ در مناطق غربی دشت، به ترتیب موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به طور متوسط به اندازه ۰/۵ و ۴ متر، و افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی پمپاژ در مناطق شرقی دشت، به ترتیب موجب افت سطح آب زیرزمینی به طور متوسط به مقدار ۱ و ۳/۵ متر شد.

فصل ۳: مواد و روش ها

در این فصل ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه و توضیح مختصری در رابطه با ویژگی‌های دشت همدان - بهار می‌پردازیم و پس از بیان انواع مدل آب زیرزمینی، به ارائه توضیحاتی در رابطه با مدل‌های عددی و روش حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی با استفاده از روش تفاضل محدود خواهیم پرداخت. در ادامه نیز به بیان مراحل کلی مدل‌سازی آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در شرایط پایدار و ناپایدار پرداخته می‌شود.

۳-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت همدان - بهار که به سیمینه رود نیز موسوم است با وسعت ۲۴۶۳ کیلومترمربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع شده است. وسعت دشت ۸۵۹/۱۳ کیلومترمربع، گسترش سطحی آبخوان اصلی دشت ۴۸۳ کیلومترمربع و وسعت ارتفاعات ۱۶۰۳/۹۸ کیلومتر مربع می‌باشد. خروجی حوضه در ناحیه شمالی آن (اراضی کوشک آباد) واقع و سفره آب زیرزمینی آن با دشت‌های کبودرآهنگ و قهاوند ارتباط هیدروژئولوژیکی دارد. محدوده آبخوان (۴۸۳ کیلومترمربع) بین طول شرقی ۱۷'، ۴۸° تا ۳۳'، ۴۸° و عرض شمالی ۴۹'، ۳۴° تا ۲'، ۳۵° قرار گرفته است. دشت فوق را از سمت جنوب ارتفاعات الوند، از سمت غرب ارتفاعات الموبلاغ، شیخی جان و کمرزرد، از سمت شرق ارتفاعات ارجنی و قافلانتی اراضی احاطه نموده اند. شکل (۳-۱) محدوده منطقه مطالعاتی دشت همدان - بهار و اطلاعات کلی زمین شناسی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- نقشه محدوده مطالعاتی دشت همدان - بهار

۳-۳- ژئومورفولوژی منطقه

همدان یکی از استان‌های باختر ایران است که اشکال مورفولوژیک و جایگاه زمین‌شناسی ویژه دارد. از نگاه ژئومورفولوژی تغییرات اشکال فیزیوگرافیک استان از قله بلند الوند (۳۵۸۰ متر) تا نواحی دشت گونه و کم ارتفاع دشت رزن متغیر است به همین دلیل شبکه آب‌های سطحی استان به سه حوضه دریاچه قم، خلیج فارس و دریای خزر تخلیه می‌شوند از نظر ساختاری، استان همدان در فصل مشترک چند قلمروی متفاوت قرار گرفته به طوری که در یک روند جنوب غرب به شمال شرق

می‌توان پهنه‌های مختلفی را در استان همدان معرفی کرد. در استان همدان با وجود میانگین ۳۴۳ میلی‌متر بارندگی سالانه اگر چه بیابان وجود ندارد ولی در برخی مناطق آن پدیده کویری شدن خاک‌ها اتفاق افتاده است. به نحوی که قسمتی از زمین‌های استان همدان را در بخش قه‌اوند و اسد آباد زمین‌های کویری و شوره زار تشکیل می‌دهد. به علت تنوع اقلیمی استان و جنس خاک با توجه به عامل ارتفاع، انواع پوشش گیاهی در نقاط مختلف استان مشاهده می‌شود. در استان پوشش گیاهی به صورت جنگل متراکم وجود ندارد. ولی جنگل در سطوح محدود و پراکنده مشاهده می‌شود. این پوشش گیاهی جنگلی از نظر وضعیت به دو دسته جنگل‌های تنک که در گیان و زرین باغ نهاوند (کوه‌های زاگرس) و جنگل‌های مخروطی در ارتفاعات گرو، توپسرکان، ملایر و همدان مشاهده می‌شود. حدود ۴۵ درصد مساحت استان را مراتع تشکیل می‌دهد که حدود ۵ درصد آن مراتع خوب ۳۳ درصد مراتع متوسط و ۶۲ درصد مراتع فقیر می‌باشد (گزارش تفصیلی سازمان آب منطقه ای شهرستان همدان).

۳-۴- وضعیت آب و هوای منطقه مورد مطالعه

۳-۴-۱- بارندگی

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۴ ایستگاه باران سنجی به نام‌های همدان، سد اکباتان، بهادر بیگ و کوشک آباد وجود دارد. مقادیر ثبت شده بارندگی در ایستگاه‌های مذکور در یک بازه زمانی ۲۰ ساله موجود است که متوسط مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های مذکور و طی همین بازه زمانی ۲۰ ساله به ترتیب در حدود ۳۱۹/۷۶۵، ۳۵۹/۵۰۵، ۳۲۸/۸۳۵ و ۳۶۱/۵۰۵ اندازه‌گیری شده است. مقادیر بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های باران سنجی محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی سال‌های ۹۳-۱۳۷۳ در جدول ۱-۳ فهرست شده اند. با توجه به قدمت و کیفیت آمار ثبت شده، متوسط آمار بارندگی سالانه ایستگاه‌های باران سنجی همدان، سد اکباتان و بهادر بیگ (آق کهریز) و کوشک آباد معادل ۳۴۲/۴ میلی‌متر در طول دوره آماری ایستگاه‌های فوق الذکر می‌باشد. میزان بارندگی در سال آبی ۹۳-۹۲

(آخرین سال آبی ثبت شده) در ایستگاه‌های سد اکباتان، بهادریگ، کوشک آباد و همدان به ترتیب

معادل ۴۰۷/۵، ۳۷۰/۵، ۳۲۶/۲ و ۳۲۸/۹ میلی‌متر اندازه‌گیری شده‌اند.

جدول ۱-۳- میزان بارندگی سالانه در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی همدان- بهار در دوره آماری (میلیمتر)

نام ایستگاه				سال آبی	ردیف
کوشک آباد	بهادریگ	سد اکباتان	همدان فرودگاه		
۷۶۱/۵	۵۷۶/۵	۴۷۷/۵	۴۸۸	۷۴-۷۳	۱
۴۲۷/۵	۳۴۱/۵	۲۸۳	۳۰۲/۶	۷۵-۷۴	۲
۲۳۸/۵	۲۲۵/۲	۲۰۱/۵	۲۳۱/۷	۷۶-۷۵	۳
۴۶۸/۷	۳۲۹	۴۱۸	۳۳۸	۷۷-۷۶	۴
۲۲۵	۱۹۵/۵	۲۱۳/۴	۱۷۱/۱	۷۸-۷۷	۵
۳۰۰/۵	۲۳۷/۵	۲۷۰	۲۱۴/۴	۷۹-۷۸	۶
۳۹۹/۷	۳۸۹/۵	۳۸۶/۲	۳۶۹/۲	۸۰-۷۹	۷
۳۰۷/۷	۳۰۲	۳۶۲	۲۵۴/۱	۸۱-۸۰	۸
۴۴۹/۸	۳۶۵/۵	۴۳۱	۳۹۲/۱	۸۲-۸۱	۹
۳۵۹/۷	۴۲۸	۴۸۷	۴۴۴/۹	۸۳-۸۲	۱۰
۳۴۱/۵	۲۸۶	۲۹۵/۵	۲۹۳/۵	۸۴-۸۳	۱۱
۲۳۷/۵	۲۹۰	۲۷۳/۵	۲۶۴/۳	۸۵-۸۴	۱۲
۵۱۵	۴۶۰	۴۸۲	۴۱۶/۳	۸۶-۸۵	۱۳
۱۹۵	۱۷۱/۵	۲۰۸/۵	۱۸۰/۴	۸۷-۸۶	۱۴
۳۶۵/۵	۲۹۷	۳۹۵/۵	۳۳۱	۸۸-۸۷	۱۵

۴۷۳/۵	۴۶۲/۵	۴۸۹	۴۲۸/۱	۸۹-۸۸	۱۶
۲۸۷/۳	۲۸۶	۴۱۵	۳۷۲/۲	۹۰-۸۹	۱۷
۲۹۵	۳۰۳	۳۹۸/۵	۳۲۸/۵	۹۱-۹۰	۱۸
۲۵۵	۲۶۰	۲۹۵/۵	۲۴۶	۹۲-۹۱	۱۹
۳۲۶/۲	۳۷۰/۵	۴۰۷/۵	۳۲۸/۹	۹۳-۹۲	۲۰
۳۶۱/۵۰۵	۳۲۸/۸۳۵	۳۵۹/۵۰۵	۳۱۹/۷۶۵	متوسط	

۳-۴-۲- درجه حرارت

در محدوده همدان - بهار تعداد ۳ ایستگاه دماسنجی سد اکباتان، بهادریگ و کوشک آباد وجود دارد که متوسط درجه حرارت اندازه‌گیری شده در این ایستگاه‌ها و طی بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ به ترتیب حدود ۱۰/۹، ۱۰/۶ و ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. براین اساس مرداد و تیر ماه به ترتیب با اختصاص میانگین مقادیر ۲۶/۵ و ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و دی و بهمن ماه نیز به ترتیب با اختصاص میانگین مقادیر ۰/۸- و ۰/۵- درجه سانتی‌گراد سردترین ماه‌های سال می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه حداکثر مطلق درجه حرارت برابر ۳۸/۵ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه و حداقل مطلق برابر ۲۷- درجه سانتی‌گراد در آذر ماه به ثبت رسیده است.

۳-۴-۳- تبخیر

در محدوده مطالعاتی دشت - همدان بهار تعداد ۴ ایستگاه تبخیر سنجی همدان، بهادریگ، سداکباتان و کوشک آباد وجود دارد. مجموع متوسط تبخیر سالانه (دوره آماری ۳۰ ساله) در ایستگاه سد اکباتان ۱۸۰۲/۳ میلی‌متر و حداکثر سالانه دوره آماری ۲۲۷۶ و حداقل سالانه دوره آماری ۱۵۳۸/۵ میلی‌متر ثبت گردیده است. در ایستگاه بهادریگ (آق کهریز) مجموع متوسط سالانه معادل ۱۸۵۰/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. مجموع متوسط تبخیر سالانه (دوره آماری ۲۰ ساله) در ایستگاه

هواشناسی همدان حدود ۱۵۵۶/۳ میلی‌متر و حداکثر سالانه دوره آماری ۲۰۱۲ و حداقل سالانه دوره آماری ۱۲۲۱ میلی‌متر گزارش شده است. میزان تبخیر در تشتک تبخیر در سال آبی ۹۳-۹۲ در ایستگاه‌های سد اکباتان، بهادریگ و کوشک آباد به ترتیب معادل ۱۶۳۶/۸ و ۲۵۷۴/۳ و ۱۷۴۶/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد.

۳-۵- زمین شناسی عمومی

از نظر زمین شناسی محدوده مورد مطالعه جزء ناحیه سنندج - سیرجان محسوب می‌گردد و علامت مشخصه آن باتولیت گرانیتی الوند می‌باشد که هسته ارتفاعات جنوبی حوضه را تشکیل داده و در دامنه این ارتفاعات سنگ‌های دگرگونی در مقیاس وسیعی وجود دارند. امتداد ارتفاعات محاط کننده حوضه، شمال غربی - جنوب شرقی بوده و گسل‌های کوچکی با راستاهای متفاوت و بیشتر شمالی - جنوبی در منطقه اتفاق افتاده است. ارتفاعات شمال غرب و غرب حوضه عمدتاً از سنگ‌های دگرگون یافته تشکیل گردیده و به صورت گسترده‌ای شامل رخساره آمفیبولیت مانند کیانیت، شیست و مرمر می‌شوند و از نظر سنی مربوط به دوره قبل از ژوراسیک می‌باشند. شیست‌های همدان که با سطح گسترش زیاد در جنوب محدوده قرار دارند شامل فیلیت و اسلیت و متعلق به دوران دوم (ژوراسیک) زمین شناسی می‌باشند. در نواحی شرقی دشت آهک‌های اوریتولین دار کرتاسه و تشکیلات اولیگومیوسن با جنس آهک و مارن وجود دارند (گزارش تفصیلی سازمان آب منطقه ای شهرستان همدان).

۳-۶- منابع آب سطحی شهرستان همدان

۳-۶-۱- رودخانه قره چای

رودخانه قره چای با طولی حدود ۴۹۵ کیلومتر، یکی از رودخانه‌های مهم استان همدان است. این رودخانه از بهم پیوستن دو رودخانه شِراء و سیمینه رود تشکیل می‌شود. رودخانه شِراء از واحد هیدرولوژیک شِراء در استان مرکزی جریان یافته است و پس از ورود به واحد کمیجان به نام قره چای شناخته می‌شود. پس از عبور این رودخانه از واحد کمیجان و در محدوده واحد هیدرولوژیک قهاوند - قروه، رودخانه سیمینه رود از واحد هیدرولوژیک همدان - بهار به آن می‌پیوندد و بعد از ایستگاه هیدرومتری عمرآباد از استان همدان خارج می‌شود. حجم کل آورد این رودخانه در سال ۱۳۴۶ معادل ۲۳۷ میلیون مترمکعب و میانگین آبدهی سالانه رودخانه قره چای که در ایستگاه عمرآباد طی سال‌های ۷۷-۱۳۴۸ اندازه‌گیری شده است، معادل $7/53$ مترمکعب در ثانیه بوده است. کمترین میانگین آبدهی سالانه این رودخانه $0/04$ مترمکعب در ثانیه در ماه شهریور و بیشترین میانگین آبدهی سالانه آن $26/3$ مترمکعب در ثانیه در فروردین ماه گزارش شده است. لازم به توضیح است که در سال‌های اخیر آبدهی این رودخانه حدود ۹۰ درصد کاهش یافته که دلایل اصلی آن خشکسالی‌های اخیر، افزایش تعداد و تخلیه چاه‌ها و برداشت بیش از حد مجاز از سفره‌های آب زیر زمینی است که منجر به از بین رفتن دبی (آبدهی) پایه رودخانه خصوصاً در بالادست حوزه (واحد کمیجان) در محدوده استان مرکزی بوده است. میزان حجم ورودی آب سطحی از رودخانه شِراء به استان همدان به طور متوسط $152/3$ میلیون مترمکعب در سال در طول دوره آماری (تا سال ۱۳۷۷) بوده است که این میزان آب هم در پنج ساله اخیر (۸۱-۱۳۷۶) به شدت کاهش یافته است.

۳-۶-۲- رودخانه آبشینه

یکی از مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه دائمی قره‌چای، رودخانه آبشینه است که به نام‌های رودخانه همدان و سیمینه‌رود نیز معروف است. سرشاخه‌های این رودخانه از دامنه‌های شمالی پربرف کوه الوند سرچشمه می‌گیرند و در پایان وارد سد اکباتان (آبشینه) می‌شوند. این رودخانه پس از عبور از سد اکباتان و روستاهای آبشینه، یگانه و سرخ‌آباد، جریان قوری‌چای را دریافت می‌کند و در ادامه وارد اراضی امزاجرد می‌شود. در ادامه جریان رودخانه‌های دره مراد بیگ، عباس آباد و مریانج وارد آن می‌شود و از آن پس به نام سیمینه‌رود نامیده می‌شود. حجم کل آورد این رودخانه در سال ۴۶/۰۴ میلیون مترمکعب و میانگین آبدهی سالانه رودخانه آبشینه ۱/۴۶ متر مکعب در ثانیه است. کمترین میانگین آبدهی ماهانه ۰/۰۱ مترمکعب در ثانیه در شهریور ماه و بیشترین میانگین آبدهی ماهانه آن ۵/۹۲ مترمکعب در ثانیه در اردیبهشت ماه است. آمار برداری از جریان این رودخانه از سال ۱۳۴۸ آغاز شده است و تاکنون ادامه داشته است. ایستگاه هیدرومتری این رودخانه در یالفان و ابرو پیش از ورود به سد اکباتان قرار دارد. حجم جریان خروجی این رودخانه از واحد هیدرولوژیک بهار - همدان ۹۹/۴ میلیون متر مکعب در سال است.

۳-۶-۳- رودخانه مریانج

این رودخانه به طول ۲۴ کیلومتر است و مساحت حوزه آبریز آن دارای وسعت ۱۲۰ کیلومتر مربع است و از کوه کلاخلان در ۱۲ کیلومتری جنوب غربی همدان سرچشمه می‌گیرد. این جریان در مسیر جنوب به شمال ضمن عبور از روستاهای فرجین و موئیچین و بخش مریانج و مشروب ساختن آن در جنوب لالجین به قوری‌چای می‌ریزد. بستر این رودخانه در تابستان به علت مصرف آب در بالادست خشک می‌شود. حجم کل آورد این رودخانه در سال معادل ۱۲/۰۷۸ میلیون متر مکعب است. میانگین آبدهی سالانه آن ۰/۳۸۳ متر مکعب در ثانیه است. کمترین میانگین آبدهی ماهانه ۰/۰۴ مترمکعب در

ثانیه در شهریور ماه و بیشترین میانگین آبدهی ماهانه آن، $1/45$ مترمکعب در ثانیه در اردیبهشت ماه است.

۳-۶-۴- رودخانه عباس آباد

رودخانه عباس آباد به طول ۱۸ کیلومتر از دامنه‌های کوه فخرآباد در ۱۲ کیلومتری جنوب غربی همدان سرچشمه می‌گیرد و در جهت جنوبی شمالی ادامه مسیر می‌دهد و پس از آبیاری باغ‌های روستای عباس آباد همدان در اراضی گراچقا به رودخانه خاکو یاگیشین می‌ریزد. حجم کل آب این رودخانه در سال برابر $19/552$ میلیون مترمکعب است. میانگین آبدهی متوسط سالانه آن $0/62$ متر مکعب در ثانیه است. کمترین میانگین آبدهی ماهانه $0/2$ و بیشترین میانگین آبدهی ماهانه $2/16$ مترمکعب در ثانیه محاسبه شده است.

۳-۶-۵- رودخانه کانال خروجی سد اکباتان

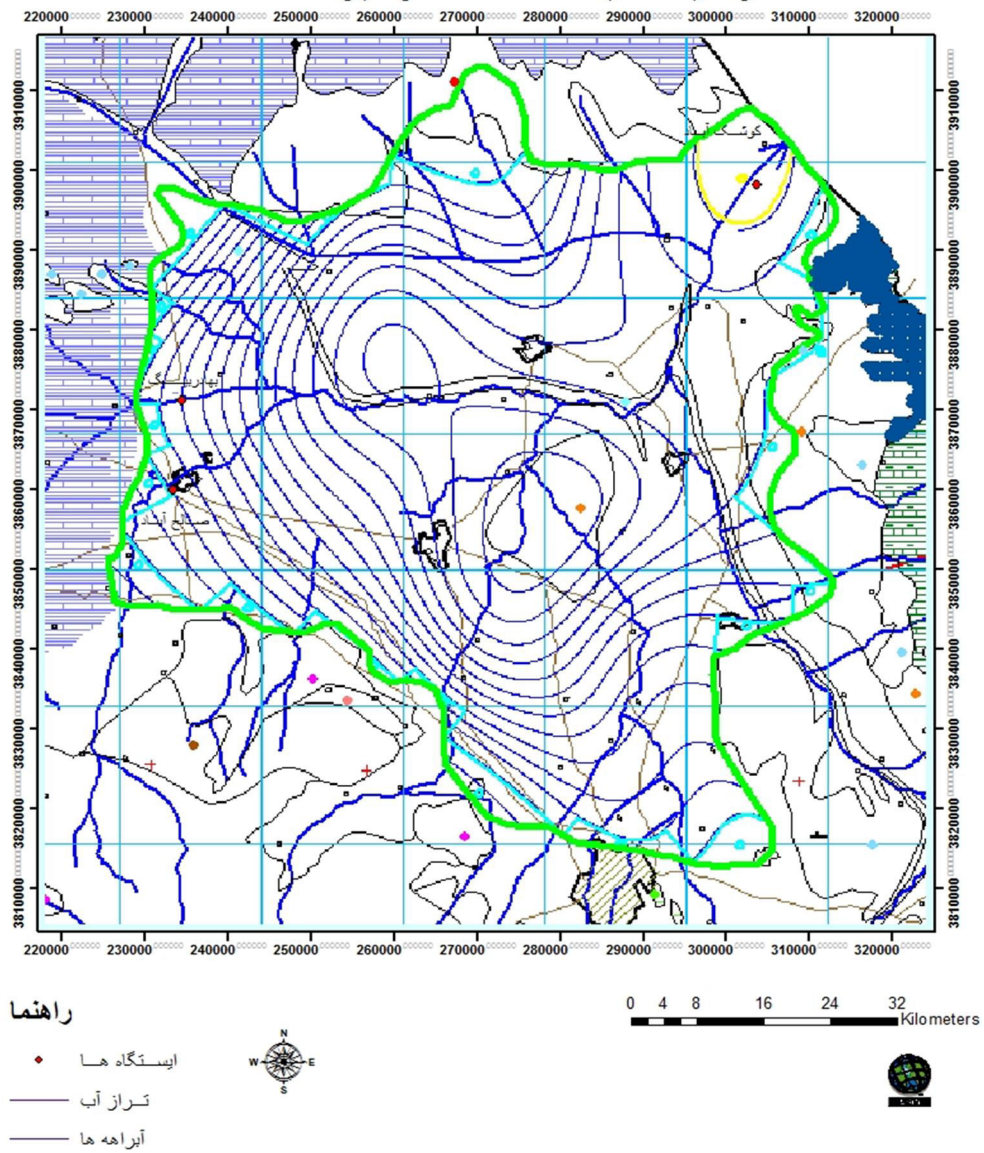
همانطور که پیش از این اشاره شد، بر روی رودخانه آبشینه که از چند سرشاخه از جمله رودخانه ابرو تشکیل شده است، سد اکباتان احداث شده است. در ایستگاه هیدرومتری مستقر در کانال خروجی سد اکباتان، حجم جریان رودخانه از سال ۱۳۶۱ به بعد به صورتی نامنظم اندازه‌گیری شده است. براساس این اندازه‌گیری‌ها میانگین حجم کل جریان رودخانه پس از احداث سد، معادل $31/536$ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شده است. میانگین آبدهی سالانه این کانال یک مترمکعب در ثانیه است. کمترین میانگین آبدهی ماهانه این رودخانه در ماه‌های مرداد و شهریور در حدود صفر و بیشترین میانگین جریان ماهانه، در اردیبهشت ماه معادل $5/28$ مترمکعب در ثانیه بوده است.

۶-۶-۳- رودخانه سیمینه رود

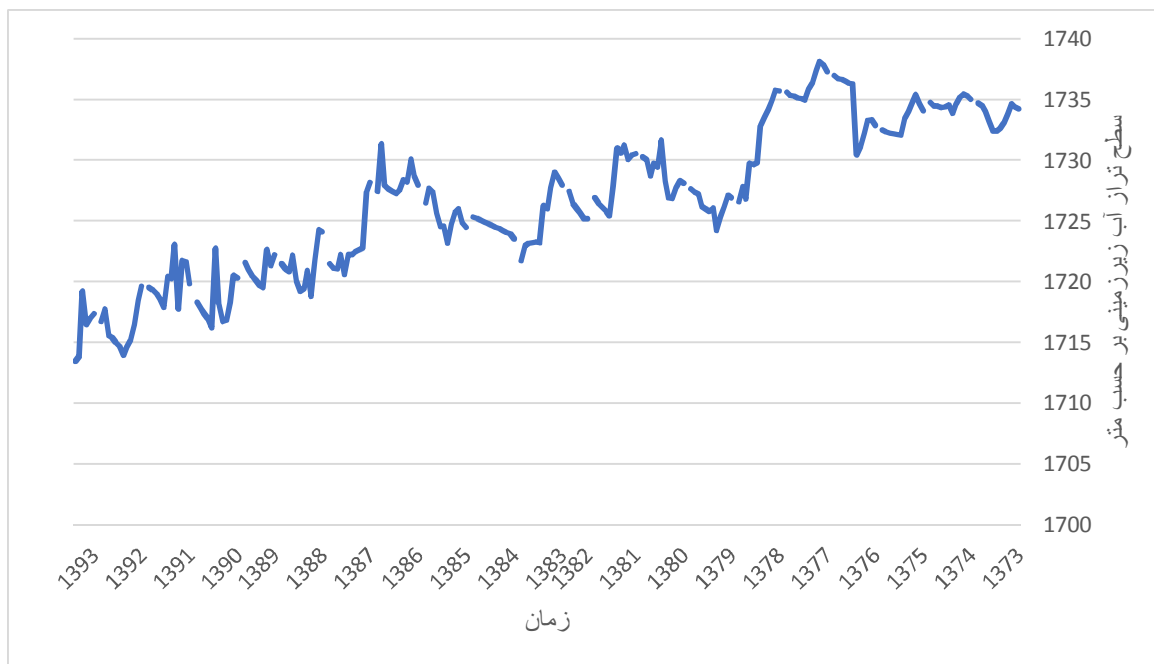
مجموعه رودخانه‌هایی که در واحد هیدرولوژیک همدان - بهار جریان دارند و به مهمترین آنها اشاره شد، سرانجام به هم می‌پیوندند و در مرز ورودی شهرستان بهار سیمینه رود را تشکیل می‌دهند که در جهت شمال شرق جریان می‌یابند. این جریان پس از عبور از کوشک‌آباد وارد واحد هیدرولوژیک کبودرآهنگ می‌شود و پس از ادامه مسیر به سمت شرق و عبور از مرز شهرستان و واحد هیدرولوژیک کبودرآهنگ وارد واحد هیدرولوژیک قهاوند - قروه می‌شود و با پیوستن به رودخانه شرا، در نهایت رودخانه قره‌چای را تشکیل می‌دهند. متوسط حجم جریان رودخانه سیمینه رود، که در ایستگاه هیدرومتری کوشک‌آباد از سال ۱۳۴۸ اندازه‌گیری شده است. سالانه معادل $۸۷/۶۷$ میلیون مترمکعب بوده است. میانگین آبدهی سالانه این رودخانه $۲/۷۸$ متر مکعب در ثانیه است که کمترین میانگین آبدهی ماهانه آن در حدود $۰/۰۶$ در شهریور ماه و بیشترین میانگین ماهانه آن در حدود $۱۱/۹۶$ مترمکعب در ثانیه در فروردین ماه محاسبه شده است.

برای بررسی سطح آب سفره در آبخوان دشت همدان - بهار ۲۷ حلقه چاه مشاهده ای وجود دارد، که حدوداً با توزیع مناسبی در سراسر دشت پراکنده شده‌اند. با استفاده از آمار و اطلاعات امور منابع آب شهرستان همدان در مورد این چاه‌های مشاهده‌ای، هیدروگراف دراز مدت آبخوان همدان - بهار ترسیم گردید (شکل ۳-۳) و با توجه به گراف رسم شده سطح آب زیرزمینی روند نزولی داشته است. با استفاده از آمار و اطلاعات امور منابع آب شهرستان همدان در مورد این چاه‌های مشاهده‌ای، هیدروگراف دراز مدت آبخوان همدان - بهار ترسیم گردید (شکل ۳-۳) و با توجه به گراف رسم شده سطح آب زیرزمینی روند نزولی داشته است.

موقعیت ایستگاه ها و آبراهه ها



شکل ۳-۲- موقعیت ایستگاه ها و آبراهه‌های دشت همدان - بهار



شکل ۳-۳- هیدروگراف دراز مدت دشت همدان - بهار

۷-۳- مدل های آب زیرزمینی و معادلات اساسی حاکم بر جریان آب

۱-۷-۳- تعریف مدل سازی

مدل توسط محققین به صورت‌های مختلف بیان شده است که تمام تعاریف در مفهوم مشابه می‌باشند. مدل، از ریشه لاتینی Modus به معنای اندازه گرفته شده است. مدل همچنین به ما کمک می‌کند که به متن و درون پدیده‌هایی که نمی‌توانیم مستقیماً آن‌ها را ببینیم هدایت شویم. مدل جزئی کوچک یا بازسازی کوچکی از یک شیء بزرگ است که از لحاظ کارکرد با شیء واقعی یکسان است (گرچی، ۱۳۸۸). مدل رابطه بین طرح نظری (تئوری) و کار جمع آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات می‌باشد. در علوم اجتماعی مدل‌ها شامل نشانه‌ها و علائم هستند یعنی خصوصیات بعضی از پدیده‌های تجربی (شامل اجزا و ارتباط آن‌ها) به طور منطقی از طریق مفاهیم مرتبط با یکدیگر بیان می‌شود. بنابراین مدل منعکس کننده واقعیت است و جنبه‌های معینی از دنیای واقعی را که با مساله تحت بررسی ارتباط دارند مجسم می‌سازد و روابط عمده را در میان جنبه‌های مزبور روشن می‌کند و

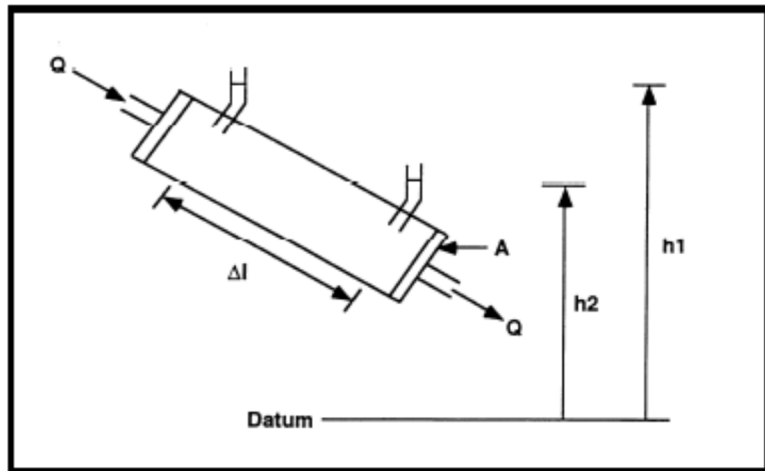
سرانجام امکان آزمایش تجربی تئوری را با توجه به ماهیت این روابط فراهم می‌کند. بعد از آزمایش مدل درک بهتری از بعضی از قسمت‌های دنیای واقعی حاصل می‌شود. در شاخه آب‌های زیرزمینی هر مدلی که بتواند عکس العمل ذخیره آب را در مقابل تنش‌ها نشان دهد، در واقع دیدی کلی از وضعیت و شرایط آبخوان را ارائه می‌دهد که به متخصصین آب‌های زیرزمینی این تنش‌های گوناگون که امکان رخ دادن آنها ممکن است را پیش بینی کرده و با در نظر گرفتن این واکنش بتواند تصمیم‌گیری مناسبی را نسبت به شرایط موجود انجام دهد (مظفری و همکاران ۱۳۸۵). مدل‌های آب زیرزمینی را می‌توان به دو گروه مدل‌های جریان آب زیرزمینی و مدل‌های انتقال آب زیرزمینی تقسیم بندی نمود. مدل‌های جریان آب زیرزمینی، توزیع بارهیدرولیکی در سیستم را مشخص می‌نمایند در حالیکه مدل‌های انتقال، غلظت ماده محلول را که تحت تاثیر همرفتی، پخشیدگی و واکنش شیمیایی است، تعیین می‌نمایند. مدل‌هایی که می‌توان از آنها در حل معادلات جریان آب‌های زیرزمینی استفاده کرد متعدد می‌باشند. معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب زیرزمینی در یک محیط متخلخل که بر مبنای معادله داری و معادله پیوستگی حاصل می‌شوند، معادلات اساسی برای مدل‌های عددی بوده که با اعمال فرضیات حاکم و با توجه به هندسه آبخوان، خصوصیات هیدرولیکی، شرایط آبخوان، شرایط اولیه و شرایط مرزی قابل حل می‌باشند.

۳-۷-۲- معادلات اساسی حاکم بر جریان آب زیرزمینی

۳-۷-۲-۱- قانون داری

هنری داری دانشمند فرانسوی در سال ۱۸۵۶ معادلات خود را در مورد حرکت سیالات به نتیجه رساند. او در این مطالعات از استوانه‌ای شنی استفاده کرد و با عبور دادن آب با دبی مشخص از آن مقدار آب خروجی از استوانه (محیط متخلخل) را اندازه‌گیری کرد. داری به این نتیجه رسید که دبی عبوری (Q) از محیط متخلخل با افت بار (Δh) رابطه مستقیم و با طول مسیر جریان (Δl) نسبت

عکس داشته و به جنس مواد درون استوانه نیز وابسته می‌باشد. با اثبات این مطالعه توسط اصول و قوانین فیزیکی، فرمول داریسی نهاده شده و تحول بزرگی را در علم هیدرولوژی برجای گذاشت.



شکل ۳-۴- استوانه آزمایشی قانون داریسی (بدینت، ۲۰۰۵)

اگر جریان در حالت سه بعدی در نظر گرفته شود بار هیدرولیکی تابعی از محورهای سه گانه خواهد بود. به عبارتی $h=h(x,y,z)$ و $\frac{dh}{dl}$ نیز بیان کننده میزان تغییرات ارتفاع به ازای موقعیت در سه جهت فضایی می‌باشد. برای بیان مقدار جریان به ازاء سطح مقطع واحد جریان عبارت $q=\frac{Q}{A}$ در نظر گرفته می‌شود که اینجا دبی q ویژه یا شار داریسی می‌باشد و همچنین به دلیل دارا بودن بعد سرعت به نام سرعت داریسی نیز نامیده می‌شود. Q میزان آب عبوری از یک مقطع عمود بر جهت جریان در واحد زمان می‌باشد. معادله داریسی به شکل زیر می‌باشد:

$$\vec{Q} = A\vec{q} = AK\frac{\partial h}{\partial l} \quad (3-1)$$

که در آن $K(m/s)$ هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل، $l=\frac{\partial h}{\partial l}$ گرادیان هیدرولیکی و h بارهیدرولیکی می‌باشد. قانون داریسی به طور اساسی بیان می‌کند که دبی با گرادیان هیدرولیکی رابطه مستقیم دارد. در صورتی که محورهای Y, X, Z به عنوان جهات اصلی انتخاب شوند، در این حالت خواهیم داشت:

$$q_z = -k\frac{\partial h}{\partial z} \quad (3-2)$$

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

$$q_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3-4)$$

چون در معادلات بالا بار تابعی از سه محور اصلی می باشد لذا مشتقات فوق به شکل مشتقات جزئی می باشند و معادله به شکل زیر در می آید:

$$\vec{q} = \overrightarrow{q_x i} + \overrightarrow{q_y j} + \overrightarrow{q_z k} = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} i - k_y \frac{\partial h}{\partial y} j - k_z \frac{\partial h}{\partial z} k \quad (3-5)$$

معادله (3-5) در صورتی صادق است که جهات اصلی تغییرات هدایت هیدرولیکی منطبق بر جهات اصلی محورهای مختصات باشد. در حالت کلی برای یک محیط ناهمگن رابطه داری به صورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial h / \partial x \\ \partial h / \partial y \\ \partial h / \partial z \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

۳-۷-۲-۲- معادله پیوستگی

چارلز اسلیشر در سال ۱۸۸۹ معادله پیوستگی را ابتدا برای جریان سیال داخل یک حجم

$q_y(in)$ ثابت یا حجم کنترل شده توسعه داد. این معادله بیان می کند که مجموع تمامی جریان

های یک سیال به داخل یا خارج از حجم ثابت $q_y(out)$ به علاوه یا منهای تمام فرایندهای سیال که داخل حجم را کم یا زیاد می کنند باید معادل تغییرات حجم سیال داخل حجم ثابت $\Delta Storage$ باشد.

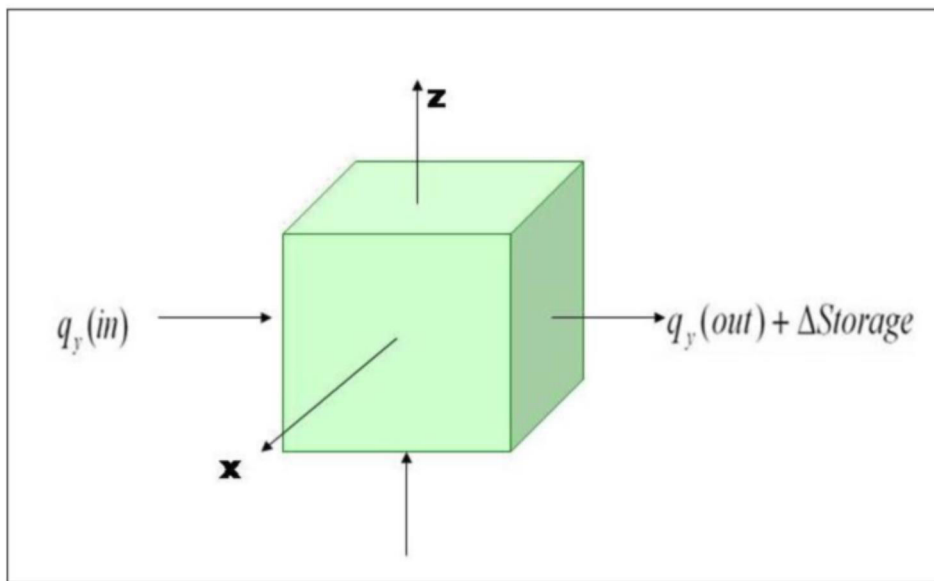
$$q_y(in) + q_y(out) \pm w = \Delta Storage \quad (3-7)$$

۳-۷-۲-۱- معادله پیوستگی برای جریان پایدار

برای شرایط جریان ماندگار ضرورت اصل پیوستگی این است که مقدار جریان ورودی به قطعه ای

مشخص برابر مقدار جریان خروجی از آن باشد، همچنین ارتفاع تابع زمان نمی باشد. مکعبی بسیار

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



شکل ۳-۵- نمایش مفهومی معادله پیوستگی (بدینت، ۲۰۰۵)

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

$$\left(\frac{\partial q_y}{\partial y} \Delta y\right) (\Delta x \cdot \Delta z) = \left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\right) \Delta v \quad (3-8)$$

در امتداد محورهای X و Z نیز روابط مشابهی برقرار است. طبق قانون بقاء جرم، مجموع تغییرات در سه جهت باید مساوی صفر شود. در این صورت خواهیم داشت:

$$\left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\right)\Delta v + \left(\frac{\partial q_y}{\partial y}\right)\Delta v + \left(\frac{\partial q_z}{\partial z}\right)\Delta v = 0 \quad (3-9)$$

در صورت تقسیم عبارت بالا به واحد حجم مکعب، خواهیم داشت:

$$\left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right] = 0 \quad (3-10)$$

عبارت سمت چپ معادله (3-10) نشان دهنده تغییرات حجم جریان به ازاء واحد حجم می باشد.

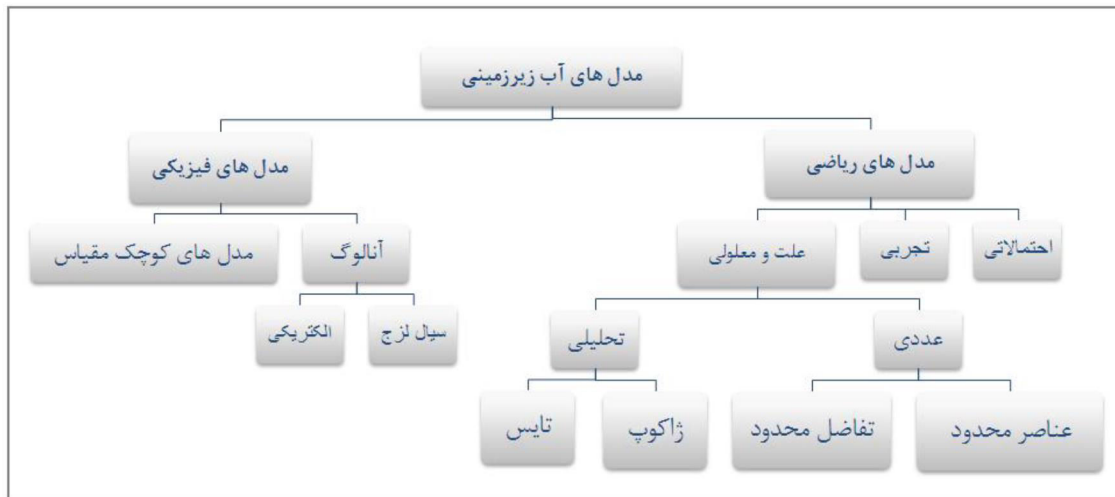
۲-۲-۲-۳- معادله پیوستگی برای جریان ناپایدار

$$-\left[\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z}\right] = \rho(\alpha + n\beta) \frac{\partial y}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z \pm Q_s \quad (3-11)$$

که در آن، q آب تخلیه یا تغذیه ای در واحد حجم، p فشار حفره ای یا فشار بار پیژومتری، n تخلخل محیط جریان، ρ جرم حجمی آب، α ضریب تراکم پذیری عمودی مواد جامد و β ضریب تراکم پذیری آب می باشد (عطایی زاده ۱۳۸۶).

۳-۸ - انواع مدل های آب زیرزمینی

به طور کلی مدل ها به دو گروه مدل های فیزیکی و ریاضی تقسیم می شوند. از این میان می توان به مدل های تحلیلی، مدل های محیط متخلخل، مدل های سیال ویسکوز، مدل های آنالوگ الکتریکی، مدل های موازنه جرمی، مدل های تجربی و مدل های عددی اشاره نمود، که هر یک به یکی از دو گروه پیش گفته تعلق دارند و جهت مدل سازی آب های زیرزمینی توسعه یافته اند. در ادامه فقط به معرفی مدل ریاضی می پردازیم.



شکل ۳-۶- انواع مدل های جریان آب های زیرزمینی (پریچکت، ۱۹۷۵)

۳-۸-۱- مدل ریاضی

مدل سازی جریان و انتقال آب زیرزمینی به وسیله مدل های ریاضی عمدتاً از اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی رواج یافته است. پس از آن مدل های ریاضی به طور گسترده ای برای ارزیابی وضعیت کمی و کیفی آبخوان به کار می روند. در مدل های ریاضی، سیستم هیدروژئولوژی در دست بررسی، به وسیله قوانین و روابط ریاضی حاکم بر هیدرولیک محیط متخلخل توصیف می گردند. این معادلات شامل معادلات دیفرانسیل، شرایط مرزی و پارامترهای اولیه مرتبط با آن می باشد. امروزه مدل های ریاضی، جهت بررسی مسایل پیچیده عددی، روشی استاندارد برای حل مسایل جریان آب زیرزمینی می باشد. برای بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی، مدل های کامپیوتری مناسبی تهیه و در دسترس بوده و کاربر می تواند از آن ها برای بررسی سناریوهای مختلف استفاده نماید.

۳-۸-۲- مدل های عددی

به دلیل شرایط پیچیده آبخوان، مرزهای هیدرولوژیکی پیچیده و هندسه نامعین، استفاده از مدل های تحلیلی، عمدتاً محدود کننده بوده و با پیشرفت علوم کامپیوتر، کاربرد مدل های عددی رو به افزایش است. در استفاده از مدل های عددی، متغیرهای پیوسته سیستم با متغیرهای ناپیوسته

جایگزین می‌گردد، بنابراین معادلات تفاضل پیوسته که بیانگر ارتفاع سطح آب در هر قسمت آبخوان می‌باشد توسط تعدادی نقطه که گره نامیده می‌شود جایگزین شده و تعدادی معادلات جبری (برابر با تعداد گره‌ها) به دست می‌آید. در نتیجه با حل معادلات مزبور، سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های معین آبخوان (گره) قابل محاسبه خواهد بود. علیرغم اینکه در مدل‌های تحلیلی معادلات تحلیلی به صورت انتگرال و به طور پیوسته نسبت به زمان و مکان حل می‌شوند، در مدل‌های عددی نوعی گسستگی در زمان و مکان وجود دارد و با در نظر گرفتن ساده‌انگاری اعمال شده، مسایل پیچیده جریان، به این طریق محاسبه و قابل حل می‌باشد. مدل‌های عددی عمدتاً به دو روش عناصر محدود و روش تفاضل محدود قابل حل می‌باشند.

۳-۸-۲-۱- روش تفاضل محدود

این روش در حقیقت اولین روشی است که برای حل معادلات دیفرانسیلی جزئی به کار رفته و امروزه اساس حل بسیاری از مدل‌ها و بسته‌های کامپیوتری را تشکیل می‌دهد. یکی از این مدل‌ها، کد MODFLOW مدل سه بعدی تفاضل محدود جریان آب‌های زیرزمینی است که توسط USGS تهیه شده است. روش تفاضل محدود براساس تئوری و بسط تیلور بنا شده است. اصول روش‌های تفاضل محدود این است که ابتدا سیستم پیوسته به یک سری بخش‌های مجزا تقسیم می‌شوند که این عمل گسسته‌سازی و به اصطلاح شبکه بندی نامیده می‌شود. این شبکه بندی هم در بعد زمان و هم در دامنه مکان در نظر گرفته می‌شود. وضعیت جریان‌های مربوط به یک شبکه در آبخوان تحت بررسی، تحلیل می‌شود و معادلات جبری در نقاط گره‌ای این شبکه به دست می‌آید. برحسب تدوین، نقاط گره‌ای می‌توانند مرکز شبکه‌ای و یا مرکز بلوکی باشند. در روش مرکز بلوکی، بلوک‌های ایجاد شده از برخورد این خطوط موازی، سلول‌ها را تشکیل می‌دهند و گره‌ها در مرکز این سلول‌ها قرار دارند. در روش مرکز شبکه‌ای، گره‌ها در محل برخورد خطوط موازی قرار داشته و سلول‌ها در اطراف این گره‌ها طوری ساخته می‌شوند که وجوه وابسته به آن‌ها در مرکز فاصله بین دو گره مجاور قرار

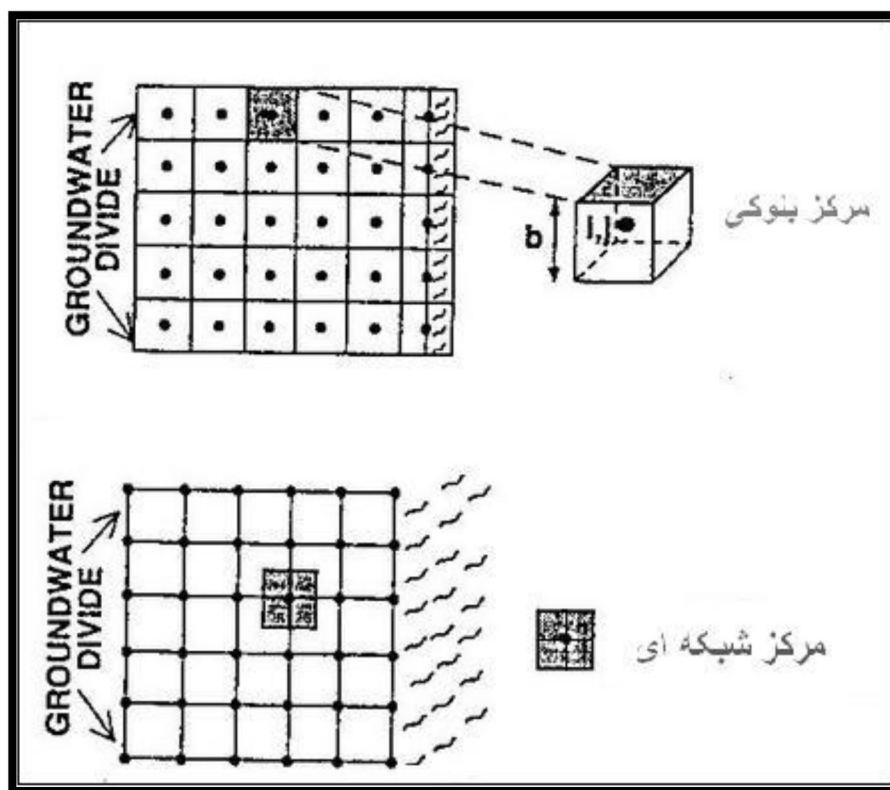
گیرند. در این حالت، فاصله گره‌ها طوری انتخاب می‌شود که خصوصیات هیدرولیکی در یک سلول به طور کلی یکنواخت باشد (شکل ۷-۳). در روش تفاضل محدود برای بسط معادلات جریان آب زیرزمینی با توجه به شکل (۸-۳) که مختصات محلی یک سیستم شبکه بندی شده را در یک دستگاه دکارتی نشان می‌دهد، ابتدا مشتقات با تفاوت‌های بین نقاط گره‌ای جایگزین می‌شود.

با توجه به تعریف مشتق اول بین دو نقطه (i, j) و $(i+1, j)$ معادله زیر به دست می‌آید:

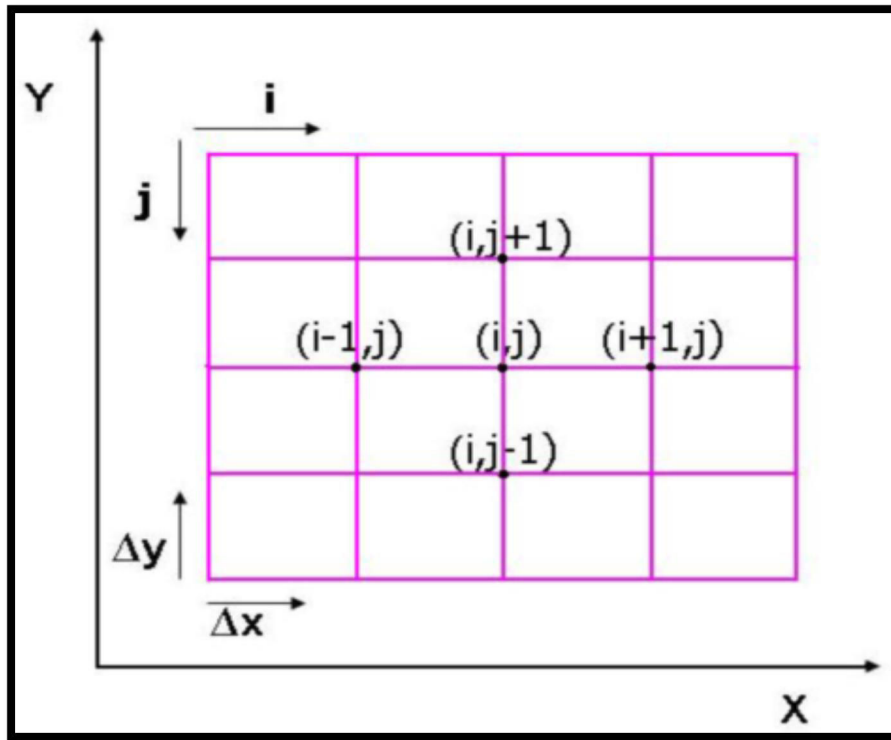
$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h(i+1, j) - h(i, j)}{\Delta x} \quad (3-12)$$

و به طور مشابه بین دو نقطه (i, j) و $(i-1, j)$ معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h(i, j) - h(i-1, j)}{\Delta x} \quad (3-13)$$



شکل ۷-۳- تفاوت بین سیستم مرکز بلوکی و سیستم مرکز شبکه ای (اندرسون و وسنر، ۱۹۸۲)



شکل ۳-۸- دستگاه مختصات در نظر گرفته شده برای حل معادلات جبری (اندرسون و وسنر، ۱۹۸۲)

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

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{(h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)})}{\Delta x^2} \quad (3-14)$$

به روش مشابه مشتق دوم نسبت به محور Y به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{(h_{(i,j+1)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i,j-1)})}{\Delta y^2} \quad (3-15)$$

و در نهایت اگر معادله عمومی جریان آب زیرزمینی (معادله لاپلاس) با مشتقات بالا جایگزین گردد

معادله زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{(h_{(i+1,j)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i-1,j)})}{\Delta x^2} + \frac{(h_{(i,j+1)} - h_{(i,j)}) - (h_{(i,j)} - h_{(i,j-1)})}{\Delta y^2} = 0 \quad (3-16)$$

اگر فرض شود Δy برابر Δx و برابر یک باشد معادله به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

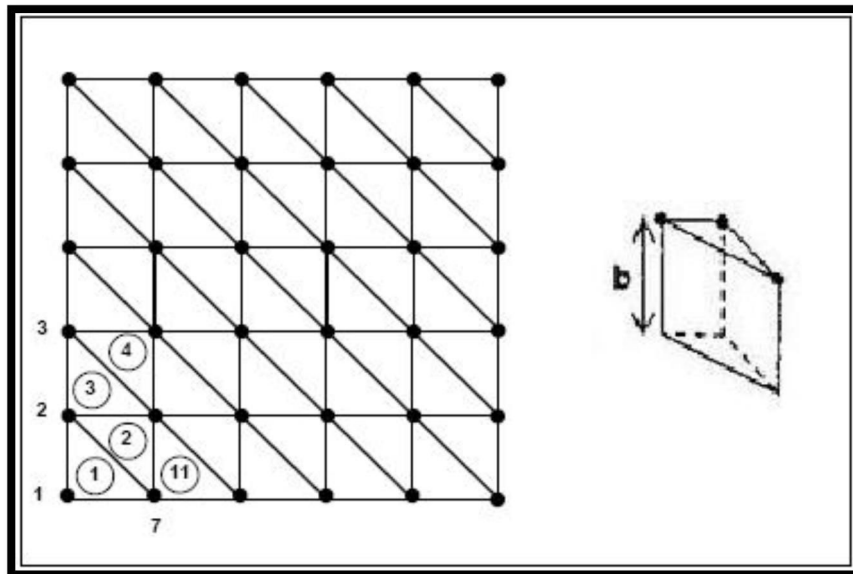
$$h_{(i-1,j)} - 4h_{(i,j)} + h_{(i+1,j)} + h_{(i,j+1)} + h_{(i,j-1)} = 0 \quad (3-17)$$

معادله (۳-۳۰) که در واقع بیان تفاضل عددی معادله لاپلاس می‌باشد به نام عملگر پنج نقطه‌ای مطرح می‌باشد (اندرسون و وسنر، ۱۹۸۲).

روش تفاضل‌های محدود به علت در دسترس بودن برنامه‌های کامپیوتری، کاربرد نسبتاً ساده، انطباق با شرایط آبخوان‌های مختلف و دقت نسبتاً خوب در مدل سازی آب‌های زیرزمینی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. در مطالعه حاضر نیز به دلیل دسترسی به کد MODFLOW که براساس روش تفاضل محدود عمل می‌نماید از آن، استفاده گردیده است.

۳-۸-۲-۲- روش اجزاء محدود

در این روش منطقه مورد مطالعه به یک سری عناصر چند ضلعی تقسیم بندی می‌شود. متداول‌ترین نوع چند ضلعی که بیش‌تر انتخاب می‌شود مثلث می‌باشد. زیرا با اجزای مثلثی بهتر می‌توان یک شبکه مناسب منطبق بر مرزهای نامنظم حوضه ایجاد نمود. همچنین چند ضلعی مثلثی منجر به روابط ساده تری می‌شود (شکل ۳-۹). اندازه اجزاء در قسمت‌های مختلف شبکه را می‌توان متفاوت انتخاب نمود به گونه‌ای که در نقاطی از حوضه که اطلاعات بیش‌تر و دقیق‌تر وجود دارد و بیش‌تر مورد توجه می‌باشد، اجزاء کوچک‌تر و در نتیجه شبکه فشرده‌تر انتخاب می‌شود و برعکس در نقاطی که اطلاعات کمتر است و کم‌تر مورد توجه می‌باشد اجزاء بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳-۹- شبکه اجزاء محدود مثلثی

این عناصر توسط گره‌ها تعریف می‌گردند گره‌ها ممکن است در محل نقاط چندوجهی درون آن‌ها و یا در وسط اضلاع در نظر گرفته شود. اساس این روش این است که هر حرکت پیوسته‌ای مانند درجه حرارت، فشار، بارآبی به صورت یک سری معادلات پیوسته در یک سری نقاط مشخص در حوضه مورد مطالعه تعیین می‌شوند. در این روش معادلات دیفرانسیل جزئی به یک سری معادلات انتگرالی تبدیل می‌گردد، که این معادلات تنها در برگزیده مشتقات مرتبه اول می‌باشند. سپس انتگرال برای هر یک از عناصر حل می‌شوند (اندرسون و وسنر، ۱۹۸۲).

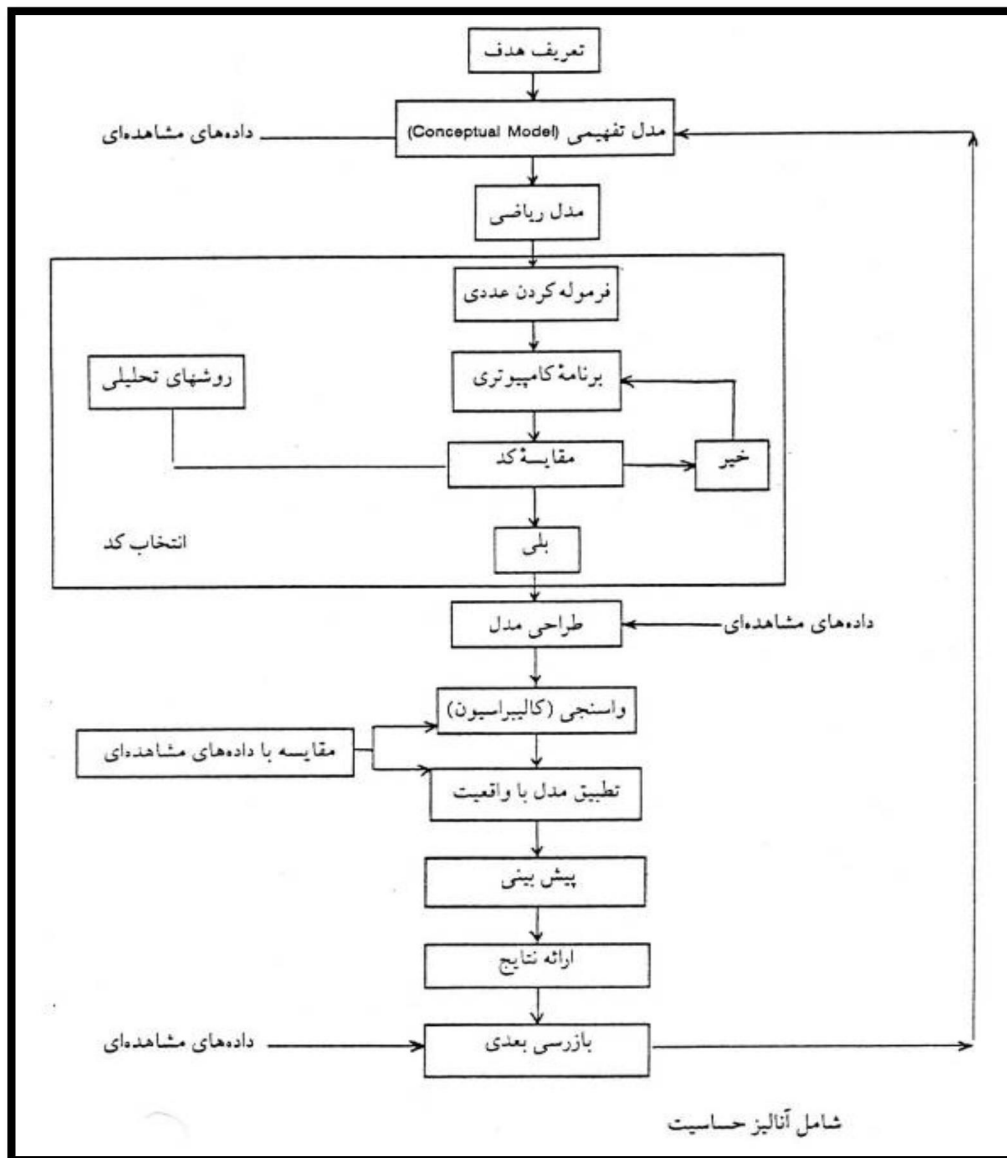
۳-۹- مراحل مختلف تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت همدان - بهار

مراحل تهیه مدل ریاضی را می‌توان بر اساس نوع و کاربری مدل و میزان پیچیدگی آن تعیین و تعریف نمود (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲). مراحل مختلف تهیه مدل ریاضی تا حصول نتیجه مورد نظر از مدل یک منطقه به ترتیب خاص می‌بایست صورت پذیرد که در نمودار (شکل ۳-۱۰) می‌توان مشاهده نمود. براساس این الگوریتم مراحل تهیه مدل آب زیرزمینی دشت همدان - بهار به طور خلاصه در ادامه بیان شده است:

۳-۹-۱- تعیین هدف برای تعیین مدل

در این مرحله مسئله مورد بحث مشخص و هدف از مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌گردد. در واقع با مشخص نمودن هدف از تهیه مدل، اسکلت و چارچوب اولیه جهت انجام مراحل بعدی پروژه مدل‌سازی مشخص می‌شود. در این مرحله تعیین اهداف زیر صورت می‌پذیرد:

- تعیین معادله حاکم (کمی، کیفی، اشباع، غیراشباع و ...).
- جمع آوری، سازمان دهی و بازسازی آمار.
- شناخت وضعیت هیدروژئولوژیک منطقه.
- تخمین پارامترهای هیدرولیک آبخوان.
- بررسی مقادیر تخلیه، تغذیه و بیلان آب زیرزمینی دشت.
- تخمین میزان تغذیه دشت.
- نهایی کردن مدل ریاضی (پس از فرآیند صحت‌سنجی کردن) جهت استفاده در مدیریت های آتی آبخوان.
- پیش بینی سطح تراز آب زیرزمینی در چندسال آینده جهت کمک به مدیریت آبخوان.



شکل ۳-۱۰- مراحل تهیه مدل آب زیرزمینی (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲)

۳-۹-۲- جمع آوری داده ها و اطلاعات

جمع آوری داده‌ها و اطلاعات به عنوان مرحله اصلی، سایر مراحل را کنترل می‌کند. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در مدل‌سازی آب زیرزمینی در دودسته فیزیکی و هیدرولوژیکی طبقه‌بندی می‌شوند (اندرسون و وسنر ۱۹۹۲). داده‌های هیدرولوژیکی شامل سطح ایستابی، نقشه‌های هم‌پتانسیل برای آبخوان، هیدروگراف هد آب زیرزمینی تراز آب‌های سطحی و میزان تخلیه، نقشه‌های نشان دهنده هدایت هیدرولیکی یا توزیع ضریب انتقال، نقشه‌های نشان دهنده خصوصیات ذخیره

آبخوان، توزیع مکانی تبخیر، تخلیه، تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی، پمپاژ آب‌های زیرزمینی و تخلیه طبیعی آبخوان می‌باشد. داده‌های دسته فیزیکی شامل نقشه مرز آبخوان و موقعیت رودخانه‌ها، خطوط هم تراز نشان دهنده سنگ کف و نقشه زمین شناسی، نقشه توپوگرافی منطقه که موقعیت عوارض زمین از قبیل مرز و موقعیت آب‌های سطحی روی آن مشخص باشد. در مدل‌سازی دشت همدان - بهار اطلاعات و داده‌هایی از قبیل لاگ حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای، اطلاعات مربوط به میزان بارندگی، عمق سنگ کف، سطح آب زیرزمینی، میزان تبخیر و تعرق، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین شناسی در محدوده مطالعاتی، میزان تخلیه چاه‌های بهره‌برداری، نقشه‌های قابلیت انتقال و ضخامت لایه آبرفتی منطقه با مراجعه به سازمان مربوطه (امور آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان همدان) جمع‌آوری گردید.

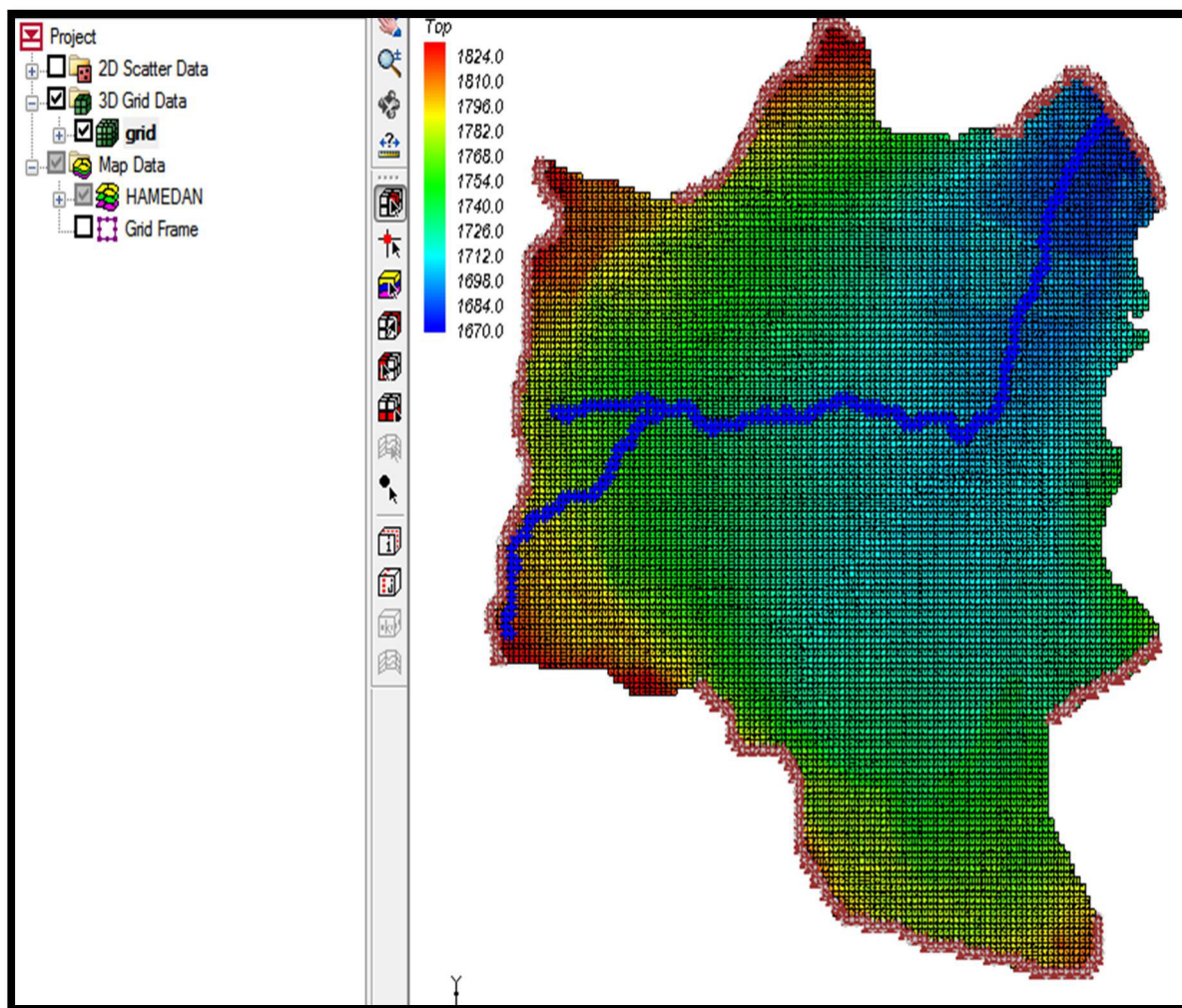
۳-۹-۳- تهیه مدل مفهومی و تحلیل سیستم آبخوان

بعد از مرحله تعیین هدف، مرحله بعدی طراحی مدل مفهومی می‌باشد. مدل مفهومی، مهم‌ترین و اساسی‌ترین مرحله در تهیه مدل جریان آب زیرزمینی می‌باشد. هدف از تهیه مدل مفهومی، ساده کردن شرایط واقعی منطقه مورد مطالعه، سازماندهی داده‌های صحرایی به منظور تجزیه و تحلیل و دستیابی به دانش صحیح از وضعیت هیدروژئولوژی، هیدرولوژی و دینامیک جریان آب‌های زیرزمینی در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه برای تهیه یک مدل عددی می‌باشد (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲).

۳-۹-۳-۱- انتخاب کد کامپیوتری و نرم افزار

کد همان برنامه کامپیوتری است که شامل الگوریتمی برای حل مدل ریاضی به روش عددی می‌باشد (چیت‌سازان، ۱۳۸۱). MODFLOW یک کد کامپیوتری است که جریان آب زیرزمینی در محیط متخلخل را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود شبیه‌سازی می‌نماید (مک دونالد و هاربرگ، ۱۹۸۸). برنامه مذکور به دلیل قابلیت و اعتبار سنجی گسترده‌ی آن در شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف، به عنوان یک مدل استاندارد جریان آب زیرزمینی در سراسر جهان پذیرفته شده

است. این مدل توسط سازمان تحقیقات زمین شناسی آمریکا (USGS) در سال‌های ۱۹۸۴ بسط و توسعه یافته است. GMS نرم افزاری بسیار پیچیده و جامع برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. GMS نرم افزاری با رابط کاربری گرافیکی و کاملاً قابل فهم است که قابلیت‌های فراوانی را در زمینه مدل‌سازی و شبیه‌سازی سه بعدی آب‌های زیرزمینی در اختیار کاربرانش قرار می‌دهد. در واقع GMS شامل برنامه‌های GMS و تعدادی کد نظیر NUFT, FEMWATER, SEEP2D, MODPATH, Laboratory MODFLOW SEAM3D, RT3D, MT3DMS و UTCHEM می‌باشد. برنامه GMS توسط US. Army of Environmental Modeling Research از دانشگاه Brigham Young با مشارکت Engineer Watrrways Experiments Station تهیه شده است. مدل‌های سه بعدی ساخته شده توسط GMS در واقع سیستم واقعی آب‌های زیرزمینی را شبیه‌سازی می‌کنند تا کاربر قادر به تجزیه و تحلیل، مدیریت و همچنین بررسی کنش و واکنش‌ها در یک سیستم هیدرودینامیکی باشد. کد انتخابی برای مدل‌سازی عددی منطقه مورد مطالعه (Modular groundwater flow) MODFLOW می‌باشد. MODFLOW موجود در برنامه GMS یک برنامه ریاضی مدل تفاضل محدود به زبان فرترن ۲۰۰۰ می‌باشد که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده تهیه شده است. MODFLOW براساس حرکت و قانون بقای جرم بنا نهاده شده است و در محیط‌های مختلف تحت شرایط متفاوت مثل سیستم‌های تک بعدی، شبه دو بعدی و سه بعدی به طور گسترده مورد آزمایش قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های بسیار مهم مدل GMS، امکان تهیه مدل مفهومی در مدول نقشه با استفاده از ابزارهای GIS می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از این روش، ابتدا مدل مفهومی منطقه تهیه و سپس مدل مفهومی منطقه به مدل عددی تبدیل گردید. برای تهیه مدل مفهومی دشت همدان - بهار اطلاعات مربوط به مرز و محدوده مدل‌سازی، چاه‌های مشاهده‌ای، میزان آب برگشتی، میزان آب برداشتی توسط چاه‌ها، توزیع اولیه ضرایب هیدورژئولوژیکی، میزان تغذیه آبخوان از سطح و شرایط مرزی با استفاده از نرم افزار GIS فراخوانی شدند. در شکل (۱۱-۳) نمایی از مدل مفهومی و مرزهای آبخوان دشت همدان - بهار نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱- نمایی از مدل مفهومی دشت همدان- بهار و مرزهای آبخوان دشت همدان - بهار

۳-۹-۲- شرایط مرزی

حل معادلات دیفرانسیل جزئی آب‌های زیرزمینی از طریق عددی مستلزم تعیین شرایط مرزی از نظر هیدرولیکی و استفاده از اطلاعات موجود در این مرزها می‌باشد. شرایط مرزی به دو دسته مرزهای فیزیکی (واقعی) و مرزهای هیدرولیکی (مصنوعی) تقسیم می‌شوند. مرزهای فیزیکی سیمای مشخص زمین شناسی و هیدرولوژیکی هستند که به طور دائم برالگوی جریان آب زیرزمینی موثر می‌باشند. مرزهای هیدرولیکی از شبکه جریان آب زیرزمینی به دست می‌آیند. در نتیجه این مرزها، مرزهای مصنوعی هستند که توسط طراح مدل ایجاد می‌شوند. مرزهای هیدرولیکی می‌توانند به صورت

مرزهای فاقد جریان (خطوط جریان) و یا مرزهای با بار هیدرولیکی معلوم (خطوط هم پتانسیل) مشخص شوند. چون مرزهای مذکور دائمی نیستند و ممکن است طی زمان تغییر کنند، تهیه مدل با این گونه مرزها ترجیح داده نمی‌شود. مرزهای مدل می‌توانند از مرز با بار هیدرولیکی مشخص، مرز با شدت جریان معلوم و یا مرز با شدت جریان وابسته به بار هیدرولیکی باشد. مرزهای نفوذ ناپذیر جزء مرز با شدت جریان معلوم می‌باشند. در این مرحله با توجه به داده‌های سطحی و اطلاعات مربوط به نقشه‌های مختلف از قبیل زمین شناسی، توپوگرافی، خاک و هیدروژئولوژیکی توزیع فضایی مرز اطراف آبخوان مشخص می‌شود. سپس مرزهای تراوا و ناتراوا با توجه به الگوی جریان آب درون حوضه و نقشه هم پتانسیل سطح آب زیرزمینی مشخص و تقسیم می‌شوند. در آبخوان دشت همدان - بهار مرزهای غربی، شمالی، جنوبی و جنوب شرقی به عنوان مرزهای ورودی و مرزهای شرقی به عنوان مرز خروجی آبخوان در نظر گرفته شده است. با توجه به موارد ذکر شده مرزهای آبخوان دشت مذکور به صورت مرز با بار هیدرولیکی عمومی تعریف گردید. علت استفاده از این نوع GHB این است که برخلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این مرز ثابت نیست و ممکن است با رسیدن اثر استرس های داخلی به مرز، سطح آب تغییر نماید. از طرف دیگر حساسیت بارهای هیدرولیکی محاسباتی مدل به پارامتر مرزی نوع GHB کمتر از سایر مرزها است.

۳-۳-۹-۳ عوامل تغذیه و تخلیه کننده آبخوان

در این مرحله وارد کردن اطلاعات مربوط به عوامل تغذیه و تخلیه حائز اهمیت است. منابع آبی مورد استفاده در دشت همدان - بهار عمدتاً از منابع آب زیرزمینی می‌باشد که صرف مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی است. عوامل تغذیه شامل درصدی از بارندگی، آب برگشتی حاصل از پساب کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه و نفوذ از طریق مسیل ها و تاسیسات تغذیه مصنوعی می‌باشد که در ادامه توضیح مختصری راجع به هر یک داده شده است.

۳-۹-۳-۱- تغذیه آبخوان از طریق بارندگی

نزولات جوی پس از رسیدن به سطح زمین بسته به میزان و نوع نزولات (باران، برف و تگرگ)، توپوگرافی، پوشش گیاهی، جنس خاک و ... انواع جریان های آبی نظیر جریان سطحی، نیمه سطحی و زیر سطحی را تشکیل می دهند. در محدوده آبخوان مورد مطالعه با توجه به داده های مربوط به ایستگاه های بارانسنجی کوشک آباد، بهادریگ، سد اکباتان و سازمان هواشناسی همدان مقدار ۲۰ درصد نفوذ از نزولات به عنوان تغذیه آبخوان در نظر گرفته شده است (گزارشات نیمه تفصیلی آب منطقه ای استان همدان ۱۳۹۰).

۳-۹-۳-۲- تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی، شرب و صنعتی

با توجه به این که معمولاً آب پمپاژ شده از چاه های کشاورزی در دشت در محدوده همان چاه استفاده می شود. مقداری از آب برداشت شده با توجه به نحوه آبیاری، نوع محصول، اقلیم منطقه و جنس و مشخصات خاک سطحی منطقه به داخل زمین نفوذ کرده و به سفره زیرزمینی می رسد. به همین دلیل متوسط تغذیه حاصل از آب برگشتی کشاورزی از میزان متوسط تخلیه سالانه آن ها کسر شده و عدد حاصل به عنوان تخلیه به مدل اعمال گردید. براساس مطالعات انجام شده در دشت همدان - بهار تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی به سفره ۳۰ درصد و تغذیه ناشی از آب برگشتی شرب و صنعتی ۴۵ درصد مقدار تخلیه چاه های شرب و صنعت در نظر گرفته شده است (گزارشات نیمه تفصیلی آب منطقه ای استان همدان ۱۳۹۰).

۳-۹-۳-۳- برداشت آب زیرزمینی توسط چاه ها

مهم ترین عامل برداشت از آب های زیرزمینی در دشت همدان - بهار عمدتاً از طریق چاه های عمیق و نیمه عمیق می باشند. براساس نتایج آمار و اطلاعات برداشت شده توسط امور منابع آب شهرستان همدان در دشت همدان - بهار حدود ۱۷۷۴ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق حفر شده است که حدود ۷۳ حلقه آن به مصرف شرب و صنعت و حدود ۱۷۰۱ حلقه به مصرف کشاورزی می رسد.

۳-۹-۳-۳-۴- تبخیر - تعرق

تبخیر از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی، نوع و بافت خاک، سرعت باد و غلظت املاح آب بستگی دارد. در بین این عوامل، عمق سطح آب زیرزمینی عامل اصلی به شمار می آید. جهت تهیه این لایه ابتدا باید نقشه هم عمق آب زیرزمینی در برنامه تهیه شود. براساس نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی، در دشت همدان - بهار نواحی تبخیری که عمق سطح آب زیرزمینی ۵ می باشد شناسایی شدند. بر این اساس نواحی با عمق آب زیرزمینی ۵ متر در حدود ۳۱/۶ کیلومتر مربع تعیین شد. در نهایت با توجه به متوسط سالانه تبخیر از تشت تبخیر، میزان تبخیر از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در حدود ۱/۰۱ میلیون متر مکعب برآورد گردید.

۳-۹-۳-۳-۵- تغذیه و تخلیه آبخوان از مرزهای جانبی

مرزهای فیزیکی آبخوان برحسب انواع مرز هیدرولوژیکی و حدود فیزیکی مورد بررسی قرار می گیرد. به منظور تعیین حدود فیزیکی دشت، از نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی استفاده شد. سپس مرز دشت با استفاده از محل تقاطع تراز آب زیرزمینی و ابتدا و انتهای مقاطع ژئوفیزیک بهبود یافت. به علت تفاوت در گرادیان هیدرولیکی مقداری جریان خواهیم داشت که این میزان جریان باتوجه به تفاوت هد بین سلول مرزی و سلول مجاور آن بدست می آید. برای محاسبه جریان زیرزمینی ورودی و خروجی از آبخوان، از بسته مربوط به شرایط مرزی استفاده گردید.

۳-۹-۳-۴- اطلاعات هیدرودینامیکی

مهم ترین پارامترهای هیدرودینامیکی که در تهیه مدل موثر است شامل هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و آبدهی ویژه آبخوان می باشد. بنابراین بایستی سعی شود تا طراحی مدل با استفاده از مقادیر واقعی این پارامترها که در صحرا و ترجیحا توسط آزمایش های پمپاژ به دست آمده صورت گیرد. با توجه به محدودیت آزمایشات پمپاژ در منطقه مورد مطالعه بنابراین برای تهیه مقادیر اولیه K از اطلاعات نقشه هم مقدار قابلیت انتقال ($T = Kb$) استفاده گردیده است. در محدوده همدان - بهار

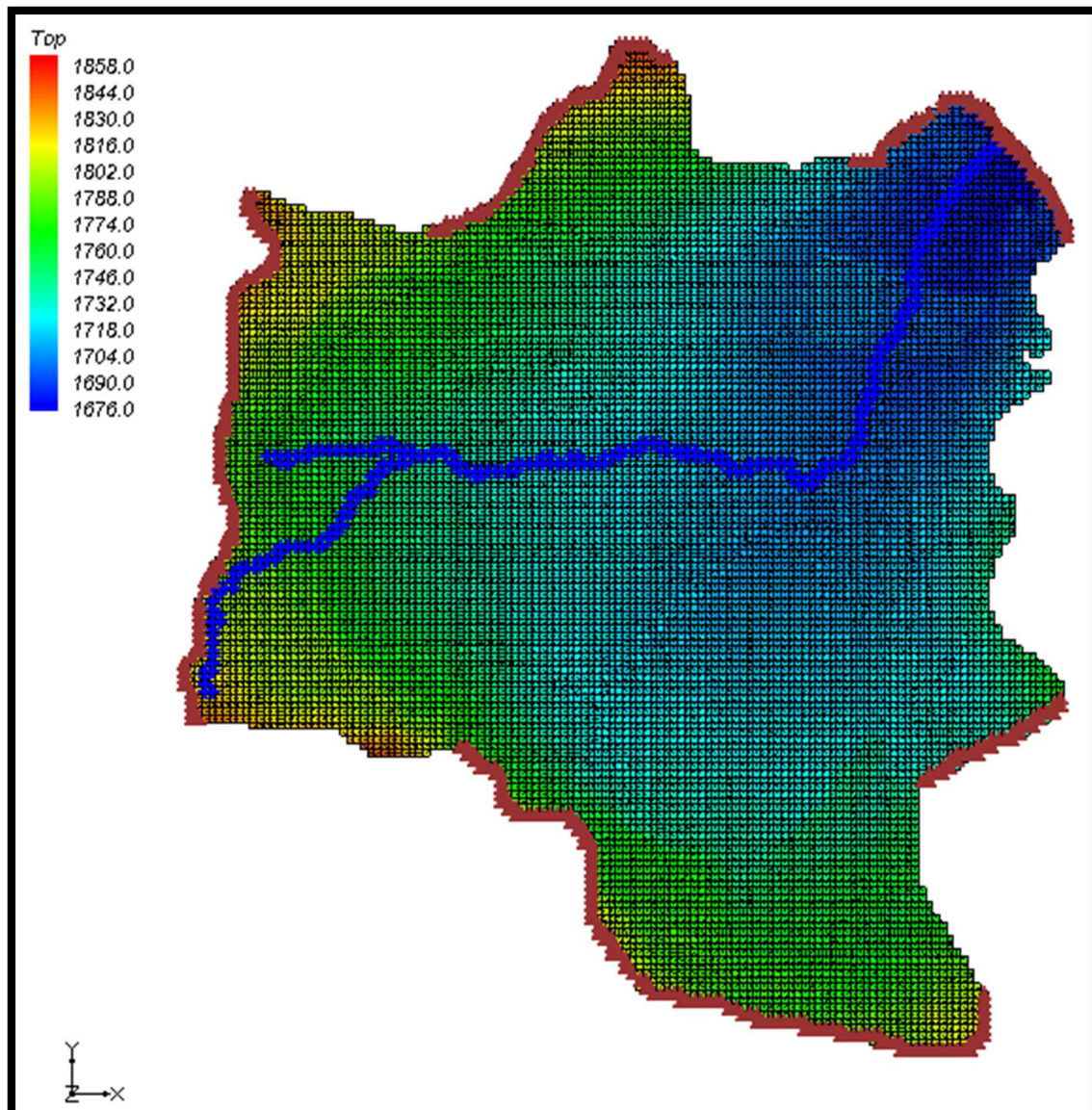
تنها یک نقشه هم مقدار قابلیت انتقال تهیه شده است، لذا مقادیر قابلیت انتقال در مرکز هر سلول با استفاده از روش درونیابی (روش کریجینک) استخراج شده است. براساس نقشه ضریب قابلیت انتقال ترسیمی میزان این فاکتور بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر مربع در روز متغیر می‌باشد. مطابق نقشه رسوبات آبرفتی دشت همدان - بهار، رسوبات این دشت از ۲۵ متر در حوالی دشت تا حداکثر ۷۵ متر در مرکز دشت متغیر می‌باشد. با توجه به مقدار ضریب قابلیت انتقال و ضخامت اشباع هرلایه، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی تعیین شد. این مقادیر به عنوان مقدار اولیه ضریب هدایت هیدرولیکی (k) برای آبخوان تعریف شد که در مرحله واسنجی این ضرایب مورد اصلاح قرار گرفت. بنابراین ضرایب هدایت هیدرولیکی در ضمن واسنجی مدل در شرایط ماندگار و میزان آبدهی ویژه و ضریب ذخیره در ضمن واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار توسط کد PEST تخمین زده شدند.

۳-۹-۳-۵- اعمال توپوگرافی سطح و کف آبخوان به سلول های شبکه

یکی از پارامترهای مورد نیاز برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی، توپوگرافی سطح آبخوان است. نقشه‌های توپوگرافی این مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه برداری تهیه شده است. در شکل (۳-۱۲) نمایی از توپوگرافی سطح دشت نشان داده شده است. تراز سنگ کف نیز از جمله اطلاعات مورد نیاز برای تهیه مدل آب زیرزمینی می‌باشد. در محدوده دشت همدان - بهار، برای تعیین تراز سنگ کف از نقشه‌های موجود در گزارشات ارائه شده در مورد دشت استفاده شد. منحنی‌های هم ارتفاع سنگ کف دشت در محیط GMS فراخوانی و مقادیر تراز سنگ کف پس از درونیابی به هر یک از سلول های شبکه اعمال گردید.

۳-۹-۳-۶- اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده ای

چاه‌های مشاهداتی معیار محاسبات مدل و سنجش مقبولیت آن می‌باشد. از این رو دقت در آمار چاه‌های مشاهداتی و صحت اعمال آن‌ها به مدل از اهمیت ویژه ای برخوردار است.



شکل ۳-۱۲- نمایی از سطح توپوگرافی دشت همدان - بهار

همچنین در این مرحله ضروری است فعال و غیر فعال بودن چاه‌های مشاهده‌ای، مختصات چاه‌های مشاهده‌ای، تعداد لایه‌ها، سطح تراز آب و زمان مشاهده سطح تراز آب هر چاه مشاهده‌ای به مدل وارد گردد. در بحث مدل سازی جریان آب زیرزمینی از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای برای واسنجی پارامترهایی چون ضرایب هیدرولیکی، میزان تغذیه، میزان برداشت و... استفاده می‌شود. تعداد چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان دشت همدان - بهار ۲۷ عدد بوده که همه آن‌ها فعال و هد مشاهده‌ای آن‌ها به صورت ماهیانه اندازه‌گیری می‌گردد. مشخصات چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت در جدول

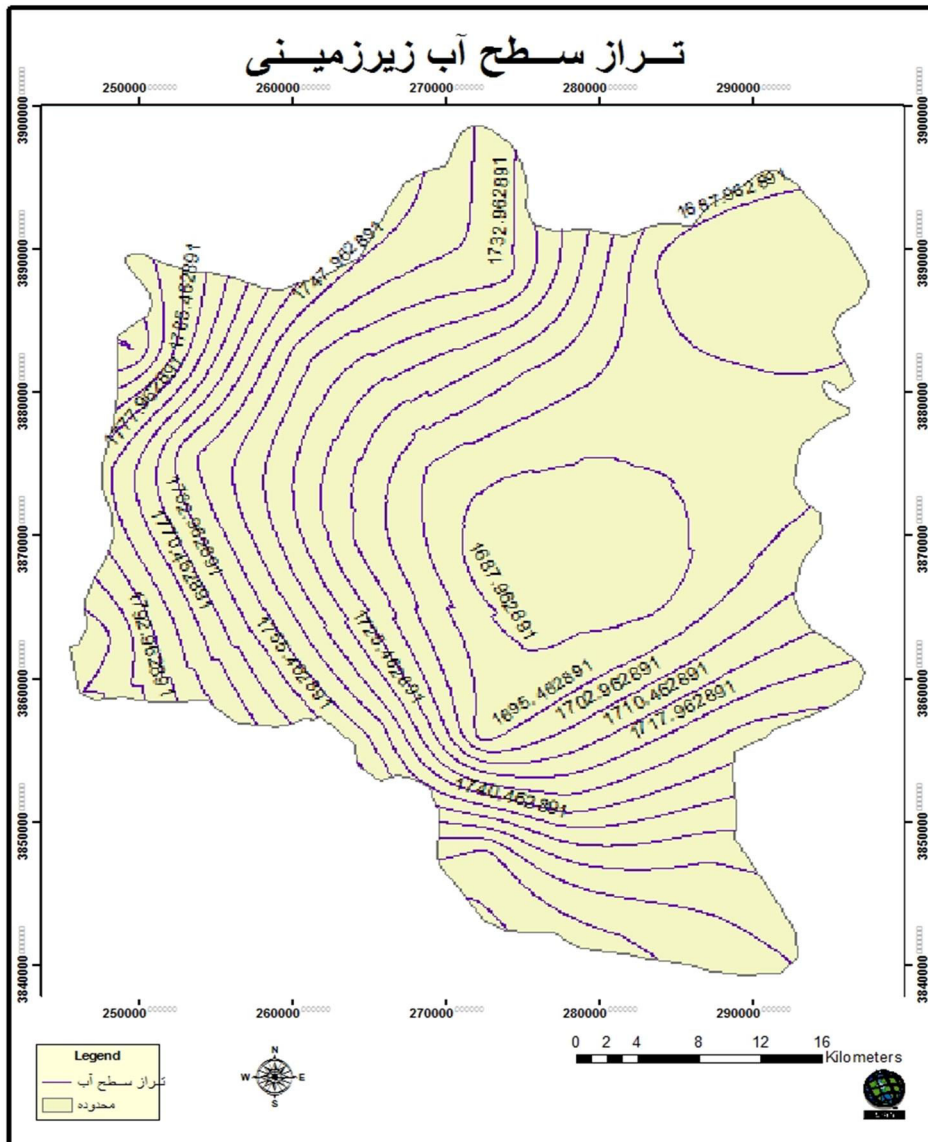
(۳-۲) آمده است. با استفاده از چاه‌های مشاهداتی نقشه خطوط تراز سطح آب زیرزمینی دشت برای

سال ۱۳۸۴ شکل (۲-۱۳) تهیه گردید.

جدول ۲-۳- مشخصات چاه‌های مشاهداتی موجود در دشت همدان - بهار

شماره	پیزومتر	محل	X	Y	ارتفاع مطلق (m)
۱	p _۱	چورقان	۲۷۶۷۴۶	۳۸۶۲۲۷۳	۱۷۳۵/۶۶
۲	p _۲	جاده کرمانشاه	۲۶۴۵۰۰	۳۸۶۲۷۰۰	۱۷۵۹/۰۵
۳	p _۳	مریانج	۲۶۷۹۷۱	۳۸۵۸۲۹۶	۱۷۷۸/۵
۴	p _۴	صالح آباد	۲۵۷۴۴۷	۳۸۶۷۹۲۶	۱۷۸۶/۳۲
۵	p _۵	آغچه خرابه	۲۵۶۶۴۸	۳۸۷۵۷۵۹	۱۸۲۱/۳۹
۶	p _۶	کریم آباد	۲۵۸۴۰۵	۳۸۷۲۱۸۵	۱۷۶۶/۳
۷	p _۷	ینگچه	۲۷۰۵۶۹	۳۸۵۹۹۵۱	۱۷۴۲/۵۴
۸	p _۸	صالح آباد-بهار	۲۶۱۸۷۵	۳۸۶۷۴۲۸	۱۷۴۹/۴۹
۹	p _۹	آبرومند	۲۵۵۵۱۶	۳۸۶۵۸۴۲	۱۸۰۷/۸۴
۱۰	p _{۱۰}	حصار امام	۲۷۲۳۱۶	۳۸۵۵۶۶۵	۱۷۷۲/۰۹
۱۱	p _{۱۱}	ده پیاز	۲۷۲۵۲۰	۳۸۶۲۴۴۱	۱۷۲۹/۳۴
۱۲	p _{۱۲}	یکن آباد	۲۶۷۸۷۳	۳۸۶۲۴۰۰	۱۷۳۲/۷۲
۱۳	p _{۱۳}	بند ۳ بهار	۲۶۳۴۹۳	۳۸۶۹۱۲۱	۱۷۳۷/۹۹
۱۴	p _{۱۴}	هارون آباد	۲۶۲۱۲۰	۳۸۷۵۵۹۰	۱۷۷۴/۴۱
۱۵	p _{۱۵}	حسام آباد	۲۶۶۰۴۰	۳۸۷۱۷۳۷	۱۷۲۸/۶۴
۱۶	p _{۱۶}	گنج تپه	۲۶۸۴۳۹	۳۸۶۸۴۱۸	۱۷۱۸/۰۸
۱۷	p _{۱۷}	حسن آباد- قاسم آباد	۲۷۵۱۳۶	۳۸۵۷۹۳۶	۱۷۶۲/۸۴
۱۸	p _{۱۸}	آب شرب	۲۷۱۰۰۵	۳۸۶۵۹۴۵	۱۷۱۸/۷۱
۱۹	p _{۱۹}	ش لالچین	۲۶۹۲۱۰	۳۸۷۴۸۷۹	۱۷۲۴/۹۷
۲۰	P _{۲۰}	دهنگرد	۲۷۳۱۷۰	۳۸۷۲۷۲۲	۱۷۰۳/۶۹
۲۱	p _{۲۱}	لنگاه	۲۷۵۶۹۹	۳۸۷۴۳۰۵	۱۶۹۵/۹۸
۲۲	p _{۲۲}	دستجرد	۲۷۴۰۵۶	۳۸۷۸۶۲۸	۱۷۰۳/۵۳

۲۳	p۲۳	لالجین - جمشیدآباد	۲۶۸۵۲۸	۳۸۷۸۵۲۳	۱۷۵۱/۰۶
۲۴	p۲۴	کارخانه چینی	۲۷۸۰۶۲	۳۸۶۹۸۸۳	۱۷۳۰/۲۷
۲۵	p۲۵	حسین آباد	۲۷۹۷۴۸	۳۸۷۷۹۳۷	۱۶۸۸/۲۶
۲۶	p۲۶	بهرام آباد - امزاجرد	۲۷۳۱۷۶	۳۸۶۷۳۶۷	۱۷۱۴/۱
۲۷	p۲۷	بهدریگ	۲۵۶۰۶۰	۳۸۷۱۶۳۶	۱۷۸۱/۵



شکل ۳-۱۳- نقشه خطوط تراز سطح آب زیرزمینی دشت برای سال ۱۳۸۴

۳-۹-۴- طراحی شبکه مدل

در این مرحله صحت و دقت تمامی مولفه‌های مدل مفهومی نسبت به یکدیگر و مشاهدات کنترل کننده سنجیده می‌شود. پس از جمع آوری داده‌ها و اطلاعات و تهیه مدل مفهومی، لازم است مدل جریان آب زیرزمینی اجرا گردد. پس از تهیه مدل مفهومی، محدوده مورد نظر به اجزاء کوچک تر (سلول) تقسیم می‌شود. در این مرحله، تعیین محدوده مدل، گسسته سازی مکانی و تعیین نوع مرزها، وارد کردن مقدار عددی منابع تغذیه و تخلیه در هرسلول از شبکه مدل صورت گرفت. برای شبیه‌سازی جریان به روش تفاضل محدود منطقه مورد مطالعه باید به سلول های کوچک تر تقسیم شود. هرچه تعداد سلول ها بیشتر باشد تعداد نقاط محاسباتی افزایش یافته و در نتیجه محاسبات عددی به واقعیت نزدیک تر خواهد شد، اما مدت زمان محاسبات بیشتر می‌گردد. عوامل مهم در انتخاب اندازه سلول‌های شبکه شامل اندازه کل محدوده و ظرفیت کامپیوترها، قابلیت تعریف خصوصیات فیزیکی و هیدرودینامیکی در انطباق با خصوصیات آبخوان، داده‌های پیزومتری، داده‌های حفاری، مشخصات منابع تغذیه و تخلیه و... می‌باشد. انتخاب شبکه‌های کوچک‌تر در مناطقی حائز اهمیت است که تغییرات محسوس و قابل ملاحظه ای از نظر هیدرولوژیکی و فیزیکی، در فواصل جزئی وجود داشته باشد. برای مثال پرهیزکار (۱۳۹۳) برای آبخوان دشت دامغان با وسعت ۵۹۱۵ کیلومترمربع سلول هایی با ابعاد $1000 * 1000$ متر را تعیین کرده است. ابارشی (۱۳۹۲) نیز برای دشت گلستان با وسعت ۴۵۰ کیلومتر مربع، سلول های $500 * 500$ متر را تعیین کرده است. با توجه به داده‌های موجود، هیدروژئولوژی و وسعت منطقه مورد مطالعه، محدوده مدل به 131 سطر و 149 ستون از نوع مرکز بلوکی به ابعاد $200 * 200$ متر شبکه بندی گردید (شکل ۲-۱۴). پس از طراحی شبکه مدل، مدل مفهومی تهیه شده به مدل عددی MODFLOW تبدیل شد. سپس تعیین شرایط اولیه، شرایط مرزی، مقداردهی و انتخاب گام‌های زمانی با توجه به کلیه عوامل فیزیکی و هیدرولیکی انجام گردید.

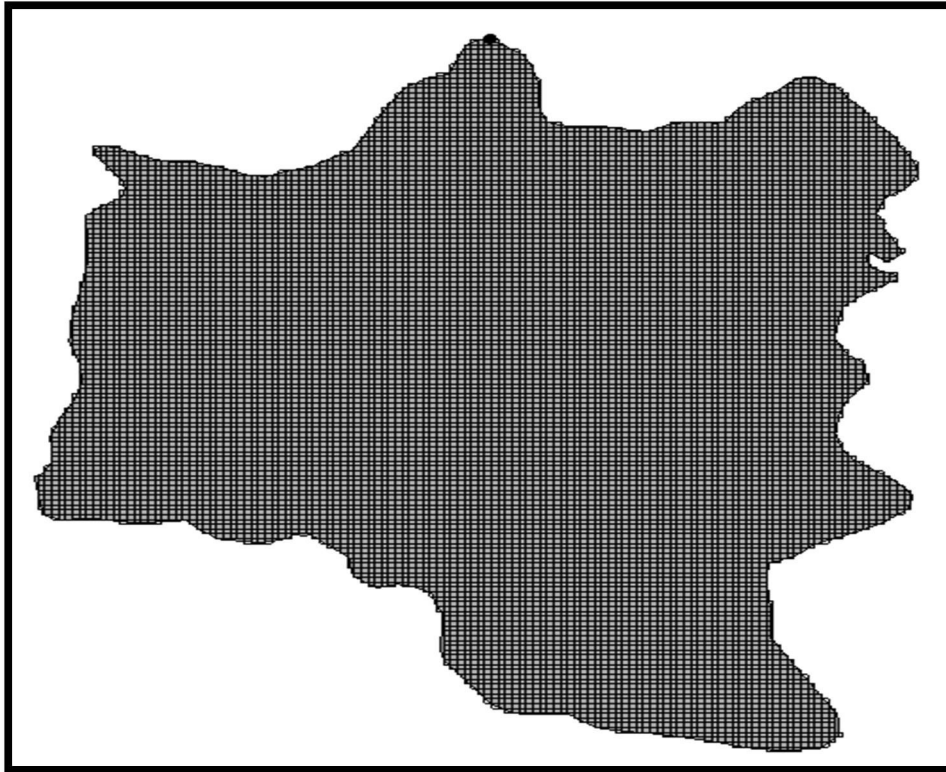
۳-۹-۵- مدل سازی دشت همدان _ بهار در شرایط پایدار

با توجه به نقصان داده‌های مربوط به مقادیر چاه‌های مشاهداتی، سطح تراز و میزان برداشت از منابع زیرزمینی تا سال ۸۴ و عدم اطمینان در برخی از داده‌ها، واسنجی مدل GMS در حالت پایدار براساس داده‌های سال ۸۴ صورت پذیرفت. بر این اساس با توجه به هیدروگراف دراز مدت دشت همدان _ بهار و پایداری سطح آب در سال ۸۴، مدل آب زیرزمینی دشت همدان _ بهار در شرایط پایدار برای یک دوره یک ساله (فروردین تا اسفند ۸۴) تهیه و مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در فروردین ماه سال ۸۴ به عنوان شرایط اولیه به مدل معرفی شد. در این مرحله از طریق مقایسه سطح آب زیرزمینی تعریف شده برای مدل و مقادیر محاسبه شده توسط خود مدل، مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان به صورت اتوماتیک و از طریق کد PEST واسنجی شد. از آنجا که نتایج اولیه حاصل از واسنجی اتوماتیک مدل تطابق بالایی با مقادیر مشاهداتی تراز آب زیرزمینی از خود نشان نداد، واسنجی مدل مجدداً بصورت دستی صورت پذیرفت که منجر به بهبود چشمگیری در نتایج گردید. شکل های (۳-۱۴) و (۳-۱۵) به ترتیب نحوه شبکه بندی و مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده برای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

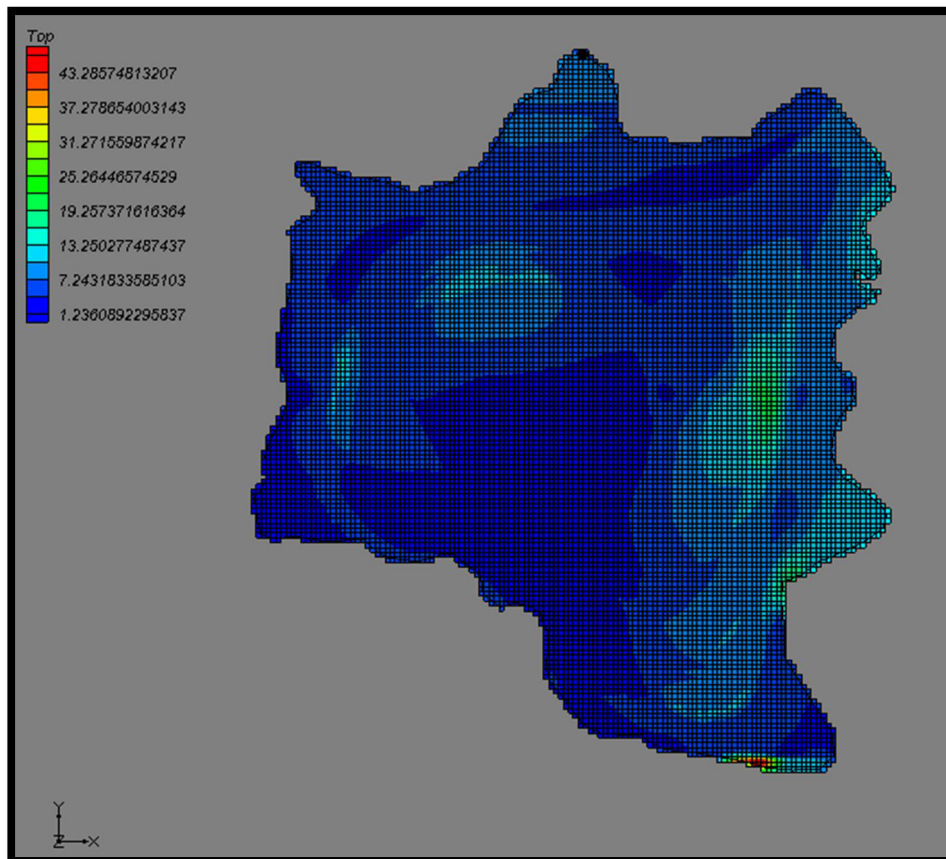
۳-۹-۶- مدل سازی دشت در حالت ناپایدار

پس از آن که واسنجی مدل در حالت پایدار انجام و پارامتر هدایت هیدرولیکی مشخص گردید، می‌توان مدل را برای شرایط غیر ماندگار واسنجی نمود. با توجه به اطلاعات موجود و تنش های وارده بر سیستم، مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان - بهار در شرایط ناپایدار برای دوره ۵ ساله (مهر سال ۱۳۸۴ تا شهریور سال ۱۳۸۹) تهیه شده است. در کد MODFLOW دوره‌های تنش هیدرولوژیکی مشخص شده از یک دوره به دوره بعد متغیر است و آن‌ها در طول هر دوره به شکل ثابت یا خطی فرض می‌گردند. همچنین برای هر تنش یک گام زمانی در نظر گرفته شده است.

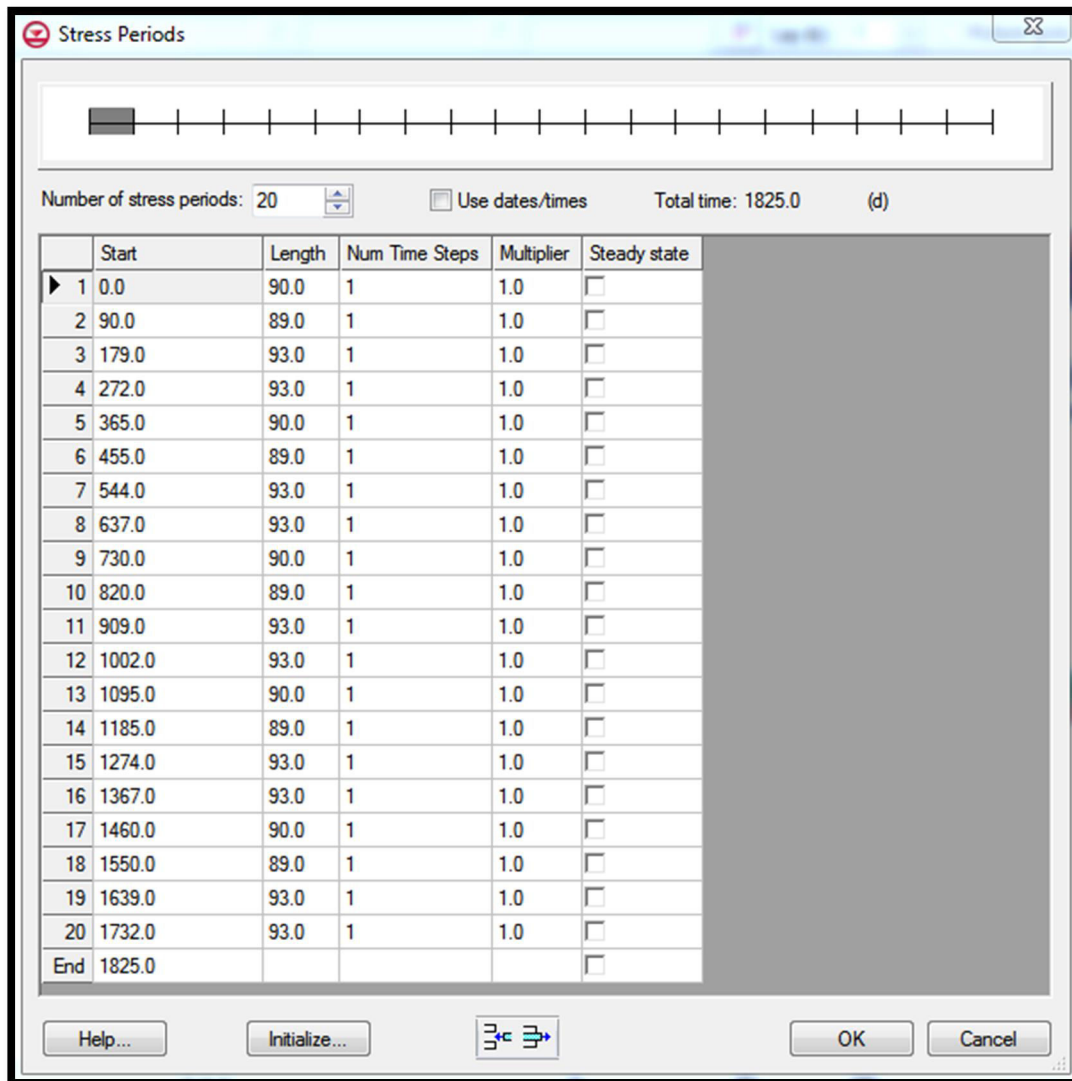
در این تحقیق دوره‌های تنش به صورت فصلی و با طول مدت سه ماهه برای هر سال تعریف گردید
(شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۴- شبکه بندی آبخوان دشت همدان - بهار



شکل ۳-۱۵- نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمده توسط MODFLOW در تحقیق حاضر پارامتر آبدهی ویژه در اطراف هر پیزومتر و مشابه آن چه در مورد هدایت هیدرولیکی توضیح داده شد، توسط کد PEST تخمین زده شد. پس از تخمین مقادیر آبدهی ویژه توسط کد PEST، جریان های ورودی و خروجی مدل به دو صورت دستی و خودکار محاسبه شد.



شکل ۳-۱۶- دوره‌های تنش به صورت فصلی

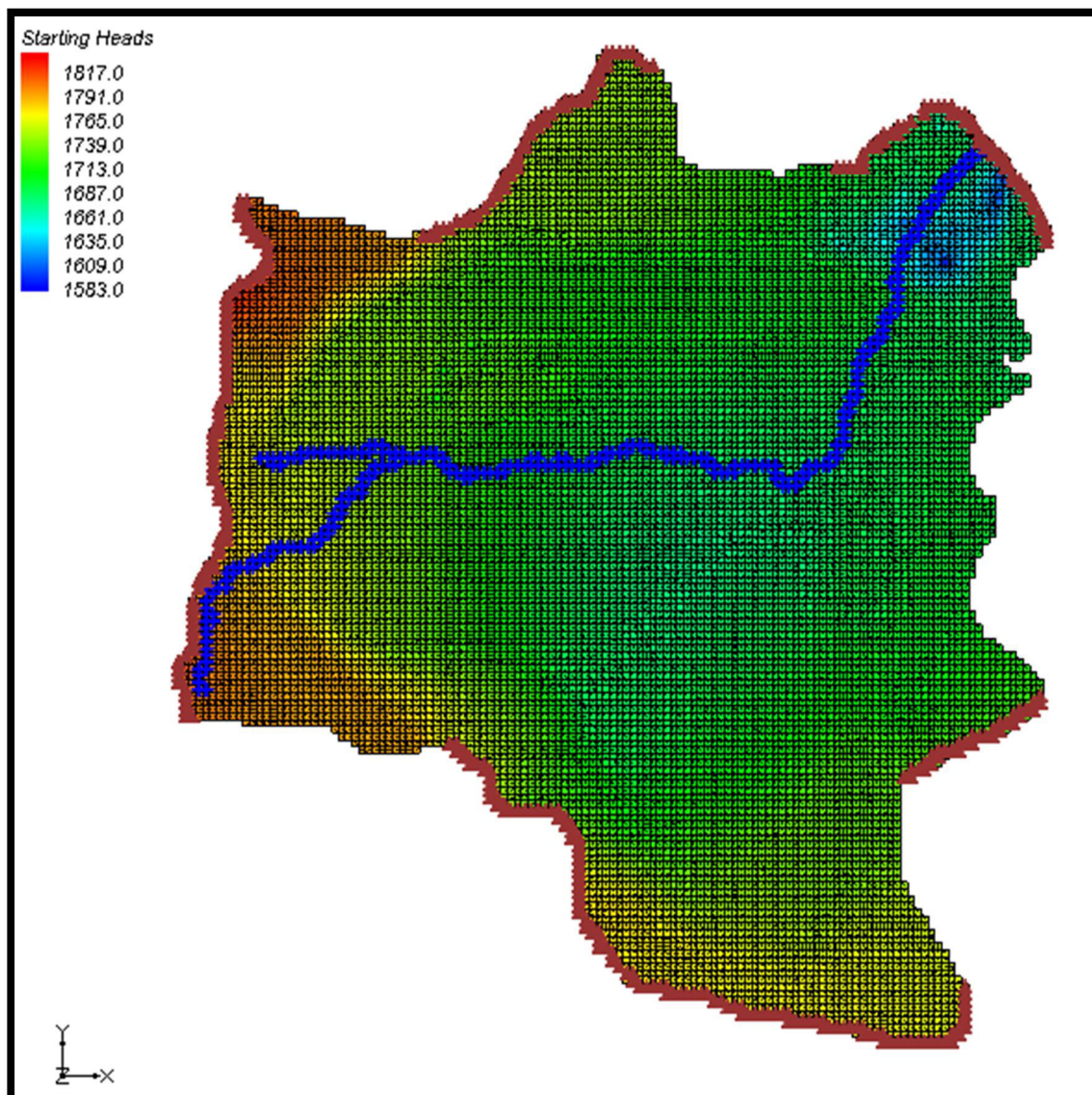
در شکل (۳-۱۶) ستون اول بیانگر مجموع تعداد روزهای ۵ سال مدل‌سازی در حالت ناپایدار می‌باشد، که با توجه به اولین فصل مدل‌سازی که پاییز سال ۸۴ می‌باشد. تعداد روزهای فصل پاییز ۹۰ روز می‌باشد که تا آخرین فصل مدل‌سازی شهریور سال ۸۹، مجموع تعداد روزهای مدل‌سازی ۱۸۲۵ روز می‌باشد. ستون دوم مربوط به تعداد روزهای مختص به هر فصل می‌باشد که به ترتیب فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان تعداد روزهای این فصول به ترتیب ۹۰، ۸۹، ۹۳ و ۹۳ روز می‌باشد. ستون‌های سوم تا پنجم مربوط به تنظیمات مدل می‌باشد.

۳-۹-۶-۱- شرایط اولیه

منظور از شرایط اولیه مقادیر متغیرهای مجهول درون محدوده مدل (مانند بار هیدرولیکی) در لحظه ابتدایی شبیه سازی می باشد. در شبیه سازی های غیر ماندگار لازم است شرایط مشخص باشد. معمولا مدل برای یک حالت ماندگار واسنجی شده و نتایج آن به عنوان شرایط اولیه در شبیه سازی غیرماندگار مورد استفاده قرار می گیرد. در گام های زمانی (که به صورت فصلی در نظر گرفته شد) نیز مدل به صورت خودکار مقادیر تراز آب گام قبل را به عنوان شرایط اولیه در نظر می گیرد. به عنوان مثال شکل (۳-۱۷) نشان دهنده تراز آب زیرزمینی برای مدل سازی در حالت ناپایدار می باشد.

۳-۹-۶-۲- تنش های هیدرولوژیکی

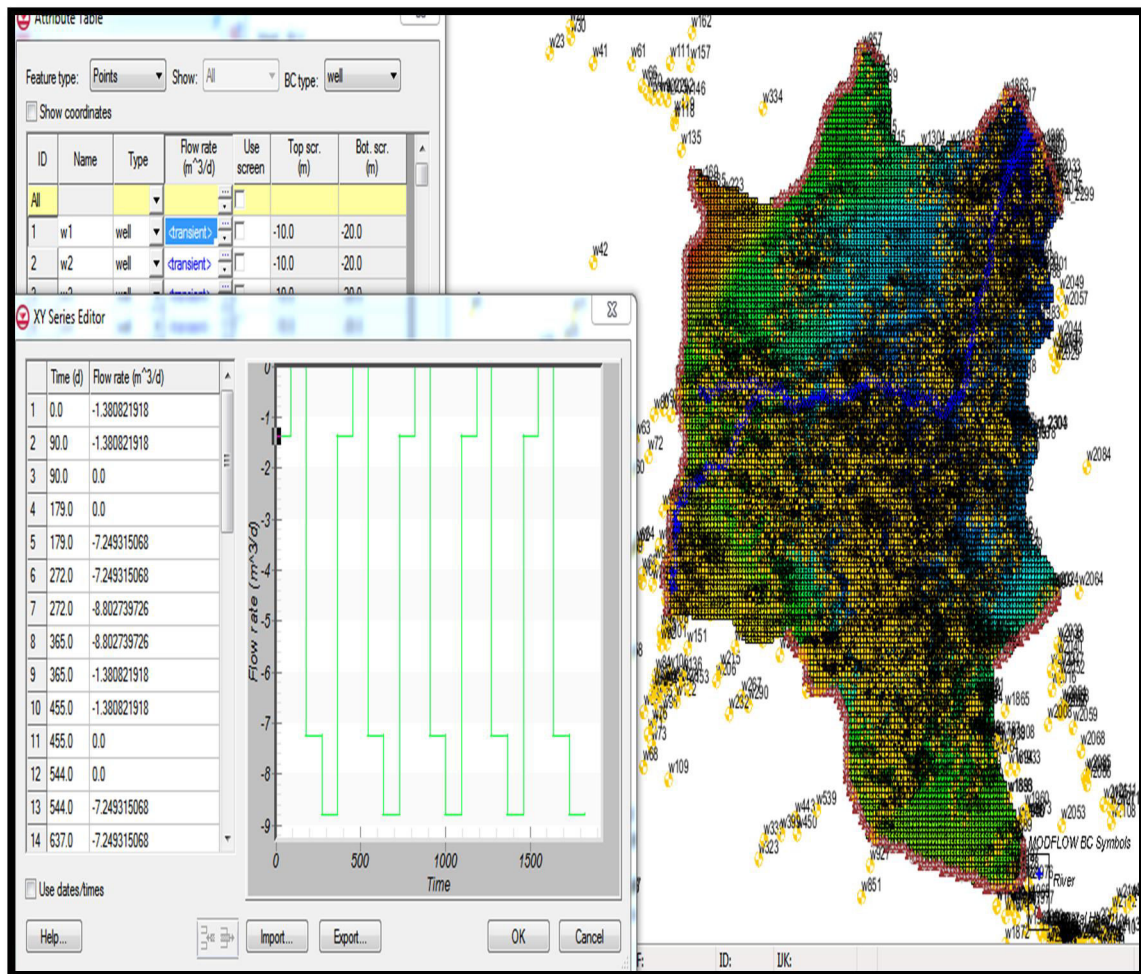
نوع تنش های وارد بر آبخوان در مدل ناپایدار مانند شرایط مدل پایدار اعمال می شود. با این تفاوت که در مدل ناپایدار مقادیر تنش ها به صورت فصلی تغییر خواهد کرد. کلیه عوامل هیدرولوژیکی مانند نفوذ ناشی از بارش برای دوره های مختلف تنش با توجه به اطلاعات موجود و میزان بارش در فصل های مختلف به سلول های شبکه اختصاص داده شده اند. میزان برداشت آب زیرزمینی توسط چاه های بهره برداری نیز در دوره های تنش براساس اطلاعات میزان برداشت هر منبع برای هر فصل برآورد گردیده و برای هر چاه بهره برداری در هر دوره تنش تعریف گردید (شکل ۳-۱۸).



شکل ۳-۱۷- مقدار دهی شرایط اولیه برای حالت ناپایدار

۳-۹-۶-۳- اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهداتی در حالت ناپایدار

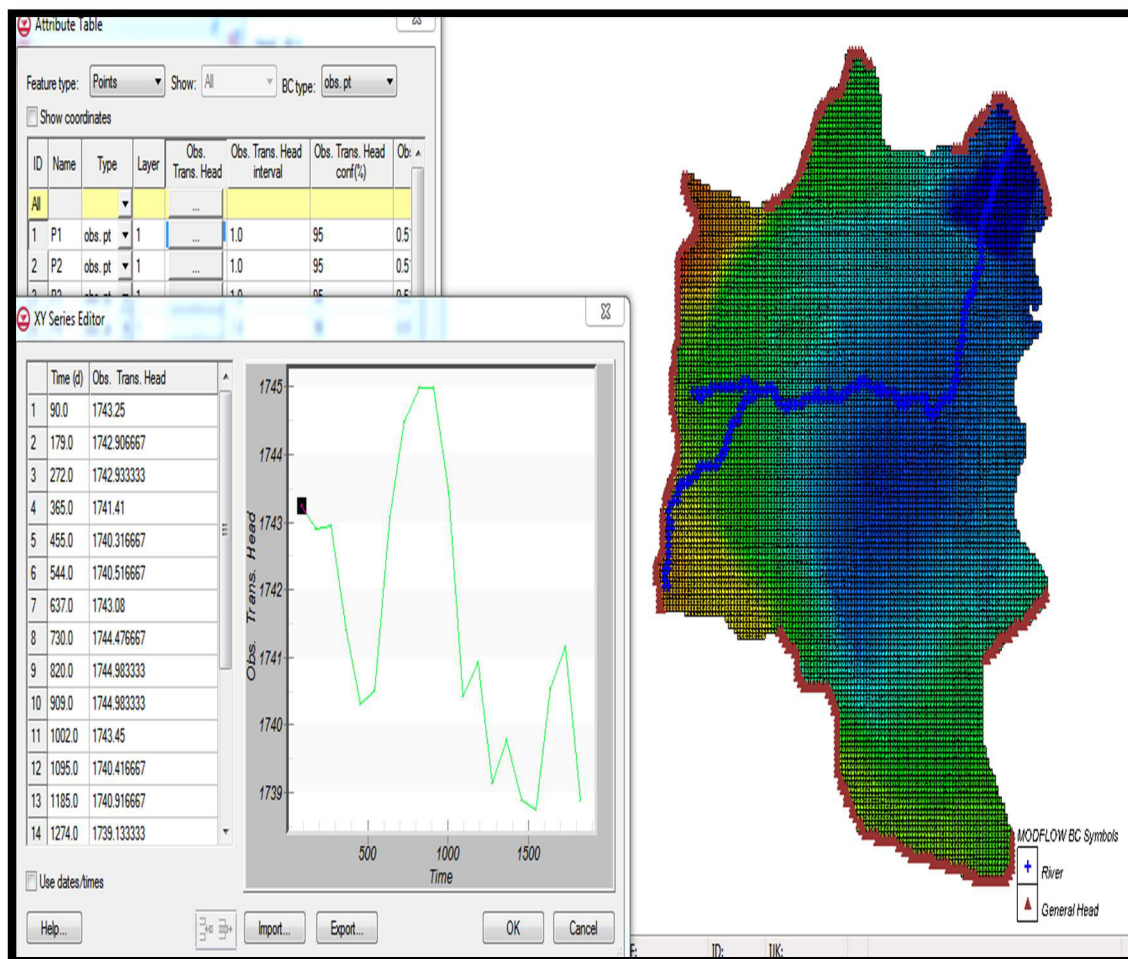
با توجه به اطلاعات ماهانه از تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی دشت همدان - بهار، داده‌های مورد نظر به صورت فصلی (مطابق با دوره‌های تنش) در طی ۵ سال مورد نظر دسته بندی شدند. برای بررسی صحت شرایط شبیه‌سازی شده توسط مدل، موقعیت و اطلاعات پیزومترها به صورت لایه مشاهداتی در مدل GMS وارد گردیده شکل (۳-۱۹) و در نهایت معیارهای آماری ارزیابی میزان خطا محاسبه شده‌اند.



شکل ۳-۱۸- مقدار دهی میزان برداشت چاه‌های بهره برداری از آب زیرزمینی

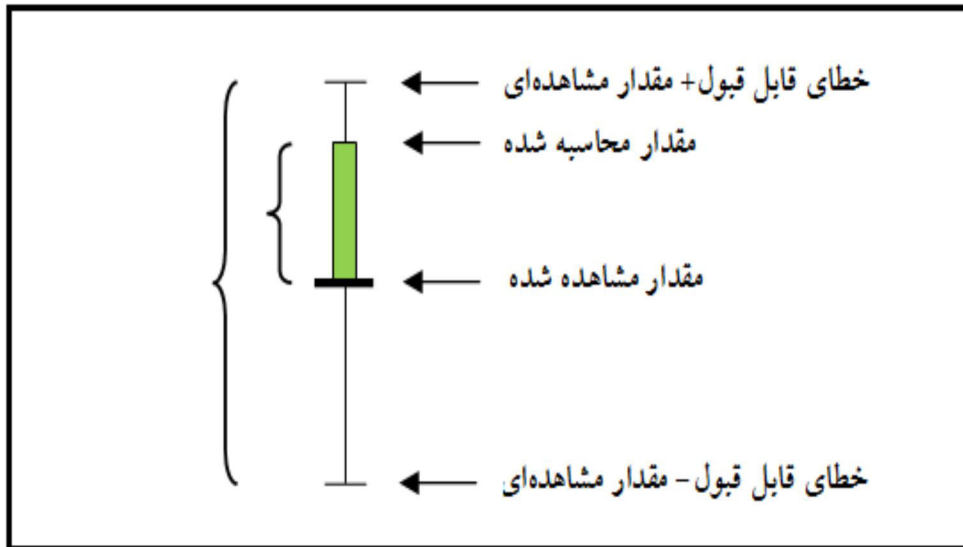
۳-۹-۷- واسنجی مدل

مرحله واسنجی را می‌توان کلید مدل‌سازی در مسائل مدیریت منابع آب زیرزمینی دانست زیرا خواص پارامترهای ورودی و شرایط مرزی مدل را برای رسیدن به بهترین میزان انطباق بین شرایط مشاهده‌ای و سیستم آب‌های زیرزمینی تعیین می‌نماید. یکی از مزایای مدل GMS، نمایش بصری میزان خطا در اختلاف تراز هیدرولیکی محاسبه شده و شبیه‌سازی شده است. در هنگام واسنجی، یک نمودار واسنجی در کنار نقاط چاه‌های مشاهده‌ای وجود دارد که پس از هر اجرای مدل، مقدار خطای تراز سطح آب شبیه‌سازی شده را در هر پیزومتر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۹- اطلاعات نوسانات سطح آب هر چاه مشاهده ای در طول دوره آماری در دوره ناپایدار

مرکز نمودار مطابق با مقدار داده مشاهداتی است و اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گیرد میله به رنگ سبز، اگر خطا در محدوده خطای قابل قبول (در این مطالعات ۱ متر) و کمتر از دو برابر خطای قابل قبول باشد، میله رنگی زرد و در صورتی که مقدار خطا بیشتر از دو برابر خطای قابل قبول باشد، میله رنگی قرمز خواهد شد شکل (۲۰-۳). بر این اساس می توان دقت مدل در شبیه سازی را نیز مورد تحلیل قرار داد.



شکل ۳-۲۰- شاخص میزان خطا در مدل

فصل چہارم

نتیجہ و بحث

۴-۱- مقدمه

طی چند سال گذشته دشت همدان - بهار خشکسالی و کمبود شدید بارندگی کمتر از میانگین سال های قبل را تجربه کرده است. این کمبود ها در مناطق نسبتا پر آب نیز مشهود بوده است و در چند سال اخیر بخش های مختلف استان به ویژه بخش های کشاورزی و منابع طبیعی را تهدید نموده است. علاوه بر کمبود بارش، توزیع نامناسب فصلی بارندگی موجب تشدید اثرات زیان بار خشکسالی شده است. توزیع نامناسب فصلی بارش از جمله خصوصیات است که ریسک پذیری زراعت را افزایش داده و همواره کشت محصول زراعی را تهدید می کند. از این رو تمرکز بیش از اندازه به منابع آب زیرزمینی و بهره برداری بیش تر موجب افت سطح آب زیرزمینی و افزایش کسری مخزن آبخوان شده است. با توجه به عدم قطعیت موجود در پیش بینی وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان و معلوم نبودن دوره های هیدرولوژیکی کم آب، عادی و مرطوب و ترتیب رخ دادن آن ها، لازم است سناریوهای مختلفی برای مدل سازی آبخوان تهیه و اجرا گردند. در این فصل از پایان نامه نتایج مدل سازی آب زیرزمینی در دشت همدان - بهار در سه بخش واسنجی، صحت سنجی و پیش بینی تراز آب زیرزمینی دوره پنج ساله (۱۳۹۵-۱۴۰۰) ارائه می گردند.

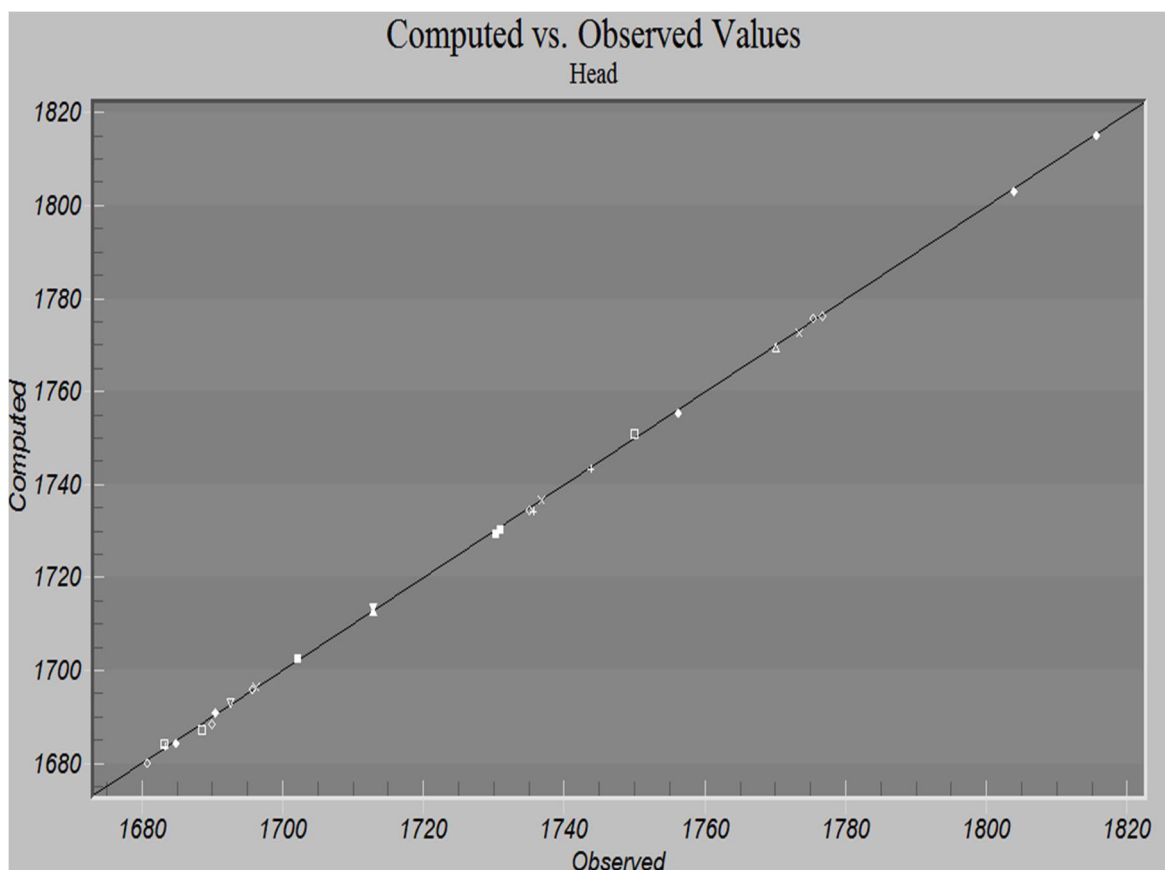
۴-۲- واسنجی مدل

در این تحقیق واسنجی مدل در سه مرحله صورت گرفت که در زیر نتایج حاصل از هر مرحله بیان می شود.

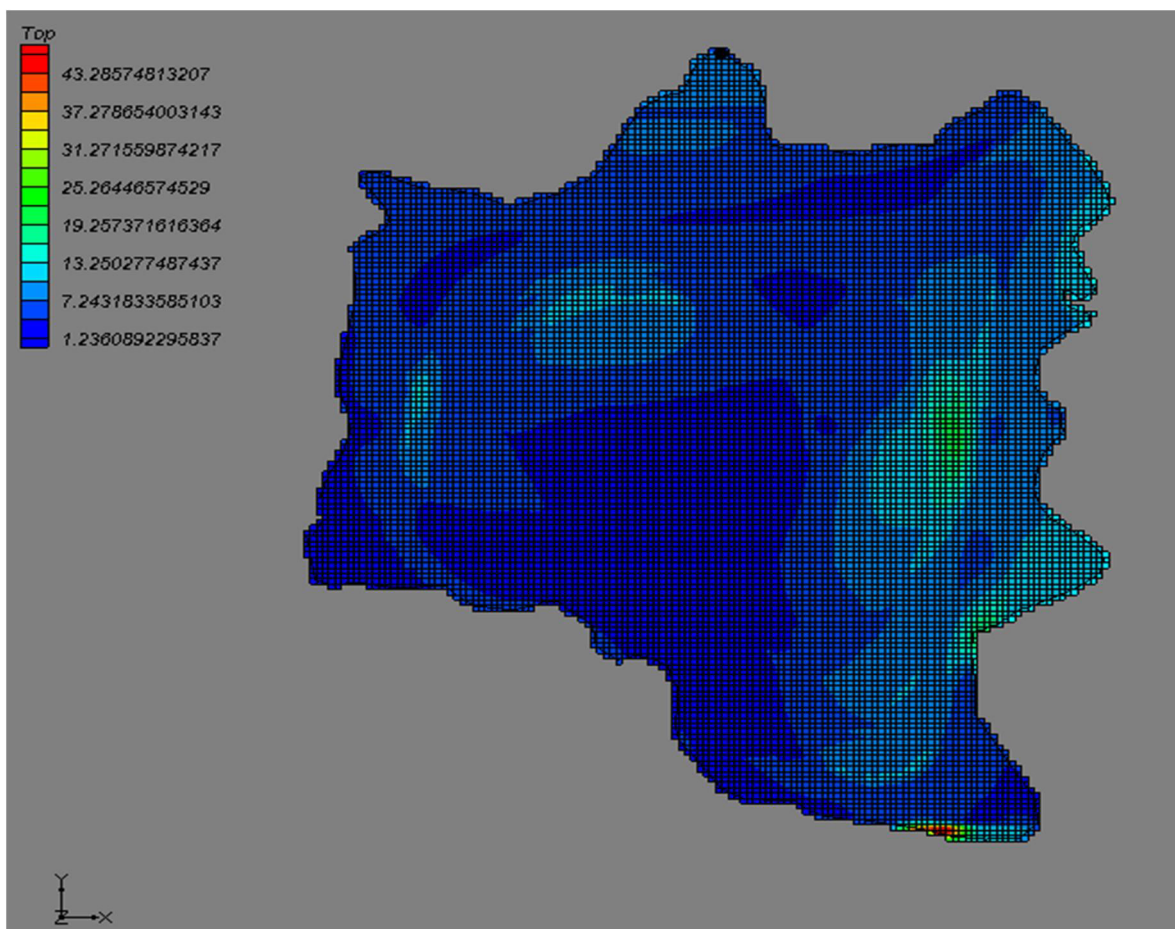
۴-۲-۱- واسنجی مدل در شرایط ماندگار جهت تخمین هدایت هیدرولیکی آبخوان

همانطور که در فصل سوم نیز بدان اشاره شد با توجه به محدودیت داده های هدایت هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه، مدل در شرایط ماندگار و برای فروردین ماه سال ۱۳۸۴ واسنجی و مقادیر هدایت هیدرولیکی در اطراف هر پیزومتر تعیین گردید. شکل (۱-۴) پیزومترهای مورد استفاده جهت

تعیین مقادیر هدایت هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همبستگی میان مقادیر تراز آب زیرزمینی محاسبه شده و مشاهداتی در پیزومترهای مورد استفاده در شکل (۴-۱) نشان داده شده‌اند ($R=1/479$). همچنین در شکل (۴-۲) و جدول (۴-۱) به ترتیب مقادیر هدایت هیدرولیکی برآورد شده برای کل منطقه مورد مطالعه و پیزومترهای مورد استفاده ارائه شده است. ریشه میانگین مربعات خطای به دست آمده در این مرحله از مدل‌سازی در حدود $1/56$ به دست آمد که نشان از کاهش عدم قطعیت‌ها در برآورد مقادیر هدایت هیدرولیکی منطقه دارد. شکل (۴-۳) موقعیت چاه‌های مشاهداتی را در محدوده دشت همدان - بهار نمایش می‌دهد.



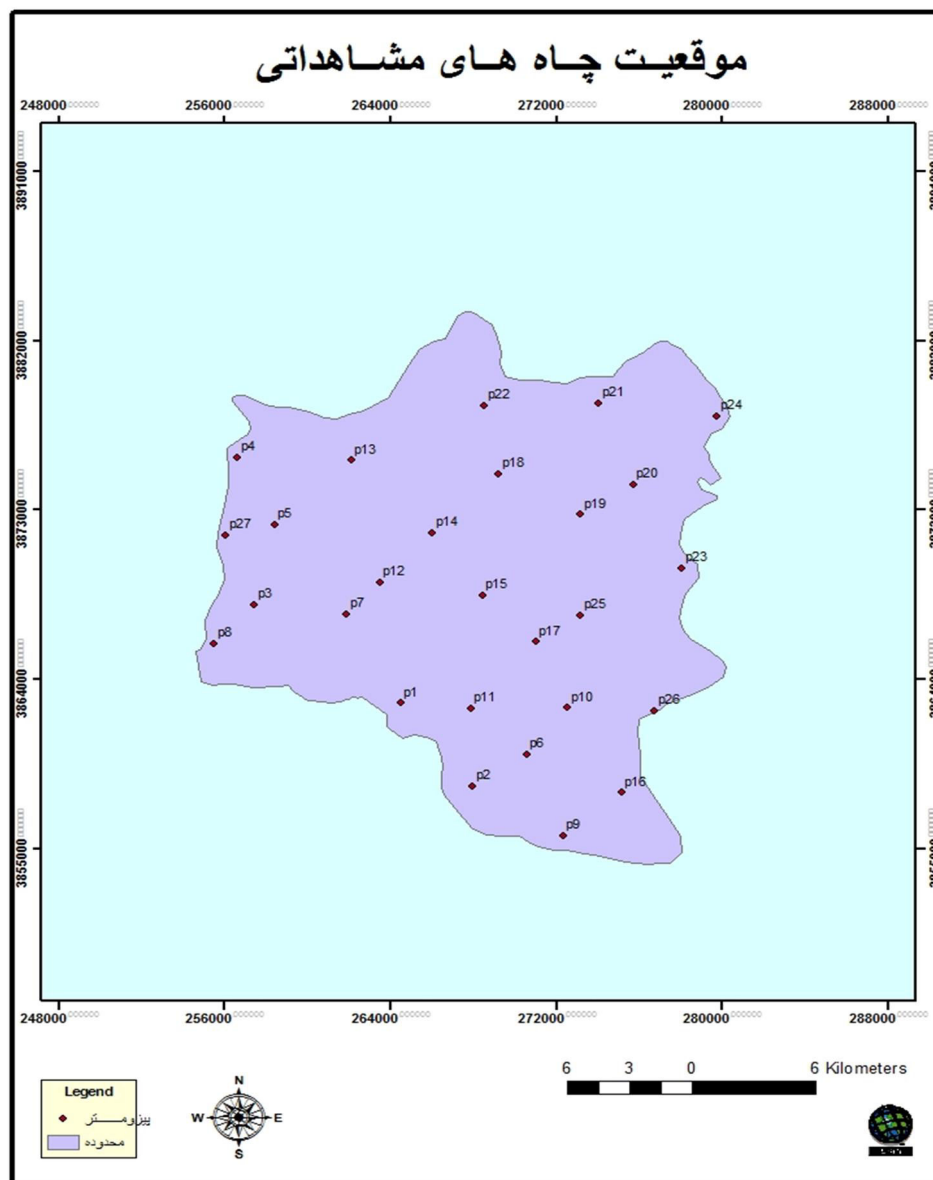
شکل ۴-۱- مقایسه بارآبی مشاهداتی و محاسباتی حاصل از واسنجی مدل در شرایط ماندگار سال ۱۳۸۴



شکل ۴-۲- نقشه هدایت هیدرولیکی به دست آمده توسط MODFLOW

جدول ۴-۱- مقادیر تخمینی هدایت هیدرولیکی توسط کد PEST

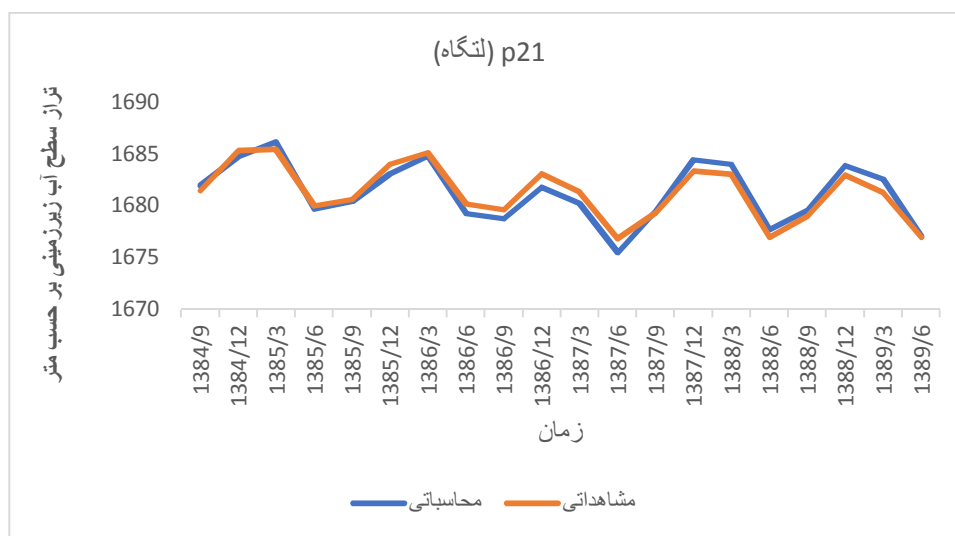
مقدار (متر بر روز)	شماره پیزومتر	مقدار (متر بر روز)	شماره پیزومتر
۲.۹۷۴	P15	۰.۱	P1
۱۱.۱۹۶	P16	۰.۲۲۳۰۵	P2
۸.۹۹۳۳	P17	۲.۹۷۴	P3
۴.۲۶۵	P18	۱۱.۸۷۱	P4
۸.۸۹۱	P19	۱۴.۵۴۱	P5
۵.۴۶۰۵	P20	۸.۹۹۳۳	P6
۰.۵۰۸۴۲	P21	۸.۸۹۱	P7
۱۹.۹۴۹	P22	۲۰.۶۸۱	P8
۸۰.۰	P23	۸۰.۰	P9
۱۶.۹۳۵	P24	۸.۹۹۳۳	P10
۱.۰۶۱۹	P25	۲.۹۷۴	P11
۲.۸۱۴۴	P26	۲.۹۷۴	P12
۱۱.۸۷۱	P27	۱۴.۵۴۱	P13
		۸.۸۹۱	P14



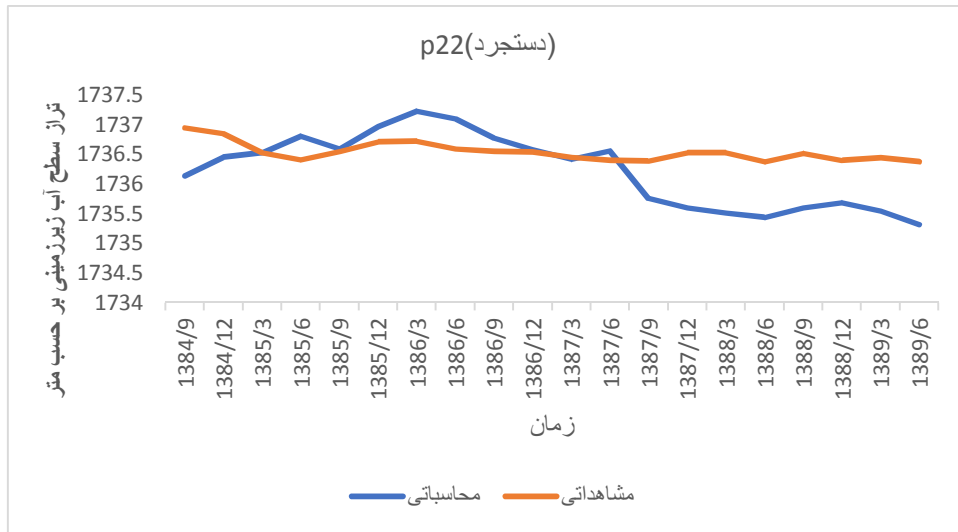
شکل ۴-۳- موقعیت چاه های مشاهده ای در دشت همدان - بهار
 ۴-۲-۲- واسنجی مدل در شرایط غیر ماندگار جهت تخمین آبدهی ویژه

با توجه به عدم وجود اطلاعات و داده‌های کافی و قابل اعتماد در مورد مقادیر ضریب ذخیره در محدوده مطالعاتی مورد نظر، مشابه شرایط ماندگار، مدل برای حالت غیرماندگار و در بازه زمانی ۵ ساله (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹) به منظور تعیین مقادیر این ضریب مورد واسنجی قرار گرفت. مقدار ضریب آبدهی ویژه با توجه به گزارش تفصیلی سازمان آب منطقه‌ای شهرستان همدان در

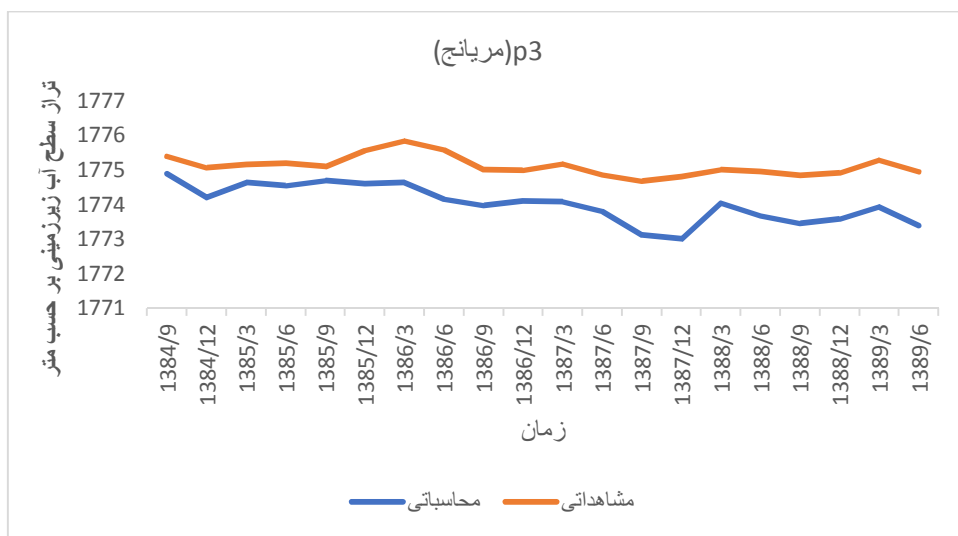
محدوده آبخوان به طور متوسط ۰/۰۵ می باشد. نتایج این مرحله از واسنجی مدل به صورت مقایسه بار آبی مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل، به عنوان نمونه برای ۱۰ پیزومتر منتخب در محدوده مورد مطالعه در شکل های (۴-۴) تا (۴-۱۳) نشان داده شده است. انتخاب این پیزومترها به نحوی بودند که پراکنش مناسبی در سرتاسر منطقه مورد مطالعه داشته باشند به طوری که شمال، جنوب، شرق، غرب و مرکز محدوده مطالعاتی نمایندگی نمایند. در هیدروگراف های مذکور محور افقی و قائم به ترتیب نشان دهنده زمان و تراز سطح آب بر حسب متر می باشد. قابل ذکر است که زمان شروع شبیه سازی مهر ماه سال ۱۳۸۴ می باشد و تقسیمات محور زمان فصلی می باشد. نتایج به دست آمده از شبیه سازی در این مرحله بیانگر نتایج رضایت بخش است به نحوی که متوسط ریشه میانگین مربعات خطا در این ۱۰ پیزومتر ($RMSE = ۱/۵۶۲$) متر متغیر بوده است.



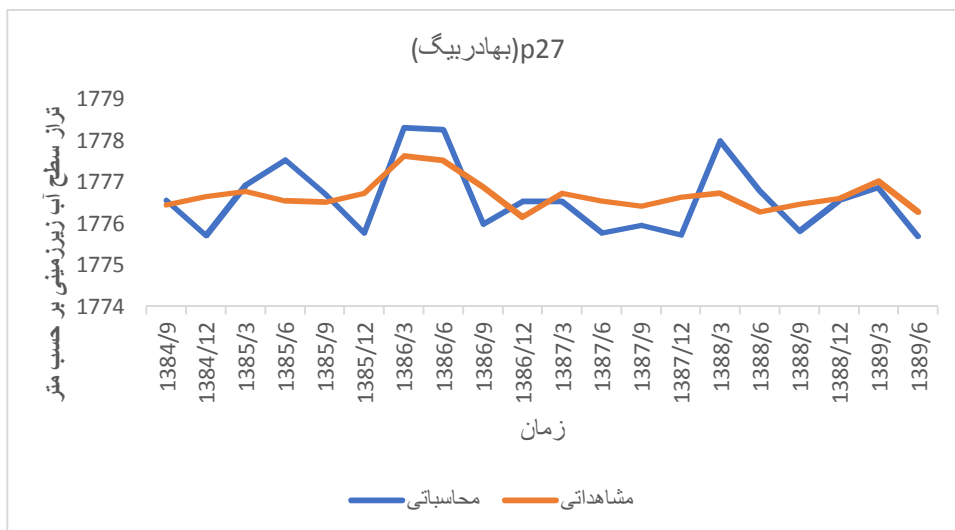
شکل ۴-۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



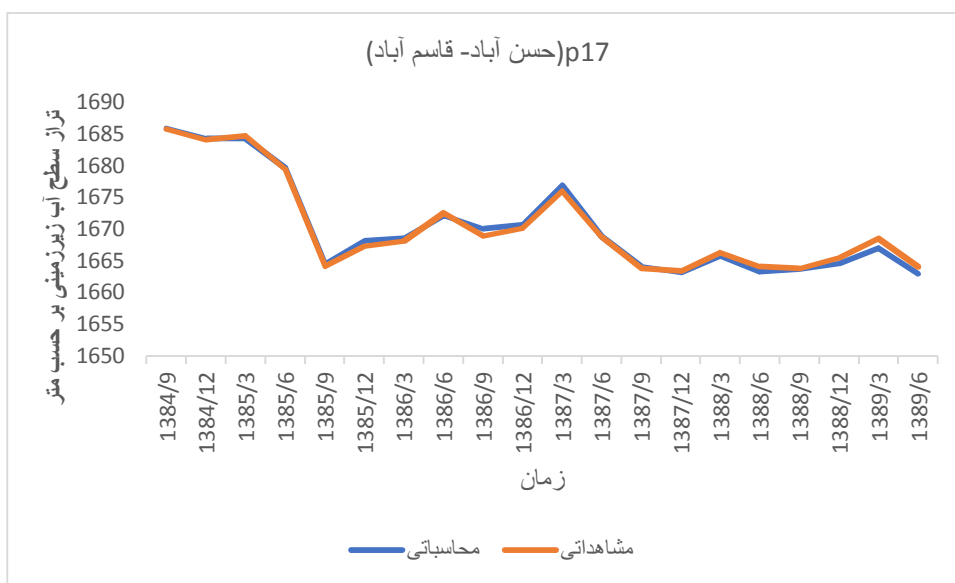
شکل ۴-۵- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



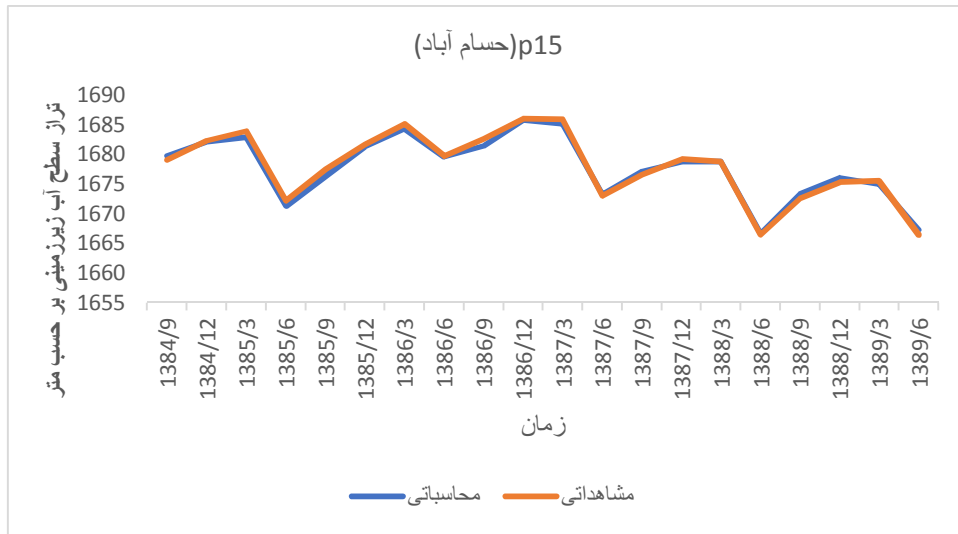
شکل ۴-۶- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



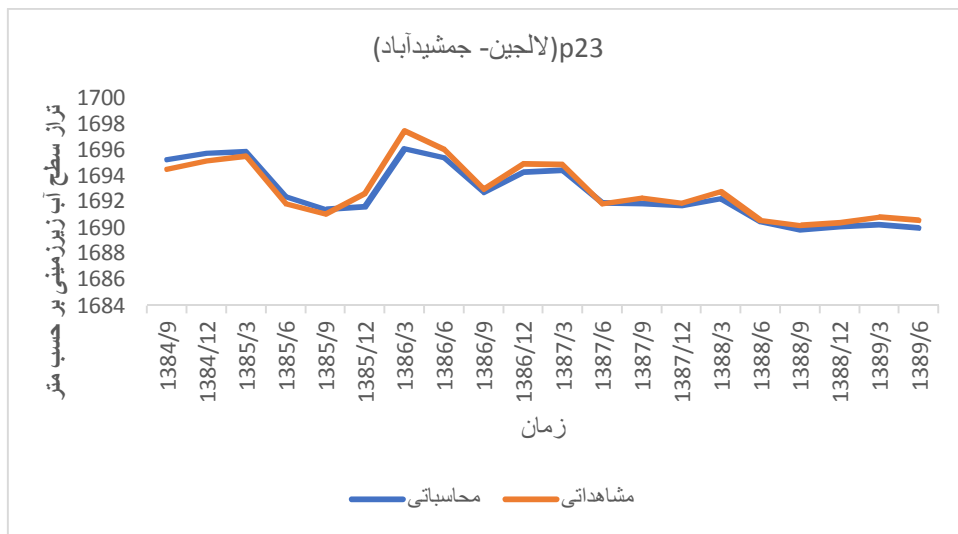
شکل ۴-۷- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



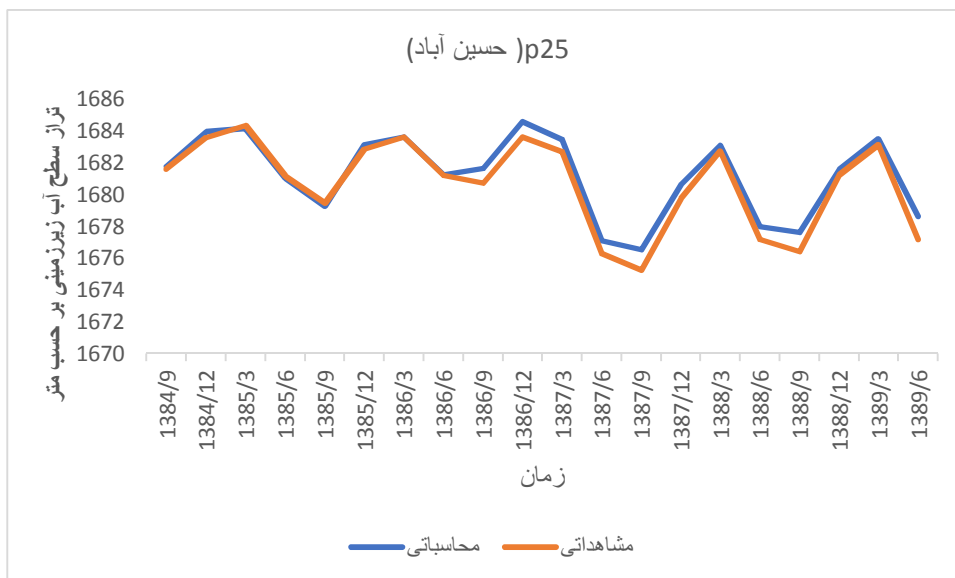
شکل ۴-۸- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



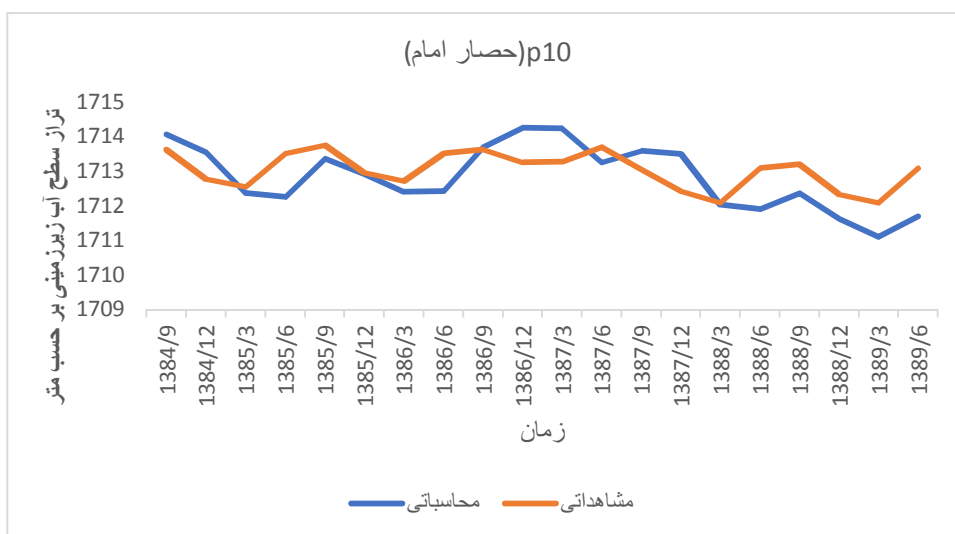
شکل ۴-۹- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



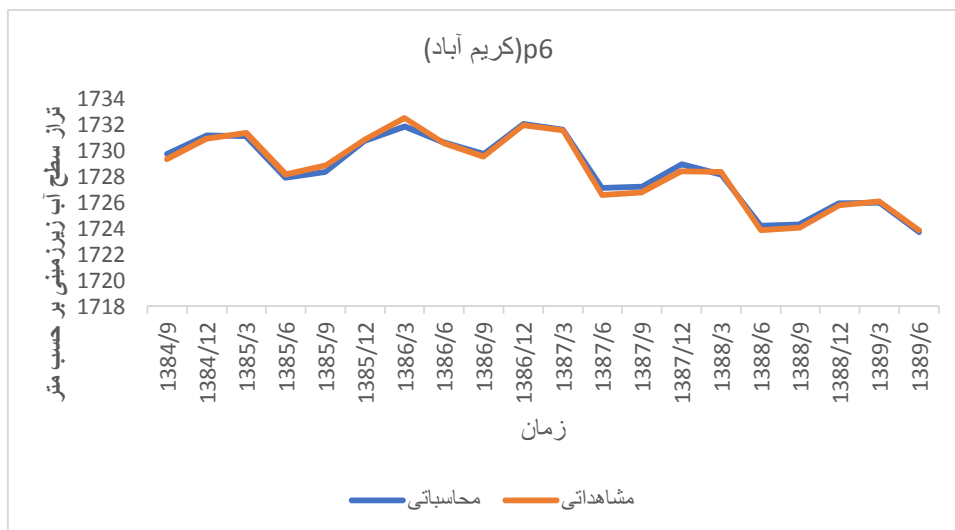
شکل ۴-۱۰- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



شکل ۴-۱۱- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



شکل ۴-۱۲- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)



شکل ۴-۱۳- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه سطح مشاهداتی و محاسباتی در دوره کالیبراسیون (مهر ۱۳۸۴ تا شهریور ۱۳۸۹)

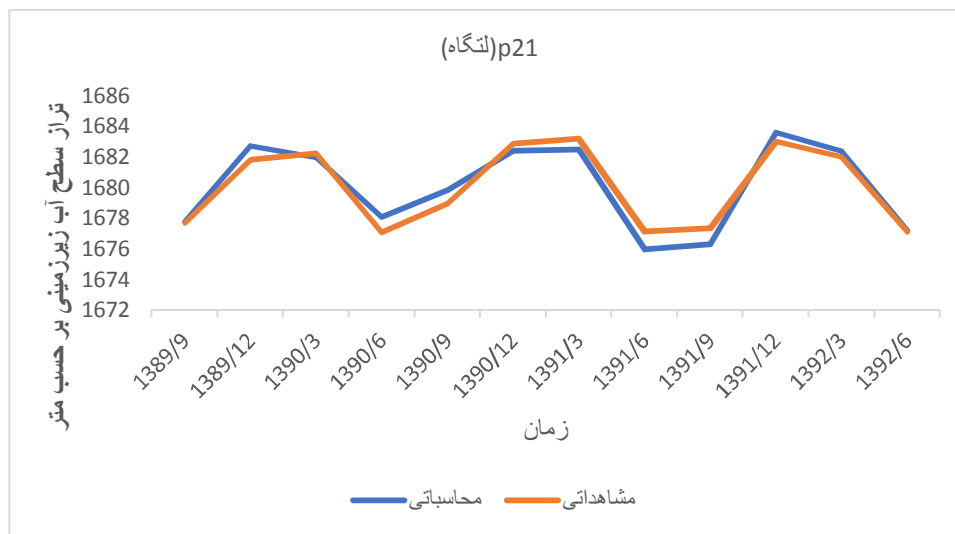
پس از تصحیح مقادیر آبدهی ویژه در شرایط ناپایدار، جریان ورودی و خروجی مدل به دو صورت دستی و خودکار واسنجی گردید، که میانگین خطاها در هریک از گام‌های زمانی در حالت ناپایدار به صورت جدول (۲-۴) نشان داده شده است. به دلیل اختلاف ناچیز آبدهی ویژه در حالت ناپایدار و مقدار ارائه شده در گزارش تفصیلی سازمان آب منطقه‌ای شهرستان همدان در محدوده آبخوان مقدار آبدهی ویژه ۰/۰۵ ارائه شده در گزارش به عنوان مقدار آبدهی ویژه در حالت ناپایدار تعیین گردید. با توجه به هیدروگراف چاه‌های مشاهداتی انتخابی میزان اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای توسط مدل کم می‌باشد. این اختلاف به دلیل عدم قطعیت داده‌های موجود برای مدل‌سازی دشت می‌باشد.

جدول ۴-۲- میانگین خطای آخرین اجرای مدل دشت همدان - بهار در حالت ناپایدار

Mean error		Mean absolute error		Root mean squared error	
Simulation	Error	Simulation	Error	Simulation	Error
1.0	0.4186360910185	1.0	1.3057876191667	1.0	1.562548010106

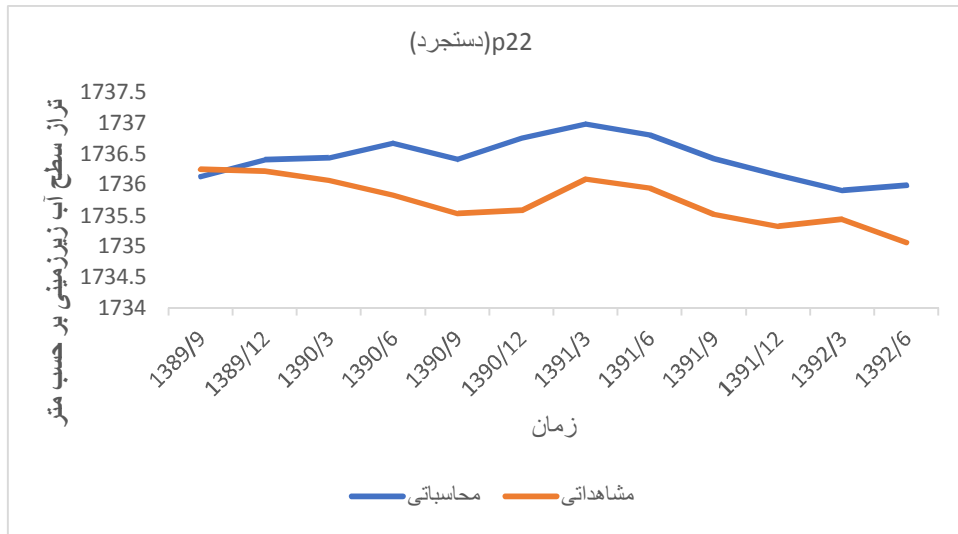
۳-۴- صحت سنجی مدل

به منظور صحت سنجی مدل واسنجی شده در آبخوان دشت همدان - بهار از داده‌های مربوط به مهر ماه سال‌های ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۱ (دوره ۳ ساله) استفاده شد. این مرحله از مدل‌سازی برای بررسی صحت مدل در حالت ناپایدار صورت گرفت. نتایج این مرحله برای پیژومترهای منتخب در مرحله واسنجی در شکل‌های (۴-۱۴) تا (۴-۲۳) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از صحت سنجی در این مرحله بیانگر نتایج رضایت بخش است به نحوی که متوسط ریشه میانگین مربعات خطا در این ۱۰ پیژومتر ۱/۵۲۶ می‌باشد. مقدار خطا در این مرحله بیانگر قابل قبول بودن مدل در حالت واسنجی می‌باشد.

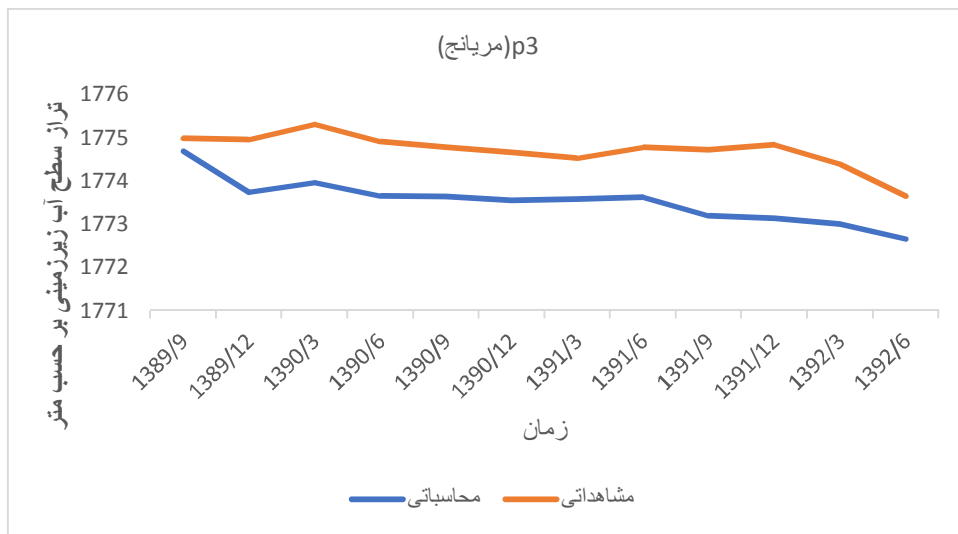


شکل ۴-۱۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر

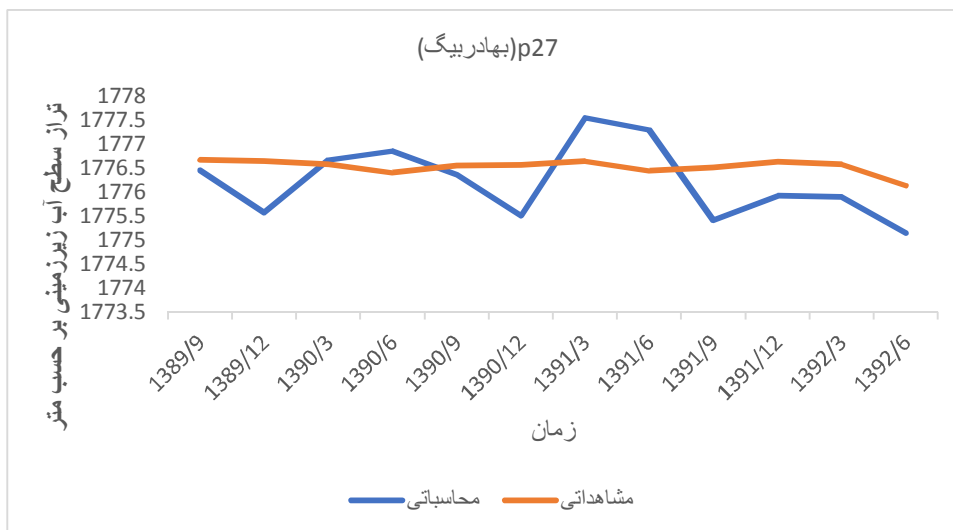
۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



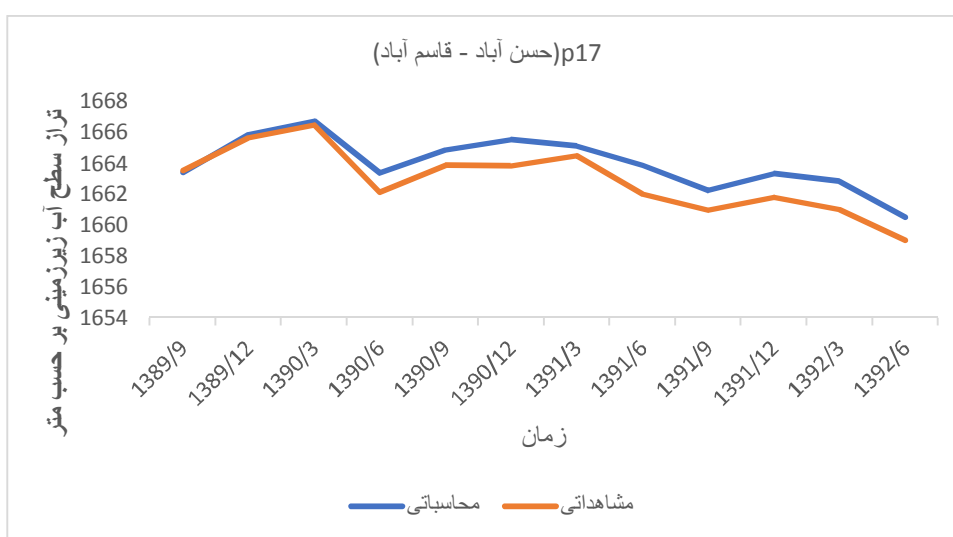
شکل ۴-۱۵- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



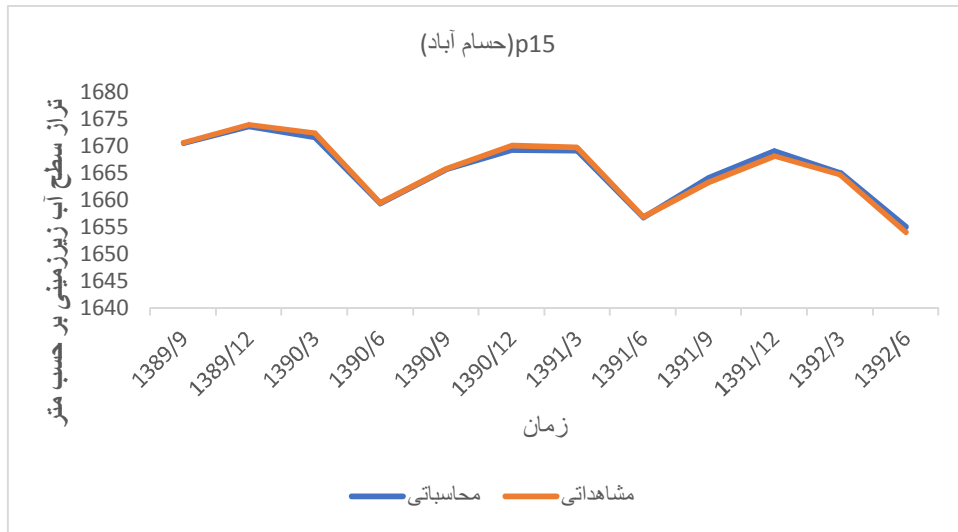
شکل ۴-۱۶- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



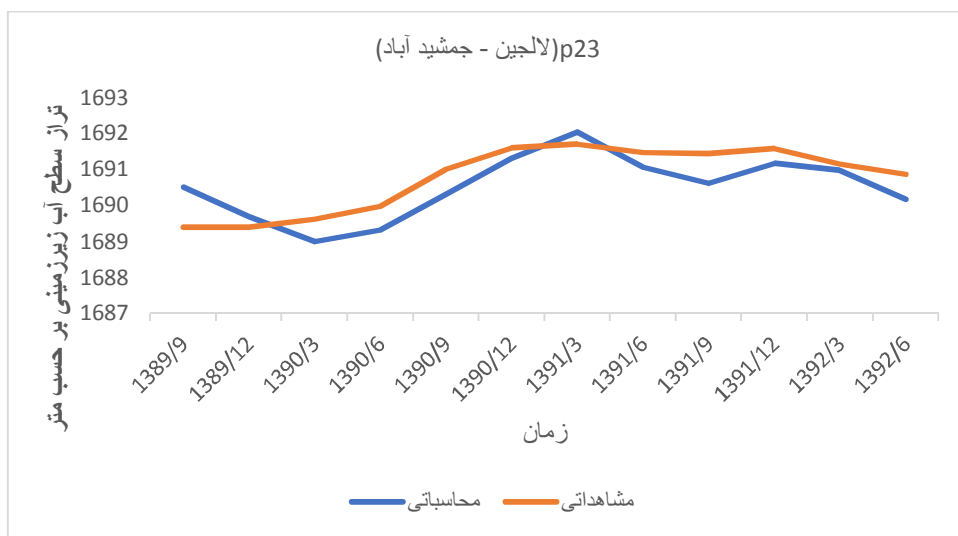
شکل ۱۷-۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



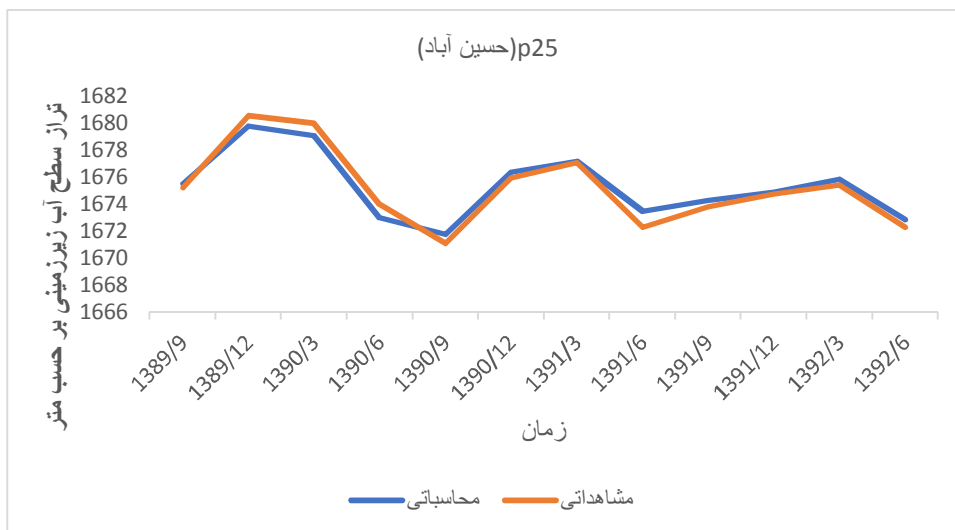
شکل ۱۸-۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



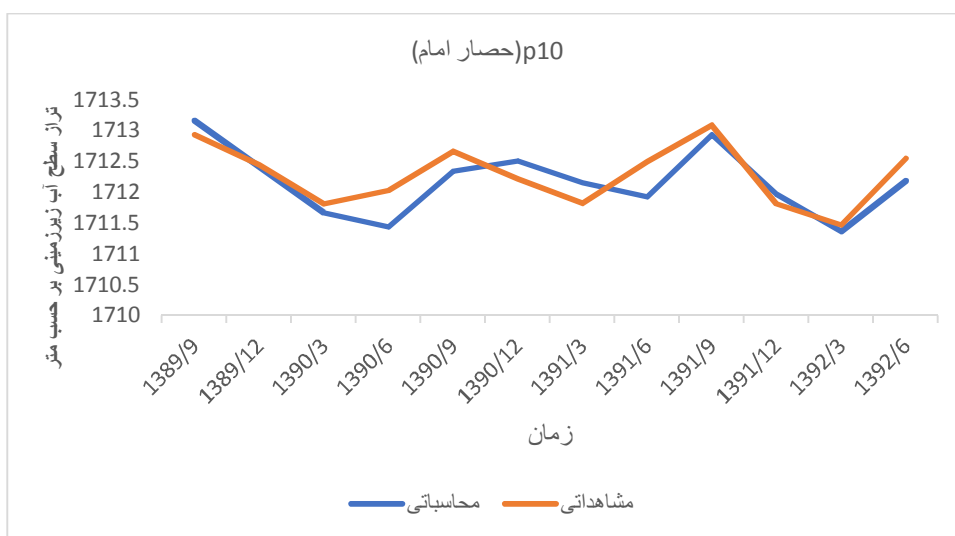
شکل ۴-۱۹- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



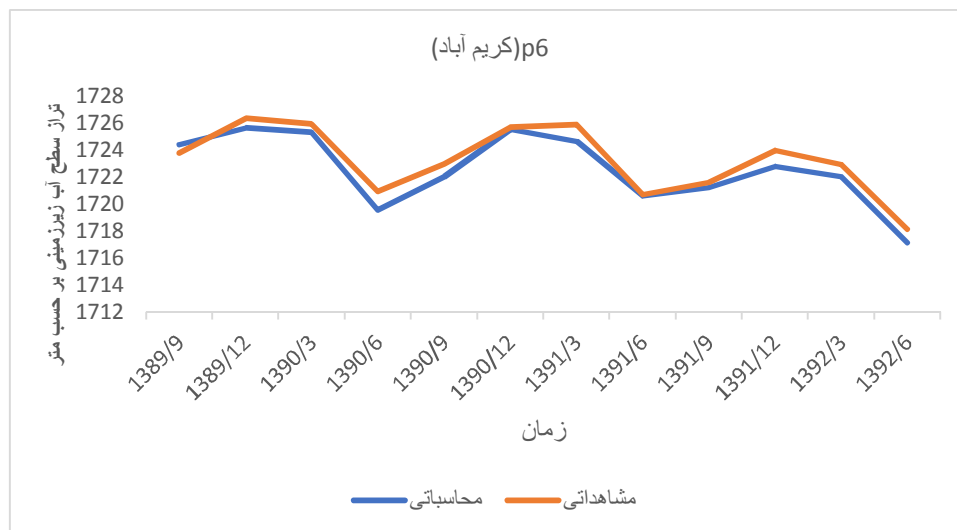
شکل ۴-۲۰- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



شکل ۲۱-۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



شکل ۲۲-۴- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)



شکل ۴-۲۳- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی در دوره صحت سنجی (مهر ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۲)

نتایج مرحله صحت سنجی بیان می کند که ضرایب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه و میزان تغذیه و تخلیه صورت گرفته از دشت در حالت پایدار و ناپایدار به خوبی کالیبره شده است و اختلاف کم بین نتایج به دست آمده در حالت ناپایدار و صحت سنجی بیانگر این موضوع می باشد. در این مرحله اختلاف موجود در نتایج صحت سنجی و کالیبراسیون به دلیل عدم قطعیت داده های موجود می باشد، به گونه ای که نادرستی داده های به کار برده شده در مرحله صحت سنجی می تواند عامل اختلاف نتایج موجود در مرحله صحت سنجی و کالیبراسیون باشد.

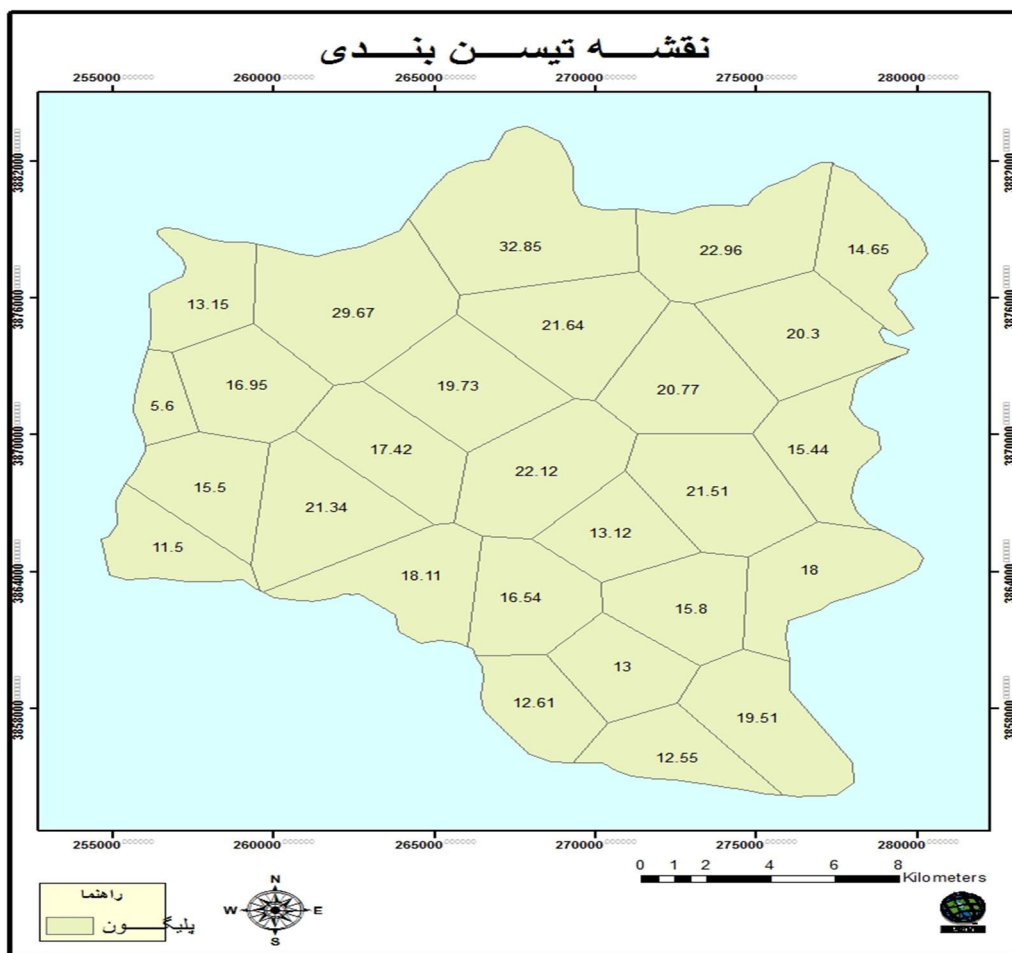
۴-۴- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در هر پیزومتر برای دوره ۵ ساله

در این تحقیق پس از واسنجی و صحت سنجی مدل آب زیرزمینی دشت همدان - بهار، مدل مذکور با اعمال استرس های مورد نظر و سناریوهای مدیریتی به منظور پیش بینی وضعیت آینده آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. برای پیش بینی وضعیت آبخوان ابتدا باید شرایط احتمالی را به صورت لایه های اطلاعاتی برای مدل تعریف کرد. در این مرحله هیدروگراف سطح آب زیرزمینی در دوره پیش بینی ۵ ساله (شهریور ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۴۰۰) و نتایج حاصل از پیش بینی مدل، طبق

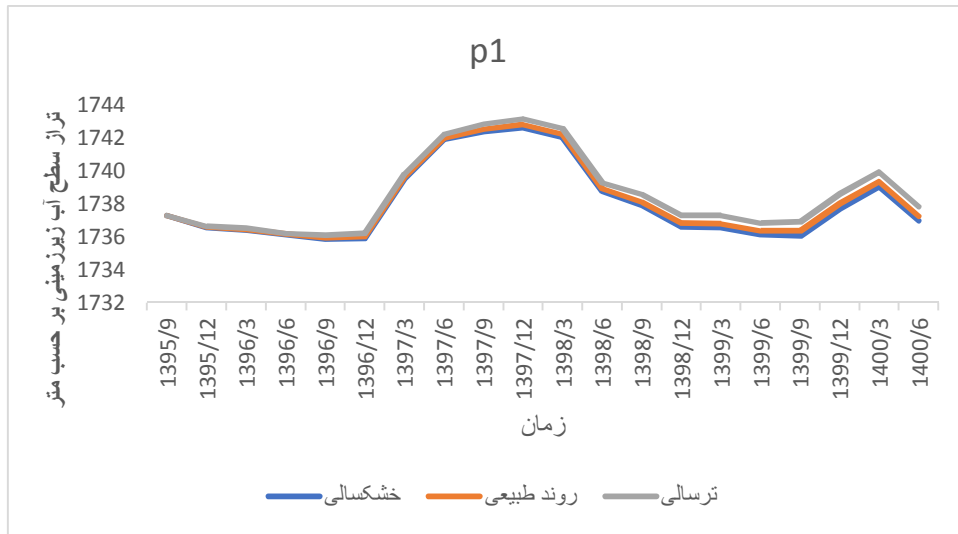
سناریوهای ترسالی، روند طبیعی و خشکسالی برای پیژومترهایی که به صورت انتخابی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه مشخص و توزیع شده اند، به دست آمد. در این مرحله میزان بارش در سناریوهای ترسالی و خشکسالی به ترتیب دو برابر و نصف مقدار اولیه لحاظ گردید. شکل (۲۵-۴) نقشه تیسن بندی دشت همدان - بهار را نشان می دهد که می توان مساحت مناطق مورد نظر در این پیژومترها را محاسبه و حجم آب خروجی از آن مناطق را با توجه به سطحی که هر پیژومتر در بر می گیرد، به دست آورد. برای پیش بینی سطح آب در شهریور ۱۳۹۵ به عنوان شرایط اولیه به مدل داده شد. نتایج حاصل از پیش بینی پیژومترهای p۱، p۶، p۷، p۱۰، p۱۵، p۱۸، p۱۹، p۲۰، p۲۲، p۲۶ و p۲۷ در شکل (۲۶-۴) تا (۳۶-۴) آمده است. همانطور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود در کلیه سناریوهای در نظر گرفته شده سطح آب زیرزمینی دشت در پنج سال آینده به طور میانگین به میزان ۳ متر افت خواهد نمود. همچنین با توجه به شکل (۲۵-۴) می‌توان مساحت مناطق مورد نظر در این پیژومترها را محاسبه و حجم آب خروجی از آن مناطق را با توجه به سطحی که هر پیژومتر در بر می‌گیرد، به دست آورد. با توجه به نقشه تیسن بندی (شکل ۴-۲۵) پیژومترهای p۱، p۶، p۷، p۱۰، p۱۵، p۱۸، p۱۹، p۲۰، p۲۲، p۲۶ و p۲۷ به ترتیب مساحتی در حدود ۱۸/۱۱، ۱۳، ۲۱/۳۴، ۱۵/۸، ۲۲/۲۱، ۲۱/۶۴، ۲۰/۷۷، ۲۰/۳، ۳۲/۸۵، ۱۸، ۵/۶ کیلومتر مربع از مساحت دشت را پوشش داده اند. با توجه به مساحت و ضریب ذخیره این مناطق میزان تخلیه در هر منطقه در جدول (۲-۴) آمده است. پیژومترهای p۱ و p۲۷ به دلیل نزدیکی به مرزهای ورودی بیشتر تحت تاثیر جریان‌ات ورودی از این مرزها و تراکم کمتر چاه‌های بهره‌برداری در این مناطق قرار داشته، در نتیجه افت ناشی از تغییرات بارش بر این پیژومترها کم است و تغییرات سطح آب زیرزمینی در سه سناریوی مختلف بهم نزدیک می‌شود. پیژومترهای p۱۵، p۱۸، p۱۹، p۲۰ و p۲۷ به دلیل قرار گیری در مناطق پر تراکم چاه‌های بهره‌برداری و دوری از مرزهای ورودی افت بیشتری نسبت به سایر پیژومترهای آبخوان خو

جدول ۴-۲- میزان تخلیه در هر منطقه با توجه به نقشه تیسین بندی

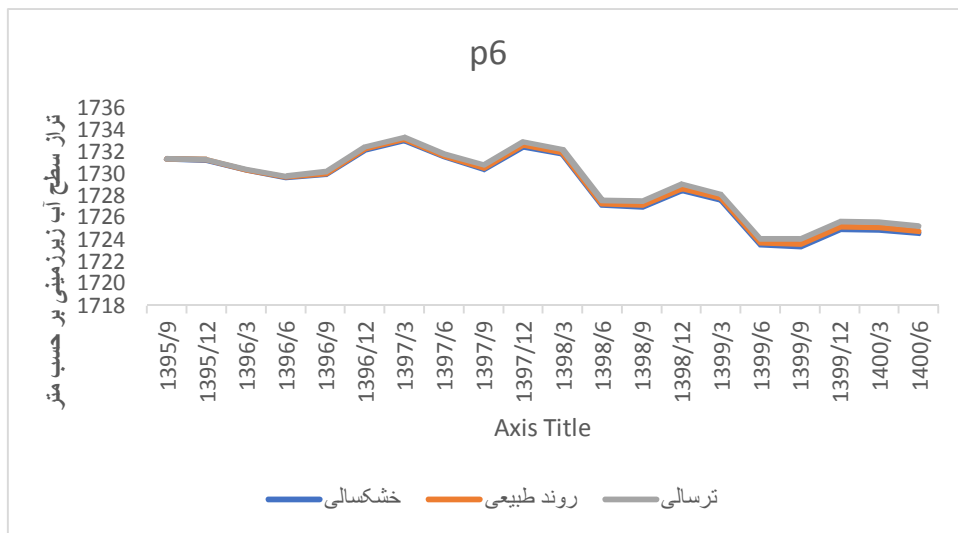
ردیف	پیزومتر	مساحت (کیلومتر مربع)	ضریب ذخیره	افت	تخلیه
۱	p۱	۱۸/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۵۴	۰/۰۴۸
۲	p۶	۱۳	۰/۰۵	۶/۵۶	۴/۲۶۴
۳	p۷	۲۱/۳۴	۰/۰۵	۲/۲۸	۲/۴۳
۴	p۱۰	۱۵/۸	۰/۰۵	۶/۴	۵/۰۵
۵	p۱۵	۲۲/۲۱	۰/۰۵	۳/۷۲	۴/۱۳
۶	p۱۸	۲۱/۶۴	۰/۰۵	۳/۵۲	۳/۸
۷	p۱۹	۲۰/۷۷	۰/۰۵	۳/۸	۳/۹۴
۸	p۲۰	۲۰/۳	۰/۰۵	۵/۴۴	۵/۵۲
۹	p۲۲	۳۲/۸۵	۰/۰۵	۱/۵۲	۲/۴۹
۱۰	p۲۶	۱۸	۰/۰۵	۱/۴۹	۱/۳۴
۱۱	p۲۷	۵/۶	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۰۹۲۴



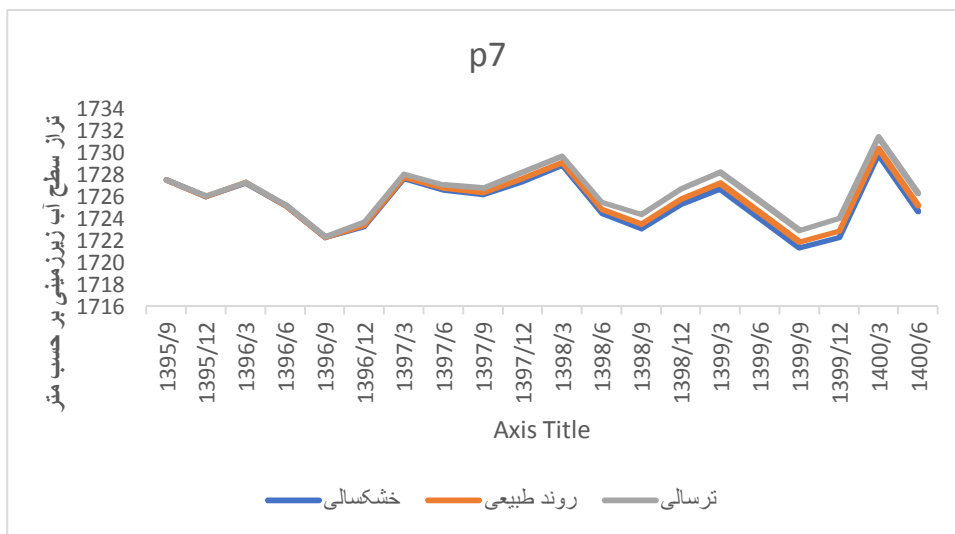
شکل ۴-۲۴- نقشه تیسن بندی و مساحت مربوط به هر یک از پیزومترهای دشت همدان - بهار



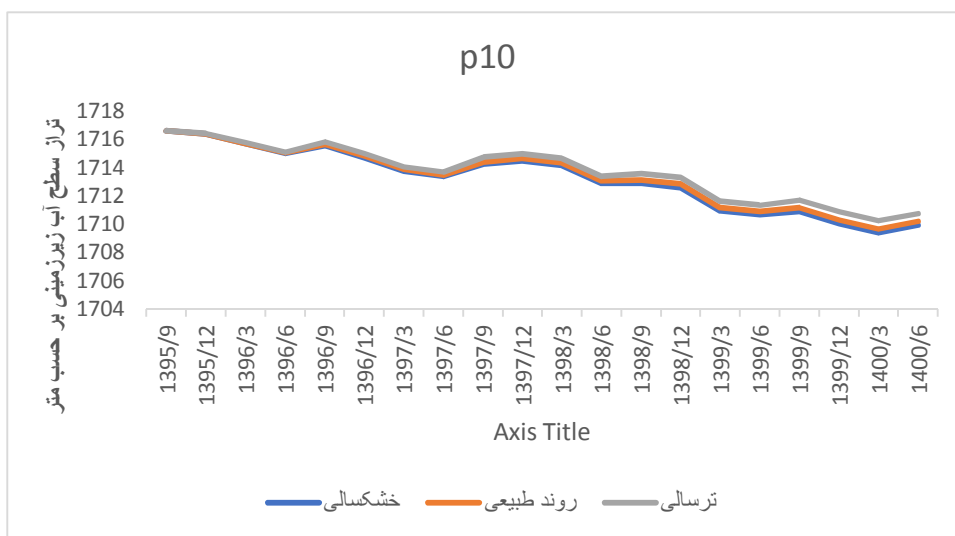
شکل ۴-۲۵- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۱



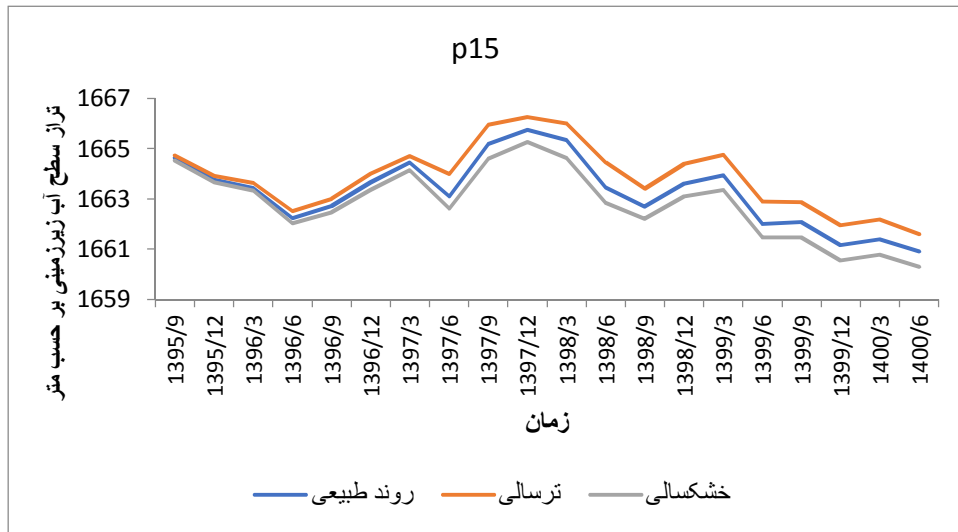
شکل ۴-۲۶- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۶



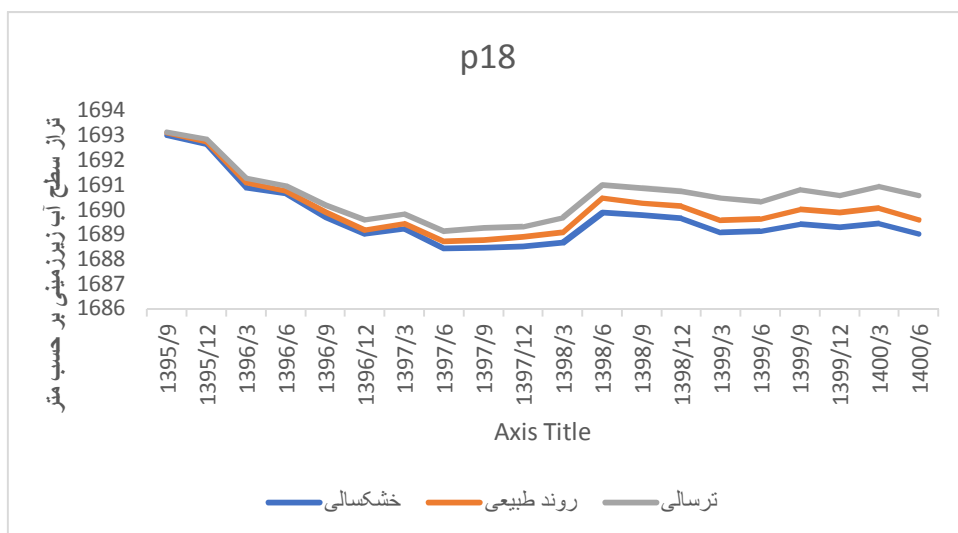
شکل ۴-۲۷- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۷



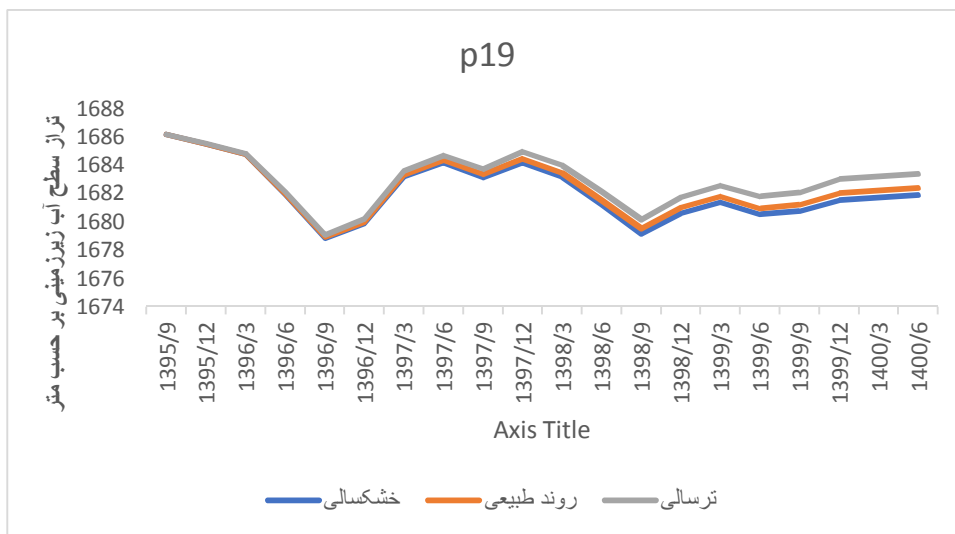
شکل ۴-۲۸- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۱۰



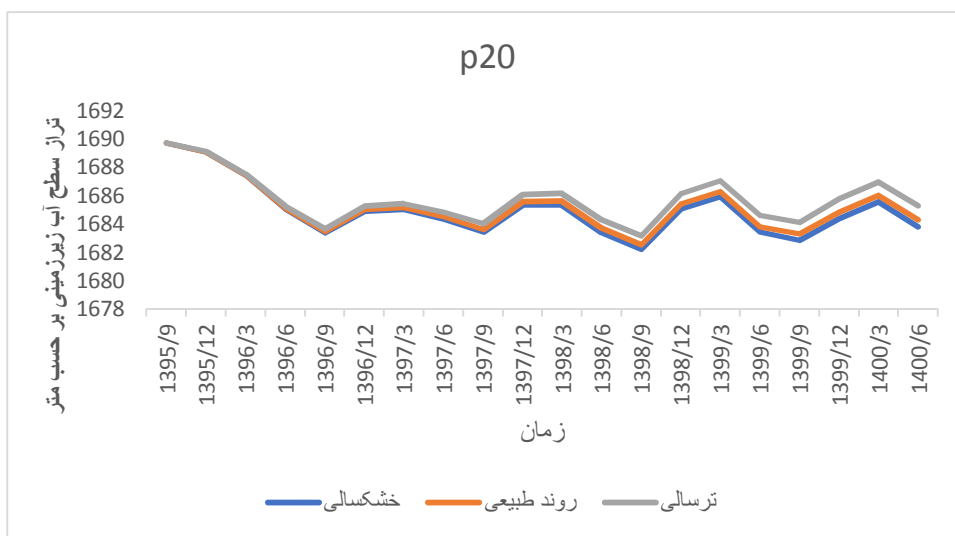
شکل ۴-۲۹- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومتر شماره ۱۵



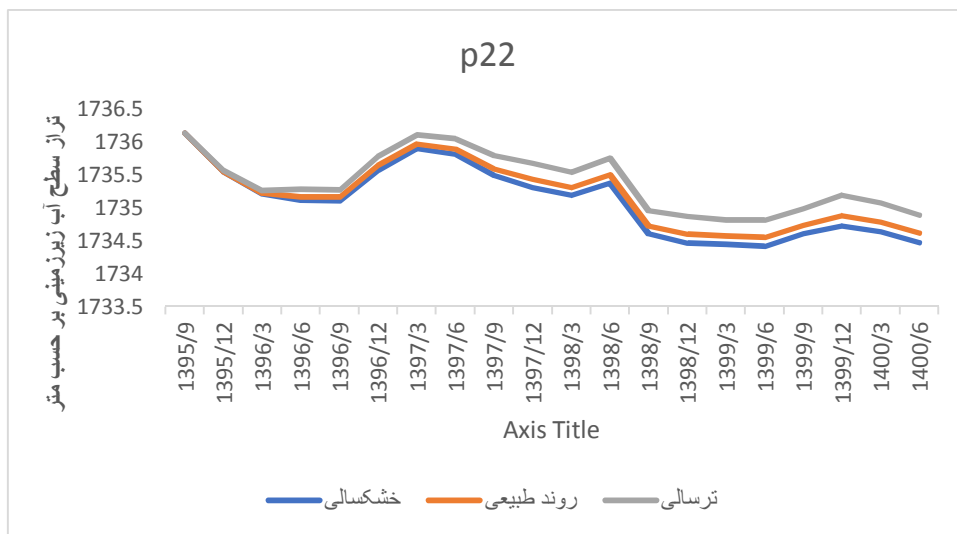
شکل ۴-۳۰- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیزومتر شماره ۱۸



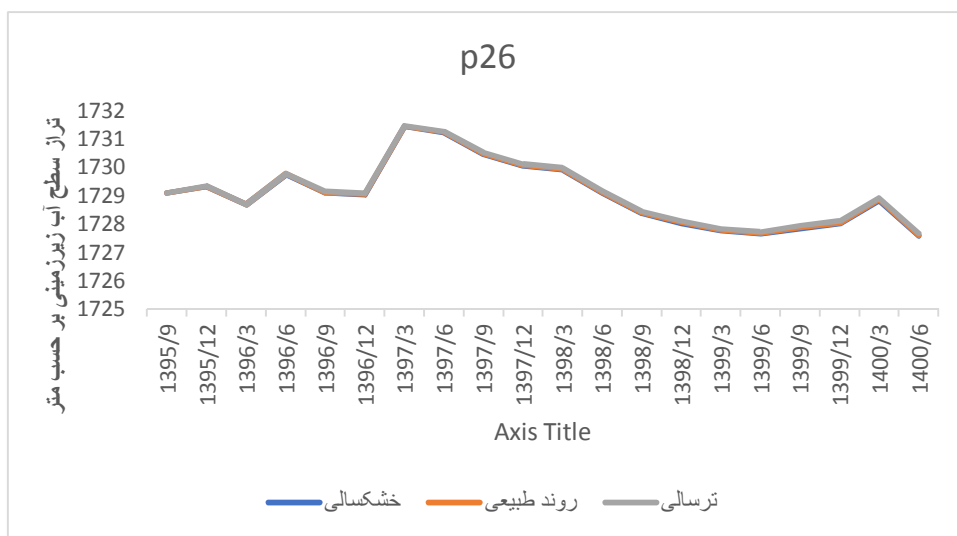
شکل ۴-۳۱- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۱۹



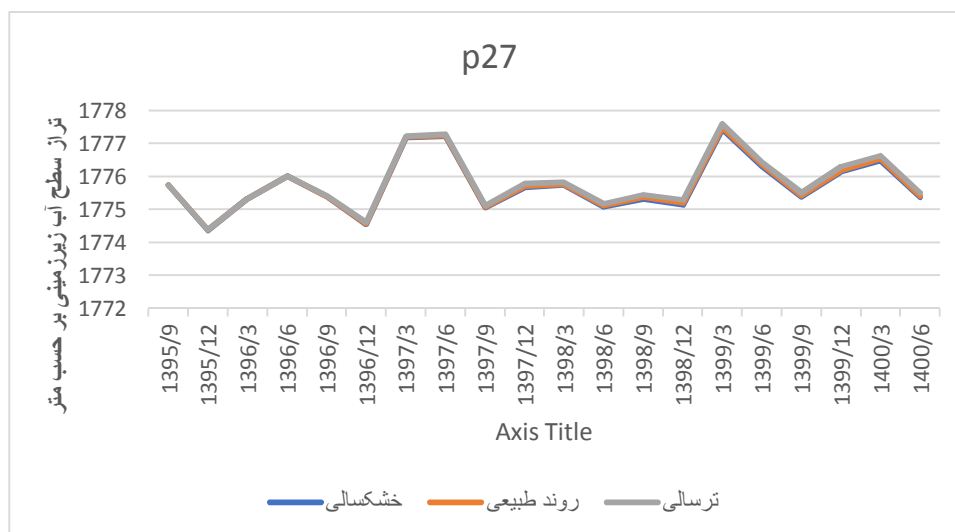
شکل ۴-۳۲- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۲۰



شکل ۴-۳۳- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۲۲

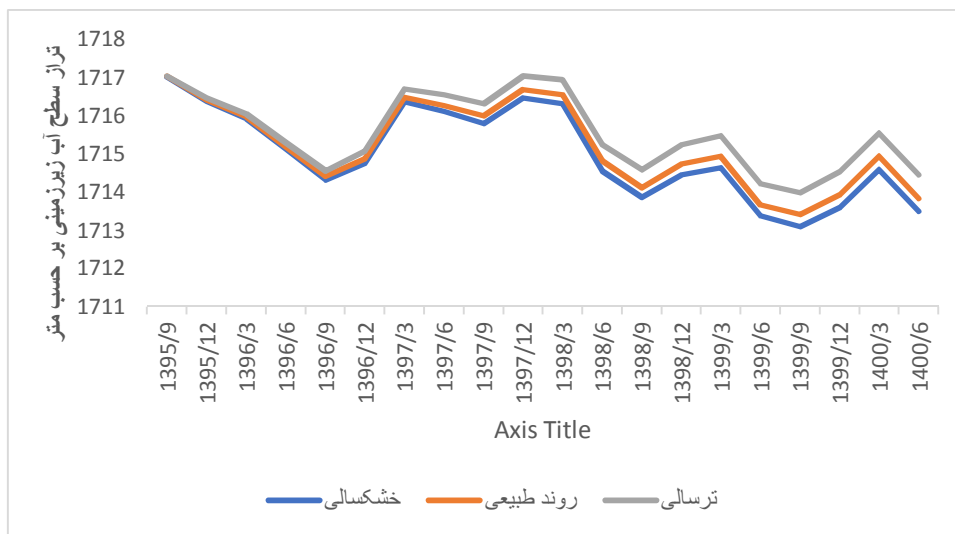


شکل ۴-۳۴- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۲۶



شکل ۴-۳۵- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۴۰۰ تحت سناریوهای مختلف مدیریتی، پیژومتر شماره ۲۷

شکل (۳۶-۴) وضعیت میزان میانگین افت تراز آب زیرزمینی در کل دشت را برای دوره ۵ ساله پیش بینی مورد مطالعه در سه حالت طبیعی، ترسالی و خشکسالی نشان می دهد. براساس نتایج به دست آمده در صورت بروز هر یک از حالت های خشکسالی، روند طبیعی و ترسالی به طور تقریبی افتی معادل ۳/۵، ۳/۱۹ و ۲/۵۹ متر را در تراز آب زیرزمینی دشت شاهد خواهیم بود. با در نظر گرفتن مساحت کل آبخوان دشت همدان - بهار و متوسط ضریب ذخیره ۰/۰۵ میزان تخلیه آبخوان در حدود ۷۷ میلیون متر مکعب خواهد بود که با توجه به شرایط فعلی بارندگی منطقه جبران چنین کمبودی ممکن نخواهد بود.

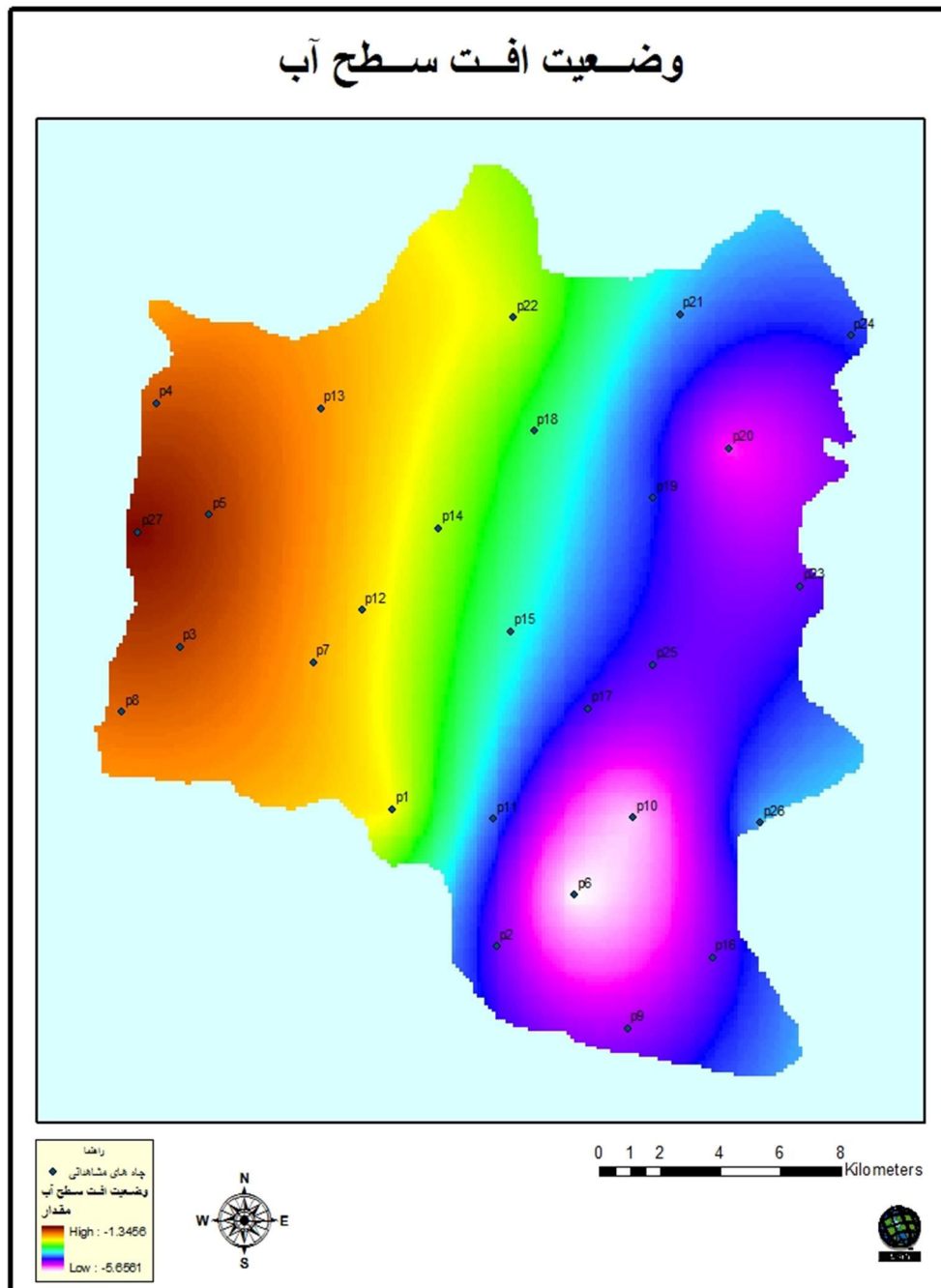


شکل ۴-۳۶- هیدروگراف پیش بینی سطح آب میانگین پیرومترهای انتخابی در سناریوهای مورد مطالعه (شهریور ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۴۰۰)

۴-۵- نقشه هم افت سطح ایستابی آبخوان

شکل (۳۷-۴) بیانگر نقشه هم افت تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان - بهار نسبت به شرایط ماندگار در دوره ۵ ساله پیش بینی می‌باشد. اولین و مهم‌ترین هدف تهیه این نقشه‌ها، تعیین نقاط بحرانی سفره می‌باشد. به بیان دیگر نقشه مذکور تعیین کننده نواحی از آبخوان است که به دلیل موقعیت مکانی، شرایط هیدرودینامیکی و میزان برداشت در معرض افت شدید بوده و بایستی سناریوهای مدیریتی جدی‌تری در مورد آن‌ها اعمال گردد. با توجه به نقشه مذکور، بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در منطقه جنوبی دشت حدود ۵/۶ متر خواهد بود که با توجه به بهره‌برداری بیشتر در این مناطق، افت بیشتر تراز آب زیرزمینی در این مناطق قابل توجیه است. کمترین میزان افت (۱/۳) به مناطق غربی دشت که در دامنه رشته کوه الوند قرار دارد باز می‌گردد. در این مناطق به دلیل نزدیکی به مرزهای ورودی و تراکم کمتر چاه‌های بهره‌برداری، میزان افت کمتر بوده است. براساس نتایج به دست آمده از شکل (۳۸-۴) میانگین افت سطح آب در کل دشت در حدود ۳/۵۴ متر به دست آمده است. با توجه به نقشه میزان افت تراز آب زیرزمینی از نواحی مرتفع حاشیه رشته کوه الوند به صورت صعودی بر میزان افت تراز آب زیرزمینی افزوده شده است. در مناطق جنوبی و شرقی

منتهی به خروجی دشت بیشترین مقدار افت و در نواحی غربی حاشیه رشته کوه الوند کمترین میزان افت را نشان می دهد.



شکل ۴-۳۷- نقشه هم افت تراز آب زیرزمینی

فصل پنجم

نتیجہ گیری و شہادت

۵-۱- خلاصه تحقیق و نتایج

مدل‌سازی دشت همدان - بهار باعث شد تا درک و فهم خوبی در رابطه با منابع آب زیرزمینی و آب سطحی محدوده مورد مطالعه به دست آید. بدیهی است به منظور توسعه مدل ریاضی مناسب جریان آب زیرزمینی و آب سطحی، تهیه مدل مفهومی از اهمیت زیادی برخوردار است. برای تهیه مدل مفهومی در اولین مرحله جمع آوری داده‌ها و اطلاعات کمی و توصیفی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این مرحله به عنوان مهم‌ترین مرحله، دقت سایر مراحل مدل‌سازی را تعیین می‌کند. در مرحله بعد تبیین هندسه آبخوان است که شامل مرز آبخوان، توپوگرافی و سنگ کف می‌باشد. بعد از تبیین هندسه آبخوان باید میزان تغذیه و تخلیه آبخوان و مقادیر اولیه ضرایب هیدرودینامیک آبخوان تعیین و به مدل وارد شود. پس از وارد کردن داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز به مدل واسنجی مدل با تخمین برخی پارامترهای لایه آبدار و شرایط مرزی و مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در تمامی پیرومترهای دشت انجام گرفت. صحت مدل ساخته شده در مرحله صحت‌سنجی مدل به اثبات رسید و نتیجه گردید که مدل ساخته شده با دقت کافی رفتار آبخوان دشت همدان - بهار را شبیه‌سازی می‌کند. با توجه به این نتیجه می‌توان دریافت که مدل ریاضی، آبخوان مورد نظر را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی می‌کند. از مدل GMS به منظور برآورد مولفه‌های کامل هیدرولوژیکی استفاده گردید. از نتایج تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ۱- با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی، متوسط ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت همدان - بهار به ترتیب $0/05$ و $20/5$ متر در روز به دست آمد.
- ۲- مقایسه تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نشان می‌دهد که مقدار انحراف از نقاط کنترلی حدوداً $1/5$ متر می‌باشد.

۳- متوسط بارش در ۲۰ سال گذشته در سطح دشت همدان - بهار ۳۴۲/۴ میلی متر در سال می باشد که با در نظر گرفتن ۲۰ درصد نفوذ، حجم آب تغذیه شده در محدوده بیلان، سالانه معادل ۶۸/۴۸ میلیون متر مکعب می گردد.

۴- در محدوده مورد مطالعه حجم آب زیرزمینی تخلیه شده در حالت ناپایدار توسط چاه های عمیق و نیمه عمیق ۱۷۲/۹۱ میلیون متر مکعب می باشد.

۵- پیش بینی صورت گرفته با مدل نشان داد در ۵ سال آینده (شهریور ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۴۰۰) از کل سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار به طور میانگین ۳ متر افت نموده و حجم آب خروجی حاصل از افت تراز آب زیرزمینی حدوداً ۷۷ میلیون متر مکعب می باشد.

۲-۵- پیشنهادات

با توجه به مدل مفهومی و ریاضی آب زیرزمینی، می توان پیشنهاداتی برای بهبود مدل های حاضر یا استفاده از آنها برای تحقیقات بعدی بیان کرد. از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جهت تکمیل شبکه پیزومتری به منظور آگاهی دقیق تر از سطح تراز آب آبخوان، افزایش تعداد چاه های مشاهداتی در نقاط مختلف دشت توصیه می گردد. همچنین پیشنهاد می گردد اندازه گیری تراز آب با استفاده از دستگاه های دقیق و توسط افراد با تجربه صورت گیرد.
- جهت آگاهی دقیق از میزان تخلیه آبخوان توصیه می گردد آمار دقیق و جدید از تعداد چاه های بهره برداری و میزان آبدهی هر کدام از آنها تهیه گردد.
- با توجه به اینکه یکی از کاربردهای منحنی های هم افت تعیین نقاط ضعف و قوت آبخوان می باشد، با توجه به این منحنی ها تقویت قسمت های مرکزی و جنوبی دشت و کاهش برداشت از این مناطق توصیه می گردد.
- جهت تعیین دقیق تر ضرایب هیدرودینامیک آبخوان (هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و ...) انجام آزمون های پمپاژ با پراکندگی و تعداد مناسب توصیه می گردد.

- با توجه به مدل کمی آب زیرزمینی تهیه شده می‌توان از آن برای تهیه مدل کیفی آب زیرزمینی و حرکت آلاینده‌ها در سطح دشت استفاده نمود.

منابع

- ابریشمی، ج.، علوی مقدم، م ، بهرامی جوینی، ر. ۱۳۸۰. مدل کیفی آب های زیرزمینی غرب کویر طبس، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- احمدی، ا. ۱۳۸۰. شبیه سازی جریان در آبخوان دشت ایذه با استفاده از مدل ریاضی عددی تفاضلات محدود کد کامپیوتری (MODFLOW) به منظور اعمال مدیریتی بهینه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- کاظمی، ر. ۱۳۸۱. ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان قوچان- شیروان با استفاده از مدل عددی MODFLOW ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- موسسه تحقیقات آب، (۱۳۸۲)، راهنمای تهیه مدل ریاضی آب های زیرزمینی، نشریه شماره ۳۳۷ – الف.
- کتیبه ه، طاهری ع، ابوطالبی ا، (۱۳۸۲)، مدلسازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در محدوده مرکزی طرح متروی اصفهان، مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۶، ص ۴۱.
- چیت سازان م، ساعت ساز م، (۱۳۸۴)، کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۴، ص ۱.
- مظفری زاده، ج.، چیت سازان، م.، ماجدی، ح. ۱۳۸۵. تصحیح ضرائب هیدرولیکی آبخوان با استفاده از مدل تفاضلات محدود (MODFLOW) و روش کریجینگ، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور.
- رزاق منش م.، سالمی ت. و سراج م، (۱۳۸۵)، بررسی کمی و کیفی آب های زیرزمینی شت تبریز، همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

فضل اولی ر، شریفی ف، بهنیا ع، (۱۳۸۵)، بررسی تاثیر پخش سیلاب در تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی دشت موسیان (استان ایلام) ، فصلنامه منابع طبیعی ایران، سال ۵۹، شماره ۱، ص ۵۷.

نجفآبادی ر، رهنما م ح، (۱۳۸۶)، شبیه سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل MODFLOW و بررسی اثرات احداث سد تنگویی بر آن، مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱، ص ۱.

گرگی، ابراهیم و بر خورداری، سجاد؛ مبانی روش تحقیق در علوم اجتماعی"، تهران، ثالث، (۱۳۸۸)

رضایی م، سرگزی ا، (۱۳۸۹)، بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶، ص ۹۹.

طایی سمیرمی م،، فاتحی مرج ا. و میرنیا خ، (۱۳۸۹)، شبیه سازی سطح ایستابی آبخوان دشت گربایگان فسا با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW ، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، تهران.

نخعی م. و صابری نصر ا، (۱۳۸۹)، پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت قروه با استفاده از شبکه عصبی – موجکی و مقایسه آن با مدل عددی MODFLOW ، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

اعتباری ب، یعقوب زاده م، (۱۳۸۸)، " اهمیت تهیه مدل های مفهومی در تهیه مدل ریاضی آبخوان ها (مطالعه موردی دشت تبریز)" ، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان.

بانژاد ح، محب زاده ح، قبادی م ح، حیدری م، (۱۳۹۱)، شبیه سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب های زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان دشت نهاوند، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۲، ص ۴۳-۵۷.

تندیسه ز، حافظی مقدس ن، کرمی غ ح، جعفری ه، (۱۳۹۲)، پیش بینی تاثیر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی: آبخوان شهر مشهد، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۳۶۹-۱۳۶۱.

جنوبی ر، رضایی ح، بهمنش ج، (۱۳۹۲)، مدیریت سطح آب زیرزمینی از طریق تلفیق آب سطحی و زیر سطحی با استفاده از مدل MODFLOW (مطالعه موردی: دشت ارومیه) ، مجله مدیریت آب و آبیاری، سال سوم، شماره ۱، ص ۴۹-۶۸.

Prikett T.A., (1975), Modeling Techniques for Groundwater Resource Evaluation . Advance

in Hydroscience , vol . 10 , pl- 143.

Wang H.F and Anderson M.P., (1982), Introduction to Groundwater Modeling; Finite Difference and Finite Element methods, W.H. Freeman and Company.

McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. 1988. A modular three dimensional finite-difference ground-water flow model. Techniques of Water Resources Investigations, Book 6. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.

Anderson M.P. and Woessner W.W., (1992), Applied Groundwater Modeling; Simulation of Flow and Advective Transport. Academic press. San Diego, CA. 381p.Academic press, inc.381pp.

Punthakey, J. F., Somaratne, N. M., Prathapar, S. A., Merrick, N. P., Law son, S. and Williams R.M. (1994). "Regional Groundwater of the Lower Murrumbidgee River Basin Model Development and Calibration", N.S.W. Australia.

Emace, R., Chodhury, A.,Anaya, R., Way, S.C. 2000. A numerical groundwater flow model of the upper and middle Trinity aquifer, Hill Country area, Texas Water Development Board, Open file Report .

Rayne, T.W., Bradbury, K.R., and Muldoon, M. A. 2001. Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite, Sturgeon Bay, Wisconsin, USA. Hydrogeology Journal, 9 (5): 432-450.

Zhang Y.K., Seo B. M., Lovanh N., Alvarez P. and Heathcote R., (2001), IOWA Comprehensive Petroleum Underground Storage Tank Fund Board, Final Report Evaluation of Computer Software Packages for RBCA Tier-3 Analysis.

Gurwin J. Lubczynski M. (2004). "Modeling of groundwater response to artificial recharge. Artificial recharge of groundwater, Boston, Massachusetts". Butterworth publishers, pp:129-149.

Bendient P.B., Rifai H.S. and Newell C.J., (2005),. Groundwater Contamination: Transport and Redediation, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ.

Bendient P.B., Rifai H.S. and Newell C.J., (2005),. Groundwater Contamination:Transport and Redediation, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ.

Marquez L. F., Suarez G.J., Serrano G. and Chavez R., (2006), Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico. Hydrogeology Journal, 1216-1230.

Herzog, A. 2007. Transient groundwater modeling in peri-urban Kampala, Uganda. TRITA-LWR Master Thesis.

Idrissy H, Smedt F.D.(2006). "Modeling groundwater flow of the Trifa aquifer, Morocco" Hydrogeology Journal,14: 1265-1276.

Mylopoulos N., Mylopoulos Y., Veranis N. and Tolikas D., (2007),. Ground water Modeling and manegment in a complex lake- aquifer system, Water Resource Management,21,469-496. modeling and manegment in a complex lake- aquifer system, Water Resource Management,21,469-496.

Jusseret S,Thanh Tam V, Dassargues A. (2008). " Groundwater flow in the central zone of Hanoi (Vietnam)". *Hydrogeology Journal*, 17:915-934.

Yidana S. M. and Ophori D. (2008). "Groundwater Resources Management in the Afram Plains Area, Ghana". *KSCE Journal of Civil Engineering* , 12(5):349-357.

-El-Bihery, M.A., 2009. Groundwater flow modeling of Quaternary aquifer Ras Sudr, Egypt, *Environ Geol* , v.58, p, 1095–1105.

-Lutz, A., Thomas, J. M., Pohll, G., Keita, M., and McKay, W. A., 2009. Sustainability of West Africa, *Environ Geol*, v. 58, groundwater in Mali, p.1441–1450.

-Kushwaha, R.K., Pandit, M.K., and Goyal, R., 2009. MODFLOW Based Groundwater Resource Evaluation and Prediction in Mendha Sub-Basin, NE Rajasthan, Journal geology society of India, v. 74, p.449-458.

Robert B W, Rotzoll K, Dhal S, El-Kadi A I, Ray C, Chang D. (2009). "Groundwater Source assessment program for the state of Hawaii, USA: methodology and example application". Hydrogeology Journal, 18: 711-723.

Jaworska, Szulc B. (2009). "Groundwater flow modeling of multi-aquifer systems for regional resources evaluation, the Gdansk hydrogeological system, Poland". Hydrogeology Journal, 17:1521-1542.

Hi J. Eigenraam M., Forbes G., Lewis W. and Chua J., (2010), The Environmental Systems Modelling Platform (EnSym) to Assess Effects of Land Use Changes on Groundwater Recharge, International Environmental Modelling and Software Society.

Abstract

Hamedan- bahar Plain is one of the most important plains of Hamedan province in terms of agriculture and water quality. The occurrence of multiple droughts and excessive utilization of groundwater resources in the Hamedan- bahar plain are considered as the main causes of groundwater abatement. First, a conceptual model of groundwater was prepared using all data and information. In this research, simulation of groundwater table of Hamedan plain - spring in a stable and unstable state using GMS7.1 model and MODFLOW computer code by finite difference method. During the simulation, in order to calibrate the model in a sustainable condition, the groundwater level of April 2005 was used and in order to calibrate the model in non-residual conditions, water level statistics for the years 2005 to 2010 were used. The calibration of the model was carried out in both situations using the PEST code. Also, to assess the accuracy of the model, water level statistics were used from 2010 to 2014, and after the results of the verification confirmed the conformance of the model to the aquifer's natural conditions, a mathematical model was constructed to achieve the objective of the study. According to the data of 27 observation wells and comparison of computational water level of model and observation, parameters such as hydraulic conductivity coefficient in steady state and aquifer saving in unsteady condition, which have more uncertainty, were optimized. The model simulated water level is close to the observation water surface and the average root mean square error for all plain piezometers in this 5 year period is 1.56. In order to predict the level of groundwater in the years to come, three drainage scenarios of 2 times, a drought of half the rainfall and the current trend for the plain are defined. The results showed that during the period from September 2016 to September 2021, if the current rainfall continues, the groundwater level will decrease by 3 meters. Based on this amount, the total area of the aqueduct of Hamedan- bahar plain and average storage factor 0.05 will leave about 77 million cubic meters of water from the plain.

Keywords: Forecast, Groundwater Level, Hamedan – Bahar Plain, Gms Model , Numerical Modeling



Shahrood University of Technology

**Faculty of Agriculture
Department of Water and Soil**

**Modeling of Groundwater Level Change in Hamedan- bahar Plain
Using the GMS Model**

By : Omid kalhori

Supervisor:

Dr. Khalil Azhdary

Advisors:

Dr. Roozbeh Moazenzadeh

Ms. Sakineh Parhizkar

July 2017