بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی
دانشکده آب و خاک
گروه مهندسی آب

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی

شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی دشت تربت‌جام– فریمان

با استفاده از MODFLOW

استاد راهنما:
دکتر محمود رضا ملایی نیا

استاد مشاور:
دکتر سید محمود طباطبایی
مهندس علی‌رضا باقریان

تهیه و تدوین:
مهدی فرخاری

بهمن ۹۰

بأسمه تعالی

دانشگاه زابل

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صفحه الف

این پایان نامه با عنوان: « **شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی دشت تربت‌جام- فریمان با استفاده از MODFLOW** » قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **رشته مهندسی آبیاری و زهکشی** توسط دانشجو **مهدی فرخاری** تحت راهنمایی استاد پایان نامه آقای **دکتر محمود رضا ملایی نیا** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه زابل مجاز می‌باشد.

امضا دانشجو

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۲۳ توسط هیئت داوران بررسی و نمره ۱۹/۷۰ و درجه **عالی** به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی		امضاء	تاریخ
۱- استاد راهنما:	دکتر محمود رضا ملایی نیا	.....	
۲- استاد مشاور اول :	دکتر سید محمود طباطبایی	.....	
۳- استاد مشاور دوم:	مهندس علی‌رضا باقریان	.....	
۴- استاد داور:	دکتر فرزاد حسن پور	.....	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر پیمان افراسیاب	.....	
۶- مدیر گروه: (مهر و امضاء)	دکتر فرزاد حسن پور	.....	

تقدیم به آنان که قلم و زبانم از ستایش محبت‌هایشان عاجز است:

پدر بزرگوارم؛ که دستان پر توانش هدیه بخش زندگی است و بلندای قامتش همیشه صبر و تلاش.

مادر مهربانم؛ که حقیقت مهر در دریای وجودش موج می‌زند و خلوص عشق در صفای کلامش و عظمت ایثار در صافی نگاهش.

شاید بوسه‌ای باشد بر دستان پر مهرشان.

خواهران و برادران عزیزم؛ که همیشه در همه مراحل پشتیبان و یاور من بودند.

و همچنین تقدیم به خواهرزاده عزیزم مهدیه.

و همه آنان که دوستشان دارم و به تمامی مردم با صفای روستای فرخار.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که علم را خالق است، و سپاس او را که در وادی علم مرا به رفیع ترین روشنایی ها هدایت کرد و راهم را به نور همیشه فروزان علم و دانش روشن ساخت.

در مسیری که برگزیدم، عالمان و حامیانی یاورم بودند از اینرو بر خود واجب می دانم که مراتب بی پایان سپاس و تقدیرم را نثارشان کنم. نخست شایسته است که تشکر قلبی خودم را به استاد راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر محمود رضا ملایی نیا تقدیم نمایم که با صبر و حوصله خود آرامش و بردباری را به من آموزش داد و با حمایت علمی خود در من جرات و امید پیشرفت علمی در آینده را اهدا نمود. همچنین از مشاوران دلسوزم جناب آقای دکتر سید محمود طباطبایی و مهندس علی رضا باقریان کمال تشکر را دارم و به امید آن دارم تا از همکاری های علمی و کاری این عزیزان در آینده نزدیک بهره مند گردم. همچنین از استاد پرکار، صبور و دلسوز جناب آقای دکتر فرزاد حسن پور که زحمت داوری را تقبل نمودند و مرا همچون گذشته از رهنمودهای ارزنده خود بهره مند نمودند، صمیمانه تشکر مینمایم.

در پایان بر خود لازم می دانم که از تمامی دوستان و عزیزان در دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، سازمان آب خراسان رضوی و مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی و همچنین کلیه اساتید و کارمندان گروه مهندسی آب دانشگاه زابل و همه هم اتاقی هایم که در این مسیر طولانی مرا با همکاری های علمی و امکانات رفاهی پشتیبانی و یاری نمودند صمیمانه تقدیر و تشکر می نمایم و بی شک امکان بردن نام تمامی این عزیزان مقدور نیست و برای همگی عزیزان خوب ترین ها و سربلندی را از درگاه خدای بزرگ آرزو می کنم.

مهدی فرخاری

بهمن ۹۰

چکیده

امروزه به علت افزایش جمعیت و کاهش بارندگی‌ها در مناطق اقلیمی خشک و نیمه خشک بهره برداری از منابع آب زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی بسیار افزایش یافته است و وضعیت کسری مخزن و افت بحرانی سطح آب را در آبخوان‌ها شاهد هستیم. از طرفی حفظ و توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، نیازمند شناخت همه جانبه آبخوان و عکس‌العمل آبخوان در برابر تنش‌ها و تغییرات احتمالی است. امروزه این کار توسط مدل‌سازی آبخوان از جمله مدل‌سازی‌های ریاضی و رایانه-ای به دلیل هزینه کمتر صورت می‌گیرد، که در این میان مدل *MODFLOW* که براساس تفاضلات محدود کار می‌کند در سال ۱۹۸۸ در سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (*USGS*) طراحی و انتشار یافت، بیش‌ترین مقبولیت را در میان مدل‌سازان دارد. در این مطالعه دشت تربت‌جام-فریمان واقع در حوضه آبریز قره‌قوم در استان خراسان رضوی که وضعیت آب زیرزمینی آن ممنوعه و بحرانی می‌باشد، توسط مدل *MODFLOW* در نرم‌افزار *PMWIN* مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفته است. برای تحلیل ابتدا مدل مفهومی آبخوان تهیه و بررسی گردید. بر اساس مدل مفهومی دشت تربت‌جام- فریمان، این دشت دارای یک لایه آبخوان آزاد با ضخامت متوسط ۱۷۶ متر می‌باشد، که عامل اصلی برداشت از آبخوان چاه‌های کشاورزی و شرب در منطقه می‌باشند، بررسی سطح ایستابی در پیزومترهای مشاهداتی در دهه ۸۰، بطور متوسط ۱/۵۴ متر افت سالیانه را در دشت نشان می‌دهد، بطوری که متوسط سطح ایستابی آبخوان از ۹۴۱/۴۲ متر در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ به ۹۲۶/۰۷ متر در سال آبی ۸۹-۸۸ رسیده است. علاوه بر این مشاهده می‌شود که بیش‌ترین افت در محدوده پیزومتر احمدآباد (شماره ۲۶) رخ داده است. واسنجی مدل در ۸ دوره سه ماهه از مهر ۱۳۸۰ تا شهریور ۱۳۸۲ صورت پذیرفت و در ادامه صحت‌سنجی مدل برای سال آبی ۸۸-۸۷ در غالب ۴ دوره سه ماهه و با توجه به جدیدترین آمار منابع آب صورت گرفت. بر اساس نتایج واسنجی مدل مقدار حداکثر، حداقل و متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی در دشت به ترتیب ۴۵، ۱۲ و ۲۴/۷ متر بر روز می‌باشد و همچنین مقدار حداکثر، حداقل و متوسط آبدهی ویژه در دشت به ترتیب ۱۶، ۱/۱ و ۶/۳۲ درصد می‌باشد. در نهایت مدل به منظور پیش‌بینی، با سناریوهای کاهش تخلیه چاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد با توجه به اینکه تنها منبع تخلیه، برداشت توسط چاه‌های کشاورزی و شرب می‌باشد، لذا در هر صورت باید از تخلیه چاه‌ها در دشت به خصوص اطراف شهرهای تربت‌جام و فریمان کاسته شود و بهترین راه حل پیشنهادی برای کاهش تخلیه، آشنایی کشاورزان با کشاورزی نوین و ارتقاء سطح اطلاعات آنان و اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار در منطقه می‌باشد، که با توجه به خرده مالکی بودن اکثریت کشاورزان نیازمند یکپارچه‌سازی اراضی و حمایت بیشتر دولت و برنامه‌ریزی‌های منظم‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، جریان آب زیرزمینی، تفاضلات محدود، دشت تربت‌جام-فریمان، *PMWIN*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ مفهوم منبع آب زیرزمینی ۲

۱-۲-۱ چرخه آب ۲

۱-۲-۲ آب زیرزمینی ۵

۱-۲-۳ انواع واحدهای آب چینه‌ای ۶

۱-۳ شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب زیرزمینی ۸

۱-۴ وضعیت منابع آب در ایران ۱۰

۱-۵ ساختار تحقیق ۱۱

فصل دوم: مروری بر تحقیقات

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ مروری بر مطالعات انجام شده در خارج از کشور ۱۵

۲-۳ مروری بر تحقیقات انجام شده در ایران ۱۸

۲-۴ جمع‌بندی ۲۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه ۲۹

۳-۲ معادلات اساسی حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی ۲۹

۳-۲-۱ معادله برنولی ۲۹

۳-۲-۲ معادله دارسی ۲۹

۳-۲-۳ معادله پیوستگی ۳۱

۳-۲-۴ معادله عمومی حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی ۳۳

۳-۲-۵ معادلات اساسی حاکم بر آبخوان‌های محبوس ۳۴

۳-۲-۶ معادلات اساسی حاکم بر آبخوان‌های آزاد ۳۵

۳-۳ مدل‌های آب زیرزمینی ۳۶

۳-۳-۱ کاربرد مدل‌های آب زیرزمینی ۳۶

۱-۱-۳-۳ استفاده به منظور تفسیر و توصیف آبخوان ۳۶
۲-۱-۳-۳ استفاده به منظور پیش‌گویی وضعیت آبخوان ۳۶
۳-۱-۳-۳ استفاده عمومی در بررسی آبخوان‌های فرضی ۳۷
۲-۳-۳ تعریف مدل ۳۷
۳-۳-۳ انواع مدل‌های آب زیرزمینی ۳۹
۱-۳-۳-۳ مدل‌های فیزیکی یا مدل‌های محیط متخلخل ۳۹
۲-۳-۳-۳ مدل جعبه ماسه‌ای ۳۹
۳-۳-۳-۳ مدل‌های مشابه ۴۰
۱-۳-۳-۳-۳ مدل‌های مشابه الکتریکی ۴۰
۲-۳-۳-۳-۳ مدل‌های مشابه سیالات لزج ۴۰
۳-۳-۳-۳-۳ مدل‌های مشابه حرارتی ۴۱
۴-۳-۳-۳ مدل‌های ریاضی ۴۱
۱-۴-۳-۳-۳ مدل‌های ریاضی تجربی ۴۱
۲-۴-۳-۳-۳ مدل‌های ریاضی احتمالاتی ۴۱
۳-۴-۳-۳-۳ مدل‌های ریاضی تحلیلی ۴۱
۴-۴-۳-۳-۳ مدل‌های ریاضی عددی ۴۲
۴-۳-۳ حل معادله حاکم با روش تفاضلات محدود کلاسیکی ۴۲
۱-۴-۳-۳ نوشتن معادلات در تفاضلات محدود ۴۵
۱-۱-۴-۳-۳ روش صریح ۴۵
۲-۱-۴-۳-۳ روش ضمنی ۴۶
۲-۴-۳-۳ حل معادلات حاصل از تفاضلات محدود ۴۷
۱-۲-۴-۳-۳ روش‌های مستقیم ۴۷
۲-۲-۴-۳-۳ روش‌های تکراری ۴۷
۴-۳ معرفی منطقه مورد مطالعه (دشت تربت‌جام-فریمان) ۴۸
۱-۴-۳ موقعیت جغرافیایی و سیاسی ۴۸
۲-۴-۳ هواشناسی و اقلیم منطقه ۵۱
۱-۲-۴-۳ حرارت (دما) ۵۱
۲-۲-۴-۳ ایام یخبندان ۵۲
۳-۲-۴-۳ رطوبت نسبی ۵۲

۳-۴-۲-۴ ریزش‌های جوی ۵۲
۳-۴-۲-۵ تبخیر ۵۴
۳-۴-۲-۶ اقلیم ۵۴
۳-۴-۳ هیدرولوژی آب‌های سطحی ۵۵
۳-۴-۴ زمین‌شناسی منطقه ۵۸
۳-۴-۴-۱ جایگاه محدوده مطالعاتی در تقسیمات زمین‌شناسی ایران ۵۸
۳-۴-۴-۲ گسل‌های اصلی در گستره محدوده مطالعاتی ۶۱
۳-۴-۵ هیدروژئولوژی ۶۳
۳-۴-۵-۱ بررسی‌های اکتشافی دشت تربت‌جام-فریمان ۶۴
۳-۴-۵-۱-۱ بررسی‌های ژئوفیزیکی و مقاطع ژئوالکتریک ۶۴
۳-۴-۵-۱-۲ نقشه هم‌عمق سنگ کف (هم‌ضخامت آبرفت) ۶۷
۳-۴-۵-۱-۳ حفاری‌های اکتشافی ۶۸
۳-۴-۵-۱-۴ شکل هندسی و گسترش آبخوان ۷۱
۳-۴-۵-۲ منابع آب زیرزمینی دشت تربت‌جام-فریمان ۷۲
۳-۴-۵-۲-۱ چاه ۷۳
۳-۴-۵-۲-۲ چشمه ۷۶
۳-۴-۵-۲-۳ قنات ۷۸
۳-۴-۶ شبکه پیزومتری دشت ۷۹
۳-۵ شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی ۸۲
۳-۵-۱ اطلاعات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی جریان در آبخوان‌ها ۸۲
۳-۵-۲ مراحل طراحی مدل ۸۳
۳-۵-۲-۱ تهیه مدل مفهومی ۸۵
۳-۵-۲-۲ شبکه‌بندی آبخوان ۸۵
۳-۵-۲-۳ شرایط مرزی ۸۶
۳-۵-۲-۴ پارامترهای زمانی ۸۷
۳-۵-۲-۵ هد هیدرولیکی اولیه ۸۷
۳-۵-۲-۶ چاه‌های مشاهده‌ای و مشاهدات صورت گرفته ۸۸
۳-۵-۲-۷ هدایت هیدرولیکی ۸۸
۳-۵-۲-۸ تنش‌های هیدرولیکی ۸۸

۳-۵-۲-۹ اجرای مدل ۸۸
۳-۵-۲-۱۰ آنالیز حساسیت ۸۹
۳-۵-۲-۱۱ واسنجی مدل ۹۰
۳-۵-۲-۱۱-۱ روش سعی و خطا ۹۰
۳-۵-۲-۱۱-۲ روش اتوماتیک واسنجی ۹۱
۳-۵-۲-۱۳ صحت‌سنجی ۹۲
۳-۶ مدل‌سازی در PMWIN ۹۲
۳-۶-۱ معرفی نرم‌افزار PMWIN ۹۲
۳-۶-۲ مراحل شبیه‌سازی در ساختار *PMWIN* ۹۴
۳-۶-۲-۱ منوی File ۹۴
۳-۶-۲-۲ منوی Grid ۹۵
۳-۶-۲-۲-۱ تنظیمات Mesh Size ۹۵
۳-۶-۲-۲-۲ معرفی لایه‌ها ۹۶
۳-۶-۲-۲-۳ شرایط مرزی ۹۷
۳-۶-۲-۲-۴ تراز بالایی لایه‌ها ۹۸
۳-۶-۲-۲-۵ تراز پایینی لایه‌ها ۹۸
۳-۶-۲-۳ منوی Parameter ۹۸
۳-۶-۲-۴ منوی Models ۱۰۰
۳-۶-۲-۴-۱ کد MODFLOW ۱۰۰
۳-۶-۲-۵ منوی Value ۱۰۱
۳-۶-۲-۶ منوی Option ۱۰۲
۳-۶-۲-۷ منوی Tools ۱۰۳

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه ۱۰۵
۴-۲ هدف از مدل‌سازی ۱۰۵
۴-۳ مدل مفهومی ۱۰۶
۴-۳-۱ تهیه مدل مفهومی ۱۰۶
۴-۳-۲ نتایج بررسی مدل مفهومی ۱۰۸

۴-۳-۲-۱ بررسی‌های کمی آب زیرزمینی ۱۰۸
۴-۳-۲-۲ بررسی هیدروگراف پیزومترها و کل دشت ۱۰۹
۴-۳-۲-۳ نقشه هم‌تراز سطح آب زیرزمینی ۱۱۶
۴-۳-۲-۴ نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی ۱۲۱
۴-۳-۲-۵ نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی ۱۲۳
۴-۵ تعریف هندسی مدل ۱۲۵
۴-۵-۱ شبکه‌بندی آبخوان ۱۲۵
۴-۵-۲ نوع و تعداد لایه‌ها ۱۲۶
۴-۵-۳ شرایط مرزی ۱۲۶
۴-۵-۳-۱ بررسی مرزهای فیزیکی آبخوان ۱۲۶
۴-۵-۳-۲ بررسی مرزهای هیدرولیکی آبخوان ۱۲۷
۴-۵-۴ ارتفاع رقومی بالا و پایین لایه‌ها ۱۲۷
۴-۶ پارامترهای مدل ۱۲۸
۴-۶-۱ پارامترهای زمانی ۱۲۸
۴-۶-۲ هد هیدرولیکی اولیه ۱۲۹
۴-۶-۳ چاه‌های مشاهده‌ای و مشاهدات صورت گرفته ۱۲۹
۴-۶-۴ هدایت هیدرولیکی ۱۳۰
۴-۶-۵ آبدهی ویژه ۱۳۱
۴-۷ تنش‌های هیدرولیکی ۱۳۱
۴-۷-۱ تخلیه آب زیرزمینی ناشی از چاه‌های بهره‌برداری و قنوات ۱۳۱
۴-۷-۲ تخلیه ناشی از تبخیر از سطح آب زیرزمینی ۱۳۲
۴-۷-۳ تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی چاه‌ها و قنوات ۱۳۲
۴-۷-۴ ورود و خروج آب زیرزمینی در آبخوان ۱۳۲
۴-۸ اجرای مدل ۱۳۴
۴-۸-۱ اصلاح مقادیر سنگ کف ۱۳۴
۴-۹ واسنجی مدل ۱۳۶
۴-۹-۱ نتایج واسنجی مدل ۱۳۸
۴-۹-۱-۱ توزیع هدایت هیدرولیکی در دشت ۱۳۸
۴-۹-۱-۲ توزیع آبدهی ویژه در دشت ۱۳۹

۳-۱-۹-۴ ارزیابی هدهای محاسباتی و مشاهده‌ای ۱۴۰
۴-۱۰ صحت‌سنجی مدل ۱۴۵
۴-۱۱ پیش‌بینی تراز سطح آب توسط مدل ۱۴۷
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵-۱ مقدمه ۱۵۳
۵-۲ نتیجه‌گیری ۱۵۳
۵-۳ پیشنهادات ۱۵۶
فهرست منابع ۱۶۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۳ میانگین رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه باغسنگان ۵۲

جدول ۲-۳ میانگین تبخیر ماهانه از سطح تشت و سطح آزاد آب در دشت (میلی‌متر)..... ۵۴

جدول ۳-۳ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه ۵۷

جدول ۴-۳ وضعیت پروفیل‌ها و سونداژها در محدوده مطالعاتی تربت‌جام- فریمان ۶۴

جدول ۵-۳ مشخصات مربوط به حفاری‌های اکتشافی در دشت تربت‌جام-فریمان..... ۶۹

جدول ۶-۳ نتایج آزمایش پمپاژ در دسترس در محدوده مطالعاتی تربت‌جام-فریمان..... ۷۰

جدول ۷-۳ آمار منابع آب زیرزمینی طی آماربرداری‌های موجود در حوضه آبریز تربت‌جام-فریمان..... ۷۳

جدول ۸-۳ مشخصات چاه‌های بهره‌برداری عمیق و کم‌عمق..... ۷۴

جدول ۹-۳ مشخصات پیزومترهای مشاهده‌ای فعال در شبکه پیزومتری دشت تربت‌جام–فریمان ۸۰

جدول ۱-۴ منطقه‌بندی و پیزومترهای مناطق در دشت تربت‌جام-فریمان ۱۰۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ چرخه هیدرولوژی آب در طبیعت ۳
شکل ۱-۲ منطقه اشباع و غیر اشباع در زیرزمین ۶
شکل ۱-۳ طبقه بندی انواع واحدهای آب چینه‌ای تحت سیکل هیدرولوژی ۷
شکل ۱-۴ سرعت جریان آب در محیط زیرزمین و واحدهای آب چینه‌ای ۸
شکل ۳-۱ آزمایش دارسی ۳۰
شکل ۳-۲ بلوک داخلی و حجم کنترل برای محاسبه توازن جرمی ۳۱
شکل ۳-۳ شبکه‌بندی محدوده آبخوان به روش تفاضلات محدود ۴۴
شکل ۳-۴ نقشه موقعیت شهرستان‌ها و محدوده مطالعاتی در استان خراسان رضوی ۴۹
شکل ۳-۵ نقشه موقعیت شهرها و روستاها در محدوده مطالعاتی ۵۰
شکل ۳-۶ نقشه موقعیت دشت تربت‌جام-فریمان در بین سایر دشت‌های استان خراسان رضوی ۵۰
شکل ۳-۷ نقشه نوع وضعیت برداشت از آب زیرزمینی دشت‌های استان خراسان رضوی ۵۱
شکل ۳-۸ نمودار متوسط بارندگی ماهانه در ایستگاه بارانسنجی باغ‌عباسی ۵۳
شکل ۳-۹ نمودار متوسط بارندگی ماهانه در ایستگاه تبخیرسنجی باغسنگان ۵۳
شکل ۳-۱۰ نقشه مرز کوه و دشت و پراکنش آبراهه‌ها و مسیل‌های مهم محدوده ۵۷
شکل ۳-۱۱ نقشه موقعیت آبراهه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری ۵۸
شکل ۳-۱۲ موقعیت واحدهای کپه داغ-هزار مسجد و بینالود-آلاداغ در تقسیمات زمین‌شناسی ایران ۶۰
شکل ۳-۱۳ نقشه موقعیت پروفیل‌ها و سوندژهای ژئوالکتریکی در دشت ۶۷
شکل ۳-۱۴ نقشه خطوط هم‌ضخامت آبرفت ۶۸
شکل ۳-۱۵ نقشه موقعیت مکانی چاه‌های بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی تربت‌جام–فریمان ۷۵
شکل ۳-۱۶ نمودار گروه‌بندی چاه‌های بهره‌برداری دشت بر حسب نوع مصرف ۷۶
شکل ۳-۱۷ نقشه موقعیت مکانی چشمه‌ها در محدوده مطالعاتی تربت‌جام–فریمان ۷۷
شکل ۳-۱۸ نقشه موقعیت مکانی قنوات در محدوده مطالعاتی تربت‌جام–فریمان ۷۹
شکل ۳-۱۹ نقشه موقعیت مکانی پیزومترها بر اساس شماره‌دهی جدول در دشت تربت‌جام-فریمان ۸۲
شکل ۱-۴ نقشه تیسن‌بندی پیزومترها در دشت تربت‌جام-فریمان ۱۰۷
شکل ۲-۴ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر اکتشافی قلعه نو (۴)، (منطقه ۱ دشت) ۱۱۰
شکل ۳-۴ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر قلندرآباد (۵)، (منطقه ۱ دشت) ۱۱۱

شکل ۴-۴ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر جاده شاهان گرماب (۸)، (منطقه ۱ دشت) ۱۱۱
شکل ۴-۵ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر خیرآباد (۱۳)، (منطقه ۲ دشت) ۱۱۱
شکل ۴-۶ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر امیرآباد (۲۴)، (منطقه ۲ دشت) ۱۱۲
شکل ۴-۷ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر اراضی رضاآباد (۲۷)، (منطقه ۳ دشت) ۱۱۲
شکل ۴-۸ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر اراضی قلعه گک (۳۸)، (منطقه ۳ دشت) ۱۱۲
شکل ۴-۹ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر اول جاده الیا (۲۹)، (منطقه ۳ دشت) ۱۱۳
شکل ۴-۱۰ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر الیاقی خرابه (۴۳)، (منطقه ۳ دشت) ۱۱۳
شکل ۴-۱۱ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر نصرآباد سردق (۱۶)، (منطقه ۲ دشت) ۱۱۴
شکل ۴-۱۲ هیدروگراف تراز ماهیانه سطح ایستابی پیزومتر اراضی جعفرآباد (۱۷)،(منطقه ۲ دشت) ۱۱۴
شکل ۴-۱۳ هیدروگراف تراز متوسط ماهیانه سطح ایستابی کل دشت تربت‌جام-فریمان ۱۱۵
شکل ۴-۱۴ هیدروگراف تراز متوسط سالانه سطح ایستابی کل دشت تربت‌جام-فریمان ۱۱۵
شکل ۴-۱۵ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی دشت تربت‌جام-فریمان (شهریور ۱۳۸۰) ۱۱۶
شکل ۴-۱۶ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی (شهریور ۱۳۸۵) ۱۱۷
شکل ۴-۱۷ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی (شهریور ۱۳۸۹) ۱۱۷
شکل ۴-۱۸ نقشه هم‌عمق سطح ایستابی در شهریور ۱۳۸۰ ..... ۱۲۱
شکل ۴-۱۹ نقشه هم‌عمق سطح ایستابی در شهریور ۱۳۸۹ ..... ۱۲۲
شکل ۴-۲۰ نقشه خطوط هم‌افت سطح ایستابی در دشت (شهریور ۱۳۸۰ تا شهریور ۱۳۸۹) ۱۲۴
شکل ۴-۲۱ نقشه هم‌افت سطح ایستابی در دشت (شهریور ۱۳۸۰ تا شهریور ۱۳۸۹) ۱۲۴
شکل ۴-۲۲ نقشه شبکه‌بندی آبخوان به همراه چاه‌های مشاهده‌ای درون *PMWIN* ۱۲۵
شکل ۴-۲۳ موقعیت مقاطع ورودی آب زیرزمینی به آبخوان (سلول‌های پر رنگ) ۱۳۴
شکل ۴-۲۴ نقشه خطوط هم‌ضخامت آبخوان اصلاح شده در دشت تربت‌جام-فریمان ۱۳۶
شکل ۴-۲۵ نقشه خطوط کنتور هدایت هیدرولیکی نهایی بعد از کالیبراسیون مدل در دشت ۱۳۹
شکل ۴-۲۶ نقشه خطوط آبدهی ویژه نهایی بعد از کالیبراسیون مدل در دشت (درصد) ۱۴۰
شکل ۴-۲۷ هیدروگراف مقایسه تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی در دوره واسنجی ۱۴۱
شکل ۴-۲۸ هیدروگراف مقایسه تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی در دوره واسنجی ۱۴۲
شکل ۴-۲۹ هیدروگراف مقایسه تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی در دوره واسنجی ۱۴۳
شکل ۴-۳۰ همبستگی بار آبی محاسباتی و مشاهداتی پیزومترهای منتخب در دوره واسنجی ۱۴۴
شکل ۴-۳۱ هیدروگراف تراز آب محاسباتی و مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی (پیزومتر ۳۸،۲۱،۲) ۱۴۶
شکل ۴-۳۲ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی در شهریور ۱۳۹۵ (وضعیت تنشی اول) ۱۵۰

شکل ۳۳-۴ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی در شهریور ۱۴۰۰ (وضعیت تنشی اول)..... ۱۵۰
شکل ۳۴-۴ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی در شهریور ۱۳۹۵ (وضعیت تنشی دوم)..... ۱۵۱
شکل ۳۵-۴ نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی در شهریور ۱۴۰۰ (وضعیت تنشی دوم)..... ۱۵۱

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

کل آب موجود در جهان بالغ بر ۱/۴ میلیارد کیلومتر مکعب است که ۲/۵ درصد آن را آب‌های شیرین به صورت یخچال‌های ذخایر برف و یخ، آب‌های زیرزمینی، دریاچه‌های آب شیرین، رودخانه و... تشکیل می‌دهد که از این مقدار ۰/۸ درصد آن قابل بهره‌برداری است (زیرک جوانمرد، ۱۳۸۶).

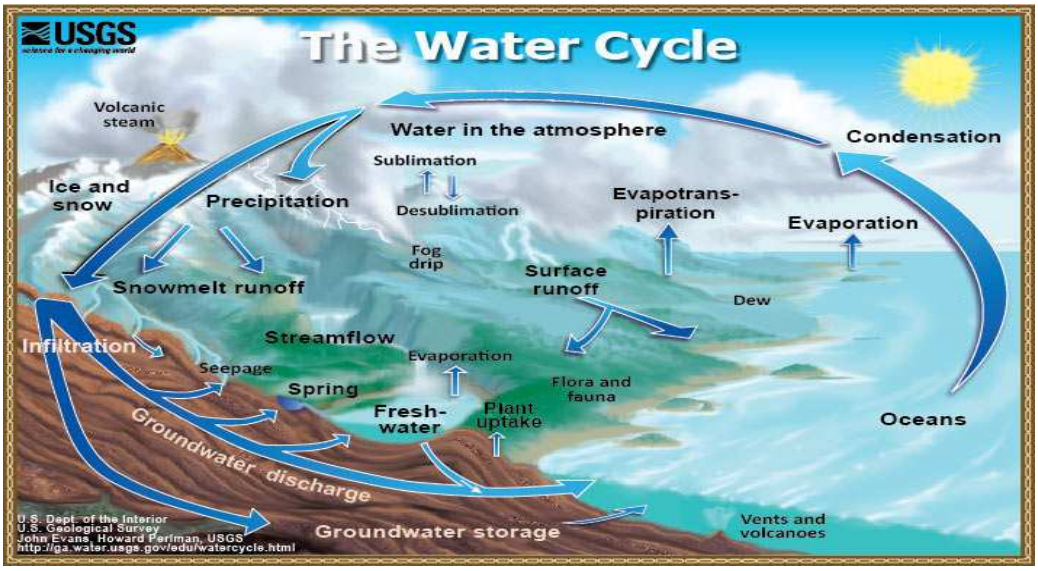
آب زیرزمینی ۹۷ درصد از آب قابل آشامیدن موجود در دنیا را تشکیل می‌دهد و اهمیت آن در میان مجموع منابع آب انکارناپذیر است. ارزیابی صحیح منابع آب زیرزمینی نیاز به بررسی‌های بسیار دقیق هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و هیدرولیکی در نواحی دارد که وسعت آن از چند صد هکتار تا حوضه‌ای کامل و یا حتی چند کشور را شامل می‌شود (شریعتمداری طالقانی، ۱۳۸۴).

۱-۲ مفهوم منبع آب زیرزمینی

۱-۲-۱ چرخه آب

چرخه آب، که با نام چرخه‌ی هیدرولوژی نیز شناخته می شود و در شکل ۱-۱ مشخص می‌باشد، وجود و حرکت آب را در رو و زیر زمین و بالای سطح زمین نشان می دهد آب در زمین همیشه در حال حرکت است و همیشه در حال تغییر شکل می‌باشد، چرخه آب میلیاردها سال است که در حال کار است و زندگی همه چیز روی زمین به آب بستگی دارد، زمین بدون آب غیر قابل سکونت خواهد شد.

توده‌های هوا، ابرها را در اطراف زمین به حرکت در می‌آورند. قطعات ابر با یکدیگر برخورد کرده، رشد می‌کنند و به شکل بارش به سمت پایین می‌آیند .قسمتی از این بارش به شکل برف بر روی توده‌های برفی و یخچال‌ها تجمع می‌یابند. برف در نقاط گرم تر ذوب شده و به شکل نهر جاری می-شود و تبدیل به برفاب می‌شوند. بارش‌ها بر روی سطح اقیانوس‌ها ریخته می‌شوند و قسمت دیگری



شکل ۱-۱ چرخه هیدرولوژی آب در طبیعت

از آن نیز بر روی زمین می‌بارند که در اثر جاذبه روی سطح زمین جاری شده و تبدیل به رواناب سطحی می‌شوند. بعضی از رواناب‌های سطحی وارد رودخانه‌ها شده و در نهایت به سمت اقیانوس‌ها حرکت می‌کنند؛ برخی دیگر نیز به صورت آب شیرین در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها تجمع پیدا می‌کنند. تمام رواناب‌ها بر روی سطح زمین جاری نمی‌شوند و قسمت زیادی از آن‌ها به زیر زمین فرو می‌روند (نفوذ). بخشی از این آب نفوذ یافته، به اعماق پایین‌تر رفته و آبخوان‌ها را تغذیه می‌کنند (سنگ‌های زیرسطحی اشباع از آب) و حجم زیادی از آب شیرین را برای مدت‌های طولانی نگهداری می‌کنند. بخشی از آب زیرزمینی نیز نزدیک به سطح زمین باقی می‌ماند و مجدداً به شکل تراوش به بخش‌های آبی (و اقیانوس‌ها) باز می‌گردند و مانند تخلیه آب زیرزمینی عمل می‌کنند. برخی دیگر نیز به صورت چشمه‌های آب شیرین از زیر زمین بیرون می‌آیند. در طول زمان، این حجم آب در حال حرکت است و هر از چند گاهی بخشی از آن به اقیانوس‌ها ختم می‌یابند که همان نقطه شروع است، و باز مجدداً این مسیر طی می‌شود.

دفتر بررسی‌های زمین‌شناسی آمریکا ۱۶ جزء برای چرخه آب بیان کرده است:

- ذخیره آب در اقیانوس‌ها

- تبخیر
- تصعید
- تبخیر و تعرق
- آب در اتمسفر
- میعان
- بارش
- ذخیره آب در برف و یخ
- رواناب ناشی از برف به داخل نهرها
- رواناب سطحی
- جریان رودخانه
- ذخیره آب شیرین
- نفوذ
- ذخیره آب زیرزمینی
- جریان آب زیرزمینی
- چشمه‌ها

آب ذخیره در زیر زمین از بخش‌های عمده چرخه آب را تشکیل می‌دهد اما این آب هنوز می-تواند حرکت کند، هر چند خیلی آرام، ولی هنوز به عنوان بخشی از چرخه‌ی عظیم آب به شمار می-رود. بخش بزرگی از آب زیرزمینی دارای منشاء بارندگی می‌باشد که به سطح زیرین خاک نفوذ یافته است. بالاترین لایه‌ی خاک، منطقه‌ی غیر اشباع می‌باشد، جایی که مقدار آب در آن در طی زمان تغییر می‌کند، اما خاک را خیس نمی‌کند. زیر این لایه، منطقه‌ی اشباع وجود دارد که تمام خلل وفرج، ترک‌ها، فاصله‌ی بین سنگ‌ها و ذرات خاک پر از آب می‌باشد (USGS, 2011).