دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

مدلسازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت دامغان در یک دوره ۱۰ ساله

دانشجو : سکینه پرهیزکار

اساتید راهنما :

دکتر خلیل اژدری

دکتر صمد امامقلی زاده

استاد مشاور :

دکتر غلامعباس کاظمی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۳

دانشگاه شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سکینه پرهیزکار به شماره دانشجویی: ۹۱۰۱۵۳۴

تحت عنوان: مدلسازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت دامغان در یک دوره ۱۰ ساله

در تاریخ ۱۱/۲۱ /۱۳۹۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه **عالی** مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : خلیل اژدری		نام و نام خانوادگی : غلامعباس کاظمی	
نام و نام خانوادگی : صمد امامقلی زاده			

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : مهدی دلقندی		نام و نام خانوادگی : زهرا گنجی نوروزی	
نام و نام خانوادگی : روزبه موذن زاده			

تقدیم به

تو ای پدر که هرچه از شما 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 بزرگیش 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 خستگی ها را به جان خریدی

تا اکنون توانستی طعم خوش پیروزی را به من بچشانی

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش پروردگار بی همتایی را که ذات بیکرانش آکنده از علم و دانش است و چه با سخاوت انسان را موهبتی شگرف بخشیده و درهای کمالات خود را بر وی 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، براز دارم.

در ابتدا از پدر و مادر عزیزم که صادقانه در تمام دوران تحصیل ارزشمندترین پشتوانه من بوده اند، همچنین برادران و 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 صمد امامقلی زاده که با راهنمایی های ارزشمندشان مرا در تدوین پایان نامه یاری رساندند، کمال تشکر را دارم. از استاد محترم جناب آقای دکتر غلامعباس کاظمی به پاس زحمات ایشان در مشاوره این پایان نامه تقدیر و تشکر می شود. از اساتید محترم داور جناب آقای دکتر روزبه موذن زاده و جناب آقای دکتر مهدی دلقندی کمال تشکر را دارم. همچنین مراتب قدردانی خود را از جناب آقای مهندس بابک توانا به پاس کمک در پیشبرد این پایان نامه اعلام می دارم. از پرنسل واحد مطالعات امور منابع آب شهرستان دامغان به ویژه آقای مهندس محمد حسین شاکری که در استفاده از گزارشات و مراجع مورد نیاز با اینجانب مساعدت نمودند، تشکر می گردد و به جاست از راهنمایی کلیه دوستان و عزیزانی که به نحوی در نگارش این پایان نامه مرا یاری نموده اند کمال سپاس را داشته و خواهان توفیق روز افزونشان هستم.

سکینه پرهیزکار، بهمن ۹۳

تعهد نامه

اینجانب سکینه پرهیزکار دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی تغییرات کمی آب زیرزمینی دشت دامغان در یک دوره ۱۰ ساله تحت راهنمائی دکتر خلیل اژدری و دکتر صمد امامقلی زاده متعهد می شوم.

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

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

وقوع خشکسالی‌های متوالی و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت دامغان از عوامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی محسوب می‌شوند. به همین دلیل ضروری است که مدیریت بهره برداری و حفاظت از منابع آب زیرزمینی به عنوان یک اصل در برنامه ریزی‌های منابع آب مورد توجه قرارگیرد. در این تحقیق شبیه‌سازی سفره آب زیرزمینی دشت دامغان در حالت پایدار و ناپایدار با استفاده از مدل GMS7.1 و کد کامپیوتری MODFLOW به روش تفاضل محدود انجام گرفت. دشت دامغان دارای مساحتی معادل ۱۱۷۳/۵۴ کیلومترمربع است و در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. بررسی هیدروگراف دشت دامغان در دوره ۱۳۹۲-۱۳۷۳ نشان داد که افت متوسط سالیانه سطح آب زیرزمینی ۰/۵۳ متر بوده و از دشت‌های ممنوعه می‌باشد. با توجه به آمار ۴۰ 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. براساس شاخص‌های مهم آماری، نتایج مربوط به واسنجی و صحت سنجی مدل نشان داد که همبستگی بالایی (R^2=۰/۹۸) بین مقادیر شبیه‌سازی شده مدل و مقادیر اندازه‌گیری وجود دارد. به‌منظور پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در سال‌های آینده، ۴ سناریوی خشکسالی، ادامه روند فعلی، ترسالی ۱/۵ برابر و ترسالی ۲ برابر متوسط بارش، برای دشت تعریف گردید. نتایج نشان داد که در طی فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷ در صورت ادامه روند فعلی بارش، سطح آب زیرزمینی به اندازه ۲/۹ متر دچار افت خواهد شد. و بر اساس این مقدار افت، ۲۴۰ میلیون متر مکعب آب از منابع دشت کاسته خواهد شد، همچنین درصورت به وقوع پیوستن سناریوی خشکسالی مقدار افت دشت ۳/۱۳ متر خواهد بود که کسری مخزن معادل ۲۶۰ میلیون متر مکعب را به دنبال خواهد داشت. نتیجه دیگر تحقیق نشان داد که در ۱۵ درصد دشت دامغان پدیده نشست زمین صورت گرفته است.

کلمات کلیدی : دشت دامغان، پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی، مدل GMS، مدلسازی عددی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی پدیده نشست زمین در جنوب دشت دامغان

سکینه پرهیزکار، خلیل اژدری، صمد امامقلی زاده و غلامعباس کاظمی، دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)، شهریور ۱۳۹۳، دانشگاه شهرکرد.

۲- پیش بینی روند افت سطح آب زیرزمینی در مناطق بیابانی با استفاده از نرم افزار GMS (مطالعه موردی: جنوب دشت دامغان)

سکینه پرهیزکار، خلیل اژدری، صمد امامقلی زاده و غلامعباس کاظمی، دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، آبان ۱۳۹۳، دانشگاه سمنان.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مساله ۳

۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق ۴

۱-۴- سازمان‌دهی فصل‌های پایان‌نامه ۶

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته در جهان ۸

۲-۳- مروری بر مطالعات گذشته در ایران ۱۴

۲-۴- مطالعات انجام شده در دشت دامغان ۲۳

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲۶

۳-۳- ژئومورفولوژی منطقه ۲۸

۳-۴- آب و هوای منطقه مورد مطالعه ۳۰

۳-۵- زمین شناسی عمومی منطقه ۳۲

۳-۵-۱- چینه شناسی منطقه ۳۳

۳-۵-۱- ۱- واحدهای سنگی پرکامبرین – کامبرین ۳۳

۳-۵-۱- ۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک ۳۳

۳-۵-۲- آبرفت های کواترنر ۳۴

۳-۵-۲-۱- واحد Qt1 ..... ۳۴

۳-۵-۲- ۲- واحد Qt2 ..... ۳۴
۳-۵-۲- ۳- واحد Qal ۳۵
۳-۵-۲-۴- نهشته های سیلابی ریزدانه Q_{sc} ۳۵
۳-۵-۳- گسل ها ۳۶
۳-۶- هیدرولوژی و هیدروژئولوژی ۳۶
۳-۷- وضعیت آبخوان دامغان ۳۹
۳-۸- انواع مدل‌های آب زیرزمینی ۴۰
۳-۸-۱- مدل ریاضی ۴۱
۳-۸-۱-۱- مدل‌های عددی ۴۱
۳-۸-۱-۱-۱- روش عناصر محدود ۴۲
۳-۸-۱-۱-۲- روش تفاضل محدود ۴۳
۳-۹- مراحل مختلف تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت دامغان ۴۵
۳-۹-۱- تعیین هدف برای تعیین مدل ۴۵
۳-۹-۲- جمع آوری داده‌ها و اطلاعات ۴۷
۳-۹-۳- معادله حاکم بر جریان زیرزمینی ۴۸
۳-۹-۴- تهیه مدل مفهومی و تحلیل سیستم آبخوان ۵۰
۳-۹-۴-۱- شرایط مرزی ۵۲
۳-۹-۴-۱-۱- شرط مرزی بار هیدرولیکی معلوم ۵۲
۳-۹-۴-۱-۲- شرط مرزی جریان معلوم ۵۳
۳-۹-۴-۱-۳- شرط مرزی جریان وابسته به بار هیدرولیکی ۵۳
۳-۹-۴-۲- عوامل تغذیه و تخلیه کننده آبخوان ۵۴
۳-۹-۴-۲-۱- تغذیه آبخوان از طریق بارندگی ۵۵

۳-۹-۴-۲-۲- تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی و شرب و صنعت ۵۵
۳-۹-۴-۲-۳- برداشت آب زیرزمینی توسط چاه‌ها ۵۶
۳-۹-۴-۲-۴- تبخیر و تعرق ۵۶
۳-۹-۴-۲-۵- تغذیه و تخلیه آبخوان از مرزهای جانبی ۵۷
۳-۹-۴-۳- اطلاعات هیدرودینامیکی ۵۷
۳-۹-۴-۴- اعمال توپوگرافی سطح و کف آبخوان به سلول های شبکه ۵۸
۳-۹-۴-۵- اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهداتی ۶۰
۳-۹-۵- طراحی شبکه مدل ۶۳
۳-۹-۶- مدلسازی آبخوان دشت دامغان در شرایط پایدار ۶۴
۳-۹-۷- مدلسازی آبخوان دشت دامغان در شرایط ناپایدار ۶۵
۳-۹-۷-۱- شرایط اولیه ۶۷
۳-۹-۷-۲- تنش‌های هیدرولوژیکی ۶۸
۳-۹-۷-۳- اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده ای در حالت ناپایدار ۶۹
۳-۹-۸- واسنجی مدل ۷۰
۳-۹-۹- ارزیابی خطای مدلسازی ۷۲
۳-۹-۹-۱- شاخص های آماری ۷۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه ۷۶
۴-۲- واسنجی مدل سطح آب زیرزمینی ۷۸
۴-۳- صحت سنجی مدل سطح آب زیرزمینی ۸۳
۴-۴- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در هر پیزومتر برای دوره ۳ ساله ۸۶
۴-۵- پیش بینی سطح آب زیرزمینی برای مناطق مختلف دشت در دوره ۵ ساله ۹۱

۴-۵-۱- منطقه شمال ۹۱
۴-۵-۲- منطقه مرکزی دشت ۹۵
۴-۵-۳- منطقه جنوب ۹۸
۴-۶- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در کل دشت ۱۰۱
۴-۶-۱- پیش بینی مدل در شرایط روند فعلی و طبیعی آبخوان ۱۰۲
۴-۶-۲- پیش بینی مدل در شرایط ترسالی ۱۰۳
۴-۶-۳- پیش بینی مدل در شرایط خشکسالی ۱۰۴
۴-۷- نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی ۱۰۶
۴-۸- نشست زمین در منطقه مطالعاتی ۱۰۸
۴-۸-۱- عوارض ناشی از نشست ۱۱۱
۴-۸-۲- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه نشست ۱۱۳

فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- خلاصه تحقیق و نتایج ۱۱۸
۵-۲- پیشنهادات ۱۲۰
.....
منابع ۱۲۱

فهرست اشکال

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سمنان ۲۷

۳-۲- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه ۲۸

۳-۳- توزیع بارش در فصول مختلف در محدوده مطالعاتی دامغان ۳۱

۳-۴- موقعیت ایستگاه‌ها و آبراهه‌های موجود در منطقه ۳۷

۳-۵- هیدروگراف دراز مدت دشت دامغان (۹۲-۱۳۷۳) ۴۰

۳-۶- شبکه اجزای محدود با قطعات مثلثی ۴۳

۳-۷- نمایش شبکه بندی تفاضلات متناهی (وانگ و اندرسون، ۱۹۹۸) ۴۴

۳-۸- مراحل تهیه مدل آب زیرزمینی (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲) ۴۶

۳-۹- نمایش مفهومی معادله پیوستگی ۴۸

۳-۱۰- مدل مفهومی و مرزهای محدوده آبخوان دامغان ۵۱

۳-۱۱- ارتفاع تراز سطح زمین و اعمال این مقادیر به سلول‌های مدل ۵۹

۳-۱۲- نقشه خطوط تراز سطح آب زیرزمینی دشت دامغان در سال ۱۳۸۵ ..... ۶۲

۳-۱۳- لایه چاه‌های مشاهده ای در نرم افزار در شرایط ماندگار ۶۲

۳-۱۴- شبکه بندی آبخوان دشت دامغان ۶۴

۳-۱۵- نقشه توزیع ضریب هدایت هیدرولیکی در دشت دامغان ۶۵

۳-۱۶- تعریف دوره‌های زمانی در شرایط ناپایدار ۶۶

۳-۱۷- نقشه توزیع ضریب آبدهی ویژه در دشت دامغان ۶۷

۳-۱۸- مقداردهی شرایط اولیه بر اساس تراز آب زیرزمینی در اسفند ۱۳۸۵ ..... ۶۸

۳-۱۹- مقداردهی میزان برداشت از آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره برداری ۶۹

۳-۲۰- اطلاعات نوسانات سطح آب در هر پیزومتر در طول دوره آماری در مرحله ناپایدار ۷۰

۳-۲۱- معیار بصری هدف واسنجی ۷۲

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت دامغان ۷۸

۴-۲- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل در دوره کالیبراسیون (فروردین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۹۰) ۷۹

۴-۳- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی مدل در دوره کالیبراسیون (فروردین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۹۰) ۸۰

۴-۴- مقادیر شاخص‌های آماری در دوره واسنجی برای ۴ پیزومتر انتخابی ۸۱

۴-۵- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در حالت پایدار ۸۲

۴-۶- انواع میانگین خطاهای مدلسازی در دوره‌های تنش در حالت ناپایدار ۸۲

۴-۷- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل در دروره صحت سنجی (فروردین ۱۳۹۱ تا اسفند ۱۳۹۲) ۸۴

۴-۸- مقادیر شاخص‌های آماری در دوره صحت سنجی برای ۳ پیزومتر انتخابی ۸۵

۴-۹- نقشه تیسن بندی دشت دامغان در سال ۱۳۹۰ ..... ۸۶

۴-۱۰- هیدروگراف پیش بینی سطح آب چاه‌های مشاهداتی در ۴ سناریوی مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵) ۸۸

۴-۱۱- هیدروگراف پیش بینی سطح آب چاه‌های مشاهداتی در ۴ سناریوی مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵) ۸۹

۴-۱۲- هیدروگراف پیش بینی سطح آب میانگین چاه‌های مشاهداتی در ۴ سناریوی مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵) ۹۰

۴-۱۳- نقشه تیسن بندی دشت و مساحت مربوط به هریک از پیزومترها ۹۲

۴-۱۴- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای شمال منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۲

۴-۱۵- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای شمال منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۳

۴-۱۶- هیدروگراف پیش بینی میانگین سطح آب در شمال دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۴

۴-۱۷- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای مرکز منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۵

۴-۱۸- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای مرکز منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۶

۴-۱۹- هیدروگراف پیش بینی میانگین سطح آب در مرکز دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۷

۴-۲۰- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای جنوب منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۸

۴-۲۱- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای جنوب منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۹۹

۴-۲۲- هیدروگراف پیش بینی میانگین سطح آب در جنوب دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۱۰۱

۴-۲۳- هیدروگراف پیش بینی سطح آب در کل دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) ۱۰۲

۴-۲۴- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در صورت ادامه روند طبیعی بارش در طول ۵ سال آینده ۱۰۳

۴-۲۵- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی ۱/۵ برابر در طول ۵ سال آینده ۱۰۴

۴-۲۶- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی ۲ برابر در طول ۵ سال آینده ۱۰۴

۴-۲۷- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی در طول ۵ سال آینده ۱۰۵

۴-۲۸- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (منطقه‌ای از دشت که دچار پیشروی آب شور شده است) ۱۰۶

۴-۲۹- وضعیت افت سطح آب زیرزمینی در طول مدت فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷ ..... ۱۰۷

۴-۳۰- موقعیت محدوده نشست در دشت دامغان و وضعیت آن درسال ۹۳-۱۳۹۲ ..... ۱۱۰

۴-۳۱- شکاف‌ها و اثرات ایجاد شده در اثر نشست در روستاهای جنوبی دشت ۱۱۲

۴-۳۲- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای منطقه نشست در ۴ سناریوی مورد مطالعه ۱۱۴

۴-۳۳- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای منطقه نشست در ۴ سناریوی مورد مطالعه ۱۱۵

۴-۳۴- هیدروگراف پیش بینی سطح آب زیرزمینی منطقه نشست در ۴ سناریوی مورد مطالعه ۱۱۵

فهرست جداول

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- میانگین بارندگی، درجه حرارت و تبخیر در منطقه مورد مطالعه ۳۰

۳-۲- اطلاعات مورد نیاز برای مدل کردن آب زیرزمینی (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲) ۴۷

۳-۳- مشخصات چاه‌های مشاهداتی موجود در محدوده مورد مطالعه ۶۱

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- نام چاه‌های مشاهده‌ای و شماره گذاری آن‌ها ۷۷

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

استفاده از آب‌های زیرزمینی[1] از دیرباز برای بشر یک نیاز اساسی بوده است، تا جایی که شواهد باستانی نشان می‌دهند، استفاده از این منابع به زمان ماقبل از تاریخ برمی‌گردد. حفاری اولین چاه‌ها[2] به چین باستان و اولین قنات‌ها[3] به ایران باستان نسبت داده شده است. آب زیرزمینی بخش مهمی از منابع آب قابل استفاده را در برمی‌گیرد. در برخی از مناطق آب‌های زیرزمینی تنها منبع تامین آب بخش‌های مختلف مصرفی می‌باشد (کردوانی، ۱۳۸۵). آب به عنوان یک منبع قابل تجدید همواره به عنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح بوده است. با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت، فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی وارد شده است (صداقت، ۱۳۸۷).

رشد سریع جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به آب در کشور ما که میانگین سالانه بارندگی آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر بوده و بیش از ۹۰ درصد مساحت آن را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد، موجب بهره برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه بهم خوردن تعادل طبیعی آن شده و تراز آب زیرزمینی در آبخوان[4]های بسیاری از نقاط کشور روند نزولی پیدا کرده است. عدم اعمال مدیریت و یا اعمال مدیریت‌های غیر صحیح باعث بروز مشکلات ناشی از افت آب و یا اثرات ناشی از استفاده‌های غیر بهینه از این منابع گردیده است. با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب در استفاده از منابع آب موجود، علاوه بر اینکه می‌توان از مخارج سنگین توسعه و بهره برداری کاست، میزان استفاده از این منابع را نیز می‌توان بهینه کرد.

---

[1] Groundwater
[2] Wells
[3] Qanats
[4] Aquifer

در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌های ریاضی آب‌های زیرزمینی خصوصا در مباحث مدیریت 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[1] اجتناب ناپذیر شده است. مدلسازی عددی[2] آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم برای مدیریت منابع آب در آبخوان‌ها می‌باشد. این مدل‌ها می‌توانند برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی و همچنین مدیریت منابع آب و پیش بینی چگونگی عکس العمل یک آبخوان در مقابل تغییرات آب و هوایی و پمپاژ استفاده شوند (رگلی و همکاران، ۲۰۰۳). این مدل‌ها دید ساده ای را برای تحلیل در اختیار ما قرار می‌دهند و دقت خوبی در نمایش محیط‌های پیچیده داشته و می‌توانند در مباحث هیدروژئولوژیکی بکارگرفته شوند. مدل می‌تواند جهت جریان آب‌های زیرزمینی، تراز هیدرولیکی و سرعت جریان را محاسبه کرده و در تعیین مکان‌های مناسب برای حفر چاه‌های بهره برداری[3] آب در یک سفره مورد استفاده قرار گیرند (ییدانا و افوری، ۲۰۰۸). اگر مدل یک سامانه طبیعی آب زیرزمینی به درستی و با دقت ساخته شود، به طوری که بازگوکننده رفتار واقعی سامانه در برابر تغییرات باشد، وسیله ای با ارزش برای پیش بینی و برنامه ریزی‌های مدیریت منابع آب زیرزمینی خواهد بود (تاد، ۲۰۰۵).

۱-۲- بیان مسئله

محدودیت منابع آب‌های سطحی و برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی باعث افت دائمی آبخوان و نشست[4] زمین می‌شود. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان‌ها تحمیل می‌کنند که برای ادامه افت کمی و کیفی، حفاظت از آب‌های زیرزمینی و مدیریت بهره برداری باید به عنوان یک اصل و پایه در برنامه

[1] Hydrogeological system
[2] Numerical modeling
[3] Production wells
[4] Subsidence

ریزی‌های کشور قرار گیرد. مدل‌های شبیه ساز آب زیرزمینی، بر پایه فیزیک جریان آب زیرزمینی می‌توانند به عنوان ابزاری کارآمد در درک پتانسیل آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در جهت سیاست‌های مختلف بهره برداری مورد استفاده قرار گیرند.

در دشت دامغان، با توجه به واقع شدن در منطقه خشک و بیابانی و همچنین استفاده وسیع از آب زیرزمینی برای کشاورزی، شرب و فعالیت‌های صنعتی، اهمیت آب زیرزمینی برای مسئولین دوچندان شده است. افت شدید سطح آب زیرزمینی در این منطقه منجر به بروز پدیده فرونشست گردیده است. این موارد نشان دهنده بحرانی بودن وضعیت کاهش ذخایر آب زیرزمینی و ضرورت مطالعه جامع و اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت بهبود شرایط آبخوان در این منطقه می‌باشد. هدف از این مطالعه تهیه مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت دامغان و پیش بینی سطح آب زیرزمینی بر اساس سناریوهای-مختلف (خشکسالی، ادامه روند طبیعی و ترسالی) می‌باشد.

۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق

هدف از تهیه مدل ریاضی یک سفره آب زیرزمینی، شبیه سازی شرایط طبیعی سفره با استفاده از تعدادی روابط ریاضی می‌باشد. مدل ریاضی[1] آب زیرزمینی شبیه سازی یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می‌گیرد. دو مولفه اساسی آن مدل مفهومی[2] و مدل ریاضی می‌باشد. مدل مفهومی تصویر ساده شده‌ای از تبادلات آبی آبخوان و مدل ریاضی، مجموعه‌ای از فرمول‌های ریاضی است که با توجه به فرضیات خاص، به فرایندهای فیزیکی فعال در درون سامانه آبخوان مقدار می‌بخشد. به این ترتیب با استفاده از مدل می‌توان میزان افت آبخوان راپیش بینی نمود. در صورتی‌که بتوان شبیه سازی یک آبخوان را انجام و با شرایط طبیعی تطبیق داد، به سهولت می‌توان

[1] Mathematical model
[2] Conceptual model

با در نظر گرفتن سناریوهایی نظیر تغییرات در محل، مقدار و زمان برداشت به بررسی اثرات برداشت بر روی سفره پرداخت.

هدف از مدیریت آبخوان، در حقیقت ایجاد یک توازن متعادل بین پارامترهای مهم بیلان آب زیرزمینی[1] می‌باشد. به عبارت دیگر در این مطالعات ابتدا بیلان وضع موجود محاسبه و کسری مخزن را تعیین نموده، سپس در گام بعدی با تهیه یک مدل کمی می‌توان وضعیت و سناریوهای مختلفی را در زمان آینده پیش بینی نمود. در مرحله آخر با یک برنامه‌ریزی صحیح در جهت کاهش بهره‌برداری و به تعادل رساندن آبخوان، در حقیقت با یک بهینه‌سازی، وضعیت برداشت از آبخوان طوری تعیین می‌گردد تا بیلان آب زیرزمینی به حالت تعادل نزدیک گردد.

بررسی تعادل آبخوان در آینده می‌تواند به عنوان یک ابزار تصمیم گیری نقش تعیین کننده‌ای در استفاده صحیح از منابع آب زیرزمینی داشته باشد. درغیر این صورت برداشت غیرمسئولانه و عدم برنامه‌ریزی صحیح در استفاده از این منابع با ارزش، نهایتاً منجر به از دست رفتن این سرمایه و ادامه افت و فرونشست خواهد شد. بنابراین بررسی وضعیت حال حاضر دشت و مدلسازی صحیح آن با ارائه راهکارهای مناسب جهت مقابله با از بین رفتن آبخوان وکاهش نرخ افت آن، از جمله مهم ترین اهداف مطالعه تعادل بخشی آبخوان دشت دامغان می‌باشد. کاربردهای مدلسازی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه را می‌توان به صورت زیر ذکر کرد :

- ایجاد تاسیسات (ساخت سد در داخل یا خارج از محدوده آبخوان، تغذیه مصنوعی و احداث شبکه آبیاری)
- تخلیه آبخوان (برداشت از رودخانه و کاهش نفوذ، میزان افت ناشی از برداشت، تعیین محل برداشت جهت کشاورزی و تعیین محل برداشت جهت شرب با رویکرد کیفی)

[1] Underground water balance

- تغذیه آبخوان (میزان بالا آمادگی و زه دار شدن اراضی و اثرات آب برگشتی ناشی از شرب و کشاورزی)
- موارد غیر سازه ای (بررسی کیفی و تعیین حریم کیفی، بررسی تغییرات حد جبهه آب شور و شیرین و بررسی سناریوهای خشکسالی و ترسالی)

۱-۴- سازمان دهی فصل های پایان نامه

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

فصل دوم

مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- مقدمه

برنامه ریزی صحیح و تخصیص آب برای مصارف مختلف رکن اصلی توسعه پایدار اقتصادی-اجتماعی کشور به شمار می‌رود. دایره مباحث مربوط به آب‌های زیرزمینی بسیار وسیع می‌باشد، که مطالعات هیدروژئولوژیکی، هیدروشیمی، هیدرولیک، بیلان، مطالعات طرح‌های تغذیه مصنوعی[1] از مهم‌ترین آن‌ها است. استفاده از مدلسازی به عنوان روشی کارامد و کم هزینه شناخت ماهیت پیچیده آبخوان را ممکن می‌سازد. مدل در هر شاخه‌ای از علم، سیستم ساده شده‌ای است که دارای تشابه فیزیکی با نمونه اصلی می‌باشد. به تعریف دیگر مدل روش حل مسائل پیچیده فیزیکی با استفاده از نمونه‌های ساده می‌باشد. در آب زیرزمینی هرگونه سیستمی که تخمینی نزدیک به واقعیت از شرایط طبیعی حاکم بر جریان آب زیرزمینی در محیط متخلخل[2] را ارائه دهد، مدل نامیده می‌شود. این مدل اگر به نحو مطلوب بنا شود با تقریب نسبتا خوب همبستگی بین عمل و عکس العمل هیدرودینامیکی را در یک آبخوان نشان می‌دهد و می‌توان از آن برای پیش بینی رفتار آبخوان و مدیریت منابع آب زیرزمینی استفاده کرد. شبیه سازی جریان و انتقال املاح آب زیرزمینی به وسیله مدل‌های ریاضی عمدتا از اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی رواج یافت. پس از آن مدل‌های ریاضی بطور گسترده‌ای برای ارزیابی وضعیت کمی و کیفی آبخوان بکار می‌روند.

۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته در جهان

پیشینه استفاده از مدل‌های شبیه ساز به یک صد سال پیش بازمی‌گردد. اما استفاده از مدل‌های بهره برداری تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی بر اساس مدل‌هایی با پارامترهای توزیعی از دهه ۶۰ میلادی رواج یافت. در دهه ۱۹۶۰، زمانی که کامپیوترهای دیجیتال با سرعت پردازش بالا به طور گسترده موجود بودند، مدل‌های عددی برای مطالعه آب‌های زیرزمینی به کار گرفته شدند. به طور

[1] Artificial recharge
[2] Porous medium

کلی پایه‌گذار حل مسائل تراوشی، دارسی[1] بود که در سال ۱۸۵۶ میلادی پس از آزمایش بر روی ماسه، رابطه معروف خود را ارائه داد. پس از آن، تحول در فرمول‌های هیدرولیکی از سال ۱۹۳۵ میلادی توسط تیس[2]، آغاز شد. سپس ژاکوب[3] و هانتوش[4] با ارائه روابط خود این تحول را تکمیل کردند. در سال ۱۹۸۸ میلادی MODFLOW، به عنوان یک مدل شبیه سازی جریان یک، دو و سه بعدی در آبخوان محبوس[5]، نیمه محبوس[6] و آزاد[7] در حالت پایدار و ناپایدار، توسط مک دونالد و هاربغ[8] در موسسه زمین شناسی امریکا به زبان فرترن تهیه شد. و سپس در سال ۱۹۹۶، بخش هیدروژئولوژی دانشگاه واترلو کانادا، این کد کامپیوتری را در محیط ویندوز ارائه نمود.

پونساکی و همکاران[9] (۱۹۹۴) با استفاده از برنامه کامپیوتری MODFLOW، زیرحوضه 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 کیلومترمربع را پوشش می‌داد. مدل ارایه شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی از سال ۱۹۸۰ الی ۱۹۸۵ واسنجی شد. مقایسه خطوط تراز آب مشاهداتی و محاسباتی برای سه آبخوان شیپارتن، کالیویل و رنمارک تطابق خوبی را نشان داد.

وارنی و یوسونوف[10] (۱۹۹۹) با استفاده از مدل MODFLOW، جریان آب زیرزمینی را در مقیاس ناحیه‌ای در حوضه آزول (Azul) در آرژانتین بررسی کردند. برای ساخت این مدل از مدل سه بعدی استفاده شد. هدف از این مطالعه سنجش انواع اجزای شبیه سازی، مانند مرزهای فیزیکی، پارامترهای هیدرولیکی، رابطه بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و تغذیه آب‌های زیرزمینی از مدل مفهومی

---

[1] Henri Darcy
[2] Charles Thies
[3] C.E. Jacob
[4] Mahdi S. Hantush
[5] Confined aquifer
[6] Semi-confined aquifer
[7] Unconfined aquifer
[8] Mc Donald and Harbaugh
[9] Punthakey et al
[10] Varni and Usunoff

هیدروژئولوژیکی می‌باشد. سطح آب شبیه سازی شده با سطح آب مشاهداتی انطباق خوبی داشت. نتیجه این شبیه سازی حاکی از تغذیه غیریکنواخت در سرتاسر منطقه و میزان تبخیر و تعرق بیشتر از مقدار محاسبه شده به روش تورنت وایت – متر[1] می‌باشد.

ژانگ و همکاران[2] (۲۰۰۱) جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی در شمال شرق آیوا (Iowa)، که به علت داشتن سیستم کارستی گسترده در معرض آلودگی شیمیایی و بیولوژیکی است را با استفاده از نرم افزار GMS[3] و کد MODFLOW به منظور فهم بهتر از آلودگی و حرکت آلودگی شبیه سازی کردند.

فروخ[4] (۲۰۰۲) مدل آب زیرزمینی در سفره‌هایی با ویژگی ناهمگنی و کارستی بالا (KHC[5]) را با با استفاده از نرم افزارهای GWW[6]، GMS و GIS[7] در فلسطین بررسی کرد. در این تحقیق از سه برنامه برای آماده سازی، آنالیز و مدلسازی استفاده شد. از GWW برای گردآوری پارامترهای سفره و آنالیز آن‌ها، Arcview (GIS) برای ژئورفرنس کردن داده‌ها و GMS برای شبیه سازی مدل استفاده شد.

گوروین و لابسینزکی[8] (۲۰۰۴) سیستم پیچیده چند سفره ای منطقه سوئیدنیکا (Swidnica) 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.

---

[1] Thornthwaite-Mather
[2] Zhang et al
[3] Groundwater Modeling System
[4] Froukh
[5] Karstic and heterogeneous characteristics
[6] Ground Water for Windows
[7] Geographic Information System
[8] Gurvin and Lubcyznski

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.

شیت و همکاران[1] (۲۰۰۵) تاثیر پمپاژ نزدیک مرز تقسیم آب را در دو آبخوان کربناته و ماسه ای واقع در شمال غرب اهایو (Ohio) و شمال شرق هند را در شرایطی که محل چاه‌ها متفاوت و فاصله آن از مرز تقسیم آب یکسان باشد، را با استفاده از نرم افزار MODFLOW-2000 شبیه سازی نموده و درصد آب پمپاژ از چاه‌ها را تا وقتی که سطح آب به خط تقسیم آب برخورد نماید را برای پمپاژهای متفاوت برآورد کرده اند.

ادریسی و اسمد[2] (۲۰۰۶) مدل جریان آب زیرزمینی در آبخوان تریفا (Trifa aquifer) ، در شمال شمال شرقی مراکش را با استفاده از کد MODFLOW در قالب نرم افزار PMWIN[3] توسعه دادند. صحت سنجی مدل مورد نظر برای سال آبی ۹۶-۱۹۹۵ در ۴۶ چاه مشاهده‌ای انجام شد. این محققین، تاثیر توسعه کشاورزی در منطقه تریفا را بر منابع آب زیرزمینی، به وسیله مدل هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژیکی بررسی کردند. نتیجه مدل بدون کالیبره شدن انطباق خوبی با داده های مشاهده‌ای نشان داد. مدل و نتایج بدست آمده از این مطالعه، می‌توانند ابزار مناسبی برای پیش بینی و ارزیابی خطر افت آب زیرزمینی باشند.

گاهمن و لارابی[4] (۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم تفاضل محدود و کد کامپیوتری SEAWAT نفوذ نفوذ آب دریا به سفره غزه (Gaza) در فلسطین را ارزیابی کردند. این شبیه سازی با استفاده از جریان و انتقال در کد SEAWAT انجام شد که اجازه می‌دهد گرادیان غلظت مواد محلول در جریان به وجود آید. نتیجه این مدلسازی بیان می‌کند که اگر پمپاژ روند کنونی و خطی خود را طی کند، منجر به نفوذ و پیشروی بیشتر آب شور به داخل آبخوان خواهد شد.

---

[1] Sheets et al
[2] Idrysy and Smedt
[3] Processing Modflow for Windows
[4] Qahman and Larabi

ملوپولوس و همکاران[1] (۲۰۰۷) جریان آب زیرزمینی حوضه آبگیر مقدونیه که از دو آبخوان کم عمق و عمیق تشکیل شده و در شمال شرق یونان واقع گردیده را با استفاده از مدل کامپیوتری MODFLOW شبیه سازی کردند و ارتباط هیدرولیکی بین این دو آبخوان و همچنین آبخوان و دریاچه کورونیا را که بر روی آن قرار گرفته را تعیین کردند.

هرزاگ[2] (۲۰۰۷) با استفاده از مدل MODFLOW، منطقه Kampala در اوگاندا را به دلیل بالا بودن تراز آب زیرزمینی و احتمال آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از فاضلاب در حالت غیرماندگار شبیه سازی نمود. نتایج آن‌ها نشان داده است که در ماه‌های تر که کانال‌های انتقال رواناب با ظرفیت کامل عمل 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.

جوسرت و همکاران[3] (۲۰۰۸) جریان آب زیرزمینی در زون مرکزی شهر هانوی (Hanoi) در کشور ویتنام را با کمک کد MODFLOW 2000، به صورت مدل سه بعدی برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ شبیه سازی کردند. این شبیه سازی هم در شرایط پایدار (سطح آب زیرزمینی نسبت به زمان تغییر نمی‌کند) و هم شرایط ناپایدار (در طول زمان سطح آب زیرزمینی تحت تاثیر عوامل تغذیه و تخلیه تغییر پیدا می‌کند) اجرا شد. نتایج بدست آمده از مدل، نشان داد که فرضیات مفهومی که برای دوره انجام مدل پذیرفته شد، قابل قبول می‌باشد. به کمک مدل، جهت جریان آب زیرزمینی در این ناحیه مشخص گردید. همچنین اهمیت نسبی منابع مختلف و فعل و انفعالات بین آب‌های زیرزمینی و رودخانه سرخ در این منطقه مشخص شد.

یائوتی و همکاران[4] (۲۰۰۸) از کد MODFLOW برای بررسی تغییرات شرایط هیدروژئولوژیکی و شبیه سازی رفتار جریان تحت استرس‌های مختلف در آبخوان غیرمحبوس بوآرگ (Bou-Areg)

[1] Mylopoulos et al
[2] Herzog
[3] Jusseret et al
[4] Yaouti et al

استفاده نموده و با استفاده از روش سعی و خطا به شبیه سازی هدایت هیدرولیکی پرداختند. نتایج نشان داد که نوسانات بار هیدرولیکی به تغییرات فصلی تغذیه از بارش و آبیاری بستگی دارد.

یوسف زای و همکاران[1] (۲۰۰۸) جریان آب‌های زیرزمینی را در حوضه پیشوار (Peshwar) در شمال غربی هیمالیا با استفاده از نرم افزار GMS شبیه سازی کردند. به منظور شبیه سازی عددی در این تحقیق از مدل سه بعدی اجزا محدود (FEMWATER) برای تقسیم بندی حوضه پیشوار به چهار واحد هیدرواستراتیگرافی (وضعیت لایه‌های زمین در آبخوان) استفاده شده است. شبیه سازی ناپایدار این آبخون نشان داد که فقط توپوگرافی برای ایجاد هد موجود در زمین کافی نیست و در نتیجه همراه با شیب توپوگرافی، تاثیرات فشارهای تکتونیکی نیز پیشنهاد شد.

روبرت و همکاران[2] (۲۰۰۹) با استفاده از مدل آب زیرزمینی MOFLOW 2000، داده‌های پایه سفره و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS به ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی پرداختند و همچنین به بررسی آسیب پذیری این منابع آبی در مقابل آلودگی در ایالت هاوایی امریکا پرداختند.

جاووسکا و زولک[3] (۲۰۰۹) جریان آب زیرزمینی درون سیستم چند سفره‌ای را برای ارزیابی منابع ناحیه‌ای با استفاده از کد MODFLOW 2000 شبیه سازی کردند. در این مطالعه برای توسعه مدل مفهومی از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای و مدلسازی سیستم چند سفره ای از نرم افزار GMS استفاده کردند. این شبیه سازی منجر به شناخت چهار سفره آزاد و چهار سفره نشتی در منطقه دانسک (Gdansk) در لهستان شد. همچنین مقدار نفوذ در این سفره ۱۳۵/۸ میلی متر در سال تشخیص داده شد.

تامر ایوز[4] (۲۰۰۹) از تلفیق مدل‌های شبیه سازی و بهینه سازی برای حل مشکلات مدیریتی آب زیرزمینی استفاده کرد و در مطالعه خود برای شبیه سازی جریان آب زیرزمینی از مدل

---

[1] Yousafzai et al
[2] Robert et al
[3] Jaworska and Szulk
[4] Tamer Ayvaz

MODFLOW و از الگوریتم جستجوی هماهنگی (Harmony search) برای بهینه سازی تابع هدف بهره گرفت. در نتیجه با بکارگیری تلفیق دو مدل به بررسی سه مشکل عمده مدیریتی آب‌های زیرزمینی یعنی، بدست آوردن ماکزیمم نرخ پمپاژ از یک آبخوان (در حالت پایدار)، به حداقل رساندن هزینه پمپاژ کل برای تامین یک تقاضای مفروض (در حالت پایدار) و به حداقل رساندن هزینه پمپاژ کل برای تامین تقاضا در چندین دوره مدیریتی (در حالت ناپایدار) پرداخت.

ییدانا و همکاران[1] (۲۰۰۸) با استفاده از کد رایانه‌ای MODFLOW و نرم افزار GMS یک آبخوان سازند سخت در جنوب شرقی غنا را در شرایط پایدار شبیه سازی کردند. هدف از این شبیه سازی، تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی منطقه و تخمین میزان تغذیه آبخوان بوده است، با در نظر گرفتن نتایج مدلسازی این مطالعه به اهداف خود دست یافت.

۲-۳- مروری بر مطالعات گذشته در ایران

مطالعات مدلسازی در ایران اولین بار در سال ۱۳۴۸ خورشیدی 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 آبخوان در سراسر کشور توسط دانشگاه‌ها در قالب پایان نامه‌های دانشجویی و طرح‌های پژوهشی در مراکز اطلاعات مربوطه تحقیقاتی، شرکت‌های مشاوره‌ای و سازمان‌های آب منطقه‌ای شبیه‌سازی شده‌اند (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۸۲). از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

کتیبه و همکاران (۱۳۸۲) به بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان آزاد شهر اصفهان و تاثیر عملیات احداث تونل متروی این شهر بر رژیم آب زیرزمینی پرداختند. آن‌ها ابتدا آمار سطح آب پیزومترهای موجود طی یک دوره ۴/۵ ساله (۱۳۸۰- ۱۳۷۶)، و نتایج تست پمپاژ، توپوگرافی سطح

[1] Yidana et al

شهر و اطلاعات مربوط به ضخامت و جنس لایه‌ها تهیه کردند. سپس کلیه اطلاعات در سیستم‌های GIS، WINSURFER(7.1)، 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 (۹۴ درصد) برخوردار بود. سپس نوسان سطح ایستابی آب زیرزمینی در طی زمان و تحت تاثیر 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 به سزایی بر نوسان سطح ایستایی 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 مدل ریاضی 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 نرم‌افزاری MODFLOW تعریف گردید. سپس واسنجی مدل توسط کد نرم افزاری PEST صورت گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ادامه روند کنونی برداشت از نظر مدیریتی گزینه قابل قبولی نمی‌باشد و بر عکس حفر چاه‌های بهره برداری 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.

محققین دیگری 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 و زهکشی، بررسی اثرات احداث این شبکه بر وضعیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW و MT3D شبیه سازی کردند. مدل مطالعاتی نشان داد که با 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 (رزاق‌منش و همکاران، ۱۳۸۵).

فضلی اولی و همکاران (۱۳۸۵) به منظور ارزیابی تغذیه مصنوعی و طبیعی سفره 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 ۱۳۶۸)، سطح ایستابی در ۸ حلقه چاه مشاهده‌ای به عنوان حالت پایدار منظور و مدل بر مبنای آن در حالت ماندگار واسنجی شد. سپس مدل برای حالت غیرماندگار 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 برآورد 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.

نجف‌آبادی و رهنما (۱۳۸۶) تغییرات سطح ایستابی دشت سیرجان را با مدل کامپیوتری MODFLOW شبیه سازی کردند. تخمین پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و میزان تغذیه با استفاده از نرم افزار PEST انجام پذیرفت. کالیبراسیون مدل در یک دوره ۹ ساله (۸۳-۱۳۷۴) انجام پذیرفت. صحت سنجی مدل در یک دوره ۱۲ ماهه (سال ۱۳۸۴) نشان داد که مقادیر سطح آب پیش بینی شده توسط مدل با مقادیر مشاهداتی از توافق خوبی برخوردارند و جذر میانگین خطا برابر ۰/۸۹۲۳ متر به دست آمد. میزان تغذیه دشت، قبل و بعد از احداث سد تنگوئیه توسط مدل محاسبه گردید و مشخص شد که احداث این سد موجب کاهش تغذیه آبخوان دشت سیرجان شده است.

نکوآمال کرمانی و همکاران (۱۳۸۶) نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت بوچیر- حیران در غرب بندرعباس را با استفاده از کد MODFLOW و کد PEST با مدل کامپیوتری شبیه سازی کردند. مدل پیشنهادی براساس گام‌های زمانی یک ماهه و دوره‌های زمانی شش ماهه در سال‌های ۸۰ تا ۸۵ برای ۱۱ چاه مشاهده ای کالیبره گشت. مدل ذکر شده، در طول این دوره به خوبی جواب داد و نشان داد

که با شرایط برداشت کنونی روند افت در این دشت همچنان ادامه خواهد یافت. با استفاده از این مدل می‌توان وضعیت سفره را در صورتی که مقادیر تغذیه و تخلیه سفره در مدت زمان مورد نظر مشخص باشد، پیش بینی کرد.

محققین دیگری با استفاده از روش تفاضلات محدود و کد MODFLOW، در قالب نرم افزار GMS، آبخوان دشت عقیلی را برای یک دوره یک ساله شبیه سازی کردند (نجاتی و همکاران، ۱۳۸۷). و با واسنجی مدل به روش دستی (سعی و خطا) ضرایب هیدرودینامیکی منطقه را تصحیح کردند. نحوه توزیع مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در دشت دارای رنج وسیعی می‌باشد که دلیل این تغییرات را می توان ناهمگنی توسط سازندهای موجود در دشت دانست.

اعتباری و یعقوب زاده (۱۳۸۸) به کمک نرم افزار GMS و کد کامپیوتری MODFLOW با استفاده از داده‌های حفاری چاه‌های اکتشافی و نتایج ژئوفیزیکی، مدل مفهومی دشت تبریز را 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 بین مقادیر مشاهده شده تراز سطح آب زیرزمینی و محاسبه شده توسط مدل وجود دارد و اختلاف بین مقادیر ورودی و خروجی مدل حداقل و قابل قبول می‌باشد. در این مطالعه علاوه بر مقدار بار هیدرولیکی برای آنالیز باقی مانده‌ها، میزان ورودی از مرزها نیز مورد نظر قرار گرفته شده است. توزیع خطا بعد از کالیبراسیون مدل در دو سفره نشان می‌دهد که نتایج سفره اول به دلیل پایین بودن RMSE[1] نسبت به سفره دوم از صحت بیشتری برخوردار است که این نتیجه در منحنی پراکنش نیز به دلیل بالا بودن ضریب رگرسیون بین مقادیر مشاهد شده و محاسبه شده توسط مدل به وضوح قابل اثبات می باشد.

[1] Root Mean Square Error

رضایی و سرگزی (۱۳۸۹) برای ساخت مدل عددی جریان با نرم افزار MODFLOW و پیش بینی تغییرات سطح آب در دشت گوهرکوه، از لاگ‌های حفاری، آماربرداری از منابع آبی، داده‌های پیزومتری و آزمایش‌های پمپاژ استفاده کردند. به علت نوسانات کمتر در تراز آب زیرزمینی، بهمن ماه ۱۳۸۱ به عنوان شرایط پایدار مورد واسنجی قرار گرفت. سپس از اسفند ۱۳۸۱ تا اسفند ۱۳۸۲ واسنجی برای شرایط ناپایدار انجام شد. در انتها نیز تحلیل حساسیت و صحت سنجی (برای اسفند ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۸۳) بر روی مدل اعمال شد. پس از اتمام ساخت مدل، به بررسی اثرات اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه پرداخته شد، که بر اساس شرایط موجود، بهترین محل برای اعمال تغذیه مصنوعی بخش‌های شمالی آبخوان است. واکنش آبخوان در برابر اعمال تغذیه مصنوعی مثبت است و تغذیه مصنوعی اثر مخربی روی آبخوان ندارد.

محققین دیگری انتقال آلاینده نیترات در آبخوان دشت شهرکرد از کد MT3D برای شبیه‌سازی پراکندگی و همرفت، و از کد MODFLOW برای تعیین خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی آبخوان در مدل PMWIN استفاده نمودند. نتایج حاصله بیانگر بالا بودن غلظت نیترات در روستای بهرام آباد می‌باشد. دلایل این افزایش شامل: قرار گرفتن در پایین دست تصفیه خانه شهرکرد و ورود آب برگشتی به آب زیرزمینی منطقه معرفی شدند (لاله زاری و همکاران، ۱۳۸۹).

طاهری تیزرو و همکاران (۱۳۹۰) به شبیه سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW در دشت کبودرآهنگ با وسعت ۲۸۶ کیلومترمربع واقع در شمال استان همدان پرداخته اند. به منظور محاسبه نوسانات سطح آب زیرزمینی طی یک محدوده زمانی معین (سال آبی ۸۶-۸۵) با استفاده از اندازه گیری سطح آب در ۱۰ حلقه چاه پیزومتری موجود در محدوده آبخوان، هیدروگراف واحد دشت به دست آورده شد. با توجه به هیدروگراف واحد در این سال سطح مخزن آب زیرزمینی، ۱/۳ متر پایین آمده است. از بین داده‌های ورودی به مدل، هدایت هیدرولیکی (K) و آبدهی ویژه (S) دارای بیشترین اهمیت و حساسیت در واسنجی مدل جریان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که مدل، تراز سطح آب را با دقت قابل قبولی شبیه سازی و قادر به مدل کردن جریان آب

زیرزمینی بوده است. میزان همبستگی پارامترها و خطای محاسبات سطح آب زیرزمینی با استفاده از معیارهای MAE[1] و RMSE محاسبه گردید که مقادیر آن به ترتیب ۱/۰۹۹ و ۰/۹۴ می‌باشد. نتایج بدست آمده از شبیه سازی جریان آب زیرزمینی در این منطقه عبارتند از :

۱- بیشترین افت تراز سطح آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی و شمالی دشت کبودرآهنگ رخ داده است.

۲- کمترین میزان آبدهی ویژه در اطراف کبودرآهنگ و شمال مهاجران و مارهموار و کوریجان و بیشترین میزان آبدهی ویژه در اطراف روستای کوریجان دو و عین آباد است.

۳- تاثیر تغذیه مصنوعی کوریجان به عنوان تنها طرح تغذیه مصنوعی در محدوده مطالعاتی بر کمیت آب زیرزمینی مثبت ارزیابی می‌گردد.

۴- با توجه به شبیه سازی و نتایج آن تراز سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده نشان می‌دهد که مدل در طول دوره تطبیق و اعتبار خود در حد خیلی خوبی واسنجی شده است.

۵- با بررسی موقعیت پیزومترها می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که در منطقه مورد مطالعه نبود پیزومتر کاملا ملموس بوده و حفر پیزومترهای جدید در این مناطق در بررسی وضعیت آبخوان دشت کبودرآهنگ مثمر ثمر باشد.

۶- بهترین رابطه رگرسیون در تمام ماه‌ها و پیزومترها با ضریب نکویی برازش ۰/۹۹ بدست آمده است، که بر این اساس می‌توان مدل ارائه شده در این تحقیق را به عنوان ابزاری جهت کاربردهای مختلف از قبیل شبیه سازی، شناخت انتشار آلودگی در سفره آب زیرزمینی و تعیین بیلان در سال‌های مختلف استفاده نمود.

[1] Mean Absolute Error

محققین دیگری به منظور انجام مدیریت صحیح و پایدار منابع آب زیرزمینی، آبخوان دشت حسن آباد- قوری واقع در شرق استان فارس را با استفاده از نرم افزار GMS7.1 مدلسازی کردند. به این منظور ابتدا مدل مفهومی تهیه و سپس مدل عددی مبتنی بر آن، بر اساس تغییرات سطح آب با استفاده از آمار سطح ایستابی ۱۰ حلقه چاه پیزومتری موجود در منطقه، برای دوره پایدار و ناپایدار شبیه سازی گردید. مقدار میانگین مربع خطای شبیه سازی (RMSE) در پایان واسنجی حالت پایدار (مهرماه ۱۳۸۸) برابر با ۰/۳۶ متر بدست آمد. به منظور اجرای مدل در شرایط ناپایدار، از آمار یک ساله سطح آب (از آبان ۸۸ تا مهر ۸۹) به صورت ۱۲ دوره یک ماهه به عنوان دوره ناپایدار استفاده شده است. مقدار میانگین مربع خطای شبیه سازی (RMSE) در پایان واسنجی حالت ناپایدار برابر با ۰/۵۹ متر بدست آمد. در پایان واسنجی حالت ناپایدار، مقادیر آبدهی ویژه بهینه گردید. مقدار میانگین مربع خطای شبیه سازی (RMSE) در پایان دوره صحت سنجی (آبان ۸۹ تا مهر ۹۰) برابر با ۰/۸۷ متر بدست آمد. پس از تایید صحت مدل، وضعیت تراز آب سفره برای یک دوره سه ساله (مهرماه سال ۱۳۹۱ تا مهرماه ۱۳۹۴) مورد پیش بینی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پیش بینی، بیان‌گر این است که ادامه روند بهره‌برداری کنونی در سال‌های- آتی، حداکثر افتی برابر با ۴/۵ متر بر روی سطح آب آبخوان ایجاد می‌کند (کرونی و همکاران، ۱۳۹۱).

بانژاد و همکاران (۱۳۹۱) پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز دشت نهاوند (یکی از دشت‌های- حوضه رودخانه کرخه) در جنوب استان همدان، از قبیل اطلاعات زمین شناسی، هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و نقشه‌های توپوگرافی 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 نرم افزار GMS برای شبیه‌سازی جریان مورد استفاده قرارگرفت. پس از شبیه‌سازی اولیه جریان، مدل با استفاده از سعی و خطا و روش تخمین پارامتر و اطلاعات تراز آب چاه‌های منطقه برای حالت

پایدار (سال ۱۳۷۶) کالیبره گردید. نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل نتایج معقولی میان تراز مشاهده شده و محاسبه شده در سال ۱۳۷۶ نشان داد.

مهدوی و همکاران (۱۳۹۲) با هدف مطالعه و بررسی تاثیر عملیات مدیریتی بر وضعیت آبخوان دشت همدان- بهار، تغییرات سطح ایستابی را با استفاده از مدل PMWIN در یک دوره دوساله (سال۱۳۸۴ الی ۱۳۸۶) با ۲۴ دوره تنش، شبیه‌سازی و مدل در دوحالت ماندگار و غیرماندگار واسنجی شد. سپس، مدل در یک دوره ۱۲ ماهه (مهر ۸۶ تا شهریور ۸۷) مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. مقادیر جذر میانگین مربعات در دوره واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۱/۲ و ۱/۵ متر بدست آمد. به منظور پیش بینی وضعیت آینده آبخوان دو گزینه ادامه روند فعلی بهره برداری بدون افزایش بارش و گزینه ادامه روند فعلی بهره برداری با افزایش ۲۰ درصدی در میانگین بارش متوسط، تدوین و مدل مجددا برای پنج سال آینده (سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳) اجرا شد. نتایج بیانگر این است که در هر دو سناریو، سطح ایستابی همچنان افت خواهد داشت. بررسی سه گزینه حذف چاه‌های غیرمجاز، تغییر الگوی کشت و تغییر شیوه آبیاری، حاکی از تاثیر مثبت این عملیات بر وضعیت آینده آبخوان می‌باشد. از این میان گزینه تغییر شیوه آبیاری به دلیل صرفه جویی در مصرف آب، به میزان ۱۴۱ میلیون مترمکعب در سال، بیشترین تاثیر را بر کاهش میزان افت سطح تراز آبخوان در آینده خواهد داشت.

محققین دیگری آبخوان مشهد را با استفاده از از روش عددی تفاضلات محدود و نرم افزار GMS7.1، برای بررسی اثر اجرای طرح فاضلاب بر نوسانات سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی کردند (تندیسه و همکاران، ۱۳۹۲). مدل با استفاده از روش سعی و خطا و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای برای یک دوره یک‌ساله ۱۳۸۷-۱۳۸۸ کالیبره شد. مدل تهیه شده در صحت سنجی (سال آبی ۱۳۸۸ -۱۳۸۹) از دقت مناسبی برخوردار بود. نتایج نشان داد، اجرای طرح جمع آوری فاضلاب تاثیر مستقیم در سطح آب زیرزمینی دارد و باعث افت سطح آب می‌گردد. افت سطح ایستابی در منطقه از ۱ متر در جنوب شرق شهر مشهد تا ۱۶ متر در شمال و شمال غرب شهر مشهد متغیر است.

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 ۱۳۸۸-۱۳۸۷ 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.

محققین دیگری مشخصات محیط متخلخل آبخوان شهرکرد نظیر ضخامت عبور جریان و ضرایب هیدرودینـامیک در نقاط مختلف دشت را محاسبه و امکان‌سنجی برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی با فاضلاب خروجی از تصفیه خانه شهرکرد را بررسی کردند. در این مطالعه مدل جریان و انتقال آلاینده دشت شهرکرد از طریق نرم افـزارهای MODFLOW و MT3D واسنجی و صحت سنجی شد. از مدل تهیه شـده برای شبیه‌سازی رفتار آبخوان قبل و بعـد از اعمال سناریوهای فرضی تغذیه فاضلاب بهره گرفته شـد. بر این اساس، ۱۰ سناریوی فرضی تغذیه مصنوعی با انتقال فاضلاب به موقعیت‌های مختلف دشت تعریف و تاثیر حجم و غلظت نیترات در فاضلاب در کمیت و کیفیت آب زیرزمینی محدوده مطالعه شده است. نتـایج نشان می‌دهند که بخش‌های میانی و جنوبی دشت با دارا بودن محیط متخلخل با بافت درشت‌تر و نزدیک بودن به محل تصفیه خانه از وضعیت بهتـری برای اجرای سناریوها برخـوردارند. تزریق آب در این منطقه تا بیش از ۶ کیلومتـر در افزایش سطح ایستابی تاثیر داشته است. این مقدار تغذیه در حالی است که غلظت نیترات حدود ۱۵ میلی‌گرم درلیتر افزایش یافته است (لاله زاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴- مطالعات انجام شده در دشت دامغان

شناسایی و آمار برداری از منابع آبی دشت دامغان برای اولین بار در سال۱۳۵۴ صورت پذیرفته و در ادامه طی سال‌های ۱۳۶۰، ۱۳۶۳، ۱۳۷۰، ۱۳۷۲، ۱۳۷۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷، ۷ دوره آماربرداری انجام گردید. به موازات امر آماربرداری در طول ۴ دهه گذشته مطالعاتی نیز درزمینه ژئوفیزیک و سازند سخت و زیانباری سیلاب‌ها و ... در محدوده دشت و حوزه دامغان انجام شده که اجمالاً به شرح ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد:

- مطالعات شبکه آبیاری زهکشی دشت دامغان در سال ۱۳۷۱.

- مطالعات ژئوفیزیکی شرکت مهندسی آب و خاک جهاد کشاورزی در منطقه امیر آباد در سال ۱۳۶۸.

- مطالعات سازند سخت استان از جمله حوزه آبریز رودخانه چشمه علی در سال ۱۳۶۳ و در نهایت حفر ۵ حلقه چاه اکتشافی.

- مطالعات تغذیه مصنوعی در قالب هیدرولوژی هیدروژئولوژی و زمین شناسی شامل طرح تغذیه مصنوعی دریان، آبشرف شوروار، لبیر، شمال دامغان، نهر شش آسیاب در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۶.

- مطالعات سازند سخت شرکت مهندسین مشاور پردام در سال ۱۳۷۹.

- مجموعه اقدامات انجام شده در زمینه مطالعات و احداث سد مخزنی دامغان در سال‌های ۱۳۷۵ لغایت ۱۳۸۶.

- مطالعات جایگزینی آب شرب شهرستان دامغان از چشمه علی توسط مشاور فراب پژوه در سال ۱۳۸۷.

- مطالعات ساماندهی رودخانه‌های شهرستان شرکت مهندسین مشاور صدرآب پور در سال ۱۳۸۷.

- مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌های شهرستان شرکت مهندسین مشاور صدرآب نتپا در سال ۱۳۸۷.

- تهیه گزارش‌های ممنوعیت دشت دامغان درسال‌های آبی ۶۴-۶۳، ۶۹-۶۸، ۷۲-۷۱، ۷۴-۷۳، ۸۰-۷۹، ۸۳-۸۲ و ۹۳-۹۲.

- مطالعات نیمه تفضیلی دشت دامغان توسط شرکت مهندسین مشاور طرح آبریز در سال ۱۳۸۸.

- مطالعات به تعادل رساندن بیلان آب زیرزمینی دشت دامغان توسط شرکت مهندسین مشاور پارس رای آب در سال ۱۳۹۲.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی منطقه مورد مطالعه و توضیح مختصری در رابطه با ویژگی‌های دشت دامغان 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 دامغان در شرایط پایدار و ناپایدار پرداخته می‌شود.

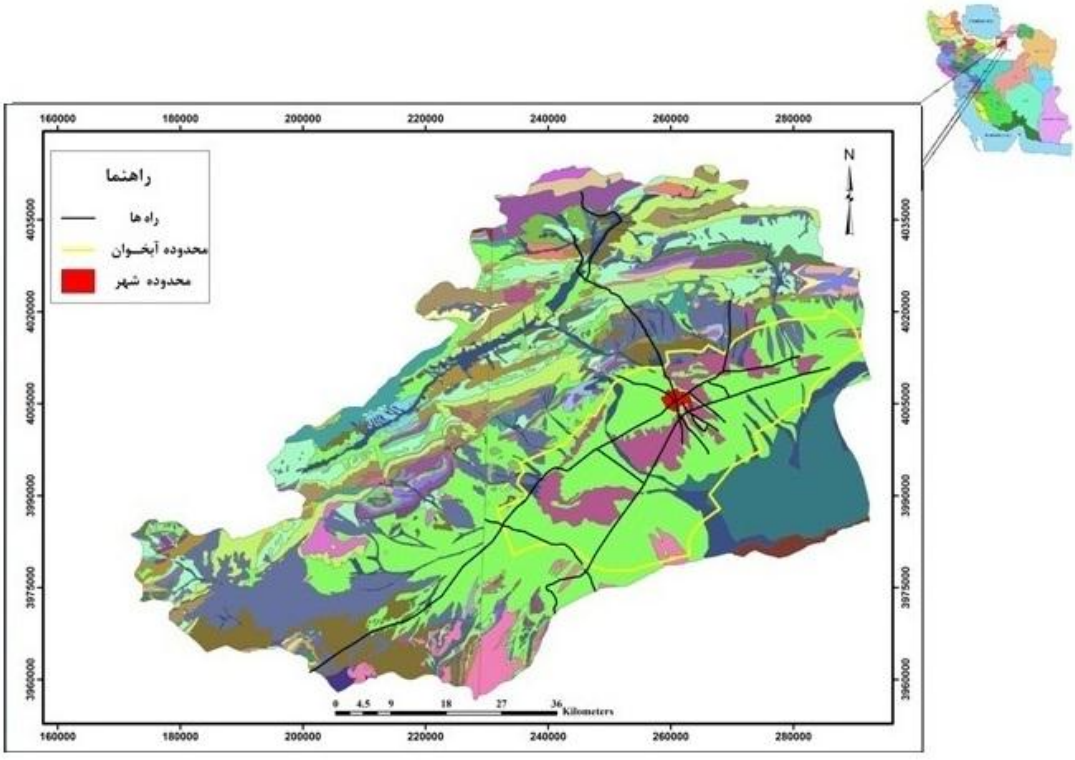
۳-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

وسعت کل محدوده مطالعاتی حوضه دامغان ۵۹۱۵ کیلومترمربع است که ۳۸۸۷ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۲۰۳۰ را دشت تشکیل می‌دهد. آبخوان آبرفتی آن ۱۳۴۷ کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۶۷ درصد مساحت کل دشت را شامل می‌شود. مهم ترین رودخانه موجود در این محدوده رودخانه چشمه علی است که در سد دامغان ذخیره و سپس به حقابه بران تعلق می‌گیرد. در این مطالعه محدوده بیلان که دارای مساحتی معادل ۱۱۷۳/۵۴ کیلومترمربع است، مورد بررسی قرار گرفته است. این دشت در زمره نواحی حاصل خیز استان سمنان بوده که در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز شرقی واقع شده است. محدوده مطالعاتی حوضه دامغان با موقعیت ′۲۱ °۵۳ تا ′۴۱ °۵۴ طول شرقی ′۴۲ °۳۵ تا ′۳۰ °۳۶ عرض شمالی، از نظر تقسیمات واحدهای ساختمانی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸) عمدتا در منطقه البرز و تا حدودی در ایران مرکزی گسترش دارد.

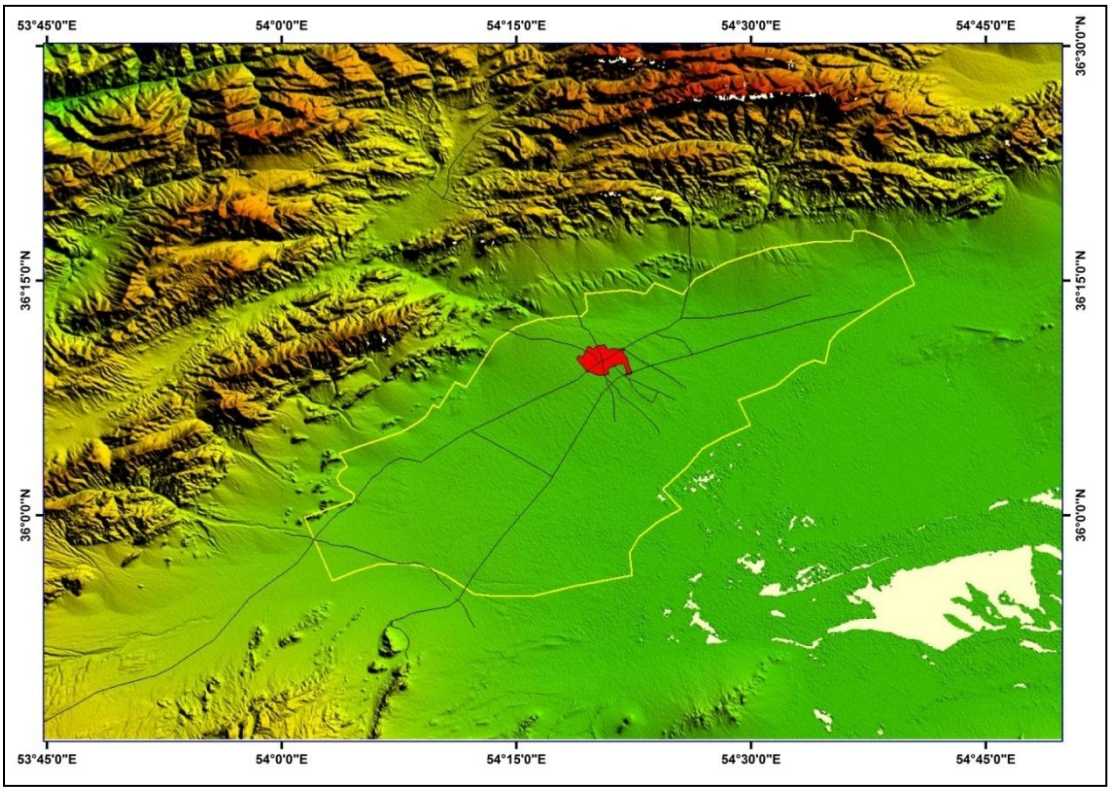
محدوده مطالعاتی دامغان با کد ۴۷۴۷ در حد میانی استان سمنان و شمال پهنه جغرافیایی شهرستان را شامل می‌گردد. پهنه مورد نظر در برگیرنده بخشی از حوزه آبریز اصلی ایران مرکزی و حوزه آبریز کویر حاج علی قلی می‌باشد و دامغان با جمعیتی حدود ۸۶۰۰۰ نفر(سرشماری ۱۳۹۰ مرکز آمار ایران) بعنوان شاخص ترین مرکز جمیتی محدوده مطالعاتی در امتداد محور ارتباطی مشهد – تهران قرار گرفته است. این شهر به فاصله ۱۲۰ کیلومتری شرق سمنان، ۳۳۰ کیلومتری تهران و

۶۰ کیلومتری غرب شاهرود و حدوداً ۲۰۰ کیلومتری جنوب ساری قرار گرفته است. مساحت محدوده جغرافیایی شهرستان حدود ۱۳۰۰۰ کیلومتر مربع بوده که در برگیرنده سه دشت دامغان، کویرحاج علی قلی(یزدان آباد) و سرکویر با کد مطالعاتی ۴۷۴۷، ۴۷۴۸ و ۴۷۰۱ بوده است. اغلب تجمعات انسانی در قالب شهرها و روستاهای بزرگ در شمال محدوده مطالعاتی که از منابع آب سطحی و زیرزمینی مناسب تری بهره مندند متمرکز گردیده اند.

محدوده مطالعاتی ۴۷۴۷ که شامل دشت‌های دامغان و حوزه های آبریز مشرف به آن از شمال به حوزه آبریز رودخانه‌های نکارود و تجن در استان‌های گلستان و مازنداران و از جنوب به محدوده مطالعاتی ۴۷۴۸ محدود می‌گردد. مرتفع ترین قله منطقه کرکسی با ارتفاع ۳۷۶۵ متر در منتهی الیه شرق محدوده مورد نظر و پست ترین ارتفاع حاشیه شمالی کویر به ارتفاع ۱۰۵۸ متر در حد خروجی سفره آب زیرزمینی دشت دامغان می‌باشد شکل (۳-۱) و (۳-۲) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در ایران و در استان سمنان نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سمنان (محدوده مطالعاتی دامغان کد ۴۷۴۷)



شکل ۳-۲- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه (برگرفته از تصاویر SRTM2000)

۳-۳- ژئومورفولوژی منطقه

محدوده مورد مطالعه شامل زمین‌های پست، همراه با زمین‌های کویری گسسته و کوهستان‌های حاشیه‌ای مرتفع است که بخش‌های کویری را محاصره کرده اند و حوضه‌های بسته ای نظیر چاه جم (کویر حاج علی قلی) را به وجود آورده اند. کویر ناحیه چاه جم از خاک‌های شوره زاری تشکیل شده است که در قسمت جنوبی دشت دامغان از قشر ضخیمی از نمک پوشیده شده است. دشت‌های دامغان، قوشه، چهارده و فولاد محله از دشت‌های واقع در محدوده مطالعاتی بوده که دشت دامغان غنی‌ترین و مهم‌ترین آن‌ها بوده و حجم قابل توجهی آب از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق از آن استحصال می‌شود (مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی دشت دامغان، ۱۳۸۸).

منطقه مورد مطالعه به رشته کوه‌های البرز در شمال و غرب و در جهت جنوب به کویر حاج علی قلی محدود می‌شود. شیب عمومی سطح زمین از شمال و غرب به سمت جنوب بوده و رودخانه‌ها و

آبراهه‌ها از ارتفاعات شمالی سرچشمه می‌گیرند، پس از ورود به دشت آبرفتی از ضلع جنوبی محدوده به کویر دامغان هدایت می‌شوند. دشت دامغان به شکل بیضی است که قطر بزرگ آن در جهت شمال شرق- جنوب غرب به موازات محور اصلی البرز شرقی و روندهای تکتونیکی حاکم بر منطقه است و در واقع یک چاله ساختاری است که از شمال و شمال غرب به سیستم گسل عطاری و از جنوب و جنوب شرق به گسل انجیلو و گسل‌های موازی آن محدود می‌شود. حاشیه این گودال از رشته کوه‌ها و کوه‌های منفرد و تپه ماهورهایی تشکیل شده است، که در همه جا به هم اتصال ندارند. شیب چاله در جهت‌های شمال، جنوب و جنوب شرق بیشتر از سایر نقاط است. در حالی که شیب آن در جهت‌های دیگر ملایم تر است و به طرف مرکز آن کاهش می‌یابد به طوری که در مرکز چاله مقدار آن تقریباً به صفر می رسد.

در این حوضه رودخانه دائمی وجود ندارد رودخانه چشمه علی وسیع ترین حوضه آبریز داخل محدوده بوده که از بهم پیوستن رودخانه‌های آستانه و دامغانرود تشکیل می‌شود. از دیگر حوضه‌های مهم محدوده میتوان به رودخانه مهماندوست، صح، رودخانه آبشرف و سایر مسیل‌های فرعی که همگی به کویر ختم می‌گردند اشاره کرد. سیستم شبکه آبراهه‌ای عموماً شاخه درختی بوده و در پای دامنه ارتفاعات به شبکه‌های پهن و کم عمق و نهایتاً دشت‌های سیلابی منتهی می‌شوند. سیستم رودخانه‌ای شاخه شاخه بوده و شیب این شاخه ها زیاد و دارای بار رسوبی فراوان هستند. شبکه آبراهه‌ها در زمین‌های کم ارتفاع شاخه درختی و متراکم و در قسمت‌های مرتفع تراکم کمتری دارند، به طوری که تغییرات سنگ شناسی را در تنوع شبکه آبراهه‌ها به وضوح می‌توان تشخیص داد. به عنوان مثال در رخنمون دولومیت‌های چهره ساز تریاس و در کنار شیل‌های ژوراسیک به طور محسوسی بر تراکم آبراهه‌های کم عمق افزوده می‌شود. در پایین دست ارتفاعات، آبراهه‌ها به هم متصل شده و رودخانه‌های فصلی را به وجود آورده‌اند که همگی به کویر چاه‌جم (خروجی حوضه) منتهی می‌شوند.

۳-۴- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

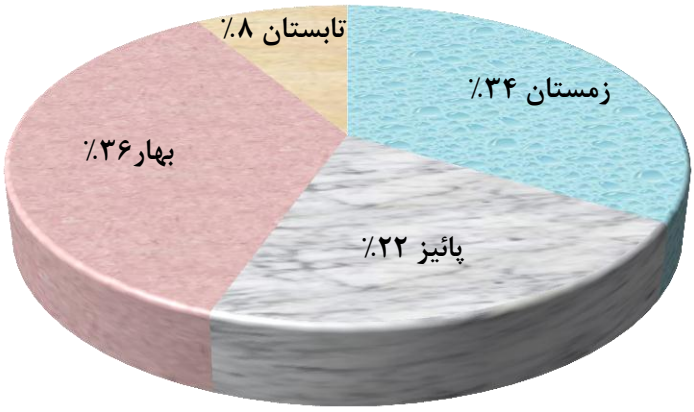
جدول (۱-۱) میانگین بارندگی ماهانه در یک دوره ۲۰ ساله در طی سال‌های (۹۰-۱۳۷۰) در ایستگاه‌های باران سنجی محدوده دشت دامغان و متوسط درجه حرارت ماهانه در یک دوره ۲۰ ساله (۸۹-۱۳۶۹) و میزان تبخیر را در دوره ۸ ساله (۸۹-۱۳۸۱) نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- میانگین بارندگی، درجه حرارت و تبخیر در دشت

ماه	متوسط میزان بارندگی (mm)	متوسط دما (^{o}C)	متوسط تبخیر (mm)
مهر	۳/۰۱	۱۹/۴۵	۲۱۶/۵۵
آبان	۸/۵۱	۱۲/۷۵	۱۱۹/۴۱
آذر	۱۴/۱۷	۵/۵۶	۲۰/۷۵
دی	۹/۳۱	۲/۵۵	۰/۸۰
بهمن	۱۶/۰۲	۳/۳۴	۰/۰۰
اسفند	۱۵/۲	۸/۱۶	۱۴/۵۳
فروردین	۲۰/۳۱	۱۵/۵۹	۱۶۵/۵۵
اردیبهشت	۱۵/۷۴	۲۰/۰۴	۲۸۶/۱۴
خرداد	۷/۲۴	۲۵/۰۱	۴۰۷/۹۰
تیر	۳/۸۷	۲۸/۵۸	۴۲۷/۱۴
مرداد	۲/۶۵	۲۸/۵۰	۴۱۴/۰۴
شهریور	۴/۵۶	۲۵/۵۳	۳۱۹/۳۹
سالیانه	۱۲۰/۶	۱۶/۲۵	۲۳۹۲/۲

متوسط بارش سالانه در کل سطح محدوده مطالعاتی ۱۵۹ میلی متر و متوسط بارش در دشت ۱۲۰ و کوهستان ۱۸۸ میلی متر برآورد شده است. با توجه به اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و ارقام موجود در این جدول، حداقل بارندگی سالانه در این دشت در سال ۱۳۷۸ با میزان ۵۰ میلی متر در ایستگاه تبخیرسنجی دانشگاه آزاد و حداکثر بارندگی در این دشت در سال

۱۳۸۵ با میزان ۲۵۶ میلی متر در ایستگاه باران سنجی آستانه رخ داده است. میانگین سالانه بارندگی بر اساس آمار سال‌های ۹۰-۱۳۷۰ حدود ۱۲۰/۶ میلی متر برآورد شده است. گرمای متوسط منطقه در تابستان حداکثر به ۲۸ درجه سانتی گراد افزایش یافته و در زمستان متوسط درجه حرارت در سردترین ماه تا ۲ درجه سانتی‌گراد پائین می‌رود. متوسط سالانه درجه حرارت بر اساس آمار ۲۰ ساله حدود ۱۶/۲۵ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۳-۳- توزیع بارش در فصول مختلف در محدوده مطالعاتی دامغان

دشت دامغان جز مناطق خشک بوده، دارای تابستان‌هایی گرم و خشک و زمستان‌هایی سرد است. از ویژگی‌های اقلیمی شاخص آن بارش کم و اختلاف شدید درجه حررات شب و روز است. به علت وزش بادهای شدید آب و هوای منطقه شدیداً متغیر بوده نواحی کوهستانی دارای آب و هوایی سردسیر و ییلاقی و دامنه ارتفاعات نسبتاً معتدل و حدود کناره‌های کویر گرم است. بر اساس آمار مأخوذه از ایستگاه‌های تبخیر سنجی بند انحرافی دامغان، دیباج و نیز باران سنجی صح بر اساس تقسیم بندی آمبرژه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک و بر اساس طبقه بندی دومارتن جز اقلیم‌های خشک و نیمه خشک سرد می‌باشد (گزارشات نیمه تفصیلی ماخوذه از آب منطقه ای سمنان، ۱۳۸۸).

۳-۵- زمین شناسی عمومی منطقه

محدوده مطالعاتی دامغان از نظر تقسیمات واحدهای ساختمانی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸) عمدتا در منطقه البرز و تا حدودی در ایران مرکزی گسترش دارد. رشته کوه‌های البرز در بخش‌های شرقی و مرکزی، تاقدیس شکنجی[1] ساده ای را در حاشیه شمالی ایران مرکزی تشکیل می‌دهند. حاشیه جنوبی کوه‌های البرز در خود نه تنها از نظر ساختمان زمین شناسی بلکه از نظر چینه شناسی نیز به ایران مرکزی شباهت دارد، در حالی‌که حاشیه شمالی آن با دامنه جنوبی‌اش از نظر زمین شناسی و چینه‌شناسی اختلاف زیادی دارد. سازندهای واقع در زمان‌های پرکامبرین- کامبرین، دونین- کربونیفر، پرمین- تریاس، تریاس بالایی- ژوراسیک، کرتاسه، پالئوژن، نئوژن و کواترنری در محدوده مطالعاتی گسترش دارند. همچنین در بسیاری از نوشته‌های موجود زمین شناسی کهن‌ترین سنگ‌های البرز را دگرگونی‌های جنوب گرگان (شیست‌های گرگان) دانسته اند. علاوه بر آن، دگرگونی‌های اسالم-شاندرمن (کلارک و همکاران، ۱۹۷۵) و گاهی نیز سازند بریر (گانسر و هوبر، ۱۹۶۲) واحدهای سنگ چینه ای پرکامبرین البرز شناخته شده‌اند. ولی امروز یقیناً معلوم شده است که این دگرگونی‌ها بیشتر سنگ‌های پالئوزوئیک و یا مزوزوئیک هستند که در اثر زمین ساخت برخوردی تریاس پسین (رویداد سیمرین پیشین) به طور همبری دگرگون شده اند. یافته‌های دیرینه شناسی امروز البرز، گویای این است که کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون شده البرز، سازند کهر است (درویش زاده، ۱۳۸۳- خسروتهرانی، ۱۳۸۳).

با بررسی زمین شناسی محدوده دامغان به تاثیر پذیری منطقه از اکثر جنبش‌های تکنوتیکی موثر بر شکل گیری زمین شناسی پی برده می‌شود، همچنین واحدهای چینه‌شناسی این محدوده از دو زون مختلف البرز و ایران مرکزی است (آقانباتی،۱۳۸۵). محدوده مطالعاتی دامغان شامل بخشی از تشکیلات زون البرز جنوبی و ایران مرکزی و یک زون تدریجی حد فاصل زون البرز و ایران مرکزی

[1] Anticlinorium

موسوم به بینالود است. تنوع چینه شناسی مختلف در حد کوه و دشت و محدوده مرهون عناصر تکنوتیکی شمال گسل‌ها و چین‌خورگی‌هایی است که کم و بیش از اثرات آن را در آبرفت متشکله آبخوان به ویژه در بخش شمالی وغربی دشت می‌توان مشاهده نمود.

وجود سیستم گسل عطاری با جهت شمال شرق- جنوب غرب، گسل شمال دامغان، گسل انجیلو، گسل اکسی، گسل کلوی در شمال و شمال غربی دشت در دامنه جنوبی سفید کوه و در امتداد روند چیره منطقه از وجوه مشخصه تاثیر ساختار تکنوتیکی بر آبرفت و شرایط تغذیه آبخوان می‌باشد.

۳-۵-۱- چینه شناسی منطقه

در این بخش از مطالعات سازندهای واقع در زمان‌های پرکامبرین- کامبرین، دونین- کربونیفر، پرمین- تریاس، تریاس بالایی- ژوراسیک، کرتاسه، پالئوژن، نئوژن و کواترنری که در محدوده مطالعاتی نیز گسترش دارند مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۳-۵-۱-۱- واحدهای سنگی پرکامبرین – کامبرین

دگرگونی‌های منسوب به پرکامبرین کوه‌های البرز، تنها در دامنه شمالی این کوه‌ها رخنمون دارند که از آن جمله می‌توان به شیست‌های گرگان، دگرگونی‌های اسالم- شاندرمن در جنوب باختری انزلی و دگرگونی‌های علم کوه (غرب کلاردشت) اشاره کرد. در مورد سن این دگرگونی‌ها بین زمین شناسان مختلف اختلاف نظر وجود دارد. در محدوده مطالعاتی دامغان هیچ سازندی به سن پرکامبرین برونزد ندارد (آقانباتی، ۱۳۸۵).

۳-۵-۱-۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک

نهشته‌های دونین – کربونیفر زیرین

بعد از فاز فرسایشی طولانی مدت اردویسین- سیلورین و تحت تاثیر فازهای اپیروژنتیک مثبت سیکل هرسی نین، کراتون ایران مجدداً تحت پیشروی ناهمزمان دریا قرار می‌گیرد. به طوری که این

پیشروی در نواحی ایران مرکزی در آغاز دونین و در البرز مرکزی در دونین بالایی رخ می‌دهد. ادامه جنبش‌های شاقولی هرسی نین در ایران منجر به تغییر رخسارهای رسوبی و نهایتاً خروج از آب ایران مرکزی در اواخر دونین بالایی و البرز در اواخر کربنیفر پایینی و استیلای شرایط قاره ای و فرسایشی طولانی مدت تا پرمین می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۵). از آنجا که هر دو رخساره رسوبی را در نقشه زمین شناسی دامغان می‌توان تشخیص داد، لذا سازندهای این پریود در دو ناحیه شمال و جنوب گسل عطاری بررسی شده است.

۳-۵-۲- آبرفت های کواترنر

این رسوبات بیشتر در حواشی دشت و کف کانال‌ها گسترش دارند و اندازه ذرات آن‌ها رو به شمال افزایش می‌یابد. همچنین در بخش شمالی جاده سمنان به دامغان خصوصاً از میبد آباد به بعد این روند افزایشی به وضوح دیده می‌شود. خوشبختانه به علت پایین رفتن سطح اساس فرسایش (چاله دامغان) در طول زمان و تغییر در رژیم سیلابی و ایجاد پادگانه‌های آبرفتی، این امکان وجود داشته است که این نهشته‌ها را به ۳ واحد چینه شناسی مختلف به شرح زیر تفکیک کرد.

۳-۵-۲-۱- واحد Q_{t1}

این واحد در دره تویه- دروار ضخامتی حدود ۲۵ متر داشته و به عنوان مرتفع ترین پهنه رسوبی، نواحی پدیمنتی منطقه را مشخص می‌سازد. اندازه ذرات آن در حد قلوه سنگ و حتی بزرگتر است و سیمان آن بسیار ضعیف و فاقد جورشدگی است.

۳-۵-۲-۲- واحد Q_{t2}

این واحد در حقیقت بخش‌های پایین تر پهنه‌های آبرفتی دشت را تشکیل می‌دهد و بر روی Q_{t1}قرار دارد. اندازه ذرات آن کوچکتر از Q_{t1} می‌باشد و از پادگانه‌ها و بادبزن‌های آبرفتی جدیدتر نظیر بادبزن آبرفتی دامغان تشکیل شده است.

۳-۵-۲-۳- واحد Q_{al}

این واحد آبرفت‌های عهد حاضر را شامل می شود و به ۳ بخش قابل تشخیص هستند. رسوبات کف کانال مسیل‌ها و رودخانه‌ها که بخش عمده ای از این واحد را تشکیل می‌دهد و طویل‌ترین آن‌ها از دره ما بین سمیه کوه و کوه زندانگاه شروع می‌شود و در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی تا کویر چاه جم ادامه می‌یابد. از ویژگی‌های جالب توجه این واحد اختلاف رخساره‌ای رسوبات دو طرف آن در جنوب جاده دامغان است.

دشت‌های سیلابی درشت دانه که پراکندگی کمی دارند و از آن می‌توان به دشت دراز و هموار ما بین کانال‌های آب شرف و دریان اشاره کرد. این آبرفت‌ها دانه درشت بوده و از گرد شدگی خوبی برخوردار هستند.

بادبزن‌های آبرفتی در حال تشکیل که به عنوان مثال از بادبزن آبرفتی غرب امیر آباد می‌توان نام برد. جور شدگی این رسوبات خوب نیست و از نظر جورشدگی کانی شناسی به فرم نابالغ هستند. با دور شدن از منشا این رسوبات به طور بین انگشتی به رخساره‌های رسی و پلایایی تبدیل می شود.

۳-۵-۲-۴- نهشته‌های سیلابی ریزدانه Q_{sc}

این رسوبات بخش جلگه‌ها را تشکیل می‌دهند و شامل رس ماسه ای و رس است که گاهاً دارای میان لایه‌های درشت دانه‌تر نیز می‌باشد. در واقع این رسوبات حاصل رسوبگذاری مواد دانه ریز سیلاب‌ها در بخش دیستالنسل‌های مختلف مخروط افکنه‌ها در گودال دامغان هستند، از این رو دارای ضخامت زیادی هستند. پیدایش این رسوبات برخلاف رسوبات رسی پلایابی، بیشتر مرهون شیب ملایم جلگه‌ها و کاهش سرعت جریان آب است تا تبخیر آن، و از این رو فاقد لکه‌های نمکی هستند (آقانباتی، ۱۳۸۵). از ساختارهای رسوبی این نهشته‌ها می‌توان به گرهک‌هایی به شکل هندسی نامنظم از جنس فورش و رس اشاره کرد که به زبان بومی به آن کورچه می‌گویند. اندازه آن‌ها از نخود تا فندق

حتی مشت است و گاهی آنقدر زیاد هستند که تشکیل انباشته‌های متخلخلی را به طور مثال در شمال شرق حاجی آباد رضی می‌دهند.

۳-۵-۳- گسل ها

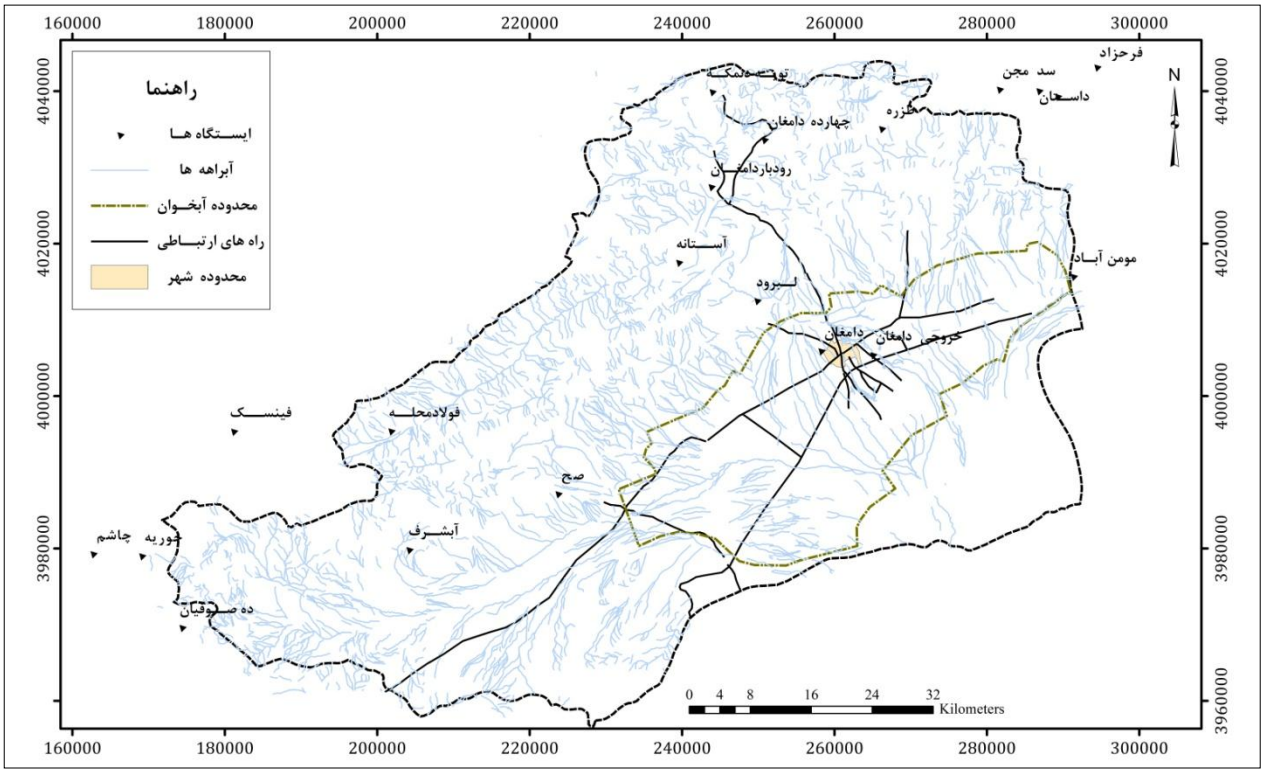
پراکندگی هندسی واحدهای چینه شناسی مختلف مرهون فعالیت‌ها و عناصر تکتونیکی حاکم بر منطقه است. دشت دامغان خود یک چاله تکتونیکی بوده و گسل‌های زیادی را شامل می‌شود.

از نظر ساختمانی منطقه مورد مطالعه از ورقه‌های متعددی که روی همدیگر رانده شده اند، به وجود آمده است. شواهد همگی دال بر راندگی از شمال به جنوب می‌باشد. از گسل‌های راندگی منطقه می‌توان به گسل سنگسر، تویه، صبور(دامغان) و گیو اشاره کرد، که همگی حرکتی از شمال به جنوب دارند. علاوه بر گسل‌های راندگی گسل‌های امتدادی لغز با راستای شمال غرب- جنوب شرق و به دو صورت چپ بر و راست بر باعث جابجایی ورقه‌ها و ردیف‌های رسوبی بیشماری شده است. از گسل‌های جوان و فعال منطقه می‌توان گسل راست لغز صبور را نام برد که نهشته‌های آبرفتی فولاد محله را قطع و آن‌ها را جابجا کرده است. از نظر سنی گسل‌های متراکم کم و بیش بعد از ائوسن فعالیت داشته و راندگی حاصل کرده‌اند. وجود گسل‌های جوان کواترنر نیز مؤید فعالیت جاری نیروهای زمین ساختی در منطقه است (مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی- مطالعات زمین شناسی، ۱۳۸۸).

۳-۶- هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

حوزه آبریز دشت دامغان از شمال به دامنه جنوب شرقی ارتفاعات البرز، از غرب به حوزه آبریز دشت سمنان، از جنوب به کویر حاج علی قلی و از شرق به حوزه آبریز شاهرود محدود است. رودخانه اصلی منطقه رودخانه آستانه (چشمه علی) است که از ارتفاعات چشمه علی سرچشمه گرفته و پس از طی مسافت طولانی و الحاق با شاخه‌های فرعی از ناحیه شمال وارد دشت شده و از قسمت میانی دشت دامغان به طرف کویر (خروجی حوضه) جریان می‌یابد.

در مطالعات هیدرولوژی محدوده مطالعاتی دامغان از سری مطالعات نیمه تفصیلی دشت دامغان که توسط شرکت مشاور طرح آبریز در اسفند سال ۱۳۸۷ انجام گرفته است، از ۱۴ ایستگاه (هیدرومتری، باران سنجی و تبخیرسنجی) که در محدوده و خارج از آن قرار دارند استفاده شده است. (شکل۳-۴) موقعیت ایستگاه‌ها را به همراه آبراهه‌ها و رودخانه‌های محدوده مطالعاتی و اطراف آن نشان می‌دهد. در گزارش مذکور برای یک دوره ۲۰ ساله (۶۲-۱۳۶۱ تا ۸۱-۱۳۸۰) مقادیر میانگین آبدهی ماهانه و فصلی رودخانه‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه شده است. با توجه به میانگین آبدهی ماهانه کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره آماری ۲۰ ساله مشخص گردید ایستگاه دامغانرود - لبرود با دارا بودن میانگین سالانه ۲/۵ مترمکعب بر سال پرآب‌ترین ایستگاه می‌باشد و در اکثر ایستگاه‌ها ماه‌های فروردین و اردیبهشت پرآب‌ترین و مرداد و شهریور ماه کم آب‌ترین ماه‌های سال می‌باشند.



شکل ۳-۴- موقعیت ایستگاه‌ها و آبراهه‌های موجود در منطقه

آبخوان این دشت از نوع آزاد و ناهمگن بوده و جهت جریان آب زیرزمینی همروند با شیب منطقه از شمال و غرب به سمت جنوب غرب می‌باشد. در محدوده آبخوان ۷ لاگ اکتشافی به طول ۱۵۲۰ متر حفر شده است. بررسی مجموعه لاگ‌های حفر شده در محدوده مطالعاتی دامغان گویای این واقعیت است که علیرغم وجود رسوبات دانه درشت مخروط افکنه ای در لاگ‌های حفر شده در پای دامنه مخروط افکنه‌ها به سمت قسمت میانی دشت تغییر دانه بندی تدریجی نبوده و از الگوی یکنواخت تغییرات تدریجی دانه بندی در محیط‌های سیلابی تبعیت نمی‌نماید. تغییر ناگهانی اندازه رسوبات در پای دامنه مخروط افکنه شمال دامغان با تناوب رسوبات دانه ریز رسی مشخص است نشان دهنده منشا متفاوت رسوبات سازنده دشت در مجاورت ارتفاعات است. به طوری که تغییر دانه بندی رسوبات درست در پای دامنه مخروط افکنه موجب تشکیل آبخوان تحت فشار شده در اعماق بیشتر شده است. همچنین وجود لایه‌های رسی در اعماق کمتر موجب شده آبخوان آزاد سطحی تشکیل شده در قسمت میانی دشت بیشتر حالت معلق داشته باشد.

حدود ۹۲۰ حلقه چاه در منطقه وجود دارد که مجموع تخلیه چاه‌های عمیق و نیمه عمیق کشاورزی به طور متوسط طی چند سال اخیر حدود ۱۰۶/۸۷ میلیون مترمکعب در سال و ۱۱ رشته قنات‌ها برآورد شده است، که با احتساب تخلیه چاه‌های صنعتی و شرب حدود ۱۱۴/۲۳ میلیون مترمکعب خواهد شد. حدود ۴۵ حلقه چاه مشاهداتی (پیزومتری) جهت اندازه‌گیری سطح آب در این دشت حفاری شده است.

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۴۲۲ چشمه وجود دارد، که مجموع تخلیه سالانه آن‌ها ۴۸/۳۸ میلیون مترمکعب برآورد شده است. اغلب این چشمه‌ها در ارتفاعات شمال محدوده قرار دارند و غالباً در سازندهای سخت آهکی قرار گرفته و از نوع درز و شکاف‌دار و کنتاکتی هستند. یکی از بزرگترین چشمه‌های این منطقه چشمه علی است که در ۳۲ کیلومتری شمال غرب دامغان و در ۱۲ کیلومتری جنوب غرب روستای کلاته قرار دارد. مظهر این چشمه درون آهک‌های لار واقع شده است و از نوع درز و کنتاکتی می‌باشد. دبی متوسط چشمه در سال آبی ۸۴-۸۳، ۵۸۲ لیتر بر ثانیه و تخلیه سالانه

آن ۱۸/۳۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. این چشمه بزرگ‌ترین چشمه کارستی منطقه است. چشمه‌علی در محل برخورد سازند لار با سازند شمشک سرچشمه می‌گیرد. آبدهی این چشمه در ماه اردیبهشت در حداکثر مقدار خود و در ماه مهر حداقل می‌باشد که حدود ۲۰۰ لیتر بر ثانیه اختلاف دارد، آب این چشمه به مصرف کشاورزی می‌رسد.

تعداد کل قنوات در محدوده مطالعاتی حدود ۶۰ رشته است، که میزان تخلیه سالانه آن‌ها ۴/۸۴ میلیون مترمکعب است. بیشترین آبدهی مربوط به قنات‌های کلاته داوود با آبدهی ۲۰ لیتردرثانیه، قنات فیخار با آبدهی ۶۰ لیتر در ثانیه و قنات حاجی آباد رضوه با آبدهی ۲۰ لیتر در ثانیه می‌باشد.

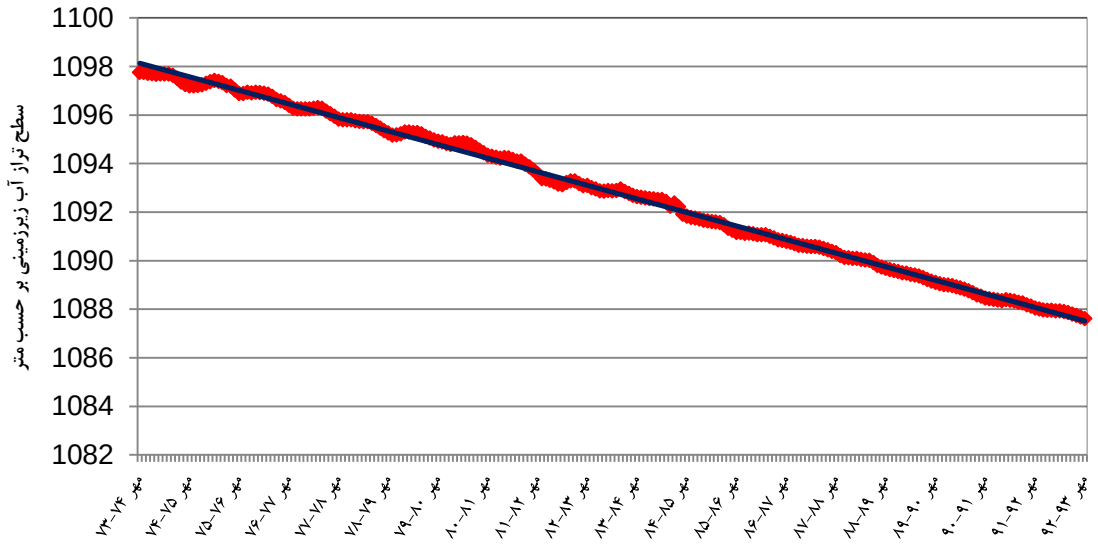
۳-۷- وضعیت آبخوان دامغان

آبخوان آزاد دامغان در حد فاصل بین دامنه‌های جنوب شرقی البرز در قسمت‌های شمالی و کویر حاج علی قلی در جنوب منطقه قرار گرفته است. به دلیل ارتباط بسیار کم محدوده روستای قوشه با سایر قسمت‌های آبخوان، احتمال می‌رود یک لایه ناتراوا در این قسمت وجود داشته باشد که باعث این عدم ارتباط شده است، با در نظر گرفتن این مورد، در مطالعات مربوط به مدلسازی محدوده قوشه با مشورت کارشناسان محلی حذف شده است.

ضخامت متوسط آبخوان ۸۰ متر می‌باشد و در قسمت‌های مختلف دشت متفاوت می‌باشد. مقدار مساحت آبخوان حدود ۱۱۷۳/۵۵ کیلومترمربع می‌باشد. با توجه به نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی که با استفاده از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای رسم شده است، عمق آب زیرزمینی در هیچ قسمتی از دشت کمتر از ۵ متر نمی‌باشد، در نتیجه هیچ منطقه تبخیری در آبخوان وجود ندارد.

محدوده آبخوان دامغان دارای ۴۰ چاه مشاهده‌ای فعال، برای پایش سطح آب سفره می‌باشد، که حدودا با توزیع مناسبی در سراسر دشت پراکنده شده اند. با استفاده از آمار و اطلاعات امور منابع آب شهرستان دامغان در مورد این چاه‌های مشاهده‌ای، هیدروگراف دراز مدت آبخوان دامغان با استفاده از روش تیسن بندی دشت ترسیم گردید (شکل ۳-۵) و با توجه به گراف رسم شده سطح آب زیرزمینی

روند نزولی داشته است. با توجه به هیدروگراف شکل زیر مقدار افت بین مهر ماه سال ۱۳۷۳ تا شهریور ماه سال ۱۳۹۲ حدود ۱۰ متر می‌باشد.



شکل ۳-۵- هیدروگراف دراز مدت دشت دامغان (۹۲-۱۳۷۳)

۳-۸- انواع مدل‌های آب زیرزمینی

مدل‌های آب زیرزمینی را می‌توان به طور کلی به دو گروه مدل‌های جریان آب زیرزمینی[1] و مدل‌های انتقال آب زیرزمینی[2] تقسیم بندی نمود. مدل‌های جریان آب زیرزمینی، توزیع بار هیدرولیکی در سیستم را مشخص می‌نمایند و مدل‌های انتقال، غلظت ماده محلول را که تحت تاثیر هم رفتی، پخشیدگی و واکنش‌های شیمیایی است، تعیین می‌نمایند. مدل‌هایی که می‌توان از آن‌ها در حل معادلات جریان آب زیرزمینی استفاده کرد متعدد می‌باشند. معادلات دیفرانسیل جزیی حاکم بر جریان آب زیرزمینی در یک محیط متخلخل که بر مبنای قانون دارسی 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.

[1] Groundwater flow models
[2] Groundwater transport models

بطور کلی مدل‌ها به دو گروه مدل‌های فیزیکی و ریاضی تقسیم بندی می‌شوند. از این میان می‌توان به مدل‌های تحلیلی[۱]، مدل‌های محیط متخلخل[۲]، مدل‌های سیال وسیکوز[۳]، مدل‌های آنالوگ الکتریکی[۴]، مدل‌های موازنه جرمی[۵]، مدل‌های تجربی[۶] و مدل‌های عددی[۷] اشاره نمود، که هر یک به یکی از دو گروه پیش گفته تعلق دارند و جهت مدلسازی آب‌های زیرزمینی توسعه یافته اند. در ادامه فقط به معرفی مدل ریاضی می‌پردازیم.

۳-۸-۱- مدل ریاضی

شبیه سازی جریان و انتقال آب زیرزمینی به وسیله مدل‌های ریاضی عمدتا از اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی رواج یافته است. پس از آن مدل‌های ریاضی بطور گسترده ای برای ارزیابی وضعیت کمی و کیفی آبخوان بکار می‌روند. در مدل‌های ریاضی، سیستم‌های هیدروژئولوژی در دست بررسی، بوسیله قوانین و روابط ریاضی حاکم بر هیدرولیک محیط متخلخل توصیف می‌گردند. این معادلات شامل معادلات دیفرانسیل، شرایط مرزی و پارامترهای اولیه مرتبط با آن می‌باشد. امروزه مدل‌های ریاضی، جهت بررسی مسایل پیچیده عددی، روشی استاندارد برای حل مسایل جریان آب زیرزمینی می‌باشد. برای بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی، مدل‌های کامپیوتری مناسبی تهیه و در دسترس بوده و کاربر می‌تواند از آن‌ها برای بررسی سناریوهای مختلف استفاده نماید.

۳-۸-۱-۱- مدل‌های عددی

به دلیل شرایط پیچیده آبخوان‌ها، مرزهای هیدرولوژیکی پیچیده و هندسه نامعین، استفاده از مدل‌های تحلیلی، عمدتا محدودکننده بوده و با پیشرفت علوم کامپیوتر، کاربرد مدل‌های عددی رو به

---

[1] Analytical models
[2] Models of porous media
[3] Viscous fluid models
[4] Electronic analog models
[5] Mass balance models
[6] Empirical Models
[7] Numerical models

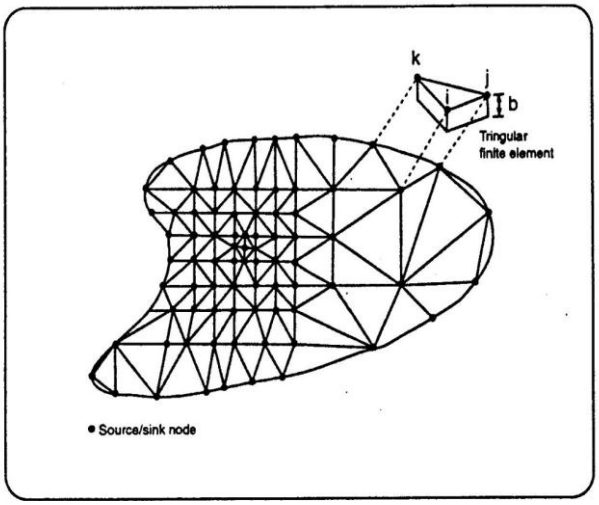
افزایش گرفته است. در استفاده از مدل‌های عددی، متغیرهای پیوسته سیستم با متغیرهای ناپیوسته جایگزین می‌گردد، بنابراین معادلات تفاضل پیوسته که بیانگر ارتفاع سطح آب در هر قسمت آبخوان می‌باشد توسط تعدادی نقطه که گره[1] نامیده می‌شود، جایگزین شده و تعدادی معادلات جبری (برابر با تعدادی گره‌ها) بدست می‌آید، در 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 بطور پیوسته نسبت به زمان و مکان حل می‌شوند در مدل‌های عددی نوعی گسستگی در زمان و مکان وجود دارد و با در نظر گرفتن ساده انگاری‌های اعمال شده، مسایل پیچیده جریان، به این طریق محاسبه و قابل حل می‌باشد. مدل‌های عددی عمدتا به دو روش عناصر محدود[2] و روش تفاضل محدود[3] قابل حل می‌باشند.

۳-۸-۱-۱-۱- روش عناصر محدود

در روش عناصر محدود از شبکه‌های چند وجهی و بویژه مثلثی استفاده می‌گردد. به عبارت دیگر مهم‌ترین تفاوت این دو روش در چگونگی تقسیم بندی آبخوان مورد مطالعه به اجزای کوچکتر می‌باشد. در این روش المان های مختلف باید تعیین شوند، رعایت نظم مشخص در چگونگی شکل دادن به المان‌ها اهمیتی ندارد و المان بوسیله گره‌ها تعریف می‌گردند. گره‌ها ممکن است در محل تقاطع چند وجهی ها، درون آن‌ها و یا در وسط اضلاع در نظر گرفته شوند و نشانگر نقاطی هستند که در آن‌ها پارامترهای نامعلوم نظیر بار آبی[4] محاسبه خواهد شد. مساحت منطقه مورد مطالعه، بوسیله گره های در نظر گرفته شده، تعیین می گردد. این امر به کاربر امکان می‌دهد که بتواند محیط‌های غیر همگن را تجزیه و تحلیل نماید. اساس ریاضی بکار رفته در روش عناصر محدود، در مقایسه با روش تفاضل محدود مشکل تر می‌باشد (شکل ۳-۶).

---

[1] Node
[2] Finite elements method
[3] Finite difference method
[4] head



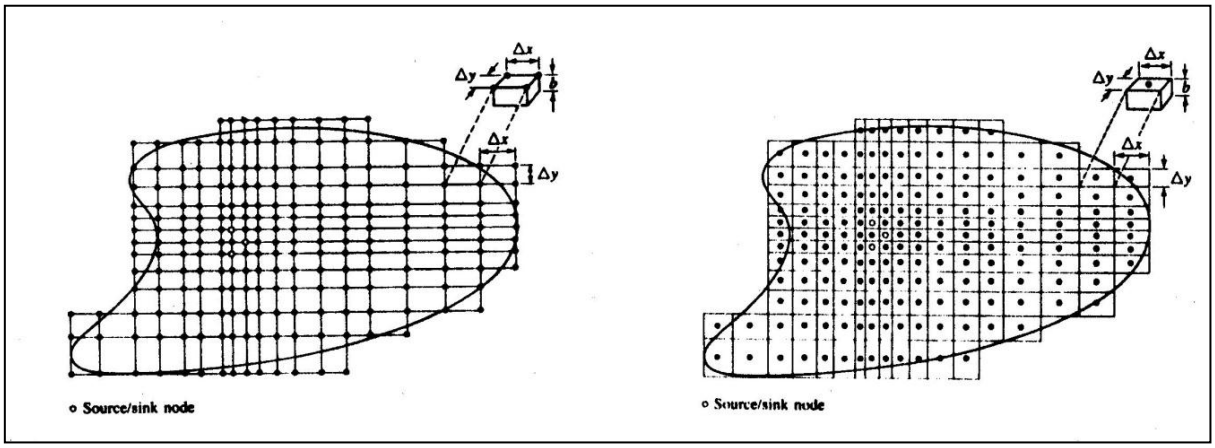
شکل ۳-۶- شبکه اجزای محدود با قطعات مثلثی که در آن b عبارت
است از ضخامت لایه آبدار (وانگ و اندرسون، ۱۹۹۸)

در روش اجزای محدود اولین قدم بدست آمده معادله انتگرالی است که نشان دهنده معادله دیفرانسیل جزیی می‌باشد. حل این انتگرال با تقسیم آبخوان به یکسری اجزا بدست می‌آید. در این روش، طراحی شبکه بسیار مشکل‌تر و حساس‌تر از روش تفاضل محدود است، ولی با توجه به قابلیت شکل پذیری، می‌توان به خوبی محدوده مدل را پوشش داد و این یکی از مزیت‌های مهم روش اجزای محدود است.

۳-۸-۱-۱-۲- روش تفاضل محدود

روش تفاضل محدود بر اساس تئوری و بسط تیلور بنا نهاده شده است. در این روش، معادلات از طریق گسسته کردن (تفاضل کردن)، تقریب زده می‌شوند. سیستم پیوسته، از نظر زمانی و مکانی به یک سری بخش‌های مجزا تقسیم می‌شود و متغیرهای زمانی و مکانی به صورت پارامترهای ناپیوسته در نظر گرفته می‌شوند. نهایتا مجموعه معادلات حاصل از معادلات تفاضل متناهی به شکل معادلات جبری درآمده و به کمک کامپیوتر، به صورت عددی حل می‌گردند. مسایل متعددی از قبیل بررسی جریان آب زیرزمینی ماندگار و غیر ماندگار در حالت‌های یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی برای

آبخوان‌های تحت‌فشار، نامحبوس و آرتزین در شرایط یکنواخت و همسانگرد[1] به وسیله مدل‌ها، برمبنای روش تفاضل محدود حل شده است. همچنین پارامترهای موثر بر آبخوان از قبیل تبخیر و تعرق، نفوذ القایی ناشی از جریان رودخانه (نشت رودخانه یا زهکشی آبخوان)، جریان چشمه‌ها، انتقال آلودگی، جریان‌های آشفته و جریان غیراشباع، توسط این روش حل گردیده است. اولین مطالعه مدلسازی آب زیرزمینی با استفاده از روش تفاضل محدود در سال ۱۹۶۸ توسط اداره منابع آب کالیفرنیا، جهت مطالعه آب زیرزمینی دشت ساحلی لس آنجلس انجام گرفته است (اسپیتز و مورنو، ۱۹۹۶). در مدل‌های تفاضل محدود، کاربر مدل شبکه منظمی را برای مدل طراحی می‌نماید که کل ناحیه مورد مطالعه، به یک سری زیرمجموعه‌های چهارگوش تقسیم می‌شود، سپس پارامترهای ثابتی به عنوان مقدار اولیه به هر سلول اختصاص می‌یابد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- نمایش شبکه بندی تفاضلات متناهی (وانگ و اندرسون، ۱۹۹۸)

این مقادیر، شامل پارامترهای مختلف آبخوان می‌باشد که به صورت مقادیر مجزایی در گره‌های شبکه یا در نقطه مرکزی سلول‌ها اختصاص داده می‌شود. در مدل‌های تفاضل محدود از روش تقریب صریح[2]، ضمنی[1] و Grank- Nicolson استفاده می‌گردد. همچنین روش‌های تکراری و مستقیم جهت

[1] Isotropic
[2] Explicit

حل معادله حاکم به روش تفاضل محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های تکراری معمول گنجانده شده در اکثر کدهای کامپیوتری شامل روش تکراری گاوس-سیدل[۲]، روش ژاکوب[۳]، روش SOR[۴]، روش SSOR[۵]، روش SIP[۶]، روش WHS و روش PCG2[۷] می‌باشند.

روش تفاضل‌های محدود به علت در دسترس بودن برنامه‌های کامپیوتری، کاربرد نسبتا ساده، انطباق با شرایط آبخوان‌های مختلف و دقت نسبتا خوب در مدلسازی آب‌های زیرزمینی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. در مطالعات حاضر نیز به دلیل دسترسی به نرم افزار (کد MODFLOW) که از روش تفاضل محدود عمل می‌نماید، استفاده گردیده است.

۳-۹- مراحل مختلف تهیه مدل ریاضی آبخوان دشت دامغان

مراحل تهیه مدل ریاضی را می‌توان بر اساس نوع و کاربری مدل و میزان پیچیدگی آن (در شبیه سازی سیستم واقعی) 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 (پروتکل مدلسازی) می‌بایست صورت پذیرد که در نمودار (شکل ۳-۸) می‌توان مشاهده نمود. بر اساس این الگوریتم مراحل تهیه مدل آب زیرزمینی دشت دامغان به طور خلاصه در ادامه بیان شده است:

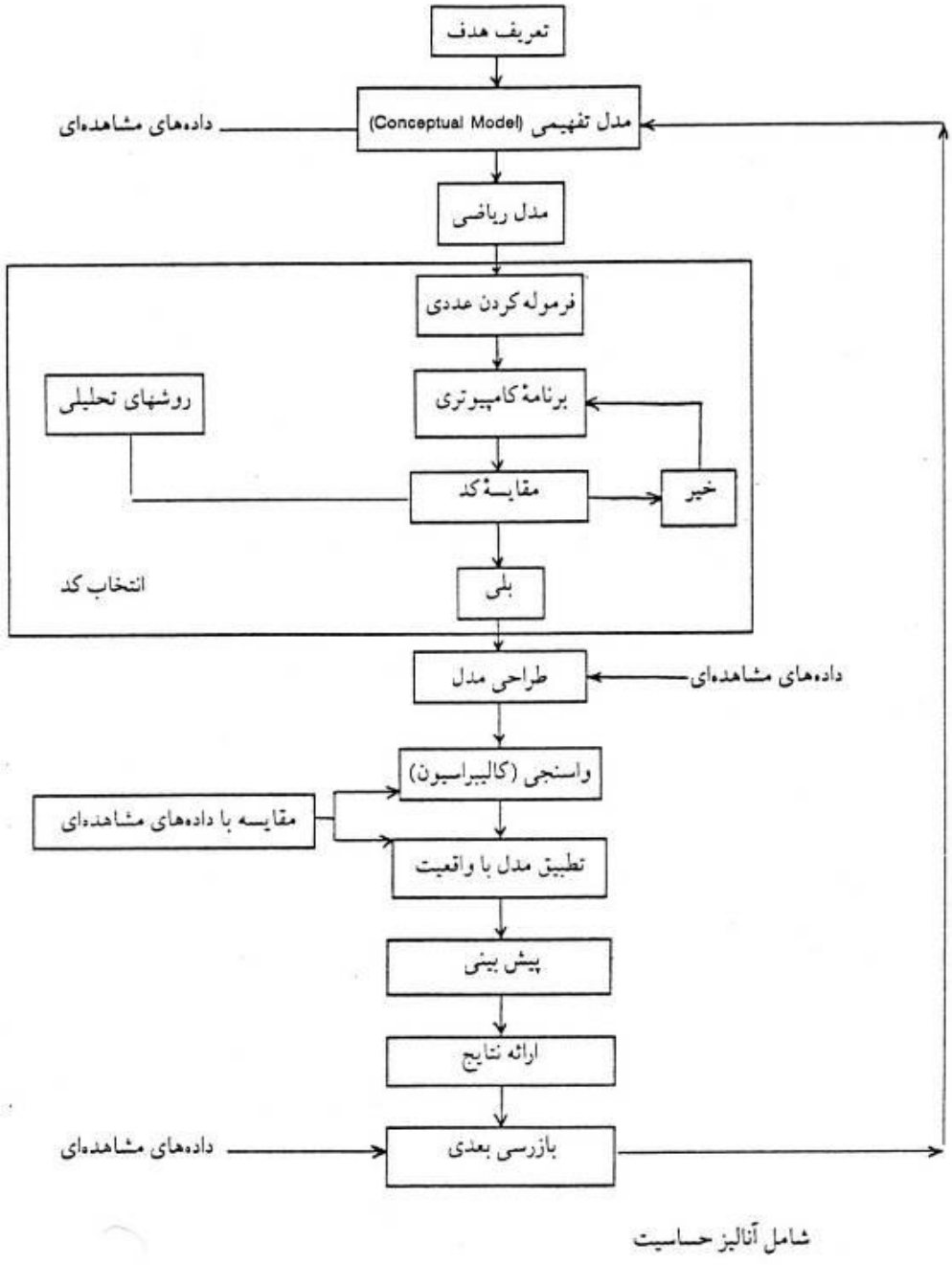
۳-۹-۱- تعیین هدف برای تعیین مدل

هدف، اولین مرحله مدلسازی است و تعیین می‌کند که کدام معادله حاکم (کمی، کیفی، اشباع، غیراشباع و ...) در محدوده مورد مطالعه صادق بوده و چه نتایجی از مدل می‌بایست حاصل گردد. جهت دسترسی به این هدف ابتدا بایستی وضعیت هندسه آبخوان، شرایط فیزیکی مصالح سازنده

---

[1] Implicit
[2] Gauss Seidel iteration method
[3] Jacob method
[4] Slice Over-Rel
[5] Slice Succ. Over-Rel
[6] Stongly Imp.Procedure
[7] Pre-Cond.Conj.Grad

سفره، وضعیت مرزهای هیدروژئولوژیک و پارامترهای موثر در آبخوان شناسایی گردد. هدف در این مطالعه، بررسی سیستم هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت دامغان، بازبینی و کنترل برخی داده‌های موجود و بررسی صحت آن‌ها قبل از قرار دادن در مدل، برآورد حدود تغییرات ضرایب هیدرولیکی آبخوان، بررسی شرایط مرزی سفره آب زیرزمینی و پیش بینی سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف در دشت دامغان می‌باشد.



شکل ۳-۸- مراحل تهیه مدل آب زیرزمینی (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲)

۳-۹-۲- جمع آوری داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در مدلسازی آب زیرزمینی در دو قالب فیزیکی و هیدرولوژیکی طبقه بندی می‌شوند (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲)، که در جدول (۳-۲) آمده است. دسته اول، چارچوب فیزیکی یعنی هندسه آبخوان را تعریف می‌کند. در دسته دوم اطلاعات زمین شناسی شامل بارهای-هیدرولوژیکی و جریان‌های مورد نیاز برای تهیه مدل مفهومی مورد نیاز است. کیفیت شبیه سازی تا حدود زیادی به معتبر بودن فیزیک مدل و کیفیت داده‌های ورودی بستگی دارد. پارامترهای مدل می‌بایست از داده‌های صحرایی مشتق گردند. جهت طراحی و ساخت شرایط معادل ولی ساده شده، اطلاعات زیادی از سیستم طبیعی مورد نیاز می‌باشد، که می‌تواند با استفاده از کدهای کامپیوتری حل شود، ورود اطلاعات صحیح و منطبق بر واقعیت گام حیاتی در مدلسازی آب زیرزمینی است.

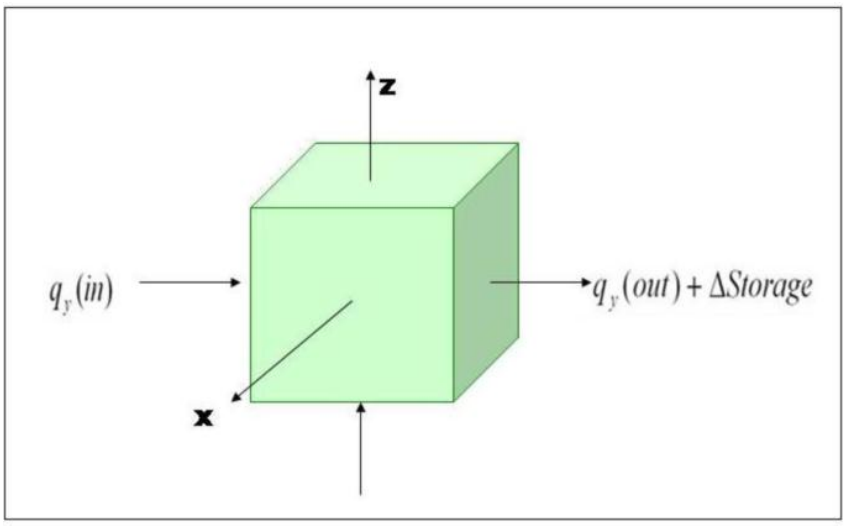
جدول ۳-۲- اطلاعات مورد نیاز برای مدل کردن آب زیرزمینی (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲)

الف – چارچوب فیزیکی
– نقشه های زمین شناسی – نقشه های توپوگرافی که مرزها و موقعیت آب های سطحی روی آن مشخص است. – خطوط هم تراز نشان دهنده سطح زیرین آبخوان (سنگ کف) – نقشه های نشان دهنده مرزها و موقعیت رودخانه ها
ب – چارچوب هیدروژئولوژیکی
– سطح ایستابی و نقشه های هم پتانسیل برای آبخوان – هیدروگراف هد آب زیرزمینی تراز آب های سطحی و میزان تخلیه – نقشه های نشان دهنده هدایت هیدرولیکی یا توزیع ضریب انتقال – نقشه های نشان دهنده خصوصیات ذخیره آبخوان – توزیع مکانی زمانی تبخیر، تخلیه آبخوان، تعامل آب های سطحی و زیرزمینی، پمپاژ آب های زیرزمینی و تخلیه طبیعی آبخوان

در مدلسازی آبخوان دشت دامغان، اطلاعاتی از قبیل نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مطالعاتی (شامل اطلاعات مربوط به جنس سازندهای تشکیل دهنده دشت)، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، لاگ حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده ای، اطلاعات مربوط به میزان بارندگی، عمق سنگ کف، سطح آب زیرزمینی، آب‌های سطحی، میزان تبخیر و تعرق، میزان تخلیه از چاه‌های بهره برداری و نقشه‌های قابلیت انتقال و ضریب آبدهی ویژه با مراجعه به سازمان مربوطه (امور منابع آب شهرستان دامغان) جمع آوری شدند.

۳-۹-۳- معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی

برای شرایط جریان ماندگار ضرورت اصل پیوستگی این است که مقدار جریان ورودی به قطعه مشخص برابر مقدار جریان خروجی از آن باشد، همچنین ارتفاع تابع زمان نمی باشد (شکل ۳-۹). مکعبی بسیار کوچک را با ابعاد Δx، Δy و Δz در نظر می‌گیریم. توازن جرمی با جمع کردن اجزای- 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 ازای واحد سطح در مقطع مربوط یعنی $\Delta z \Delta x$ می‌باشد، که از سطح مذکور جریان برقرار می‌گردد (شوشتری، ۱۳۸۹).



شکل۳-۹- نمایش مفهومی معادله پیوستگی (بدینت، ۲۰۰۵)

در شرایط ماندگار که میزان ورودی و خروجی سفره برابر است و تحت آن هیچ تغییری در ذخیره آبخوان روی نمی‌دهد، بار پیزومتریک با زمان تغییر نمی‌نماید. معادله لاپلاس به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (۱-۳)$$

معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی در حالت غیرماندگار در یک محیط ناهمسانگرد و آبخوان محبوس عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right) = S_s\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۲-۳)$$

معادله بالا برای آبخوان‌های محبوس و همگن به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

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

چنانچه آبخوان همسانگرد فرض گردد ($Kx = Ky = Kz = K$) معادله بالا به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K}.\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۴-۳)$$

برای آبخوان‌های غیرمحبوس(آزاد)، با استفاده از کمیت آبدهی ویژه (Sy) به جای ذخیره ویژه (Ss) معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی عبارت خواهد بود:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(h\frac{\partial h}{\partial z}\right) = \frac{S_y}{K}.\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۵-۳)$$

معادله بالا، معادله دیفرانسیل جزیی غیرخطی Boussinesq می‌باشد که به علت غیرخطی بودن حل آن بوسیله روش‌های تحلیلی مشکل است.

در حالتی که آبخوان با تغذیه و تخلیه همراه باشد، تابع عمومی W به طرف راست معادله بوسینسک اضافه می‌گردد که علامت مثبت نشان دهنده تابع تخلیه و منفی حاکی از تغذیه آبخوان می‌باشد. در شرایط سه بعدی تابع W مبین میزان جریان به ترتیب، به ازای واحد طول، سطح و حجم می‌باشد که عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left(kh\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(kh\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(kh\frac{\partial h}{\partial z}\right)=S_y\frac{\partial h}{\partial t}\pm W \qquad (۶-۳)$$

معادله عمومی حاکم بر جریان آب زیرزمینی که در نرم افزار MODFLOW به کار رفته عبارت است از:

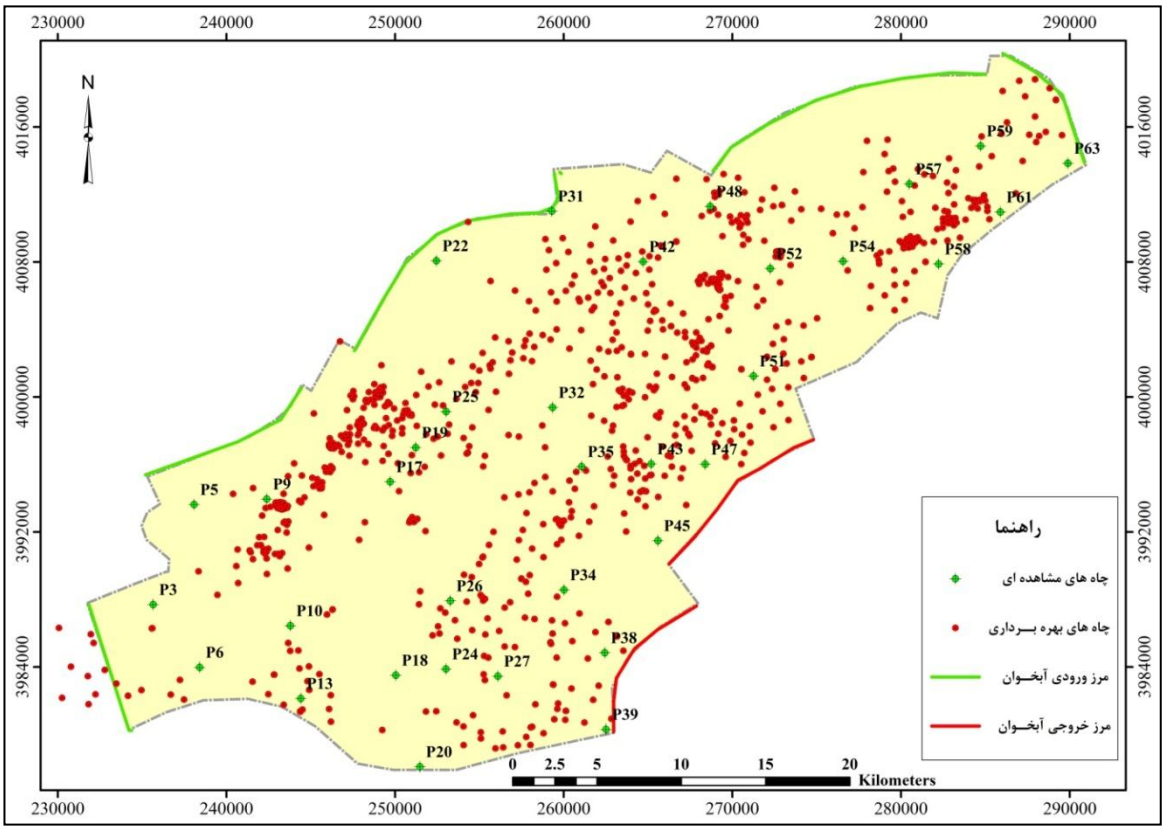
$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left[\mathrm{K_{xx}h}\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{x}}\right]+\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left[\mathrm{K_{yy}h}\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{y}}\right]+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\left[\mathrm{K_{zz}h}\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{z}}\right]-W=S_y\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۷-۳)$$

که در معادله فوق K_{xx}، K_{yy} و K_{zz} مقادیر هدایت هیدرولیکی در راستای x، y، z و h هد آب زیرزمینی، W شار حجمی جریان در واحد حجم، S_S ضریب ذخیره ویژه آبخوان و t زمان می‌باشد. معادله فوق به همراه شرایط اولیه و مرزی مناسب، سیستمی از معادلات را تشکیل می‌دهند که با حل آن‌ها مقدار h در زمان‌ها و مکان‌های مختلف در مدل به دست می‌آید. روش مورد استفاده در نرم افزار برای حل معادله فوق، روش تفاضل محدود می‌باشد که با گزینه‌های مختلف برای حل معادلات ماتریسی (روش SIP، SSOR، PCG، ...) پشتیبانی می‌گردد. روش تفاضل محدود از یک سری شبکه‌های محدود برای نشان دادن سیستم استفاده می‌کند و به جای معادلات دیفرانسیل جزئی، از مقادیری که از تفاضل بارهای پتانسیل در این نقاط بدست می‌آید، استفاده می‌کند.

۳-۹-۴- تهیه مدل مفهومی و تحلیل سیستم آبخوان

مدل مفهومی، مهم ترین و اساسی ترین مرحله در تهیه مدل جریان آب زیرزمینی می‌باشد. هدف از تهیه مدل مفهومی، ساده کردن شرایط واقعی منطقه مورد مطالعه و سازماندهی داده‌های صحرایی به منظور تجزیه و تحلیل راحت‌تر سیستم می‌باشد (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۲). در این مرحله واحدهای چینه شناسی و مرزهای سیستم معرفی می‌شوند. علاوه بر این داده‌ها و اطلاعات مربوط به بیلان آب و ضرایب هیدرودینامیک آبخوان جمع آوری و تفسیر می‌گردد. هر چقدر اطلاعات و داده‌های مربوط به منطقه جامع و کامل‌تر باشد، فرایند ساده سازی مدل از دقت بیشتری برخوردار است و مدل مذکور به واقعیت نزدیک تر خواهد بود.

یکی از ویژگی‌های بسیار مهم نرم افزار GMS، امکان تهیه مدل مفهومی در مودول نقشه با استفاده از ابزارهای GIS می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از این روش، ابتدا مدل مفهومی تهیه گردید و سپس مدل مفهومی به مدل عددی تبدیل گردید. برای تهیه مدل مفهومی دشت دامغان، اطلاعات مربوط به محدوده مدلسازی، توزیع اولیه ضرایب هیدروژئولوژیکی، تخلیه چاه‌های بهره برداری و میزان آب برگشتی آن‌ها، چاه‌های مشاهداتی، میزان تغذیه از سطح به آبخوان و شرایط مرزی با استفاده از نرم‌افزار GIS فراخوانی شدند. در شکل (۳-۱۰) نمایی از مدل مفهومی دشت دامغان و مرزهای آبخوان دشت دامغان نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰- مدل مفهومی و مرزهای محدوده آبخوان دامغان

۳-۹-۴-۱- شرایط مرزی[1]

یکی از مهم ترین مراحل در تهیه مدل مفهمومی و مدلسازی آب‌های زیرزمینی شناخت حدود مدل و مرزهای آن می‌باشد. در تعریف ناحیه مدل، می‌باید ناحیه مورد مطالعه از سیستم‌های آب زیرزمینی مجاور آن متمایز گردد. در نتیجه مرز مدل، فصل مشترک بین ناحیه مدل و محیط اطراف آن می‌باشد. تخصیص بار آبی، نرخ جریان و یا ترکیبی از آن‌ها بر روی سلول‌های مرزی، شرایط مرزی را برای ناحیه مدل مشخص می‌نمایند. شرایط مرزی، بیان ریاضی تخصیص متغیر وابسته (بار هیدرولیکی با غلظت) یا مشتق متغیر وابسته (جریان) در مرزهای مسئله می‌باشند. مرزها به دو نوع کلی مرزهای فیزیکی و مرزهای هیدرولیکی طبقه بندی می‌شوند. مرزهای فیزیکی به وسیله وجود فیزیکی یک عارضه نفوذ ناپذیر یا توده بزرگی از آب سطحی تشکیل می‌شوند. مرزهای دیگر از قبیل خط تقسیم آب زیرزمینی و خطوط جریان، که در نتیجه شرایط هیدرولوژیکی تشکیل می‌گردند مرزهای هیدرولیکی نامیده می‌شوند (اندرسون و وسنر، ۱۹۹۳).

۳-۹-۴-۱-۱- شرط مرزی بار هیدرولیکی معلوم[2]

مرزی است که بر روی آن بار هیدرولیکی، یا برای جریان غیر اشباع، بار فشاری ثابت باشد. این نوع مرزها به نام مرز نوع اول و در بحث‌های ریاضی مرز دریکله[3] شناخته می‌شوند. این مرز موقعی ایجاد می‌گردد که بار هیدرولیکی در زمان و مکان معین، مقدار مشخصی داشته باشد. مرزهای بار هیدرولیکی معلوم می‌توانند در هنگامی که توده‌های آب سطحی، از قبیل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، کانال‌ها، ساحل دریا و زهکش‌ها، آزادانه با آبخوان در ارتباط باشند رخ دهند. بیان ریاضی مرز نوع اول به شکل زیر است:

$$h(x, y, z, t) = constant \qquad (۸-۳)$$

---

[1] Boundary Conditions
[2] Specified Head Boundary
[3] Dirichlet

۳-۹-۴-۱-۲- شرط مرزی جریان معلوم[1]

در این شرایط مرزی، مشتق بار هیدرولیکی که در واقع جریان در زمان و مکان معین می‌باشد، دارای مقدار مشخصی است. مرز بدون جریان نیز یک نوع شرط مرزی جریان معلوم می‌باشد که درآن بده صفر در نظر گرفته می‌شود. چشمه‌ها، تبادل آب از طریق تبخیر، جریان‌های جانبی ورودی و خروجی و یا هر نوع منبع تغذیه و با جذب جریان از این نوع شرط مرزی هستند. در مدل آب‌های زیرزمینی به این مرزها، مرزهای نوع دوم یا مرزهای تغذیه و در بحث ریاضی به نام مرز نیومن[2] شناخته می‌شود. بیان ریاضی مرز نوع دوم به شکل زیر است:

$$\nabla h(x, y, z, t) = constant \qquad (۹-۳)$$

۳-۹-۴-۱-۳- شرط مرزی جریان وابسته به بار هیدرولیکی[3]

در این نوع شرط مرزی میزان جریان عبوری در مرز با توجه به بار هیدرولیکی موجود در آن مرز طبق یک رابطه که می‌تواند توسط کاربر مشخص شود، تعیین می‌شود. رودخانه‌های نشتی یا زهکش‌ها و آبخوان‌های مجاور که جریان تبادلی بین آن‌ها به اختلاف بار هیدرولیکی وابسته است، جز این دسته از شرایط مرزی قرار می‌گیرند. به این نوع شرط مرزی، شرط مرزی مختلط یا مرز نوع سوم گفته می‌شود.

از سویی دیگر، امکان شبیه سازی مرز در کد MODFLOW-2000 با گستره ای از مدول‌های دیگر از قبیل مدول‌های رودخانه[4]، مرز با بار عمومی[5] (GHB) و نیز چاه[6] امکان پذیر می‌باشد. عملکرد مرز GHB در MODFLOW از نظر ریاضی مشابه عملکرد بخش‌های رودخانه، زهکش و تبخیر و تعرق در این کد می‌باشد و با استفاده از آن امکان ورود یا خروج جریان از سیستم بر اساس یک منبع

---

[1] Specified Flow Boundary
[2] Neumen
[3] Mixed Boundary Condition
[4] River
[5] General Head Boundary
[6] Well

خارجی امکان‌پذیر می‌گردد. با فعال کردن GHB در هر سلول، نرخ جریان بر مبنای اختلاف بار هیدرولیک مبنا با بار هیدرولیک محاسبه شده و همچنین مقدار هدایت[1] آن سلول محاسبه می‌شود و برخلاف شرایط مرزی با بار ثابت[2]، مقدار بار هیدرولیک محاسبه شده در سلول لزوما مقداری ثابت و مقداری از پیش تعیین شده نخواهد بود.

در این مرحله با توجه به داده‌های سطحی و اطلاعات مربوط به نقشه‌های مختلف (زمین شناسی، توپوگرافی، خاک و هیدروژئولوژیکی) توزیع فضایی مرز اطراف آبخوان مشخص می‌شود. سپس با توجه به نقشه هم پتانسیل سطح آب زیرزمینی و الگوی جریان آب درون حوضه، مرزهای مشخص شده به مرزهای جریانی و غیرجریانی تقسیم می‌شوند. در آبخوان دشت دامغان مرزهای غربی، شمالی و شمال شرقی محدوده به عنوان مرزهای ورودی و مرز جنوبی 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 مرز نوع GHB این است که بر خلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نمی‌باشد و ممکن است با رسیدن اثر استرس‌های 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.

۳-۹-۴-۲- عوامل تغذیه و تخلیه کننده آبخوان

در این مرحله وارد نمودن کلیه اطلاعات مربوط به تغذیه و تخلیه حائز اهمیت است. به منظور بهبود شرایط در هنگام کالیبراسیون مدل، بهتر است هریک از منابع به صورت لایه‌های جداگانه به مدل معرفی شوند. منابع آبی مورد استفاده در دشت دامغان عمدتا از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب و صنعت است. تغذیه سطحی در برگیرنده درصدی از بارندگی، آب برگشتی حاصل

[1] Conductance
[2] Constant head boundary

از پساب شرب و صنعت و کشاورزی در منطقه و بالاخره آب نفوذی از طریق مسیل‌ها و تاسیسات تغذیه مصنوعی می‌باشد، که به توضیح مختصری راجع به هر یک می‌پردازیم:

۳-۹-۴-۲-۱- تغذیه آبخوان از طریق بارندگی

پس از بارش وقتی نزولات جوی، به روی زمین می‌رسد بسته به میزان و نوع نزولات (باران، برف و تگرگ) و نیز پوشش گیاهی و توپوگرافی منطقه و ... انواع جریان‌های آبی نظیر جریان سطحی، نیمه سطحی و زیرسطحی به وجود می آید. با اینکه دشت دامغان در محدوده خشک قرار گرفته است و میزان بارش سالیانه آن قابل توجه نمی‌باشد، اما با این وجود اطلاعات مربوط به بارندگی در ایستگاه‌های موجود در محدوده آبخوان جمع آوری شده و مقدار ۱۰ درصد از آن را به عنوان تغذیه آبخوان در نظر گرفته شده است (گزارشات نیمه تفصیلی آب منطقه ای سمنان، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است، به منظور وارد کردن عوامل تغذیه به آبخوان از بسته Recharge استفاده می‌شود و مقادیر تغذیه ناشی از ریزش‌های جوی بر حسب متر در روز به سطح دشت اعمال می‌گردد.

۳-۹-۴-۲-۲- تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی و شرب و صنعت

مقداری از آب که جهت آبیاری به کار می‌رود، می‌تواند بسته به سیستم آبیاری، زمان آبیاری، جنس و مشخصات خاک سطحی، نوع کشت و شرایط آب و هوایی منطقه از طریق سیستم‌های انتقال و اراضی کشاورزی به داخل زمین نفوذ کرده و به سفره زیرزمینی برسد. حجم زیادی از برداشت توسط چاه‌های حفر شده در دشت دامغان به منظور تامین آب کشاورزی و تعدادی نیز برای شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که چاه‌ها معمولا در محل مصرف حفر می‌گردند و به عبارتی محل برداشت و محل آبیاری در یک سلول مدل قرار می‌گیرد، می توان با محاسبه درصد آب برگشتی، از میزان آب پمپاژ شده درصد مذکور را کسر نمود و مقدار خالص آن را به عنوان دبی تخلیه منظور نمود. با توجه مطالعات انجام گرفته در دشت دامغان تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی، ۲۰ درصد

مقدار تخلیه چاه‌های کشاورزی و تغذیه ناشی از آب برگشتی شرب و صنعت، ۶۰ درصد مقدار تخلیه چاه‌های شرب و صنعت در نظر گرفته شده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان (قوشه‌ای)، ۱۳۸۹).

۳-۹-۴-۲-۳- برداشت آب زیرزمینی توسط چاه‌ها

در حال حاضر بهره برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت دامغان، عمدتا از طریق چاه‌های عمیق و کم عمق صورت می‌گیرد. بر اساس نتایج آمار و اطلاعات برداشت شده توسط امور منابع آب شهرستان دامغان در سال ۹۲-۱۳۹۱ حجم کل آب مصرفی در بخش کشاورزی از منابع آب زیرزمینی ۱۱۵/۱۴ میلیون متر مکعب بوده است که میزان آب مصرفی از طریق چاه ها برای سال آبی مذکور در محدوده بیلان برابر ۱۰۹/۹۴ میلیون مترمکعب و حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی از طریق قنات در محدوده بیلان در حدود ۵/۲۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. کل حجم آب مصرفی از منابع آب زیرزمینی در بخش شرب برابر ۹/۲۲ میلیون متر مکعب در سال و برای مصرف صنعتی بر اساس نتایج آمار منابع آب درسطح محدوده بیلان، حدود ۱۱/۰۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

در دشت دامغان حدود ۹۲۰ حلقه چاه بهره برداری حفر شده است، که حدود ۸۲۰ حلقه آن به مصرف کشاورزی و ۱۰۰ حلقه از آن صرف شرب و صنعت می‌شود. برای اعمال اثرات چاه بر آبخوان، ابتدا با استفاده از نقشه پراکندگی چاه‌ها، سلول‌های حاوی چاه مشخص گردیده و سپس با توجه به نرخ برداشت بر حسب واحد مترمکعب به روز اطلاعات وارد مدل گردید.

۳-۹-۴-۲-۴- تبخیر و تعرق

تبخیر از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی هوا، نوع و بافت خاک، سرعت باد و غلظت املاح آب بستگی دارد. در بین این عوامل، عمق سطح آب زیرزمینی عامل اصلی به شمار می‌آید. جهت تهیه این لایه ابتدا باید نقشه هم عمق آب

زیرزمینی در برنامه GIS تهیه شود، سپس مناطق با عمق کمتر از ۵ متر جهت محاسبه تبخیر (تاد و میز، ۲۰۰۵) را مشخص کرد. با توجه به نقشه هم عمق آب زیرزمینی در سال‌های آبی ۸۶-۸۵ تا ۹۱-۹۲ عمق آب زیرزمینی کمتر از ۵ متر در دشت وجود ندارد، لذا از این تبخیر صرف نظر شده است.

۳-۹-۴-۲-۵- تغذیه و تخلیه آبخوان از مرزهای جانبی

برای محاسبه جریان زیرزمینی ورودی و خروجی از آبخوان دامغان، از بسته مربوط به شرایط مرزی استفاده گردید. از این رو در محل‌هایی از منطقه که مرز آبخوان از نوع مرز هیدرولیکی باشد، به علت تفاوت در گرادیان هیدرولیکی مقداری جریان ورودی و یا خروجی خواهیم داشت. این میزان جریان، با توجه به تفاوت هد بین سلول مرزی و سلول مجاور آن بدست می‌آید. در مدل تهیه شده دشت دامغان، جبهه‌های شمالی، غربی و شمال شرقی منطقه، نقش تغذیه آبخوان را دارند و جبهه جنوبی به عنوان ناحیه تخلیه آبخوان محسوب می‌شود.

۳-۹-۴-۳- اطلاعات هیدرودینامیکی

لازمه تهیه مدل و بدست آوردن نتایج مورد انتظار، داشتن ضرایب هیدرودینامیکی نسبتا صحیح آبخوان (ضریب هدایت هیدرولیکی[۱]، ضریب قابلیت انتقال[۲] و ضریب ذخیره[۳]) برای سلول‌های مختلف می‌باشد، که چون این ضرایب در نقاط مختلف آبخوان تغییر می‌کند، در ابتدا، متوسط آن‌ها برای هر سلول در نظر گرفته می‌شود، که در حین واسنجی ممکن است برای بعضی مناطق تغییر نماید. برای تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان بایستی مقدار نسبتا زیادی آزمایش پمپاژ در قسمت‌های مختلف دشت انجام شود و در سایر نقاط با توجه به کلیه اطلاعات موجود مانند مشخصات چاه‌ها، نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی، مشخصات زمین شناسی منطقه و ... آن ضرایب را برآورد نموده و سپس

[1] Hydraulic conductivity
[2] Transmissibility
[3] Storage coefficient

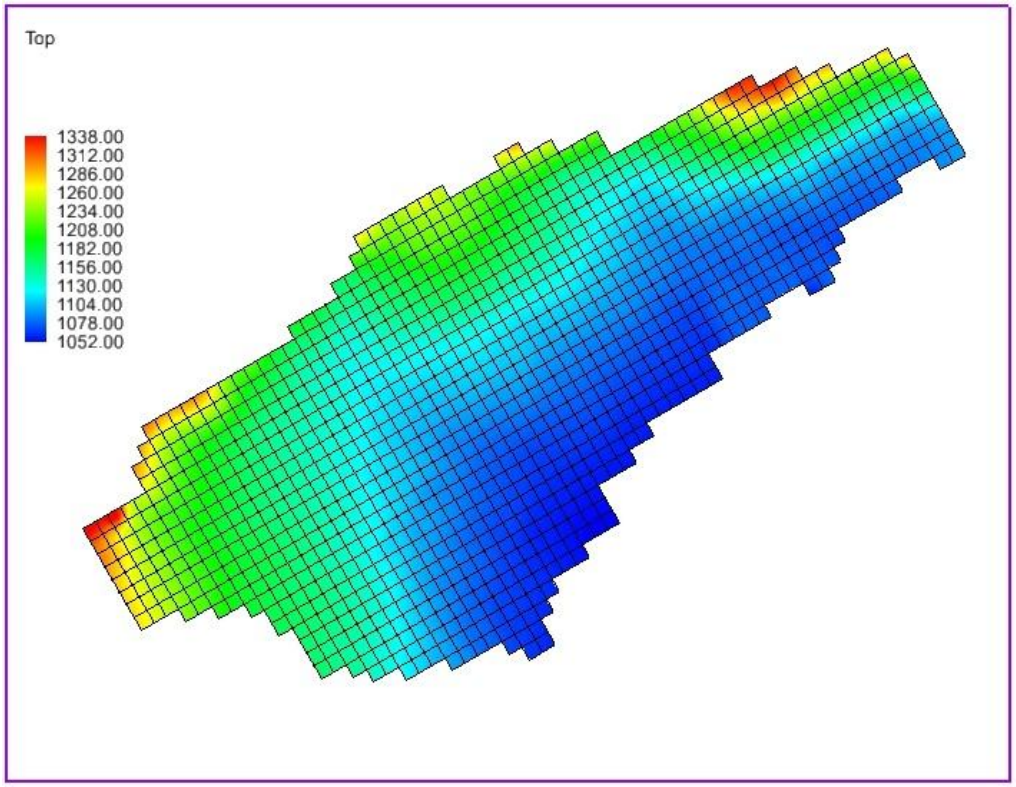
حین واسنجی مدل تصحیح کرد. با توجه به اینکه در دشت دامغان تعداد بسیار کمی آزمایش پمپاژ انجام شده است، به همین دلیل برای تهیه مقادیر اولیه K از اطلاعات نقشه هم ارزش قابلیت انتقال و رابطه T = Kb استفاده گردیده است. در محدوده دامغان، تنها یک نقشه هم ارزش قابلیت انتقال تهیه شده است، لذا مقادیر قابلیت انتقال در مرکز هر سلول با استفاده از درون یابی (روش کریجینگ) نقشه مذکور استخراج شده است. سپس با استفاده از اطلاعات سنگ کف و ارتفاع سطح آب اولیه که ارقام آن‌ها در مرکز هر سلول موجود می‌باشد ارتفاع ستون اشباع آبرفت در لایه آزاد آبخوان محاسبه شد، مقدار ضریب قابلیت انتقال با توجه به ضخامت اشباع هر لایه، طبق رابطه بالا، به مقدار ضریب نفوذپذیری تفکیک گردید. این مقادیر به عنوان مقدار اولیه ضریب هدایت هیدرولیکی (K) برای آبخوان تعریف شد، که در مرحله واسنجی این ضرایب مورد اصلاح قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه در مطالعات پیشین هیچگونه اطلاعات از وضعیت ضریب ذخیره در دسترس نبوده و تنها یک عدد متوسط ضریب ذخیره در محاسبات بیلان استفاده شده و هیچ‌گونه پهنه بندی از مقادیر ذخیره ویژه صورت نگرفته است، ابتدا شرکت مهندسی مشاور پارس‌رای‌آب در سال ۱۳۹۲، یک نقشه پهنه بندی ضریب آبدهی ویژه برای تمامی محدوده آبخوان ارایه کرد. با در نظر گرفتن این نقشه و با استفاده از روش واسنجی اتوماتیک (PEST) و همچنین واسنجی دستی در مرحله بعد، مقادیر برخی از محدوده‌ها تغییر نمود و در نهایت یک نقشه نسبتا منطبق بر شرایط طبیعی آبخوان استخراج گردید.

۳-۹-۴-۴- اعمال توپوگرافی سطح و کف آبخوان به سلول های شبکه

یکی از پارامترهای مورد نیاز شبیه سازی جریان آب زیرزمینی، توپوگرافی سطح آبخوان است. در این مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی که از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری تهیه شده است، استفاده گردید. مدل رقومی ارتفاعی به صورت فایل Raster در اختیار قرار گرفت، ابتدا در محیط ArcGIS به نقطه تبدیل گردید، سپس در نرم افزار GMS فراخوانی و درونیابی گردید. بدین

ترتیب ارتفاع سطح زمین به هر یک از سلول‌های مدل اختصاص یافت. همانطور که در شکل (۳-۱۱) مشاهده می‌گردد میزان ارتفاع زمین در حداکثر خود به بیش از ۱۳۰۰ متر رسیده که در تمامی نواحی شمالی محدوده قرار گرفته است، پس از آن به سمت نواحی جنوبی دشت ارتفاع با یک شیب ملایم تری کاهش یافته و در نهایت در قسمت خروجی آبخوان به ۱۰۶۰ متر می‌رسد. میزان شیب محدوده آبخوان در نواحی تغذیه بیشتر بوده و هرچه به مرکز و قسمت خروجی آبخوان نزدیک شود، از میزان شیب زمین کاسته می‌شود.



شکل ۳-۱۱- ارتفاع تراز سطح زمین (متر) و اعمال این مقادیر به سلول‌های مدل

تراز سنگ کف نیز از اطلاعاتی است که برای تهیه مدل آب زیرزمینی مورد نیاز می‌باشد. ضخامت آبرفت با استفاده از بررسی‌های زمین شناسی به ویژه حفاری‌ها و لوگ‌های اکتشافی و مطالعات ژئوفیزیک در نقاط مختلف دشت تعیین می‌گردد. در محدوده دشت دامغان، برای تعیین تراز سنگ-

کف از نقشه‌های موجود در گزارشات انجام شده در دشت، استفاده شد (گزارش ژئوالکتریک محدوده مطالعاتی دامغان، ۱۳۸۹). خطوط تراز سنگ کف به صورت shapefile وارد محیط ArcGIS گردید، سپس به نقطه تبدیل شده و به صورت فایل text درآمده و در محیط GMS نیز فایل نقطه ای فراخوانی شده، درونیابی گردید و مقادیر تراز سنگ کف به هر یک از سلول‌های شبکه اعمال شد.

۳-۹-۴-۵- اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهداتی

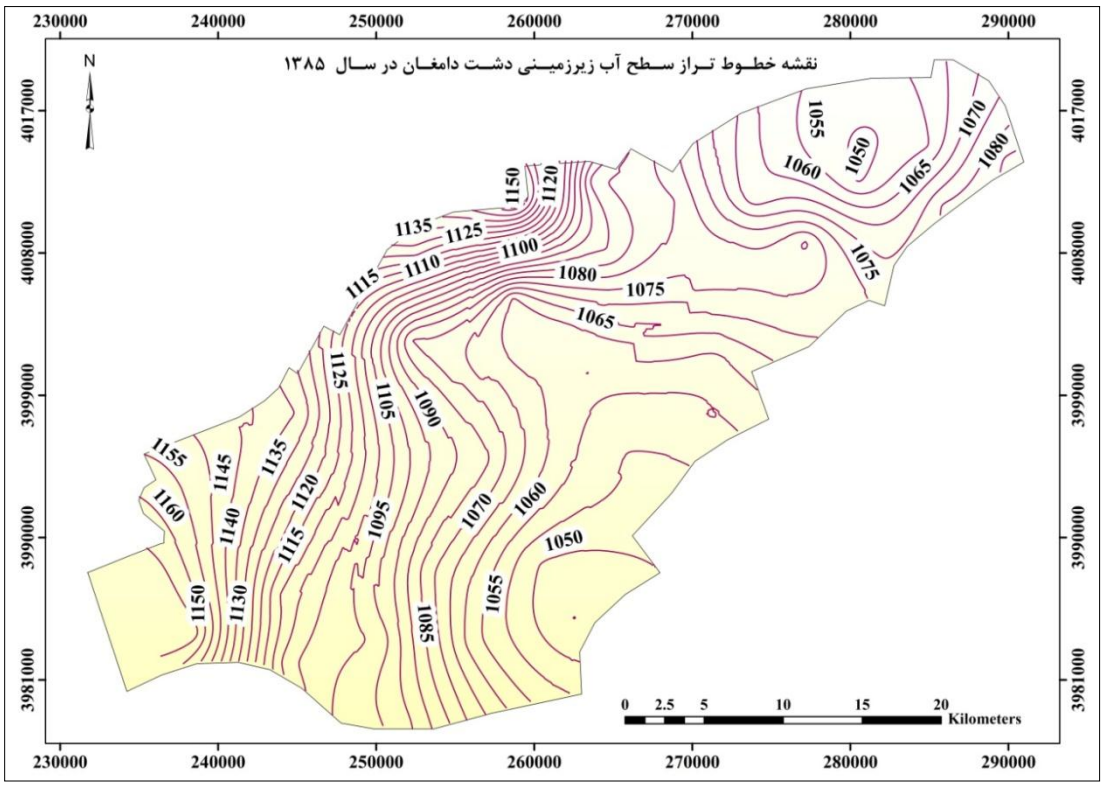
عمق سطح آب دشت‌ها و آبخوان‌ها در زمان‌های مشخصی در چاه‌های مشاهده‌ای اندازه گیری می‌شود، از این چاه‌ها هیچ گونه بهره برداری صورت نمی‌گیرد. به کمک آمار و اطلاعات چاه‌های-مشاهده ای، هیدروگراف معرف دشت تهیه می‌گردد. با توجه به اینکه اندازه گیری تراز سطح آب زیرزمینی مشاهداتی دقت قابل قبولی دارد، در بحث مدلسازی جریان آب زیرزمینی از اطلاعات چاه‌های مشاهده ای برای کالیبراسیون سایر پارامترها از جمله ضرایب هیدرولیکی آبخوان، میزان تغذیه و غیره استفاده می‌شود. با استفاده از داده‌های چاه‌های مشاهداتی نقشه خطوط تراز سطح آب زیرزمینی دشت دامغان برای سال ۱۳۸۵ (شکل ۳-۱۲) ترسیم شده است.

از اطلاعات ۴۰ حلقه چاه مشاهده‌ای فعال در دشت دامغان، به منظور بررسی درستی شرایط شبیه سازی شده استفاده می‌شود. در این مرحله مقایسه تراز هیدرولیکی محاسبه شده توسط مدل GMS با مقادیر مشاهداتی صحرایی، انجام می‌شود و به صورت یک لایه مشاهده‌ای[1] در نرم افزار GMS ایجاد و مقداردهی شده است (شکل ۳-۱۳). لازم به ذکر است که اندازه گیری تراز آب در این چاه‌ها توسط امور منابع آب شهرستان دامغان به صورت ماهانه صورت می‌گیرد. مشخصات چاه‌های مشاهداتی موجود در دشت در جدول (۳-۳) آمد است.

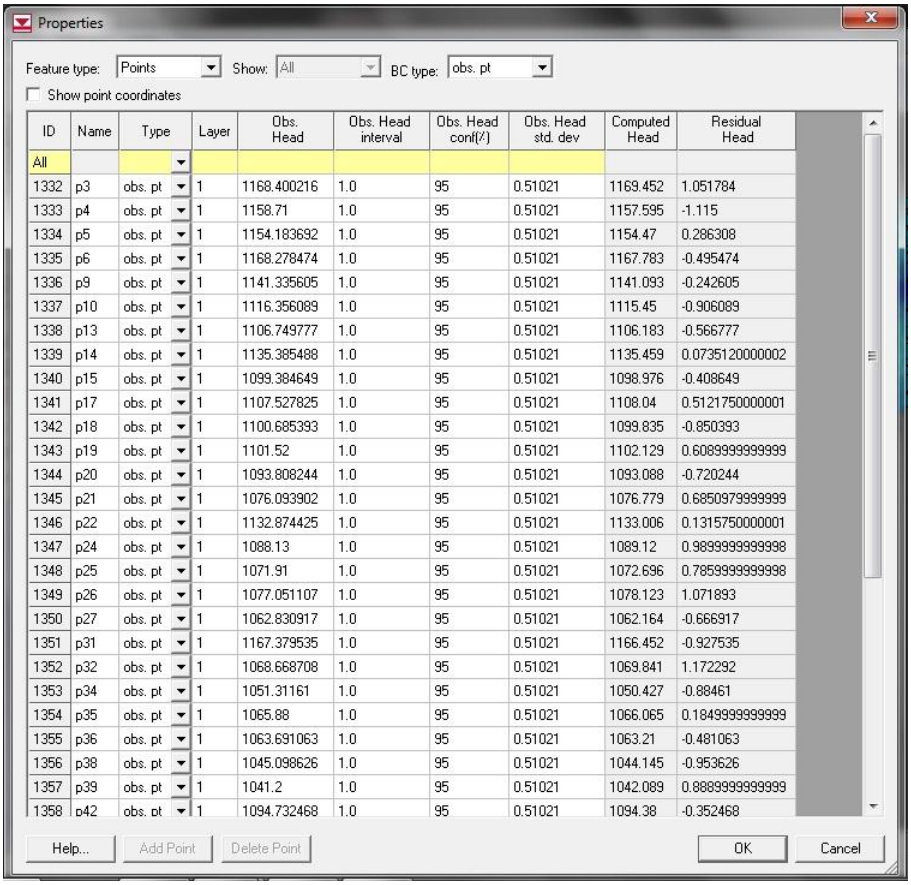
[1] Coverage Observation

جدول ۳-۳- مشخصات چاه‌های مشاهداتی موجود در محدوده مورد مطالعه

شماره	پیزومتر	محل	X	Y	ارتفاع مطلق(m)
۱	P3	غرب ابزارمهدی	۲۳۵۶۶۳	۳۹۸۷۷۰۶	۱۲۳۹/۱۹
۲	P4	۸ کیلومتری غرب صید اباد	۲۳۵۹۵۰	۳۹۹۲۷۱۸	۱۲۷۵/۳۸
۳	P5	شمال قوشه به صیدآباد	۲۳۸۰۹۰	۳۹۹۳۶۲۸	۱۲۲۱/۶۳
۴	P6	جاده امروان به قوشه	۲۳۸۴۲۲	۳۹۸۳۹۸۰	۱۲۲۷/۱۳
۵	P9	صید آباد	۲۴۲۴۰۵	۳۹۹۳۹۵۹	۱۱۶۹/۳۸
۶	P10	امروان به امیر آباد	۲۴۳۷۹۶	۳۹۸۶۴۵۳	۱۱۷۷/۰۴
۷	P13	امروان۱	۲۴۴۴۱۵	۳۹۸۲۱۳۲	۱۱۷۸/۴۳
۸	P14	بخش آباد	۲۴۵۱۴۰	۳۹۹۷۹۰۳	۱۲۱۷/۱۷
۹	P15	ایستگاه امروان	۲۴۷۶۵۰	۳۹۷۸۷۷۶	۱۱۶۵/۴۸
۱۰	P17	ابراهیم آباد	۲۴۹۷۲۲	۳۹۹۴۹۷۷	۱۱۲۸/۶۳۹
۱۱	P18	جاده شریفیه	۲۵۰۰۵۴	۳۹۸۳۵۱۳	۱۱۴۴/۸۲
۱۲	P19	قاسم اباد ذوالفقاری	۲۵۱۲۲۸	۳۹۹۷۰۱۰	۱۱۲۰/۸۴۷
۱۳	P20	جاده علیان به امروان	۲۵۱۴۸۴	۳۹۷۸۰۸۹	۱۱۵۵/۵۹
۱۴	P21	شمال قدرت آباد	۲۵۲۳۰۷	۴۰۰۲۵۲۰	۱۱۵۵/۶۸
۱۵	P22	جاده چشمه علی	۲۵۲۴۶۴	۴۰۰۸۰۷۱	۱۲۲۹/۲۴
۱۶	P24	غرب سلطانیه	۲۵۳۰۳۰	۳۹۸۳۸۸۰	۱۱۱۹/۹۶
۱۷	P25	شرق قاسم آباد۱	۲۵۳۰۳۷	۳۹۹۹۱۳۹	۱۱۲۹/۵۱
۱۸	P26	کشکو	۲۵۳۲۸۹	۳۹۸۷۹۲۰	۱۱۱۲/۹۳
۱۹	P27	سلطانیه	۲۵۶۱۰۵	۳۹۸۳۴۵۷	۱۰۹۶/۶۳
۲۰	P31	آب پخش جدید	۲۵۸۸۹۸	۴۰۱۱۵۲۴	۱۲۳۸/۳۹
۲۱	P32	جاده باقر آباد۱	۲۵۹۳۴۶	۳۹۹۹۳۸۳	۱۱۱۴/۷۴
۲۲	P34	شمال شریف آباد	۲۶۰۰۲۷	۳۹۸۸۵۷۶	۱۰۷۳/۷۷
۲۳	P35	شرق نظام اباد	۲۶۱۰۷۰	۳۹۹۵۸۷۹	۱۰۸۹/۳۶
۲۴	P36	تپه حصار	۲۶۱۹۶۰	۴۰۰۳۰۰۴	۱۱۲۵/۷۷
۲۵	P38	مجید آباد	۲۶۲۴۳۸	۳۹۸۴۸۴۷	۱۰۶۸/۰۶
۲۶	P39	مسیح اباد	۲۶۲۵۲۰	۳۹۸۰۳۰۳	۱۰۶۸/۵
۲۷	P42	شرق دامغان کنارجاده۱	۲۶۴۷۱۸	۴۰۰۸۰۲۸	۱۱۰۴/۸۶
۲۸	P43	بها آباد ۱	۲۶۵۱۹۲	۳۹۹۶۰۳۸	۱۰۷۵/۳۱
۲۹	P45	جنوب عبدیا	۲۶۵۵۹۰	۳۹۹۱۴۹۰	۱۰۵۹/۰۱
۳۰	P47	شرق عبدیا	۲۶۸۳۹۳	۳۹۹۶۰۱۹	۱۰۶۴/۸۸
۳۱	P48	شمال غرب بق	۲۶۸۶۹۳	۴۰۱۱۳۰۰	۱۱۱۴/۱۵
۳۲	P51	موسی آباد	۲۷۱۲۵۹	۴۰۰۱۲۴۳	۱۰۷۵/۲۷
۳۳	P52	حسین آباد حاج علی نقی	۲۷۲۲۵۵	۴۰۰۷۶۱۸	۱۰۹۰/۹۶
۳۴	P54	شمال غرب جعفرآباد۱	۲۷۶۵۷۲	۴۰۰۸۰۴۸	۱۰۹۰/۵۲
۳۵	P57	مهماندوست	۲۸۰۵۰۷	۴۰۱۲۶۳۳	۱۱۲۳/۷۲
۳۶	P58	جنوب حمزه خان	۲۸۲۲۳۴	۴۰۰۷۸۷۹	۱۰۷۶/۲۷
۳۷	P59	شمال غرب تعیم آباد۱	۲۸۴۷۲۵	۴۰۱۴۸۷۸	۱۱۲۲/۰۲
۳۸	P61	ایستگاه زرین	۲۸۵۸۹۳	۴۰۱۰۹۶۰	۱۰۸۱/۹۹
۳۹	P62	شمال قادرآباد	۲۸۸۰۶۶	۴۰۱۸۰۷۱	۱۱۸۳/۹۹
۴۰	P63	جنوب شرقی قادرآباد	۲۸۹۹۰۴	۴۰۱۳۸۵۱	۱۰۸۸/۶۹



شکل ۳-۱۲- نقشه خطوط تراز سطح آب زیرزمینی دشت دامغان در سال ۱۳۸۵



ID	Name	Type	Layer	Obs. Head	Obs. Head interval	Obs. Head conf(%)	Obs. Head std. dev	Computed Head	Residual Head
All									
1332	p3	obs. pt	1	1168.400216	1.0	95	0.51021	1169.452	1.051784
1333	p4	obs. pt	1	1158.71	1.0	95	0.51021	1157.595	-1.115
1334	p5	obs. pt	1	1154.183692	1.0	95	0.51021	1154.47	0.286308
1335	p6	obs. pt	1	1168.278474	1.0	95	0.51021	1167.783	-0.495474
1336	p9	obs. pt	1	1141.335605	1.0	95	0.51021	1141.093	-0.242605
1337	p10	obs. pt	1	1116.356089	1.0	95	0.51021	1115.45	-0.906089
1338	p13	obs. pt	1	1106.749777	1.0	95	0.51021	1106.183	-0.566777
1339	p14	obs. pt	1	1135.385488	1.0	95	0.51021	1135.459	0.0735120000002
1340	p15	obs. pt	1	1099.384649	1.0	95	0.51021	1098.976	-0.408649
1341	p17	obs. pt	1	1107.527825	1.0	95	0.51021	1108.04	0.5121750000001
1342	p18	obs. pt	1	1100.685393	1.0	95	0.51021	1099.835	-0.850393
1343	p19	obs. pt	1	1101.52	1.0	95	0.51021	1102.129	0.6089999999999
1344	p20	obs. pt	1	1093.808244	1.0	95	0.51021	1093.088	-0.720244
1345	p21	obs. pt	1	1076.093902	1.0	95	0.51021	1076.779	0.6850979999999
1346	p22	obs. pt	1	1132.874425	1.0	95	0.51021	1133.006	0.1315750000001
1347	p24	obs. pt	1	1088.13	1.0	95	0.51021	1089.12	0.9899999999998
1348	p25	obs. pt	1	1071.91	1.0	95	0.51021	1072.696	0.7859999999998
1349	p26	obs. pt	1	1077.051107	1.0	95	0.51021	1078.123	1.071893
1350	p27	obs. pt	1	1062.830917	1.0	95	0.51021	1062.164	-0.666917
1351	p31	obs. pt	1	1167.379535	1.0	95	0.51021	1166.452	-0.927535
1352	p32	obs. pt	1	1068.668708	1.0	95	0.51021	1069.841	1.172292
1353	p34	obs. pt	1	1051.31161	1.0	95	0.51021	1050.427	-0.88461
1354	p35	obs. pt	1	1065.88	1.0	95	0.51021	1066.065	0.1849999999999
1355	p36	obs. pt	1	1063.691063	1.0	95	0.51021	1063.21	-0.481063
1356	p38	obs. pt	1	1045.098626	1.0	95	0.51021	1044.145	-0.953626
1357	p39	obs. pt	1	1041.2	1.0	95	0.51021	1042.089	0.8889999999999
1358	p42	obs. pt	1	1094.732468	1.0	95	0.51021	1094.38	-0.352468

شکل ۳-۱۳- لایه چاه‌های مشاهده ای در نرم افزار در شرایط پایدار

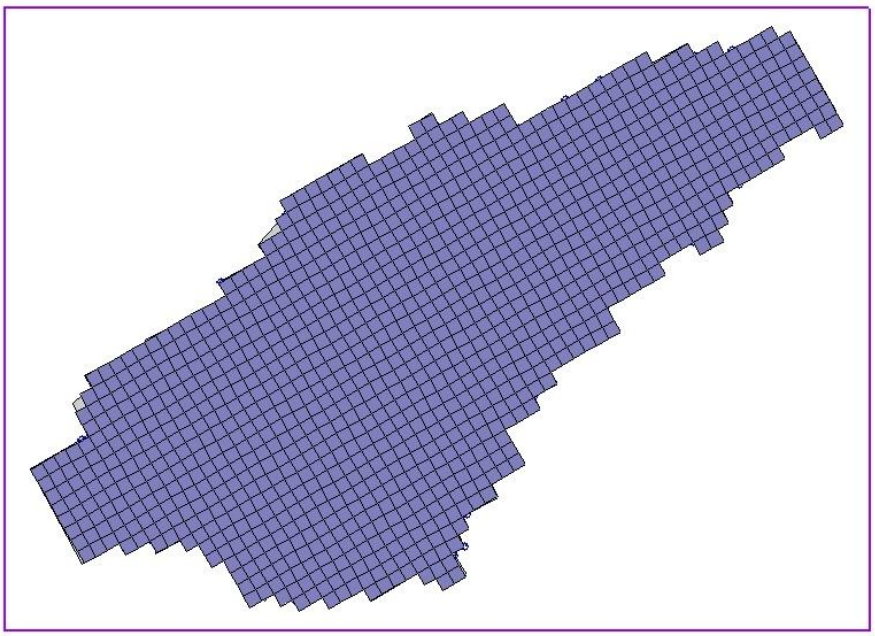
۳-۹-۵- طراحی شبکه مدل

پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز و تهیه مدل مفهومی، لازم است مدل جریان آب زیرزمینی جهت اجرا طراحی گردد. در این مرحله، تعیین محدوده مدل، گسسته سازی مکانی و زمانی و تعیین نوع مرزها، وارد کردن مقدار عددی منابع تغذیه و تخلیه در هر سلول از شبکه مدل صورت گرفت. برای شبیه سازی جریان به روش تفاضل محدود لازم است که منطقه مورد مطالعه را به تعدادی محیط کوچکتر که اصطلاحا سلول نامیده می‌شود تقسیم بندی کرد. با انتخاب مناسب ابعاد سلول‌های شبکه مدل، زمان محاسبات کاهش یافته و نتایج حل عددی به واقعیت نزدیکتر می‌شود. هرچه تعداد سلول‌ها بیشتر باشد تعداد نقاط محاسباتی افزایش یافته و به تبع آن نتیجه محاسبات عددی به واقعیت نزدیک تر خواهد شد، اما مدت زمان محاسبات افزایش می‌یابد.

در روش تفاضل محدود با انتخاب ابعاد مناسب شبکه مدلسازی می‌توان در زمان مناسب به نتایج با دقت مورد نیاز رسید. عوامل مهم در انتخاب اندازه سلول‌های شبکه عبارتند از اندازه کل محدوده مدل با توجه به قابلیت و ظرفیت کامپیوترها، قابلیت تعریف خصوصیات فیزیکی و هیدرودینامیکی در انطباق با خصوصیات آبخوان، اطلاعات و پارامترهای گوناگون از جمله داده‌های پیزومتری، داده‌های-حفاری، مشخصات منابع تغذیه و تخلیه و غیره می‌باشد. انتخاب شبکه‌های کوچکتر در مناطقی مهم‌تر است که در فواصل جزئی، تغییرات محسوس و قابل ملاحظه‌ای از نظر مشخصات فیزیکی و هیدرولوژیکی منطقه وجود داشته باشد. برای مثال ابارشی (۱۳۹۲) برای دشت زرین گل در استان گلستان با وسعت ۳۶۵ کیلومترمربع سلول‌های با ابعاد ۳۰۰*۳۰۰ متر در نظر گرفته است. همچنین ملکی (۱۳۹۰) برای آبخوان دشت شاهرود با وسعت ۴۵۰ کیلومترمربع سلول‌های ۵۰۰*۵۰۰ متر را تعیین کرده است.

با توجه به موارد فوق و وضعیت زمین شناسی، توپوگرافی، وسعت منطقه و میزان اطلاعات موجود از دشت دامغان، شبکه ای با سلول‌هایی به ابعاد ۱۰۰۰*۱۰۰۰ متر شامل ۳۱ سطر و ۶۵ ستون شامل ۱۱۷۶ سلول فعال از سیستم مختصات جغرافیایی U.T.M برای محدوده مورد نظر تهیه شده است

(شکل ۳-۱۴). پارامترهایی نظیر تراز سنگ کف، ارتفاع سطح زمین، مقادیر هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، مقادیر تغذیه و سطوح ایستابی متناسب با توزیع مکانی به هر یک از سلول‌های شبکه مدل اختصاص داده می‌شود.



شکل ۳-۱۴- شبکه بندی آبخوان دشت دامغان

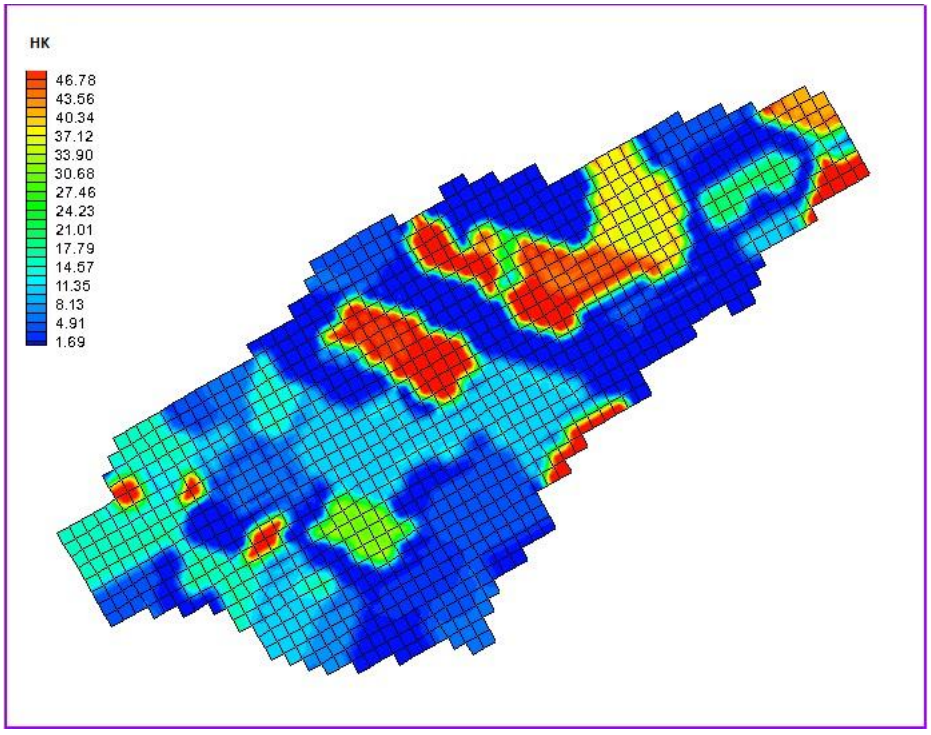
پس از طراحی شبکه مدل، نوبت به گسسته سازی و انتخاب گام‌های زمانی، تعیین شرایط اولیه و شرایط مرزی و مقدار دهی به کلیه عوامل فیزیکی و هیدرولیکی انجام می‌شود. سپس مدل مفهومی ایجاد شده به مدل عددی MODFLOW تبدیل خواهد شد.

۳-۹-۶- مدلسازی آبخوان دشت دامغان در شرایط پایدار

با توجه به اینکه اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای و سطح تراز آب زیرزمینی قبل از سال ۸۵ دارای دقت مناسبی نبوده است، به همین دلیل برای واسنجی مدل در حالت پایدار از داده‌های سال ۸۵ و پس از آن استفاده شده است. با در نظر گرفتن هیدروگراف دراز مدت دشت دامغان و پایداری سطح آب در مدت ۶ ماهه دوم سال ۸۵، مدل آب زیرزمینی دشت دامغان درشرایط پایدار برای دوره ۶ ماهه

(مهر تا اسفند ۸۵) تهیه شد و مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در شهریور ماه سال ۸۵ به عنوان شرایط اولیه به مدل معرفی شد. مقادیر تراز آب زیرزمینی در دوره مورد نظر به محیط GMS وارد و به عنوان سطح آب مشاهداتی برای مدل تعریف گردید. در این صورت بار ارتفاعی برای مرکز هر سلول مدل مشخص شد. پس از آن با وارد کردن کلیه پارامترهای تخلیه و تغذیه، مدل می‌تواند سطح آب زیرزمینی را برای دوره زمانی تعیین شده محاسبه نماید.

در این مرحله با مقایسه سطح آب زیرزمینی محاسباتی مدل و سطح آب مشاهداتی، ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان با روش واسنجی اتوماتیک و کد PEST و به روش دستی به صورت بهینه تعیین شد. شکل (۳-۱۵) نقشه توزیع ضریب هدایت هیدرولیکی در دشت دامغان را نشان می‌دهد.



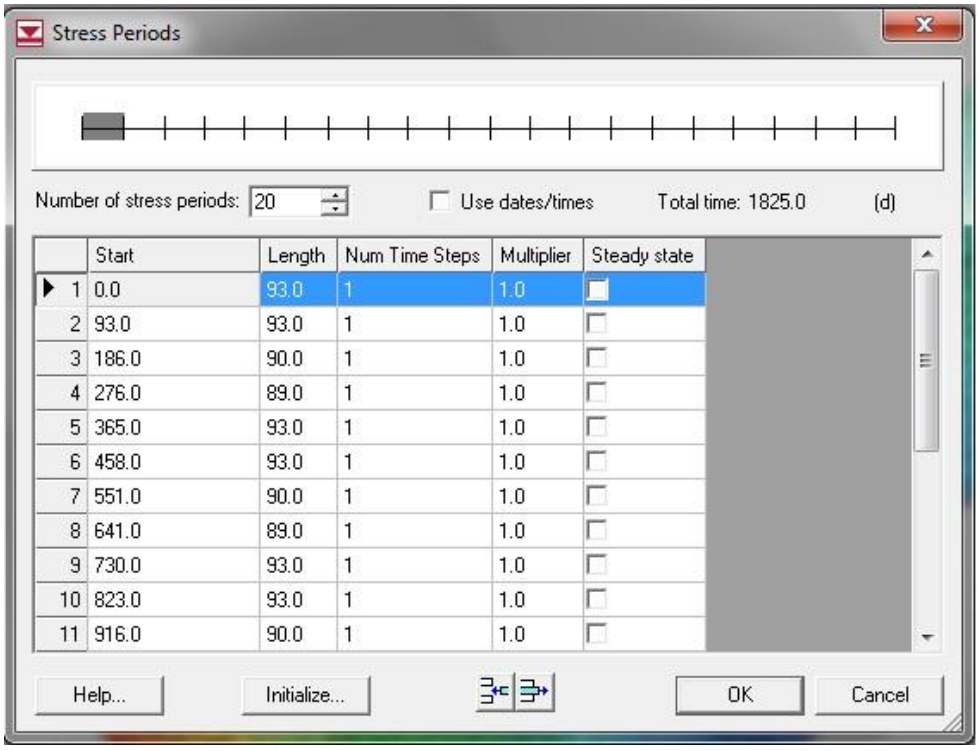
شکل۳-۱۵- نقشه توزیع ضریب هدایت هیدرولیکی در دشت دامغان

۳-۹-۷- مدلسازی آبخوان دشت دامغان در شرایط ناپایدار

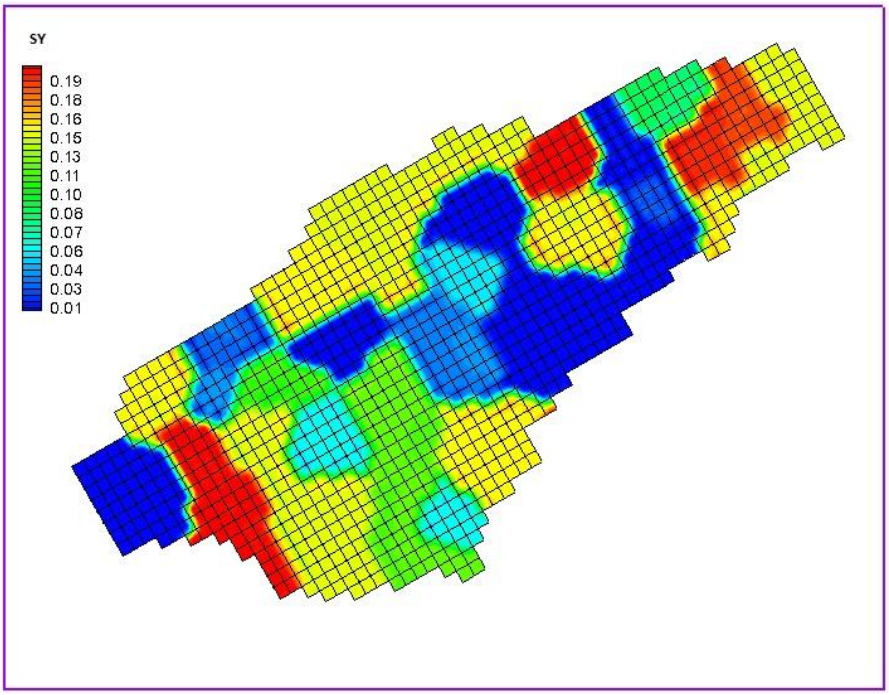
جریان آب زیرزمینی در طبیعت اغلب ناپایدار می‌باشد، یعنی در طول زمان سطح آب زیرزمینی تحت تاثیر عوامل تغذیه و تخلیه تغییر پیدا می‌کند. با توجه به اطلاعات موجود و تنش‌های وارد بر

سیستم، مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان در شرایط ناپایدار برای دوره ۵ ساله (فروردین ۸۶ تا اسفند ۹۰) تهیه شده است. دوره‌های تنش یا استرس پریودها به صورت فصلی، برای هرسال، ۴ دوره تنش فصلی سه ماهه تقسیم بندی شده است. به طوری که طول هر یک از دوره‌ها برابر با تعداد روزهای هر فصل می‌باشد (شکل ۳-۱۶). این دوره‌ها در MODFLOW به دوره‌های تنش معروفند، چرا که تنش‌های هیدرولوژیکی مشخص شده در آن از یک دوره به دوره بعد تغییر می‌کنند و تغییرات آن‌ها در طول هر دوره به شکل ثابت یا خطی فرض می‌گردند. همچنین برای هر دوره تنش یک گام زمانی در نظر گرفته شده است.

کلیه پارامترهای وابسته به زمان در مدلسازی ناپایدار، نظیر تراز آب در چاه‌های مشاهده ای، پمپاژ آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره برداری و تغذیه سطحی برای دوره‌های تنش با فرمت مناسب به مدل وارد شده است. در این مرحله نیز با مقایسه سطح آب محاسباتی مدل و سطح آب مشاهداتی، ضریب آبدهی ویژه با روش سعی و خطا به صورت بهینه تعیین شد (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۶- تعریف دوره های زمانی در شرایط ناپایدار

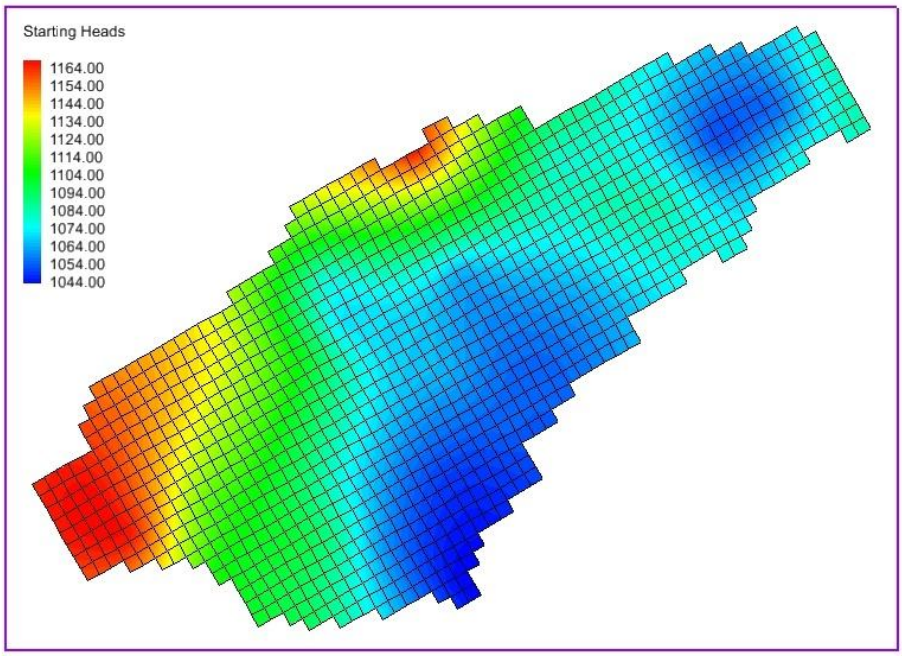


شکل۳-۱۷- نقشه توزیع ضریب آبدهی ویژه در دشت دامغان

۳-۹-۷-۱- شرایط اولیه

مبنای اصلی حل معادله در طول دوره‌های زمانی در مدل‌های ناپایدار شرایط اولیه (بار هیدرولیکی اولیه[1]) است. در سایر گام‌های 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 می‌گیرد. با توجه به دوره ۵ ساله (فروردین ۸۶ تا اسفند ۹۰) مدلسازی در حالت ناپایدار، اطلاعات تراز سطح آب مربوط به اسفند ۸۵ به عنوان شرایط اولیه برای حالت ناپایدار در نظر گرفته شده است (شکل ۳-۱۸).

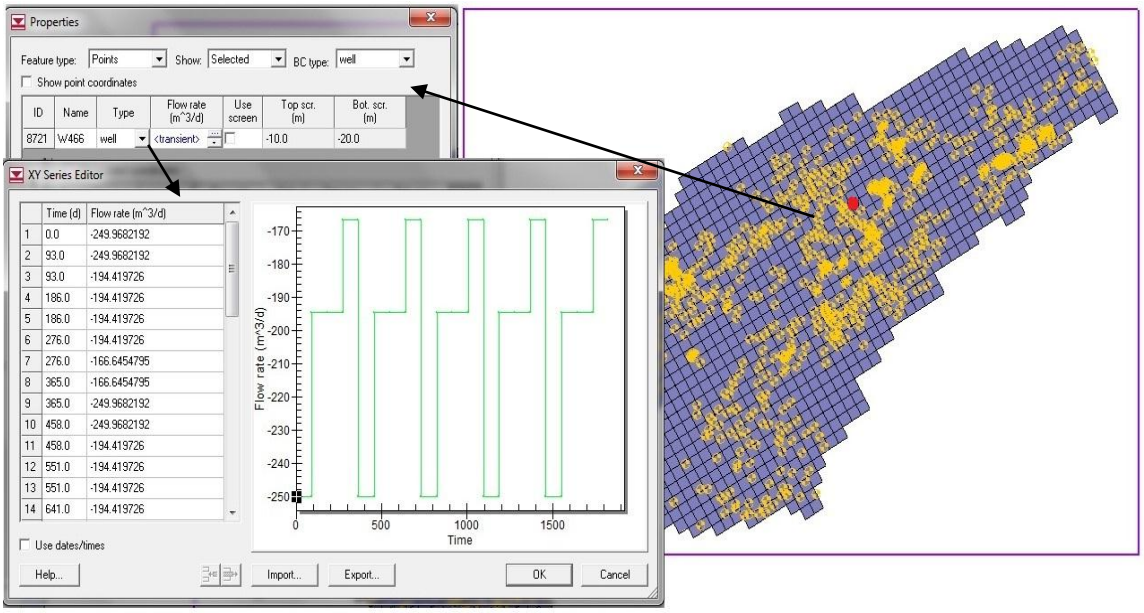
[1] Starting head



شکل ۳-۱۸- مقدار دهی شرایط اولیه بر اساس تراز آب زیرزمینی در اسفند ۱۳۸۵

۳-۹-۷-۲- تنش‌های هیدرولوژیکی

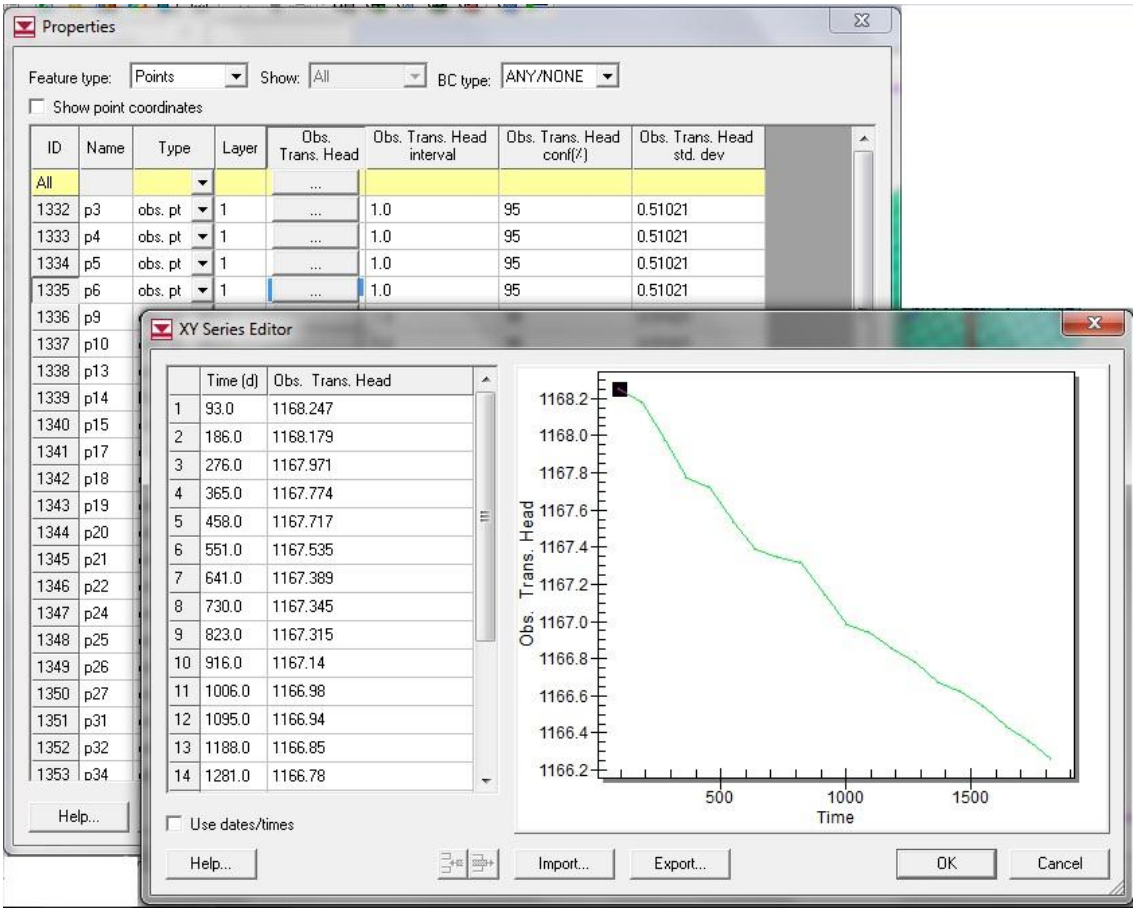
نوع تنش‌های وارد بر آبخوان در مدل ناپایدار مانند شرایط مدل پایدار اعمال می‌شود. با این تفاوت که در مدل ناپایدار مقادیر تنش‌ها به صورت فصلی تغییر خواهد کرد. کلیه عوامل هیدرولوژیکی مانند نفوذ ناشی از بارش برای دوره‌های تنش مختلف با توجه به اطلاعات موجود و میزان بارش در فصل‌های مختلف به سلول‌های شبکه اختصاص داده شده اند. میزان برداشت آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره برداری نیز در دوره‌های تنش براساس اطلاعات میزان برداشت هر منبع برای هر فصل برآورد گردیده و برای هر چاه بهره برداری در هر استرس پریود تعریف گردید (شکل ۳-۱۹). سایر پارامترها نیز با فرمت مناسب به همین صورت به مدل وارد گردید.



شکل ۳-۱۹- مقدار دهی میزان برداشت از آب زیرزمینی توسط چاه های بهره برداری

۳-۹-۷-۳- اطلاعات مربوط به چاه‌های مشاهده ای در حالت ناپایدار

با توجه به اطلاعات ماهانه از تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی دشت دامغان، داده‌های مورد نظر را به صورت فصلی (مطابق با دوره‌های تنش) در طی ۵ سال مورد نظر دسته بندی می‌کنیم. برای بررسی درستی شرایط شبیه سازی شده توسط مدل، موقعیت و اطلاعات پیزومترها به صورت لایه مشاهداتی در نرم افزار GMS وارد گردیده است (شکل ۳-۲۰). سپس تراز هیدرولیکی محاسبه شده با مقادیر مشاهداتی مقایسه می‌گردد، معیارهای آماری خطا محاسبه می‌شود و از این مقادیر در ارزیابی نتایج مدل استفاده می‌گردد.



شکل ۳-۲۰- اطلاعات نوسانات سطح آب در هر پیزومتر در طول دوره آماری در مرحله ناپایدار

۳-۹-۸- واسنجی مدل

واسنجی فرایندی است که خواص پارامترهای ورودی و شرایط مرزی مدل را برای رسیدن به بهترین میزان انطباق بین شرایط مشاهده‌ای و سیستم آب‌های زیرزمینی تضمین می‌دهد. واسنجی مدل آب زیرزمینی دارای نقش پیش گویانه است، این عمل بایستی شرح دهد که مدل می‌تواند رفتار مشاهده شده از آبخوان را شبیه سازی کند. در فرایند واسنجی، مقادیر پارامترهای برآورده شده توسط مدل با مقادیر اندازه گیری شده یا مقادیر نزدیک به واقعیت، مقایسه می‌گردند. به عبارت بهتر در این مرحله، مقادیر بهینه پارامترهای سیستم تعیین می‌شوند. به این صورت که مقادیر اولیه ضرایبی که عدم قطعیت در آن‌ها وجود دارد آنقدر تغییر داده می‌شود تا مقادیر سطح آب مشاهده شده و سطح

آب محاسبه شده توسط مدل، در حد قابل قبولی بر هم منطبق می‌گردند. دو روش واسنجی مدل‌های آب زیرزمینی عبارتند از :

- روش دستی (مبتنی بر سعی و خطا)[1]
- روش اتوماتیک[2] (مبتنی بر بهینه سازی)

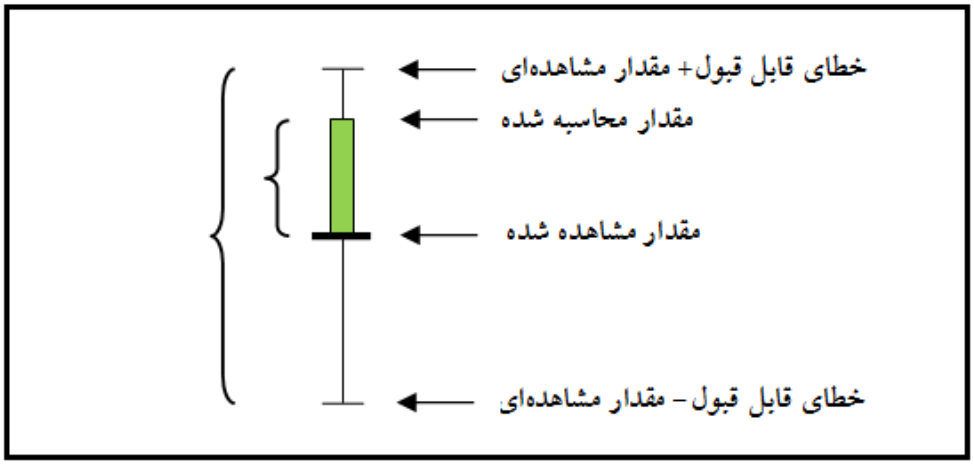
روش سعی و خطا در واسنجی، یکی از قدیمی ترین و در عین حال موثرترین روش‌ها می‌باشد. در این روش مقادیر اولیه پارامترهای مدل در ابتدا به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود و پس از اجرای مدل، مقادیر سطح آب مشاهده شده و محاسبه شده با هم مقایسه می‌گردند. چنانچه تفاوت قابل ملاحظه ای وجود داشته باشد (خارج از حد قابل قبول) پارامترها با دید کارشناسی تصحیح شده و مدل مجددا اجرا می‌گردد. این عمل تا حصول نتایج قابل قبول ادامه می‌یابد.

در واسنجی اتوماتیک، از روش معکوس حل معادلات دیفرانسیل جزیی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در بیشتر مناطق و دشت‌ها، آمار و اطلاعات چاه‌های مشاهده ای به مراتب بیشتر از تعداد چاه‌های اکتشافی می‌باشد، لذا مقادیر سطح آب به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود و مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه) و یا پارامترهای-تغذیه و تخلیه به عنوان خروجی از مدل گرفته می شود. کدهای مورد استفاده نرم افزار GMS در روش واسنجی خودکار PEST و UCODE می‌باشد.

یکی از مزایای نرم افزار GMS، نمایش بصری میزان خطا در اختلاف تراز هیدرولیکی محاسبه شده و شبیه سازی 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 شبیه سازی شده را در هر پیزومتر نشان می‌دهد. مرکز نمودار مطابق با مقدار داده مشاهداتی است و اگر خطا در محدوده

[1] Trial and error calibration
[2] Automatic calibraion

خطای قابل قبول قرار گیرد میله به رنگ سبز خواهد بود و 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 ۳-۲۱).



شکل ۳- ۲۱- معیار بصری هدف واسنجی

۳-۹-۹- ارزیابی خطای مدلسازی

جهت واسنجی مدل‌ها سه نوع خطای میانگین مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارتند از :

خطای میانگین یا Mean Error، عبارت است از اختلاف میانگین بین تراز هیدرولیکی اندازه گیری شده با تراز هیدرولیکی شبیه سازی شده. اندازه گیری آن ساده است ولی معیار مناسبی نیست، چرا که اختلاف میانگین‌های مثبت و منفی با هم جمع جبری شده و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند.

خطای میانگین مطلق یا Mean Absolute Error، عبارت است از مقدار میانگین اختلاف تراز هیدرولیکی شبیه سازی شده با تراز هیدرولیکی اندازه گیری شده.

جذر میانگین مربعات خطاها یا Root Mean Squared Error، جذر میانگین مربعات خطاها یا انحراف معیار برابر است با میانگین مربع اختلاف‌های بین تراز هیدرولیکی شبیه سازی شده با تراز هیدرولیکی اندازه گیری شده.

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

۳-۹-۹-۱- شاخص های آماری

برای مقایسه نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری از شاخص‌های مختلف آماری استفاده شدکه مهم-ترین آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۱- خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE)

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - Y_i \right)^2 \right] \right\}^{0.5} \qquad (۱۰-۳)$$

۲- خطای میانگین مجذور مربعات نرمال شده (NRMSE)

$$NRMSE = \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(X_i - Y_i \right)^2 \right]^{0.5}}{O} \qquad (۱۱-۳)$$

در این روابط X مقدار اندازه‌گیری ، Y مقدار شبیه‌سازی شده، n تعداد داده‌ها و O میانگین داده‌های اندازه‌گیری می‌باشد.

۳- ضریب همبستگی (d)

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - Y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(\left| X_i - O \right| + \left| Y_i - O_e \right| \right)^2} \right\} \qquad (۱۲-۳)$$

در این رابطه d ضریب همبستگی و O_e میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده می‌باشد.

مقادیر NRMS و d بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند. هر چقدر مقدار NRMSE به صفر نزدیک شود و همچنین d به ۱ نزدیک شود، نشان دهنده این است که مدل با دقت بالایی شبیه‌سازی را انجام می‌دهد.

٤- ضریب نش سات کلیف (E)

$$E = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (X_i - O)^2} \right\} \qquad (۱۳-۳)$$

مقدار E از ۱ تا ∞- تغییر می‌کند و هرچقدر به ۱ نزدیک شود نشان دهنده مطابقت بالای مقادیر حاصل از مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

به طور کلی در سال‌های اخیر دشت دامغان با خشکسالی مواجه بوده است، که در نتیجه آن کاهش تغذیه، افت سطح آب و کسری مخزن اتفاق افتاده است. اما با توجه به عدم قطعیت موجود در پیش بینی وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان در آینده و معلوم نبودن دوره‌های هیدرولوژیکی کم‌آب، عادی و مرطوب و ترتیب وقوع آن‌ها، لازم است بر اساس شرایط آبخوان تعدادی سناریو برای وضعیت آبخوان در آینده تعیین شده و مدلسازی بر اساس این سناریوها انجام شود. در این فصل از پایان نامه، علاوه بر نشان دادن نتایج مدلسازی به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای چهارگانه ترسالی (به دو صورت ۱/۵ و ۲ برابر میانگین بارندگی)، خشکسالی و روند فعلی در دوره‌های ۳ ساله (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵) و ۵ ساله (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) پرداخته شده است. قبل از اجرای مدل برای پیش بینی‌های مختلف سطح آب زیرزمینی، عملیات واسنجی و صحت سنجی روی مدل انجام گرفت و سپس سناریوهای مختلف پیش بینی صورت گرفت. اهم عملیات انجام گرفته به صورت زیر دسته بندی شدند:

۱- واسنجی[1] مدل

۲- صحت سنجی[2] مدل

۳- پیش بینی[3] سطح آب زیرزمینی برای هر پیزومتر دوره ۳ ساله (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵)

۴- پیش بینی سطح آب زیرزمینی به صورت منطقه بندی (شمال، جنوب و مرکز دشت دامغان) دوره ۵ ساله (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

---

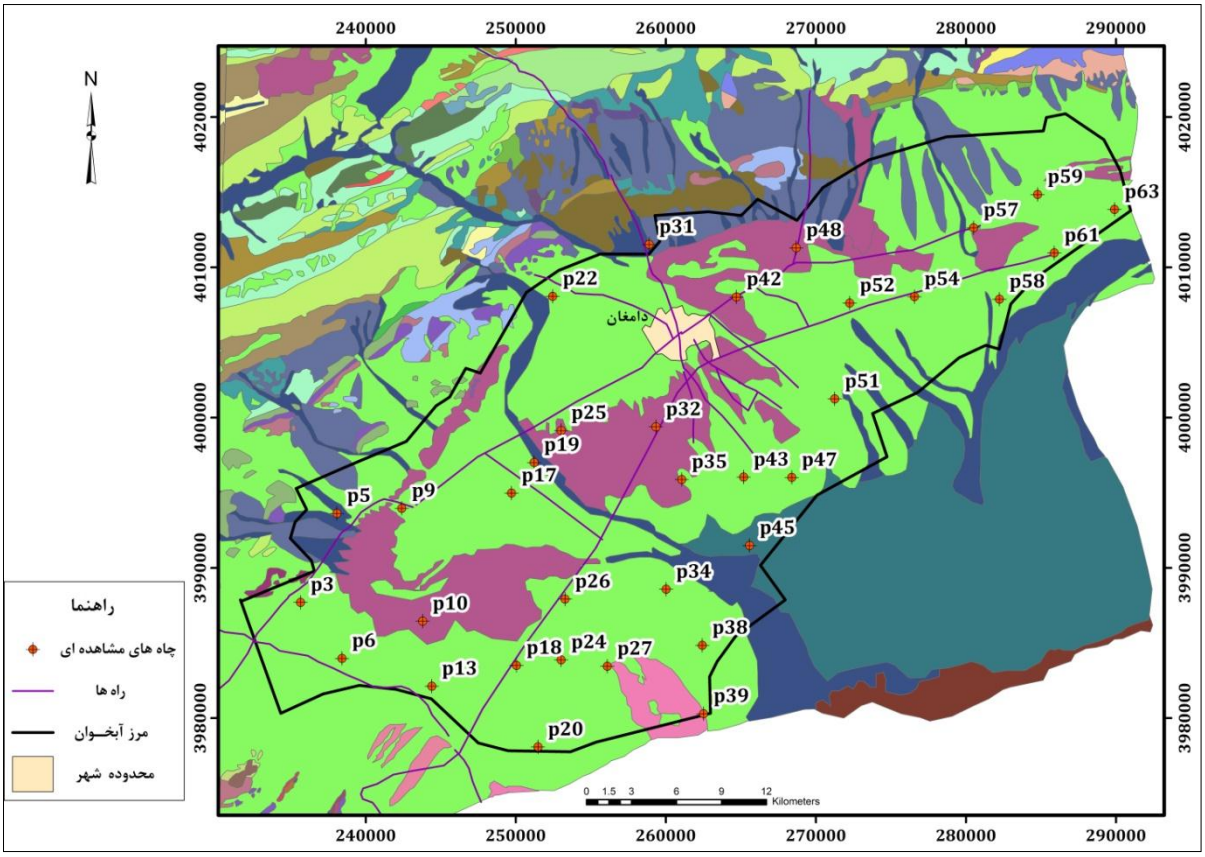
[1] Calibration
[2] Verification
[3] prediction

پس از انجام مرحله واسنجی، مرحله صحت سنجی و تایید مدل، از مدل ساخته شده برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی که هدف اصلی اکثر مدل سازی‌ها است، استفاده شد. در میان انواع مدل‌ها، مدل‌هایی که در گروه مدل‌های پیش بینی قرار می‌گیرند، همواره بیشترین توجه بخش‌های اجرایی و تحقیقاتی را متوجه خود ساخته است. زیرا این مدل‌ها علاوه بر شبیه سازی آبخوان و ایجاد درک مناسب از آن، عکس العمل آبخوان را در برابر تنش‌های مختلف از قبیل پمپاژ، تغذیه و دیگر عوامل هم بررسی می‌نمایند.

در جدول (۴-۱) نام چاه‌های مشاهده‌ای به همراه شماره آن ذکر شده است و شکل (۴-۱) موقعیت پیزومترها را در دشت دامغان نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- نام چاه‌های مشاهده‌ای و شماره گذاری آن‌ها

نام چاه مشاهده ای	شماره	نام چاه مشاهده ای	شماره	نام چاه مشاهده ای	شماره
غرب ابزار مهدی	P3	شرق قاسم آباد ۱	P25	شرق عبدیا	P47
شمال قوشه به صیدآباد	P5	کشکو	P26	شمال غرب بق	P48
جاده امروان به قوشه	P6	سلطانیه	P27	موسی آباد	P51
صید آباد	P9	آب پخش جدید	P31	حسین آباد حاج علی نقی	P52
امروان به امیرآباد	P10	جاده باقر آباد ۱	P32	شمال غرب جعفر آباد ۱	P54
امروان ۱	P13	شمال شریف آباد	P34	مهماندوست	P57
ابراهیم آباد	P17	شرق نظام آباد	P35	جنوب حمزه خان	P58
جاده شریفیه	P18	مجید آباد	P38	شمال غرب نعیم آباد ۱	P59
قاسم آباد ذوالفقاری	P19	مسیح آباد	P39	ایستگاه زرین	P61
جادع علیان به امروان	P20	شرق دامغان کنار جاده ۱	P42	جنوب شرقی قادر آباد	P63
جاده چشمه علی	P22	بها آباد ۱	P43		
غرب سلطانیه	P24	جنوب عبدیا	P45		



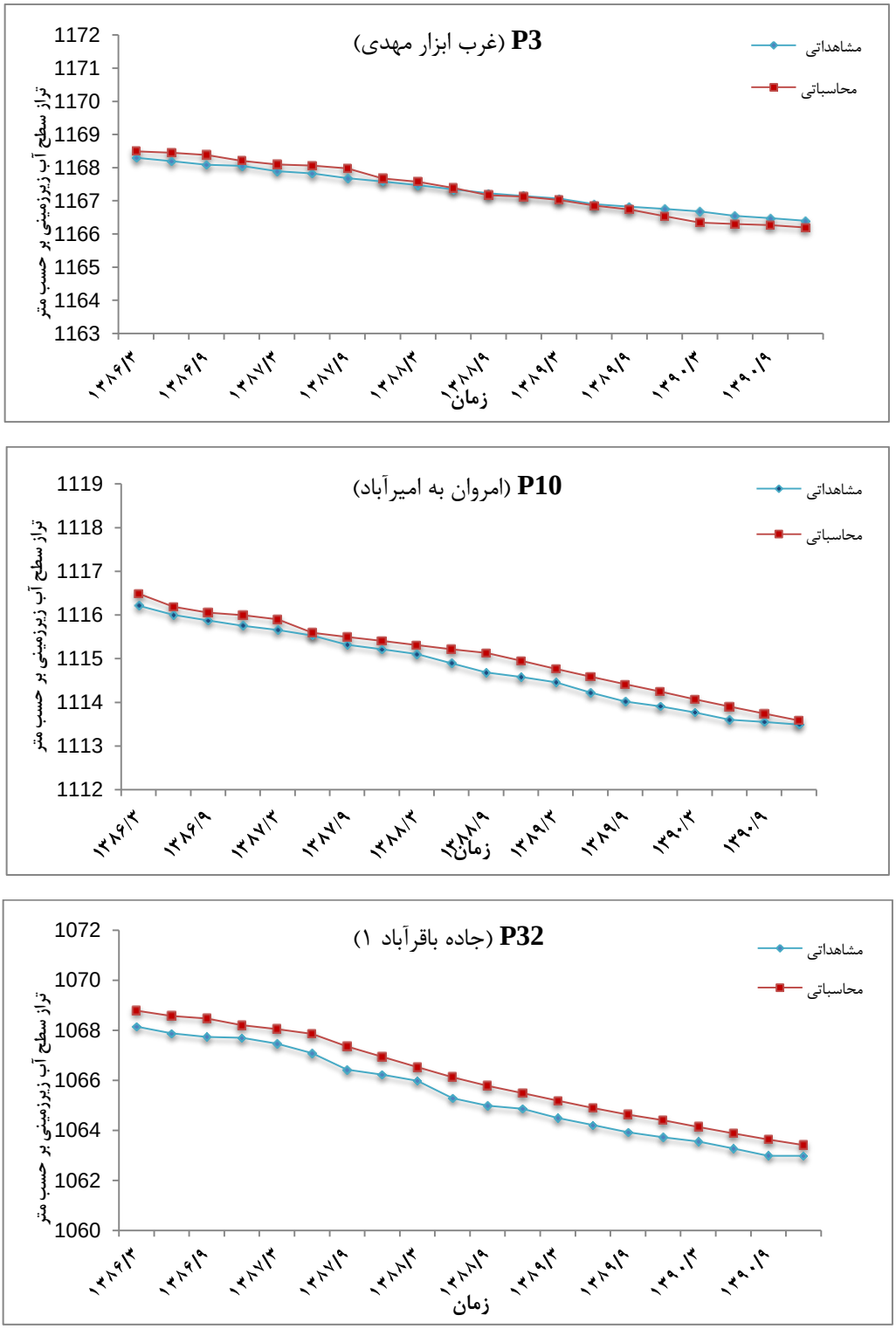
شکل ۴-۱- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت دامغان

۴-۲- واسنجی مدل سطح آب زیرزمینی

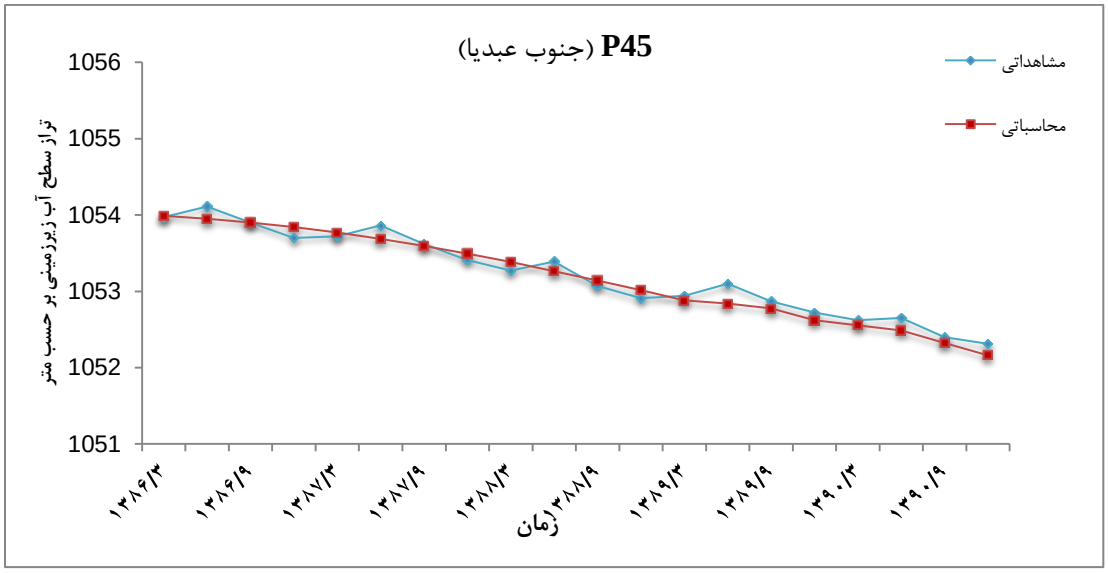
واسنجی مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار صورت گرفت. برای حالت پایدار بر طبق هیدروگراف دراز مدت دشت دوره ۶ ماهه (مهر ۱۳۸۵ تا اسفند ۱۳۸۵) در نظر گرفته شد، در این دوره مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت بهینه گردید. سپس برای واسنجی مدل در حالت ناپایدار از اطلاعات دوره ۵ ساله (فروردین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۹۰) استفاده و در این دوره ضریب ذخیره آبخوان مورد تصحیح قرار گرفت.

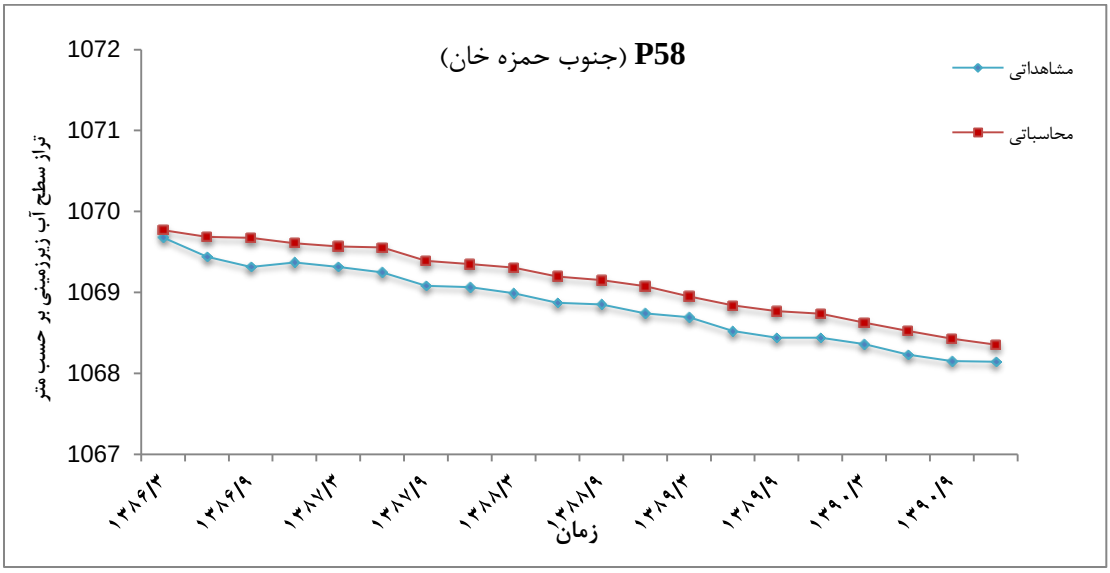
هیدروگراف تعدادی از چاه‌های مشاهداتی دشت به عنوان نمونه در دوره کالیبراسیون در شکل (۴-۲) و (۴-۳) نشان داده شده‌اند، این پیزومترها در نقاط مختلف شمال، مرکز و جنوب دشت انتخاب گردیدند. معیار انتخاب، نحوه توزیع محل آن‌ها در نقاط مختلف دشت بود. همانطور که ملاحظه می‌شود در پیزومترهای انتخابی مقادیر پیش بینی مدل نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. برای

ارزیابی دقیق میزان انطباق مقادیر مشاهداتی و اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند.



شکل ۴-۲- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل در دوره کالیبراسیون (فروردین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۹۰)

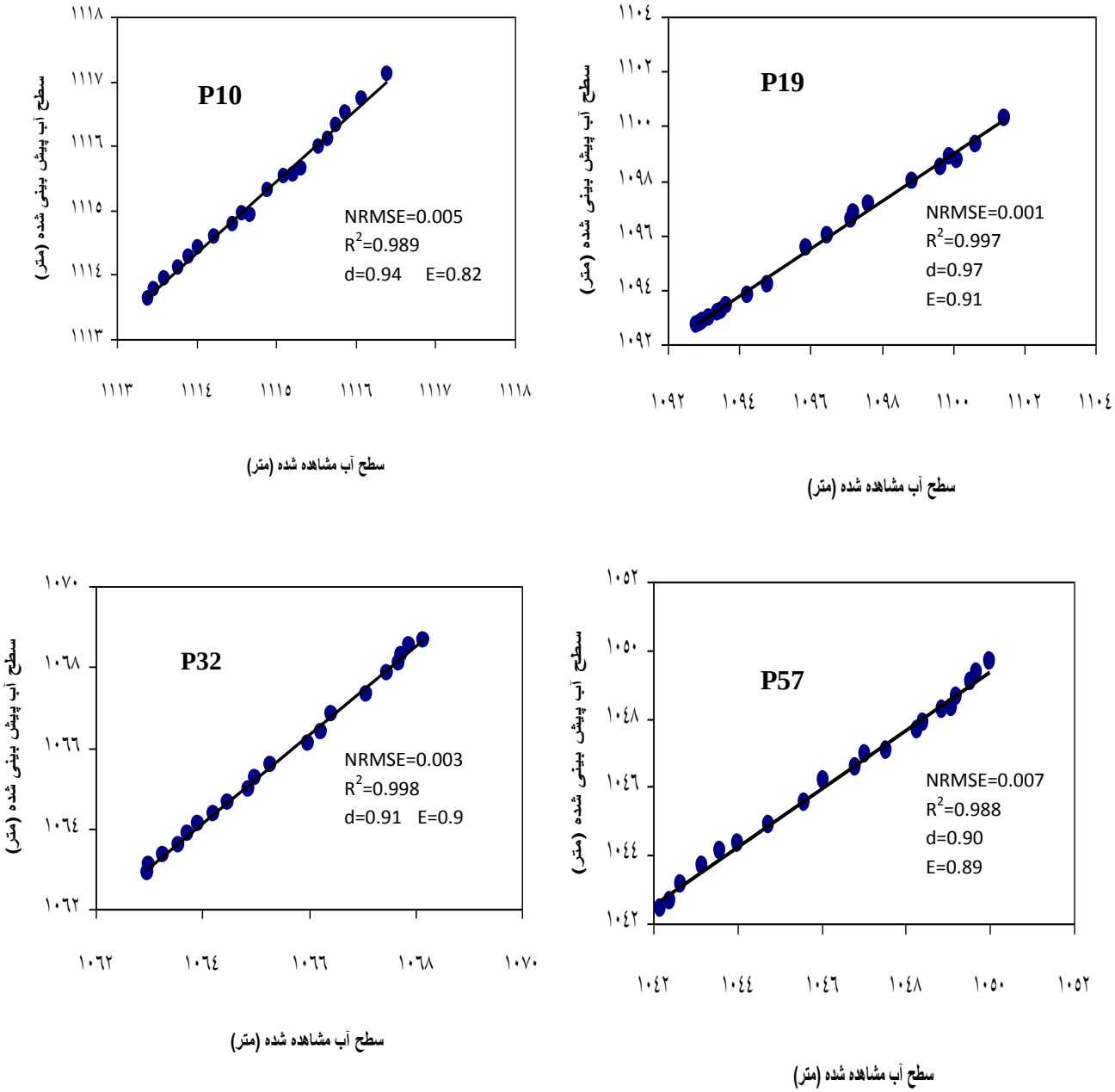




شکل ۴-۳- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده های مشاهداتی و محاسباتی مدل در دوره کالیبراسیون (فروردین ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۹۰)

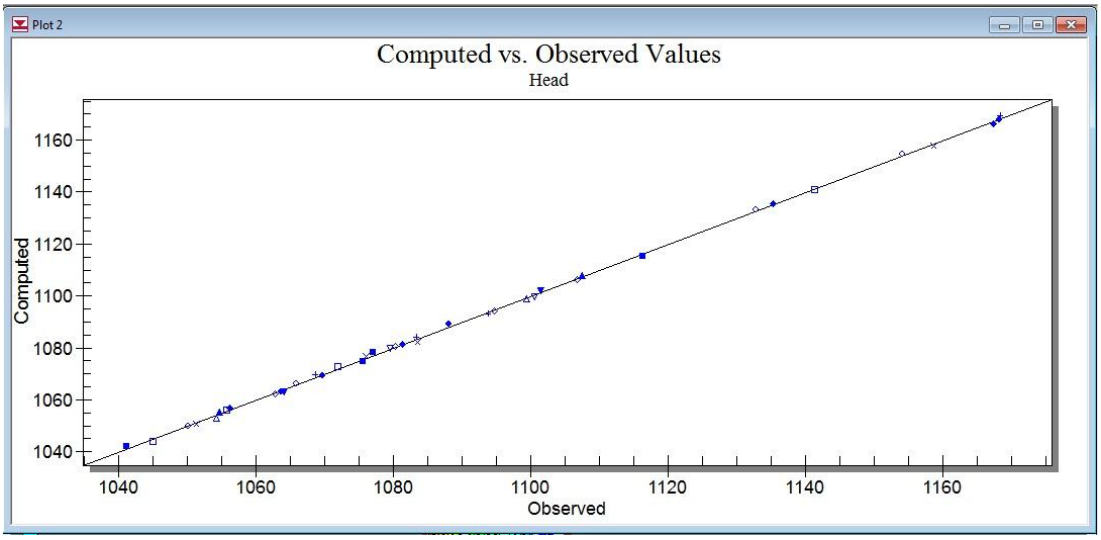
بر اساس نتایج بدست آمده دوره واسنجی در تمام پیزومترهای دشت و همچنین پیزومترهای مشخص شده در شکل‌های فوق، سطح آب شبیه‌سازی شده توسط مدل به سطح آب مشاهداتی نزدیک بوده و جذر میانگین مربعات خطا برای کل پیزومترهای دشت در این دوره ۵ ساله ۰/۹۵ متر بدست آمده است.

شاخص‌های آماری در مرحله واسنجی برای ۴ پیزومتر از بین مجموع پیزومترهای بررسی شده در دشت پیاده گردید. شکل (۴-۴) مربوط به این قسمت می‌باشد. این شکل نشان می‌دهد که در هر چهار پیزومتر انتخابی شاخص‌های مهم آماری NRMSE, R^2, d, E نتایج رضایت بخشی داشته‌اند.



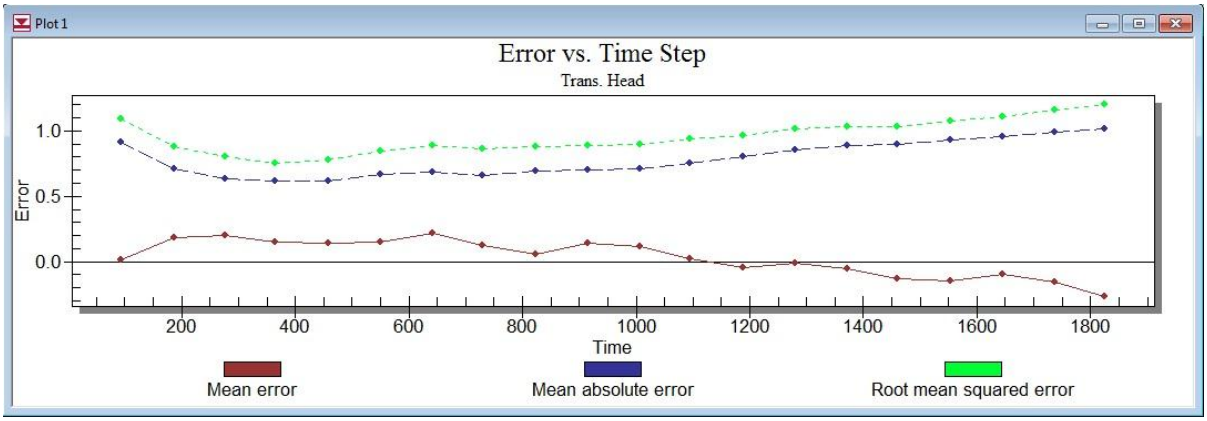
شکل ۴-۴- مقادیر شاخص‌های آماری برای ۴ پیزومتر انتخابی در دوره واسنجی

در شکل (۴-۵) برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی آخرین اجرای مدل دشت دامغان در حالت پایدار را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵- برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در حالت پایدار

در شرایط ناپایدار پس از تصحیح مقادیر آبدهی ویژه و جریان‌های ورودی و خروجی مدل به دو صورت دستی و خودکار واسنجی شد، که میانگین خطاها در هریک از گام‌های زمانی در حالت ناپایدار به صورت شکل (۴-۶) نشان داده شده است.

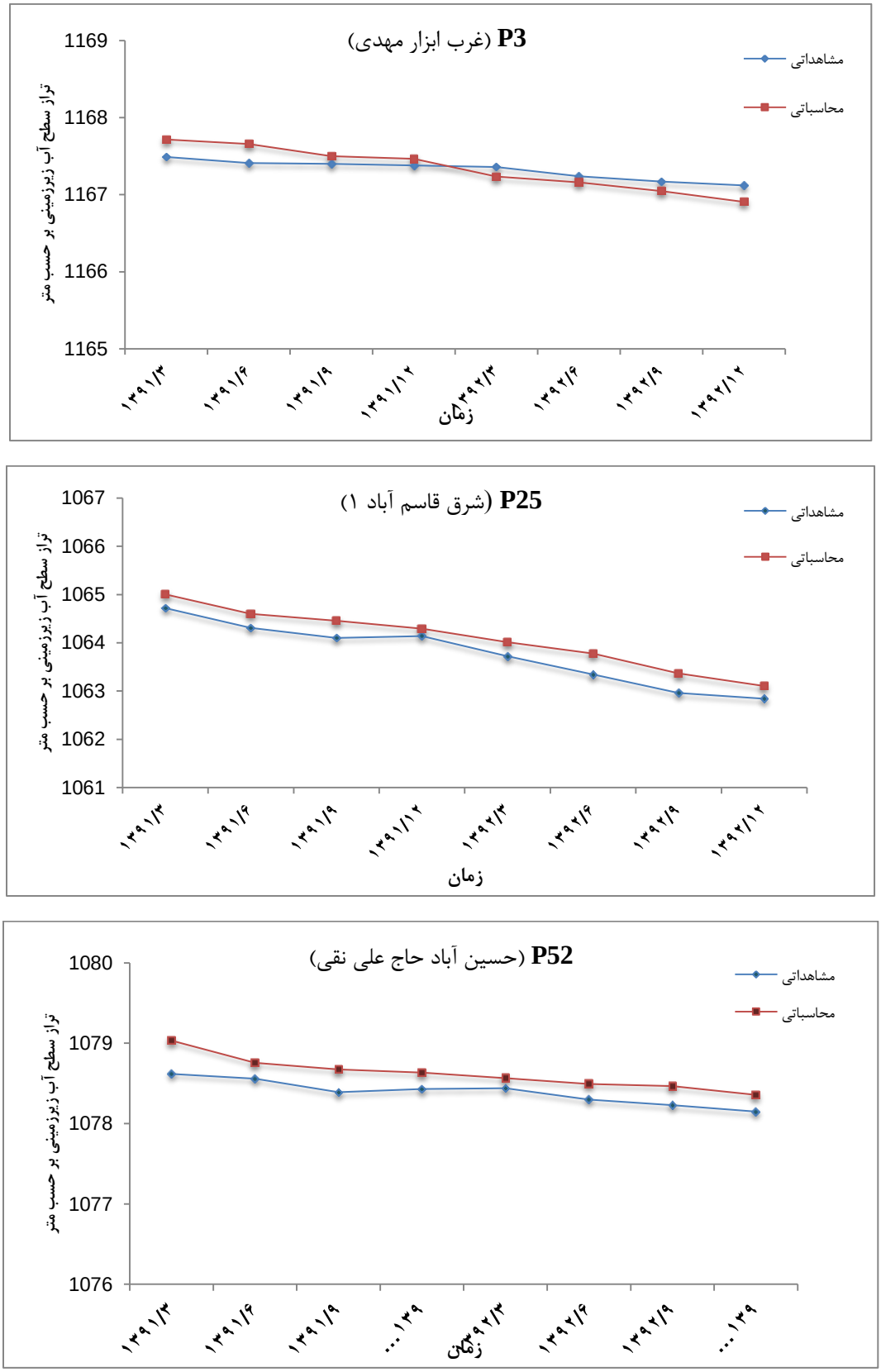


شکل ۴-۶- میانگین خطاهای مدلسازی در دوره های تنش در حالت ناپایدار

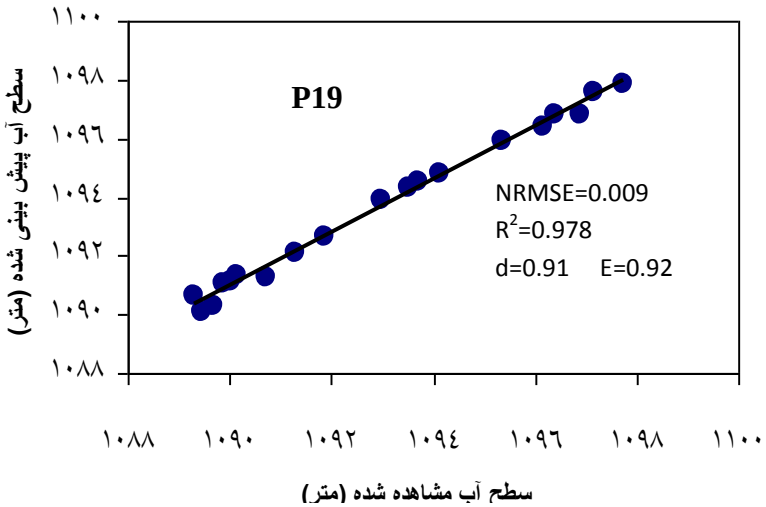
۴-۳- صحت سنجی مدل سطح آب زیرزمینی

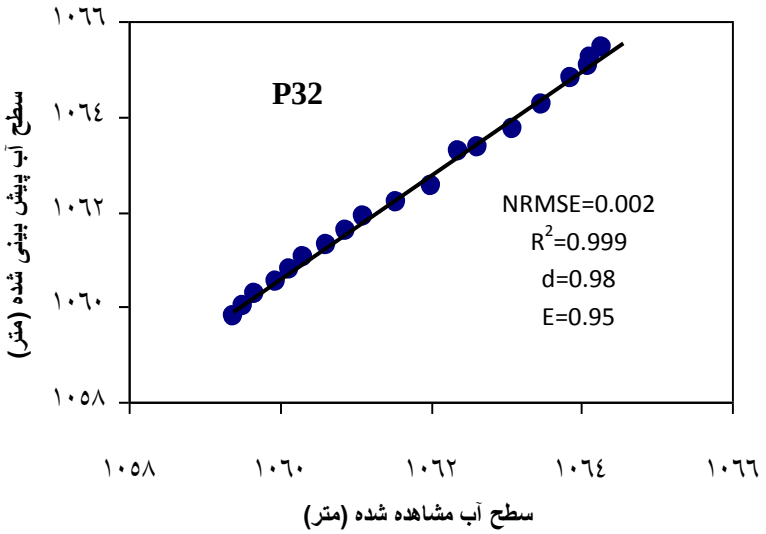
صحت سنجی مرحله‌ای است که نشان می‌دهد مدل واسنجی شده این قابلیت را دارد که برای شرایطی غیر از شرایط استفاده شده در واسنجی مدل، نتایجی قابل قبول و نزدیک به واقع ارائه دهد. برای انجام این مرحله از مدلسازی از داده‌های دوره ۲ ساله، فروردین ۱۳۹۱ تا اسفند ۱۳۹۲ استفاده شد. شکل (۴-۷) هیدروگراف سطح آب زیرزمینی برای ۳ پیزومتر از پیزومترهای دشت را به همراه مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی مدل را در مرحله صحت سنجی نشان می‌دهد. بعد از اجرای مدل در این مرحله، نتایج نشان داد، طراحی مدل برای این بازه زمانی نیز قابل قبول می‌باشد و مقدار خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گرفته است.

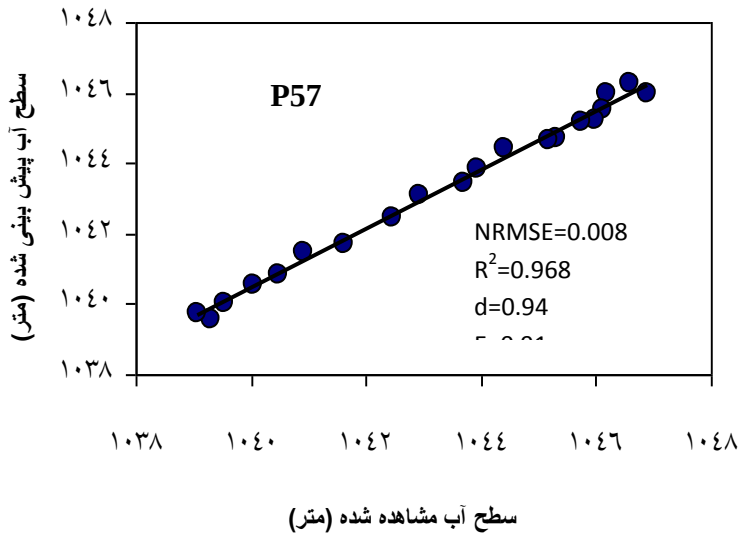
سپس شاخص‌های آماری در مرحله صحت سنجی برای ۳ پیزومتر از بین مجموع پیزومترهای بررسی شده در دشت پیاده گردید. شکل (۴-۸) مربوط به این قسمت می‌باشد. این شکل نیز نشان می‌دهد که در هر چهار پیزومتر انتخابی شاخص‌های مهم آماری NRMSE, R^2, d, E نتایج رضایت بخشی داشته‌اند. و لذا پس از اطمینان از عملکرد مدل پیش بینی‌های مختلف در سناریوهای مختلف صورت گرفت.



شکل ۴-۷- هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل در دوره صحت سنجی (فروردین ۱۳۹۱ تا اسفند ۱۳۹۲)



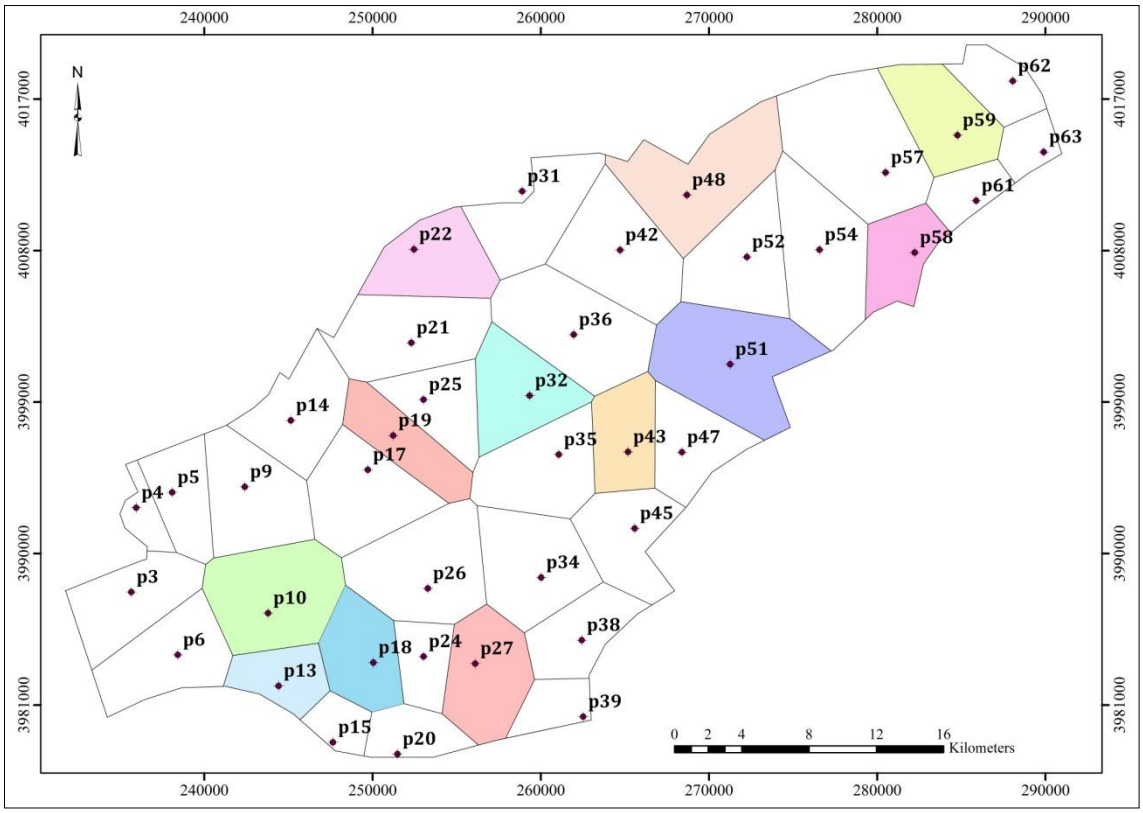




شکل ۴-۸- مقادیر شاخص‌های آماری برای ۳ پیزومتر انتخابی در دوره صحت سنجی

۴-۴- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در هر پیزومتر برای دوره ۳ ساله

در این قسمت هیدروگراف سطح آب زیرزمینی در دوره پیش بینی ۳ ساله (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵) و نتایج حاصل از پیش بینی مدل، تحت سناریوهای خشکسالی، روند طبیعی و ترسالی برای تک تک پیزومترهای منطقه بدست آمد، در اشکال (۴-۹) و (۴-۱۰) تعدادی از پیزومترهای دشت که دارای پراکندگی مناسبی هستند، به صورت انتخابی نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود در کلیه سناریوهای در نظر گرفته شده سطح آب زیرزمینی دشت در سه سال آینده افت خواهد نمود. همچنین با توجه به شکل‌های مذکور و نقشه تیسن بندی دشت، نمایش داده شده در شکل (۴-۹)، می‌توان مساحت مناطق مورد نظر در این پیزومترها را محاسبه و حجم آب خروجی از آن مناطق را با توجه به سطحی که هر پیزومتر دربرمی‌گیرد، بدست آورد.

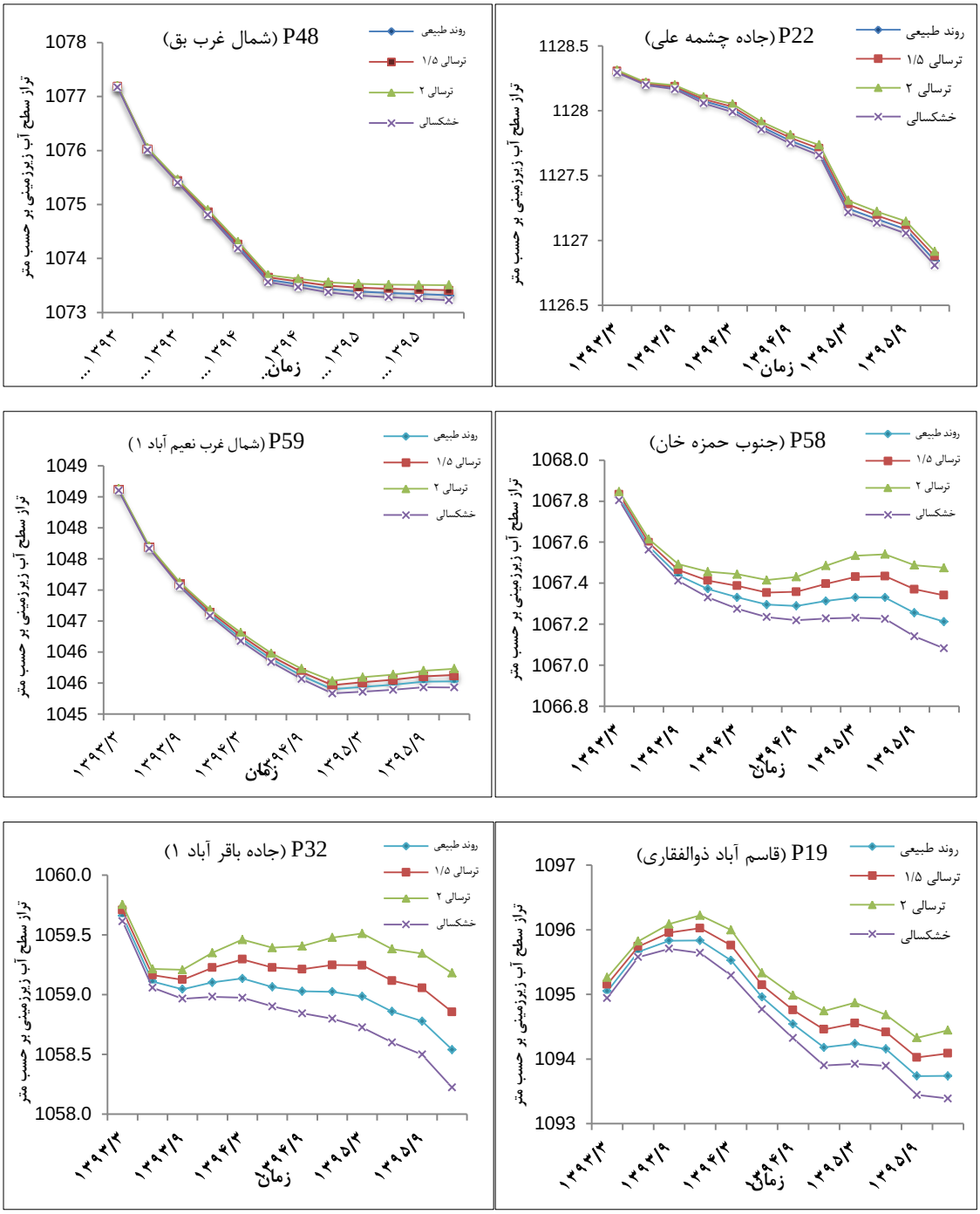


شکل ۴-۹- نقشه تیسن بندی دشت دامغان در سال ۱۳۹۰

پیزومترهای ۲۲، ۴۸، ۵۸ و ۵۹ در منطقه شمالی دشت قرار گرفته اند، با توجه به نقشه تیسن بندی دشت (شکل (۴-۹)) پیزومتر ۲۲ (جاده چشمه علی) مساحتی در حدود ۲۹/۵۶ کیلومترمربع از مساحت دشت را تحت پوشش قرار می‌دهد، با توجه به این مساحت و ضریب ذخیره این منطقه ۰/۱۴۸ و همچنین باتوجه به افت ۱/۴۶ متر براساس سناریوی ادامه روند فعلی بارش (شکل (۴-۱۰))، مقدار تخلیه از این سطح برابر ۶/۴ میلیون مترمکعب خواهد بود. به همین صورت برای پیزومترهای ۴۸، ۵۸ و ۵۹ نیز مقدار تخلیه به ترتیب برابر ۳۵/۷، ۱/۹ و ۱۷ میلیون مترمکعب خواهد بود.

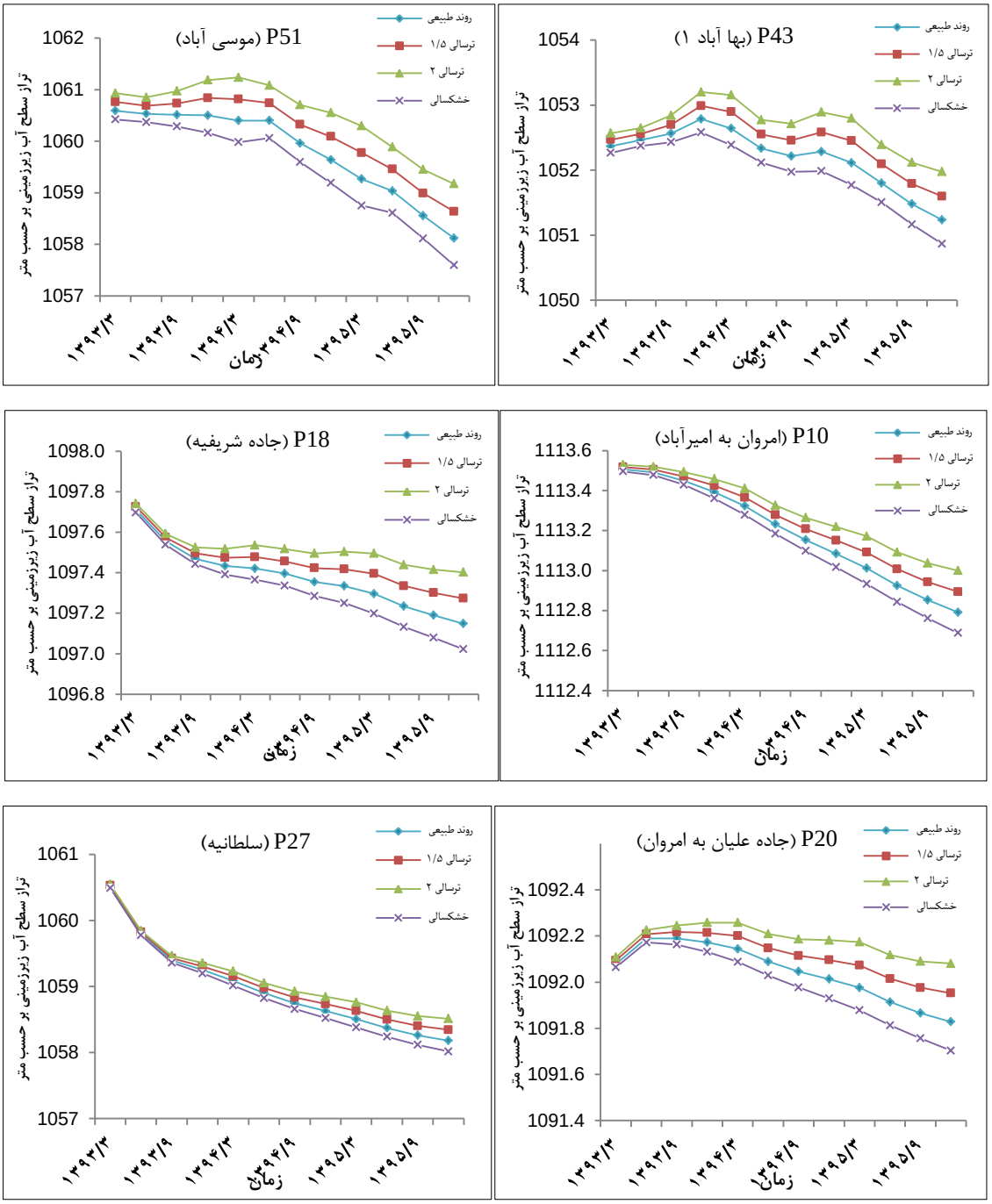
پیزومترهای ۱۹، ۳۲، ۴۳ و ۵۱ در منطقه مرکزی دشت قرار گرفته‌اند، با توجه به نقشه تیسن بندی دشت (شکل (۴-۹)) پیزومتر ۱۹ (قاسم آباد ذوالفقاری) سطحی در حدود ۲۳/۳۲ کیلومترمربع را تحت پوشش قرار می‌دهد، با توجه به این مساحت و ضریب ذخیره این منطقه ۰/۰۰۸ و همچنین با توجه به افت ۱/۳۱ متر بر اساس سناریوی ادامه روند فعلی بارش (شکل (۴-۱۰))، مقدار تخلیه از این سطح برابر ۰/۲۴ میلیون مترمکعب خواهد بود. به همین صورت برای پیزومترهای ۳۲، ۴۳ و ۵۱ نیز مقدار تخلیه به ترتیب برابر ۱/۱۸، ۰/۲۶ و ۱/۲۸ میلیون مترمکعب خواهد بود.

پیزومترهای ۱۰، ۱۸، ۲۰ و ۲۷ در منطقه جنوبی دشت قرار گرفته اند، با در نظر گرفتن نقشه تیسن بندی دشت در شکل (۴-۹) پیزومتر ۱۰ (امروان به امیرآباد) سطحی در حدود ۴۳/۶۵ کیلومترمربع را تحت پوشش قرار می‌دهد، با توجه به این مساحت و ضریب ذخیره این منطقه ۰/۲ و همچنین با توجه به افت ۰/۷۲ متر بر اساس سناریوی ادامه روند فعلی بارش (شکل (۴-۱۱))، مقدار تخلیه از این سطح برابر ۶/۳ میلیون مترمکعب خواهد بود. به همین صورت برای پیزومترهای ۱۸، ۲۰ و ۲۷ نیز مقدار تخلیه به ترتیب برابر ۲/۱۳، ۰/۵۷ و ۹/۰۱ میلیون مترمکعب خواهد بود.



شکل ۴-۱۰- هیدروگراف پیش بینی سطح آب چاه‌های مشاهداتی در ۴ سناریوی مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵)

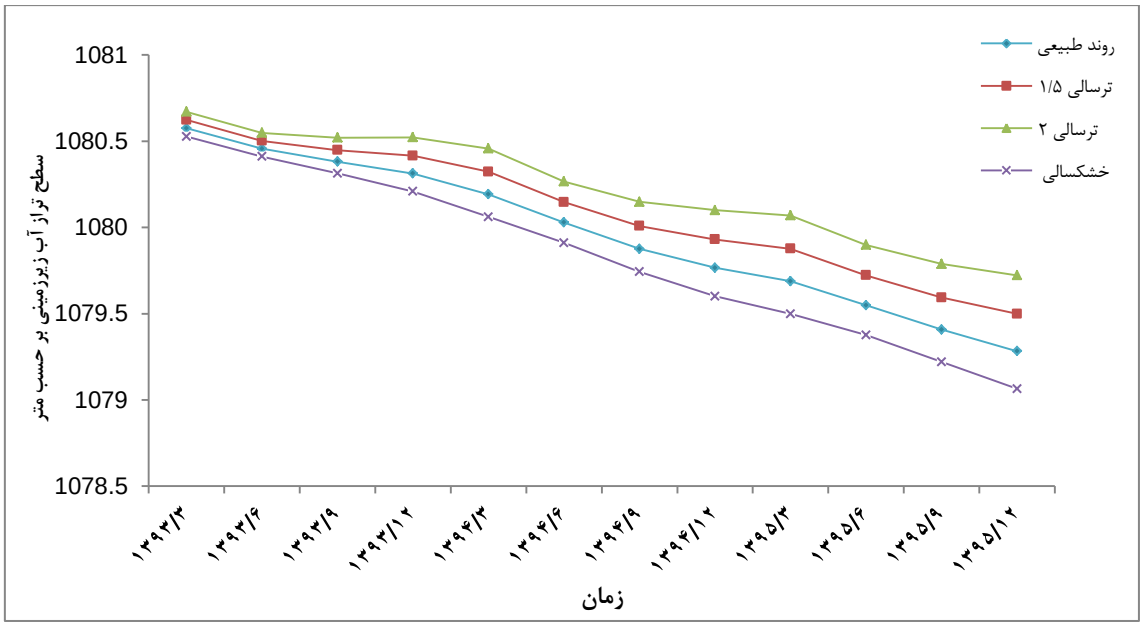
پیزومترهای P22 و P48 در نزدیکی مرزها قرار گرفته‌اند و به همین دلیل بیشتر تحت تاثیر جریان ورودی مرزها هستند، تاثیر میزان بارش بر سطح آب زیرزمینی در محدوده این پیزومترها بسیار کم است و تغییرات سطح آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف بهم نزدیک می‌شود.



شکل ۴-۱۱- هیدروگراف پیش بینی سطح آب چاه‌های مشاهداتی در ۴ سناریوی مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵)

شکل (۴-۱۲) وضعیت پایین افتادگی سطح آب زیرزمینی درکل دشت در دوره سه ساله را نشان می‌دهد، براساس این شکل با بوجود آمدن شرایط خشکسالی بعد از ۳ سال ۱/۴۶ متر سطح آب افت خواهد کرد و با ثابت ماندن شرایط فعلی بارندگی ۱/۲۹ متر افت خواهیم داشت. همچنین بر اساس این شکل با یک و نیم برابر شدن بارندگی ۱/۱۲ متر و با دو برابر شدن آن ۰/۹۵ متر افت بوجود خواهد آمد. این مسئله بیان کننده آن است که با درنظر گرفتن مساحت دشت ۱۱۷۳/۵۵ کیلومترمربع و متوسط ضریب ذخیره ۰/۰۷ حدودا ۱۰۶ میلیون متر مکعب آب از این دشت خارج خواهد شد که با توجه به شرایط فعلی بارندگی منطقه جبران چنین نقصانی امکان پذیر نمی‌باشد.

طبق مدلسازی که آقای قفقازی بک در دشت میمه در استان اصفهان انجام داده‌اند، و سناریوهای خشکسالی، ادامه روند طبیعی، ترسالی و اصلاح دبی چاه‌ها را به عنوان سناریوهای پیش بینی ۳ ساله (سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ تا ۹۳-۱۳۹۲) قرار دادند، نتایج نشان می‌دهد که در همه سناریوها بیشترین افت تراز سطح آب زیرزمینی در قسمت مرکزی دشت رخ می‌دهد.



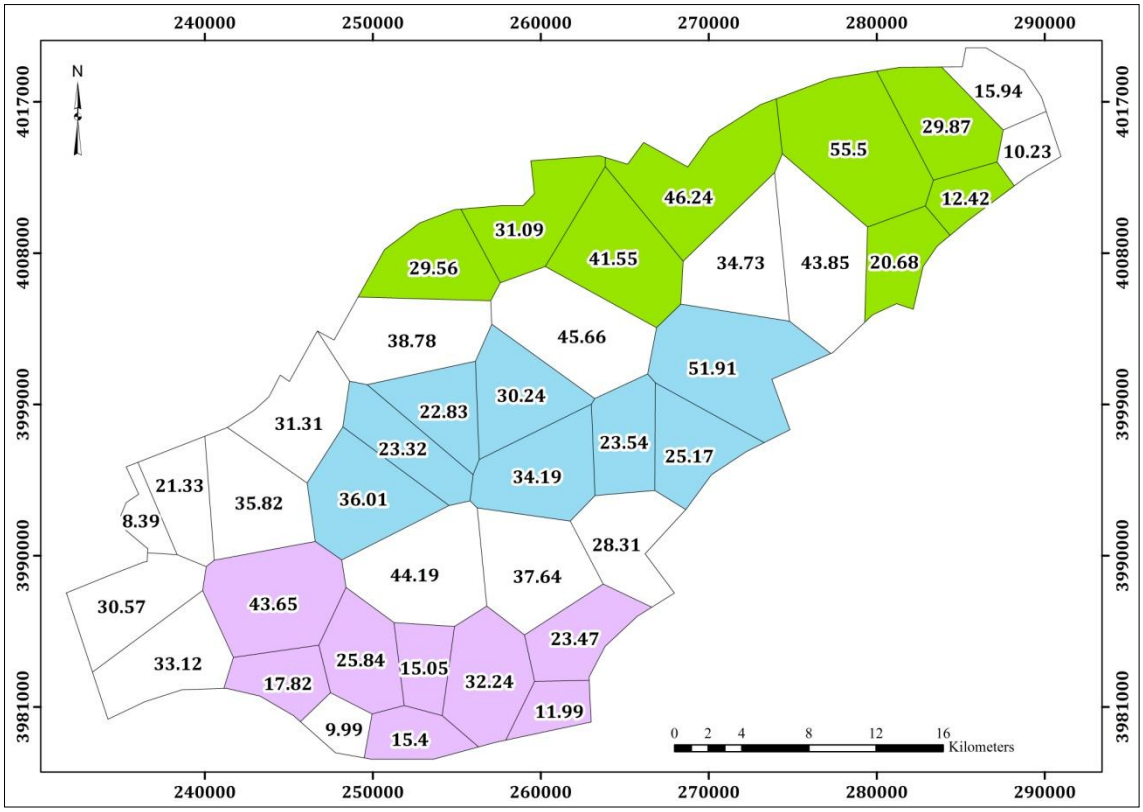
شکل ۴-۱۲- هیدروگراف پیش بینی سطح آب میانگین چاه‌های مشاهداتی در ۴ سناریوی مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵)

۴-۵- پیش بینی سطح آب زیرزمینی برای مناطق مختلف دشت در دوره ۵ ساله

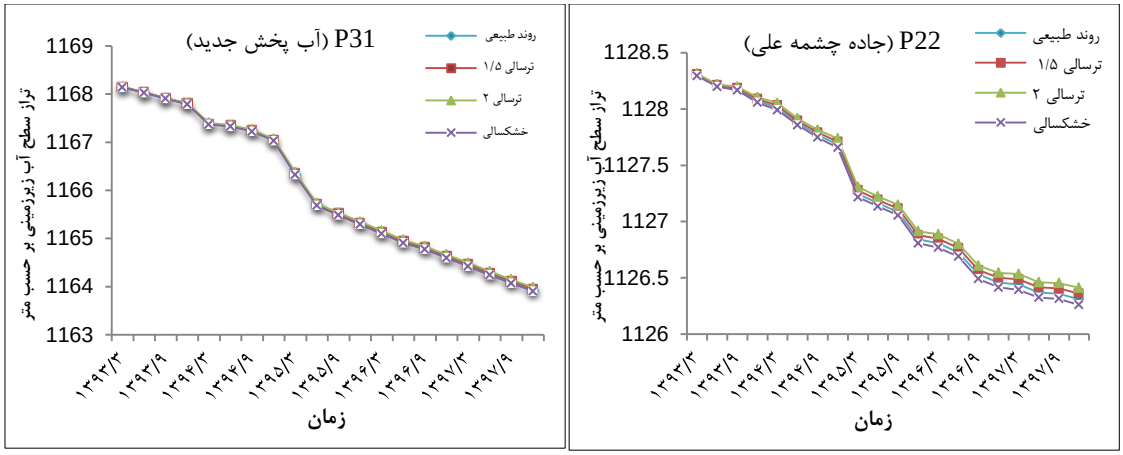
در این قسمت نتایج حاصل از پیش بینی مدل با سناریوهای مختلف درمنطقه مورد مطالعه، بررسی می‌شود. نظر به اینکه ابتدا روی تک تک پیزومترهای منطقه مطالعه صورت گرفت، نتیجه حاصل نشان داد که بیشترین مقدار تغییرات در کل دشت روی ۲۴ پیزومتر از مجموع ۳۴ پیزومتر منطقه در دوره پیش بینی روی می‌دهد و توزیع این ۲۴ پیزومتر به صورت یکنواخت در سه قسمت دشت و در هر قسمت ۸ پیزومتر قرار گرفته است. با در نظر گرفتن اینکه پیزومترها در دشت در سه بخش شمالی، مرکزی و جنوبی توزیع گردیده اند، لذا نتایج مدل در مناطق سه گانه توضیح داده می‌شود.

۴-۵-۱- منطقه شمال

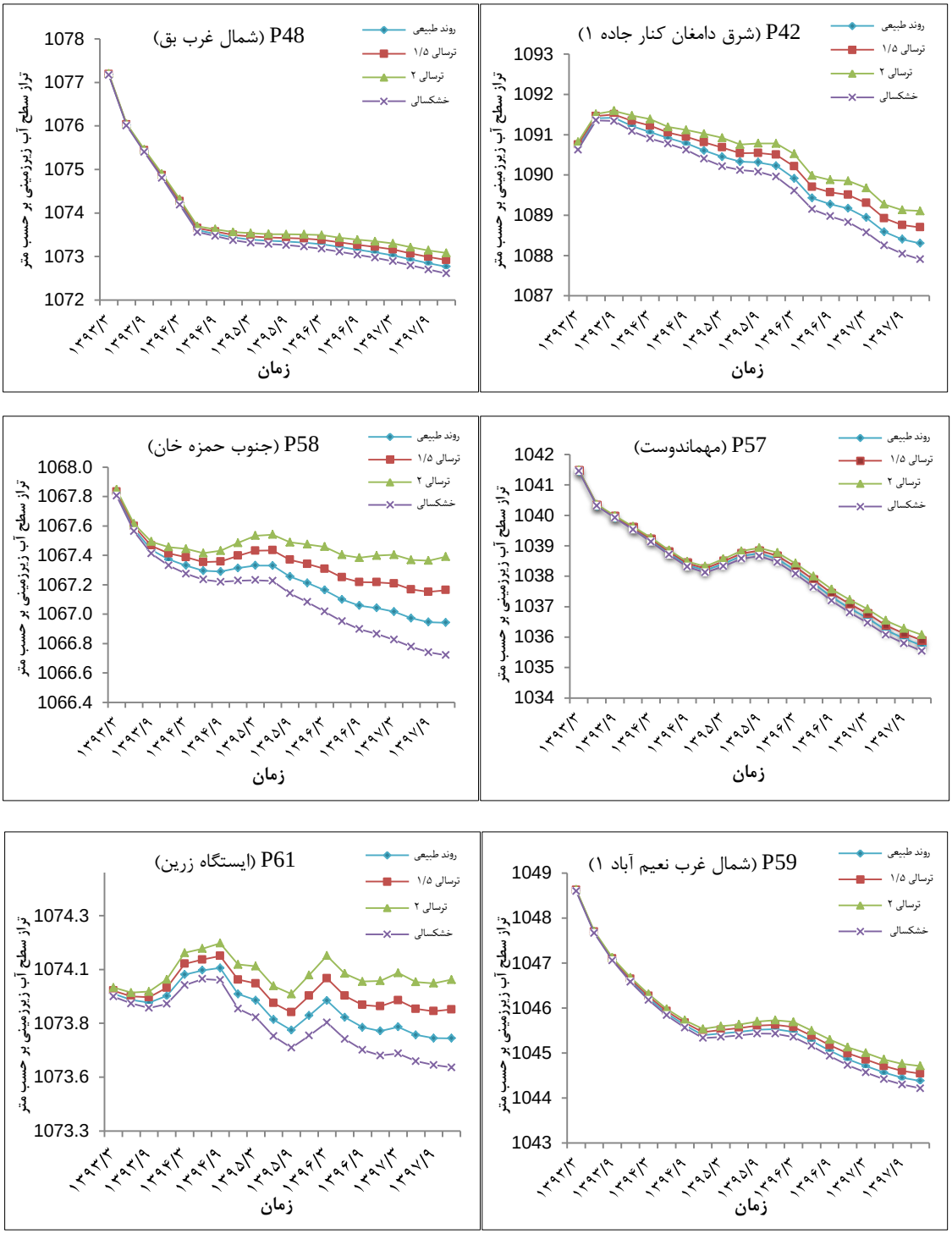
شکل (۴-۱۴) و (۴-۱۵) نتایج مربوط به پیش بینی افت سطح آب زیرزمینی در ۸ پیزومتر شمالی دشت (پیزومترهای ۳۱،۴۸،۵۷،۵۹،۲۲،۴۲،۵۸،۶۱) را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۴-۱۶) میانگین پیش‌بینی سطح آب مدل را در این ۸ پیزومتر نشان می‌دهد. این شکل بیان کننده آن است که در بخش شمالی دشت مورد مطالعه شرایط طوری است که با اجرای سناریوی خشکسالی در طول مدت ۵ سال آینده به میزان ۳/۱۶ متر افت سطح آب بوجود می‌آید و با اجرای سناریوی ترسالی به مقدار دو برابر بارندگی فعلی میزان افت به ۲/۷۱ متر خواهد رسید، ملاحظه می‌شود که تفاوت معنی داری بین سناریوی خشکسالی و ترسالی مشاهده نمی‌شود. شکل (۴-۱۳) نشان می‌دهد که مساحت منطقه شمال ۲۶۶/۹ کیلومترمربع می‌باشد، با در نظر گرفتن میانگین افت ۳ متری در سناریوهای مختلف، حجم آب خروجی از مخزن در این محدوده، در طول مدت ۵ سال آینده ۱۲۰ میلیون مترمکعب خواهد بود، که رقم قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. پیزومترهای شمالی در حاشیه مرزی دشت واقع شده‌اند و میزان برداشت آب از چاه‌های این بخش بیشتر از مناطق دیگر می‌باشد به همین خاطر به نظر می‌رسد تنها راه نجات بخش شمال دشت کنترل و توقف تخلیه چاه‌ها باشد.



شکل ۴-۱۳- نقشه تیسن بندی دشت و مساحت مربوط به هریک از پیزومترها (کیلومتر مربع)



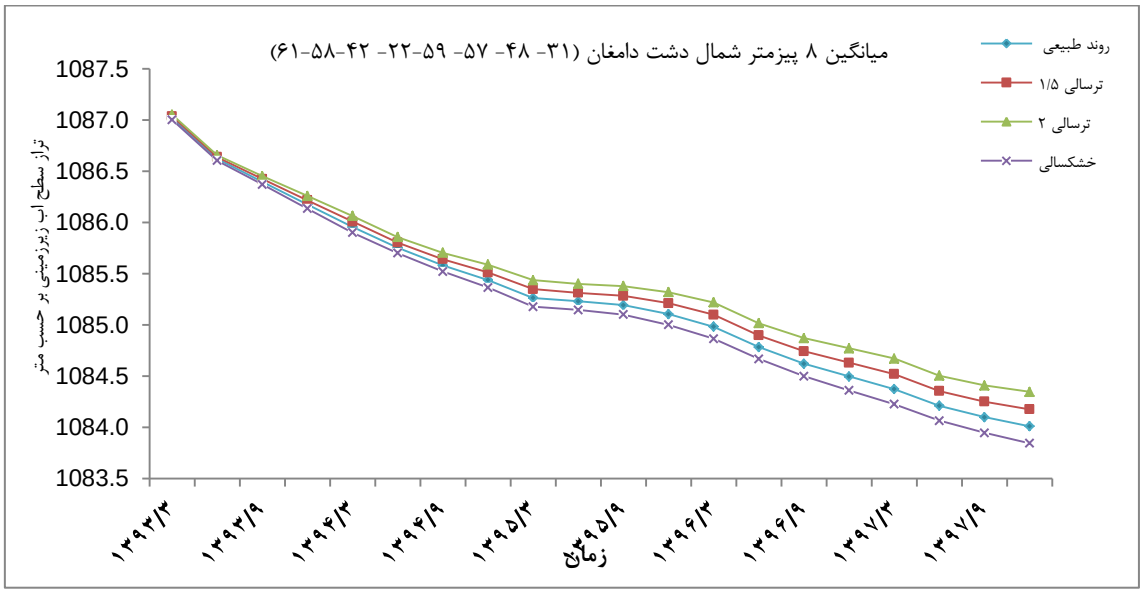
شکل ۴-۱۴- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای شمال منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)



شکل ۴-۱۵- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای شمال منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

بر اساس نتایج حاصل از اشکال ۴-۱۴ و ۴-۱۵ پیش بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه شمال طوری است که در حالت کلی تک تک پیزومترها در ۵ سال آینده با پیش آمدن هر کدام از سناریوها

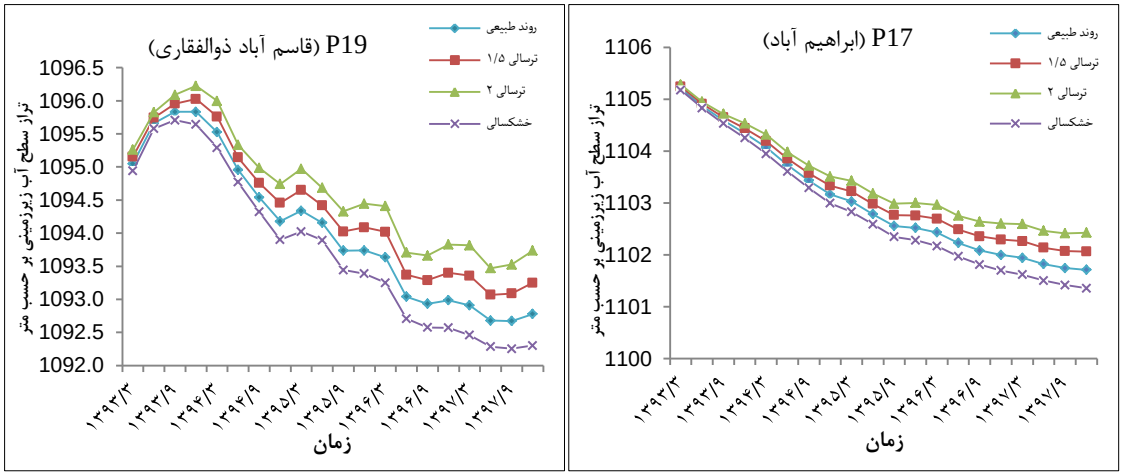
دچار افت قابل توجهی خواهند شد. نزدیکی و فاصله گرفتن منحنی‌های مربوط به سناریوها در پیزومترهای انفرادی به ماهیت زمین ساختاری هر کدام از نواحی تحت پوشش آن پیزومتر و موقعیت قرارگیری آن پیزومتر در دشت بستگی دارد. اما همانطور که در شکل ۴-۱۶ ملاحظه می‌شود میانگین منحنی‌های افت در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه هم از نظر روند افت باهم مشابهت دارند و هم دارای شیب نسبتا یکسانی هستند لذا نتایج حاصل از مدل برای این بخش از دشت روند افت شدیدی را نشان می‌دهد و مواجه شدن قسمت شمال منطقه با کسری مخزن معادل ۱۲۰ میلیون متر مکعب در سطحی معادل ۲۶۷ کیلومتر مربع جبران ناپذیر بوده و ممکن است آثار و عواقب خطرناکی را در منطقه از نظر زیست محیطی به ارمغان آورد. هرچند کنترل و توقف چاه‌های بهره‌برداری مشکلات اجرایی خواهد داشت ولی در مقایسه با جبران ناپذیر بودن خسارت وارد بر منطقه قابل توجیه می‌باشد.



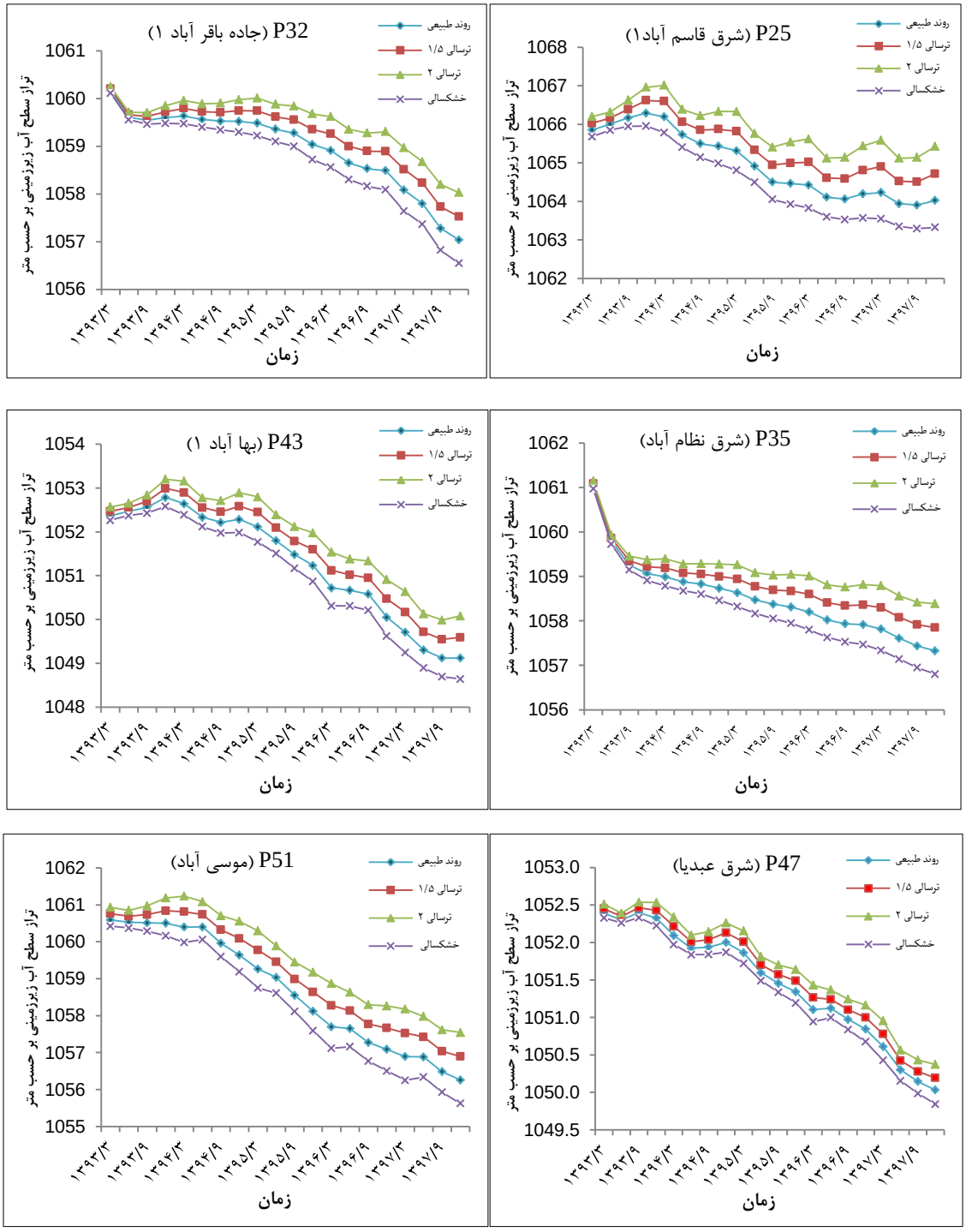
شکل ۴-۱۶- هیدروگراف پیش بینی میانگین سطح آب در شمال دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

۴-۵-۲- منطقه مرکزی دشت

شکل (۴-۱۷) و (۴-۱۸) نتایج مربوط به پیش بینی مدل در ۸ پیزومتر بخش مرکزی دشت یعنی پیزومترهای ۳۵،۳۲،۲۵،۱۹،۴۷،۴۳،۱۷و۵۱ را نشان می‌دهد، همچنین شکل (۴-۱۹) میانگین پیش‌بینی سطح آب مدل را در این ۸ پیزومتر نشان می‌دهد. این شکل بیان می‌کند که با اجرای سناریوی خشکسالی در مرکز دشت در طول مدت ۵ سال آینده ۳/۴۳ متر افت سطح آب زیر زمینی بوجود خواهد آمد و با اجرای سناریوی ترسالی به مقدار دو برابر بارندگی فعلی میزان افت به ۲/۲۷ متر خواهد رسید. روی دادن چنین شرایطی مطمئنا دشت را دچار بحران‌های زیادی خواهد کرد. براساس این شکل چنانچه وضعیت فعلی بارندگی در طول ۵ سال آینده حفظ شود ۳/۰۴ متر افت سطح آب زیرزمینی بوجود خواهد آمد. شکل (۴-۱۳) نشان می‌دهد که مساحت منطقه مرکزی دشت ۲۴۷/۲ کیلومترمربع می‌باشد، با در نظر گرفتن میانگین افت ۳/۰۴ متری در سناریوهای مختلف حجم آب خروجی از مخزن در طول مدت ۵ سال آینده ۴۵ میلیون مترمکعب خواهد بود.



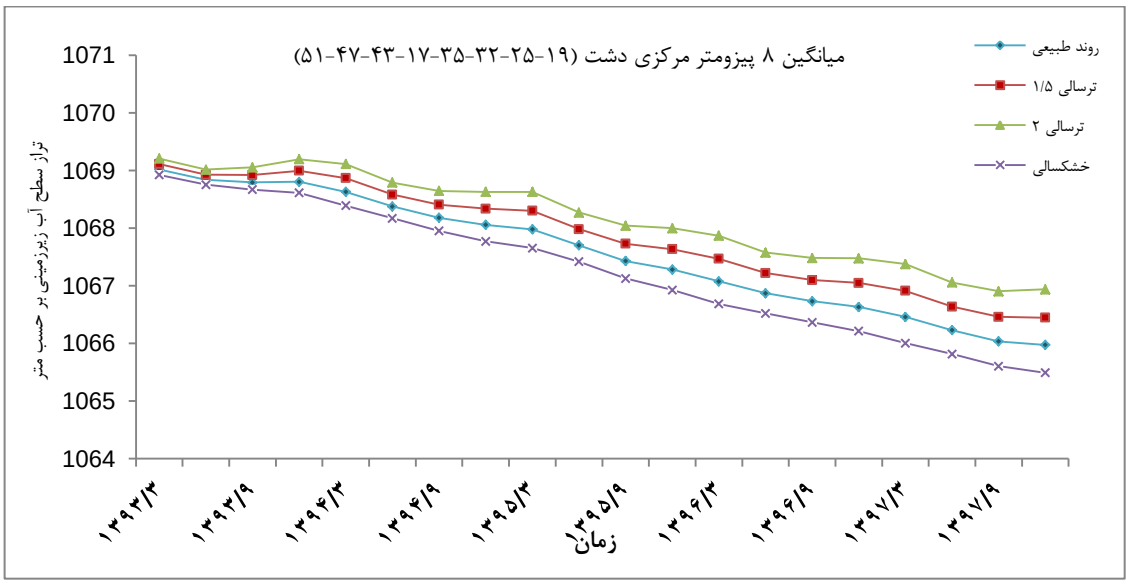
شکل ۴-۱۷- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای مرکز منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)



شکل ۴-۱۸- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای مرکز منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

بر اساس نتایج حاصل از اشکال ۴-۱۷ و ۴-۱۸ در منطقه مرکزی دشت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی طوری است که برای همه پیزومترها در ۵ سال آینده با پیش آمدن هر کدام از سناریوها

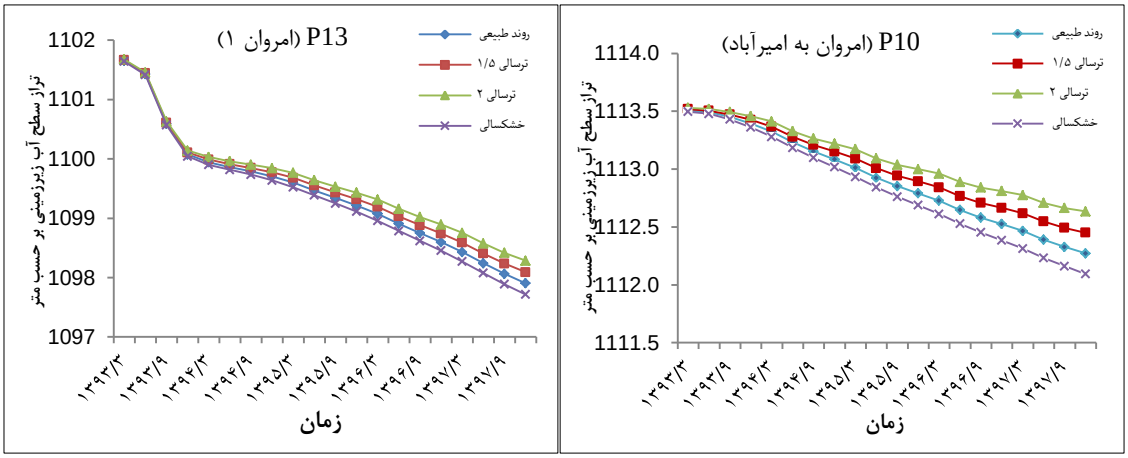
افت قابل توجهی به‌وجود خواهد آمد. بیشترین مقدار افت که حدود ۴ متر می‌باشد در محل پیزومتر P51 و P35 به دلیل تخلیه زیاد چاه‌های بهره‌برداری اتفاق می‌افتد. همانطور که در شکل ۴-۱۹ ملاحظه می‌شود میانگین منحنی‌های افت در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه هم از نظر روند افت باهم مشابهت دارند و هم دارای شیب نسبتا یکسانی هستند. در این منطقه از دشت که دارای سطحی معادل ۲۴۷ کیلومترمربع است، کسری مخزن معادل ۴۵ میلیون مترمکعب در طول ۵ سال دوره پیش بینی اتفاق خواهد افتاد، که این مقدار خروج آب زیرزمینی در منطقه مرکزی دشت قابل ملاحظه است. لذا لازم است با بکارگیری روش‌های مدیریتی صحیح میزان تخلیه چاه‌های بهره‌برداری بهینه گردیده و یا با اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی، کسری مخزن در این منطقه جبران شود.



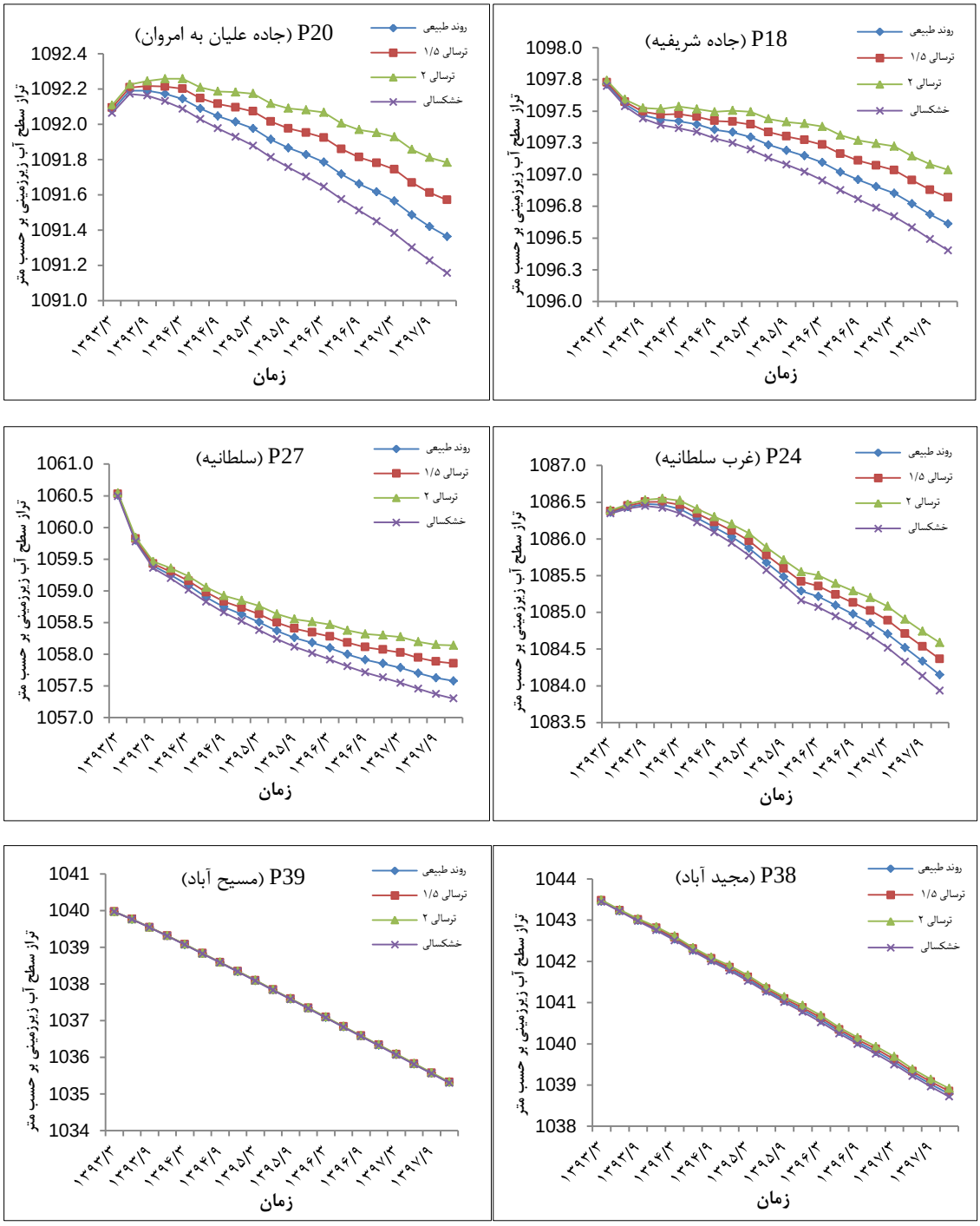
شکل ۴-۱۹- هیدروگراف پیش بینی میانگین سطح آب در مرکز دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

۴-۵-۳- منطقه جنوب

شکل (۴-۲۰) و (۴-۲۱) نتایج حاصل از پیش بینی مدل را برای ۸ پیزومتر ۱۰،۱۸،۲۴، ۲۷ ،۱۳،۲۰،۳۸و ۳۹ که معرف پیزومترهای اصلی در منطقه جنوب دشت مورد مطالعه می‌باشند نشان می‌دهد. همچنین شکل (۴-۲۲) میانگین سطح آب پیش بینی مدل را در این ۸ پیزومتر نشان می‌دهد، این شکل حاوی نکات مهمی است از جمله اینکه نشان می‌دهد چنانچه در ۵ سال آینده میزان بارندگی کم شده و شرایط خشکسالی در منطقه حاکم گردد، در بخش جنوبی دشت ۲/۸۲ متر سطح آب زیرزمینی افت خواهد کرد همچنین این شکل بیان می‌کند اگر شرایط فعلی میزان بارندگی در سال‌های آینده حفظ گردد ۲/۶۵ متر افت سطح آب بوجود خواهد آمد. براساس این شکل با افزایش بارندگی به میزان ۱/۵ برابر مقدار افت سطح آب ۲/۵۰ متر و با دو برابر شدن بارندگی ۲/۳۴ متر افت بوجود خواهد آمد. شکل (۴-۱۳) نشان می‌دهد که مساحت منطقه جنوب دشت ۱۸۵/۵ کیلومترمربع می‌باشد، با در نظر گرفتن میانگین افت ۲/۶۵ متری در سناریوهای مختلف حجم آب خروجی از مخزن در طول مدت ۵ سال آینده ۶۵ میلیون مترمکعب خواهد بود.



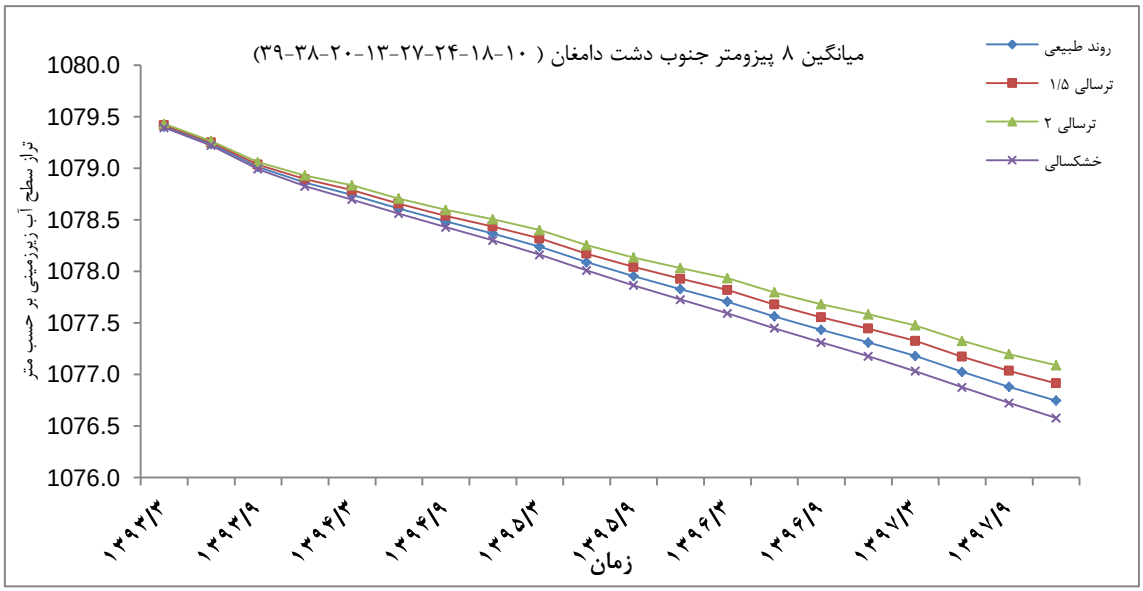
شکل ۴-۲۰- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای جنوب منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)



شکل ۴-۲۱- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای جنوب منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

بر اساس نتایج حاصل از اشکال ۴-۲۰ و ۴-۲۱ پیش بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه جنوب طوری است که در حالت کلی تک تک پیزومترها در ۵ سال آینده با پیش آمدن هر کدام از سناریوها دچار افت خواهند شد. همانطور که در شکل ۴-۲۱ ملاحظه می‌شود اجرای سناریوهای مختلف در

پیزومترهای P38 و P39 تاثیر چندانی ندارد و تغییرات سطح آب زیرزمینی در محل این پیزومترها تحت تاثیر جریان خروجی از مرزها قرار می‌گیرد و به همین دلیل خطوط منحنی در سناریوهای مختلف روی هم قرار می‌گیرد. بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی منطقه جنوب دشت که حدود ۵ متر است، در محل همین دو پیزومتر اتفاق می افتد. همانطور که در شکل ۴-۲۲ ملاحظه می‌شود میانگین منحنی‌های افت در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه هم از نظر روند افت با هم مشابهت دارند و هم دارای شیب نسبتا یکسانی هستند. منطقه جنوبی دشت با سطحی معادل ۱۸۵ کیلومترمربع و افت متوسط ۲/۶۵ متر، خروجی معادل ۶۵ میلیون مترمکعب را در طی دوره ۵ ساله پیش بینی ایجاد خواهد کرد. با توجه به اینکه در این منطقه پدیده فرونشست زمین اتفاق افتاده و درحال پیشرفت است، این منطقه باید بسیار بیشتر مورد توجه قرارگیرد و عوامل تشدید کننده افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در این منطقه کنترل شود.



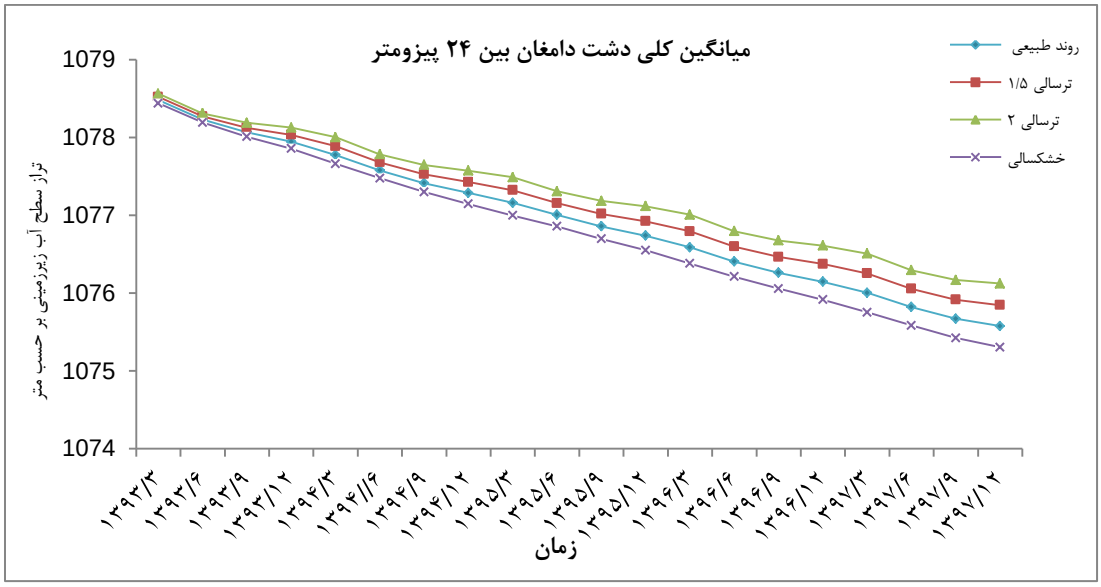
شکل ۴-۲۲- هیدروگراف پیش بینی میانگین سطح آب در جنوب دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

۴-۶- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در کل دشت

شکل (۴-۲۳) وضعیت پایین افتادگی سطح آب زیرزمینی درکل دشت را نشان می‌دهد براساس این شکل با وقوع شرایط خشکسالی بعد از ۵ سال سطح آب ۳/۱۳ متر افت خواهد کرد و با ثابت ماندن شرایط فعلی بارندگی ۲/۹۰ متر افت رخ خواهد داد. همچنین بر اساس این شکل با یک و نیم برابر شدن بارندگی ۲/۶۷ متر و با دو برابر شدن آن ۲/۴۴ متر افت بوجود خواهد آمد. نکته حائز اهمیت در این شکل این است که با حفظ شرایط فعلی و بوجود آمدن نزدیک به ۳ متر افت سطح آب در مدت ۵ سال آینده لطمه بسیار بزرگی به منابع آب زیر زمینی این دشت وارد خواهد شد. این مسئله بیان کننده آن است که با درنظر گرفتن مساحت دشت ۱۱۷۳/۵۵ کیلومترمربع و ضریب ذخیره ۰/۰۷ حدودا ۲۴۵ میلیون متر مکعب آب از ذخایر آبی این دشت خارج خواهد شد که با توجه به شرایط فعلی بارندگی منطقه جبران چنین نقصانی امکان پذیر نمی‌باشد.

خانم ملکی در سال ۱۳۹۰ به مدلسازی دشت شاهرود پرداخته است، بعد از واسنجی و صحت‌سنجی در سال‌های (۸۸- ۱۳۸۷) و (۸۹- ۱۳۸۸) به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در صورت اجرای طرح فاضلاب پرداخته است. براساس نتایج بدست آمده، سطح آب زیرزمینی بعد از اجرای طرح فاضلاب در اکثر چاه‌های مشاهده‌ای به مقدار قابل توجهی پایین می‌آید، بیشترین اختلاف سطح آب در پیزومترهای محدوده شهر اتفاق می‌افتد.

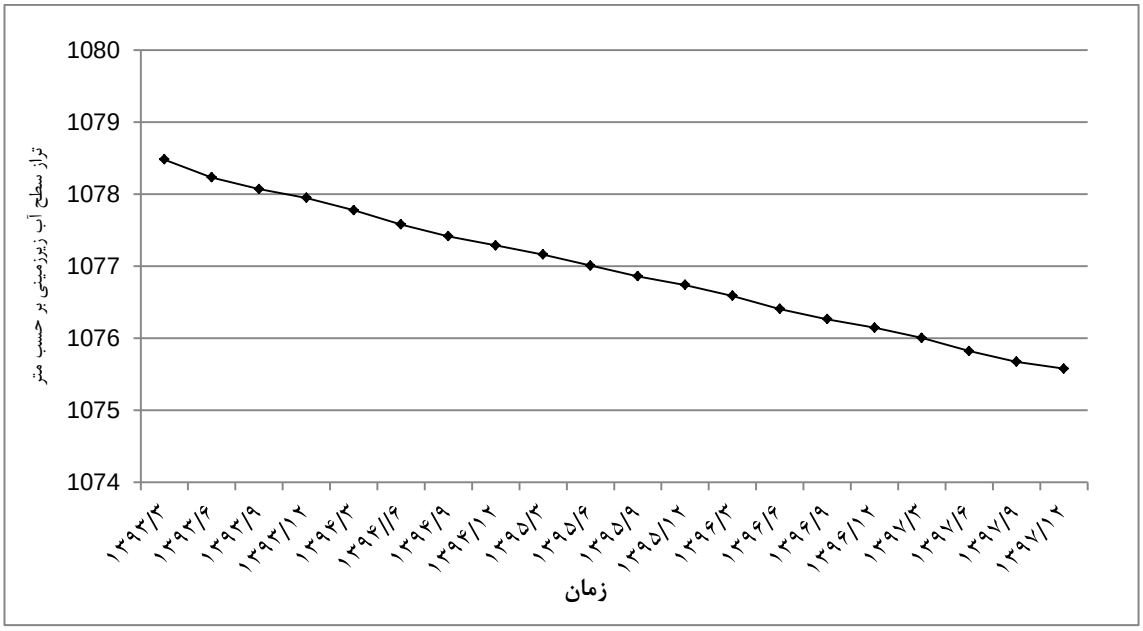
نکته حائز اهمیتی که در شکل ۴-۲۳ وجود دارد این است که وقتی فرآیند پیش‌بینی وضعیت آینده کل دشت توسط مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد، سناریوهای مورد مطالعه در تحقیق با روند بسیار منظمی رفتار کاهشی از خود نشان می‌دهند. شاید علت بزرگ بودن وسعت منطقه در مقایسه با تعداد پیزومترها باشد اما مهم این است که باید دید در منطقه برای جبران ۲۴۰ میلیون مترمکعب کسری مخزن چه نوع پتانسیلی موجود است. با توجه به شرایط فعلی اقلیم منطقه، آمادگی جبران چنین نقصانی را در آینده نزدیک ازخود نشان نمی‌دهد و لذا دراین شرایط باید به دنبال راهکارهای خاصی گشت.



شکل ۴-۲۳- هیدروگراف پیش بینی سطح آب در کل دشت دامغان در ۴ سناریو مورد مطالعه (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷)

۴-۶-۱- پیش بینی مدل در شرایط روند فعلی و طبیعی آبخوان

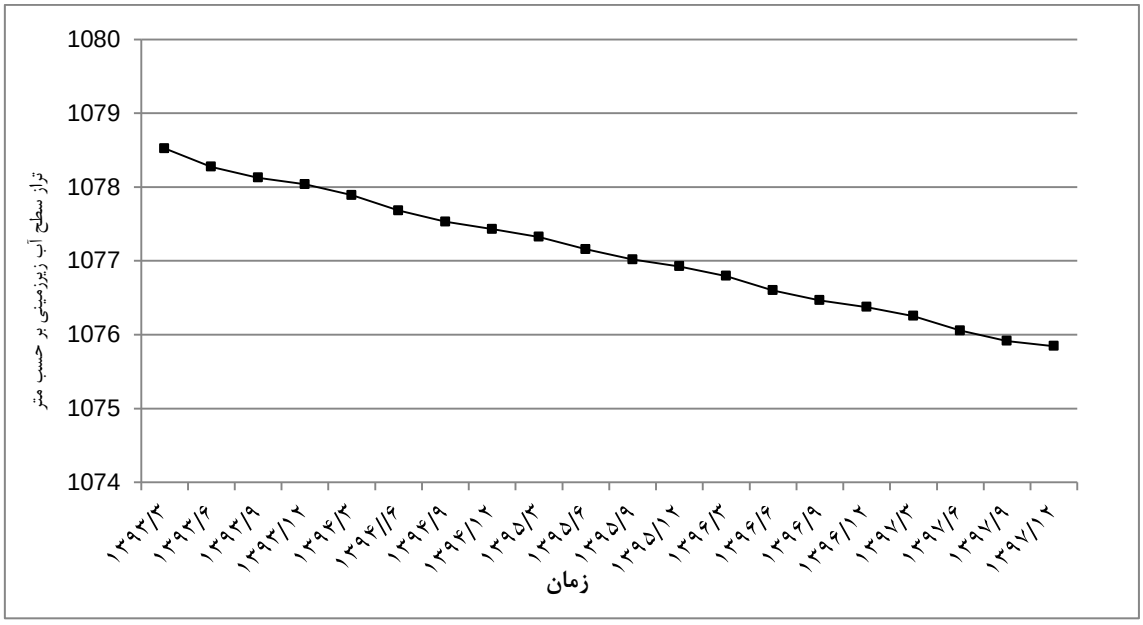
در سناریوی اول فرض شده است که کلیه عوامل تغذیه و تخلیه آبخوان روندی نظیر قبل داشته باشد. در این سناریو مقادیر برداشت از طریق چاه‌ها روند قبلی خود را حفظ کرده و تغذیه از طریق نفوذ بر اساس میانگین بارش ۲۰ سال گذشته می‌باشد. هیدروگراف معرف برای ۵ سال پیش بینی به صورت فصلی در شکل (۴-۲۴) آمده است. همانطور که در شکل مشخص است طی این ۵ سال مقدار ۲/۹۰ متر سطح آب افت پیدا کرده و با این مقدار افت، ۲۴۰ میلیون مترمکعب حجم مخزن آبخوان کاهش پیدا خواهد کرد.



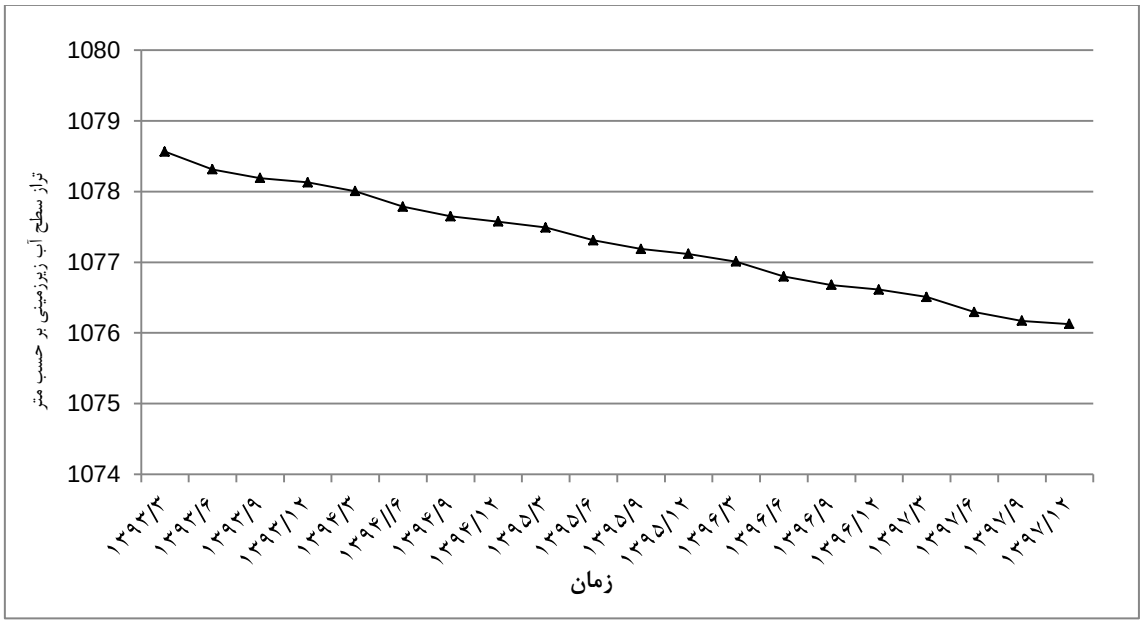
شکل۴-۲۴- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در صورت ادامه روند طبیعی بارش در طول ۵ سال آینده

۴-۶-۲- پیش بینی مدل در شرایط ترسالی

در این سناریو وضعیت آبخوان در طی ۵ سال با این فرض که در این سال‌ها بارش یکبار به میزان ۱/۵ برابر و بار دیگر به میزان ۲ برابر میانگین بارش بلند مدت باشد، پیش بینی شده است. این سناریو به سناریوی ترسالی معروف است و در آن بدون تغییر سایر پارامترها، میزان تغذیه به ۱/۵ و ۲ برابر میزان تغذیه متوسط آبخوان افزایش می‌یابد. هیدروگراف معرف سطح آب در این آبخوان در شکل (۴-۲۵) و (۴-۲۶) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است طی ۵ سال دوره پیش بینی در صورتی که مقدار بارش را ۱/۵ برابر میانگین چند سال گذشته قرار دهیم، مقدار ۲/۶۷ متر سطح آب افت پیدا کرده و با این مقدار افت، ۲۱۹ میلیون متر مکعب حجم مخزن آبخوان کاهش پیدا خواهد کرد. و در صورتی که مقدار بارش ۲ برابر میانگین چند سال گذشته در نظر گرفته شود، طی ۵ سال دوره پیش بینی مقدار ۲/۴۴ متر سطح آب افت پیدا کرده و با این مقدار افت، ۲۰۰ میلیون متر مکعب حجم مخزن کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۵- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی ۱/۵ برابر در طول ۵ سال آینده

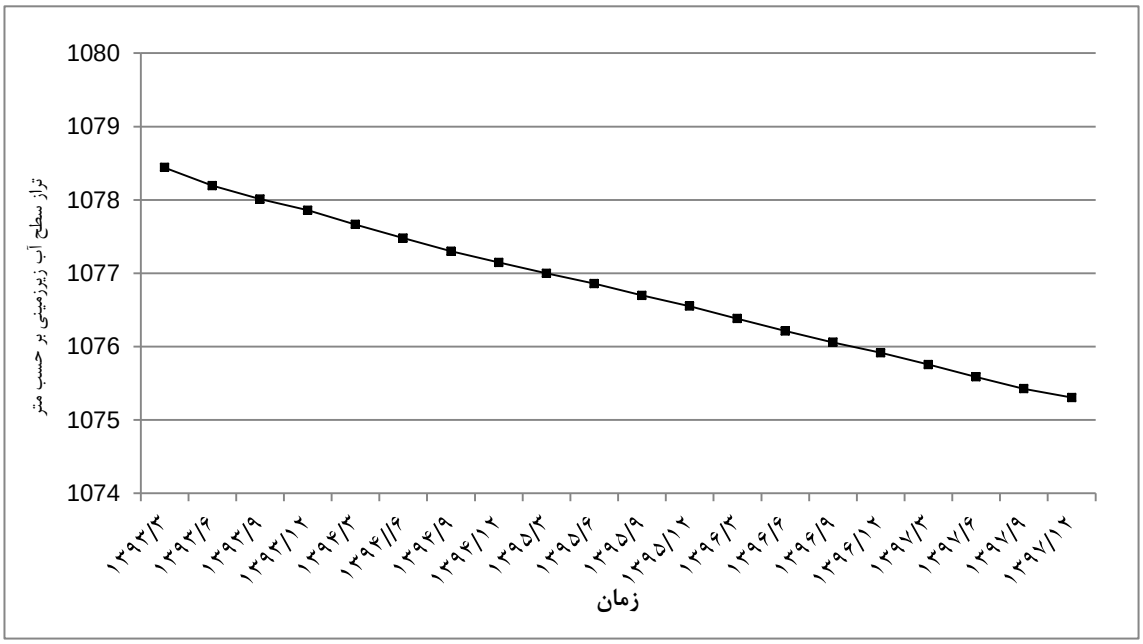


شکل ۴-۲۶- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی ۲ برابر در طول ۵ سال آینده

۴-۶-۳- پیش بینی مدل در شرایط خشکسالی

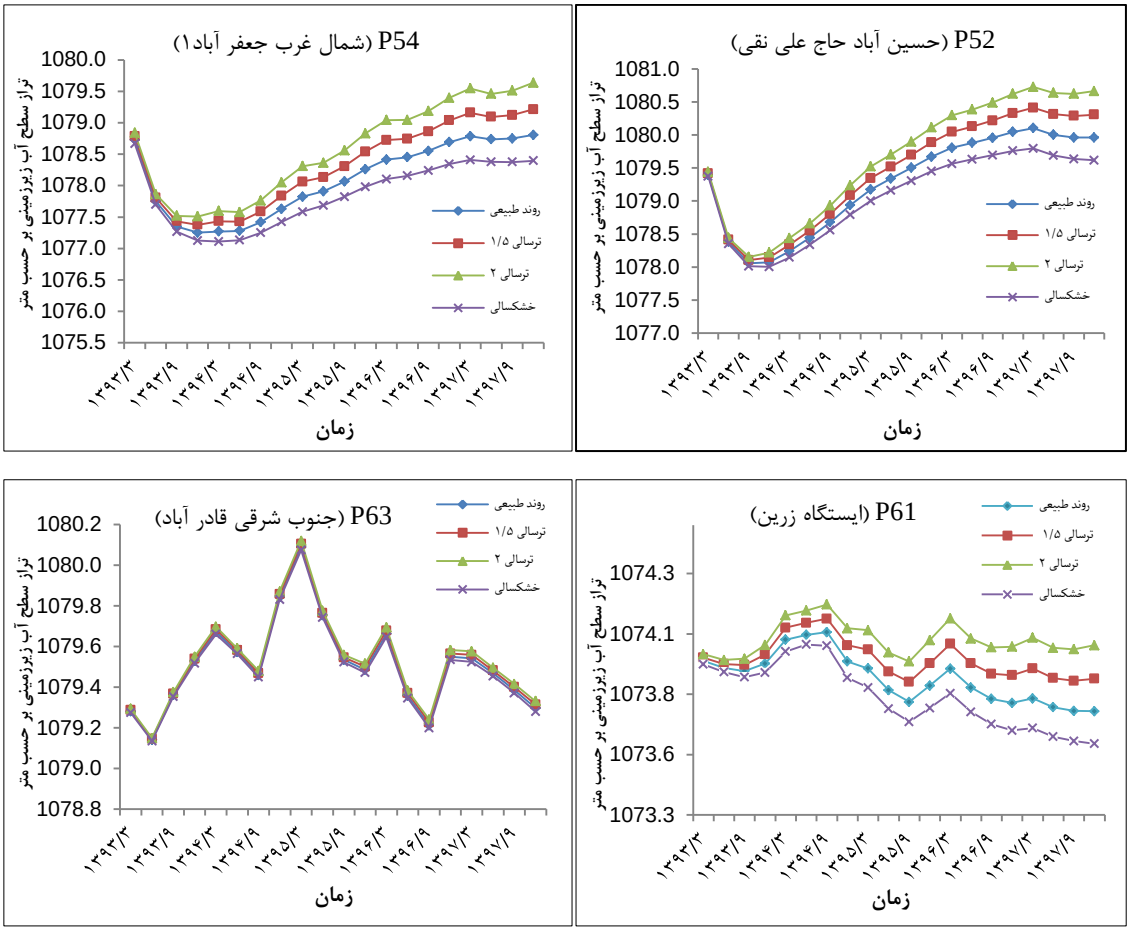
در این سناریو با این فرض که در ۵ سال آینده شرایط خشکسالی بر دشت حاکم باشد، مدل مفهومی ساخته شد و سطح آب برای آبخوان پیش بینی گردید. برای شبیه سازی شرایط خشکسالی

میزان میانگین بارش به نصف کاهش داده شد. هیدروگراف معرف دشت با حفظ شرایط خشکسالی برای ۵ سال آینده در شکل (۴-۲۷) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است طی این ۵ سال مقدار ۳/۱۳ متر سطح آب افت پیدا کرده و با این مقدار افت، ۲۵۵ میلیون متر مکعب حجم مخزن آبخوان کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۷- پیش بینی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی در طول ۵ سال آینده

همانطور که از شکل‌های فوق مشخص است، در بیشتر مناطق دشت، سطح آب زیرزمینی در طی سال‌های فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷ دچار افت خواهد شد. بیشترین افت مربوط به پیزومتر مهماندوست می‌شود که در حدود ۵/۷۵ متر است. با این‌حال در تعدادی از پیزومترهای جنوب شرقی دشت سطح آب دچار نوسان می‌شود و صرفا روند نزولی را طی نمی‌کند، که احتمالا به دلیل پیشروی آب شور از کویر حاج علی قلی به سمت دشت خواهد بود (شکل ۴-۲۸).



شکل ۴-۲۸- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای منطقه در ۴ سناریو مورد مطالعه (منطقه ای از دشت که دچار پیشروی آب شور شده است)

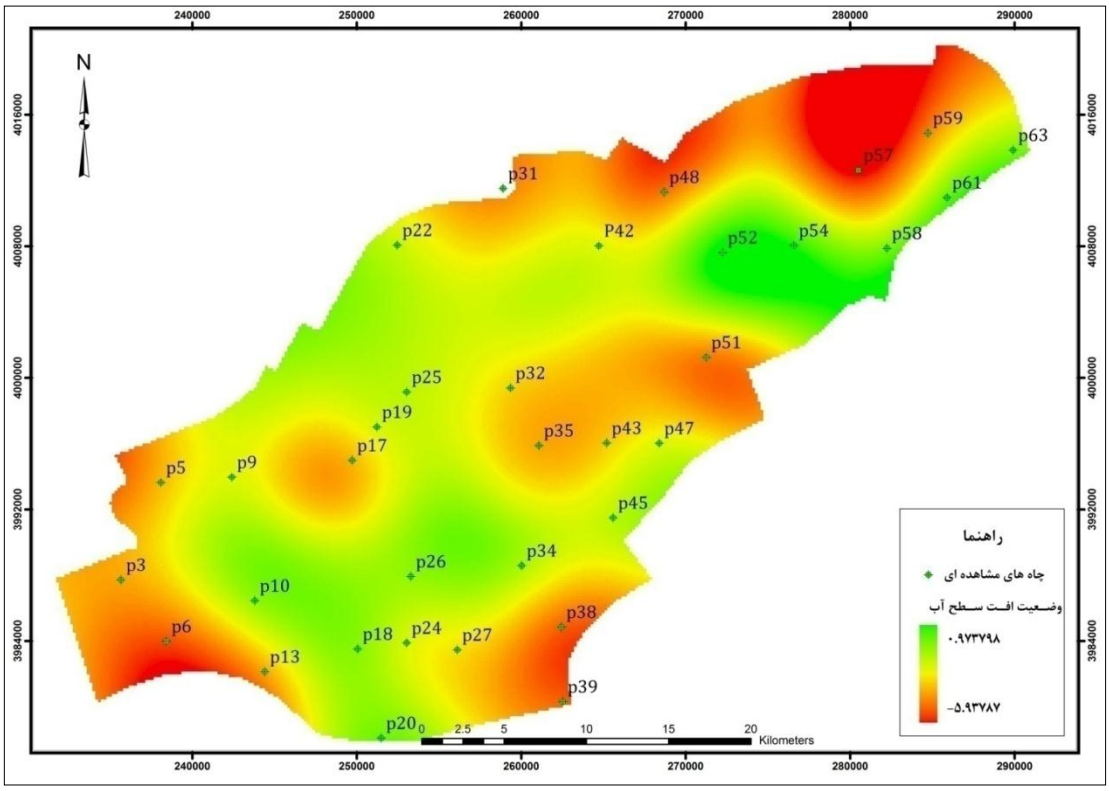
۴-۷- نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی

در صورتی که حجم آب استخراجی از آبخوان از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و یا خروجی‌های طبیعی بیشتر از حجم ورودی آن شود سطح آب سفره پایین می‌افتد. اگر در فصول غیر زراعی آب‌های ورودی ناشی از نفوذ روان آب‌های سطحی و تغذیه‌های طبیعی افت به وجود آمده در سفره را جبران ننماید سفره با کسری حجم مخزن روبرو و در صورت تکرار این روند، در سال‌های بعد آبخوان با خطرات جدی مواجه می‌شود. کاهش آبدهی چاه‌ها، افزایش هزینه‌ها، فرونشست[1] زمین،

[1] Subsidence

هجوم آب‌های شور و خشک شدن زهکش‌ها از آثار استمرار افت سفره آب زیرزمینی می‌باشد. افزایش عمق سطح آب زیرزمینی با کاهش ارتفاع آبخوان همراه است و علاوه بر کاهش حجم ذخیره آبخوان موجب نقصان آبدهی چاه‌ها می‌شود. در حال حاضر به دلیل افت سفره آب زیرزمینی در بیشتر آبخوان‌های اصلی استان سمنان روز به روز بر میزان تعمیق و یا جابه‌جایی چاه‌ها افزوده می‌شود. افت سطح آب زیرزمینی بخشی از سفره را از حالت اشباع به حالت غیر اشباع در آورده که این امر بر اساس اصول طبیعی باعث کاهش فشار منفذی و در نهایت نشست زمین می‌شود.

برای نشان دادن مقدار افت در منطقه، با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مدل و پیش بینی انجام شده در دوره ۵ ساله مذکور، نقشه هم افت آبخوان دشت دامغان تهیه گردید. شکل (۴-۲۹) وضعیت افت سطح آب زیرزمینی در سطح دشت را به صورت اسپکتورم رنگی در طول مدت فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷ نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۹- وضعیت افت سطح آب زیرزمینی در طول مدت فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷

با توجه به نقشه بالا میانگین افت سطح آب ۲/۹ متر در کل دشت می‌باشد و بیشترین مقدار افت سطح آب زیرزمینی در منطقه شمال شرقی دشت حدود ۵/۶ متر خواهد بود، همچنین در مناطقی که تعدد منابع آبی و بهره برداری از آن بیشتر است، مقدار افت سطح آب زیرزمینی مشهودتر است.

۴-۸- نشست زمین در منطقه مطالعاتی

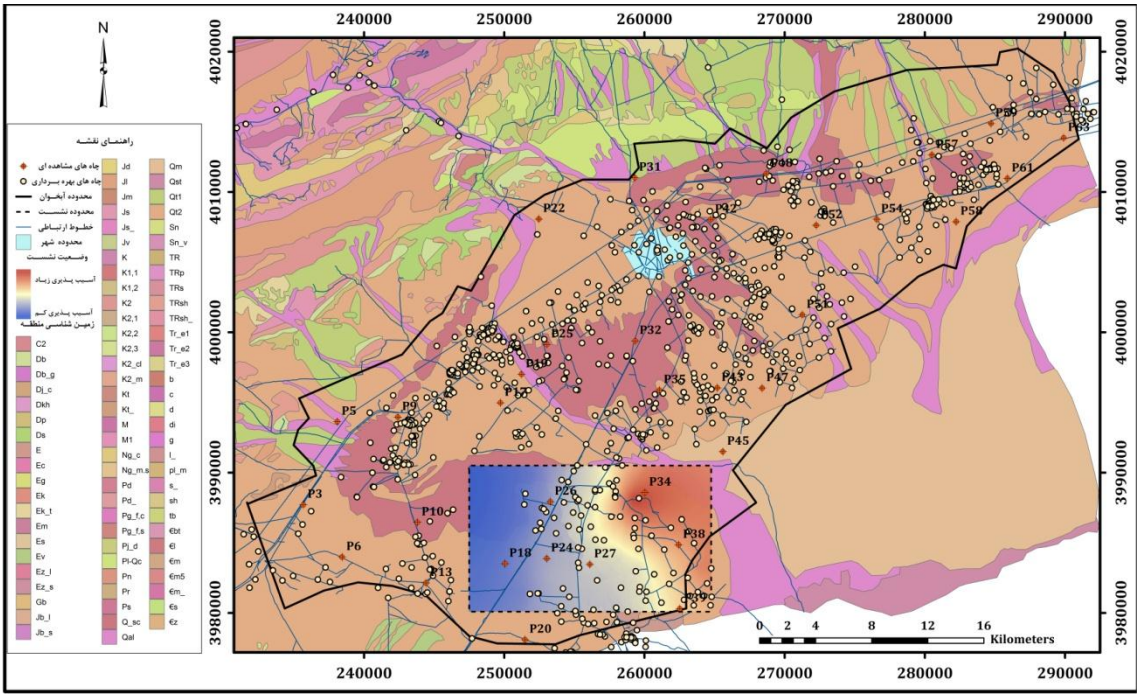
نشست پدیده‌ای است که دراثر آن سطح زمین به صورت تدریجی و در برخی موارد به طور ناگهانی نشست می‌کند. این فرایند باعث ایجاد ترک و شکاف در زمین گردیده و بر روی الگوی جریان‌های زیرزمینی و سطحی، کیفیت آب‌های زیرزمینی، شکل سطح زمین، سیل خیزی منطقه و پیشروی آب دریاها به سمت خشکی‌ها در نواحی ساحلی تاثیر می‌گذارد. افت سطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدرواستاتیک سفره شده، و بخش جامد یا اسکلت (matrix) سفره پایداری خود را از دست می‌دهد و باعث فشرده شدن ذرات و از بین رفتن فضاهای مفید بین‌ذره‌ای به خصوص در ذرات سیلت و ماسه می‌گردد (خلخالی، ۱۳۷۳). پدیده نشست زمین[1] به طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمان طولانی بعد از برداشت اتفاق می‌افتد (اسکات[2]، ۱۹۷۹). مقدار نشست زمین برای هر ده متر افت سطح آب بین ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است که دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع استرس بستگی دارد (لافگرن[3]، ۱۹۶۹). متراکم شدن بافت خاک باعث کاهش نفوذپذیری در هنگام وقوع بارندگی خواهد شد که این پدیده علاوه بر پایداری زمین و ساختمان‌های موجود موجب غیرقابل استفاده شدن آبخوان در بارندگی‌های بعدی و برای همیشه منطقه را از بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی بی‌نصیب می‌سازد (میلانی، ۱۳۷۳).

---

[1] Land Subsidence
[2] Scott
[3] Lofgern

ایجاد شکاف در سطح زمین به ویژه در زمین‌های رسی از علایم نشست زمین است که نمونه این پدیده در جنوب شرقی دشت سمنان در منطقه اعلا و جنوب غربی دشت دامغان در سطح زمین قابل مشاهده است. افت سطح آب باعث هجوم آب شور مجاور به سفره‌های آب شیرین شده و آبخوان‌های حاشیه کویر، دریاچه نمک و یا سفره‌های آب شور بیشترین صدمه را در اثر این پدیده خواهند دید. زهکش‌ها در واقع نقش فیلتر خاک را ایفا می‌کنند، وجود زهکش‌ها باعث شستشوی خاک می‌شود. خشک شدن زهکش‌ها در انتهای دشت‌ها باعث تجمع آب‌های آلوده در سفره و افزایش شوری آن می‌شود. در حالی که در جهان نشست بیش از ۴ میلی متر در سال بحران نامیده می‌شود در دشت سمنان به طور میانگین سالانه ۱۰ تا ۱۲ سانتی متر، در دشت گرمسار به طور میانگین سالانه ۸ سانتی متر، در دشت ایوانکی به طور میانگین سالانه ۱۲ سانتی متر و در دشت دامغان به طور میانگین سالانه ۱۰ سانتی متر نشست زمین اتفاق می‌افتد. در واقع به ازای هر ۱۰ سانتی‌متر فرونشست حدود یک تا دو متر آبخوان از دست می‌رود.

با توجه به اطلاعات موجود و بازدیدهایی که در دشت دامغان انجام گرفت و همچنین عکس‌های-ماهواره‌ای موجود و با استفاده از نرم افزار GIS محدوده منطقه مربوط به نشست تعیین گردید، که در شکل (۴-۳۰) این منطقه نشان داده شده است. پهنه بندی نشست در این محدوده نشان می‌دهد، که میزان نشست در قسمت‌های شرقی محدوده بیشتر و هرچه به سمت غرب محدوده پیش می‌رویم از مقدار نشست کاسته می‌شود.که این پهنه بندی با تعدد منابع آبی موجود در این محدوده مطابقت دارد. با توجه به راه‌های ارتباطی و راه آهن عبوری از این محدوده لازم است که نشست در این منطقه مورد توجه ویژه قرار گرفته و راه‌های پیش گیری از آن اعمال شود.



شکل ۴-۳۰- موقعیت محدوده نشست در دشت دامغان و وضعیت آن درسال ۹۳-۱۳۹۲

این محدوده دارای وسعتی در حدود ۱۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد و از لحاظ جغرافیایی بین طول‌های ۲۶۵۰۰۰ – ۲۴۷۰۰۰ و عرض‌های ۳۹۸۰۰۰۰ – ۳۹۹۰۰۰۰ واقع شده و به روستاهای خورزان، شریف آباد، شوکت آباد و شریفیه محدود می‌شود. جنس زمین در این منطقه بیشتر از رس، ماسه و رس ماسه ای است که از روی لاگ‌های حفاری چاه‌های این منطقه به راحتی قابل تشخیص می‌باشد. در این منطقه ۶۹ چاه عمیق وجود دارد که به طور متوسط ثانیه ای ۴۰۰ لیتر آب برداشت می‌شود. بر اثر نشست تدریجی زمین در این منطقه شکاف‌های طولی زیادی بوجود آمده است که گاه طول آن‌ها به چند صد متر و عرض آن‌ها تا ۱ متر نیز می‌رسد. به وجود آمدن این شکاف‌ها در محدوده راه‌ها، خطوط آهن و ابنیه باعث بروز خساراتی شده است که در ذیل به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۸-۱- عوارض ناشی از نشست

۱- ایجاد ترک‌های طولی

۲- بالا آمدن لوله جدار چاه

۳- ایجاد فرو چاله‌ها

۴- بریدن یا له شدگی لوله جدار

ایجاد ترک‌های طولی: این پدیده یکی از خطرات بالقوه می‌باشد که تهدیدی برای سلامتی انسان‌ها می‌باشد. زیرا وقوع این پدیده به صورت ناگهانی بوده و در صورتی که در محدوده راه‌ها و یا مناطق مسکونی بروز نماید باعث خسارات مالی و جانی می‌شود. بروز این پدیده مشکلات فراوانی را برای اهالی منطقه به وجود آورده است از نمونه‌های بارز آن می‌توان به آسیب رساندن به راه‌های ارتباطی روستاهای خورزان ، شریفیه، صلح آبادو، کلا، شریف آباد و . . . وخط آهن در نزدیکی عبور روستای معصوم آباد و منازل مسکونی روستای خورزان اشاره کرد.

در اثر نشست زمین در سطح گسترده لوله جدار چاه‌هایی که در منطقه نشست قرار دارند از زمین بیرون آمده که در اصطلاح به آن رشد لوله گویند، حال آنکه لوله ثابت بوده و زمین اطراف آن در اثر تخلیه آب نشست کرده است. به عنوان مثال می‌توان به چاه شرب شریف آباد، چاه‌های کشاورزی احرار و کوثر و همچنین پیزومترهای شریف آباد، موسی آباد و مجید آباد را نام برد.

در اثر نشست زمین پدیده ای به نام فرو چاله به وجود می‌آید که گاه وسعت آن‌ها کم، عمق آن‌ها زیاد و گاهی در وسعت زیاد و عمق کم به وقوع می‌پیوندد که فروچاله‌های دشت دامغان از نوع دوم می‌باشد و محل شاخص آن را در روستای صلح آباد می‌توان دید. در این محل چاله ای به طول تقریبی ۱۰۰ متر و با عمق حدود ۳۵ سانتیمتر به وجود آمده و باعث آسیب رسیدن به جاده مجاور روستا شده است.

در اثر نشست زمین و حرکت لایه‌های زیرین زمین فشار زیادی به لوله‌های جدار وارد شده که در مواقعی باعث له شدگی و یا حتی بریدن لوله جدار می‌شود این پدیده در هنگام حفاری نیز مشکلاتی را برای حفاران ایجاد می‌کند که از جمله می‌توان به انحراف مسیر حفاری و گیر کردن سر مته در زمین اشاره کرد. منطقه روستای خورزان شاخص ترین منطقه از لحاظ حرکت لایه‌های زمین بشمار می‌رود که چاه‌های زیادی در این منطقه دچار مشکل شده و مجبور به جابه جایی چاه‌ها شده اند.

جاده کامران آباد به شریف آباد- دید رو به سمت شرق

ایجاد شکاف در اثر نشست در روستای خورزان

پیزومتر مجیدآباد

چاه شرب شریف آباد

شکل ۴-۳۱- شکاف‌ها و اثرات ایجاد شده در اثر نشست در روستاهای جنوبی دشت

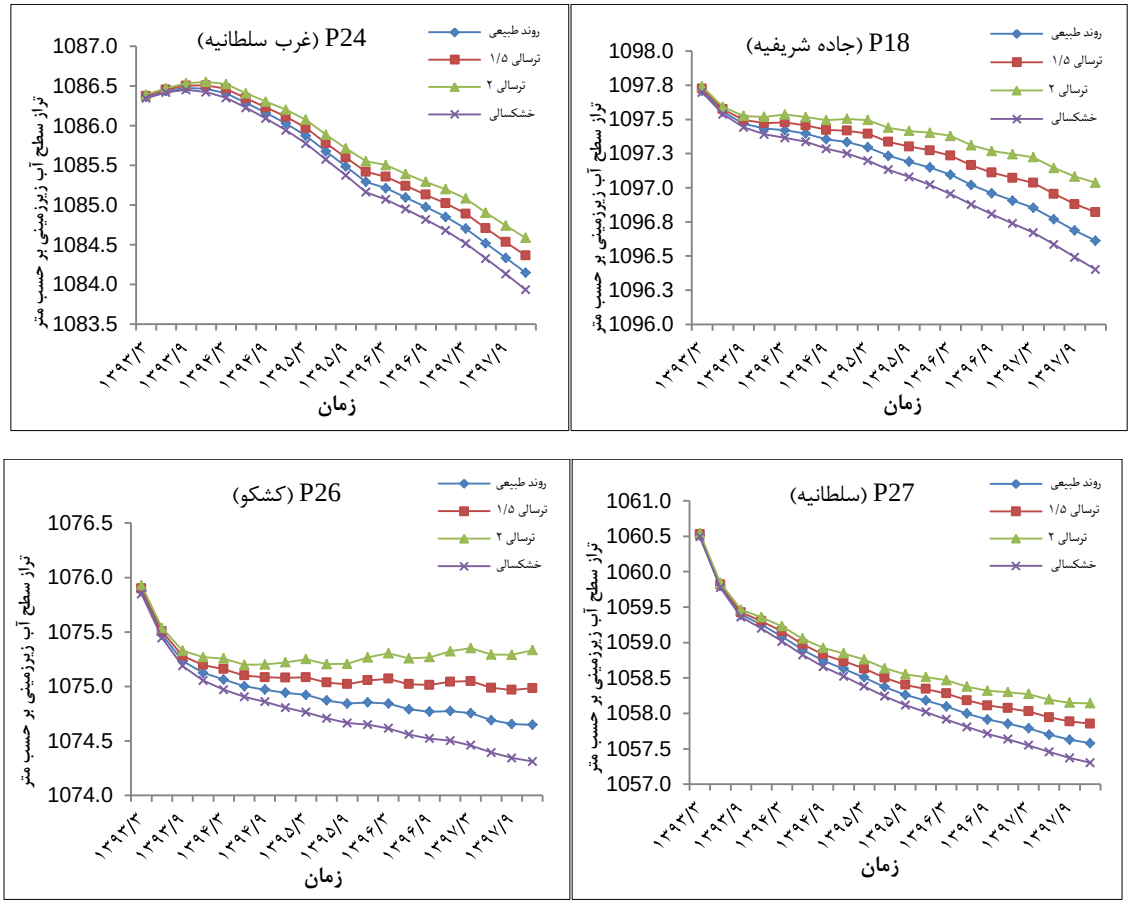
پدیده نشست در قسمت‌های جنوبی دشت دامغان در اثر تعدد منابع آبی در این محدوده، برداشت بی‌رویه و جنس زمین که عمدتا رسی می‌باشد رخ داده است. با توجه به نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی مقدار افت در این محدوده حدود ۴ تا ۴/۸ متر در طی یک دوره ده ساله از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ می‌باشد، که مقدار قابل توجهی است. اما حداکثر افت در دشت دامغان مربوط به شمال شرقی دشت می‌باشد که حدود ۸ متر افت در طی سال‌های مذکور داشته است، اما نشستی در این منطقه دیده نمی‌شود و آن هم به دلیل درشت دانه بودن رسوبات در این محل می‌باشد.

منطقه نشست در دشت دامغان حدود ۱۸۰ کیلومتر مربع از محدوده بیلان را در بر می‌گیرد که ۱۵٪ مساحت دشت است. با توجه به مشاهدات صحرایی و عکس‌های ماهواره ای مقدار نشست در حوالی روستای شریف آباد در قسمت‌های شرقی محدوده نشست بیشتر می‌باشد و هر چه به سمت غرب این محدوده پیش می‌رویم مقدار نشست کمتر است. کشاورزان محلی با پر کردن شکاف‌هایی که در اثر نشست به وجود آمده‌اند با خاک، از باز شدن بیشتر این شکاف‌ها جلوگیری کرده‌اند. با در نظر گرفتن خشکسالی‌های چند سال اخیر و تداوم آن و همچنین ادامه برداشت بی رویه در این محدوده مقدار نشست افزایش پیدا خواهد کرد.

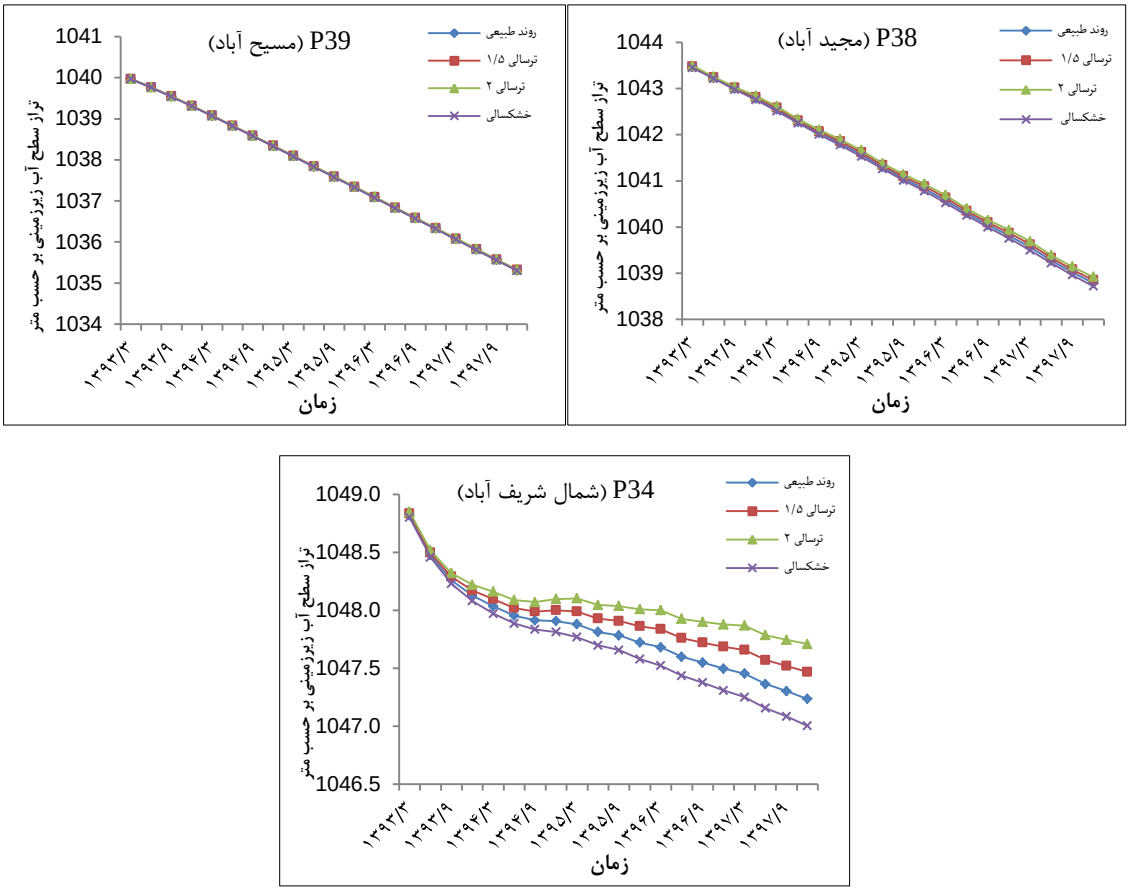
۴-۸-۲- پیش بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه نشست

اشکال (۴-۳۲) و (۴-۳۳) نشان می‌دهند که منطقه جنوب دشت با توجه به بافت زمین شناسی آن بسیار حساس به نشست زمین می‌باشد و لذا هرگونه افت سطح آب در این محدوده احتمالا نشست زمین را تشدید خواهد کرد. برای بررسی این موضوع، مدل برای تک تک پیزومترهای محدوده چندین بار اجرا شد تا پیش بینی دقیقی از وضعیت آینده این محدوده وجود آید. شکل‌های مذکور پیش بینی افت سطح آب را براساس نتایج مدلسازی در محدوده نشست دشت مورد مطالعه نشان می‌دهد. نشست زمین در حوالی پیزومترهای ۱۸،۲۶،۲۷،۳۴،۳۸،۳۹ و ۲۴ روی داده است.

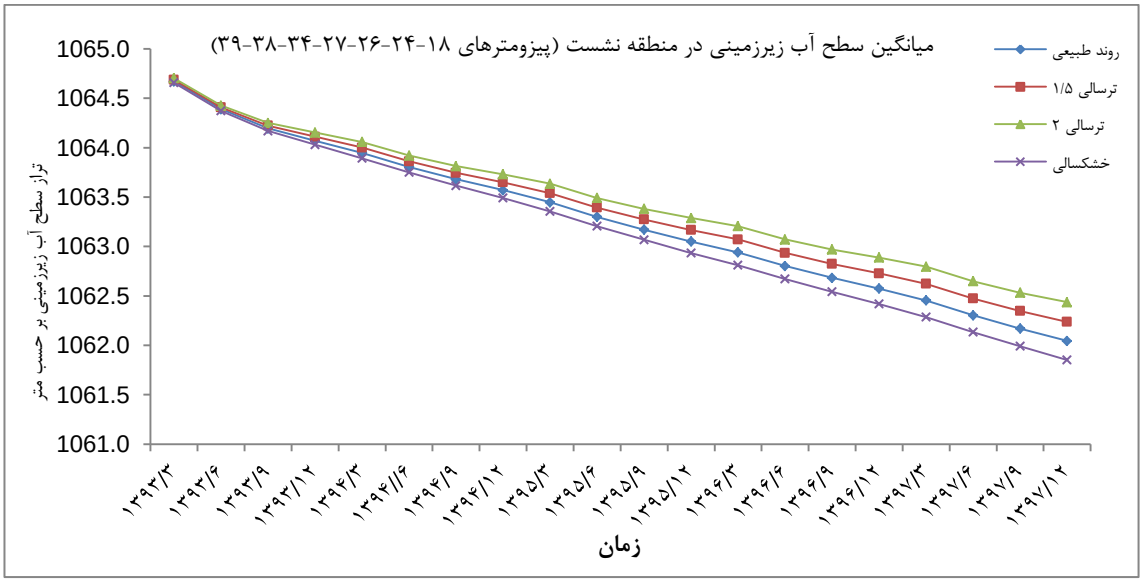
بر اساس شکل (۴-۳۴) که میانگین پیزومترهای منطقه نشست می‌باشد، در شرایط خشکسالی در این محدوده ۲/۸ متر افت سطح آب در ۵ سال آینده روی خواهد داد. همچنین در شرایط حفظ وضعیت فعلی ۲/۶ متر و در حالت دو برابر شدن بارندگی ۲/۲۵ متر افت سطح آب اتفاق خواهد افتاد. نتیجه حاصل از این شکل نشان می‌دهد که با توجه به اینکه براساس گزارش سازمان آب منطقه ای استان سمنان در ۱۰ سال گذشته در این محدوده ۴/۸ متر افت سطح آب وجود داشته و باعث نشست زمین شده است، چنانچه وضعیت افت در سال‌های آینده ادامه داشته باشد که نتایج مدلسازی ادامه آن را ممکن می داند، نشست بیشتری بوجود خواهد آمد و طبیعتا صدمات بیشتر و شدیدتری به منطقه و دشت دامغان وارد خواهد شد.



شکل ۴-۳۲- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای منطقه نشست در ۴ سناریو مورد مطالعه



شکل ۴-۳۳- هیدروگراف پیش بینی سطح آب پیزومترهای منطقه نشست در ۴ سناریو مورد مطالعه



شکل ۴-۳۴- هیدروگراف پیش بینی سطح آب زیرزمینی منطقه نشست در ۴ سناریو مورد مطالعه

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- خلاصه تحقیق و نتایج

مطالعه حاضر اولین سعی برای مدلسازی کمی آب زیرزمینی در دشت دامغان می‌باشد این امر باعث شد تا درک و فهم خوبی در رابطه با منابع آب زیرزمینی و آب سطحی محدوده مورد مطالعه بدست آید. برای توسعه یک 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، تعیین هندسه آبخوان شامل مرزهای آبخوان، توپوگرافی و سنگ کف آبخوان می‌باشد، که با توجه به مشاهدات روی زمینی باید صورت گیرد. میزان تغذیه و تخلیه آبخوان باید در مرحله بعدی مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعات مربوطه وارد گردد. سپس مقادیر اولیه ضرایب هیدرودینامیک آبخوان تعیین و وارد مدل می‌شود. در تمام مراحل باید ارزیابی داده‌های ورودی با توجه به مشاهدات واقعی دشت صورت گیرد. از مدل GMS به منظور برآورد مولفه‌های کامل هیدرولوژیکی استفاده گردید. از نتایج این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی، متوسط ضریب ذخیره و هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت دامغان به ترتیب ۰/۰۷ و ۱۱/۶ متر در روز بدست آمد.

۲- مقایسه بین تراز آب زیرزمینی شبیه سازی شده و مشاهده‌ای نشان می‌دهد که مقدار انحراف در ۷۰ درصد از نقاط کنترلی (پیزومترها) حدودا یک متر می‌باشد. و لذا با توجه به مقدار خطای ناچیز نتیجه مدلسازی کاملا رضایت بخش و مناسب است.

۳- متوسط بارش در ۲۰ سال گذشته در سطح دشت دامغان ۱۲۰ میلی متر در سال می‌باشد که به صورت مستقیم و غیرمستقیم (کاهش برداشت از چاه‌های بهره برداری، تعدیل دمای هوا و کاهش مقدار تبخیر، از طریق ایجاد رواناب و مهار سیلاب در محل بندها و طرح‌های تغذیه

مصنوعی) باعث تغذیه‌ای در حدود ۱۱ میلی متر در سال می‌شود، که مقدار بسیار کمی را به خود اختصاص می‌دهد.

۴- مقدار متوسط ورودی جریان زیرزمینی از ارتفاعات شمالی و غربی ۹۸ میلیون مترمکعب و خروجی زیرزمینی از جنوب دشت ۱۷ میلیون مترمکعب، میزان متوسط تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی و شرب و صنعت ۲۷ میلیون مترمکعب و مقدار متوسط برداشت از آبخوان توسط چاه‌های بهره برداری ۱۳۵ میلیون مترمکعب است که تاثیر قابل توجهی روی بیلان سالانه آب زیرزمینی می‌گذارد. کسری آبخوان با توجه به مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی ۲۷ میلیون مترمکعب می‌باشد.

۵- پیش بینی صورت گرفته توسط مدل GMS نشان داد که در سه سال آینده (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۵) از کل دشت دامغان سطح آب زیرزمینی ۱/۲۹ متر افت نموده و حجم آب خروجی معادل آن ۱۰۶ میلیون مترمکعب می‌باشد.

۶- پیش بینی صورت گرفته با مدل GMS نشان داد در ۵ سال آینده (فروردین ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۷) از کل دشت دامغان سطح آب زیرزمینی ۲/۹ متر افت نموده و حجم آب خروجی معادل آن ۲۴۰ میلیون مترمکعب می‌باشد.

۷- نتایج تحقیق نشان داد که در ۱۵ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه به علت افت سطح آب و جنس خاک منطقه در سال‌های اخیر نشست صورت گرفته، که مقدار نشست ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد و پیش بینی مدل ناشی از آن است که در ۵ سال آینده در منطقه نشست مقدار ۲/۶ افت سطح آب زیرزمینی و حجم آب معادل ۳۴ میلیون مترمکعب کسری مخزن را بوجود می‌آورد.

۸- با ادامه روند کنونی و در نظر گرفتن احتمال افزایش برداشت در آینده، دشت دامغان دچار حالت بحرانی می‌شود. احتمال داده می‌شود که پیش‌تر از آن به دلیل شور شدن آب، کیفیت

آب زیرزمینی تا سطح غیر قابل قبولی کاهش یابد. از طرفی با ترکیب عوامل تشدیدکننده‌ای چون نشست و تغییر اقلیم می‌توان انتظار مرگ دشت را در سال‌های پیش‌رو داشت.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به مدل مفهومی و ریاضی آب زیرزمینی تهیه شده، می‌توان پیشنهاداتی برای بهبود مدل‌های حاضر یا استفاده از آن‌ها برای تحقیقات آتی بیان کرد. از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مدل آب زیرزمینی موجود به صورت تک لایه توسعه داده شده است. توصیه می‌گردد با استفاده از اطلاعات بدست آورده از لاگ‌های حفاری موجود در سطح دشت نسبت به تهیه مدل آبخوان چندلایه اقدام 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.
- محدوده منطقه نشست در دشت دامغان حدود ۱۸۰ کیلومترمربع است. پیشنهاد می‌شود میزان بهره برداری از این منابع با روش‌های مدیریتی صحیح بهینه گردد. همچنین می‌توان با مدل‌های مناسب میزان نشست در سال‌های آینده را در این منطقه پیش بینی نمود.
- با توجه به اینکه میزان تخلیه چاه‌های بهره برداری مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌باشد پیشنهاد می‌گردد، جهت کنترل میزان بهره‌برداری از کنتورهای هوشمند (کنترل برق مصرفی و یا کنترل حجم تخلیه چاه) استفاده شود و امکان اعمال تصمیمات مدیریتی را تسهیل گردد.

منابع

آقانباتی س ع، (۱۳۸۵) "*زمین شناسی ایران*"، چاپ دوم، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

ابارشی ف، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت زرین‌گل با استفاده از مدل ریاضی"، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

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 آب‌های زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان دشت نهاوند"، *نشریه دانش آب و خاک*، جلد ۲۳، شماره ۲، ص ۵۷- ۴۳.

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 ۶۸-۴۹.

چیت سازان م ، ساعت ساز م، (۱۳۸۴)، " کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه‌های- مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز"، *مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز*، شماره ۱۴، ص ۱.

حسینی میلانی م، (۱۳۷۳)، "اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب، سیرجان، ص ۹۸-۹۱.

خسروتهرانی خ، (۱۳۸۳) "*زمین شناسی ایران*"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

خلخالی غ، (۱۳۷۳)، "ویژگی‌های طبیعی منابع آب زیرزمینی و اهمیت آن در ایران"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی، سیرجان.

درویش زاده ع. (۱۳۸۳) "*زمین شناسی*"، چاپ اول، موسسه انتشارات امیرکبیر تهران.

رزاق‌منش م، سالمی ت، و سراجی م، (۱۳۸۵)، "بررسی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت تبریز"، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۱۳۷-۱۲۸.

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

شرکت زمین کاوگستر، (۱۳۸۹). گزارش ژئوالکتریک محدوده مطالعاتی دامغان (کد ۴۷۴۷).

شرکت مهندسین مشاور طرح آبریز، (۱۳۸۸)، مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی دشت دامغان، مطالعات زمین شناسی، گزارش دوم.

شرکت مهندسی مشاور پارس رای آب، (۱۳۹۲). مطالعات به تعادل رسانی بیلان آب زیرزمینی دشت دامغان، گزارش مدل ریاضی کمی آبخوان آبرفتی دامغان.

صداقت م، (۱۳۸۷) "*زمین و منابع آب (آب زیرزمینی)* "چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

طاهری تیزرو ع، زارع م، الیاسی م، (۱۳۹۰)، "مدلسازی جریان آب زیرزمینی در دشت کبودر آهنگ با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW"، چهارمین کنفرانس منابع آب ایران، تهران.

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.

قوشه‌ای م، (۱۳۸۹)، "محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت دامغان"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ص ۱۶۳-۱۵۱.

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.

کردوانی پ، (۱۳۸۵) " *ژئوهیدرولوژی*" انتشارات دانشگاه تهران.

کرونی س، اسدی ن، اسدی نسب س، (۱۳۹۱)، "برآورد ضرایب هیدرودینامیکی و پیش بینی سطح ایستابی آبخوان با استفاده از مدل ریاضی در نرم افزار GMS7.1 (مطالعه موردی: آبخوان حسن آباد-قوری)"، اولین همایش زمین شناسی فلات ایران، کرمان، ص ۱۸۴-۱۷۵.

لاله زاری ر، طباطبایی ح، خیاط خلقی م، صبا ع، (۱۳۸۹)، " شبیه سازی انتقال آلاینده نیترات در آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از مدل MT3D"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ص ۲۳۶-۲۲۱.

لاله زاری ر، طباطبائی ح، خلقی م، یارعلی ن، صبا ع ا، (۱۳۹۳)، " بررسی سناریوهای تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه شده بر کمیت و کیفیت آبخوان شهرکرد"، *فصل‌نامه محیط شناسی*، شماره ۶۹، ص ۲۳۶-۲۲۱.

محمودیان شوشتری م، (۱۳۸۹) "*هیدرولیک آب‌های زیرزمینی*"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

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

مهدوی م، فرخ زاده ب، سلاجقه ع، ملکیان آ، سوری م، (۱۳۹۲)، "شبیه سازی آبخوان دشت همدان - بهار و بررسی سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل PMWIN"، *فصل‌نامه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، شماره ۹۸، ص ۱۰۸.

نجاتی جهرمی ز، چیت سازان م، میرزایی س ی، (۱۳۸۷)، "تصحیح ضرایب هیدرولیکی K و S دشت عقیلی با استفاده از روش تفاضلات محدود (MODFLOW) در محیط GMS5.1"، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز، ص ۱۰۷۸-۱۰۷۰.

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

نکوآمال کرمانی م، کشکولی ح ع، رهنما م ب، (۱۳۸۶)، "کاربرد نرم‌افزار MODFLOW (PMWIN5.1) در مطالعه نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت بوچیر- حمیران"، نهمین سمینار سراری آبیاری و کاهش تبخیر، اهواز، ص ۳۰۳۶- ۳۰۲۸.

ایزدی ع، (۱۳۹۲)، پایان نامه دکتری: "کاربرد و ارزیابی یک مدل توسعه یافته تلفیقی آب زیرزمینی- آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

Anderson, M.P., and Wossener, W.W. (1992). Applied groundwater modeling simulation of flow and advective transport. San Diago, CA. 381 P.

Ayvaz T.(2009). "Application of Harmony search algorithm to solution of groundwater management models" . *Advances in water managemen*.916-924.

Froukh L.J. (2002). "Groundwater modeling in aquifers with highly karstic and heterogeneous characteristics (KHC) in Palestine". *Water Resources Management*, 16: 369-379.

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

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

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

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.

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

Lofgern B.E. (1069). Field measurement of aquifer system compaction. Sanjoaquin Balley. California. U.S.A. Proc. of Tokyo. Symp. on Land subsidence. IASH-UNSCO. pp. 272-284.

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.

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.*

Qahman K, Larabi A. (2006). “Evaluation and numerical modeling of seawater intrusion in the Gaza aquifer (Palestine)”, *Hyrogeology Journal*, 14: 713-728.

Regli, C., Rauber, M., Huggenberger, P. (2003). “Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: a case study from the river Wiese”, *Switzerland, Aquat. Sci*, 65: 111-128.

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.

Scott R.F. (1979). Subsidence-revaluation and prediction of subsidence. Ed. By Saxema S. k. Proc. Conf. ASCE, Gainsville. pp 1-25.

Sheets R.A., Dumouchelle D.H. and Feinstein D.T. (2005). “Ground Water Modeling of Pumping Effects near Regional Ground Water divides and River/ Aquifer systems – Results and Implications of numerical Experiments”, *scientific Investigations Report.* 2005-5141.

Spitz K., Moreno J. (1996), A practical quide to groundwater and solute transport modeling, John Wiley and Sons, New York. 461p.

Todd D K, Mays L W. (2005). “*Groundwater Hydrogeology*”, Third Ed, John wiley & Sons inc, New York, USA.

Varni M R, Usunoff E J. (1999). “Simulation of regional-scale groundwater flow in the Azul River basin, Buenos Aires Province, Argentina”. *Hydrogeology Journal*, 7: 180-187.

Yaouti, F El, Mandour A El, Khattach D, Kaufmann O. (2008). “Modeling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco)”, *Journal of Hydro-environment Research*, 192-209.

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.

Yousafzai A, Eckstein Y, Dahl P. (2008). “Numerical modeling of groundwater in Peshawar intermontane basin, northwest Himalayas”, *Hydrogeology Journal,* 16: 1395-1409.

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.

Abstract

Continuous droughts and increasing groundwater abstraction rate in Damghan plain is of important factors in causing groundwater level drawdown. So it is necessary to consider management and protection of groundwater resources as the main element in water resource programs. Simulation of Damghan aquifer in steady state and transient modes by GMS7.1 and MODFLOW by finite difference has been undertaken. Damghan plain is about 1174 km^2 and is located in south part of Alborz Mountain. Hydrograph survey of this plain show that average annual decrease of groundwater level was 0.53 m and is a no-drill plain. Data of 40 observation wells were compared with model results and parameters with more uncertainly like hydraulic conductivity in steady state mode and storage coefficient in transient mode were optimized. Calibration and validation results show high correlation between simulated results of the model and calculated values. To prediction groundwater level in future, 4 scenarios including drought, continuation of current trends, 1.5 times and 2 times that of average rainfall have been considered. Result show during 2014, April to 2019, March, with natural trend of rain, there will be 2.9 m decrease in groundwater level and base on this amount 245 Mm^3 of plain water resource will be lost. Also in the drought scenario, 3.13 m drawdown will result in a deficit of 260 Mm^3. Land subsidence has affected 15% of Damghan plain and will get worst in the future.

Keywords: Damghan plain, Prediction of groundwater level, GMS model, numerical modeling

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture
Department of Water and Soil

Modelling groundwater quantity changes in Damghan aquifer during a 10 years period

Sakineh Parhizkar

Supervisor(s):

Dr. Khalil Azhdary

Dr. Samad Emamgholizadeh

Advisor:
Dr. Gholam Abbas Kazemi

February 2015