

تهیه مدل آب زیرزمینی دشت گوهرکوه و پیش‌بینی تاثیر اجرای طرح تغذیه

مصنوعی دشت در تراز آب زیرزمینی

ضیاءالدین ایدی^{۱*}، عبدالباست هلال‌بیکی^۲

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه صنعتی شریف، شرکت مهندسين مشاور سامان‌سدرد

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، شرکت مهندسين مشاور سامان‌سدرد

* تهران، کد پستی: ۱۹۹۷۸۱۶۳۵۱ تلفن: ۲۲۰۹۲۹۱۱ Email: zapwit@yahoo.com

چکیده

عدم وجود منابع آبهای سطحی و در نتیجه استفاده الزامی از منابع آبهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور جهت تامین تقاضاهای روزافزون آب در نتیجه برنامه‌های توسعه اقتصادی-اجتماعی، نهایتاً منجر به بیلان منفی دشت‌های موجود در این نواحی و کاهش بیش از حد تراز آبهای زیرزمینی گردیده است. لذا تنها تمسک به شیوه‌های مدیریتی و استفاده بهینه از منابع آب با در نظر گرفتن توسعه پایدار تا حدودی می‌تواند افت سطح آب را کاهش دهد. لازمه مدیریت صحیح این منابع، شناخت دقیق نوسانات سفره آب زیرزمینی و تعیین رفتار آتی آن در قبال تغییرات اعمالی روی آنها می‌باشد. در این راه، استفاده از روش‌های نوین مدلسازی و تلفیق آنها باعث اخذ نتایج دقیق‌تر و صرف زمان و هزینه کمتر می‌گردد.

افت مستمر سطح آب زیرزمینی منجر به کسری مخزن و منفی شدن بیلان آب زیرزمینی آبخوان گوهرکوه واقع در شهرستان خاش استان سیستان و بلوچستان شده و بر اساس مطالعات انجام گرفته با کسری مخزن متوسط سالانه حدود ۱۲/۴ میلیون متر مکعب مواجه گردیده است. میزان افت متوسط سالانه در این دشت در یک دوره ۵ ساله حدود ۵۷ سانتیمتر بوده است. در مقاله حاضر، نحوه تهیه مدل ماندگار و غیرماندگار دشت با استفاده از مدل آب زیرزمینی GMS و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت با استفاده از مدل کالیبره شده، تاثیر اجرای یک طرح تغذیه مصنوعی در شرق دشت گوهرکوه بررسی و میزان افزایش تراز آبهای زیرزمینی در کل دشت، یک سال بعد از اجرای طرح مذکور پیش‌بینی می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که اجرای طرح مذکور باعث افزایش سطح آب زیرزمینی تا حدود ۱.۷ متر در حوالی محل اجرای طرح تغذیه مصنوعی خواهد شد.

کلمات کلیدی: مدلسازی آب زیرزمینی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغذیه مصنوعی، واسنجی.

Groundwater modeling of Gouharkouh-Khash plain and predicting effect of implementation of artificial-recharge project on the groundwater level

Z. Aidi* and A. Helalbeyki**

*,** M.Sc.(Water Engineering), Samansadroud Co. Eng.

Abstract

Lack of surface water and consequently using the groundwater in the arid and semiarid regions of the state for providing ever increasing requirements for water as result of social-economic development programs have led to overuse of groundwater resources. Therefore, the only way to regulate that is to use managerial methods for proper use of water resources while taking into account permanent development. Requirements for proper management of these resources are to exact identification of groundwater fluctuations and determination of its behavior in future as result of changes affected on them. To this end, using modern modeling methods and integrating them has led to more exact results and less time consumption.

Continuous decrease in water level has led to negative balance in groundwater reservoir of Gouharkouh(Khash, Iran) and based on conducted researches the resource is faced with 12.4MCM annual shortages. Annual decrease of water level in this aquifer in a 5 years period was about 57cm. In this study, the approach for modeling the steady and unsteady state using GMS(Groundwater Modeling System) and integrating data layers in GIS have been under consideration. Finally using calibrated model, effect of an artificial-recharge project on east of Gouharkouh aquifer has been surveyed and amount of increase in groundwater level during 1 year has been predicted. According to results, implementation of this project will lead to ground water level increase to about 1.7m around the areas near the implementation of the project.

Keywords: Groundwater Modeling, Geographic Information System, Artificial Recharge, Calibration.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی نسبت به منابع سطحی دارای مزایایی چون کیفیت بالاتر، تاثیر پذیری کمتر از نوسانات آب و هوایی فصلی و سالانه و پراکندگی یکنواخت می‌باشند. آب زیرزمینی در برخی کشورها(دانمارک، عربستان سعودی، مالت و ...) تنها منبع آب در دسترس می‌باشد [Zektser, I. S. & Everett, 2004].

به منظور شناخت بهتر منابع آب زیرزمینی، برآورد امکانات آبی آن، تعیین آثار اجرای طرح‌های مختلف بهره‌برداری بر روی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی و ... تهیه مدل کمی یا کیفی منبع لازم است. مدلی که به این طریق تهیه می‌شود باید شرایط و مشخصات کلی منبع را دارا باشد تا بتوان از آن برای پیش‌بینی‌های مختلف استفاده نمود. منبع آب زیرزمینی در زیر سطح زمین و دور از دید مستقیم قرار دارد بنابراین شناخت کلیه مشخصات آن نیاز به زمان طولانی و بررسی‌های اکتشافی متعددی دارد که در بیشتر موارد انجام دادن چنین عملیاتی بدلیل حجم نسبتاً زیاد عملی نیست. به عبارت دیگر مشخصات منبع آب زیرزمینی حتی پس از اجرای مطالعات نیمه تفصیلی به طور کامل مشخص نمی‌شود، بنابراین مدلی که بر اساس اطلاعات موجود تهیه می‌شود نیاز به تصحیح دارد. لذا به منظور تصحیح مدل باید آنرا با دوره‌ای از تاریخ گذشته آبخوان تطبیق داد. برای تطبیق و تنظیم مدل لازم است که اطلاعات نسبتاً خوبی به خصوص در مورد عمل و عکس‌العمل آبخوان برای دوره مشخصی موجود باشد. بنابراین تهیه مدل برای مناطقی پیشنهاد می‌شود که اطلاعات کافی در مورد میزان تغذیه و تخلیه و تغییرات سطح آب زیرزمینی در اختیار باشد [نشریه شماره ۲۱۳، ۱۳۸۰].

معادله ریاضی بکار برده شده در مدل‌ها بر اساس یک سری فرضیات ساده کننده بوجود می‌آید. این معادلات را به روش‌های مختلفی می‌توان حل کرد. در شرایط پیچیده‌تر می‌توان از مدل‌های عددی استفاده نمود. مدل‌های عددی از تخمین‌های تفاضل محدود و اجزای محدود برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان استفاده می‌کنند. در این حالت منطقه مورد مطالعه با شبکه‌ای از سلول‌ها جایگزین و مدت زمان شبیه‌سازی به بازه‌های زمانی کوچکتری تقسیم می‌شود، معادلات مورد نظر برای هر کدام جداگانه حل می‌شود که معمولاً اینکار توسط کامپیوتر انجام می‌شود. برخلاف روش‌های تحلیلی، روش‌های عددی را می‌توان برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف بکار برد [محمدي و رخشنده رو، ۱۳۸۵].

مدل‌های ریاضی آب زیرزمینی از سال‌های ۱۸۰۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر تهیه مدل آب زیرزمینی به صورت بخش عمده‌ای از پروژه‌های مربوط به بهره‌برداری، حفاظت و پاک‌سازی آب‌های زیرزمینی عمل کرده است. با ادامه پیشرفت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه و تهیه سهل‌تر آنها، نقش مدل‌ها در علوم کمی زمین نظیر هیدروژئولوژی افزایش یافته است. در انواع مختلف مدل‌ها، مدل‌هایی که در گروه پیش‌بینی قرار دارند، همواره بیشترین توجه بخش‌های اجرایی را متوجه خود ساخته‌اند. چرا که این مدل‌ها قادر هستند که علاوه بر شبیه‌سازی سیستم سفره و شناسایی خوب آبخوان، عکس‌العمل سفره را در برابر نقش‌های مختلف از قبیل پمپاژ، تغذیه و آلودگی ارائه کنند.

عمدتاً در آبخوان‌های استان سیستان و بلوچستان افت دائم سطح آب زیرزمینی مشکلات متعددی از جمله خشک شدن قنوات و چشمه‌ها، کاهش آبدهی چاه‌ها و در نهایت خشک شدن آنها، و هزینه‌های کف شکنی و انرژی اضافی جهت پمپاژ را باعث شده است. بر این اساس در راستای نیاز آبخوان گوهرکوه به ارزیابی بهره‌برداری، تخلیه‌ها و تغذیه‌های طبیعی و مصنوعی، مدل ریاضی سفره آب زیرزمینی دشت گوهرکوه تهیه گردید. در فرآیند مدلسازی ابتدا با استفاده از مطالعات پایه، مدل مفهومی این آبخوان تهیه شده و سپس با توجه به خصوصیات آبخوان گوهرکوه از مدل GMS¹6.5 در مدلسازی آب زیرزمینی استفاده گردید. با توجه به ارتباط این مدل و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS²، تشکیل لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل عموماً در محیط GIS انجام گرفت. پس از تعیین شبکه‌های مدل، شرایط مرزی و شرایط اولیه و ورود داده‌های لازم از قبیل ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، مدل همگام (steady) اجرا گردید و سپس با توجه به چاه‌های مشاهده‌ای و مقایسه نتایج حاصل از سطح آب منتج شده از مدل و ارقام مشاهده‌ای، مرحله واسنجی و کالیبراسیون مدل انجام گرفت پس از تهیه مدل کالیبره شده از آن جهت تهیه مدل غیر همگام (un-steady) استفاده گردید. در نهایت از مدل تهیه شده آب زیرزمینی در پیش‌بینی افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در صورت اجرای طرح تغذیه مصنوعی در منطقه‌ای داخل آبخوان استفاده شد. نتایج نشان داد که اجرای طرح مذکور باعث افزایش سطح آب زیرزمینی تا حدود ۱.۷ متر در حوالی محل اجرای طرح تغذیه مصنوعی خواهد شد.

مراحل مدلسازی آب‌های زیرزمینی

¹ Grounawater Modeling System

² Geographic Information System

به طور خلاصه می‌توان مراحل مدل‌سازی آبهای زیرزمینی را به صورت زیر بیان نمود [محمدی و رخشنده رو، ۱۳۸۵]: ابتدا داده‌ها و اطلاعات مربوط به خصوصیات هندسی، زمین‌شناسی، هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان جمع‌آوری و صحت‌سنجی می‌شوند.

جهت در نظرگیری تنش‌های وارده به سیستم باید موقعیت، نوع و زمان هر نوع تغذیه و تخلیه طبیعی و مصنوعی را در نظر گرفت و در فرایند مدل‌سازی بکار برد [کنیه و حافظی، ۱۳۸۳].

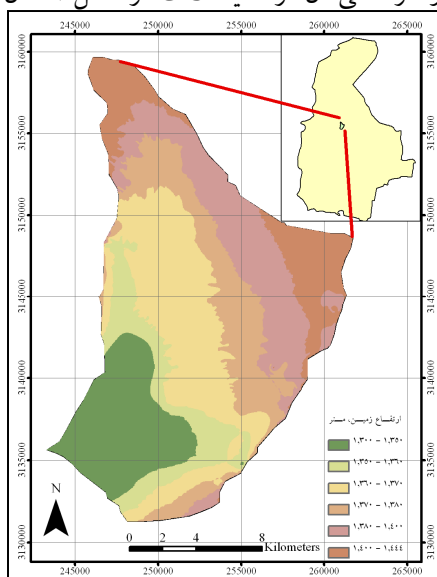
مدل مفهومی، با هدف ساده‌سازی سیستم فیزیکی موجود با در نظر گرفتن شرایط ساده‌کننده ایجاد می‌شود. لایه‌ها و شرایط مرزی منطقه شناسایی شده و به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شوند که جریان آب زیرزمینی را بخوبی توجیه کنند. در مرحله بعد انتخاب نرم‌افزار مدل با توجه مواردی چون زمان مورد نیاز برای اجرای آن، در دسترس بودن نرم‌افزار و پشتیبانی تکمیلی، نیاز به اطلاعات، توانایی مدل کردن جریان، محدودیت مورد مطالعه در ابعاد شبکه و دقت مدل انجام می‌گیرد. با استفاده از مدل انتخاب شده، طراحی شبکه آبخوان، انتخاب بازه‌های زمانی، تنظیم شرایط اولیه و انتخاب اولیه پارامترهای آبخوان صورت می‌گیرد.

کالیبره کردن مدل و صحت‌سنجی آن به منظور منطبق کردن شرایط موجود در منطقه با نتایج بدست آمده از مدل است که با تغییر دادن پارامترهای مختلف در چند مرحله می‌تواند انجام گیرد. روش کالیبراسیون خودکار که در مدل‌های کامپیوتری امروزه بکار می‌رود، کیفیت مدل‌سازی آب زیرزمینی را بالا می‌برد و نتایجی را ایجاد می‌کند که در روش سعی و خطا توانایی بدست آوردن آنها ممکن نمی‌باشد [سالک و همکاران، ۱۳۸۳].

با انجام آنالیز حساسیت، میزان تاثیرپذیری آب زیرزمینی را از پارامترهای ورودی مشخص می‌کنند، بنابراین به کمک آنالیز حساسیت می‌توان دریافت که پارامترها از چه حساسیتی در مدل کالیبره شده برخوردار می‌باشند [میرعباسی نجف آبادی و رهنما، ۱۳۸۶].

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد شبیه‌سازی مدل آب زیرزمینی، منطبق بر محدوده آبخوان دشت گوهرکوه و با وسعت حدود ۳۰۳۵۳۷۵۰۰ متر مربع می‌باشد که در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض ۲۸ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی واقع است. محدوده مورد مطالعه و حدود ارتفاعی آن در محیط GIS در شکل ۱ نشان داده شده است.



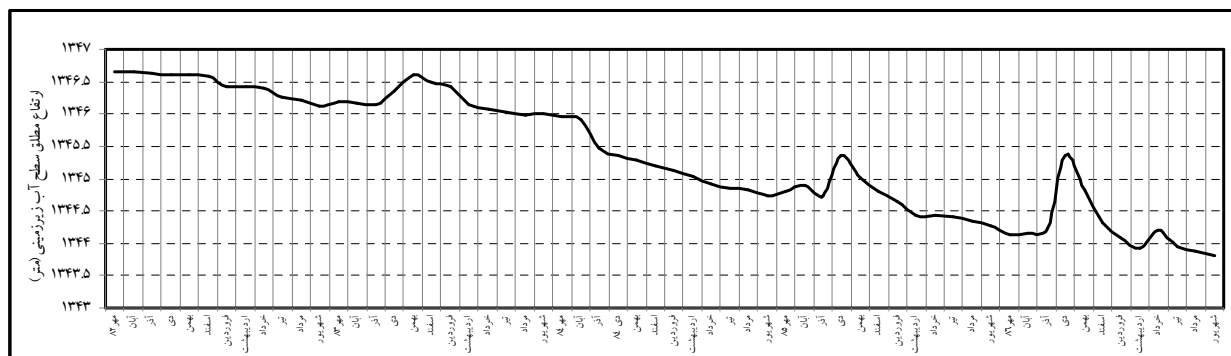
شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی گوهرکوه در استان سیستان و بلوچستان و حدود ارتفاعی آن

جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب مدل

اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی حوضه گوهرکوه جهت برآورد بارش‌های جوی و رواناب‌های جاری شده در دشت با استفاده از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی و وزارت نیرو جمع‌آوری شد. وضعیت توپوگرافی سطح زمین با استفاده از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ در محیط GIS مدل‌سازی شده و به مدل آب زیرزمینی انتقال داده شد (شکل شماره ۱). همچنین لایه اطلاعاتی توپوگرافی سنگ بستر با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک و گزارشات حفاری چاه‌های اکتشافی مربوط به سال‌های مختلف تهیه و وارد مدل گردید.

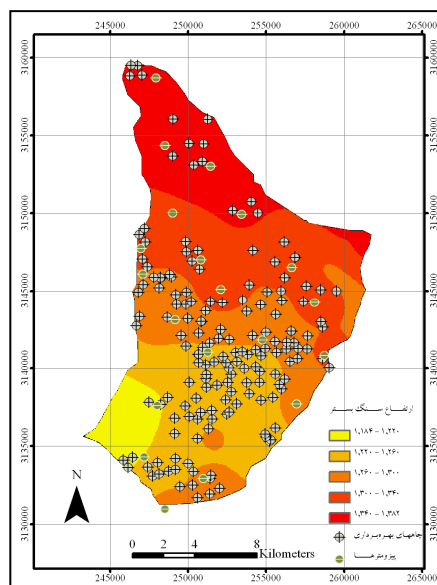
جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، از نتایج حاصل از آزمایشات پمپاژ چاههای اکتشافی دشت گوهرکوه (در مجموع ۱۸ حلقه چاه) استفاده شده است. اطلاعات آماری چاههای عمیق و نیمه عمیق و قنات دشت گوهرکوه مربوط به آخرین آمار برداری از شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان تهیه گردید. لازم به ذکر است که در محدوده دشت گوهرکوه قنات فعال وجود ندارد. اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی و جنس مصالح تشکیل دهنده آبرفت که از موارد مهم در تعیین مرزهای ورودی و خروجی آب زیرزمینی می‌باشد نیز جمع‌آوری شد.

جهت بررسی نوسانات سطح آب و تهیه هیدروگراف واحد آب زیرزمینی از اطلاعات مربوط به ۲۰ چاه پیزومتر داخل دشت گوهرکوه استفاده شده است. هیدروگراف واحد دشت از مهر ۸۲ تا شهریور ۸۷ در نمودار بعد نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل آمده میزان افت در این فاصله زمانی حدود ۲۸۶ متر بوده است.



شکل ۲) هیدروگراف واحد دشت گوهرکوه (مهر ۸۲ تا شهریور ۸۷)

در شکل ۳ موقعیت چاههای بهره‌برداری و پیزومترها و همچنین توپوگرافی سنگ بستر نمایش داده شده است.



شکل ۳) حدود ارتفاعی سنگ بستر، چاههای بهره‌برداری و پیزومترهای دشت گوهرکوه

سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی GIS جدیدترین و جامع‌ترین نرم افزار مدل‌سازی آب زیرزمینی می‌باشد. از این مدل در بیش از ۹۰ کشور دنیا به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود. از جمله بزرگترین مزایای GIS استفاده از روش مدل‌سازی مفهومی است. این روش امکان ساخت مدل مفهومی را در مدول GMSMap با استفاده از اشیاء عارضه‌ای GIS (نقطه، خط و پلیگون) فراهم می‌سازد. مدل مفهومی ناحیه‌هایی را برای شرایط مرزی، مناطق تخلیه و تغذیه و خصوصیات مصالح تشکیل دهنده آبرفت ایجاد می‌کند. این مدل را می‌توان بعد از تکمیل و آماده سازی به مدل شبکه‌ای یا مش تبدیل نمود. مدل مفهومی امکان مدل‌سازی نواحی وسیع را در محیطی ساده فراهم می‌کند. مدول GIS که در مدل GMS موجود می‌باشد، مدل‌سازی مفهومی را ساده‌تر می‌کند [AQUAVEO, 2009].

مدل مفهومی و شمای پایه آبخوان گوهرکوه

در آبخوان گوهرکوه جهت جریان آب زیرزمینی تقریباً از شمال، غرب و جنوب به سمت جنوب غربی دشت می‌باشد. آبخوان گوهرکوه از نوع سفره آزاد می‌باشد و چون بخشی از حوضه بزرگ گوهرکوه می‌باشد مرزهای اطراف آن بجز مرز غربی، ورودی و خروجی اصلی آب زیرزمینی می‌باشند که مرز با هد عمومی فرض شده‌اند. مرز غربی و بخش‌هایی از شمال و شرق دشت با توجه به خطوط جریان و ارتفاعات، مرز با دبی صفر فرض شده‌اند.

برای اینکه بتوان مدل ریاضی آبخوان را راه اندازی کرد می‌بایست نوسانات سطح آب سفره (شبکه چاه‌های مشاهده‌ای)، توپوگرافی سطحی، توپوگرافی سنگ بستر، شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه، شرایط مرزی، شرایط اولیه، گام‌های زمانی در مدل غیر همگام، مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی سفره شامل ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره و مقادیر تغذیه و تخلیه سفره با دقت کافی تعیین و وارد مدل شوند. این پارامترها در محاسبات جریان ماندگار و غیرماندگار مورد تصحیح و تدقیق قرار می‌گیرند.

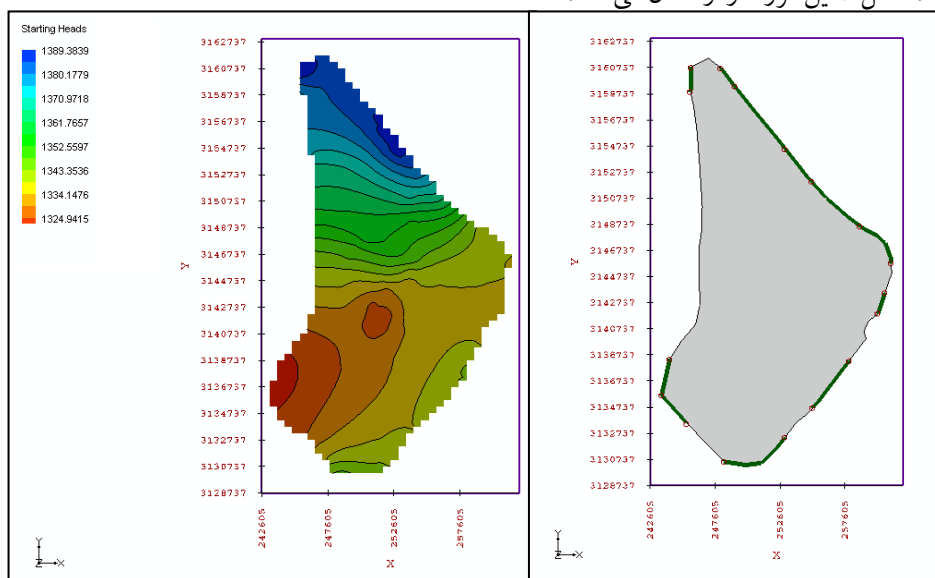
عوامل موثر در تغذیه و تخلیه آبخوان

بطور کلی در آبخوان گوهرکوه، دو نوع تغذیه مصنوعی و طبیعی صورت می‌گیرد. در زیر به هر کدام از آنها اشاره شده است.

- جریانات ورودی و خروجی آب زیرزمینی

از جمله عوامل مهم در تعیین مرزهای آبخوان، جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد. با توجه به هیدروگراف واحد دشت گوهرکوه، در فاصله زمانی بین خرداد تا آبان ۱۳۸۴ منحنی تغییرات کمی را نشان می‌دهد. تراز سطح آب در شهریور ۱۳۸۴ کمترین اختلاف را با میانگین این دوره دارد بنابراین شهریور ۱۳۸۴ جهت اجرای مدل در شرایط ماندگار (Steady State) انتخاب گردید و از آن جهت کالیبراسیون مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی و تغذیه سطحی آبخوان استفاده بعمل خواهد آمد. سال آبی ۸۳-۸۴ نیز برای حالت غیرماندگار (Unsteady State) در نظر گرفته خواهد شد، در این مرحله نیز مقادیر ضریب ذخیره کالیبره خواهد شد. تراز سطح آب در پیزومترها مربوط به شهریور ۱۳۸۴ در شکل ۴ نشان داده شده است.

از جمله دیگر عوامل موثر در تعیین مرزها، توپوگرافی سطح زمین و سنگ بستر، منابع آب موجود در دشت شامل چاه، چشمه و قنات، آبراه‌های سطحی، نقشه زمین شناسی و هم‌بستگی ارتباط هیدرولیکی با دشت قلعه‌بید در شمال دشت گوهرکوه می‌باشد. در نهایت با توجه به کلیه موارد ذکر شده، مرزهای ورودی و خروجی جریان به آبخوان که به صورت بار هیدرولیکی عمومی در مدل معرفی شده‌اند تعیین گردید. شکل ۴ این مرزها را نشان می‌دهد.



شکل ۴) تراز سطح آب در دشت گوهرکوه مربوط به شهریور ۱۳۸۴ (شکل سمت چپ) و مرزهای بار هیدرولیکی عمومی (خطوط توپر سبز رنگ) (شکل سمت راست)

- تغذیه از طریق رواناب حاصل از بارندگی

با توجه به مطالعات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، میزان نفوذ جریان از طریق بارش در سطح آبخوان ناچیز و قابل صرف‌نظر می‌باشد.

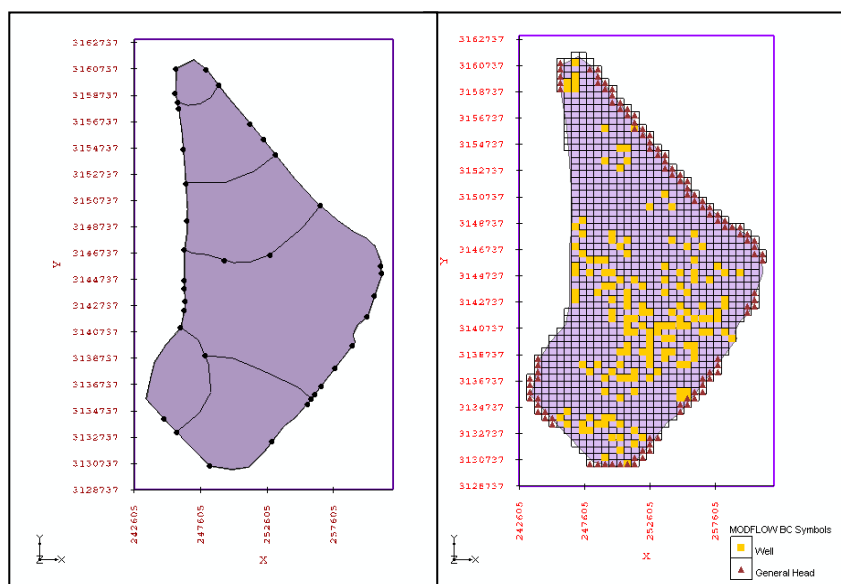
حجم جریان‌های سطحی وارد به دشت گوهر کوه در سال آبی ۸۳-۸۴ برابر ۱۸/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. میزان نفوذ ناشی از تغذیه جریان‌های سطحی (نفوذ مستقیم) وارده به محدوده بیلان با توجه به دانه‌بندی و ضخامت آبرفت و طول مسیر جریان آب حدود ۱۵ درصد (این میزان در کالیبراسیون مدل تغییر خواهد کرد) که معادل ۲/۷۴ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد در نظر گرفته می‌شود.

– تغذیه و تخلیه از طریق چاه‌های کشاورزی و شرب

کلیه نیازهای آبی دشت و حوضه گوهر کوه از محل آب زیرزمینی تامین می‌گردد. تعداد چاه‌های فعال موجود در دشت گوهر کوه شامل ۱۷۴ حلقه چاه می‌باشد. مجموع تخلیه این چاه‌ها حدود ۵۹ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. با توجه به ضریب نفوذ ۱۰٪، آب برگشتی کشاورزی به سفره آب زیرزمینی سالانه حدود ۵/۸۴ میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد. بنابراین کل تغذیه سفره گوهر کوه ناشی از نفوذ از محل رواناب و آب برگشتی کشاورزی معادل ۸/۵۸ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. جهت تخصیص این میزان تغذیه، آبخوان به صورت شکل ۵ پلیگون بندی شد.

شبکه بندی آبخوان گوهر کوه

در آبخوان گوهر کوه با توجه به اطلاعات پایه آبهای زیرزمینی و عدم وجود رودخانه و زهکش فعال در منطقه، ابعاد شبکه بطور یکنواخت ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد که در نتیجه شبکه بندی منطقه مدل شامل ۳۹ ستون و ۶۸ ردیف گردید. منطقه شامل ۴۸۳۰ گره و ۲۳۱۲ سلول می‌باشد. در شکل ۵ شبکه بندی آبخوان گوهر کوه نمایش داده شده است.



شکل ۵) پلیگون‌بندی آبخوان گوهر کوه به منظور ورود مقادیر تغذیه سطحی (شکل سمت چپ) شبکه بندی آبخوان گوهر کوه (شکل سمت راست)

تهیه مدل در شرایط ماندگار (Steady State)

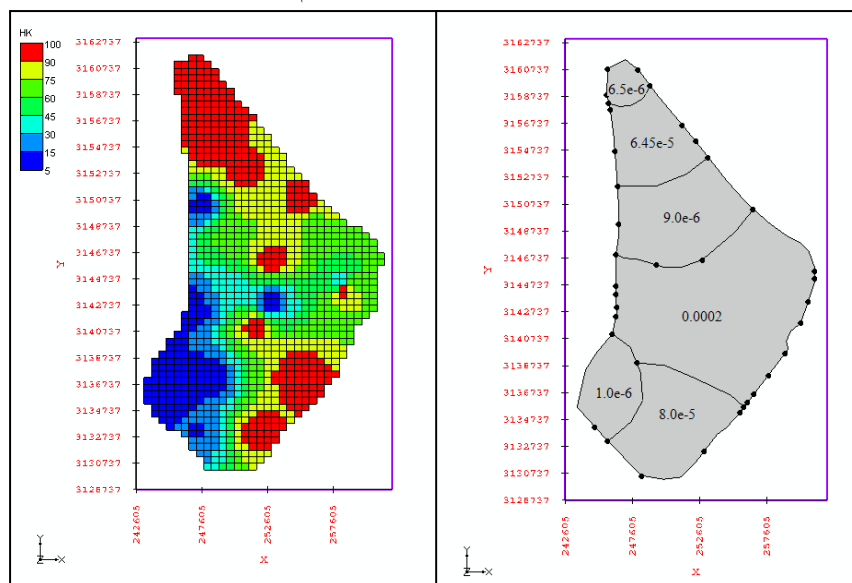
در این مرحله کلیه اطلاعات مورد نیاز مدل شامل نفوذپذیری (k)، تراز آب اولیه (initial head)، توزیع مکانی پارامترهای تخلیه و تغذیه آبخوان (رواناب، تخلیه و تغذیه از طریق چاه‌ها) و همچنین ورودی و خروجی آب زیرزمینی (general head boundary) به مدل داده شده است و با چندین اجرای کامپیوتری اطلاعات مذکور مورد تعدیل و تدقیق قرار گرفته است.

کالیبراسیون مدل در حالت ماندگار (Steady State)

پس از تکمیل اطلاعات ورودی مدل در اولین اجرای مدل مشخص گردید که رقوم سطح آب محاسبه شده و مشاهده شده در نقاط کنترل (چاه‌های پیرومتری محدوده مدل‌سازی) یکسان نبوده و این اختلاف به کمتر از یک متر تا چندین متر در بعضی نقاط می‌رسد. جهت کالیبراسیون مدل آبخوان گوهر کوه با استفاده از بسته نرم‌افزاری PEST که یک مدل معکوس می‌باشد (این مدل از زیرمجموعه‌های نرم افزار GMS می‌باشد) میزان هدایت هیدرولیکی محاسبه شده به صورت نقطه‌ای (pilot point) یا سلول به سلول و به طور همزمان مقادیر نفوذ به آبخوان به صورت پلیگون بندی (zonal approach) کالیبره و سپس با تغییر شرایط مرزی (general head boundary) میزان اختلاف بین تراز محاسباتی و مشاهداتی حداقل شده است.

مقادیر تخمین زده شده برای هدایت هیدرولیکی توسط مدول PEST در شکل ۶ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد در بخش وسیعی از دشت که عمدتاً در مناطق مرکزی آن قرار دارد میزان هدایت هیدرولیکی بین ۴۵ تا ۶۰ متر در روز می‌باشد.

مقادیر تخمین زده شده برای نفوذ (تغذیه) به آبخوان توسط مدول PEST در شکل ۶ بر حسب متر بر روز ارائه شده است. با ضرب این داده‌ها در سطح هر پلیگون و جمع آنها میزان تغذیه از طریق رواناب و آب برگشتی چاهها حدود ۱۲/۱ میلیون متر مکعب بر سال برآورد می‌گردد. این مقدار حدود ۲۹ درصد بیش از مقداری می‌باشد که قبل از انجام کالیبراسیون در نظر گرفته شده بود.

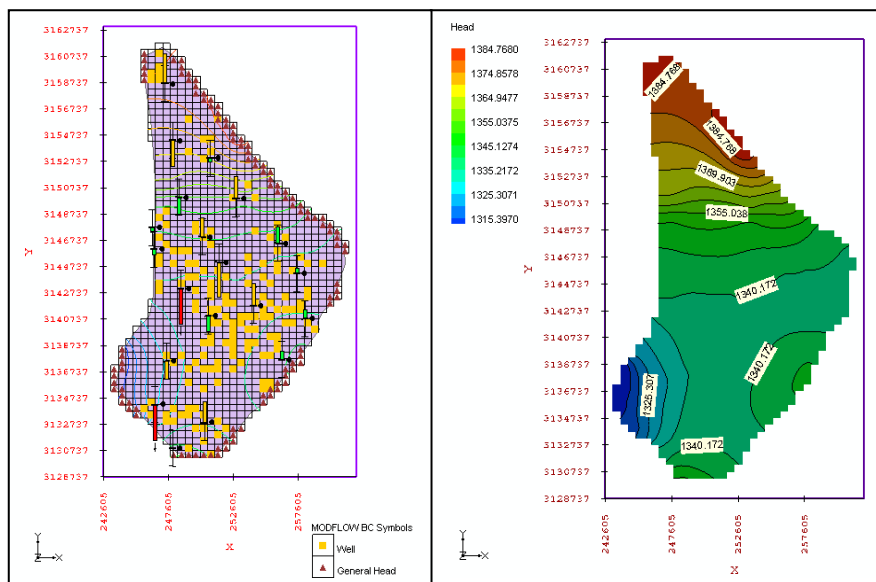


شکل ۶) مقادیر هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده برای آبخوان (شکل سمت چپ) و مقادیر تغذیه آبخوان تخمین زده شده توسط مدول PEST (بر حسب متر بر روز) (شکل سمت راست)

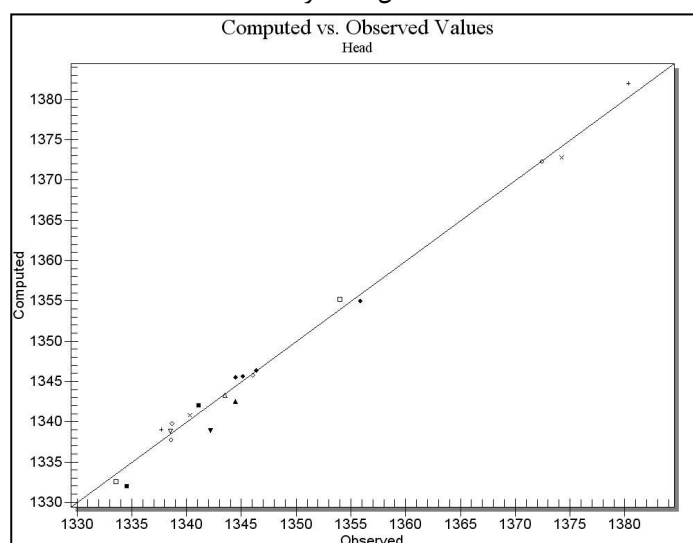
حال با داشتن مقادیر تخمین زده شده ضریب هدایت هیدرولیکی و تغذیه آبخوان، مدل یکبار دیگر اجرا می‌گردد. نتایج در شکل ۷ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در تمام پیزومترها، بجز دو مورد، فاصله مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی در محدوده قابل قبولی قرار دارند و می‌توان از این داده‌ها جهت اجرای مدل در حالت ناپایدار یا غیرهمگام (Unsteady State) استفاده بعمل آورد. در نمودار شکل شماره ۸ اختلاف میزان تراز محاسباتی و مشاهداتی در پیزومترها برای مدل کالیبره شده با استفاده از مدول PEST نشان داده شده است.

اختلاف میانگین، میانگین مطلق و مجذور میانگین خطا برای سطح آب مشاهداتی و سطح آب محاسباتی در کل آبخوان به ترتیب برابر ۰.۲۳۱، ۱.۰۶۵ و ۱.۳۴ بدست آمده است.

خطاهای ذکر شده در حد مناسب و قابل قبولی قرار دارند. این امر نشان می‌دهد که می‌توان از داده‌های کالیبره شده چون ضریب هدایت هیدرولیکی و تغذیه آبخوان جهت اجرای مدل غیر ماندگار استفاده بعمل آورد. در شکل ۷ داده‌های محاسباتی نهایی مدل ماندگار کالیبره شده نشان داده شده است.



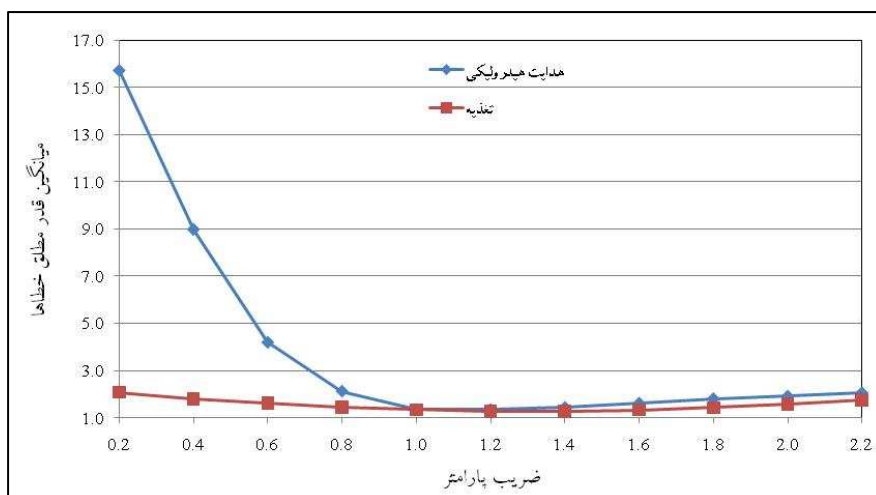
شکل ۷) اجرای مدل بعد از انجام کالیبراسیون و استفاده از مدول PEST (شکل سمت چپ) و هدهای محاسباتی نهایی مدل ماندگار کالیبره شده (شکل سمت راست)



شکل ۸) نمودار اختلاف میزان تراز محاسباتی و مشاهداتی در پیژومترها برای مدل کالیبره شده با استفاده از مدول PEST برای کلیه پیژومترها

آنالیز حساسیت مدل

جهت انجام آنالیز حساسیت بر روی مدل آب زیرزمینی دشت گوهرکوه، پس از اجرای مدل در شرایط ماندگار و کالیبراسیون آن، با استفاده از دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه، آنالیز حساسیت مدل انجام شده و خلاصه نتایج آن در شکل ۹ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد آبخوان مورد مطالعه نسبت به تغییرات مقادیر هدایت هیدرولیکی از حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات مقادیر تغذیه برخوردار می‌باشد و این حساسیت نسبت به ضریب تغییرات کمتر از یک بیشتر از حالتی است که ضریب تغییرات بیشتر از یک می‌باشد.



شکل ۹) تغییرات میانگین قدر مطلق خطای همد محاسباتی نسبت به ضریب تغییرات

اجرای مدل در شرایط غیر ماندگار (Unsteady State) و صحت سنجی مدل (Verification)

در جریان محاسبات تنظیم مدل در رژیم غیرماندگار علاوه بر اطلاعات مورد استفاده در رژیم ماندگار، اطلاعات زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

الف) ضریب ذخیره (S): با توجه به مطالعات هیدروژئولوژی و با توجه به لاگ حفاری چاههای پیژومتری و اکتشافی بر اساس گزارش‌های تمدید ممنوعیت دفتر مطالعات پایه منابع آب، میزان ضریب ذخیره حدود ۸ درصد برای کل آبخوان برآورد شده است. این مقدار بعد از کالیبراسیون مدل غیر ماندگار برای کل آبخوان با در نظر گیری ۷ پلیگون با استفاده از مدول PEST اصلاح شده است.

ب) توزیع زمانی پارامترهای تغذیه و تخلیه آبخوان: در این خصوص با توجه به آمار و اطلاعات موجود برای کلیه پارامترهای تغذیه و تخلیه آبخوان، توزیع کمی ماهانه آنها مشخص گردیده و سپس این نسبتها با اعمال در مقادیر ثابت فرض شده در مدل ماندگار برای هر ماه شمسی وارد مدل غیر ماندگار گردیدند.

با توجه به آنکه سال آبی ۸۴-۸۳ (ابتدای مهر ۸۳ تا انتهای شهریور ۸۴) بعنوان محدوده مدلسازی حالت غیر ماندگار انتخاب شده است، مقادیر رواناب ماهانه با توجه به درصد ریزش باران در هر ماه نسبت به کل سال تعیین و وارد مدل گردید.

میزان تخلیه از آبخوان توسط چاهها و آب برگشتی از محل این مصرف با توجه به مدت استفاده از چاههای کشاورزی در طول سال و با توجه به وجود چندین چاه آب شرب که در تمام مدت سال روشن می‌باشند به صورت ماهانه تعیین گردید.

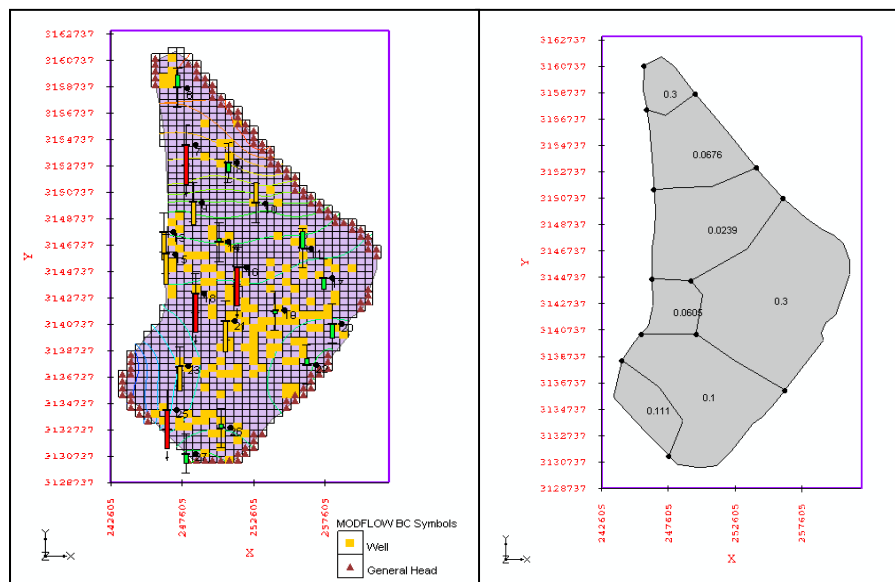
ج) تنظیم مدل: با استفاده از اطلاعات فوق الذکر و استفاده از مدل GMS سیستم برای یک دوره ۱۲ ماهه حدفصل مهرماه ۱۳۸۳ لغایت شهریور ۱۳۸۴ شبیه سازی شده است.

با ورود سری‌های زمانی مقادیر ماهانه تغذیه و تخلیه و ضریب ذخیره آبخوان گوهرکوه حال می‌توان با تنظیمات مورد نیاز، مدل را برای حالت غیر ماندگار در محدوده شبیه سازی (سال آبی ۸۴-۸۳) اجرا نمود.

جهت صحت سنجی مدل آب زیرزمینی دشت گوهرکوه در شکل ۱۰ در محل پیژومترها اختلاف بین سطح تراز محاسباتی و مشاهداتی در حالت غیرماندگار برای دی ماه سال ۸۳ ارائه شده است.

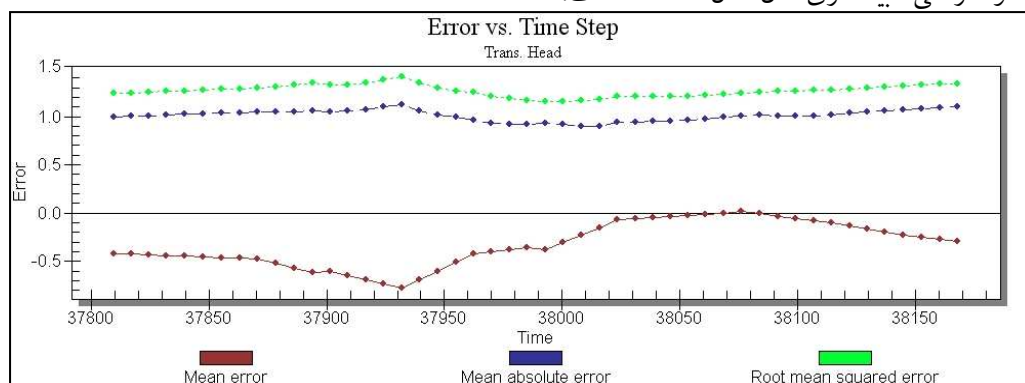
کالیبراسیون مدل در حالت غیر ماندگار

در این مرحله با استفاده از مدول PEST و با تشکیل ۷ ناحیه در کل سطح آبخوان، مقدار ضریب ذخیره برای هر ناحیه با روش پلیگون بندی (zonal approach) تعیین می‌گردد. در شکل ۱۰ مقادیر تخمینی این پارامتر نشان داده شده است.



شکل ۱۰) صحت سنجی مدل آبخوان دشت گوهرکوه برای دی ماه سال ۱۳۸۳ (شکل سمت چپ) و مقادیر ضریب ذخیره کالیبره شده در حالت غیرماندگار (شکل سمت راست)

مدل آبخوان گوهرکوه پس از تصحیح موارد فوق الذکر به دفعات اجرا گردید تا اینکه سرانجام تطابق خوبی بین تراز سطح ایستابی محاسباتی توسط مدل و مقادیر اندازه گیری شده در منطقه بدست آمد که نشانه جواب دادن مدل به طبیعت سیستم آبخوان گوهرکوه می باشد. در شکل بعد مقادیر اختلاف میانگین، میانگین مطلق و مجذور میانگین خطا برای سطح آب مشاهداتی و سطح آب محاسباتی در محدوده زمانی شبیه سازی مدل نشان داده شده است.



شکل ۱۱) اختلاف میانگین، میانگین مطلق و مجذور میانگین خطا برای سطح آب مشاهداتی و سطح آب محاسباتی در محدوده زمانی شبیه سازی مدل

پیش بینی تأثیر تغذیه مصنوعی در تراز آب زیر زمینی دشت گوهرکوه

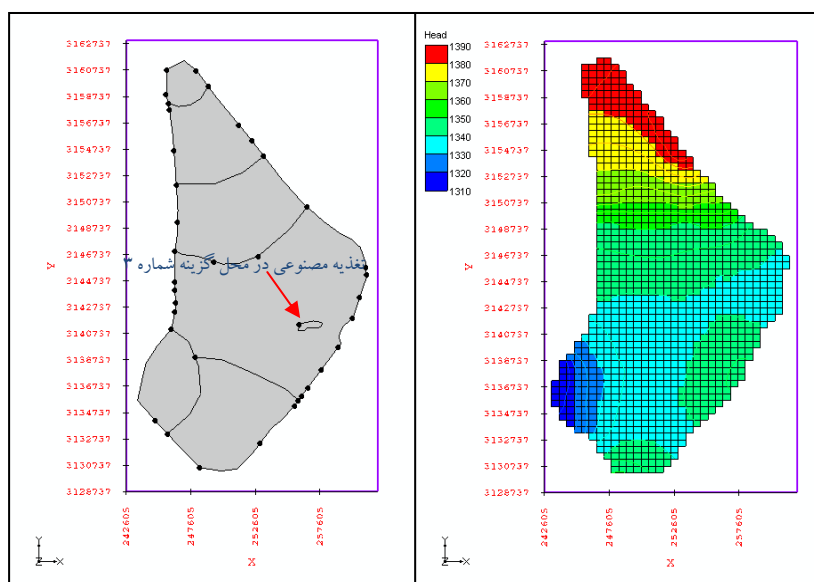
یکی از عوامل موثر در تعادل بخشی بیلان آب زیرزمینی دشت ها، اجرای طرح های تغذیه مصنوعی می باشد. در دشت گوهرکوه بعد از مکانیابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی، در نهایت ۵ گزینه جهت اجرای این طرح ها پیشنهاد گردید [هلال ییکی و ایدی، ۱۳۸۹]. در اینجا به بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی بعد از اجرای گزینه شماره ۳ از میان ۵ گزینه که به عنوان اولویت اول شناخته شده پرداخته می شود.

عموماً بررسی تراز سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب در محدوده عرصه های تغذیه مصنوعی و نواحی مجاور آن بیانگر این است که طرح های مذکور سبب بهبود این فاکتورها در آب زیرزمینی می شوند [مقدس و همکاران، ۱۳۸۵]. البته این امر در رابطه با کمیت آب زیرزمینی طبیعتاً باید این گونه باشد اما در رابطه با کیفیت آب زیرزمینی این امر ممکن است صحت نداشته باشد و بررسی ها نشان داده که در برخی طرح ها، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و افزایش غلظت عناصر در آب زیرزمینی مشاهده شده است (طرح تغذیه مصنوعی جاشک-آبدان استان بوشهر) [کلانتری و رحمانی، ۱۳۷۸].

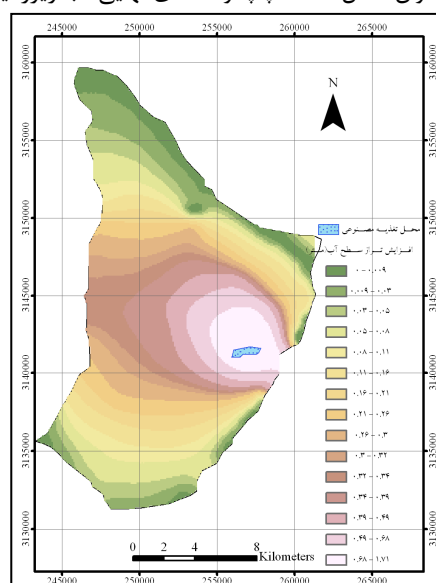
جهت پیش‌بینی وضعیت آبخوان ابتدا باید شرایط احتمالی را به صورت لایه‌های اطلاعاتی برای مدل تعریف کرد. این شرایط را می‌توان با در نظر گرفتن اهداف ویژه یا وضعیت عادی ایجاد نمود به این معنی که می‌توان شرایط غیر معمول را به مدل وارد کرد و واکنش آنرا ارزیابی نمود یا لایه‌های اطلاعاتی را بر اساس روند تغییرات سیستم در آینده حدس زد و واکنش سیستم را در قبال این رفتار تعیین نمود [کنیه و حافظی، ۱۳۸۳].

در این طرح برای بررسی تغذیه مصنوعی دشت گوهرکوه از طریق رواناب‌های جاری شده از حوضه گوهرکوه، در لایه مربوط به تغذیه سطحی (نفوذ مستقیم رواناب حاصل از بارش + آب برگشتی چاههای کشاورزی) در محل گزینه شماره ۳، سطحی برابر ۸۰ هکتار جهت ورود جریان تغذیه به آب زیرزمینی در نظر گرفته شده و تغذیه‌ای برابر ۰.۰۲ متر بر روز برای آن لحاظ شده است (این میزان تغذیه ناشی از رواناب متوسط سالانه جاری شده از حوضه گوهرکوه می‌باشد که ۱۵ درصد آن به خاطر نفوذ مستقیم به آب زیرزمینی کسر گردیده است). لایه بندی جدید تغذیه سطحی در کل آبخوان در شکل ۱۲ ارائه شده است.

در شکل ۱۲ هدهای نهایی آب زیرزمینی حاصل از اجرای مدل ماندگار بعد از انجام تغذیه مصنوعی در محل گزینه شماره ۳ نشان داده شده است. جهت مقایسه بهتر نتایج قبل و بعد از تغذیه مصنوعی، در محیط GIS، اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی (افزایش سطح آب) بعد از انجام عملیات تغذیه در مدت یک سال در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نمایش داده شده این میزان افزایش برای مناطق مختلف آبخوان گوهرکوه متفاوت می‌باشد و از صفر تا ۱.۷۱ متر متغیر است.



شکل ۱۲) لایه بندی جدید تغذیه سطحی در آبخوان (شکل سمت چپ) و هدهای نهایی آب زیرزمینی حاصل از اجرای مدل (شکل سمت راست)



شکل ۱۳) اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی (افزایش سطح آب) بعد از انجام عملیات تغذیه در مدت یک سال

دلیل استفاده از مدل ماندگار دشت بجای مدل غیرماندگار در پیش‌بینی اثر طرح تغذیه مصنوعی روی تراز آب زیرزمینی به جهت سادگی مقایسه سطوح آب زیرزمینی قبل و بعد از تغذیه می‌باشد.

در حالت غیرماندگار می‌بایست برای هر دوره زمانی، میزان نفوذ جریان تغذیه به صورت جداگانه وارد مدل شود که با توجه به لزوم حدس و گمان در این زمینه و ورود عدم قطعیت‌های بیشتر به مدل از این کار صرف‌نظر شد علاوه‌براین بعد از اجرای مدل غیرماندگار باید برای هر دوره زمانی (یک ماه) اختلاف تراز سطوح آب زیرزمینی با هم مقایسه شوند که نیاز چندانی به این حجم بررسی‌ها و اطلاعات احساس نمی‌شود. بنابراین در این مرحله از مدل ماندگار استفاده شد که دید کلی‌تر و مقایسه ساده‌تری را فراهم می‌سازد.

نتیجه‌گیری

قابلیت استفاده از لایه‌های اطلاعاتی محیط GIS در محیط مدل آب زیرزمینی GMS، زمان و هزینه زیادی در تهیه و ورود اطلاعات به مدل صرفه‌جویی می‌کند و این مزیت مدل به همراه روش کالیبراسیون خودکار که در آن دیده شده، مدل GMS را از مدل‌های قبلی آب زیرزمینی متمایز نموده است.

نتایج حاصل از اجرای مدل در پیش‌بینی افزایش تراز آب بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی نشان داد که این افزایش از صفر تا ۱.۷۱ متر متغیر است. در مناطق نزدیک محل تغذیه این میزان حداکثر می‌باشد که البته این امر قابل پیش‌بینی بود. در هر حال منطقه‌ای که هم اکنون بیشترین افزایش هد آب زیرزمینی را به خود اختصاص داده از مناطق مهم کشاورزی در دشت گوهرکوه می‌باشد و تعداد زیادی چاه کشاورزی در این منطقه قرار گرفته است بنابراین اجرای طرح مذکور باعث رونق کشاورزی در آن منطقه خواهد شد.

بهرحال علارغم تغذیه مصنوعی در آبخوان گوهرکوه، به واسطه برداشت بی‌رویه، روند افت سطح آب زیرزمینی همچنان در دشت ادامه خواهد داشت و ممانعت از این روند نیازمند توجه به پارامترهای تخلیه از جمله بهبود بازدهی بخش کشاورزی و ایجاد تعادل بین منابع و مصارف در دشت می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان آقایان قزوینی، کیخواه و هاشم‌زهی به خاطر همکاری‌های صمیمانه و در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز سپاسگذاری می‌شود.

مراجع

- [۱] کتیه، همایون و حافظی، سعید. (۱۳۸۳). «بکارگیری مدل MODFLOW جهت مدیریت بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم». فصلنامه آب و فاضلاب.
- [۲] کلانتری، نصرالله و رحمانی، حمید. (۱۳۷۸). «تأثیر کمی و کیفی طرح تغذیه مصنوعی جاشک - آبدان روی آب زیرزمینی دشت آبدان خورموج استان بوشهر». سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- [۳] محمدی، دنا و رخشنده رو، غلامرضا. (۱۳۸۵). «ارزیابی قابلیت‌ها و محدودیت‌های نرم افزارهای رایج شبیه‌سازی پخش و انتقال آلودگی در آب‌های زیر زمینی». دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- [۴] مقدس، حمیده؛ کرمی، غلامحسین و فیله کش، اسماعیل. (۱۳۸۵). «بررسی اثر پخش سیلاب بر کمیت آب زیرزمینی منطقه غرب سبزوار». دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- [۵] منصور، سالک؛ چیت‌سازان، منوچهر و عابدینی، محمد جواد. (۱۳۸۳). «بهینه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی دشت کازرون با استفاده از مدل سه بعدی تفاضل معین MODFLOW2000». هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- [۶] میرعباسی نجف آبادی، رسول و رهنما، محمدباقر. (۱۳۸۶). «شبیه‌سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل کامپیوتری MODFLOW». مجله پژوهش آب ایران، سال اول، شماره ۱.
- [۷] نشریه شماره ۲۱۳. (۱۳۸۰). فهرست خدمات مطالعات مرحله نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی. معاونت فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو.
- [۸] هلال‌بیکی، عبدالباسط و ایدی، ضیاءالدین. (۱۳۸۹). «مکانیابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و مدل آب زیرزمینی GMS». مجله عمران آب.

[9] Water Modeling Solutions.(2009). AQUAVEO, <http://wikis.aquaveo.com>.

[10] Zektser, I. S. & Everett, L. G.(2004). "Groundwater resources of the world and their use". IHP-VI, SERIES ON GROUNDWATER NO.6.