مکان یابی محل مناسب اجرای تغذیه مصنوعی در آبخوان دشت حصاروئیه به کمک مدل ریاضی و GIS

محسن رضایی

استادیار دانشگاه تربیت معلم تهران

جلال جمعه نیا

کارشناس ارشد هیدروژئولوژی

کمال خدائی

عضو هیئت علمی پژوهشکده جهاد دانشگاهی

تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش:۱۳۹۰/۰۶/۰۴

m_rezaei@tmu.ac.ir

چکیده

در این مقاله، جریان آب زیرزمینی دشت حصاروئیه واقع در غرب زاهدان، به کمک مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و انترفاز GMS به روش مدل مفهومی شبیه‌سازی شده است. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، ساخت پایگاه اطلاعاتی و تلفیق اطلاعات، مدل مفهومی آبخوان در محیط GMS تهیه گردیده است. تهیه مدل ریاضی دشت حصاروئیه به هدف پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان و بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر آبخوان در گزینه‌های مختلف مدیریتی انجام شده است. با توجه به اجرای سد تغذیه ای گلک در منطقه، امکان تامین آب تغذیه مصنوعی از این سد مد نظر قرار گرفته است. پس از مدلسازی ریاضی آبخوان، واسنجی مدل در شرایط پایدار و ناپایدار و صحت سنجی مدل برای یک دوره یکساله، پیش‌بینی سطح آب سفره آبدار برای ۴ سال آبی آینده (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۱) انجام شد و با تعریف سناریوهای مختلف، مکان مناسب اجرای طرح تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داده است که بهترین مکان برای تزریق آب ذخیره شده پشت سد به سفره آبدار، گزینه شماره ۳ در فاصله حدود سه کیلومتری پائین دست محور سد مشخص می‌باشد. مناسبترین زمان برای تزریق آب به حوضچه‌ها ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین است.

کلمات کلیدی: *تغذیه مصنوعی، دشت حصاروئیه، مدل ریاضی، مدل مفهومی، GMS ، GIS*

مقدمه

مطالعه منابع آب زیرزمینی به عنوان نیاز اولیه تمدن بشری از حساسیت ویژه‌ای برخودار است. دراین میان مطالعات مدیریتی منابع آب زیرزمینی به دلیل کمبود منابع مذکور، ازاهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مناسبترین ابزارهائی که در مدیریت بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از مدل‌سازی آبخوان می‌باشد. در زمینه مدل‌سازی ریاضی آبخوان‌ها و کاربرد آن در مدیریت منابع آب تحقیقات زیادی با اهداف گوناگون انجام شده است. از جمله برای ارزیابی تاثیر طولانی مدت برداشت آب مورد نیاز طرح آبیاری Irawan بر شرایط هیدروژئولوژیکی دشت Murzuq در جنوب غرب لیبی مدل ریاضی مورد استفاده قرار گرفت(Shaki and Adeloye, 2007). در یک مطالعه منطقه‌ای با استفاده از مدل Modflow تأثیر جریان آب زیرزمینی بر روی بیلان آبی مرتبط با دریاچه اطراف محاسبه شد(Reeve et al. 2001). برای شبیه‌سازی دشت تسوج از ترکیب مدل ریاضی و GIS استفاده شده است (خدائی و دیگران، ۱۳۸۴). به منظور بررسی اثرات احداث سد بر روی آبخوان دشت گوهرکوه در استان سیستان و بلوچستان از مدل ریاضی استفاده شده است (سرگزی، ۱۳۸۶). بهره برداری معقول و منطقی از سیستم‌های آب زیرزمینی نیاز به یک پایگاه اطلاعاتی کامل و تهیه مدل جریان آب زیرزمینی دارد، تا بتوان توزیع مکانی بار هیدرولیکی، الگوی جریان وکارآیی طرح‌های مدیریتی را مورد بررسی قرارداد. در سالهای اخیر تلفیق مدلهای هیدروژئولوژیکی وهیدرولوژیکی با GIS اهمیت زیادی پیدا کرده است و تلاشهای زیادی در بالا بردن کارآیی و قابلیت‌های گرافیکی و پردازش اطلاعات GIS و تهیه اینترفازهای GIS برای نرم افزارهای مدل شده است. GMS از جمله این انترفاز می‌باشد (شهسواری، ۱۳۸۲). دشت حصاروئیه واقع در ۶۵ کیلومتری غرب شهرستان زاهدان در شمال غرب استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. در سال‌های اخیر رشد سریع جمعیت در منطقه و برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی باعث منفی شدن بیلان آب زیرزمینی شده است. همچنین خشکسالی‌های دهه اخیر در استان سیستان و بلوچستان، تغییرات نامطلوب

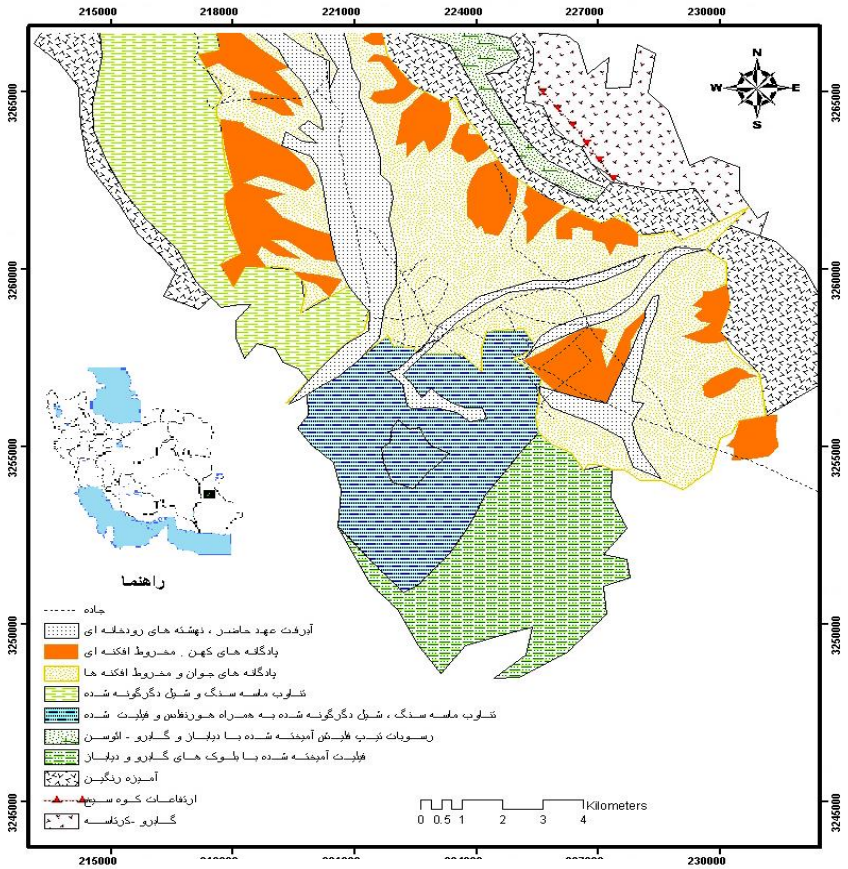
کمی و کیفی در منابع آب زیرزمینی دشت حصاروئیه ایجاد نموده و باعث افت سطح آب زیرزمینی دشت شده است. یکی از راهکارهای مدیریتی در این گونه موارد در جهت بهبود وضعیت آبخوان، عملیات مهار سیلاب و پخش آن بر روی مخروط افکنه‌های نفوذپذیر یا به عبارتی تغذیه مصنوعی آبخوان است که محاسن متعددی از جمله افزایش سطح آب زیرزمینی و کاهش افت، احیاء کشاورزی و کاهش خسارات سیل را به دنبال دارد. سد تغذیه ای گلک به منظور کنترل سیلاب و تغذیه آبخوان دشت حصاروئیه احداث شده است. ارزیابی میزان تاثیر سد تغذیه‌ای بر توسعه آبخوان به منظور اینکه طرح اجرا شده تا چه اندازه باعث افزایش سطح آب زیرزمینی خواهد شد و همچنین ارائه برنامه بهره برداری و تغذیه متناسب با توان پایدار منطقه، نیاز به مطالعه دقیق با استفاده از فن آوری‌های علمی جدید به شدت احساس می‌شود. اعمال مدیریت بهینه و نظارت دقیق آب‌های زیرزمینی در یک محل نیاز به بررسی کامل و توام منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد. با توجه به اهداف ذکر شده در بالا و با توجه به اینکه مدل عددی یکی از ابزارهای مناسب و دقیق جهت تجزیه و تحلیل تغییرات طبیعی و مصنوعی آب‌های زیرزمینی می‌باشد، تهیه مدل جریان آب زیرزمینی دشت حصاروئیه و بررسی اثرات کمی طرح تغذیه مصنوعی به کمک تلفیق مدل عددی و GIS هدف این مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریزحصاروئیه بعنوان کوچکترین واحد مطالعاتی حوضه آبریزکویر لوت، بین طولهای جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۵دقیقه تا ۶۱ درجه شرقی وعرضهای جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۵دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز نصرت آباد، شرق به حوضه آبریز گرگی زیارت، از جنوب به حوضه آبریز دومک و از غرب و جنوب‌غرب توسط ارتفاعات بلند پیر سهراب در حاشیه کویر در حوضه دق کهورک احاطه شده است. محدوده مطالعاتی حصارویه ۱۰۷۶ کیلومتر مربع وسعت دارد. از این میزان ۷۹۴ کیلومتر آن را ارتفاعات و ۲۸۲ کیلومتر آن را دشت تشکیل می‌دهد. وسعت منطقه بیلان یا دشت مرکزی (منطقه مدل سازی شده) ۵۲ کیلومتر مربع است . بلندترین منطقه ارتفاعی محدوده ۲۰۲۵ متر و پست ترین آن در حوالی خروجی حصارو ۱۵۵۰ متر می‌باشد. بر اساس آمار ۲۰ ساله میانگین بارندگی سالانه ۸۳/۱۴ میلیمتر، دمای متوسط سالانه ۱۹ درجه سانتیگراد و متوسط تبخیر سالانه از تشت ۳۸۰۰ میلیمتر گزارش گردیده است. بر اساس روش دومارتن اقلیم منطقه از نوع خشک است و با توجه به این وضعیت اقلیمی در منطقه هیچ گونه رودخانه دائمی وجود ندارد.

در شکل شماره ۱ زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است. به لحاظ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بخشی از سرزمین خاوری ایران (زون نهبندان، خاش یا سلسله جبال مکران) بوده و در محدوده فلیش گونه و آمیزه رنگین این سامان (فلیش‌های شرق ایران) قرار دارد. این محدوده تقریبا در مرز غربی زون فلیش شرق ایران قرار گرفته و در فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتری مرز غربی حوضه آبریز رودخانه گلک توسط گسله راستا لغز پیر سهراب خان، از بلوک لوت (که بخشی از زون زمین ساختی ایران مرکزی است) تفکیک می‌گردد (شرکت مهندسی پارس کنسولت، ۱۳۷۹). با توجه به مطالعات ژئوفیزیک، حفاری‌های اکتشافی و لاگ‌چاه‌ها، آبخوان حصاروئیه از نوع آزاد می‌باشد (دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۳). بر اساس منحنی‌های خطوط تراز سطح آب زیرزمینی جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان به طور کلی از سمت شمال و شمال غرب به سمت مرکز و نهایتاً جنوب و جنوب شرق می‌باشد که نسبتاً از توپوگرافی سطحی تبعیت می‌کند (شکل ۷).



شکل ۱. نقشه زمین شناسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه

معرفی مدل و معادله حاکم

مدل ابزاری است که برای نمایش ساده‌تر واقعیت طراحی شده است (Anderson and Woessner, 1992) به طور مشخص مدل‌سازی ریاضی یک آبخوان، عبارت است از حل عددی معادلات ریاضی حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی که به کمک آن‌ها، سیستم واقعی شبیه‌سازی می‌شود. در این مدلسازی معادله زیر بعنوان معادله‌ای که بر سیستم جریان آب زیرزمینی حاکم است بروش تفاضل محدود حل میگردد.

$$T_{xx}\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+T_{yy}\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}=S\frac{\partial h}{\partial t}+R(x,y) \qquad (۱)$$

در این معادله، h سطح آب در آبخوان، T تانسور ضریب قابلیت انتقال آبخوان، S ضریب ذخیره، R مقدار تغذیه و یا تخلیه از آبخوان ، x و y مختصات جغرافیایی و t متغیر زمان می‌باشند. برای تهیه موفق یک مدل ریاضی برای آبخوان، باید پارامترهای ورودی مدل به درستی شناخته شده باشند تا ساختار مدل توصیف صحیحی از سیستم واقعی ارائه نماید. در مرحله اجرای مدل با ورود ضرایب هیدرودینامیک آبخوان (S و T برای سفره آبدار تحت فشار) یا (K و S_y برای سفره آبدار آزاد) و پارامتر تغذیه و تخلیه (R) و تعریف شرایط مرزی و اولیه، مقدار سطح آبخوان (h) سلول به سلول و برای زمان‌های مختلف محاسبه می‌شود (اصغری و همکاران، ۱۳۸۴). در این مدلسازی از نرم‌افزار GMS که قابلیت تلفیق Modflow با GIS را داشته و نتایج را با ابزار قوی گرافیکی ارائه می‌دهد استفاده شده است.

جمع‌آوری اطلاعات

صحت و دقت مدل‌های عددی بستگی به کیفیت داده‌های ورودی و توانایی این داده‌ها در ارائه شرایط طبیعی دارد. از این رو یکی از مهم‌ترین مراحل در مدل‌سازی، جمع‌آوری داده‌های لازم می‌باشد. برای مدل‌سازی آبخوان آبرفتی دشت حصاروئیه نقشه زمین‌شناسی دومک با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ ، عکس ماهواره‌ای منطقه، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ، لوگ‌های چاه‌های اکتشافی، پیزومتری و بهره برداری و نتایج مطالعات ژئوفیزیک جهت شناخت خصوصیات فیزیکی سیستم و اطلاعات سطح آب زیرزمینی و ضرائب هیدرودینامیکی آبخوان، میزان بارندگی، نرخ پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و تغذیه و تخلیه طبیعی آبخوان جهت شناخت هیدروژئولوژیکی سیستم آبخوان جمع‌آوری شده‌اند. پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، مدل مفهومی منطقه به منظورساده‌تر نمودن پیچیدگی‌های واقعی آبخوان و تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده‌ای تهیه می‌گردد. نتیجه نهایی مدل مفهومی، ایجاد یک پایگاه اطلاعات رایانه‌ای و نقشه‌ها و مقاطع عرضی ساده شده‌ای است که در طراحی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد (کرسیک، ۱۳۸۱). ماهیت مدل مفهومی ابعاد مدل عددی و طراحی شبکه را مشخص می‌کند (Anderson and Woessner, 1992).

تهیه مدل مفهومی

مدل Modflow در GMS را معمولا می‌توان به دو روش شبکه (Grid approach) یا مدل مفهومی (Conceptual model approach) تهیه نمود. در روش شبکه پارامترهای مختلف هر یک از سلول‌ها مستقیماً به آن سلول داده می‌شوند. در واقع در این روش مستقیماً با شبکه سلول‌ها سر و کار داریم و مقادیر تغذیه و تخلیه و دیگر پارامترهای مدل سلول به سلول وارد می‌شوند. این روش برای مدل‌هایی که از پیچیدگی کمتری برخوردارند، مناسب می‌باشد. روش مفهومی که در این تحقیق استفاده گردیده است، شامل استفاده از ابزارهای GIS در مدول نقشه برای تهیه مدل مفهومی منطقه‌ای است که قرار است مدل ریاضی آن تهیه گردد. مدل تفهیمی در مدول نقشه با استفاده از نقاط، خطوط، و چند وجهی‌ها تعریف می‌شود. پس از اینکه مدل تفهیمی تعریف شد، با ایجاد شبکه مدل کلیه پارامترهای تعریف شده در مدل مفهومی به سلول‌های شبکه نسبت داده می‌شوند. در واقع GMS با این روش کلیه اطلاعات مورد نیاز را که در پایگاه اطلاعاتی GIS ذخیره شده است با استفاده از مدول نقشه (map module) برای تهیه مدل مفهومی جمع‌آوری می‌کند و پس از تهیه مدل تفهیمی، آن را به آرایه‌های مدل (model array) تبدیل می‌کند(شکل۲) (شهسواری و خدائی، ۱۳۸۴).

ورودیهای سیستم			مدل تفهیمی			آرایه‌های مدل	
شبکه هیدروژئولوژیکی	(۱)	⇒	مرزهای حوضه	(A)	⇒	BAS	(A,B)
داده‌های هوا و اقلیم	(۲)		تراز پیزومتری اولیه	(B)		LPF	(C)
سطح پیزومتری	(۳)		پارامترهای هیدرولیکی	(C)		GHB	(A)
هیدرولوژی	(۴)		تبخیر و تعرق	(D)		STR1	(C,G)
برداشت آب زیرزمینی	(۵)		تغذیه	(E)		EVT	(D)
پوشش گیاهی	(۶)		شارش (flux)	(F)		RCH	(E)
توپوگرافی	(۷)		کانال‌های جمع‌آوری آب	(G)		WEL	(F)
داده‌های ماهواره‌ای	(۸)						

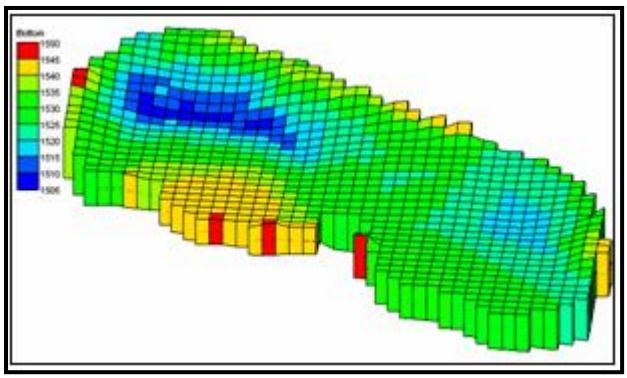
شکل ۲. تهیه و تبدیل مدل تفهیمی برای ساخت آرایه های مدل Mod flow

اطلاعات ورودی مدل

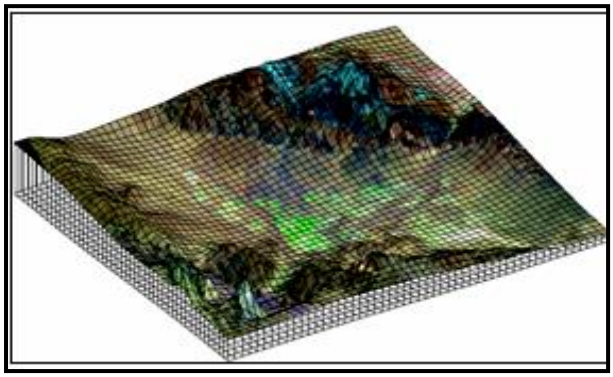
شکل هندسی آبخوان

شکل هندسی آبخوان تابع توپوگرافی سنگ کف و توپوگرافی سطح آبخوان و شرایط مرزی است. یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای ساخت مدل، داشتن ارتفاع سقف و کف لایه و نتیجتاً ضخامت هر لایه می‌باشد. سقف و کف لایه‌ها سطوح مستوی نبوده و دارای پستی و بلندی می‌باشد و لذا ضخامت لایه در نقاط مختلف متغیر بوده و بایستی محاسبه و به مدل وارد شود. از آنجا که آبخوان دشت حصاروییه از نوع آزاد است، مرز فوقانی آبخوان را سطح زمین تشکیل می دهد که تغییرات و شکل آن با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تهیه و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تبدیل به لایه رستری شده و از این لایه تعداد زیادی نقاط رقومی ارتفاعی به دست آمد. این نقاط نیز به صورت فایلی با پسوند txt و به کمک مدول 2D Scatter Point به مدل وارد شدند نهایتاً ارتفاع این نقاط بر اساس روش‌های درونیابی به کل منطقه تعمیم داده شد و مرز فوقانی آبخوان به دست آمد (شکل ۳).

Q



(الف)



(ب)

شکل ۳. الف) توپوگرافی سنگ کف و ب) توپوگرافی سطح آبخوان

شرایط مرزی و اولیه مدل

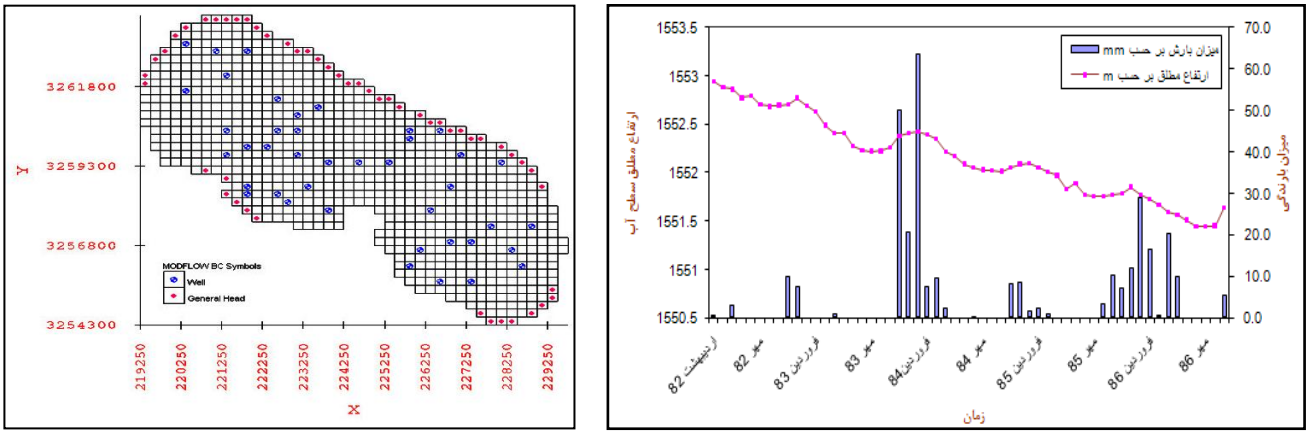
حل معادلات دیفرانسیل جزئی آب‌های زیرزمینی از طریق عددی مستلزم تعیین شرایط مرزی از نظر هیدرولیکی و استفاده از اطلاعات موجود در این مرزها می‌باشد و در غیر اینصورت قابل حل نخواهد بود. تعیین شرایط مرزی یکی از مشکل‌ترین مراحل در مدل‌سازی آب زیرزمینی می‌باشد. برای تعیین شرایط مرزی بر روی مرزهای منطقه، با بررسی داده‌های سطح ایستابی چاه-های پیزومتریک منطقه و رسم خطوط تراز ارتفاع سطح ایستابی نقاط ورودی و خروجی جریان آب زیرزمینی مشخص شد. نهایتاً برای شبیه‌سازی نقاط ورودی و خروجی آب زیرزمینی از بسته مرز با بار عمومی که به اختصار GHB (General head boundary) خوانده می‌شود استفاده شد (شکل ۳). این نوع مرز برای تعیین مقدار جریان انتقالی از رابطه زیر استفاده می‌کند.

$$Q_b=C_b\times(h_b-h) \qquad (۲)$$

که در این رابطه ، h_b بار هیدرولیکی در سلول مرزی، h بار هیدرولیکی در سلول آبخوان مجاور به مرز و C_b میزان هدایت هیدرولیکی بین منبع تامین-کننده جریان و مرز شبکه اصلی است که به مقدار K ضریب هدایت هیدرولیکی روی مرز، A مساحت عمود بر جریان انتقالی و L فاصله بین منبع تامین‌کننده جریان و مرز شبکه اصلی وابسته است. مرزهای دیگر آبخوان، از نوع مرز بدون جریان (no flow) یا جریان صفر (نوع نیومن) یا مرز نفوذ ناپذیر در نظر گرفته شده‌اند. البته این بدان معنا نیست که آبخوان در آن حدود اجباراً با لایه نفوذناپذیر مواجه باشد بلکه این مرزها در حقیقت خط جریان آب زیرزمینی‌اند که عمود بر خطوط هم پتانسیل بوده و بعنوان مرز بدون جریان در نظر گرفته می‌شوند.

برای اجرای مدل باید شرایط اولیه بار آبی به مدل داده شود تا مدل بتواند بر طبق بار آبی اولیه داده شده به آن برای حل معادلات دیفرانسیل، بار آبی در کل آبخوان را محاسبه کند. اجرای مدل چه در شرایط پایدار و چه در شرایط ناپایدار نیاز به شرایط اولیه بار آبی دارد. اهمیت بار آبی اولیه ورودی به مدل در دو شرایط ذکر شده یکسان نمی‌باشد. بدین منظور بار اولیه در شرایط پایدار، سطح آب مشاهده‌ای پیزومترهای منطقه در مهرماه ۱۳۸۳ که طبق هیدروگراف واحد دشت (شکل ۴) کمترین تغییرات را داشتند و نزدیک به حالت پایدار است ، در نظر گرفته شده است. حین شبیه‌سازی جریان، بارهای هیدرولیکی اولیه برای سلول‌های تحت محاسبه، با توجه به خصوصیات هیدرولیکی آبخوان و بار هیدرولیکی مرزهای GHB ، حد آن به مقدار واقعیش نزدیک می‌شود. در شرایط ناپایدار، بار آبی نهایی محاسبه شده توسط مدل کاملاً به بار آبی اولیه وابسته می‌باشد و با تغییر آن، نتیجه نهایی نیز تغییر می‌یابد. در نتیجه بار آبی محاسبه شده در حالت پایدار به عنوان بار آبی اولیه شرایط ناپایدار فرض شده است.

چاه های پیزومتری، شرایط هیدروژئولوژیکی و مرزهای زمین شناسی مشخص شده است.



شکل ۴. هیدروگراف معرف آبخوان (سمت راست) و شرایط مرزی (سمت چپ)

ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان

ضرائب هیدرودینامیکی، شامل هدایت هیدرولیکی (K) و آبدهی ویژه (S_y) می‌باشد که این مقادیر به دلیل کمبود آزمایش‌های پمپاژ در منطقه، با استفاده از لاگ پیزومترها ، جنس لایه های آبرفتی ، با کمک جداول استاندارد و با در نظرگرفتن همان آزمایش‌های محدود صورت گرفته به دست آمد و به صورت منطقه‌ای به مدل وارد گردید تا بعداً در مرحله واسنجی به وسیله مدل، بهینه گردند. بدیهی است این مقادیر در مرحله واسنجی تا حد مجاز قابل تغییر خواهند بود.

منابع آبی و شبکه چاههای پیزومتری

در محدوده مدل سازی ۴۵ حلقه چاه بهره برداری قرار دارد (شکل ۴). از آنجائی که هیچ‌گونه قنات و چشمه‌ای در محدوده مدل‌سازی وجود ندارد، چاه‌ها بزرگترین منبع تخلیه کننده‌ی آب دشت حصاروئیه می‌باشند. در ماه‌های مختلف سال مقدار پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری با توجه به الگوی کشت، متفاوت می‌باشد. در فصول سرد چون کشتی انجام نمی‌شود، مقدار برداشت از چاه‌ها کمتر می‌شود و در فصول گرم سال که کشت انجام می‌شود، و نیاز آبی کشاورزان افزایش می‌یابد برداشت بیشتری از چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد.چاه‌های پیزومتری، از مهمترین ورودی‌های مدل می‌باشند. از ارتفاع مطلق سطح آب این پیزومترها که ماهانه اندازه‌گیری شده‌اند برای کالیبراسیون مدل استفاده می‌شود. برای مدل سازی دشت از آمار سطح آب ۷ حلقه چاه پیزومتری استفاده گردیده است. محدوده مدل سازی نیز با توجه به وضعیت

تغذیه آبخوان

در محدوده مورد مطالعه، تغذیه آبخوان از سه طریق: تغذیه ناشی از ریزش‌های جوی، تغذیه ناشی از آب برگشتی آبیاری و تغذیه از طریق مسیل گلک و رواناب‌های سطحی صورت می‌گیرد.تغذیه ناشی از بارندگی‌ها بر آبخوان-ها، به خصوص آبخوان‌های آزاد تاثیر بیشتری می‌گذارد. در بیشتر مقالات مقدار آن بین ۴٪ تا ۲۰٪ توصیه شده است (Mitchell et al., 2001). با توجه به میزان تبخیر از بارندگی و وضعیت رسوبات آبخوان و فاصله بارندگی‌ها میزان نفوذ حاصل از بارندگی به آبخوان حصاروئیه ۱۰ درصد از مقدار بارش در نظر گرفته شده است. برای تعیین آب برگشتی آبیاری، محدوده مورد مدلسازی بر اساس موقعیت چاه های بهره برداری و وضعیت زمین های کشاورزی منطقه‌بندی گردید و تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی فقط به مناطق با کاربری کشاورزی اختصاص یافت. تغذیه ناشی از آب برگشتی از چاه‌های بهره برداری ۲۰ درصد میزان برداشت در نظر گرفته شد. همانگونه که قبلاً گفته شد در منطقه هیچ گونه رودخانه دائمی وجود ندارد. مهم‌ترین مسیل محدوده مورد مطالعه ، مسیل گلک است که از تنگه‌ای واقع در ارتفاعات شرقی دشت عبور کرده و زه‌آب های موجود در این بخش از محدوده را جمع‌آوری و به سمت دشت هدایت می‌کند و تنها در مواقع سیلابی دارای جریان‌های قابل توجه می-باشد. سد تغذیه‌ای گلک در این محدوده، با هدف جلوگیری از فرار سیلاب‌های رودخانه گلک و رهاکردن تدریجی آب‌های ذخیره شده به منظور تغذیه آبخوان احداث شده است. با به دست آوردن حجم آب رها شده از سد گلک به منظور تغذیه آبخوان و نیز زمان رهاسازی، پس از کسر نمودن تلفات تبخیر، میزان

حجم آب باقی مانده به صورت تغذیه و با استفاده از بسته Recharge تنها به مسیر رودخانه و فقط به همان زمان خاص تخصیص داده می‌شود.

طراحی و اجرای مدل

شبکه‌بندی آبخوان

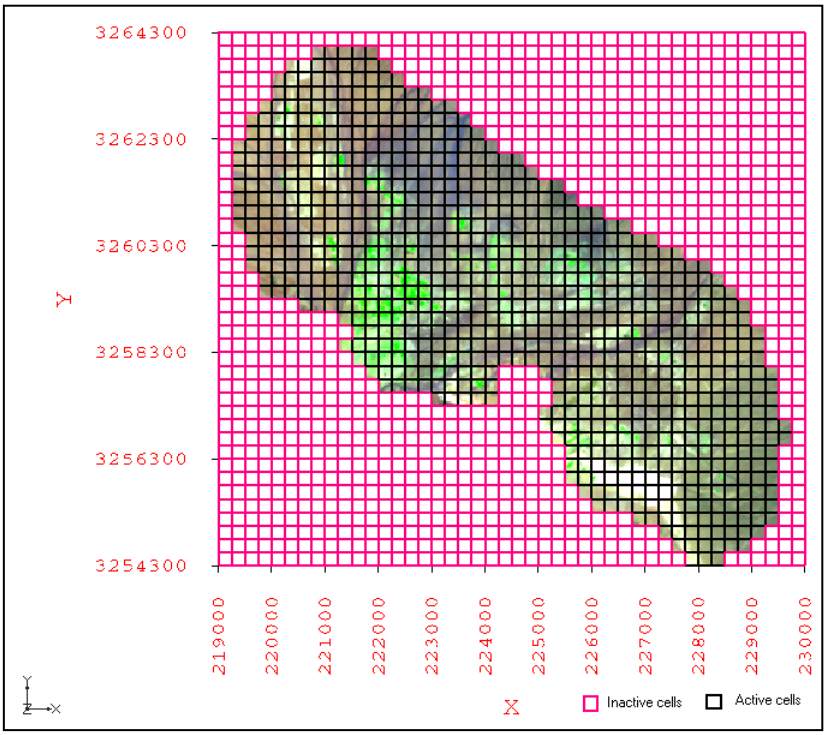
بعد از اینکه تمام پارامترهای مورد نیاز برای شبیه سازی در مدل مفهومی تعریف گردیدند، طراحی شبکه‌ای مدل و تفکیک‌سازی مکانی و زمانی مدل صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه تمامی نقشه‌ها در محیط GIS تهیه شده‌اند و به علاوه نرم افزارهای GIS امکان شبکه بندی را با هر اندازه فراهم آورده و نتایج را به راحتی به فرمت قابل تغذیه در GMS تبدیل می‌کند، شبکه بندی مدل با هر اندازه‌ای ممکن می‌باشد. با توجه به وضعیت زمین شناسی، توپوگرافی، نقشه‌های هم پتانسیل، نقشه منابع آب و وسعت منطقه مورد مطالعه، شبکه‌ای با سلول هایی به ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ متر مربع شامل ۴۴ سطر و ۴۰ ستون برای محدوده مورد نظر تهیه شده است که پارامترهای تهیه شده در مرحله مدل مفهومی به هر یک از سلول های مدل اختصاص داده می‌شوند. از اینرو شبکه‌بندی مدل مجموعاً شامل ۱۷۶۰ سلول می‌باشد که تعداد ۸۲۴ سلول در داخل محدوده مورد بررسی قرار می‌گیرند (شکل ۵).

واسنجی

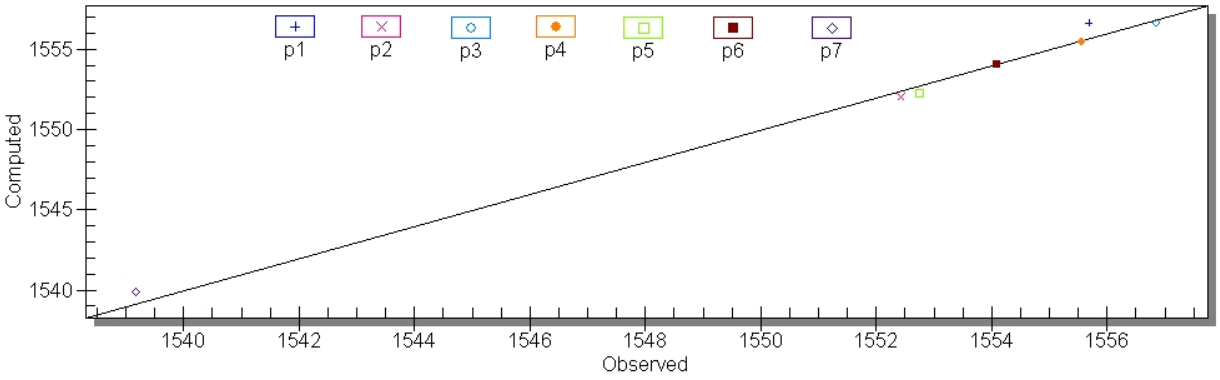
واسنجی فرآیند تغییر پارامترهای ورودی به مدل (شامل میزان تغذیه و تخلیه از منابع آبی و مرزهای GHB ، ضخامت آبخوان، هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و یا ضریب آبدهی ویژه و ...) در یک محدوده معین است تا زمانی که بهترین درجه از تطابق بین سیستم هیدروژئولوژیکی فیزیکی مشاهده شده با سیستم شبیه‌سازی شده برقرار گردد. در این پژوهش، هدف از واسنجی، رساندن اختلاف بین نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی به حداکثر ۱ m ± و خطای RMS کمتر از ۰/ ۷ بوده است . بدین منظور مدل در دو حالت پایدار و ناپایدار واسنجی شده است.

واسنجی در حالت پایدار

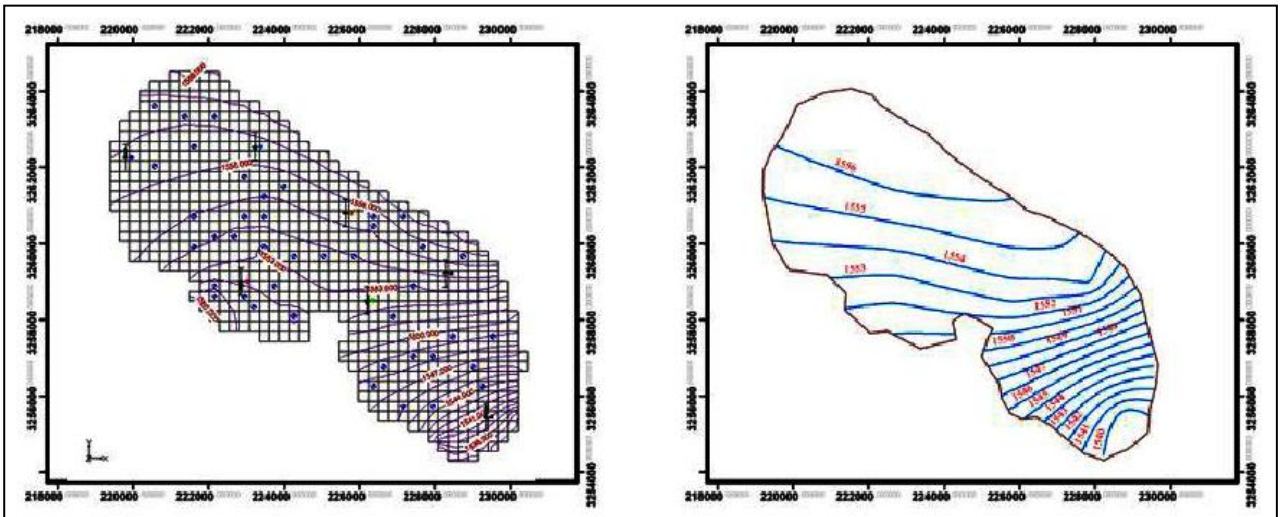
هیدروگراف واحد دشت در مهر ماه ۱۳۸۳ کمترین نوسان را نشان داده است و لذا داده‌های سطح آب چاه‌های پیزومتری در این ماه جهت واسنجی در شرایط پایدار به کار رفته است. در اثنای واسنجی، کاربر باید بر پارامترهایی تمرکز نماید که با صحت کمتری تعیین یا فرض شده‌اند و پارامترهایی را که مطمئن‌تر هستند، فقط به طور مختصر تغییر دهد. از اینرو با شروع واسنجی به روش سعی وخطا پس از اولین اجرای مدل، در مقدار پارامتر K که بر اساس آزمایش‌های پمپاژ محدود و لاگ چاه ها به مدل وارد شده بود، تغییرات مختصری داده شد و پارامترهای دیگر مدل نظیر شرایط مرزی جریان ورودی و خروجی زیرزمینی (که با تنظیم مقادیر دو پارامتر قابلیت انتقال، بار هیدرولیکی هر سلول کنترل می‌شود) و تراز سنگ کف و تغذیه در طول چندین ده مرتبه اجرای مدل تغییر داده شدند تا به برازش نسبتاً مناسبی (با توجه به هدف واسنجی) بین بارهای هیدرولیکی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده (شکل ۶) و همچنین سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای حاصل شود (شکل ۷). ضریب هدایت هیدرولیکی مهم‌ترین پارامتری است که در مرحله پایدار بهینه می‌شود. در شکل ۸ مقادیر و منطقه‌بندی هدایت هیدرولیکی بهینه شده آورده شده است.



شکل ۵. سلول های فعال و غیر فعال در شبکه بندی مدل



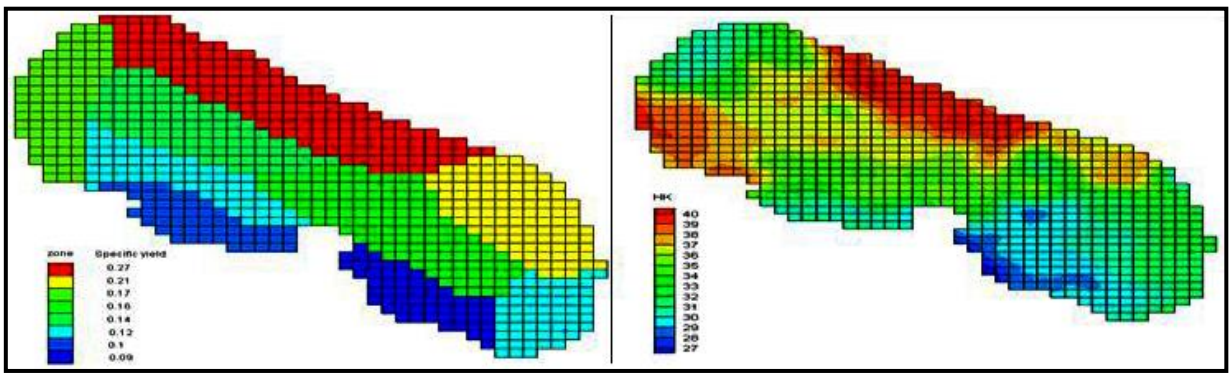
شکل۶. نمودارمقایسه بار آبی محاسباتی و مشاهده‌ای درآخرین اجرای مدل در شرایط پایدار



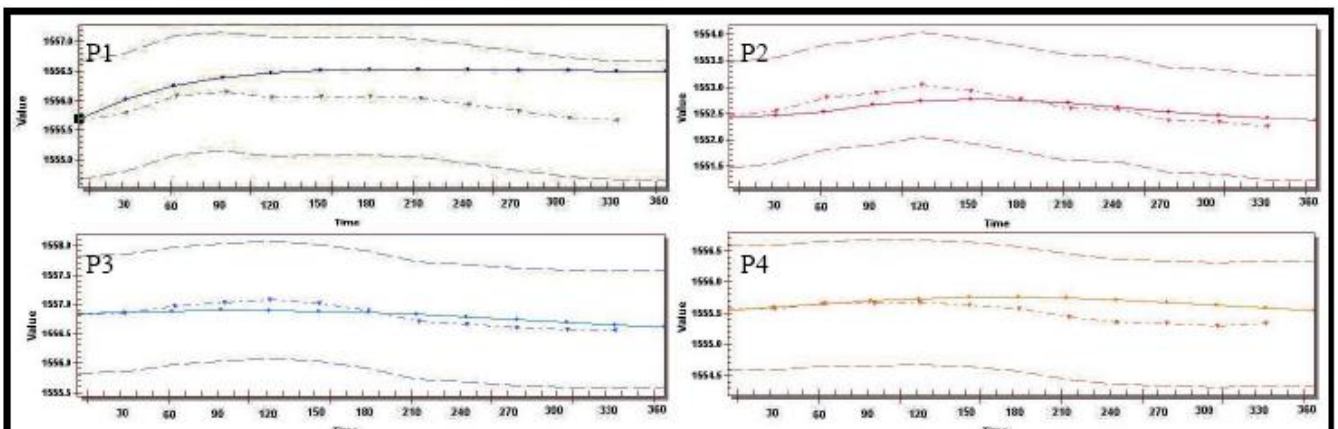
شکل ۷. نقشه هم ارزش تراز آب زیرزمینی مشاهده‌ای (راست) و محاسبه‌ای (چپ) در شرایط پایدار

واسنجی در حالت ناپایدار

اگر چه به نظر می‌رسد که مدل در شرایط پایدار خوب اجرا می‌شود، لکن اکثر مسائل عملی مدل‌سازی در مدیریت آب‌های زیرزمینی از جمله تصمیم-گیری بر روی زمان، دینامیک و پویا هستند. برای چنین مسائلی می‌بایست مدل برای شرایط ناپایدار که عنصر زمان را نیز دخیل می‌کند، استفاده گردد (شرکت مهندسی پارس کنسولت، ۱۳۷۹). بعد از واسنجی مدل در حالت پایدار، مدل باید در حالت ناپایدار کالیبره شود چون شرایط حاکم بر آبخوان‌ها اساسا شرایطی ناپایدار می‌باشد. در شرایط ناپایدار علاوه بر مشخص کردن شرایط مرزی لازم است شرایط اولیه نیز تعریف گردد. شرایط مرزی مدل در این حالت همانند شرایط پایدار به صورت مرز GHB در نظر گرفته شده است. با این تفاوت که مقادیر h_b از هر دوره تنش به دوره دیگر به میزان مختصری تغییر داده می‌شوند. شرایط اولیه در مدل کمی، بار هیدرولیکی در هر سلول می‌باشد که در حالت ناپایدار، نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل در شرایط پایدار، بهترین مقادیر برای شرایط اولیه می‌باشند. مقدار برداشت آب از چاه‌های بهره‌برداری منطقه با توجه به نیاز آبی ، الگوی کشت و در نظر گرفتن چاه‌های انتخابی که به صورت فصلی آمار برداری می‌شوند برای هر ماه از سال تخمین زده شده و به صورت ۱۲ پریود مختلف به مدل وارد شده است.در فصول کشت و زراعت که نیاز آبی بیشتر می‌باشد ضریب بیشتری برای برداشت از چاه‌های پمپاژ اعمال شده است و در فصول تر بالعکس . مقدار تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی، بارندگی و رواناب‌های مسیل گلک به صورت ۱۲ پریود مختلف به مدل وارد شده است.به دلیل کمبود اطلاعات حاصل از آزمایش‌های پمپاژ، با توجه به وضعیت رسوبات منطقه، لاگ چاه‌ها و جداول استاندارد منطقه‌بندی اولیه‌ای برای آبدهی ویژه در نظر گرفته شد. در مرحله بعد با اجرای مدل و انجام محاسبات، ضریب آبدهی ویژه بهینه می‌شود (شکل ۸) و هدایت هیدرولیکی در این مرحله ثابت باقی می‌ماند، چون در شرایط پایدار کالیبره شده است. با توجه به واسنجی شرایط پایدار در مهر ۱۳۸۳ از داده‌های سطح آب مربوط به آبان ۱۳۸۳ تا پایان مهر ۱۳۸۴، برای واسنجی ناپایدار استفاده شده است یا به عبارت دیگر مدل در این بازه زمانی کالیبره شده است. با توجه به قابلیت مدل و کارایی خوب هیدروگراف‌های چاه‌های مشاهده‌ای در شناسایی منابع خطا، مبادرت به ترسیم هیدروگراف مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی برای همه چاه-های مشاهده‌ای شد. شکل ۹ هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای پیزومترها را پس از واسنجی مدل در حالت ناپایدار در بازه زمانی آبان ۱۳۸۳ تا مهر ۱۳۸۴ نشان می‌هند. همانگونه که مشاهده می‌شود روند تمام هیدروگراف-های محاسباتی منطبق با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای است و در محدوده قابل قبول واقع شده است.



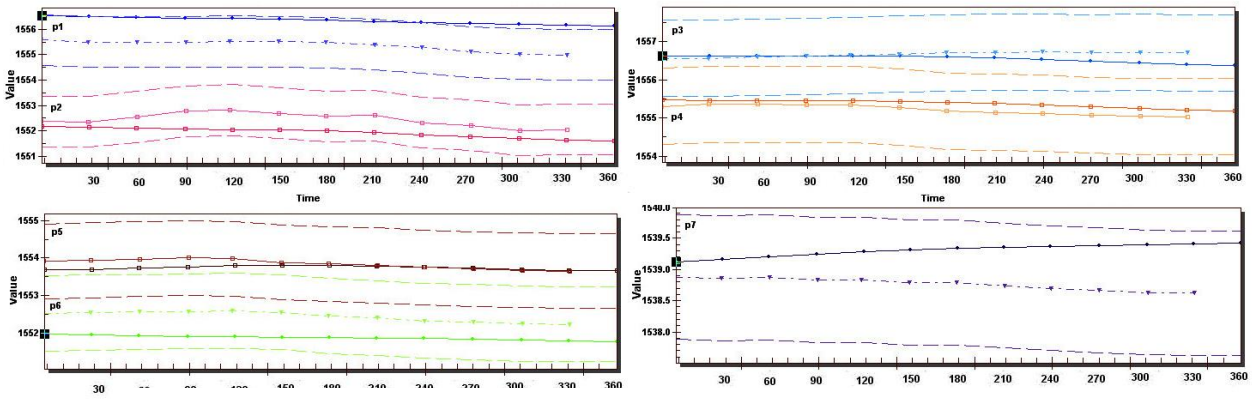
شکل۸. هدایت هیدرولیکی بهینه شده (راست) و آبدهی ویژه بهینه شده (چپ)



شکل ۹. مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی پس از واسنجی مدل در شرایط ناپایدار

صحت سنجی

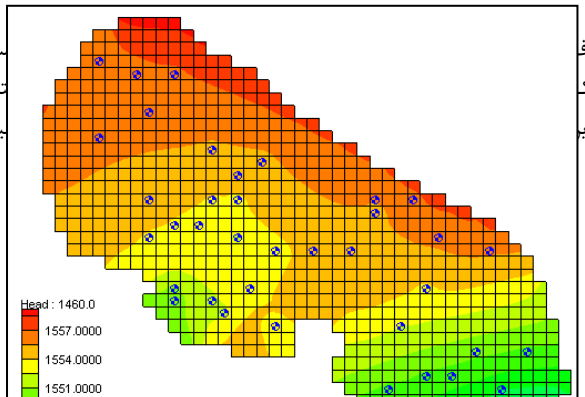
یک مدل که با دقت مناسبی واسنجی شده باشد، چنانچه تحت استرس-های مختلفی غیر از استرس‌های دوره واسنجی قرار گرفت، باید نتایج قابل قبولی ارائه کند. یعنی بدون تغییر منطقه‌بندی‌های به دست آمده برای مقادیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و تا حدودی درصد نفوذ آب ناشی از بارندگی، مدل باید بتواند شرایط جدید را شبیه‌سازی کند. بنابراین بعد از واسنجی در حالت غیر ماندگار باید مدل را برای یک دوره زمانی مورد آزمون قرار داد. حالت غیر ماندگار باید مدل را برای یک دوره زمانی مورد آزمون قرار داد تا صحت داده های خروجی آن اثبات گردد. بدین منظور به مدت ۱۲ ماه از آبان ۱۳۸۴ تا انتهای مهر ۱۳۸۵ پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه، به وسیله مدل به عمل آمده و سپس مقادیر مشاهده شده صحرایی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفته است. مدل تهیه شده از این لحاظ نتایج نسبتاً قابل قبولی ارائه می‌دهد(شکل ۱۰).



شکل ۱۰. نمودار سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای پیزومترهای محدوده مدل‌سازی در مرحله صحت سنجی (خط چین تراز مشاهداتی

پیش بینی و اجرای سناریوهای مدیریتی

در حالتی که مدل در دو حالت ماندگار و غیرماندگار واسنجی و صحت-سنجی گردد، از آن می‌توان برای مدیریت و پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان که



آبخوان انتخاب گردد. بر این اساس در ادامه سناریوهای مدیریتی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند.

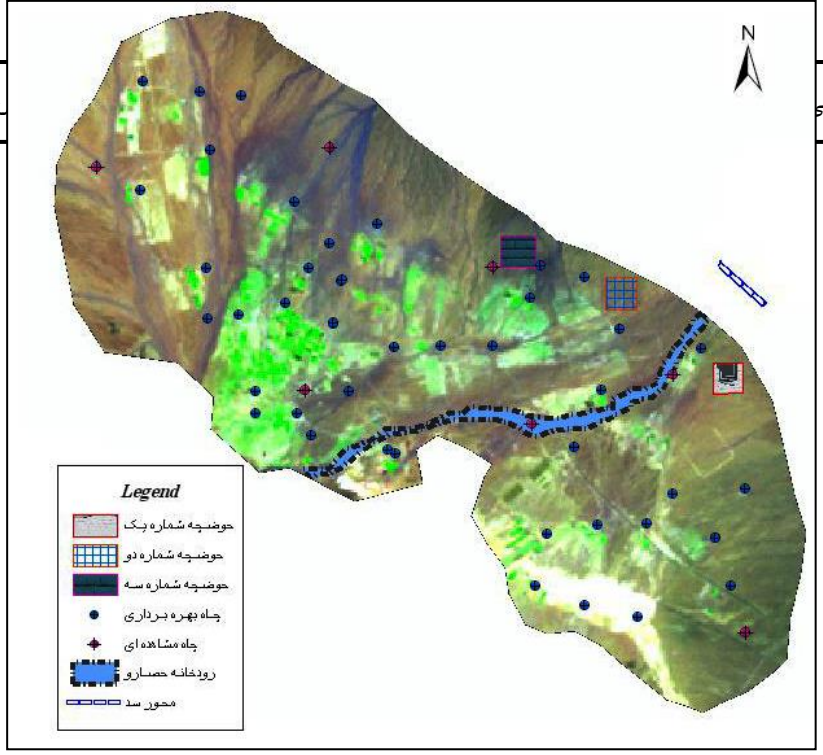
وضعیت آینده آبخوان با ادامه روند کنونی (رهاسازی تدریجی آب در مسیر رودخانه)

در این سناریو استرس‌های وارد بر سیستم در وضعیت کنونی و آینده با شرایط حاکم بر آبخوان برای دوره کالیبراسیون مشابه فرض می‌گردد. در این گزینه برای پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان، میزان بارندگی در سال‌های پیش-بینی برابر با متوسط ۲۰ ساله ایستگاه‌های اطراف محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شده است و دیگر پارامترها از جمله مقادیر ورودی و خروجی آب زیرزمینی و میزان برداشت چاه‌ها با فرض ممنوع بودن افزایش برداشت در طی دوره پیش‌بینی مشابه با مدل صحت سنجی شده منظور شده است. لازم به ذکر است که در این گزینه مدیریتی، میزان تغذیه از طریق سد گلک در دوره پیش-بینی نیز با توجه به آمار بلند مدت بارندگی و تبخیر در منطقه برای ماه‌های پر بارش محاسبه شد و به مسیر رودخانه اختصاص داده شد. دوره پیش‌بینی به مدت ۴ سال (مهر ۱۳۸۷ تا مهر ۱۳۹۱) اجرا شده است و نتایج حاصل از اجرای مدل به صورت خطوط کنتوری هم پتانسیل سطح آب زیرزمینی برای ابتدای مرحله پیش‌بینی (مهر ۱۳۸۷) و انتهای آن (شهریور ۱۳۹۱) در شکل۱۱ آورده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که با ادامه روند کنونی و تزریق آب در مسیر رودخانه، در پایان دوره پیش‌بینی ، فقط در نواحی اطراف رودخانه شاهد افزایش سطح آب هستیم ، لکن در دیگر قسمت‌ها به ویژه در نواحی مرکزی و شمال غرب به دلیل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری افزایش افت را خواهیم داشت و تغذیه بر این نواحی هیچ گونه اثری ندارد. در قسمت جنوب شرقی دشت در نزدیکی خروجی در محدوده کوچکی سطح آب خیلی بالا آمده است، دلیل آن می‌تواند هدایت هیدرولیکی پائین و همچنین کمتر بودن عمق سنگ کف در این قسمت نسبت به دیگر قسمت‌های دشت باشد. در مراحل بعد با اجرای گزینه‌های مدیریتی مختلف تغذیه مصنوعی به دنبال گزینه‌ای هستیم تا بیشترین تأثیر را در افزایش بهره‌وری و افزایش سطح آب زیرزمینی کل دشت به ویژه نواحی دارای افت زیاد داشته باشد.

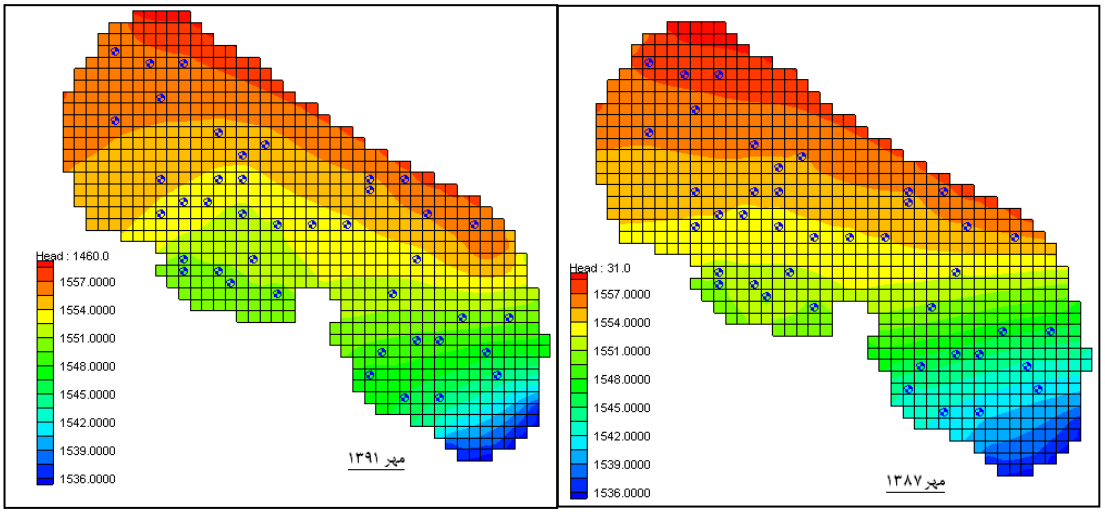
تغذیه مصنوعی از طریق انتقال آب به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی

هدف از اعمال این سناریو تعیین مناسبترین مکان برای ساخت حوضچه‌های تغذیه و مناسبترین زمان برای تزریق آب به سفره می‌باشد. قبل از اینکه به بررسی حالت‌های مختلف تغذیه پرداخته شود، باید مقدار خالص تغذیه مشخص شود. حجم کل مخزن سد برابر با ۴/۱۸ میلیون متر مکعب است که در حدود ۲/۸ میلیون متر مکعب حجم مفید مخزن محاسبه گردیده که در این حالت ارتفاع نرمال آب معادل ۲۳ متر بوده و سطح دریاچه معادل ۳۷/۲۰هکتار خواهد بود. مقدار حجم آب تبخیر شده از پشت سد با توجه به متوسط تبخیر سالیانه در یک دوره ۲۰ ساله ایستگاه نصرت آباد برابر با ۱/۴ میلیون متر مکعب محاسبه گردیده است. بدین ترتیب پس از کسر تلفات تبخیر در طول سال مقدار حجم مفید کل آب جمع آوری شده برای تزریق به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی برابر با ۱/۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. محل‌هائی که برای تغذیه مصنوعی پیشنهاد میگردند دارای معیارهائی از جمله ۱-رقوم ارتفاعی پائین تر از ارتفاع محل سد،۲- هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه مناسب،۳- ضخامت آبرفت مناسب ۴- فاصله مناسب از محل چاه‌های بهره برداری، ۵- فاصله مناسب از خروجی آب زیرزمینی، ۶- فاصله کوتاه‌تر تا محل سد، ۷- وجود زمین کافی جهت ایجاد حوضچه‌های تغذیه میباشد. با توجه به این فاکتورها، ۳ نقطه (حوضچه شماره یک، دو و سه) برای تغذیه مصنوعی مشخص گردید. (شکل ۱۲). آب جمع آوری شده به وسیله سد به هر کدام از این نقاط تزریق می‌شود و اثرات آنرا بر روی تغییرات سطح آب در دشت مورد بررسی قرار داده و نتایج به صورت خطوط هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی در شکل‌های ۱۳ ، ۱۴ و ۱۵ آورده شده است. به کمک نتایج فوق می‌توان گزینه برتر را شناسایی نموده و آن را به عنوان محل مناسب احداث طرح‌های تغذیه مصنوعی انتخاب نمود. مساحت محدوده‌ای که برای تغذیه به کار گرفته شده یک کیلومتر مربع می‌باشد که صرفاً برای نشان دادن اثر تغذیه به کار گرفته می‌شود و در صورت اجرای طرح تغذیه مصنوعی بایستی مطالعات زیادی مبنی بر مساحت و محل تغذیه انجام گیرد. در حالت اول تغذیه در حوضچه شماره ۱ که تقریبا در شرق سفره آبدار و در فاصله حدود ۲ کیلومتری محور سد قرار دارد منظور میگردد. دلیل انتخاب این محل برای احداث حوضچه، داشتن ضرایب هیدرودینامیکی نسبتاً خوب ، فاصله کوتاه تا محل سد، داشتن زمین کافی جهت ایجاد حوضچه و دیگر پارامترهای گفته شده در بالا بوده است.



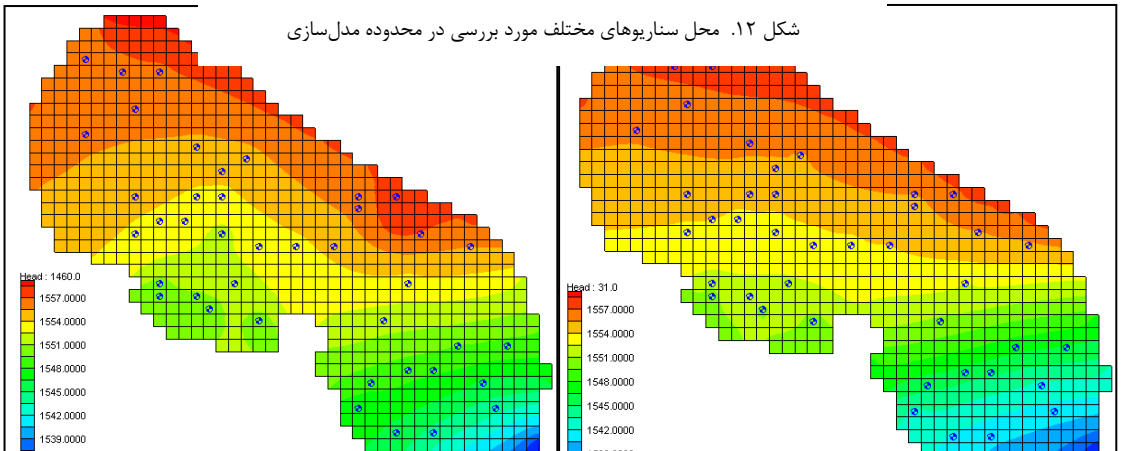
نتایج اجرای این سناریو در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در پایان دوره پیش‌بینی فقط نواحی اطراف حوضچه و همچنین جنوب غرب دشت تحت تاثیر قرار گرفته و افزایش سطح آب در این بخش‌ها دیده می شود. اجرای تغذیه مصنوعی در این محل هیچ گونه تاثیری بر نواحی مرکزی، شمال و شمال غرب دشت نخواهد داشت و این نواحی همچنان در حال افت هستند.

با توجه به این که اجرای تغذیه مصنوعی در محل حوضچه شماره یک بر روی نواحی مرکزی دشت که محل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و قاعدتاً فعالیت-های کشاورزی است هیچ گونه تأثیری ندارد، لذا در دومین گزینه حوضچه شماره دو انتخاب شد که یکی از دلایل انتخاب این نقطه علاوه بر موارد ذکر شده قبلی قرار گرفتن آن در بالا دست چاه‌های کشاورزی می‌باشد.

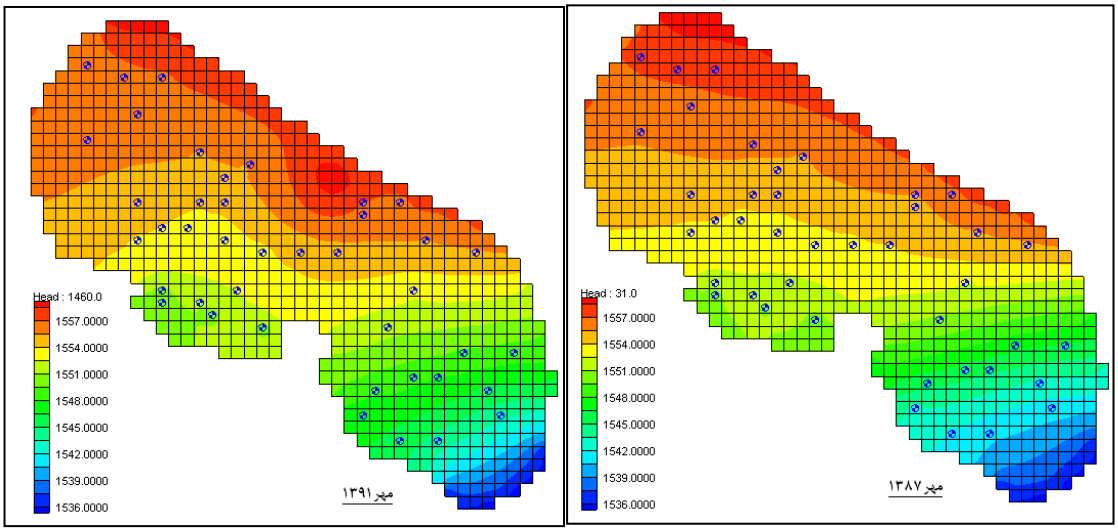


شکل۱۳. مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی ابتدا و انتهای دوره پیش‌بینی با تزریق در حوضچه شماره یک

شکل ۱۲. محل سناریوهای مختلف مورد بررسی در محدوده مدل‌سازی



شکل ۱۴. مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی ابتدا و انتهای دوره پیش‌بینی با تزریق در حوضچه شماره ۲



شکل۱۵. مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی ابتدا و انتهای دوره پیش‌بینی با تزریق در حوضچه شماره ۳

فاصله محل تغذیه تا محور سد حدود ۲ کیلومتر است. با اجرای این گزینه همان طور که در شکل ۱۴ شاهد هستیم فقط نواحی اطراف خود حوضچه و برخی نواحی جنوب غرب دشت تحت تاثیر قرار می‌گیرند. علت آن است که همانگونه که قبلاً گفته شد جهت جریان آب زیرزمینی در دشت تقریبا از توپوگرافی سطحی تبعیت می‌کند. در نتیجه آب تزریق شده در این نقطه با توجه به شیب منطقه و در جهت جریان آب زیرزمینی بیشتر به سمت جنوب غرب حرکت می‌کند و بالاآمدگی سطح آب را در جنوب غرب دشت که از هدایت هیدرولیکی کمتر نسبت به اطراف و سنگ کف نسبتاً بالاتر برخوردار می‌باشد مشاهده می شود. اجرای این سناریو نیز تاثیر چندانی بر نواحی مرکزی دشت نخواهد داشت. در سومین استراتژی تغذیه در محل حوضچه شماره ۳ در فاصله حدود سه کیلومتری از محور سد اعمال می‌شود. دلیل مهم انتخاب حوضچه در این قسمت علاوه بر دلایلی که در بالا ذکر شد این است که بیشترین افت سفره آبدار در قسمت مرکزی دشت (پایین منطقه انتخابی) می‌باشد و هدف بهبود وضعیت آبخوان در نقاط دارای افت زیاد می‌باشد. با اعمال تغذیه در این نقطه، افزایش سطح آب در اکثر نواحی دشت به ویژه نواحی مرکزی که تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و فعالیت کشاورزی بیشتر است، مشاهده می شود (شکل ۱۵). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، می‌توان اجرای طرح تغذیه مصنوعی در حوضچه شماره ۳ (شکل ۱۲) را به عنوان گزینه برتر معرفی کرد. همان طور که ملاحظه میشود تزریق در این نقطه در افزایش تراز آب غالب نواحی دشت موثر است. به عبارتی تغذیه در این نقطه اکثر نواحی دشت را که با خطر افت سطح آب مواجه هستند، تحت تأثیر قرار می‌دهد و نسبت به دیگر گزینه‌ها کارآیی بهتری دارد. از طرفی حوضچه شماره ۳ در جایی قرار دارد که پایین دست آن زمین‌های کشاورزی بیشتری وجود دارد و فعالیت کشاورزی رونق بیشتری دارد و در اثر تزریق به این نقطه می‌توان زمین‌های بیشتری را زیر کشت برد.

در ارتباط با بهترین زمان برای تزریق آب به حوضچه‌ها، ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین ارزیابی گردید. با توجه به اینکه بیشتر حجم رواناب‌های فصلی در اواسط بهمن و اسفند ماه جاری می‌شود، با این کار از تبخیر بیشتر آب جمع‌آوری شده در پشت سد نیز جلوگیری می‌شود. از طرفی همزمان با جمع-آوری آوری آب در پشت سد، به فاصله زمانی کمی آب را به حوضچه‌ها انتقال داده و بدین ترتیب بیشترین بهره‌وری صورت می‌گیرد. به طور کلی این کار چندین مزیت دارد: ۱) حجم آب تزریقی به حوضچه‌ها بالا می‌رود. ۲) از تبخیر زیاد آب حاصل از جمع‌آوری رواناب‌ها در پشت سد و نگهداری آن به مدت ۱۲ ماه جلوگیری می‌شود. ۳) با توجه به احداث حوضچه‌های تغذیه مصنوعی و

تزریق آب در ماه‌های مناسب، می‌توان افزایش تولید محصولات کشاورزی و زیرکشت رفتن بیشتر زمین‌های خالی را در منطقه انتظار داشت.

لازم به ذکر است که انتخاب یک گزینه مدیریتی در میان گزینه‌های مختلف، بستگی به عوامل زیادی از جمله عوامل اقتصادی دارد. لکن در این تحقیق، نتایج مدیریتی حاصل از مدل ریاضی تهیه شده، به منظور مدیریت هیدرولیکی سیستم قابل استفاده می‌باشد و جنبه اقتصادی مسئله چندان مورد توجه نبوده است.

نتیجه‌گیری

۱- مهمترین نتیجه حاصل از این تحقیق انتخاب مناسبترین مکان برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، بهترین محل برای احداث حوضچه تغذیه مصنوعی ،حوضچه شماره ۳ در فاصله حدود سه کیلومتری از محور سد گلک معرفی گردید. اجرای طرح تغذیه مصنوعی در این محل می‌تواند باعث احیای آبخوان شده و از کاهش بی‌رویه سطح آب زیرزمینی به ویژه در پایین دست حوضچه که محل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری است، جلوگیری کند.

۲- از دیگر دستاوردهای این تحقیق می توان به تخمین مقدار و توزیع ضرایب هیدرودینامیکی اشاره نمود. هدایت هیدرولیکی بهینه شده در شرایط پایدار، در شمال دشت در مقایسه با اطراف بیشتر است و به حدود ۴۰ متر بر روز می‌رسد و هرچه به سمت جنوب و خروجی دشت نزدیک می‌شویم مقدار هدایت هیدرولیکی کم می‌شود، به گونه‌ای که در بخش جنوب غربی دشت مقدار آن به ۲۷ متر بر روز می‌رسد. مقدار آبدهی ویژه بهینه شده در شرایط ناپایدار از سمت شمال در ارتفاعات و محل ورودی‌های دشت به سمت جنوب و جنوب غرب کاهش می‌یابد. دامنه تغییرات آبدهی ویژه از ۰/۲۷ تا ۰/۰۹ می‌باشد.

۳- با توجه به احداث سد گلک در منطقه، مدیریت طرح تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی توسط آب جمع‌آوری شده در پشت سد، می‌تواند یکی از راه حل‌های مناسب برای بهبود شرایط آبخوان باشد، در این خصوص مکان و زمان از جمله عوامل مهم در جهت تاثیر بهینه تغذیه مصنوعی بر آبخوان می‌باشد.

۴- در ابتدا مدل برای چهار سال آبی (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱) با ادامه شرایط فعلی پیش‌بینی گردید و بر اساس نتایج به دست آمده ، به جزء برخی نواحی اطراف رودخانه که در اثر تغذیه حاصل از سد کاهش افت داریم ، در دیگر نقاط دشت همچنان شاهد روند نزولی سطح آب هستیم.

۵- بهترین زمان برای تزریق آب به حوضچه‌ها ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین می‌باشد. . با توجه به اینکه بیشتر حجم رواناب‌های فصلی در اواسط بهمن و اسفند ماه جاری می‌شود، با این کار از تبخیر بیشتر آب جمع‌آوری شده در پشت سد نیز جلوگیری می‌شود. از طرفی همزمان با جمع‌آوری آوری آب در پشت سد، به فاصله زمانی کمی آب را به حوضچه‌ها انتقال داده و بدین ترتیب بیشترین بهره‌وری صورت می‌گیرد.

۶- GIS ابزار مناسبی برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها و آماده کردن ورودی‌های مدل و ارائه نتایج حاصل از مدل می‌باشد. به عبارتی GIS پیش-پردازشگر و پس‌پردازشگر خوبی برای مدل‌های ریاضی می‌باشد و در مصاف با مدل ModFlow با استفاده از انترفاز GMS محیطی موثر بر یکدیگر در کلیه مراحل تهیه مدل فراهم آورده تا مدل ساخته شود.

منابع

اصغری، ک، سوری نژاد، ج، ذواالانوار، ع، ۱۳۸۴، پیش بینی عملکرد بهینه آبخوان دشت برخواربه روش شبیه‌سازی – بهینه‌سازی ، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*،سال نهم ، شماره سوم.

دانشگاه سیستان و بلوچستان، حوزه معاونت پژوهشی، ۱۳۸۳، مطالعات ژئوالکتریک دشت حصاروئیه، استان سیستان و بلوچستان.

خدایی، ک، ناصری، ح، اسدیان، ف، ۱۳۸۴، شبیه‌سازی سیستم جریان آب زیرزمینی دشت تسوج با استفاده از مدل ریاضی و GIS ، بیست و یکمین گردهمائی علوم زمین شناسی ، سازمان زمین شناسی کشور.

سرگزی، ا. ، ۱۳۸۶، بررسی اثرات احداث سد گوهرکوه بر روی آبخوان دشت گوهرکوه و مدیریت آبخوان توسط مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی، *پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی*، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

شرکت مهندسی پارس کنسولت، ۱۳۷۹، طرح سد تغذیه مصنوعی گلک در حصارو غرب زاهدان، جلد ۲.

شهسواری، ع، ۱۳۸۲، تهیه بیلان آبی و مدل ریاضی آبخوان دشت عجب شیر با استفاده از ModFlow و GIS ، *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.*

شهسواری، ع ، خدایی، ک ، ۱۳۸۴، تهیه مدل جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت بهبهان با استفاده از GIS ، *مجموعه مقالات نهمین همایش زمین شناسی ایران*، دانشگاه تربیت معلم تهران.

کرسیک، ن.، ترجمه‌ی چیت‌سازان، م.، کشکولی، ح. ع.، ۱۳۸۱، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی، *انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.*

Anderson,M.P., Woessner ,W.W., 1991, Applied Groundwater Modeling: simulation of flow and adjective transport , San Diego : Academic press Inc.

A.A. shaki, A.j. Adeloye, 2007, Mathematical modeling of effects of Irawan irrigation project water abstraction on the murzuq aquifer system in Libya, Elsevier.

Mitchell, V.G,. Mein, R.G., McMahon, T.A., 2001, Modeling the urban cycle. Environmental Modeling and Software 16(2001) 615629, Press, Columbus, Ohio.

Reeve, A. S., J. Warzocha, P . H. Glaser and D. I. Siegel. 2001 . Regional groundwater flow modelling of the Glacial Lake Agassiz Peatlands. J. Hydrol. 243: 91-100.