دانشکده علوم

شبیه‌سازی نوسانات سطح آب‌زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW و پیش‌بینی فرونشست در دشت کاشمر

نگارنده

امیر غفاریان سایلی

اساتید راهنما

دکتر حسین محمدزاده

دکتر غلامرضا لشکری‌پور

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی‌ارشد در رشتهٔ زمین‌شناسی

گرایش زمین‌شناسی–آب‌شناسی (هیدروژئولوژی)

بهمن ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده علوم

شبیه‌سازی نوسانات سطح آب‌زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW و پیش‌بینی فرونشست در دشت کاشمر

نگارنده

امیر غفاریان سایلی

اساتید راهنما

دکتر حسین محمدزاده

دکتر غلامرضا لشکری‌پور

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی‌ارشد در رشتهٔ زمین‌شناسی

گرایش زمین‌شناسی–آب‌شناسی (هیدروژئولوژی)

بهمن ۱۳۹۲

تاریخ :.....

شماره :.....

** برگه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد **

زمین شناسی-آبشناسی (هیدروژئولوژی)

نام و نام خانوادگی دانشجو: امیر غفاریان سایلی **تاریخ شروع تحصیل :** ۱۳۸۹/۷/۱ **شماره دانشجوئی:** ۸۹۱۳۳۶۰۰۱۹ **گروه آموزشی:** علوم

رشته: زمین شناسی **گرایش:** آبهای زیرزمینی **تاریخ دفاع:** ۱۳۹۲/۱۱/۱۰ **نام و نام خانوادگی اساتید راهنما:** آقایان دکتر حسین محمد زاده و دکتر غلامرضا لشکری پور

عنوان پایان نامه: شبیه سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW و پیش بینی فرونشست در دشت کاشمر

معیارهای ارزشیابی		حداکثر نمره (از ۲۰)		نمره اکتسابی (از ۲۰)	ملاحظات
کیفیت نگارش	تطابق و رعایت دستورالعمل نگارش پایان نامه با راهنمای تهیه پایان نامه	۱	۴	۱/۰	
	انسجام در تنظیم و تدوین مطالب و حسن نگارش	۱/۵		۱/۵	
	کیفیت تصاویر، اشکال و منحنی‌های استفاده شده	۱/۵		۱/۵	
کیفیت علمی	بررسی تاریخچهٔ موضوع و بیان پژوهش‌های انجام شده در موضوع	۲	۱۰	۱/۷۵	
	ارایه روش و مواد و میزان ابتکار و نوآوری	۲		۲/۰	
	ارزش علمی و یا کاربردی گزارش	۲		۲/۰	
	استفاده از منابع و مآخذ به لحاظ کمی و کیفی (به روز بودن) و درستی ارجاع به منابع در متن و لیست منابع آخر گزارش	۲		۲/۰	
	نتیجه گیری نهایی، پیشنهادات و خلاصه انگلیسی	۲		۱/۷۵	
کیفیت ارائه	کیفیت ارائه و دفاع به موقع از پیشنهاده (پروپوزال) پایان نامه	۱	۳	۱/۰	
	تسلط به موضوع و توانایی در پاسخگویی به سوالات در جلسه دفاع و نحوهٔ ارائه (رعایت زمان، تفهیم موضوع ، کیفیت پاورپوینت و ...)	۲		۲/۰	
مقاله	ارایه و چاپ مقالات مستخرج از پایان نامه در همایش های معتبر	۱	۲	۰/۰	
	پذیرفته و یا چاپ مقالهٔ مستخرج از پایان نامه در مجلات علمی- پژوهشی	۱		۰/۰	
گزارش ها	تحویل به موقع نسخه اولیه پایان نامه	۰/۵	۱	۰/۵	
	اتمام به موقع دوره و تحویل گزارش نهایی و فایل های مربوطه	۰/۵		۰/۵	
نمره پایان نامه		۲۰		۱۷/۵	
نمره نهایی پایان نامه از ۲۰ (به حروف)					

اعضاء هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	نام دانشگاه	امضاء
اساتید راهنما	دکتر حسین محمد زاده	دانشیار	فردوسی مشهد	
	دکتر غلامرضا لشگری پور	استاد	فردوسی مشهد	
استاد مشاور				
عضو دفاع	دکتر سعداله ولایتی	استاد	فردوسی مشهد	
عضو دفاع و نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد خانه باد	استادیار	فردوسی مشهد	

جلسه دفاع با حضور هئیت داوران تشکیل و پایان نامه با اخذ نمره به عدد ۱۷/۵ حروف هفده و نیم با درجه خوب

□ بدون اصلاحات پذیرفته شد.

□ با اصلاحات پذیرفته شد (دانشجو موظف است تا تاریخ **۱۳۹۲/۱۲/۱۰** پایان نامه اصلاح شده خود را که به تایید **نماینده تحصیلات تکمیلی گروه** رسیده است به گروه آموزشی تحویل دهد).

□ مردود شناخته شد.

گزارش نماینده تحصیلات تکمیلی:

نام مدیر گروه: [illegible] تاریخ و امضاء ۹۱/۱۲/۲

نام و امضای نماینده تحصیلات تکمیلی:

اظهارنامه

اینجانب **امیر غفاریان ســایلی** دانشجوی دورهٔ کارشناسی‌ارشد رشته **زمین‌شناسی-آب‌شناسی (هیدروژئولوژی)** دانشـکده **علوم دانشــگاه فردوســی مشهد** نویســندهٔ پایان‌نامه **شبیه‌سازی نوســانات ســطح آب‌زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW و پیش‌بینی فرونشست در دشــت کاشــمر** تحت راهنمایی **دکتر حسین محمدزاده و دکتر غلامرضا لشکری‌پور** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نگردیده است.
- کلیهٔ حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه فردوسی مشهد» و یا «Ferdowsi University of Mashhad» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت شده است.
- در کلیهٔ مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیهٔ مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزهٔ اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ / / ۱۳۹۲ **امضای دانشجو**

حق نشر و مالکیت نتایج

- کلیهٔ حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به **دانشگاه فردوسی مشهد** است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

© متن این صفحه باید در نسخهٔ تکثیر شده وجود داشته باشد.

تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوارم ،

که در تمام دوران زندگی دلسوز و راهنمای من بوده اند

و

همسر عزیزم

سپاسگزاری

حمد و سپاس بیکران خداوند متعال را که سرچشمه و الهام بخش علم و معرفت است. تحقیق حاضر در پرتو عنایت پروردگار و در سایه همکاری و یاری اساتید بزرگوار و دوستان انجام گرفته است، از اینرو بر خود واجب می دانم که مراتب قدردانی و تشکر خود را نسبت به آنها ابراز نمایم.

از جناب آقای دکتر حسین محمدزاده و جناب آقای دکتر غلامرضا لشکری‌پور اساتید راهنمای پایانامه که در طول تحصیل و تحقیق همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده و راهگشای مشکلات علمی و تحقیقی بنده بوده اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از مدیریت و کارکنان شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، بویژه دفتر مطالعات پایه منابع آب زیرزمینی، آقای مهندس مدنی و شرکت مهارآب، آقای دکتر اخترپور به خاطر در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات مورد نیاز برای این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان عزیزم بویژه آقای مهندس پارسا، آقای مهندس شجاعی، آقای مهندس زارع صفت، خانم مهندس خلق ذکرآباد و خانم مهندس ابارشی که هر کدام به نحوی در این تحقیق به بنده یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

به‌منظور پیش‌بینی نوسانات تراز سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و بررسی پیش‌بینی فرونشست سطح زمین در دشت کاشمر، به وسعت ۱۰۲۹کیلومترمربع واقع در جنوب غرب استان خراسان رضوی، آب‌های‌زیرزمینی آبخوان دشت کاشمر توسط روش عددی تفاضلات محدود به‌وسیله نرم‌افزار GMS6.5 (کد MODFLOW) شبیه‌سازی گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مدل مفهومی و مدل عددی آبخوان دشت کاشمر تهیه شد. برای حالت پایدار، مدل جریان آب‌زیرزمینی برای سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ اجرا و واسنجی گردید. سپس مدل از مهر ۱۳۸۷ تا شهریور ۱۳۸۸ در حالت ناپایدار طی ۱۲ دوره تنش واسنجی و پس از بهینه‌سازی پارامترهای هیدروژئولوژیکی، مدل برای دوره زمانی مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ صحت‌سنجی شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، نوسانات سطح ایستابی آب زیرزمینی برای شرایط مختلف بهره‌برداری شبیه‌سازی گردید. در صورت ادامه روند بهره‌برداری کنونی از آبخوان، پیش‌بینی می‌شود تراز سطح آب‌زیرزمینی سالانه حدود ۱ متر افت نماید. در صورت افزایش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی در میزان بهره‌برداری از آبخوان دشت کاشمر، تراز سطح آب‌زیرزمینی سالانه به‌ترتیب حدود ۱/۱۵، ۱/۵ و ۲/۲ متر افت خواهد نمود. با توجه میزان افت ۵/۱ متر پیش‌بینی شده تا سال ۱۳۹۶، کاهش فشار آب منفذی بین رسوبات باعث افزایش تنش موثر و به نوبه خود تراکم و تحکیم در رسوبات می‌گردد. با توجه به روند کنونی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، سطح زمین بین ۰/۰۴ تا ۱/۴۶ متر نشست خواهد کرد. اما در صورت افزایش میزان بهره‌برداری از آبخوان دشت کاشمر با درصدهای فوق، پیش‌بینی می‌شود به ترتیب حداقل ۰/۰۴، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ و حداکثر ۱/۵۸، ۱/۹ و ۳/۶ متر نشست در سطح زمین رخ دهد.

کلمات کلیدی: مدل آب‌های زیرزمینی، تراز سطح آب‌زیرزمینی، GMS، فرونشست، دشت کاشمر.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۳- ضرورت و اهمیت طرح مسئله ۲

۱-۳- پیشینه تحقیق ۳

۱-۳-۱- پیشینه تحقیق در جهان ۳

۱-۳-۲- پیشینه تحقیق در ایران ۷

۱-۴- فرضیات تحقیق ۱۱

۱-۵- اهداف تحقیق ۱۱

۱-۶- ساختار پایان‌نامه ۱۱

فصل دوم: موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه ۱۳

۲-۲- زمین‌شناسی ۱۴

۲-۲-۱- زمین‌شناسی عمومی منطقه ۱۴

۲-۲-۲- چینه‌نگاری منطقه مورد مطالعه ۱۵

۲-۲-۲-۱- پرکامبرین و اینفراکامبرین ۱۵

۲-۲-۲-۲- پالئوزوئیک ۱۷

۲-۲-۲-۳- مزوزوئیک ۱۹

۲-۲-۲-۴- سنوزوئیک ۲۰

۲-۲-۳- زمین‌ساخت و تکتونیک ۲۱

۲-۲-۴- بررسی تشکیلات زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی از نظر منابع آب و فرونشست زمین. ۲۲
۲-۳- هواشناسی و اقلیم منطقه مورد مطالعه ۲۳
۲-۳-۱- بارندگی ۲۳
۲-۳-۲- درجه حرارت ۲۴
۲-۳-۳- تبخیر ۲۵
۲-۳-۴- اقلیم ۲۵
۲-۴- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه ۲۶
۲-۵- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه ۲۸
۲-۵-۱- بررسی‌های اکتشافی محدوده مطالعاتی کاشمر ۲۹
۲-۵-۱-۱- ژئوفیزیک ۲۹
۲-۵-۱-۲- حفاری‌های اکتشافی و مشاهده‌ای ۳۰
۲-۵-۱-۳- آزمایشات پمپاژ ۳۰
۲-۵-۲- بهره‌برداری از منابع آب‌زیرزمینی ۳۰
۲-۵-۲-۱- چاه‌ها ۳۱
۲-۵-۲-۲- قنوات ۳۲
۲-۵-۲-۳- چشمه‌ها ۳۳
۲-۵-۳- بررسی شرایط هیدرولیکی آبخوان ۳۴
۲-۵-۳-۱- بررسی هیدروگراف واحد آبخوان ۳۴
۲-۵-۳-۲- بررسی نقشه هم‌پتانسیل آب‌زیرزمینی ۳۴
۲-۵-۳-۳- بررسی نقشه هم‌عمق سطح آب‌زیرزمینی ۳۶
۲-۵-۴- بیلان آب‌زیرزمینی محدوده مطالعاتی ۳۶
۲-۵-۴-۱- حجم آب‌زیرزمینی ورودی و خروجی از آبخوان ۳۷

۲-۵-۴-۲- حجم آب نفوذ یافته از نزولات جوی ۳۸
۲-۵-۴-۳- حجم آب نفوذی از جریانات سطحی ۳۹
۲-۵-۴-۴- حجم آب برگشتی یا انتقالی ۳۹
۲-۵-۴-۵- حجم آب بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی ۴۰
۲-۵-۴-۶- میزان تبخیر و تعرق از آبخوان ۴۰
۲-۵-۴-۷- حجم آب زهکش شده از آبخوان ۴۱
۲-۵-۴-۸- تغییرات حجم مخزن در دوره بیلان ۴۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- تعریف مدل ۴۳
۳-۲- انواع مدل‌های آب‌زیرزمینی ۴۳
۳-۲-۱- مدل ریاضی ۴۵
۳-۲-۱-۱- مدل‌های عددی ۴۵
۳-۲-۱-۱-۲- روش عناصر محدود ۴۶
۳-۲-۱-۱-۲- روش تفاضلات محدود ۴۸
۳-۲-۱-۱-۳- مزایای روش تفاضلات محدود ۵۰
۳-۲-۱-۱-۴- روش حل معادلات جریان در تفاضلات محدود ۵۰
۳-۳- مراحل مدل‌سازی ۵۵
۳-۳-۱- تعیین هدف از مدل‌سازی ۵۶
۳-۳-۲- تهیه مدل مفهومی ۵۷
۳-۳-۳- انتخاب کد کامپیوتری ۵۸
۳-۳-۴- طراحی مدل ۵۸

۳-۳-۵- واسنجی مدل ۵۸
۳-۳-۶- آنالیز حساسیت ۵۹
۳-۳-۷- صحت‌سنجی ۶۰
۳-۳-۸- پیش‌بینی ۶۰
۳-۳-۹- ارائه نتایج ۶۰
۳-۳-۱۰- بازرسی مجدد ۶۰
۳-۴- معرفی برخی از کدهای شبیه‌ساز جریان آب‌زیرزمینی به روش عددی ۶۱
۳-۴-۱- کد SYTRA ۶۱
۳-۴-۲- کد FEFLOW ۶۱
۳-۴-۳- کد MICROFEM ۶۲
۳-۴-۴- کد UNSAT3 ..... ۶۲
۳-۴-۵- کد MODFLOW ۶۲
۳-۵- معادله حاکم بر جریان آب‌زیرزمینی ۶۳
۳-۶- مروری بر بسته نرم‌افزاری GMS و ماژول‌های آن ۶۶
۳-۶-۱- ماژول TIN ۶۷
۳-۶-۲- ماژول BOREHOLE ۶۸
۳-۶-۳- ماژول Solid ۶۹
۳-۶-۴- ماژول 2D MESH ۶۹
۳-۶-۵- ماژول 2D GRID ۷۰
۳-۶-۶- ماژول 2D SCATTER POINT ۷۰
۳-۶-۷- ماژول 3D MESH ۷۰
۳-۶-۸- ماژول 3D GRID ۷۱

۳-۶-۹- ماژول 3D SCATTER POINT ۷۱
۳-۶-۱۰- ماژول MAP ۷۲
۳-۶-۱۱- ماژول GIS ۷۲
۳-۷- مزایای نرم افزار GMS ۷۳
۳-۸- مروری بر پدیده نشست زمین ۷۴
۳-۸-۱- تعریف فرونشست ۷۴
۳-۸-۲- فرونشست زمین در اثر استخراج آب‌زیرزمینی ۷۴
۳-۸-۳- مکانیزم فرونشست ۷۵
۳-۸-۳-۱- نشست آنی ۷۶
۳-۸-۳-۲- نشست تحکیمی ۷۷

فصل چهارم: طراحی و اجرای مدل عددی جریان آب‌زیرزمینی دشت کاشمر

۴-۱- اهداف مدل‌سازی ۷۹
۴-۲- مدل مفهومی آبخوان ۷۹
۴-۲-۱- وضعیت هندسی مدل ۸۱
۴-۲-۲- شرایط مرزی ۸۲
۴-۲-۳- چاه‌های بهره‌برداری، چشمه و قنات ۸۳
۴-۲-۴- رودخانه ۸۳
۴-۲-۵- تغذیه ۸۴
۴-۲-۶- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ۸۴
۴-۲-۷- بارهیدرولیکی اولیه (سطح آب مشاهده‌ای) ۸۵
۴-۳- تهیه مدل عددی و گسسته‌سازی مکانی ۸۶

۴-۴- گسسته‌سازی زمانی مدل ۸۷
۴-۵- اجرا و واسنجی مدل در شرایط پایدار ۸۷
۴-۶- اجرا و واسنجی مدل دشت کاشمر در حالت ناپایدار ۹۱
۴-۷- آنالیز حساسیت ۹۴
۴-۸- صحت‌سنجی مدل ۹۵

فصل پنجم: نوسانات تراز آب‌زیرزمینی دشت کاشمر و پیش‌بینی فرونشست

۵-۱- پیش‌بینی تراز آب‌زیرزمینی آبخوان در شرایط مختلف بهره‌برداری ۹۸
۵-۲- فرونشست زمین در دشت کاشمر ۱۰۳
۵-۳- پیش‌بینی فرونشست زمین در دشت کاشمر ۱۰۴

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۱۰
منابع ۱۱۱

پیوست‌ها

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۱۴

شکل۲-۲: نقشه راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه ۱۴

شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۶

شکل۲-۴: رابطه بین بارندگی و ارتفاع از سطح دریا ۲۳

شکل ۲-۵: منحنی‌های آمبروتیک ایستگاه سینوپتیک کاشمر ۲۵

شکل ۲-۶: موقعیت اقلیم منطقه مورد مطالعه بر روی اقلیم نمای دومارتین ۲۷

شکل ۲-۷: موقعیت منابع آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۳۳

شکل۲-۸: موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و شبکه تیسن دشت کاشمر ۳۴

شکل ۲-۹ : هیدروگراف واحد آبخوان دشت کاشمر ۳۵

شکل ۲-۱۰: نقشه هم‌پتانسیل آب‌زیرزمینی دشت کاشمر ۳۵

شکل ۲-۱۱: نقشه هم‌عمق آب‌زیرزمینی دشت کاشمر ۳۶

شکل ۲-۱۲: مقاطع ورودی و خروجی جریان آب‌زیرزمینی دشت کاشمر ۳۸

شکل ۳-۱: انواع مدل‌های جریان آب‌زیرزمینی ۴۴

شـکل۳-۲: اشکال مختلف عناصر جهت تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه در روش عناصر محدود الف) یک بعدی، ب) دو بعدی و ج) سه بعدی ۴۷

شکل ۳-۳: شبکه عناصر محدود با قطعات مثلثی ۴۸

شکل۳-۴: تفاوت بین سیستم شبکه‌بندی مرکز بلوکی و مرکز شبکه ای ۴۹

شکل۳-۵: نمایش شبکه‌بندی تفاضلات متناهی ۵۰

شکل۳-۶: هیدروگراف برای سلول I، J و K ۵۴

شکل۳-۷: مراحل تهیه مدل آب‌زیرزمینی ۵۶

شکل۳-۸: عنصر نماینده حجمی (REV) ۶۴

شکل۳-۹: نمایش سطح مدل شده در ماژول TIN ۶۸
شکل۳-۱۰: نمایش چینه‌بندی خاک در ماژول گمانه ۶۸
شکل۳-۱۰: نمایش چینه‌بندی خاک در ماژول جامد ۶۹
شکل ۳-۱۲: نمایش شبکه با عناصر محدود دو بعدی ۶۹
شکل۳- ۱۳: درون‌یابی داده‌های غلظت آلاینده در شبکه تفاضل محدود دوبعدی ۷۰
شکل۳- ۱۴: شبکه سه بعدی عناصر محدود ۷۱
شکل۳-۱۵: شبکه سه بعدی تفاضل محدود ۷۱
شکل۳-۱۶: درون‌یابی نقاط سه بعدی به شبکه در ماژول نقاط پراکنده سه بعدی ۷۲
شکل۳-۱۷: کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی ۷۶
شکل۳-۱۸: رابطه بین سطح ایستابی، تنش موثر و فشار آب منفذی ۷۷
شکل ۴-۱: مدل مفهومی آبخوان دشت کاشمر ۸۰
شکل۴-۲: توپوگرافی سطحی آبخوان دشت کاشمر ۸۱
شکل ۴-۳: تراز سنگ‌کف آبخوان دشت کاشمر ۸۲
شکل ۴-۴: تغییرات هدایت هیدرولیکی در محدوده ۸۵
شکل ۴-۵: مشخصات شبکه‌بندی آبخوان دشت کاشمر ۸۶
شکل ۴-۶: دوره های تنش و گام‌های زمانی در حالت ناپایدار ۸۸
شکل ۴-۷: برازش بارهیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت پایدار ۹۰
شکل ۴-۸: نقشه سطح ایستابی مشاهداتی و سطح ایستابی شبیه‌سازی شده در حالت پایدار ۹۰
شکل ۴-۹: مقدار آبدهی ویژه بعد از واسنجی مدل ۹۱
شکل ۴-۱۰: انواع میانگین خطاها در هر یک از دوره‌های تنش ۹۲
شکل ۴-۱۱: مقایسه بین نقشه‌های تراز بارهیدرولیکی محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در گام ششم مدل در حالت ناپایدار ۹۲

شـکل ۴-۱۲: برازش بارهیدرولیکی محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در آبخوان دشت کاشمر در گام‌های زمانی مختلف ۹۳
شکل ۴-۱۳: آنالیز پارامترهای خطا در مرحله ناپایدار ۹۴
شکل ۴-۱۴: برازش مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در آبخوان دشت کاشمر در هر دوره صحت سنجی ۹۶
شکل ۵-۱: پیش‌بینی افت سطح ایستابی با ادامه روند پمپاژ فعلی بین سال ۹۶-۱۳۸۷ ..... ۹۹
شکل ۵-۲: افت پیش‌بینی شده در محدوده تیسن برای سال‌های ۹۶-۱۳۹۱ ..... ۹۹
شکل ۵-۳: پیش‌بینی افت سطح ایستابی با افزایش ۱۰ درصد پمپاژ بین سال ۹۶-۱۳۸۷ ..... ۱۰۰
شکل ۵-۴: افت پیش‌بینی شده با افزایش ۱۰ درصد پمپاژ در محدوده تیسن برای سال‌های ۹۶-۱۳۹۱ ... ۱۰۰
شکل ۵-۵: پیش‌بینی افت سطح ایستابی با افزایش ۳۰ درصد پمپاژ بین سال ۹۶-۱۳۸۷ ..... ۱۰۱
شکل ۵-۶: افت پیش‌بینی شده با افزایش ۳۰ درصد پمپاژ در محدوده تیسن برای سال‌های ۹۶-۱۳۹۱ .. ۱۰۱
شکل ۵-۷: پیش‌بینی افت سطح ایستابی با افزایش ۵۰ درصد پمپاژ بین سال ۹۶-۱۳۸۷ ..... ۱۰۲
شکل ۵-۸: افت پیش‌بینی شده با افزایش ۵۰ درصد پمپاژ در محدوده تیسن برای سال‌های ۹۶-۱۳۹۱ ..... ۱۰۲
شکل ۵-۹: شکاف‌های ایجاد شده بر اثر سطح ایستابی در غرب دشت کاشمر ۱۰۴
شکل ۵-۱۰: پیش‌بینی میزان فرونشست در صورت ادامه برداشت با شرایط کنونی ۱۰۵
شکل ۵-۱۱: پیش‌بینی میزان فرونشست در صورت افزایش ۱۰ درصد برداشت ۱۰۶
شکل ۵-۱۲: پیش‌بینی میزان فرونشست در صورت افزایش ۳۰ درصد برداشت ۱۰۶
شکل ۵-۱۳: پیش‌بینی میزان فرونشست در صورت افزایش ۵۰ درصد برداشت ۱۰۶

فهرست جداول

جدول۲-۱: متوسط بارندگی، دما و تبخیر ماهانه و سالانه منطقه مورد مطالعه ۲۵

جدول ۲-۲: طبقه‌بندی اقلیم به روش دومارتین ۲۶

جدول ۲-۳: مشخصات حفاری چاه‌های اکتشافی در محدوده مطالعاتی کاشمر ۳۰

جدول ۲-۴ نتایج آزمایش پمپاژ چاه‌ها در محدوده مطالعاتی کاشمر ۳۱

جدول ۲-۵: حجم و نوع مصرف برداشت از منابع آبی کاشمر ۳۱

جدول ۲-۶: نحوه محاسبه جریان آب‌زیرزمینی ورودی به و خروجی از آبخوان ۳۸

جدول ۲-۷: خلاصه اجزاء بیلان آبخوان آبرفتی کاشمر برای سال ۸۸-۱۳۸۷ .....۴۱

جدول ۵-۱: نسبت تخلخل و وزن مخصوص خشک برخی از خاک‌های نمونه در حالت طبیعی ...۱۰۵

فصل۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

منابع آب‌زیرزمینی در کشور خشک و نیمه‌خشک ایران، منبع اصلی تامین آب مورد نیاز در بخش‌های مختلف می‌باشد. با رشد جمعیت و نیاز بیشتر کشور به آب، تعادل میان نرخ تغذیه و تخلیه‌ی آبخوان‌ها از بین رفته و باعث ایجاد مشکلات زیادی در بعضی از نقاط کشور شده است. یکی از این مشکلات، فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌زیرزمینی می‌باشد. این پدیده اغلب به صورت شکاف‌های کششی در سطح زمین شناخته می‌شود. فرونشست زمین باعث ایجاد صدمه و آسیب به چاه‌های کشاورزی، تغییر شیب زمین، عوض شدن مسیر جریان سطحی و زیرسطحی، افزایش سیل‌خیزی منطقه، افت کیفیت آب‌های زیرزمینی، آسیب به ساختمان‌ها و خطوط انتقال نیرو می‌شود. بنابراین برای جلوگیری از افت کمی و کیفی آبخوان‌ها و پیشگیری از نشست زمین در مناطق مستعد، حفاظت از آب‌زیرزمینی و مدیریت بهره‌برداری باید در اولویت برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد. در این رابطه، مدل ریاضی درصورت شناخت درست و به شرط آماده بودن زمینه، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارآمد دراختیار مدیران قرار گیرد. مدل ریاضی آب‌زیرزمینی، شبیه‌سازی یک سامانه هیدروژئولوژیکی است که از قوانین فیزیک و ریاضی کمک می‌گیرد. مهم‌ترین مزیت این مدل‌ها، توانایی آن‌ها برای مدل‌سازی آبخوان‌های با شرایط هیدروژئولوژیکی پیچیده است. مزیت مهم دیگر