



دانشکده علوم

**پیش بینی تأثیر احداث سد روداب سبزوار بر منابع آب زیرزمینی پایین دست با  
استفاده از کد MODFLOW**

نگارنده

**حسین یارصادر**

اساتید راهنما

**دکتر حسین محمدزاده**

**دکتر حمیدرضا ناصری**

استاد مشاور

**مهندس مهدی جانپور**

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

زمین شناسی - آب شناسی (هیدروژئولوژی)

بهمن ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده علوم

**پیش بینی تأثیر احداث سد روداب سبزوار بر منابع آب زیرزمینی پایین دست با**

**استفاده از کد MODFLOW**

نگارنده

**حسین پارسا صدر**

اساتید راهنما

**دکتر حسین محمدزاده**

**دکتر حمیدرضا ناصری**

استاد مشاور

**مهندس مهدی جانپور**

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

زمین شناسی - آب شناسی (هیدروژئولوژی)

دی ۱۳۹۲

## اظهارنامه

این جانب حسین پارسا صدر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی-آبشناسی (هیدروژئولوژی) دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد نگارنده پیش بینی تأثیر احداث سد روداب سبزوار بر منابع آب زیرزمینی پایین دست با استفاده از کد MODFLOW

تحت راهنمایی دکتر حسین محمدزاده و دکتر حمیدرضا ناصری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط این جانب 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.
- کلیه 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 کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو

تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱

## حق نشر و مالکیت نتایج

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها 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.

تقدیم به:

خدای آفریننده و مهربان  
و آنان که وجودم بخزیده و جودشان نیست  
پدر و مادر عزیزم...

بدین وسیله فرصت را معتنم شمرده تا نهایت سپاس و قدرشناسی خویش را به اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر حسین محمدزاده و دکتر حمیدرضا

ناصری ابراز نمایم، اساتیدی که بارها بهمانی‌های خویش راه‌گشای اینجانب بوده‌اند، و سپیدی را برتخت سیاه زندگیم نگاشتند.

همچنین از جناب آقای مهندس مهدی جانپور و جناب آقای دکتر علی اخترپور بسیار سپاسگزارم چرا که بدون مساعدت ایشان تأمین این

پایان نامه بسیار مشکل بود.

در ادامه از کلیه کارکنان شرکت آب منطقه خراسان رضوی و شرکت مهندسین مشاور تحقیقات خاک مهار آب به خاطر در اختیار قرار دادن

اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز جهت به انجام رساندن هر چه بهتر این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

از زحمات خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی با کمک ما و دلگرمی‌های بی‌دریغشان تنها می‌نگذاشتند، بی‌نهایت سپاسگزارم.

در پایان نیز از تمام همکلاسی‌ها و دوستان عزیزم، بخصوص جناب آقای مهندس غفاریان و جناب آقای مهندس شجاعی و دیگر عزیزان که به نحوی

مراد انجام این پژوهش یاری نموده‌اند نهایت قدردانی و تشکر را دارم.

حسین پارصاصدر

## چکیده

حوضه آبریز دشت روداب سبزوار، با مساحت ۱۸۲۸ کیلومتر مربع، در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۴۰' تا ۳۶° ۱۰' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۷° ۰۰' تا ۵۷° ۳۰' شرقی واقع شده است. بمنظور مدیریت آبهای سطحی و تأمین بخشی از افزایش تقاضای آب در محدوده حوضه آبریز دشت روداب سبزوار، در مسیر رودخانه روداب سدی در حال ساخت است. هدف از این تحقیق، بررسی اثرات احتمالی احداث و آگیری سد رودآب بر آبخوان دشت روداب سبزوار، واقع در پایین دست سد، همچنین محاسبه میزان نشت از پی و بدنه سد روداب می‌باشد. مدل آبهای زیرزمینی آبخوان دشت روداب سبزوار، با استفاده از کد MODFLOW در محیط نرم افزار GMS در صورت وجود و نبود سد روداب شبیه سازی شده است. مدل آبخوان در شرایط پایدار برای سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ واسنجی و در شرایط ناپایدار برای یک دوره ۱۲ ماهه در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ صحت‌سنجی گردیده است. نتایج مدل نشان می‌دهد که در صورت احداث سد روداب سبزوار، سطح ایستابی آبخوان دشت روداب بیشتر افت خواهد یافت. پیش بینی شده است که به دلیل کاهش تغذیه دشت از رودخانه روداب، افت متوسط سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در سال‌های ۹۳، ۹۴ و ۹۵، به ترتیب برابر ۰/۱۷، ۰/۲ و ۰/۲۳ متر افزایش خواهد یافت. مدل نشت از پی و بدنه سد روداب، با استفاده از نرم افزار Seep/W از بسته نرم افزاری GeoStudio 2007، با توجه به متوسط تراز آب در پشت سد و بار هیدرولیکی اعمالی حاصل از این ترازها، شبیه سازی شده است. بیشترین میزان نشت از پی و بدنه سد روداب در طول سال مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت (به ترتیب برابر با ۹۷۳۰ و ۹۵۹۰ مترمکعب) و متوسط نشت سالانه از پی و بدنه سد روداب برابر ۹۸۸۸۰ مترمکعب می‌باشد.

«کلمات کلیدی»: آبخوان دشت روداب سبزوار، شبیه سازی جریان آب زیرزمینی، GMS، Seep/W



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: کلیات

۱	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ ضرورت و اهمیت طرح مسئله.....
۳	۳-۱ فرض تحقیق.....
۳	۴-۱ اهداف پژوهش.....
۴	۵-۱ مروری بر تحقیقات گذشته.....
۹	۶-۱ تعریف مدل سازی.....
۱۰	۷-۱ انواع مدل های آب های زیرزمینی.....
۱۱	۱-۷-۱ مدل های فیزیکی.....
۱۲	۲-۷-۱ مدل های آنالوگ (تشابهی).....
۱۲	۳-۷-۱ مدل های ریاضی.....
۱۳	۱-۳-۷-۱ مدل های تجربی.....
۱۳	۲-۳-۷-۱ مدل های احتمالاتی.....
۱۴	۳-۳-۷-۱ مدل های علت و معلولی.....
۱۴	۱-۳-۳-۷-۱ مدل های تحلیلی.....
۱۵	۲-۳-۳-۷-۱ مدل های عددی.....
۱۶	۱-۲-۳-۳-۷-۱ روش اجزاء محدود.....
۱۷	۲-۲-۳-۳-۷-۱ روش تفاضل محدود.....

ب

- ۱-۸-۸ مراحل مدل سازی..... ۱۸
- ۱-۸-۱ تعیین هدف..... ۱۹
- ۱-۸-۲ توسعه مدل مفهومی..... ۱۹
- ۱-۸-۳ انتخاب کد..... ۱۹
- ۱-۸-۴ طراحی مدل..... ۲۰
- ۱-۸-۵ واسنجی مدل..... ۲۰
- ۱-۸-۶ آنالیز حساسیت..... ۲۳
- ۱-۸-۷ صحت سنجی..... ۲۳
- ۱-۸-۸ پیش بینی..... ۲۳
- ۱-۸-۹ بازرسی مجدد..... ۲۴
- ۱-۹-۹ معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی..... ۲۴
- ۱-۱۰-۱ بنیان معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی..... ۲۷
- ۱-۱۱-۱ شرایط مرزی..... ۳۱
- ۱-۱۲-۱ شبکه..... ۳۲
- ۱-۱۳-۱ مروری بر نرم افزارهای مدل سازی آب زیرزمینی..... ۳۲
- ۱-۱۴-۱ معرفی نرم افزار GMS..... ۳۳
- ۱-۱۴-۱-۱ ماژول شبکه مثلثی بی قاعده TIN..... ۳۳
- ۱-۱۴-۲-۱ ماژول گمانه..... ۳۴
- ۱-۱۴-۳-۱ ماژول جامد..... ۳۶
- ۱-۱۴-۴-۱ ماژول شبکه دو بعدی اجزای محدود..... ۳۶
- ۱-۱۴-۵-۱ ماژول شبکه دو بعدی..... ۳۷

ج

- ۱-۱۴-۶ ماژول نقاط پراکنده دو بعدی..... ۳۷
- ۱-۱۴-۷ ماژول شبکه سه بعدی اجزای محدود..... ۳۸
- ۱-۱۴-۸ ماژول شبکه سه بعدی..... ۳۸
- ۱-۱۴-۹ ماژول نقاط پراکنده سه بعدی..... ۳۹
- ۱-۱۴-۱۰ ماژول نقشه..... ۳۹
- ۱-۱۴-۱۱ ماژول GIS..... ۴۰

## فصل ۲: منطقه مورد مطالعه

- ۲-۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه دشت روداب سبزوار..... ۴۱
- ۲-۲ راه های ارتباطی..... ۴۲
- ۲-۳ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۴۳
- ۲-۴ هوا شناسی..... ۴۴
- ۲-۴-۱ ایستگاه معرف حوضه آبریز (ایستگاه مبنا) جهت مطالعات هواشناسی..... ۴۴
- ۲-۴-۲ بارندگی..... ۴۵
- ۲-۴-۳ گرادیان بارندگی - ارتفاع..... ۴۷
- ۲-۴-۴ توزیع ماهیانه بارندگی در حوضه آبریز..... ۴۷
- ۲-۴-۵ درجه حرارت..... ۴۹
- ۲-۴-۵-۱ گرادیان حرارتی..... ۴۹
- ۲-۴-۶ رطوبت..... ۵۰
- ۲-۴-۷ تبخیر..... ۵۱
- ۲-۴-۸ اقلیم منطقه..... ۵۲
- ۲-۴-۸-۱ اقلیم نمای دومارتن..... ۵۳

- ۵۴..... ۲-۴-۸-۲ اقلیم نمای آمبرژه.....
- ۵۵..... ۲-۵ هیدرولوژی.....
- ۵۵..... ۲-۶-۲ چینه شناسی.....
- ۵۵..... ۲-۶-۱ واحدهای زمین شناسی دوران دوم (مزوزوئیک).....
- ۵۶..... واحد **Ukv**.....
- ۵۸..... واحد **Ukpl**.....
- ۵۸..... واحد **Ugb**.....
- ۵۸..... واحد **K11**.....
- ۵۸..... ۲-۶-۲ واحدهای زمین شناسی دوران سوم (سنوزوئیک).....
- ۵۹..... واحد **E2F**.....
- ۵۹..... واحد **EV**.....
- ۵۹..... واحد **Gr**.....
- ۵۹..... واحد **Ngv**.....
- ۵۹..... ۲-۶-۳ واحدهای زمین شناسی دوران چهارم.....
- ۶۰..... مخروطه افکنه های آبرفتی قدیمی (**QT1**).....
- ۶۰..... مخروطه افکنه ها و رسوبات جوان آبرفتی (**QT2**).....
- ۶۲..... تپه های شنی و ماسه ای (**QS**).....
- ۶۲..... ۲-۷ ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه.....
- ۶۳..... ۲-۸ تکتونیک و زمین شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه.....
- ۶۴..... ۲-۹-۹ هیدروژئولوژی.....
- ۶۴..... ۲-۹-۱ مطالعات ژئوفیزیک.....

- ۶۵.....۲-۹-۲ حفاری‌های اکتشافی.....
- ۶۶.....۳-۹-۲ ضرایب هیدرودینامیک.....
- ۶۷.....۴-۹-۲ بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی.....
- ۶۷.....۱-۴-۹-۲ چاه.....
- ۶۸.....۲-۴-۹-۲ چشمه.....
- ۶۸.....۳-۴-۹-۲ قنات.....
- ۷۰.....۵-۹-۲ نقشه‌های سطح آب زیرزمینی.....
- ۷۰.....۱-۵-۹-۲ نقشه تراز آب زیرزمینی.....
- ۷۱.....۲-۵-۹-۲ نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی.....
- ۷۳.....۳-۵-۹-۲ نقشه هم افت ده ساله سطح آب زیرزمینی.....
- ۷۴.....۶-۹-۲ رفتار سنجی چاه‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف معرف آبخوان.....

### فصل ۳: طراحی و اجرای مدل

- ۷۸.....۱-۳ مقدمه.....
- ۷۹.....۲-۳ اهداف مدل سازی.....
- ۷۹.....۳-۳ مدل مفهومی.....
- ۸۰.....۱-۳-۳ بیلان آب زیرزمینی.....
- ۸۰.....۱-۱-۳-۳ حجم جریان ورودی ( $Q_{us}$ ) و خروجی ( $Q_{uo}$ ) آب زیرزمینی از آبخوان.....
- ۸۲.....۲-۱-۳-۳ حجم آب نفوذی از نزولات جوی ( $Q_{pi}$ ).....
- ۸۲.....۳-۱-۳-۳ حجم آب نفوذی از جریان‌ات سطحی ( $Q_{si}$ ).....
- ۸۳.....۴-۱-۳-۳ حجم آب برگشتی به آبخوان ( $Q_r$ ).....
- ۸۳.....۵-۱-۳-۳ حجم بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ( $Q_d$ ).....

- ۸۳..... ۶-۱-۳-۳ میزان تبخیر و تعرق از آبخوان ( $E_{vp}$ )
- ۸۴..... ۷-۱-۳-۳ حجم زهکشی از آبخوان ( $Q_{dr}$ )
- ۸۴..... ۸-۱-۳-۳ تغییرات حجم ذخیره آبخوان ( $\Delta V$ )
- ۸۵..... ۲-۳-۳ محدوده مدل
- ۸۷..... ۳-۳-۳ شرایط مرزی
- ۸۸..... ۴-۳-۳ چاه‌های بهره‌برداری، چشمه و قنات
- ۸۸..... ۵-۳-۳ رودخانه
- ۸۹..... ۶-۳-۳ تغذیه
- ۸۹..... ۷-۳-۳ خصوصیات هیدرولیکی آبخوان
- ۹۰..... ۴-۳ انتخاب کد و نرم افزار
- ۹۱..... ۵-۳ طراحی مدل
- ۹۱..... ۱-۵-۳ تهیه شبکه مدل و گسسته‌سازی مکانی
- ۹۲..... ۲-۵-۳ شرایط مرزی
- ۹۳..... ۳-۵-۳ گسسته سازی زمانی
- ۹۴..... ۴-۵-۳ توپوگرافی سطح آبخوان
- ۹۵..... ۵-۵-۳ توپوگرافی کف آبخوان
- ۹۶..... ۶-۵-۳ بار هیدرولیکی اولیه
- ۹۶..... ۶-۳ اجرای مدل
- ۹۷..... ۷-۳ واسنجی مدل آب زیرزمینی دشت روداب در شرایط پایدار
- ۹۷..... ۱-۷-۳ روش سعی و خطا یا دستی
- ۹۸..... ۲-۷-۳ روش واسنجی خودکار

ز

- ۳-۷-۳ ارزیابی نتایج واسنجی آبخوان دشت روداب..... ۹۸
- ۳-۸ اجرا و واسنجی مدل آب زیرزمینی دشت روداب در شرایط ناپایدار..... ۱۰۰
- ۳-۹ آنالیز حساسیت..... ۱۰۳
- ۳-۱۰ صحت سنجی ..... ۱۰۷
- ۳-۱۱ مدل سازی نشت در بدنه و پی سد مخزنی روداب سبزوار..... ۱۰۸
- ۳-۱۱-۱ سد خاکی روداب سبزوار..... ۱۰۹
- ۳-۱۱-۲ تهیه مدل مفهومی و اعمال ضرایب نفوذپذیری سد روداب..... ۱۱۰
- ۳-۱۱-۳ بررسی نفوذپذیری در مناطق غیر اشباع سد روداب سبزوار..... ۱۱۱

#### فصل ۴: بررسی نتایج مدل آبخوان و سد و اعمال سناریوهای مدیریتی

- ۴-۱ مقدمه ..... ۱۱۳
- ۴-۲ انتخاب دوره پیش‌بینی و سناریوهای مرتبط با احداث سد روداب ..... ۱۱۴
- ۴-۲-۱ پیش‌بینی شرایط آبخوان در صورت نبود سد روداب ..... ۱۱۴
- ۴-۲-۲ پیش‌بینی شرایط آبخوان در صورت وجود سد روداب ..... ۱۱۷
- ۴-۳ بررسی و مقایسه وضعیت آبخوان در صورت وجود و نبود سد..... ۱۱۹
- ۴-۴ بررسی مدل عددی تراوش از پی و بدنه سد روداب..... ۱۲۰

#### فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۵-۱ نتیجه‌گیری..... ۱۲۳
- ۵-۲ پیشنهادات ..... ۱۲۴
- منابع..... ۱۲۵
- پیوست‌ها..... ۱۳۱

پیوست الف: شکل الف و جدول الف-۱ مشخصات ایستگاههای هواشناسی و تبخیرسنجی موجود در

منطقه مورد مطالعه.....۱۳۲

پیوست ب: داده‌های برداشت شده دما در ایستگاه‌های تبخیرسنجی منتخب در طول دوره آماری.....۱۳۴

پیوست ج: داده‌های برداشت شده مقادیر تبخیر از تشت و سطح آزاد آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه.....۱۳۵

پیوست د: موقعیت نقاط سونداژ و مقاطع ژئوفیزیکی برداشت شده در دشت روداب سبزوار.....۱۳۶



## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: گسسته سازی فضایی در روش تفاضل محدود در آبخوان فرضی.....	۱۷
شکل ۲-۱: مراحل مدل سازی.....	۱۸
شکل ۳-۱: هدف واسنجی.....	۲۱
شکل ۴-۱: دیدگاه‌های مفهومی سیستم آب زیرزمینی، الف: سیستم زمین شناسی ب: دیدگاه آبخوان ج: دیدگاه سیستم جریان.....	۲۵
شکل ۵-۱: المان نماینده حجمی (REV)، نمایانگر مولفه‌های جریان در طول محور y.....	۲۸
شکل ۶-۱: سطح شبیه سازی شده توسط ماژول TIN.....	۳۴
شکل ۷-۱: نمایی شماتیک از تعیین طول لوله و اسکرین و نوع چینه شناسی خاک در گمانه‌های شبیه سازی شده در GMS.....	۳۵
شکل ۸-۱: ایجاد مدل سه بعدی چینه شناسی آبخوان در ماژول حجمی.....	۳۶
شکل ۹-۱: ایجاد مش‌های دو بعدی اجزاء محدود در ماژول شبکه دو بعدی.....	۳۷
شکل ۱۰-۱: نمایش شبکه‌ی سه بعدی تفاضل محدود.....	۳۸
شکل ۱۱-۱: نمایی شماتیک از درون‌یابی نقاط سه بعدی به شبکه در ماژول نقاط پراکنده‌ی سه بعدی.....	۳۹
شکل ۱-۲: موقعیت قرار گیری حوضه دشت روداب سبزوار در استان خراسان رضوی.....	۴۲
شکل ۲-۲: نقشه راه های دسترسی به منطقه.....	۴۲
شکل ۳-۲: میانگین متحرک سه و پنج ساله ایستگاه معرف (حیطه) در دوره شاخص.....	۴۶
شکل ۴-۲: منحنی روند تغییرات باران در ایستگاه باران سنجی حیطه در طول دوره شاخص.....	۴۶
شکل ۵-۲: گرادیان بارندگی سالیانه در منطقه مورد مطالعه.....	۴۷

- شکل ۲-۶: متوسط مقدار بارندگی فصلی بر حسب درصد در ایستگاه بیروت..... ۴۸
- شکل ۲-۷: گرادیان حرارتی دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه..... ۴۹
- شکل ۲-۸: تغییرات رطوبت متوسط با درجه حرارت ماهانه ایستگاه مبنا (سبزوار)..... ۵۱
- شکل ۲-۹: تغییرات تبخیر از سطح آزاد آب در ایستگاههای مطالعاتی..... ۵۲
- شکل ۲-۱۰: اقلیم نمای آمبرژه برای محدوده مطالعاتی دشت روداب سبزوار..... ۵۴
- شکل ۲-۱۱: نقشه زمین شناسی محدوده روداب سبزوار..... ۵۷
- شکل ۲-۱۲: نمایی از تراستهای آبرفتی قدیمی (QT2) در بخش پایین و آبرفتهای جوان (QT1) در بالا در جهت شرقی-غربی در حوالی روستای قلعه نو روداب..... ۶۱
- شکل ۲-۱۳: نمایی از تراستهای آبرفتی قدیمی (QT2) در جهت شرقی-غربی در حوالی روستای قلعه نو روداب..... ۶۵
- شکل ۲-۱۴: تقسیم بندی چاههای محدوده مورد مطالعه براساس عمق..... ۶۷
- شکل ۲-۱۵: موقعیت منابع آب زیرزمینی حوضه آیریز دشت روداب..... ۶۹
- شکل ۲-۱۶: مقایسه تعداد انواع منابع آب زیرزمینی و میزان بهره برداری از آنها..... ۶۹
- شکل ۲-۱۷: نقشه تراز سطح آب زیرزمینی دشت روداب (فروردین و مهر ۱۳۸۹)..... ۷۱
- شکل ۲-۱۸: نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی دشت روداب (فروردین و مهر ۱۳۸۹)..... ۷۲
- شکل ۲-۱۹: نقشه هم افت ده ساله سطح آب زیرزمینی دشت روداب..... ۷۴
- شکل ۲-۲۰: نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی در چاههای مشاهدهای دشت روداب طی یک دوره ۹ ساله (۸۰-۸۹)..... ۷۵
- شکل ۲-۲۱: نقشه تیسن محدوده مورد بررسی..... ۷۶
- شکل ۲-۲۲: هیدروگراف معرف دشت روداب (۸۰-۸۹)..... ۷۷
- شکل ۳-۱: مقاطع ورودی و خروجی جریان آب زیرزمینی دشت روداب..... ۸۱

ک

شکل ۳-۲: محدوده مدل‌سازی آبخوان دشت روداب..... ۸۶

شکل ۳-۳: شبکه بندی مدل آبخوان دشت روداب..... ۹۲

شکل ۳-۴: شرایط مرزی مدل آبخوان دشت روداب..... ۹۳

شکل ۳-۵: نقشه توپوگرافی دشت روداب..... ۹۴

شکل ۳-۶: نقشه توپوگرافی سنگ بستر آبخوان دشت روداب..... ۹۵

شکل ۳-۷: شکل هندسی آبخوان دشت روداب..... ۹۶

شکل ۳-۸: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در حالت پایدار..... ۹۹

شکل ۳-۹: مقایسه تراز آب محاسبه‌ای و مشاهده‌ای آبخوان دشت روداب سبزوار در حالت پایدار..... ۱۰۰

شکل ۳-۱۰: مقایسه هیدروگراف سطح آب مشاهده‌ای نسبت به محاسبه‌ای در چاه‌های مشاهده‌ای

(شمس آباد، تسبند، پنج کیلومتری جنوب قلعه نو، قلعه نو ملوند، جنوب کال برآباد، لب کال نامن، دروک،

فیلشور، ملوند، ده کیلومتری حسین آباد گنجه)..... ۱۰۲

شکل ۳-۱۱: مقایسه بار هیدرولیکی محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان دشت روداب

در گام‌های زمانی مختلف در شرایط ناپایدار..... ۱۰۳

شکل ۳-۱۲: آنالیز حساسیت مدل در برابر تغییر پارامترها (الف) تغذیه سطحی ناشی از بارندگی (ب) دبی

بهره‌برداری از چاه‌ها (ج) هدایت هیدرولیکی (د) آنیزوتروپی افقی (ه) بار هیدرولیکی در مرزها..... ۱۰۵

شکل ۳-۱۳: مقایسه بار هیدرولیکی محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان دشت روداب

در مرحله صحت سنجی..... ۱۰۸

شکل ۳-۱۴: مقطع سد روداب سبزوار..... ۱۰۹

شکل ۳-۱۵: مدل مفهومی بدنه سد روداب..... ۱۱۰

شکل ۳-۱۶: تابع نفوذپذیری (الف) و تابع درصد حجمی رطوبت (ب) مصالح هسته در محدوده غیر

اشباع..... ۱۱۲

## ل

شکل ۴-۱: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در مهر ۱۳۹۲ بدون اعمال شرایط سد.....۱۱۵

شکل ۴-۲: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در مهر ۱۳۹۳ بدون اعمال شرایط سد.....۱۱۵

شکل ۴-۳: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در مهر ۱۳۹۴ بدون اعمال شرایط سد.....۱۱۶

شکل ۴-۴: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در انتهای شهریور ۱۳۹۵ بدون اعمال شرایط

سد.....۱۱۶

شکل ۴-۵: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در مهر ۱۳۹۲ در صورت احداث سد روداب.....۱۱۷

شکل ۴-۶: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در مهر ۱۳۹۳ در صورت احداث سد روداب.....۱۱۸

شکل ۴-۷: تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در مهر ۱۳۹۴ در صورت احداث سد روداب.....۱۱۸

شکل ۴-۸: نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان دشت روداب در انتهای شهریور ۱۳۹۵ در صورت احداث سد

روداب.....۱۱۹

شکل ۴-۹ مقایسه هیدروگراف پیش بینی سطح آب مشاهده‌ای در شرایط وجود و نبود سد روداب در

چاه‌های مشاهده‌ای (الف) تسبند (ب) فیلشور (ج) جنوب کال برآباد (د) قلعه نو ملوند (ه)

دروک.....۱۲۰

شکل ۴-۱۰: تغییرات میزان نشت از پی و بدنه سد روداب در ماه‌های مختلف سال.....۱۲۲

شکل ۴-۱۱: مدل واسنجی شده برای تراز نرمال مخزن سد.....۱۲۲