

شبیه‌سازی سفره آب زیرزمینی دشت میان‌دریوند کرمانشاه با استفاده از مدل GMS

رسول قبادیان^۱، علی فتاحی^۲، صونا مجیدی^۳، محمد زارع^۴

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کرمانشاه
Email: raghobadian@gmail.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه رازی
کرمانشاه
Email: ali.fattahi.ch@gmail.com

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد
Email: sonamajidi85@gmail.com

۴- دانشجوی دکتری مهندسی عمران آب دانشگاه کاسل، آلمان
Email: mzare896@gmail.com

چکیده

مدیریت منابع آبهای زیرزمینی در وهله اول نیازمند شناخت عملکرد آبخوان در شرایط طبیعی و سپس پیش‌بینی اثرات برداشت و یا تغذیه می‌باشد. با توجه به اهمیت استفاده از مدل‌های ریاضی در مطالعات آب زیرزمینی، در این تحقیق جهت شناخت ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی دشت میان‌دریوند، در شرایط ماندگار و غیر ماندگار و پیش‌بینی نوسانات سفره آب از بسته نرم‌افزاری GMS6.5 استفاده شده است. در این مطالعه جهت واسنجی مدل ابتدا فروردین ماه ۸۵ که دارای بالاترین تراز آب زیرزمینی در سال ۸۵ بود به صورت جریان ماندگار اجرا شد که از نتایج آن برای مقادیر بار آبی اولیه برای اجرای مدل در شرایط جریان غیرماندگار استفاده شد. سپس مدل برای اردیبهشت تا اسفند ۸۵ در شرایط جریان غیرماندگار اجرا شد. مقادیر سطح آب شبیه‌سازی شده توسط مدل با سطح آب اندازه‌گیری شده در دوره‌های مختلف، در چاه‌های پیزومتری مقایسه شد. نتایج نشان داد که مقدار ضریب نکویی برازش (R^2) بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده برابر با ۰/۹۹۶۸ می‌باشد. برای صحت‌سنجی مدل از داده‌های مشاهداتی بار آبی در فروردین ماه سال ۸۷ استفاده شد. در واقع با استفاده از پارامترهای واسنجی شده مدل برای فروردین ۸۷ اجرا شد. نتایج نشان داد که مقدار ضریب نکویی برازش (R^2) بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در مرحله صحت‌سنجی برابر با ۰/۹۹۶ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، شبیه‌سازی، چاه پیزومتری، نرم‌افزار GMS6.5

مقدمه

این راه‌نما حدود ۵۰ درصد از جمعیت کره زمین برای تأمین آب شرب، به آب‌های زیرزمینی وابسته هستند که با توجه به واقع بودن ایران در منطقه نیمه خشک و خشک دنیا، این مقدار در کشور ما به ۶۰ درصد می‌رسد (شمسایی، ۱۳۸۱). مصرف زیاد آب زیرزمینی، باعث شده است که در بسیاری از نقاط جهان، از جمله کشور ما، سطح آب زیرزمینی بشدت پائین برود و بسیاری از قناتها و منابع آبی خشک شود (کردوانی، ۱۳۷۴). هانت و همکاران (۲۰۰۱) روش‌های مدل‌سازی متنوعی را جهت تشخیص منشأ آب یک چشمه در آمریکا به کار گرفتند. ابتدا مدل جریان تهیه شده با کد MODFLOW با استفاده از کد تخمین پارامتری UCODE و اسنجی گردید. سپس منطقه تسخیر چشمه با استفاده از کد MODPATH محاسبه گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که حوضه آبریز زیرزمینی تطابقی با حوضه آبریز سطحی ندارد. آنها نتایج مدل‌سازی منطقه تسخیر چشمه را با استفاده از مطالعه ژئوشیمیایی مورد ارزیابی قرار دادند که بیان نمودند با استفاده از تکنیک‌های متنوع مدل‌سازی و ژئوشیمیایی- توانایی ترسیم ناحیه تغذیه‌کننده یک چشمه افزایش می‌یابد. نادم اصغر و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی مرز آب‌های شیرین و شور در پنجاب پاکستان با استفاده از دو مدل عددی MODFLOW و MT3D پرداختند. نتایج نشان داد که چاه‌هایی با سرعت تخلیه ۱۸-۱۰ متر بر ثانیه قابل نصب شدن می‌باشد و به شکل موفقیت‌آمیزی با نسبت نفوذ ۷۰-۶۰ درصد برای زمان عملکرد ۲۴-۸ ساعت در روز از یک سفره آزاد با ضخامت ۱۸-۱۵ متر در آب‌های زیرزمینی نسبتاً شیرین عمل می‌کند. رسیو و همکاران (۲۰۰۵) جهت بررسی سیستم مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در حوزه منچای اسپانیا از مدل سه‌بعدی آب زیرزمینی MODFLOW به روش تفاضل محدود استفاده نمودند. نتیجه اینکه مدل توانست مناطق دیگر را بدون تغییرات، برنامه‌ریزی و پارامترهای جدیدی را به طور معنی‌داری، به پایگاه داده معرفی کند.

وانگ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تلفیق MODFLOW و برنامه سامانه اطلاعات جغرافیایی MAPGIS وضعیت آبخوان دشتی در شمال چین را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی لایه‌های ورودی به مدل تعریف شد. نتایج نشان داد وضعیت منابع آب زیرزمینی این دشت در اثر برداشت بی‌رویه در شرایط بحرانی ای به سر می‌برد. رسولی (۱۳۸۰) شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی دشت فشاویه را با استفاده از مدل MODFLOW انجام داده که مقایسه روند تغییرات هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای و نتایج محاسباتی مدل و همچنین منحنی‌های هم تراز محاسبه‌ای و مشاهده‌ای نشان می‌دهند که مدل در طول دوره تطبیق و اعتبار خود در حد خیلی خوبی و اسنجی شده است. مدل تهیه شده قادر به ارائه بیان آبی منطقه‌ای و زیر منطقه‌ای است و می‌توان از آن به‌عنوان یک مبنای مناسب برای ساخت مدل منابع آبی دشت فشاویه در دوره‌های بلند مدت بهره گرفت. سحاب بهشتی (۱۳۸۵) مطالعه هیدروژئولوژی دشت ملایر و ارائه مدل ریاضی آن با استفاده از کد مادفلو جهت مدیریت بهینه از منابع آب زیرزمینی که هیدروگراف واحد ۱۱ ساله دشت نشان می‌دهد که تراز سطح آب زیرزمینی در طی این مدت ۱۴/۲۹ متر افت داشته، لذا کنترل برداشت از سفره از مهمترین مسائلی است که بایستی مورد توجه باشد. اکبرپور و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل MODFLOW در محیط GIS مدل ریاضی سفره آب زیر زمینی دشت مختاران بیرجند را تهیه کردند. آنها در این تحقیق از یک مدل دو بعدی به ابعاد ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر شامل ۱۰۳ ردیف و ۱۷۵ ستون استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با توجه به شرایط آبخوان هرگونه برداشت جدید از آبخوان باعث تشدید روند خسارت فعلی به منابع آب زیر زمینی و تا حدی غیر اقتصادی شدن بهره‌برداری از آبخوان می‌شود. ملکی

و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل MODFLOW در محیط GIS به بهینه سازی ضرایب هیدرودینامیک دشت شاهرود به مساحت ۴۵۰ کیلومتر مربع پرداختند. آنها در این تحقیق از یک مدل دو بعدی به ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر شامل ۵۱ ردیف و ۸۶ ستون استفاده نمودند.

مواد و روشها محدوده مورد مطالعه

بررسی تئوری دشت میاندربند در غرب ایران و در شمال شهر کرمانشاه قرار دارد. این منطقه از شمال به یال جنوبی کوه های قرال و بلوچ و از جنوب به رودخانه قره سو محدود گردیده است. مختصات جغرافیایی این دشت در طول شرقی ۴۶ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی ۳۴ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۳ دقیقه واقع گردیده است. عمده ترین جریان سطحی ناحیه رودخانه رازآور می باشد که از طریق تنگه پیرمزد وارد دشت شده و در طول دشت جریان داشته و در محل دو آب به رودخانه قره سو می پیوندد. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در کشور و استان کرمانشاه نشان می دهد. این محدوده به عنوان محدوده مطالعاتی میاندربند در این مطالعه شناخته مرشد.



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

بررسی های هواشناسی و هیدرولوژی در تهیه مدل ریاضی آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت می باشند. از اینرو می بایست، حداکثر دقت در محاسبه عوامل هواشناسی و هیدرولوژی به عمل آید، چرا که نتایج این محاسبات مستقیماً در تهیه بیلان و پس از آن در تهیه مدل آب زیرزمینی مؤثر است. در جدول (۱) زیر مقادیر متوسط بلند مدت برای یک دوره حداقل ۳۵ ساله در محدوده دشت میاندربند ارائه شده است.

جدول (۱) : مقادیر متوسط بلند مدت پارامترهای هواشناسی برای محدوده دشت میاندربند

پارامتر	فرور دین	اردیبه هشت	خرد	تیر	مرد	شهر	مهر	آب	آز	دی	بهم	اسف	متوس
	دین	هشت	اد	اد	اد	یور	ان	ان	ر	ن	ن	ند	انه
بارش (میلیمتر)	۷۶/۱	۴۱/۴	۲/۱	۰/۱	۲۵/۰	۰/۷	۱۱	۴۹	۶۰	۴۹	۷۶	۷۹	۴۴۷
تبخیر (میلیمتر)	۱۰۷	۱۴۹	۲۳۱	۳۰۸	۳۱۲	۲۵۵	۱۵۷	۷۸	۳۲	۲۳	۳۴	۵۵	۱۷۴۷
دما (سلسیوس)	۱۱/۶	۱۶/۱	۲۱	۲۶	۲۶	۲۱	۱۶	۱۰	۵	۲	۲	۶/۵	۱۳/۸

همچنین اطلاعات و آمار دبی های ورودی و خروجی دشت بر اساس آمار بلند مدت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به منظور استفاده از آمار فوق ایستگاه پیرمزد (سراسیاب) به عنوان ورودی دشت و ایستگاه حجت آباد (حسین آباد) به عنوان خروجی دشت در نظر گرفته شده است. همچنین ایستگاه دو آب مرگ نیز برای تجزیه و تحلیل آمار رودخانه قره سو استفاده می شود. جدول (۲) آمار بلند مدت دبی ماهانه و سالانه ایستگاه های مذکور را نشان می دهد.

جدول (۲) : دبی متوسط ماهانه و سالانه رودخانه های محدوده دشت میاندربند

ایستگاه	فرور دین	اردیبه هشت	خرد	تیر	مرد	شهر	مهر	آب	آز	دی	بهم	اسف	متوس
اه	دین	هشت	اد	اد	اد	یور	ان	ان	ر	ن	ن	ند	انه

سالید انه	آبسنج ی												
۵/۹۳	/۷۲	/۶۰	۹۴	۹۲	۲۶	۱۷	۰/۱۰	/۱۶	۴۲	/۷۱	۱۰/۲۴	/۴۱	پیرمزد (رودخ انه رازآو ر) حجت- آباد (رودخ انه رازآو ر) دوآب مرگ (رودخ انه قره سو)
۷/۸۶	/۱۵	/۱۹	۰۸	۳۶	۷۱	۴۶	۱/۳۶	/۵۹	۲۹	/۶۶	۱۳/۹۳	/۴۹	
۵/۱۵	/۰۶	/۳۳	۲۲	۹۵	۲۷	۱۹	۰/۹۵	/۱۶	۸۴	/۰۵	۸/۶۰	/۲۳	

همچنین به منظور شناخت ضخامت آبرفت و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آجوان از مشخصات هشت حلقه چاه اکتشافی به همراه پیزومترهای مربوطه و نتایج آزمایشات پمپاژ انجام شده بر روی شش حلقه از آنها استفاده شد. خلاصه اطلاعات آنها در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) : اطلاعات و ضرایب هیدرودینامیک محاسبه شده در چاههای اکتشافی محدوده مطالعاتی میاندر بند [۵]

مختصات (UTM)	محل چاه	عمق چاه (متر)	ضرایب سفره	عمق برخورد (متر) و جنس سنگ کف
-۶۷۷۴۷۰ ۳۸۲۴۲۱۰	احمدآباد پایین	۲۴۰	T=۱۷۵۰	۲۳۹ کنگومرا و رادیولاریت
-۶۸۲۹۲۹ ۳۸۲۵۳۱۸	تپه افشار	۱۹۸	اندازه گیری نشده	۱۸۳ کنگومرا
-۶۷۲۸۰۷ ۳۸۲۶۷۵۳	هشیلان	۱۵۶	T=۱۲۰۰ و % ۰/۴ S =	۱۴۸ مارن
-۶۷۵۶۶۰ ۳۸۳۱۲۱۰	سرتیپآباد	۱۳۲	T=۱۰۰۰۰	- برخورد نکرده
-۶۸۶۸۵۰ ۳۸۱۵۵۰۰	احمدوند	۸۲	T=۶۰۷ و % ۲/۵ S =	۷۷ کنگومرا
-۶۸۶۷۵۳ ۳۸۱۱۲۷۸	پیرحیاتی	۷۱	T=۱۵۷۰	/۵ ۶۷ رادیولاریت
-۶۶۸۵۵۲ ۳۸۱۵۵۰۶	کوربلاغ	۸۶	اندازه گیری نشده	۸۶ آهک
-۶۸۱۷۷۰ ۳۸۱۱۶۶۱	نظرآباد علیا	۲۰۹	T=۷۵۰ و % ۰/۰۳ S =	۱۹۸ شیل

جدول (۴) : آمار آبدهی چشمه های فعال در محدود میاندر بند بر حسب لیتر بر ثانیه

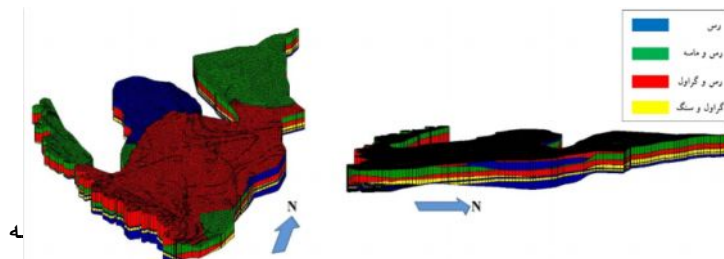
نام سرآب	مرد اد	شهر یور	م ه ر	آ ب ان	آ ز ر	د ی	د ن	اسف ند	مختصات (UTM)	فرور دین	اردیب هشت	خرد اد	ت پ ر	مرد اد	شهر یور	م ه ر	آ ب ان	آ ز ر	د ی	د ن	اسف ند	مختصات (UTM)
برنجان	۰	۰	۰	۲	۵	۲	۱	۳۹	۶۷۴ ۷۳۴	۲۴	۱۸	۰	۰	۰	۰	۲	۵	۲	۱	۳۹	۳۸۲۷ ۵۴۱	
خضر زنده	۰	۰	۰	۱	۴	۱	۲	۲۰	۶۸۴ ۳۲۶	۱۸	۱۵	۰	۰	۰	۰	۱	۴	۲	۱	۲۰	۳۸۱۷ ۵۱۹	
خضراک یاس	۰	۰	۲	۶	۰	۳	۵	۵۴	۶۸۳ ۹۶۷	۵۸	۴۷	۰	۰	۰	۲	۶	۰	۳	۵	۵۴	۳۸۱۷ ۱۲۱	
هشیلان	۳	۱۴	۴	۲۸	۵	۲	۶	۱۰۹	۶۷۳ ۶۲۳	۷۸	۶۸	۳۱	۴	۲۷	۱۴	۲۸	۵	۲	۶	۱۰۹	۳۸۲۸ ۵۷۸	
سورکا ل	۶	۴	۴	۷	۰	۲	۱	۳۲	۶۸۱ ۱۱۸	۲۰	۲۲	۷	۶	۵	۴	۷	۰	۲	۱	۳۲	۲۸۲۷ ۵۰۷	

ورمنج	۶۸۰	۳۸۳۲	۹۶۸	۷	۱	۱	۳	۲۴	۲۰	۲	۲۸	۳۳۲	۴۷۰
ه	۳۶۰	۱۱۰		۲	۷	۱	۷۰	۸		۴			
				۹	۴	۰							
یاوری	۶۷۵	۳۸۱۶	۳۸۷	۳	۲	۸	۱۱	۸	۲۴	۸	۱۱۴	۲۸۷	۳۴۶
	۷۲۴	۶۲۰		۲	۴	۸	۳	۳	۶۰	۲			
				۱	۸								

در محدوده میان‌دربند جمعاً تعداد ۱۱۶۰ حلقه چاه و تعداد ۷ دهنه چشمه فعال وجود دارد. با توجه به آمار برداری از منابع آب زیرزمینی در سال ۸۲ سالانه حجمی معادل ۱۵۱/۹۲۸ میلیون مترمکعب جهت مصارف کشاورزی از آبخوان برداشت می‌شود که به طور میانگین آبدهی هر چاه برابر با ۴/۱۵ لیتر بر ثانیه می‌شود این مقدار برای ۱۲ ماه می‌باشد در حالیکه در محدوده مورد مطالعه فقط ۵ ماه در سال (از اواسط اردیبهشت ماه تا اواسط آبان) چاه‌های کشاورزی فعال می‌باشند، لذا میزان آبدهی چاه‌ها برابر با ۹/۹۶ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. در جدول (۴) آمار آبدهی چشمه‌های فعال در سال ۸۵ آورده شده است.

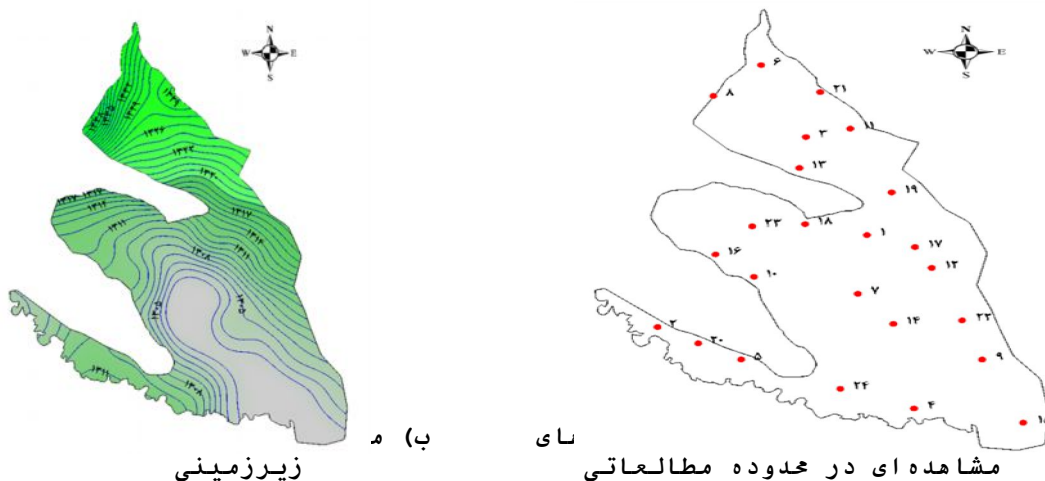
نتایج و بحث لایه‌بندی طبقات زمین

حداکثر تعداد صفحات مقاله که با استفاده از لوگ حفاری چاه‌های اکتشافی نحوه لایه‌بندی طبقات آبخوان به دست آمد، بدین صورت که ترکیب لایه‌ها از چهار نوع رس، رس و ماسه، گراول و رس و در نهایت گراول و سنگ می‌باشد. بر این اساس دشت میان‌دربند به ۱۱ لایه تقسیم‌بندی شد. لایه‌بندی دشت در شکل (۲) ارائه شده است. در این قسمت هدایت هیدرولیکی بر حسب نوع لایه به مدل داده شد.



هیدروژئولوژی

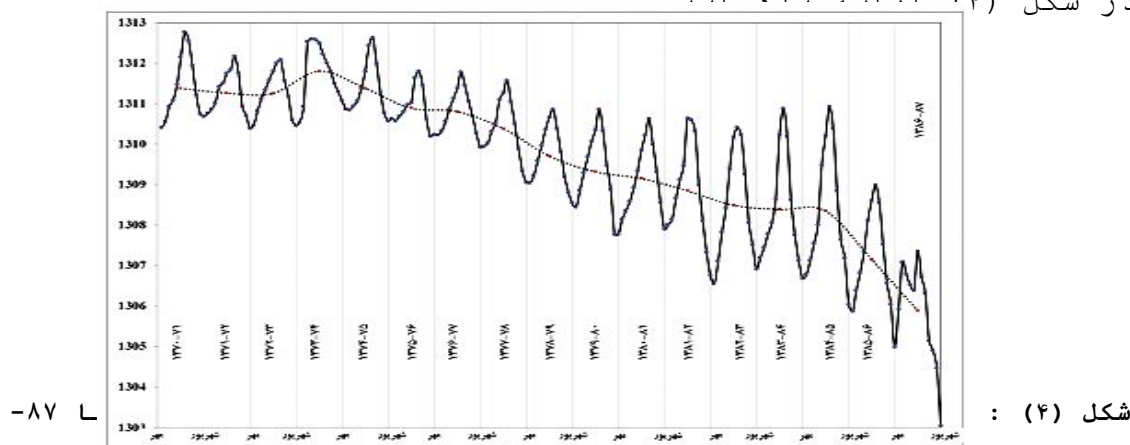
با استفاده از داده‌های مربوط به ۲۴ حلقه چاه مشاهده‌ای در محدوده مدل‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی، محل‌های تغذیه و تخلیه، تبادلات هیدرولیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی و سایر ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی بدست آمد مکان این پیزومترها و برای نمونه منحنی‌های هم تراز آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۵ در شکل (۳) ارائه شده است.



(ب) م
زیرزمینی

شاهده‌ای در محدوده مطالعاتی

برای مشخص نمودن نوسانات سالیانه آب زیرزمینی، هیدروگراف واحد پیزومترهای موجود در سطح دشت (از سال آبی ۱۳۷۰-۷۱ تا ۱۳۸۶-۸۷) رسم گردیده و سپس با توجه به سطح تاثیر هر پیزومتر، هیدروگراف واحد دشت در شکل (۴) نمایش داده شده است.



تهیه مدل مفهومی

هدف از تهیه مدل مفهومی ساده انگاری مسائل صحرائی و درک آسانتر قوانین فیزیکی حاکم بر سیستم طبیعی می‌باشد. به دلیل آنکه برپایی کامل سیستم صحرائی بسیار دشوارتر و اغلب غیر ممکن است، ساده کردن مسائل در تهیه مدل مفهومی ضروری می‌باشد. به منظور تهیه مدل مفهومی دشت میان‌دربند گزارشات مختلف هیدروژئولوژی، هیدرولوژی، لوگ‌های زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای، تخلیه، نفوذ از بارش و نیز محاسبه بیلان محدوده مورد مطالعه، نمای کلی سیستم بدست آمد.

جریان‌های ورودی به سیستم آب زیرزمینی دشت در حال حاضر، شامل تغذیه از بارندگی، تغذیه از طریق جریان آب در رودخانه قره‌سو (لازم به ذکر است با توجه به منحنی‌های هم عمق آب زیرزمینی رودخانه رازآور بصورت زهکش عمل می‌کند و تاثیری در تغذیه آب زیرزمینی ندارد) و تغذیه آب زیرسطحی می‌باشد. جریان‌های خروجی شامل جریان خروجی زیرسطحی و تخلیه توسط چاه‌ها و چشمه‌ها می‌باشد. یکی از اهداف مهم در تهیه مدل مفهومی تعیین نوع مدل و نوع آنجوان می‌باشد. با توجه به نتایج زمین‌شناسی و ژئوفیزیک نوع مدل سه بعدی و نوع آنجوان آزاد در نظر گرفته شد. در مطالعات مدل‌سازی آنچه بیشتر اهمیت دارد معلوم بودن شرایط مرزی است. بدین معنی که با معلوم بودن شرایط مرزی هیچ محدودیتی در انتخاب مرز وجود ندارد. مرزهای شبیه‌سازی شده در این تحقیق شامل مرز بدون جریان یا جریان صفر است که به نام مرز نفوذ ناپذیر نیز خوانده شده است و همچنین مرز بار عمومی. بسته نرم افزاری مرز بار عمومی که به اختصار GHB نامیده می‌شود، برای شبیه سازی مرزهای جریان وابسته به بار (شرایط مرزی کوشی) بکار می‌رود. شکل (۵) مرزهای موجود در مدل ساخته شده را نشان می‌دهد. مرزهای ۱ تا ۱۱ مرز بار عمومی (ورودی) و مرز ۱۲ مرز بار عمومی (خروجی) است بقیه مرزها بدون جریان می‌باشند.

مجموعه رودخانه در نرم‌افزار GMS برای شبیه‌سازی جریان بین یک آنجوان و آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها، برکه‌ها و یا مخازن استفاده می‌شود. میزان تغذیه از طریق جریان‌های سطحی، علاوه بر حجم جریان‌های سطحی ورودی به دشت، به مشخصات بستر رودخانه و توانایی مرز برای عبور آب در بستر رودخانه و جنس آبرفت بستگی دارد. در محدوده دشت یک رودخانه فصلی وجود دارد که به صورت زهکش عمل می‌کند. در شکل (۶) کل لایه

اطلاعاتی (Source & sink) آورده شده است. در لایه اطلاعاتی قبلی تمامی عوامل تخلیه از آبخوان و همچنین بسیاری از عوامل تغذیه آبخوان به مدل داده شد به منظور تعیین تغذیه از نزولات جوی از فرمول فائو استفاده شده است [علیزاده ۱۳۸۰].

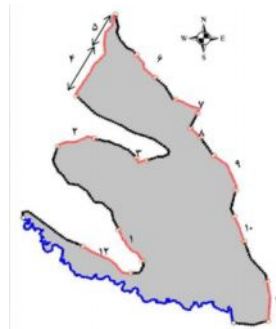
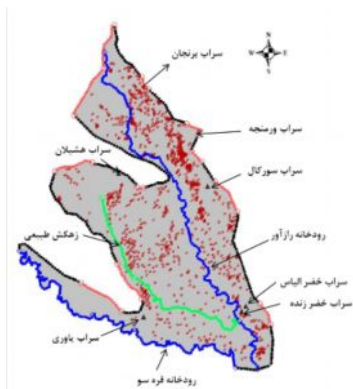
$$F = \sum_{i=1}^{12} 0.8(R - C \log E)^{0.5} \quad (1)$$

که در این رابطه F: میزان نفوذ سالیانه بر حسب E، mm: تبخیر و تعرق پتانسیل ماهیانه بر حسب R، mm: بارندگی ماهیانه بر حسب C، mm: ضریب ثابت وابسته به دما، T: متوسط درجه حرارت ماهیانه (C°)

$$C = 0.6917 \times T^{0.3981}$$

بر این اساس میزان نفوذ سالیانه (F_{total}) برابر ۴۴/۰۳ میلیمتر بدست می-آید. که تقریباً ۸/۵ درصد از میزان بارش سطح دشت را شامل می‌شود. میزان حجم آب نفوذ یافته سالیانه برابر با ۱۲/۳۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. جدول (۵) مقدار پارامترهای تغذیه از طریق نزولات جوی آورده شده است. با توجه به کمیت و کیفیت داده‌های پایه یک شبکه‌بندی ۳ بعدی به ابعاد ۲۲۰ در ۳۰۰ در ۲۳ متر بر روی دشت میان‌دریوند در نظر گرفته شده است. شبکه‌بندی مذکور شامل ۱۰۰ ردیف در جهت x، ۱۰۰ ردیف در جهت y و ۱۱ ردیف در جهت z می‌باشد. بعد از مدل‌بندی محدوده مورد مطالعه مدل در شرایط زیر اجرا می‌شود:

- ✓ شرایط جریان غیرماندگار برای سال ۱۳۸۵
- ✓ شرایط جریان غیر ماندگار برای فروردین ماه سال ۸۷ جهت صحت‌سنجی مدل در خارج از دوره



شکل ۶ - لایه اطلاعاتی Source & Sink

شکل ۵ - مرزهای بار عمومی ورودی و خروجی

جدول (۵): تغذیه از طریق نزولات جوی در محدوده مطالعاتی میان‌دریوند

اسف ند	بهمن	دی	آذر	آب ن	مه ر	شهری ور	مرد اد	تد ر	خرد اد	اردیبه شت	فرورد ین	پارا متر
/۲۵ ۱۶	/۷۵ ۱۸۴	/۷۵ ۸۸	/۲۵ ۱۸	/۲۵ ۸۶	۴۵/۵	۸۰/۷۵	R
/۱۵ ۵۲	/۵۵ ۱۸	/۳۳ ۸	/۳۸ ۲۳	/۷۱ ۵۲	--	--	--	--	--	۹۰/۰۹	۷۵/۶۷	E

/۴۵ ۶	۲/۵	/۱۵ ۲	۵	/۱ ۱۰	--	--	--	--	--	۱۶/۰۵	۱۱/۵۵	T
/۴۵ ۱	۱	/۹۴ ۰	/۳۱ ۱	/۷۴ ۱	--	--	--	--	--	۲/۰۹	۱/۸۳	C
/۹۷ ۲	/۸۴ ۱۰	۷/۵	/۲۴ ۳	۷/۳	--	--	--	--	--	۵/۱۵	۷/۰۳	F
/۸۳ ۰	۳/۰۳	۲/۱	/۹۱ ۰	/۰۴ ۲	--	--	--	--	--	۱/۴۴	۱/۹۷	V(MC M)

کالیبراسیون مدل

شرایط حاکم بر آبخوان‌ها اساساً شرایطی ناپایدار و غیرماندگار است و اصولاً مدل‌های شبیه‌سازی شده باید در شرایط غیرماندگار کالیبره شوند. واسنجی مدل جریان در محدوده مطالعاتی با استفاده از تراز سطح آب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده صورت پذیرفت. بعد از اجرای مدل و با استفاده از نتایج حاصل (سطح آب شبیه‌سازی شده) اقدام به کالیبراسیون مدل گردید. از بین داده‌های ورودی به مدل، ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه دارای بیشترین اهمیت و حساسیت در واسنجی مدل جریان می‌باشد. در مرحله اجرای مدل در شرایط جریان غیرماندگار مقادیر آبدهی ویژه و توانایی مرز برای عبور آب (C_{RIV}) از بستر رودخانه‌ها و زهکش‌ها و مرزهای بار عمومی اصلاح گردید که بعد از بیش ۲۰۰ بار اجرای مدل، سطح آب شبیه‌سازی شده به سطح آب مشاهده‌ای نزدیک گردید. لازم به ذکر است در این قسمت ضریب هدایت هیدرولیکی در مدل از مواد گرفته شده از لایه‌ها به عبارت دیگر با استفاده از امکانات مدل GMS در شبیه‌سازی به هر ماده (رس، گراول و رس، ماسه و رس، گراول و سنگ) یک ضریب هدایت هیدرولیکی داده شد. از مزایای این روش این است که اگر لایه‌ای از مواد مختلف تشکیل شده باشد، در هر قسمت هدایت هیدرولیکی متفاوتی دارد. در جدول (۶) مقادیر بهینه برای ضریب هدایت هیدرولیکی هر ماده آورده شده است. مقدار آبدهی ویژه نیز از ۲ درصد اولیه به ۲/۲ در مرحله واسنجی رسید. در جدول (۷) مقادیر بهینه توانایی مرز برای عبور آب (C_{RIV}) از بستر رودخانه‌ها و زهکش‌ها و مرزهای بار عمومی برحسب مترمربع بر روز بر متر ($m^2/d/m$) آورده شده است. در این مطالعه ابتدا فروردین ماه ۸۵ (بالاترین تراز آب زیرزمینی) به صورت جریان ماندگار اجرا شد که از نتایج آن برای مقادیر بار آبی اولیه برای اجرای مدل در شرایط جریان غیرماندگار استفاده شد.

جدول (۷): مقادیر بهینه توانایی مرز برای عبور آب (C_{RIV})

مقادیر نهایی ($m^2/d/m$)	مقادیر اولیه ($m^2/d/m$)	شرط مرزی
۱۰	۲۵	بستر رودخانه
۱۰	۲۵	کف زهکش
۵	۱۰	مرز بار عمومی

جدول (۶): مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی

ماده	مقادیر اولیه (m/d)	مقادیر نهایی (m/d)
رس و ماسه و مقدار کمی رس	۰/۰۳	۰/۰۵
گراول و مقدار کمی رس	۱	۱
گراول و سنگ	۰/۰۲	۰/۰۱

به منظور مقایسه آماری داده‌های مشاهداتی و محاسباتی رقوم سطح آب پیژومترها از آزمون مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح اعتماد ۹۹ درصد استفاده شد. در واقع این آزمون سختگیرانه‌ترین

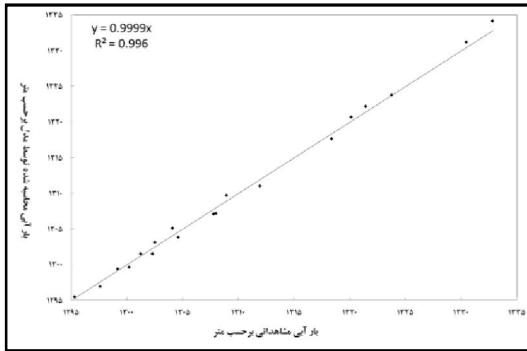
آزمون مقایسات میانگین برای قبول فرض صفر (تفاوت معنا داری بین داده های مشاهداتی و محاسباتی وجود ندارد) می باشد. نتایج این مقایسات که برای هر یک از پیژومترها بصورت جداگانه در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول (۸): تحلیل آماری مقایسه نتایج مدل با مقادیر مشاهداتی بار آبی در پیژومترها

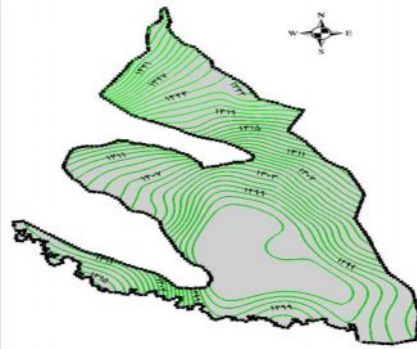
نام پیژومتر	قدر مطلق بیشینه تفاوت (متر)	LSD	شیب خط رگرسیون	ضریب نکویی برازش
احمدآباد بالا	۰/۹	۱/۸۲	۱	۰/۹۴۶۷
بریموند بکتاش آباد	۰/۹۳	۱/۵۹	۰/۹۹۹۸	۰/۸۹۲
بلک کبود	۰/۹۴	۲/۰۲	۰/۹۹۹۹	۰/۸۷۱۱
بین نفته و ریکا	۰/۹۷	۲/۱۱	۰/۹۹۹۸	۰/۹۶۹۵
پیرمزد تاسوله جان	۰/۹۸	۱/۷۵	۱	۰/۷۵۲
چقاماران بی ابر	۰/۹۷	۱/۸۳	۱/۰۰۰۳	۰/۸۳۹۹
چقاماران-حجت آباد	۰/۹۶	۱/۴۸	۱	۰/۹۳۳۴
خوشینان ده باغ	۱	۲/۳۷	۱	۰/۹۱۲۱
سرچاده تپه افشار	۰/۹۵	۱/۹۹	۱/۰۰۰۲	۰/۹
سروران سلطان کوه	۰/۹۴	۱/۹۴	۱/۰۰۰۳	۰/۹۰۷۷
قزانچی کلاه کبود	۰/۹۱	۱/۶۶	۱	۰/۹۱۸۱
گوهرچقا لعل آباد	۰/۹۴	۱/۷	۰/۹۹۹۷	۰/۹۷۴۹
بالا محمود آباد	۰/۹۳	۱/۸۱	۰/۹۹۹۸	۰/۸۶۴۲
میمون باز ورله	۰/۹۴	۱/۷۷	۰/۹۹۹۹	۰/۷۷۱۳
ولی آباد هشیلان	۰/۸۶	۱/۵	۱	۰/۸۱۳۴
یاوری	۰/۶	۱/۲۶	۰/۹۹۹۹	۰/۹۰۱
	۰/۹۸	۱/۷۵	۰/۹۹۹۷	۰/۹۴۹۴
	۰/۸۶	۱/۸۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۴۱۶
	۰/۸۹	۱/۹	۰/۹۹۹۹	۰/۸۶۵۶
	۰/۹	۱/۴۶	۰/۹۹۹۹	۰/۶۷۶
	۰/۸۲	۱/۳۱	۱/۰۰۰۲	۰/۹۷۴۵
	۰/۹۵	۱/۷۹	۱/۰۰۰۱	۰/۸۹۱۸
	۰/۹۱	۱/۵۸	۱/۰۰۰۱	۰/۸۰۱۲
	۰/۸۸	۱/۲۷	۱	۰/۸۹۷

صحت سنجی

پس از کالیبراسیون مدل، بایستی آن را برای استرس های خارج از بازه زمانی کالیبراسیون اجرا نموده و نتایج آن را با مشاهدات مقایسه نمود. در صورت مشاهده اختلاف بیش از حد، تصحیحات لازم بر روی آن صورت می گیرد. بدین منظور برای صحت سنجی مدل از داده های مشاهداتی بار آبی در فروردین ماه سال ۸۷ استفاده شده است. در واقع با استفاده از مدل کالیبره شده مقادیر بار آبی پیژومترها در فروردین ۸۷ اجرا محاسبه گردید. در این ماه از ۲۴ پیژومتر آمار ۱۹ موجود است. در شکل (۷) منحنی های هم عمق آب زیرزمینی محاسبه شده توسط مدل نشان داده شده است. همچنین در شکل (۸) مقادیر محاسباتی سطح آب در مقابل مقادیر سطح آب مشاهداتی در ۱۹ پیژومتر نشان داده شده است. ضریب نکویی برازش برابر ۰/۹۹۶ بین داده های مشاهداتی و محاسباتی نشان از کالیبراسیون و واسنجی صحیح مدل دارد.



شکل (۸): مقایسه داده‌های
مشاهداتی و محاسبه شده در مرحله
صحت‌سنجی



شکل (۷): نقشه شبیه‌سازی شده
خطوط هم عمق آب زیرزمینی در
فروردین ۸۷

نتیجه گیری

پس از واسنجی مدل آبخوان میان‌دربند، مدل برای استرس‌های خارج از بازه زمانی واسنجی اجرا شد و نتایج آن را با مشاهدات مقایسه گردید. ضریب نکویی برازش برابر ۰/۹۹۶ بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی نشان از کالیبراسیون و واسنجی صحیح مدل دارد. مقادیر ضرایب هدایت هیدرولیکی آبخوان نیز از ۰/۰۵ متر در روز برای رس تا ۳ متر در روز برای گراول و مقدار کمی رس بدست آمد.

مراجع

۱. اکبرپور، ا.، م. عزیزی و م. شیرازی. (۱۳۸۹). "مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت مختاران با استفاده از مدل ریاضی GMS6.0". نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس. آبان ۱۳۸۹.
۲. رسولی، ی. (۱۳۸۰). "شبیه سازی جریان آب زیرزمینی دشت فشاویه با استفاده از MODFLOW". پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
۳. سحاب بهشتی، علی. (۱۳۸۵). "مطالعه هیدروژئولوژی دشت ملایر و ارائه مدل ریاضی آن با استفاده از کد مادفلو جهت مدیریت بهینه از منابع آب زیرزمینی". پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۱۲۰ص
۴. شمسانی، ا. (۱۳۸۱). "هیدرولیک جریان آب در محیط‌های متخلخل"، جلد دوم، چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۵۵۴ صفحه.
۵. علیزاده، ا. (۱۳۸۱). "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات دانشگاه امام رضا مشهد.
۶. کردوانی، پ. (۱۳۷۴). "ژئوهیدرولوژی"، چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۵۹ صفحه.
۷. ملکی، ر.، غ. کرمی، ف. دولتی، ح. حسینی، ف. اسدیان. (۱۳۹۰). "بهینه سازی ضرایب هیدرودینامیکی دشت شاهرود با استفاده از GMS6.0". چهارمین کنفرانس مدیریت منبع آب. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. اردیبهشت ۹۰.
8. Asghar, M. N., S. A. Prathapar, M. S. Shafique, (2002). "Extracting relatively- fresh groundwater from aquifers underlain by salty groundwater". Agricultural water management, 52, 119- 137.
9. Hunt, R. J. J. J. Steuer. M. T. C. Mansor, And T. D. Bullen, (2001). " Delineating a Recharge Area for a Spring Using Numerical Modeling", No. 39, 300-307. pp.

10. Recio, B. J. Ibanez, F. Rubio, J. A. Criado,(2005). "A decision support system for analyzing the impact of water restriction policies". *Decision Support Systems*, 39, pp. 385- 402
11. Wang, S., Shao, J., Song, X., Zhang, Y., Huo, Z., Zhou, X., (2008). "Application of MODFLOW and geographical information system to groundwater flow Simulation in North Plain, China". *Environ Geol*, 55: 1449-1462