

پیش بینی تاثیر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی: آبخوان شهر مشهد

زهرا تندیسه^{1*}، ناصر حافظی مقدس²، غلامحسین کرمی³، هادی جعفری⁴

1- دانشجوی کارشناسی ارشد زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود

2- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- دانشیار گروه آب شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

4- استادیار گروه آب شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

zahratandisch@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق به بررسی ویژگی های هیدروژئولوژیکی شهر مشهد و تاثیر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی پرداخته شده است. یکی از منابع عمده تغذیه آبخوان آبرفتی مشهد چاه های فاضلاب موجود در سطح شهر می باشد. جهت پیش بینی تاثیر تکمیل پروژه جمع آوری فاضلاب، پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز از قبیل داده های پمپاژ، لاگ های حفاری مربوط به چاه ها، داده های سطح آب و داده های ژئوفیزیکی، مدل مفهومی آبخوان شهر مشهد با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و نرم افزار GMS7.1 شبیه سازی گردید. مدل با استفاده از روش سعی و خطا و با استفاده از داده های مشاهده ای برای یک دوره یکساله 1387-1388 کالیبره شد. از آنجا که مدل در صحت سنجی (سال آبی 1389-1388) از دقت مناسبی برخوردار بود انتظار می رود نتایج بدست آمده به واقعیت نزدیک باشد. سپس مقدار تغذیه از طریق چاه های فاضلاب بر اساس زمان بندی کوتاه مدت اجرای طرح از کل تغذیه حذف شد و میزان تاثیر آن بر سطح آب زیرزمینی از طریق ترسیم نقشه های هم عمق سطح ایستابی قبل و بعد از اجرای طرح فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر افت سطح آب زیرزمینی پس از اجرای طرح جمع آوری فاضلاب می باشد.

کلمات کلیدی: فاضلاب، آبخوان شهر مشهد، مدل سازی آب زیرزمینی، نرم افزار GMS.

1- مقدمه

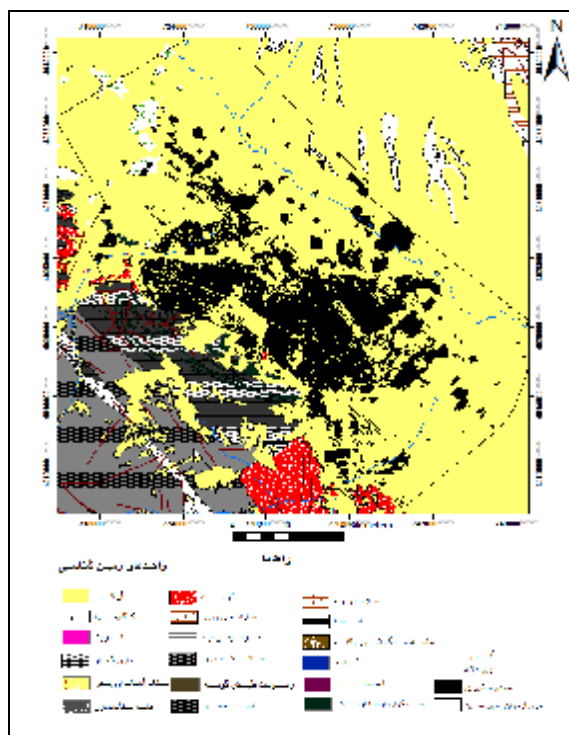
افزایش بی رویه جمعیت در جهان، محدودیت منابع آب های سطحی و بهره برداری بیش از اندازه از آبخوان ها باعث وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری به منابع طبیعی شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان ها، فعالیت های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده های مختلفی را به آبخوان ها وارد می نمایند. برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی آبخوان ها، مدل سازی جریان آب زیرزمینی در راستای پیش بینی رفتار سیستم آب های زیرزمینی به عنوان ابزار قدرتمندی در مطالعات هیدروژئولوژی در بخش های مختلف جهان مورد استفاده قرار می گیرد. از اوایل قرن بیستم استفاده از مدل های آب های زیرزمینی و تکنیک های شبیه سازی به عنوان یکی از راه های نظارت، کنترل و اعمال مدیریت منابع آب زیرزمینی آغاز و طی سال های اخیر پیشرفت های چشمگیری در توسعه مدل ها به ویژه مدل های عددی حاصل شده است.

از مدل عددی MODFLOW به منظور شبیه سازی یک آبخوان ماسه ای - گراولی در منطقه کورتلند (Cortland) نیویورک استفاده شد (Miller.T, 2000). تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان شهر موصل با استفاده از نرم افزار GMS کد MODFLOW مدل سازی گردید. بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این شهر یک مشکل بزرگ و مهم به شمار می رفت که با استفاده از نرم افزار GMS به شناسایی و توقف آن اقدام نمودند (Abdulghani.A et al., 2006). با استفاده از کد MODFLOW در نرم افزار GMS اثر سیستم تخلیه فاضلاب شهری بر روی آب های زیرزمینی کم عمق در منطقه شهری کامپالا (Kampala) در

اگاندا مورد بررسی قرار گرفت (Herzog.A, 2007). سطح ایستابی دشت بیرجند با استفاده از GMS کد MODFLOW روش تفاضل محدود مدل سازی گردید. نتایج این مدل سازی و مقایسه سناریوهای ترسالی، نرمال و خشکسالی نشان داد که سطح آب به دلیل برداشت بی رویه آب چه در سال های خشکسالی و چه در سال های ترسالی همواره با افت مواجه است (محتشم م. و همکاران، 1390). به منظور شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و مدیریت بهتر، آبخوان دشت بزمان- سردگال در زیر حوضه هامون جازموریان با استفاده از نرم افزار GMS کد عددی Modflow مدل سازی شد. نتایج مدل سازی بیانگر این است که با ادامه روند کنونی برداشت آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی به مرور از ابتدای دوره تا انتهای دوره پیش بینی، سطح آب زیرزمینی با افت شدیدی مواجه خواهد شد. این افزایش افت در اطراف چاه های بهره برداری مشهودتر است (مهدوی ق. و همکاران 1390). از آنجا که طرح جمع آوری فاضلاب در آینده ای نزدیک تکمیل می شود واضح است که یکی از منابع عمده تغذیه آبخوان آبرفتی مشهد حذف خواهد شد بنابراین تاثیر قابل توجهی بر سطح آب زیرزمینی این شهر خواهد گذاشت. در این تحقیق آبخوان شهر مشهد شبیه سازی شده و مدل ریاضی به دست آمده جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی، بعد از اجرای طرح فاضلاب به کار گرفته شده است.

ویژگی های عمومی منطقه

شهر مشهد به عنوان مرکز استان خراسان رضوی ما بین رشته کوه هزارمسجد و بینالود در منتهی الیه دشت مشهد در ارتفاع حدود 960_1110 متر از سطح دریا قرار گرفته است. وسعت این شهر 256 کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا 990 متر است. این شهر از نظر هیدرولوژیکی جزء دشت مشهد و حوضه آبریز رودخانه کشف رود می باشد (شکل 1). این حوضه در شمال استان خراسان در طول جغرافیایی 20_59 تا 08_60 و عرض 40_35 تا 03_36 واقع است (علیزاده ا، 1383).



شکل 1- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (بر اساس داده های آب منطقه ای خراسان رضوی، 1390)

دشت مشهد به لحاظ جایگاه زمین شناسی در حد فاصل دو زون زمین شناسی کپه داغ و بینالود واقع می شود. رخساره های زمین شناسی که در سطح محدوده مشهد رخنمون دارند بسیار متنوع هستند. از پروتروزوئیک تا عهد حاضر در سطح حوضه به طور پراکنده در سه زون ساختاری مشاهده می شوند. رخساره های زمین شناسی شمال حوضه آبریز در زون کپه داغ شامل سنگهای رسوبی از ژوراسیک تا عهد حاضر بوده و در این زون آثاری از سنگهای آذرین و فعالیت های ماگمایی و سنگهای دگرگونی مشاهده نمی شود. سازندهای زمین شناسی در زون بینالود (ادامه البرز شرقی) که مرز غربی محدوده مطالعاتی را تشکیل داده و به سمت شرق و به موازات زون کپه داغ رخنمون دارند از سنگ های رسوبی، آذرین و دگرگون شده متعلق به دوره های مختلف زمین شناسی تشکیل شده است (آقاباتی س.ع، 1385). این زون ارتفاعات جنوبی محدوده مطالعاتی دشت مشهد را تشکیل داده و به طرف شرق تا کشور افغانستان ادامه دارد. شهر مشهد بر روی آبرفت حاصل از این ارتفاعات قرار دارد.

بررسی آبخوان شهر مشهد نشان می دهد که این آبخوان از نوع آزاد بوده و جزئی از آبخوان آبرفتی دشت مشهد می باشد. به طور کلی جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت مشهد از ارتفاعات جنوبی به سمت شرق و شمال شرق (آبراهه مرکزی کشف رود) می باشد. نتایج بررسی های زمین شناسی، مطالعات ژئوفیزیکی و حفاریهای اکتشافی انجام شده در سطح آبخوان آبرفتی دشت مشهد بیانگر ناهموار بودن مورفولوژی سنگ کف بوده است. سنگ کف در برخی نقاط در سطح ظاهر شده و در برخی نقاط ضخامت آبرفت بر روی آن به 300 متر نیز می رسد. در نواحی شمال دشت مشهد آبرفت دانه ریز (بیشتر رس و سیلت) پهنه های رسی را تشکیل داده و به سمت کشف رود از گسترش جانبی و دانه بندی یکنواختی برخوردار می باشد اما رسوبات مخروطه افکنه ای در حاشیه ارتفاعات بینالود (در محدوده مطالعاتی مشهد) معمولاً درشت دانه و از عناصر شن و ماسه و قلوه سنگ با تناوب رسوبات ریز دانه حاوی آب شیرین تشکیل گردیده است (گزارش آب منطقه ای خراسان رضوی، 1390).

مهم ترین ورودی ها به آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی نفوذ از بارندگی، نفوذ از چاه های فاضلاب، تغذیه زیرزمینی و تغذیه از رودخانه، آب برگشتی کشاورزی و خروجی های آن، برداشت توسط چاه های بهره برداری می باشد. آب مورد نیاز شهر مشهد توسط 310 حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق به طور ثابت استحصال می شود. سالانه حدود 100 میلیون متر مکعب آب به صورت پساب های شهری از طریق چاه های فاضلاب به آبخوان مشهد تزریق می شود (براساس داده های آب منطقه ای خراسان رضوی، 1390). بافت خاک شهر مشهد در سمت غرب و جنوب درشت دانه (شنی) و به سمت شرق و شمال شهر ریز دانه (رسی) می گردد (حافظی ن، 1386). بررسی های قبل از اجرای طرح جمع آوری فاضلاب عمق سطح ایستابی را در منطقه با بافت خاک ریز دانه حدود 40 متر و در سمت غرب و جنوب شهر نیز حدود 140 متر نشان می دهد.

2- روش کار

از بین نرم افزارهای شبیه سازی حرکت آب های زیرزمینی، نرم افزار GMS^1 به علت در نظر گرفتن خواص فیزیکی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ساخت مدل مفهومی دارای قابلیت های بسیار خوبی در مطالعه آب های زیرزمینی می باشد (انصاری ث. 1386). در این تحقیق با بکارگیری نرم افزار $GMS7.1$ از کد $MODFLOW$ پاسخ شبیه سازی شده آب زیرزمینی را در منطقه دارای اقلیم خشک مشهد مورد بررسی قرار می دهیم. اطلاعات مورد نیاز در $MODFLOW$ توسط GMS تهیه و در

¹ Groundwater Modelling System

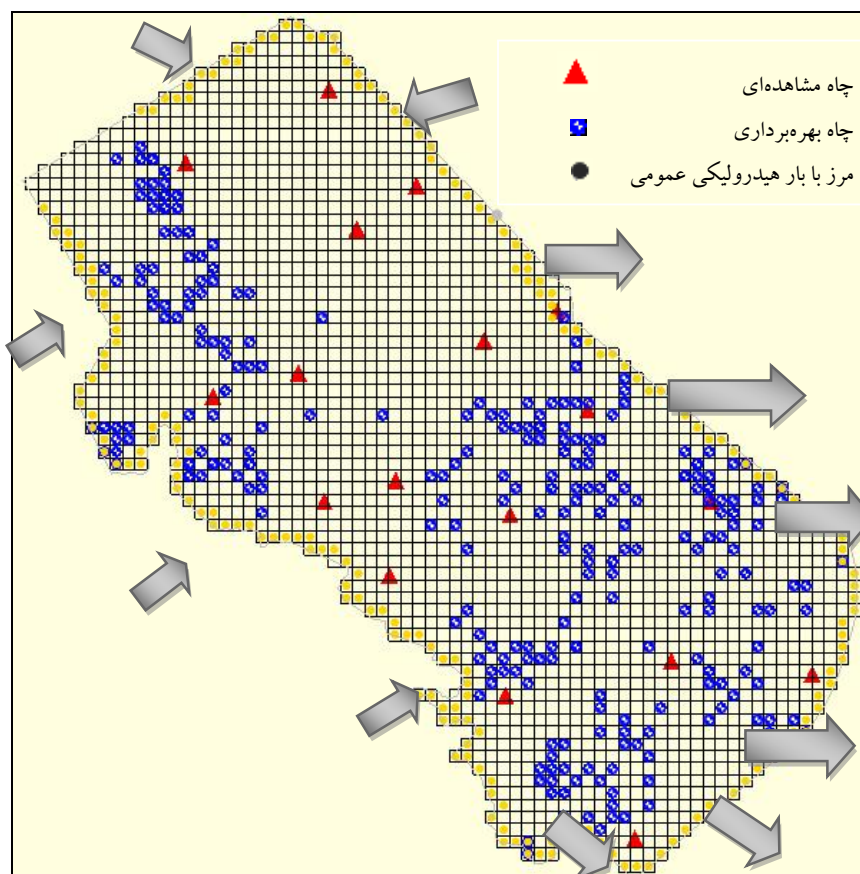
فایل‌های مربوطه ذخیره می‌شود و در هنگام اجرای MODFLOW این فایل‌ها از رابط GMS فراخوانی می‌شوند. یکی از ویژگی‌های نرم افزار GMS، امکان تهیه مدل مفهومی در مدول نقشه با استفاده از ابزارهای GIS می‌باشد.

3- نتایج و بحث

در این مطالعه داده‌ها (وضعیت هندسی آبخوان، موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری و غیره) ابتدا در محیط GIS پردازش سپس وارد نرم افزار GMS گردید. برای تعیین شرایط پایدار، محدوده‌ای به شعاع 20 کیلومتری از شهر مشهد در نظر گرفته شده و بر اساس آمار 43 حلقه چاه مشاهده‌ای ابتدا شبکه تیسن و سپس هیدروگراف واحد دشت ترسیم و مهر 1387 به علت نوسانات کم سطح آب به عنوان شرایط پایدار انتخاب شده است. برای تهیه مدل مفهومی آبخوان مشهد از تمامی اطلاعات موجود از قبیل اطلاعات زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی، هیدرولوژی، هواشناسی و چینه شناسی تا محدوده 6 کیلومتری شهر مشهد بهره گرفته شده است. ارتفاع بالایی لایه با استفاده DEM منطقه و ارتفاع سنگ کف نیز بر اساس حداکثر عمق چاه‌های عمیق، مقاطع و لاگهای زمین شناسی و بررسی‌های ژئوفیزیک لرزه‌ای منطقه به دست آمده است. با استفاده از نقشه تراز آب که برای مهر 87 (شرایط پایدار) ترسیم شده مرزهای ورودی و خروجی آن تعیین شده و توسط بسته نرم افزاری GHB¹ و ضریب هدایت² آن در طی مرحله واسنجی کالیبره شده است (شکل 2). آبخوان مورد نظر که یک آبخوان آزاد می‌باشد با استفاده از سلول‌هایی با ابعاد 500 500 در 75 سطر و 76 ستون شبکه بندی شده است. پارامترهایی نظیر مقادیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، سنگ کف، ارتفاع سطح زمین، مرز با بار هیدرولیکی عمومی (GHB)، چاه‌های بهره‌برداری، تغذیه و مقادیر سطح ایستابی اولیه به هر یک از سلول‌های شبکه مدل نسبت داده شد.

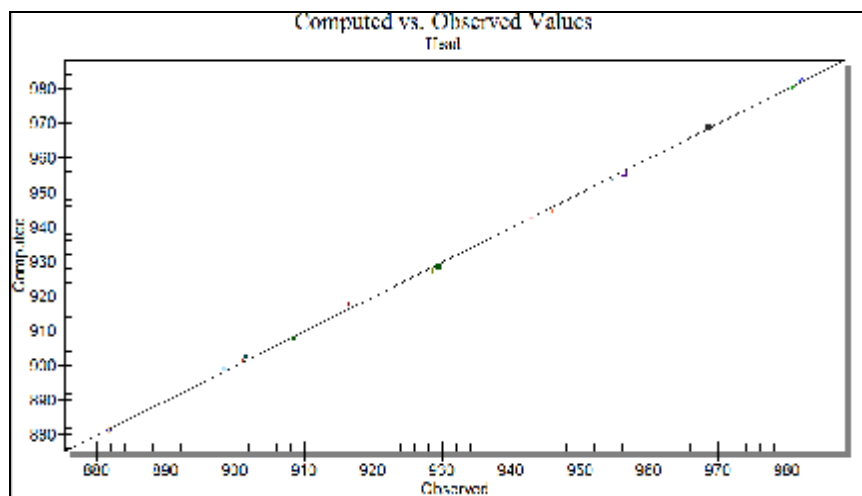
¹ General Head Boundary

² Conductance Coefficient



شکل 2- شبکه بندی منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و پیزومتری

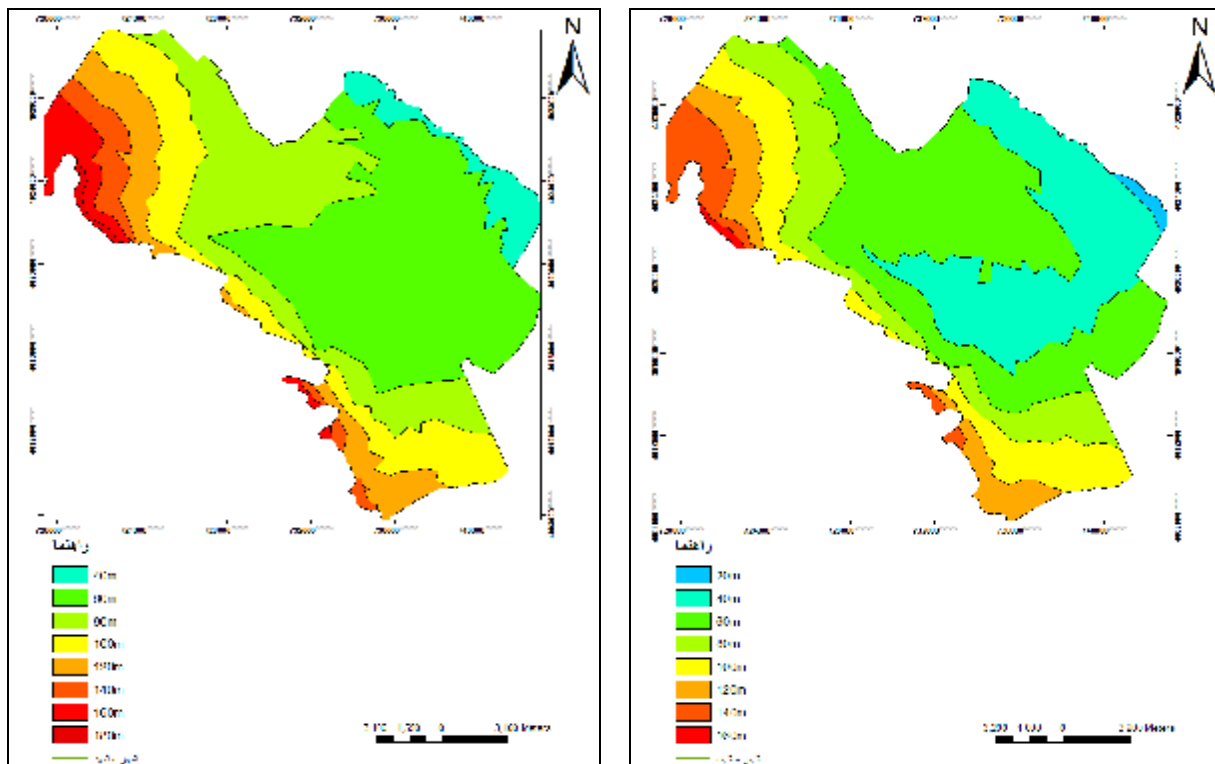
سپس مدل مفهومی تهیه شده به آرایه‌های مدل عددی تبدیل گردید. واسنجی در شرایط پایدار به منظور بهینه کردن پارامتر هدایت هیدرولیکی و ضریب هدایتی (Conductance) برای محاسبه جریان‌های ورودی و خروجی از مرزهای نفوذ پذیر صورت گرفت. واسنجی مدل به روش سعی و خطا انجام شد به این ترتیب که مدل با اطلاعات اولیه اجرا شده و ارتفاع سطح آب در کلیه گره‌ها و پیزومترها محاسبه می‌شود. سپس این ارقام (محاسباتی) با ارقام مشاهده‌ای موجود مقایسه شده و در صورت وجود اختلاف، مقدار عواملی که شناخت آنها تقریبی بوده در چارچوب حدود مجاز تغییر می‌یابد و مدل مجدداً اجرا می‌گردد. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا خطا در محدوده خطای قابل قبول قرار گیرد و برازش مناسبی بین بارهای هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسباتی ایجاد گردد (شکل 3).



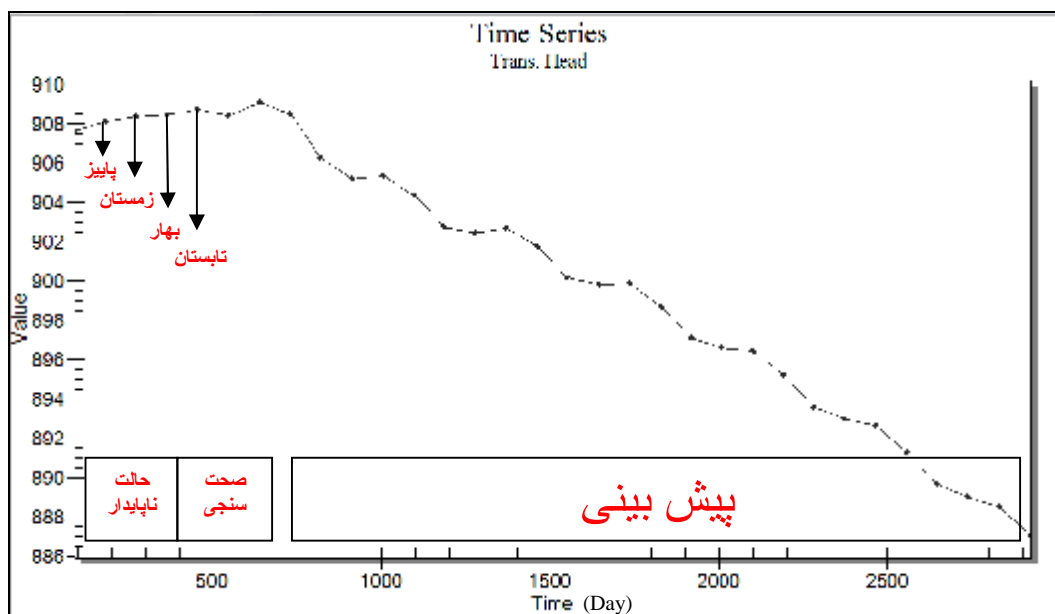
شکل 3- برازش بارهای هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی توسط مدل

در ادامه با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای بهینه شده در مرحله پایدار، مدل برای سال 1388-1387 در 4 دوره زمانی در حالت ناپایدار واسنجی شد و پارامتر آبدهی ویژه، برداشت و تغذیه مؤثر در شرایط ناپایدار بهینه گردید. بر اساس این واسنجی مقدار پارامتر هدایت هیدرولیکی از 1 تا 20 متر بر روز متغییر می‌باشد و میزان پارامتر آبدهی ویژه نیز بین 0/00001 تا 0/25 تغییر می‌کند. برای ارزیابی صحت مدل، مدل برای یک سال آبی (آبان 1388 تا مهر 1389) با در نظر گرفتن 4 دوره زمانی صحت آن مورد تأیید قرار گرفت. بعد از تأیید مدل به منظور بررسی تاثیر تکمیل طرح فاضلاب مقدار تغذیه از طریق چاههای فاضلاب بر اساس درصد اجرای طرح در مناطق شهری در سال‌های مختلف از میزان تغذیه هر منطقه کم و مدل برای 6 سال پیش‌بینی گردید (شکل 5).

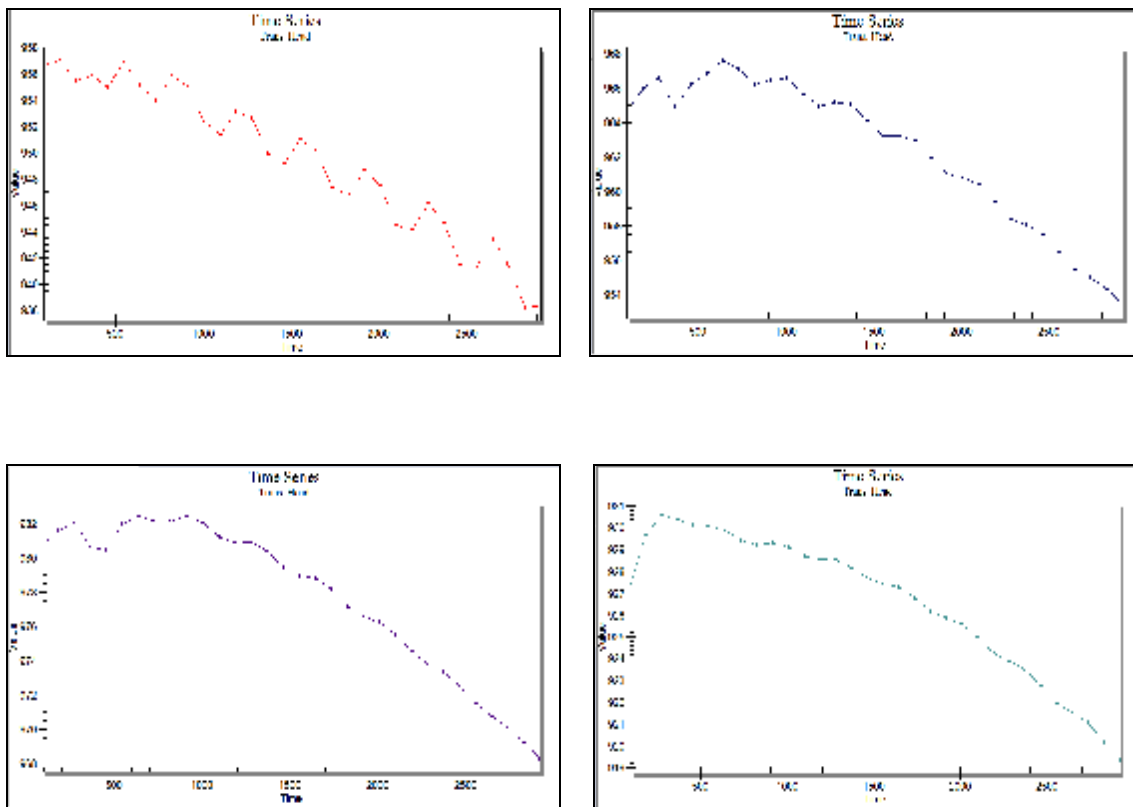
بر طبق نتایج حاصل از مدل‌سازی، نقشه‌های هم عمق سطح آب زیرزمینی در قبل و بعد از اجرای طرح جمع‌آوری فاضلاب، در محیط GIS تهیه گردید. قبل از اجرای طرح، آب زیرزمینی در حداقل عمق 20 متر در شمال شرق شهر مشهد و حداکثر عمق 160 متر (ناحیه کوچکی در شمال غرب) قرار دارد. با انجام سناریوی تکمیل طرح جمع‌آوری فاضلاب عمق سطح ایستابی افزایش می‌یابد. کمترین عمق آب زیرزمینی (40 متر) در شمال شرق شهر مشهد دیده می‌شود و نواحی با عمق بالاتر از 100 متر در شمال غرب، غرب و جنوب محدوده مطالعاتی گسترش می‌یابد (شکل 4). حذف تغذیه ناشی از چاههای فاضلاب باعث افت سطح آب به مقدار قابل توجهی می‌گردد که کمترین میزان افت 1 متر در جنوب شرق شهر مشهد (خروجی آب زیرزمینی) و بیشترین آن 16 متر در سمت شمال و شمال غرب رؤیت می‌شود. افت در هیدروگراف اکثر چاههای پیژومتری منطقه پس از اجرای مدل مشهود است. میزان افت در تابستان بیشتر از زمستان می‌باشد که می‌تواند ناشی از مصرف بالای آب و به نسبت آن افزایش برداشت از آبخوان باشد (شکل 6).



شکل 4- نقشه سمت راست عمق سطح ایستابی آبخوان قبل از اجرای طرح جمع آوری فاضلاب و نقشه سمت چپ بعد از تکمیل طرح



شکل 5- هیدروگراف چاه مشاهده‌ای در طی فرآیند مدل سازی



شکل 6- تغییرات تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای در شهر مشهد

4- نتیجه‌گیری

- در این تحقیق به بررسی تاثیر توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی توسط مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی پرداخته شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل جمع‌بندی زیر حاصل می‌گردد:
- اجرای طرح تاثیر مستقیم در سطح آب زیرزمینی دارد و باعث افت سطح آب می‌گردد. افت سطح ایستابی در منطقه از 1 متر در جنوب شرق شهر مشهد تا 16 متر در شمال و شمال غرب شهر مشهد متغیر است.
 - بر طبق نقشه‌های هم‌عمق در بیشتر قسمت‌های آبخوان آبرفتی شهر مشهد افزایش عمق سطح آب پس از تکمیل طرح مشاهده شد که این کاهش سطح ایستابی از لحاظ وسعت در مناطق شمال شرقی شهر مشهد نمود چشمگیری دارد ولی از لحاظ عمق آب زیرزمینی در نواحی شمال غرب و غرب به 180 متر نیز می‌رسد.
 - میزان افت در تابستان بیشتر از زمستان می‌باشد که می‌تواند ناشی از مصرف بالای آب و به همان نسبت افزایش پمپاژ از آبخوان باشد. حتی با ثابت در نظر گرفتن نرخ پمپاژ با تکمیل طرح در آینده یکی از منابع تغذیه کننده آبخوان (چاه‌های فاضلاب) عملاً حذف خواهد شد در نتیجه افت در فصل تابستان نسبت به بقیه فصل‌ها بیشتر خواهد شد.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به خاطر همکاری صمیمانه و در اختیار قراردادن اطلاعات مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- آفانباتی س.ع.، (1385). "زمین شناسی ایران"، چاپ دوم، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- انصاری مهابادی ث.، شمسایی ا.، مساح بوانی ع.، (1386)، "مدلسازی تغییرات سطح آب زیرزمینی سفید دشت به وسیله مدل GMS"، اهواز. حافظی مقدس ن.، (1386). "گزارش زمین شناسی مهندسی پروژه ریز پهنه بندی لرزه ای شهر مشهد، سازمان مسکن و شهرسازی خراسان رضوی. شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، (1390). "گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز قره قوم"، جلد سوم، صفحه 76.
- علیزاده ا.، (1383). "استفاده از آبهای غیر متعارف (فاضلاب) در دشت مشهد (سننیز مطالعات و تاثیر کمی و کیفی بر آبخوان مشهد)"، کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان.
- محتشم م.، دهقانی ا.، اکبرپور ا.، مفتاح هلقی م.، اعتباری ب.، (1390). "پیش بینی سطح ایستابی در آبخوان با بکارگیری نرم افزار GMS"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- مهدوی ق.، (1390). "مطالعه بهینه ی بهره برداری از آبخوان دشت بزمان با استفاده از MODFLOW"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- Abdulghani A. H. (2006). "Simulation And Prediction Of Groundwater Paths and Flow Vectors at Mosul City", J. of Al-Rafidain Engineering, Vol.14, pp. 73-81.
- Herzog A. (2007). Transient groundwater modeling in Peri-Urban Kampala, Uganda. (Master Thesis), Department of Land and Water Resource Engineering, Sweden.
- Miller T.S. (2000). "Simulation Of Groundwater Flow In An Unconfined Sand and Gravel Aquifer At Marathon, Cortland County New York", U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, 2000, Vol 0-4026 of Water-resources investigations report.