بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

آنالیز منطقه گیرش چاه‌های بهره‌برداری شهری در آبخوان بیرجند

دانشجو: نجمه زارع

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

بهمن ۱۳۹۴

تقدیم به

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم،

مادر مهربانم

که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت او می دانم،

پدر

بردبار و حامی، مهربانی مشفق،

همسرم

پناه جستگیم و امید بودنم،

و خواهرم

همراهان همیشگی و پشتوانه زندگیم.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

جناب آقای دکتر جعفری، چگونه سپاس گویم مهربانی و لطفتان را که سرشار از عشق و یقین است و تأثیر علم آموزی شما که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف. در ادامه از اساتید گرانقدر در طول دوره تحصیل جناب آقایان دکتر کرمی و دکتر باقری تشکر می نمایم.

سپاس آخر را به مهربان ترین همراهان زندگیم، پدر، مادر، همسر، خواهرم و برادر مهربانم آقای مجید زارع که به عنوان یک حامی همواره پشتیبانم بوده است، همچنین دوستانم خانم ها کریمی، پروار، اشکو، چرامین، دهقان، انصاری، ظهرابی، جهانشاهی، و تمامی هم کلاسی هایم که در فضای زندگیم مصداق بی ریای سخاوت بوده اند، تقدیم می کنم.

چکیده

دشت بیرجند به عنوان مهمترین دشت خراسان جنوبی، ۳۳ درصد جمعیت این استان را در خود جای داده است. وسعت کل حوضه آبگیر آن ۳۴۲۵ کیلومتر مربع و مساحت آبخوان ۳۰۶ کیلومتر مربع می‌باشد. میانگین بارش سالانه دشت بیرجند ۱۴۰ میلیمتر و متوسط دمای هوا ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد بوده و دارای آب و هوای خشک می‌باشد. منبع اصلی تامین آب شرب بیرجند از منابع آب زیرزمینی بوده و چاه‌های شرب در منطقه شهری یا مجاور آن واقع شده‌اند که امکان آلودگی آن‌ها زیاد می‌باشد. نظر به اهمیت موضوع، هدف از تحقیق حاضر آنالیز حریم حفاظتی چاه‌های بهره‌برداری شرب شهری در آبخوان بیرجند بوده که با استفاده از نرم افزار WhAEM2000 انجام شده است. حریم حفاظتی چاه‌های شرب به روش‌های شعاع ثابت اختیاری، شعاع ثابت محاسبه‌ای، جریان یکنواخت و مرز جریان تعیین و مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تجربیات و نظر کارشناسی در روش شعاع ثابت اختیاری، شعاع ۳۰۰ متری به عنوان شعاع حریم چاه‌های شرب در دو منطقه علی‌آباد و رکات در نظر گرفته شده است. در روش شعاع ثابت محاسبه‌ای به طور میانگین در منطقه رکات شعاع ۶۵۰ متری و در منطقه علی‌آباد شعاع ۷۵۰ متر به عنوان حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌ها تعیین شده است. حداقل و حداکثر طول حریم حفاظتی ۲۰ ساله در روش مرز جریان به ترتیب ۰/۹۸ و ۳/۸ کیلومتر می‌باشد. روش مرز جریان به دلیل استفاده از مدل کالیبره شده و همچنین در نظر گرفتن شرایط هیدروژئولوژیکی محلی از دقت بالاتری برخوردار بوده و به همین جهت این روش به عنوان یک روش قابل اعتماد جهت تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند انتخاب شده است. حریم حفاظتی تعیین شده چاه‌ها به روش مرز جریان به شکل کشیده می‌باشد. بر این اساس با توجه به حریم ترسیم شده، چاه‌های مجاور شهرک صنعتی و چاه‌های موجود در شهر بیرجند بیشتر در معرض ورود آلاینده به آب زیرزمینی بوده و باید مراقبت بیشتری از آن‌ها به عمل آید.

کلمات کلیدی: بیرجند، حریم حفاظتی، شعاع ثابت محاسبه‌ای، جریان یکنواخت، مرز جریان، WhEAM2000

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱-زارع ن. و جعفری ه. (۱۳۹۴)،"تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند با استفاده از نرم‌افزار WhAEM2000" سومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

۲-زارع ن. و جعفری ه. (۱۳۹۴)، "مقایسه روش‌های تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب علی‌آباد در دشت بیرجند با استفاده از مدل WhAEM2000" دومین همایش ملی آب، انسان، زمین، اصفهان.

فهرست

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-بیان مسئله و ضرورت انجام کار ۱

۱-۲-موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲

۱-۳-مشخصات آبخوان دشت بیرجند ٤

۱-۴-ارزیابی بیلان در آبخوان بیرجند ٦

۱-۴-۱-ارزیابی جریان‌های ورودی به آبخوان ۷

۱-۴-۲-ارزیابی جریان‌های خروجی آبخوان آبرفتی ۷

۱-۵-آب و هوای منطقه مورد مطالعه ۹

۱-۶-زمین‌شناسی دشت بیرجند ۱۱

۱-۶-۱-افیولیت و مجموعه آمیزه رنگین ۱۲

۱-۶-۲-رسوبات نوع فلیش ۱۳

۱-۶-۳-سنگ‌های آذرآواری جوان‌تر از افیولیت‌ها ۱٤

۱-۶-۴-نهشته‌های نئوژن ۱٤

۱-۶-۵-بازالت، آندزیت ۱۵

۱-۶-۶-رسوبات کواترنری ۱۵

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین ۱۹

۲-۱-تعاریف و اصطلاحات ۱۹

۲-۱-۱-انواع لایه‌های آبدار ۱۹

۲-۲-آلودگی منابع آب زیرزمینی و مکانیزم‌های انتقال آلودگی به این منابع ۲۰

۲-۳-مکانیزم‌های انتقال آلودگی ۲۰

۲-۳-۱-انتقال به طریق ادوکتیو ۲۰

۲-۳-۳-عمل پخش‌شدگی ۲۱

۲-۴-حریم حفاظتی ۲۲

۲-۵-تاثیر عوامل مختلف بر حریم حفاظتی (منطقه گیرش) ۲۲

۲-۵-۱-شیب سطح ایستابی ۲۳

۲-۵-۲-سرعت جریان آب زیرزمینی ۲۳
۲-۵-۳-هموژنیتی آبخوان ۲۳
۲-۶-معیارها و روش‌های محاسبه و تعیین حریم حفاظتی ۲٤
۲-۶-۱-معیار فاصله ۲٤
۲-۶-۲-معیار افت ۲٤
۲-۶-۳-زمان ماندگاری ۲٥
۲-۶-۴-مرز جریان ۲٥
۲-۷-روش‌های تعیین حریم حفاظتی ۲٥
۲-۷-۱-شعاع ثابت اختیاری ۲٥
۲-۷-۲-شعاع ثابت محاسبه‌ای ۲٦
۲-۷-۳-معادلات تحلیلی ۲۷
۲-۷-۴-نقشه هیدروژئولوژی ۲۹
۲-۷-۵-مدلسازی عددی جریان ۳۰
۲-۸-ضرورت تعیین حریم کیفی آب های زیرزمینی ۳۰
۲-۹-کاربردهای تعیین حریم حفاظتی (منطقه گیرش) ۳۱
۲-۹-۱-تعیین محدوده جریان یک منبع ۳۱
۲-۹-۲-مدیریت و حفاظت کیفی منطقه تغذیه ۳۱
۲-۹-۳-تعیین حریم حفاظتی برای پاکسازی آلودگی ۳۲
۲-۱۰-پیشینه پژوهش ۳۲
۲-۱۰-۱-سوابق خارجی ۳۲
۲-۱۰-۲-سوابق داخلی ۳۳
فصل سوم: روش انجام کار ۳۵
۱- ۳-منابع اطلاعاتی و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۳٥
۳-۲-مدل WhAEM2000 ..... ۳٥
۳-۲-۱-معرفی نرم افزار WhAEM2000 ..... ۳٥
۳-۳-روش‌های تعیین حریم حفاظتی با استفاده از نرم افزارWhAEM2000 ..... ۳۷
۳-۳-۱-روش شعاع ثابت اختیاری ۳۷
۳-۳-۲-روش تعیین حریم بر اساس زمان گذر ۳۷
۳-۳-۳-تعیین حریم براساس معیار مرزهای جریان ۳۸

فصل چهارم: تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند با استفاده از مدل WhAEM2000 ..... ۳۹

۴-۱-مدل مفهومی آبخوان بیرجند ۳۹

۴-۲-طراحی و ساخت مدل آبخوان بیرجند با استفاده از نرم افزارWhAEM2000 ..... ۴۲

۴-۳-کالیبراسیون مدل WhAEM2000 ..... ۴۳

۴-۴-ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب شهر بیرجند با استفاده از مدل WhAEM2000 ..... ۴۹

۴-۴-۱-روش شعاع ثابت اختیاری ۴۹

۴-۴-۲-شعاع ثابت محاسبه‌ای ۵۰

۴-۴-۳-روش جریان یکنواخت ۵۳

۴-۴-۴-روش مرز جریان ۵۶

۴-۶-تجزیه و تحلیل حریم حفاظتی چاه‌های بیرجند ۶۰

۴-۶-۱-چاه‌های شرب منطقه رکات ۶۰

۴-۶-۲-چاه‌های شرب منطقه علی‌آباد ۶۳

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها ۶۷

۱-۵-نتایج ۶۷

۲-۳-پیشنهادها ۶۹

مراجع ۷۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: راه‌های ارتباطی به شهر بیرجند، منطقه مورد مطالعه ۳

شکل ۱-۲: موقیت دشت بیرجند ۴

شکل ۱-۳: نقشه ایزوپیز دشت بیرجند ۵

شکل ۱-۴: هیدرو گراف آب زیرزمینی آبخوان بیرجند تا پایان سال ۹۱-۹۲ ..... ۶

شکل ۱- ۵: منحنی آمبروترمیک دشت بیرجند ۱۱

شکل ۱- ۶: نقشه زمین‌شناسی دشت بیرجند ۱۷

شکل ۲- ۱: تاثیر شیب سطح ایستابی بر شکل حریم حفاظتی ۲۳

شکل ۲- ۲: تاثیر همگنی و ناهمگنی آبخوان بر شکل حریم حفاظتی. ۲۴

شکل ۲- ۳: تصویراز محدوده حریم حفاظتی استوانه‌ای یک چاه در روش شعاع ثابت ۲۶

شکل ۲- ۴: تصویر حریم حفاظتی برای دو زمان سیر مختلف ۲۷

شکل ۲- ۵: تصویر تعیین حریم حفاظتی با استفاده از نقشه هیدروژئولوژی ۲۹

شکل ۲- ۶: تصویر سه منبع آبی (شکل راست) و حریم حفاظتی پیشنهادی برای آن‌ها ۳۱

شکل ۴- ۱: موقعیت چاهای شرب آبخوان بیرجند ٤١

شکل ۴- ۲: زون‌بندی آبخوان بیرجند توسط مدل WhAEM2000 ..... ٤٣

شکل ۴- ۳: نمایش موقعیت چاه‌های بهره‌برداری آبخوان بیرجند در مدل WhAEM2000 ..... ٤٥

شکل ۴- ۴: نمایش موقعیت پیزومترها در مدل WhAEM2000 ..... ٤٦

شکل ۴- ۵: مقایسه هد مشاهده‌ای در شرایط واقعی و هد محاسبه‌ای توسط مدل WhAEM2000 ..... ٤٧

شکل ۴- ۶: نقشه هم‌پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل WhAEM2000 ..... ٤٨

شکل ۴- ۷: حریم حفاظتی چاه‌های شرب رکات به روش شعاع ثابت اختیاری ٤٩

شکل ۴-۸: حریم حفاظتی چاه‌های شرب علی‌آباد به روش شعاع ثابت اختیاری ٥٠

شکل ۴-۹: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه رکات رسم شده به روش شعاع ثابت محاسبه‌ای ٥٢

شکل ۴-۱۰: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه علی آباد رسم شده به روش شعاع ثابت محاسبه‌ای ٥٢

شکل ۴-۱۱: حریم حفاظتی۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه رکات رسم شده به روش مرز جریان یکنواخت ٥٤

شکل ۴- ۱۲: حریم حفاظتی۲۰ ساله چاه‌های شرب علی‌آباد ترسیم شده به روش جریان یکنواخت ٥٥

شکل ۴- ۱۳: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه رکات ترسیم شده به روش مرز جریان ٥٧

شکل ۴- ۱۴: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب علی‌آباد ترسیم شده به روش مرز جریان ٥٨

شکل ۴- ۱۵: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه شرب رکات ۲..... ٦٠
شکل ۴- ۱۶: حریم حفاظتی چاه‌های رکات شماره ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸..... ٦١
شکل ۴- ۱۷: حریم حفاظتی چاه‌های شرب رکات شماره ۹، ۱۰ و ۱۱ ..... ٦٢
شکل ۴- ۱۸: حریم حفاظتی چاه‌های شرب طهماسبی ۳ و مدرس ۴ ..... ٦٣
شکل ۴- ۱۹: موقعیت حریم حفاظتی چاه‌های ۶، ۷ و ۱۰ علی‌آباد ٦٤
شکل ۴-۲۰: حریم حفاظتی چاه‌های شرب شماره ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ علی‌آباد ٦٥

فهرست جدول‌ها

جدول ۱- ۱: خلاصه بیلان آبخوان بیرجند در سال ۹۱-۹۲ ..... ۹
جدول۱- ۲: مقدار بارندگی ماهانه ایستگاه بیرجند و محدوده بیرجند ۱۰
جدول ۱- ۳: مقادیر درجه حرارت ماهانه ایستگاه بیرجند و محدوده مورد مطالعه ۱۰
جدول ۴- ۱: اطلاعات مربوط به خصوصیات آبخوان در زون‌های جداگانه ٤۳
جدول ۴- ۲: اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه حریم چاه‌های شرب به روش شعاع ثابت محاسبه‌ای ٥۱
جدول ۴- ۳: طول، پهنا و مساحت حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند محاسبه شده به روش مرز جریان ٦٦

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام کار

ایرانیان از آغاز بهره‌برداری از منابع آب (چاه، قنات، چشمه و یا رودخانه) به فکر رعایت حریم کمی منابع آب بوده‌اند. چرا که همواره نوعی نگرانی برای صاحبان یک منبع آب وجود داشته که ایجاد منبع آبی جدید اثرات سوء و نامطلوب بر منبع قدیمی آب بگذارد.

امروزه با رشد جمعیت و افزایش تعداد چاه‌ها و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی از یک طرف و نفوذ زه‌آبهای کشاورزی، نفوذ پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری به داخل آبخوان‌ها و از طرف دیگر استقرار کاربری‌های نامناسب در اطراف منابع آبی، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کیفیت آب‌های زیرزمینی ایجاد شده است. بنابراین، علاوه بر تعیین حریم کمی، لزوم تعیین حریم کیفی بر اساس معیارهای علمی و کاربردی جهت اعمال مدیریت صحیح بر حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و مخصوصاً حفاظت از کیفیت این منابع آب با ارزش بیش از گذشته احساس می‌گردد.

از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی و نیاز به حفاظت از منابع آب زیر زمینی بر اثر افزایش فعالیت‌های انسانی غیر قابل انکار می‌باشد. بنابراین تعیین حریم کیفی منابع آب از دیدگاه مدیریتی برای حفاظت و بهره‌برداری پایدار از این منابع حیاتی مطرح گردیده است (Expósito *et al*. 2010). در واقع حریم کیفی یک ابزار فنی و مدیریتی جهت پیشگیری و حفاظت از منابع آب در مقابل انواع آلاینده‌های

زیست محیطی می‌باشد. حریم کیفی، محدوده‌ای در اطراف منبع آبی بوده که به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد. مفهوم آن ممنوعیت مطلق استقرار کاربری‌ها نبوده، بلکه وضع محدودیت‌های لازم جهت استقرار مناسب این کاربری‌ها برای حفاظت از کیفیت آب در مقابل آلاینده‌های احتمالی با توجه به پتانسیل آلودگی واحدها جهت کاهش خطر آلودگی در منابع آب می‌باشد.

شهر بیرجند (مرکز استان خراسان جنوبی) با جمعیتی بالغ بر ۲۱۱ هزار نفر در شرق ایران قرار داشته و تنها منبع تأمین کننده آب شرب این شهر، منابع آب زیرزمینی می‌باشد (بهزادی فر و همکاران ۱۹۸۸). با توجه به رشد سریع جمعیت این شهر در پی مرکز استان شدن آن، احتمال وقوع یا تشدید آلودگی منابع آب زیرزمینی افزایش یافته است (حاجی آبادی و همکاران ۱۳۹۱). در راستای حفاظت از منابع ارزشمند آب زیرزمینی آشامیدنی در این شهر لازم است حریم حفاظتی چاه‌های شرب به روش‌های معتبر تعیین گردد. شناخت حریم حفاظتی چاه‌های شرب اولین قدم در محافظت از این منابع عمومی بوده که ضمن تعیین محدوده مشارکت کننده در تأمین آبدهی چاه، به شناسایی منابع آلاینده موثر در محدوده چاه کمک نموده و توسعه برنامه‌ریزی شده شهری در آینده را با نگاه ویژه به منابع آب زیرزمینی آشامیدنی در پی خواهد داشت. بنابراین، هدف از انجام تحقیق حاضر تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب شهر بیرجند با استفاده از روش‌های مختلف می‌باشد. در این راستا با استفاده از برنامه کامپیوتری WhAEM2000[1] که یک برنامه تخصصی در زمینه ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های پمپاژ به روش‌ها و بر اساس معیارهای مختلف می‌باشد حریم چاه‌های شرب تعیین و مورد بررسی قرار گرفته است.

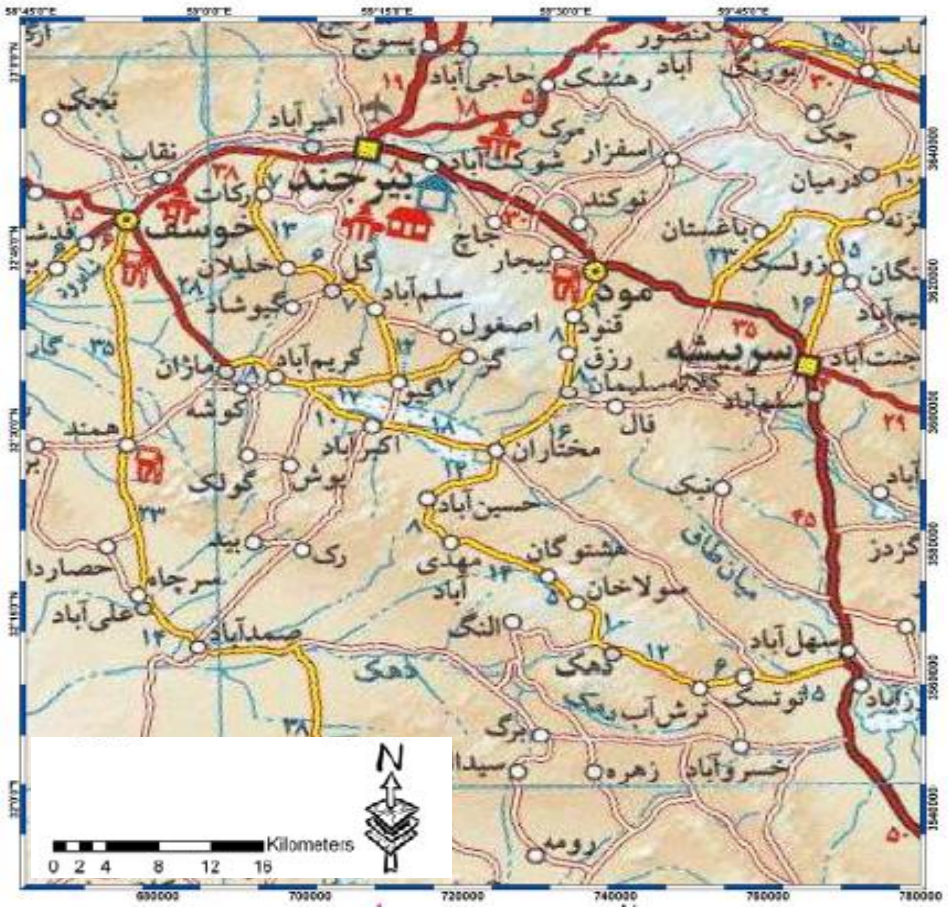
۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبگیر بیرجند بخشی از حوضه آبگیر کویر لوت بوده که این محدوده بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۶۰ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ و ۳۳ درجه شمالی واقع شده است.

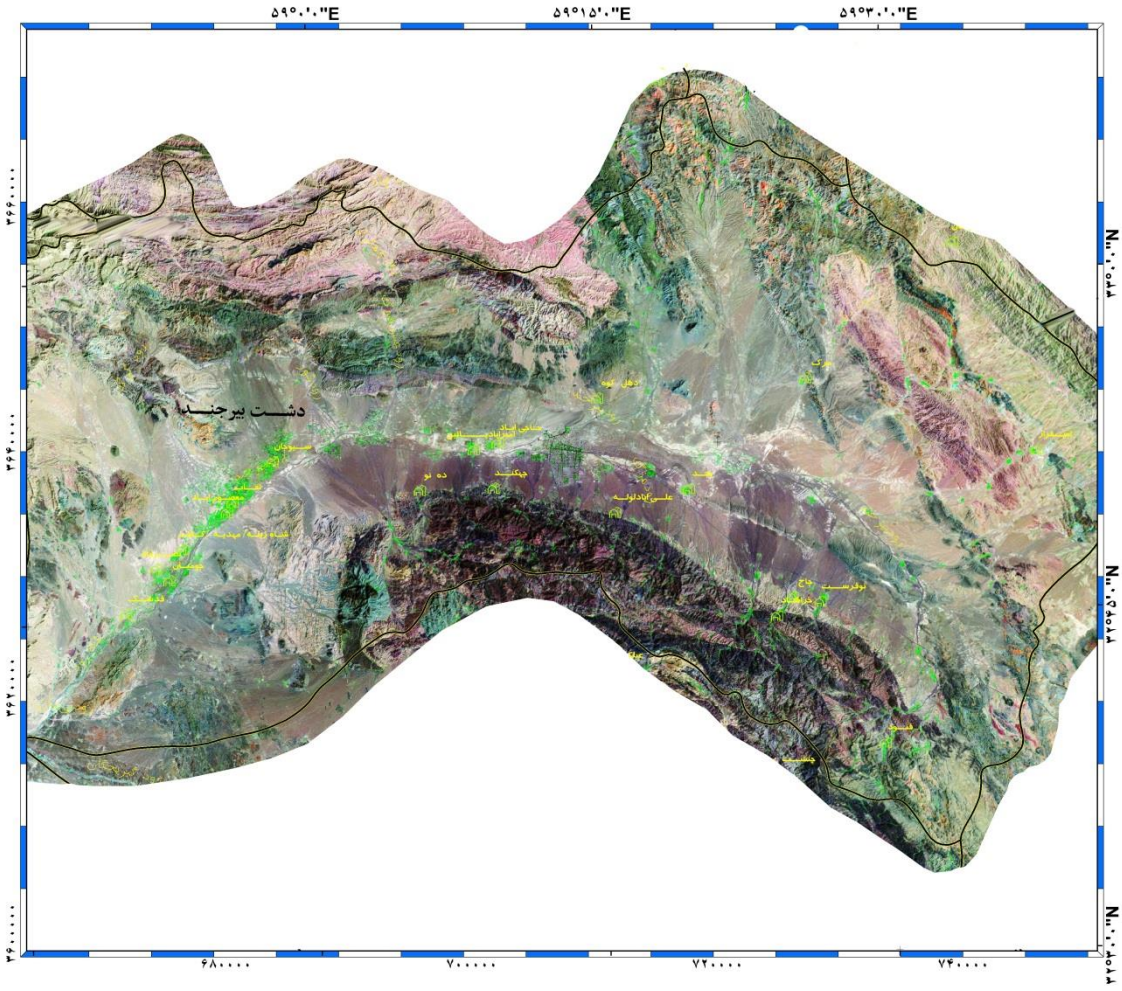
[1] Wellhead Analytic Element Model

این منطقه در شرق ایران در ۴۸۱ کیلومتری جنوب مشهد واقع شده است. شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و جاده‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.

دشت بیرجند به صورت مستطیل بوده (شکل ۱-۲) و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی را آبخوان آبرفتی تشکیل می‌دهد. این دشت از شمال به ارتفاعات مولی، مادرکوه از جنوب به ارتفاعات باقران و کوه رچ، از شرق به کوه بندر و مین‌آباد و از غرب به ارتفاعات گرنگ و چنگ محدود می‌شود. وسعت کل حوضه آبگیر دشت بیرجند در حدود ۳۴۲۵ کیلومترمربع می‌باشد، از این میزان حدود ۱۳۸۳ کیلومترمربع را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۲۰ متر در ارتفاعات باقران و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت (منطقه فدشک) می‌باشد.



شکل ۱-۱: راه‌های ارتباطی به شهر بیرجند و منطقه مورد مطالعه



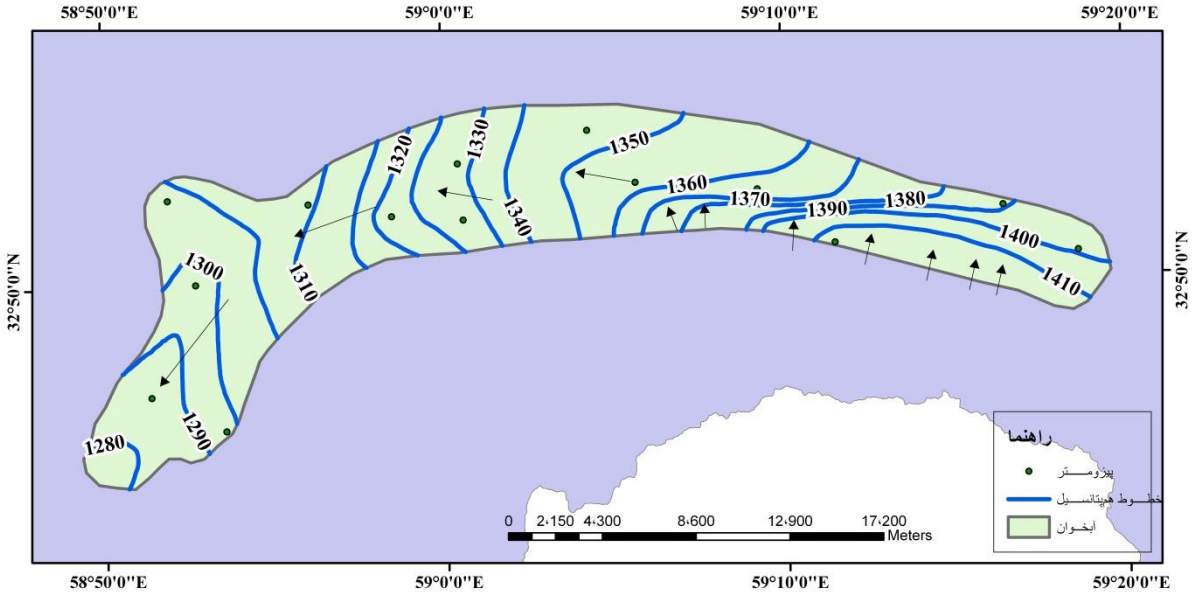
شکل۱-۲: موقعیت دشت بیرجند

۱-۳- مشخصات آبخوان دشت بیرجند

آبخوان آبرفتی دشت بیرجند از نوع آزاد و ناهمگن با مساحت ۳۰۶ کیلومترمربع می‌باشد. بر اساس اطلاعات حاصل چاه‌های حفر شده، ضخامت رسوبات آبرفتی دشت از ۵ متر تا ۲۲۵ متر متغیر بوده و متوسط ضخامت آن ۹۰ متر برآورد شده است.

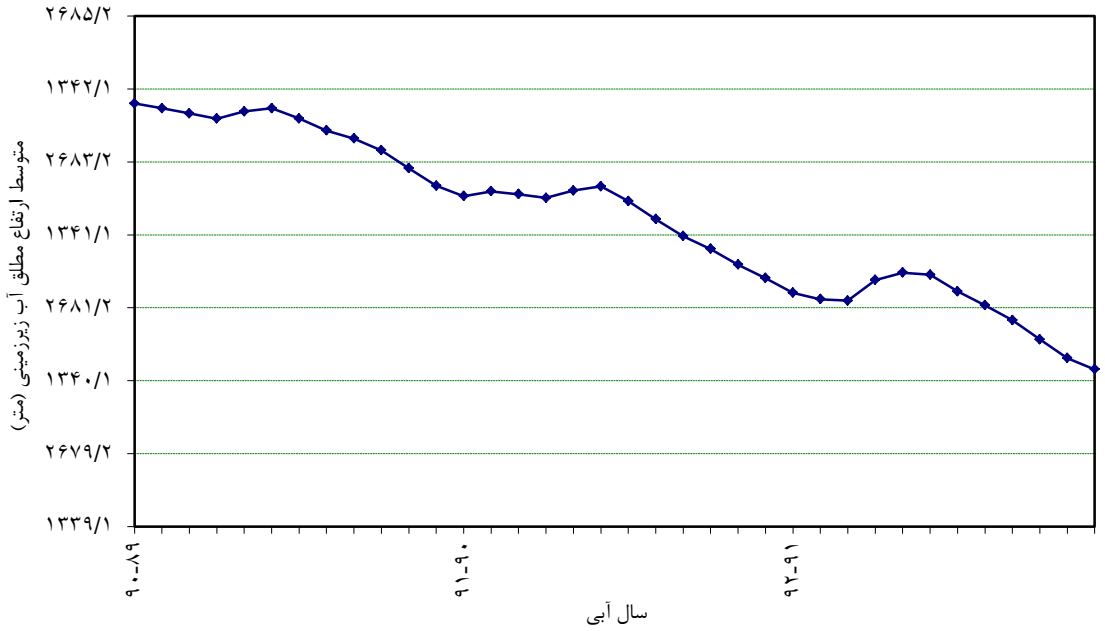
براساس داده‌های حاصل از مطالعات ژئوفیزیکی و چاه‌های اکتشافی ضخامت و عمق سنگ کف از شرق به غرب کاهش یافته و در خروجی دشت به کمتر از ۱۰ متر می‌رسد. عمق سنگ کف در بخش مرکزی بیشتر بوده و با رسوبات آبرفتی دانه درشت به ضخامت ۱۵۰ متر پوشیده شده است. ضخامت اشباع آبخوان آبرفتی در این قسمت زیاد بوده و مناسب‌ترین قسمت آبخوان را تشکیل می‌دهد. عمق

سطح ایستابی از ۱۴۰ متر در بخش شرقی دشت تا ۱۰ متر در خروجی دشت تغییر می‌کند. مقایسه عمق سطح ایستابی در سال‌های ۷۲ تا ۹۲ نشان‌دهنده افت زیاد سطح آب بوده که بر اثر برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی می‌باشد. جهت تعیین جهت جریان و مرزهای تخلیه‌کننده و تغذیه‌کننده آبخوان، نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی آبخوان بیرجند با استفاده از داده‌های ۱۴ حلقه پیزومتر در سال ۱۳۹۲ رسم شده است (شکل ۱-۳). با توجه به این شکل روند عمومی جهت جریان از طرف شرق به طرف غرب دشت می‌باشد. در دامنه شمالی کوه باقران (در منطقه جنوب دشت بیرجند) یک مرز تغذیه وجود دارد که بالاترین بار هیدرولیکی را داراست. گرادیان هیدرولیک در جنوب و غرب شهر بیرجند به طور قابل توجهی بالا می‌باشد و مقدار آن به حدود یک درصد می‌رسد. علت آن تغذیه آبخوان از دامنه شمالی کوه باقران و احتمالاً تغذیه آبخوان به وسیله چاه‌های جذبی می‌باشد.



شکل ۱-۳: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بیرجند

شکل ۱-۴ هیدروگراف میانگین سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت بیرجند را برای سال‌های ۸۹-۹۰ تا ۹۱-۹۲ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، سطح آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند روند کاهشی داشته به طوری که سالانه ۰/۶ متر افت سطح آب زیرزمینی رخ داده است. این دشت با کسری مخزن ۱۰/۳ میلیون‌مترمکعب در سال مواجه بوده، به همین دلیل این دشت از جمله دشت‌های ممنوعه کشور می‌باشد.



شکل ۱-۴: هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان بیرجند تا پایان سال ۹۱-۹۲

۱-۴- ارزیابی بیلان در آبخوان بیرجند

بر اساس اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های آبخوان در سال آبی ۹۱-۹۲ بیلان آبخوان برای این سال آبی محاسبه شده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۹۲). در ادامه توضیح مختصری از ورودی‌ها و خروجی‌ها و نتایج بیلان ارائه می‌گردد.

۱-۴-۱- ارزیابی جریان‌های ورودی به آبخوان

۱-۴-۱-۱- جریان‌های ورودی زیرزمینی

با استفاده از نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی مقاطع ورودی و خروجی آبخوان مشخص شده است و برای هر مقطع مقادیر قابلیت انتقال، گرادیان هیدرولیکی و عرض مقطع برآورد شده است. با استفاده از معادله دارسی حجم جریان ورودی برای هر مقطع مشخص شده است. حجم آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان حدود ۲۷/۶۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

۱-۴-۱-۲- تغذیه ناشی از ریزش‌های جوی

حجم تغذیه سالانه از بارندگی در محدوده بیلان آبخوان بیرجند ۶/۸۲ میلیون‌مترمکعب در دوره بیلان (سال ۹۱-۹۲) برآورد شده است.

۱-۴-۱-۳- تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف کشاورزی، شرب و صنعت

مقداری از آب‌هایی که توسط چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها استحصلال می‌شود و در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت به مصرف می‌رسد، دوباره به زمین نفوذ کرده و به سفره آب زیرزمینی باز می‌گردد. در مجموع میزان آب برگشتی چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها ناشی از مصارف کشاورزی با در نظر گرفتن ۳۵ درصد بر گشتی به سفره حدود ۱۸/۴۸میلیون‌مترمکعب در سال محاسبه شده است. در بخش شرب و بهداشت و صنعت بر مبنای ۶۵ درصد حدود ۱۰/۴۶ میلیون‌مترمکعب در سال بیلان می‌باشد.

۱-۴-۲- ارزیابی جریان‌های خروجی آبخوان آبرفتی

۱-۴-۲-۱- حجم جریان خروجی آب زیرزمینی

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که مرز خروجی آب زیرزمینی در بخش غربی واقع شده که در این منطقه ضخامت آبرفت اندک می‌باشد. حجم آب خروجی از این منطقه ۱/۱۵ میلیون‌مترمکعب در سال ۹۱-۹۲ برآورد شده است.

۱-۴-۲-۲- تخلیه از چاه‌ها، چشمه ها و قنات‌ها

حجم تخلیه سالانه آبخوان آبرفتی دشت بیرجند از مجموع ۲۷۰ حلقه چاه کشاورزی، صنعتی و شرب حدود ۶۵/۳۲ میلیون‌مترمکعب می‌باشد. از این مقدار ۵۰/۸۲ میلیون‌مترمکعب از طریق چاه‌های کشاورزی و ۱۴/۵ میلیون‌مترمکعب به وسیله چاه‌های صنعتی و شرب تخلیه می‌شود. حجم آب استحصال شده از چشمه‌ها و قنات‌ها حدود ۷/۲۵ میلیون‌مترمکعب در سال است.

۱-۴-۲-۳- میزان تبخیر از آب زیرزمینی

با توجه به نقشه هم‌عمق سطح ایستابی در دشت بیرجند، عمق سطح آب زیرزمینی بیشتر از ۵ متر بوده و بنابراین تبخیر از آب‌های زیرزمینی صفر در نظر گرفته شده است.

۱-۴-۲-۴- ارزیابی تغییرات حجم ذخیره در آبخوان آبرفتی بیرجند

با توجه به هیدروگراف دشت بیرجند میانگین سطح آب‌های زیرزمینی از مهرماه سال ۱۳۸۹ تا مهرماه ۱۳۹۲ متوسط سالانه به طور متوسط ۶۰ سانتیمتر در سال افت نموده است.

حجم ذخیره با استفاده از فرمول ۱-۳ محاسبه می‌شود:

معادله ۱-۱ $$V = S_y \times A \times \Delta h$$

V تغییرات حجم ذخیره آبخوان، S_y آبدهی ویژه آبخوان، A مساحت منطقه بیلان (متر مربع) و Δh تغییرات تراز آب زیرزمینی (متر) می‌باشد.

مقدار آبدهی ویژه آبخوان برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. بر این اساس تغییرات حجم ذخیره آبخوان به طور سالانه حدود ۱۰/۶۲- میلیون‌مترمکعب محاسبه شده است. خلاصه محاسبات بیلان در جدول ۱-۱ آمده است.

همان‌طور که اطلاعات موجود در جدول نشان می‌دهد، بیلان آب زیرزمینی آبخوان بیرجند در سال آبی ۹۱-۹۲ منفی می‌باشد. در این سال آبی حجم جریان‌های تغذیه‌ای ۱۰ میلیون‌مترمکعب از حجم

جریان تخلیه ای کمتر است. این بیلان منفی ناشی از کاهش بارندگی و خشکسالی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

جدول ۱- ۱: خلاصه بیلان آبخوان بیرجند در سال ۹۱-۹۲

پارامترهای بیلان	حجم تغذیه (میلیون‌مترمکعب)	حجم تخلیه (میلیون‌متر مکعب)
تغذیه ناشی از جریان ورودی	۲۷/۶۶	-
تغذیه ناشی از ریزش‌های جوی	۶/۸۲	-
تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف کشاورزی	۱۸/۴۸	-
تغذیه ناشی از آب برگشتی ناشی از صنعت	۱۰/۲۶	-
مجموع جریان‌های تغذیه‌ای	۶۳/۴۲	-
مجموعه جریان‌های خروجی آب زیرزمینی	-	۱/۱۵
تخلیه ناشی از چاه‌های بهره برداری	-	۶۵/۳۲
تخلیه ناشی از چشمه‌ها و قنات‌ها	-	۷/۲۵
تخلیه حاصل از تبخیر آب زیرزمینی	-	۰
مجموع جریان‌های تخلیه‌ای	-	۷۳/۷۲
تغییرات حجم مخزن	-	-۱۰/۳

۱-۵- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

بررسی بارش در یک دوره ۲۷ ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۲) در ایستگاه باران سنجی بیرجند (جدول ۱-۲) نشان می‌دهد حداکثر بارندگی مربوط به سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ برابر ۲۴۹/۹ میلیمتر و حداقل آن مربوط به سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۵۳ میلیمتر می‌باشد. مقدار میانگین بارش سالانه دشت بیرجند ۱۵۰ میلیمتر می‌باشد.

جدول۱- ۲: مقدار بارندگی ماهانه ایستگاه بیرجند و محدوده بیرجند

توزیع بارندگی ماهانه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط بارندگی بیرجند (میلیمتر)	۱/۲۸	۶/۶۳	۲۱/۲۴	۲۱/۹۱	۳۰/۳۳	۳۱/۰۲	۲۷/۸۰	۹/۱۶	۰/۸۸	۰/۱۲	۰/۵۰	۰/۲۱	۱۵۴/۰۵
درصد بارش	۰/۸۳	۴/۳۰	۱۳/۷۸	۱۴/۲۲	۲۱/۶۱	۲۰/۱۳	۱۸/۰۴	۵/۹۵	۰/۵۷	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۱۴	۱۰۰
بارندگی کوهستان (میلیمتر)	۱/۵۹	۶/۲۲	۲۶/۳۶	۲۷/۱۹	۴۱/۳۲	۳۸/۴۹	۳۴/۵۰	۱۱/۳۷	۱/۰۹	۰/۱۵	۰/۶۲	۰/۲۶	۱۹۱/۲۳
بارندگی محدوده دشت (میلیمتر)	۱/۳۳	۶/۹۰	۲۲/۱۲	۲۲/۸۲	۳۴/۶۸	۳۲/۳۰	۲۸/۹۵	۹/۵۴	۰/۹۲	۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۲۲	۴۹.۱۶۰

با توجه به جدول ۱-۲ حداکثر بارندگی فصلی در ایستگاه بیرجند در بهمن ماه و حداقل بارندگی مربوط به تیر ماه به ترتیب ۳۳/۳ و ۰/۱۲ گزارش شده است.

متوسط دمای سالانه بیرجند نیز برابر ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل و حداکثر دمای ماهانه به ترتیب ۵/۱ و ۲۹ درجه سانتی‌گراد به ترتیب مربوط به دی و تیر ماه می‌باشد (جدول ۱-۳). با توجه به مقادیر برآورد شده متوسط بارندگی سالانه و متوسط درجه حرارت سالانه برای حوضه مورد مطالعه، اقلیم منطقه خشک تعیین شده است.

جدول ۱- ۳: مقادیر درجه حرارت ماهانه ایستگاه بیرجند و محدوده مورد مطالعه

زمان (ماه)	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
ایستگاه‌بیرجند (درجه سانتی‌گراد)	۲۵/۵	۱۴/۲	۸/۳	۵/۱	۶/۲	۱۰/۴	۱۵/۹	۲۲/۴	۲۶/۰	۲۹	۲۷/۸	۲۴/۸	۱۷/۶
دشت (درجه سانتی‌گراد)	۱۶/۷	۱۱/۷	۶/۰	۳/۰	۳/۶	۸/۳	۱۳/۳	۱۹/۳	۲۳/۰	۲۵/۸	۲۴/۵	۲۱/۴	۱۴/۷
کوه (درجه سانتی‌گراد)	۱۵/۳	۱۰/۳	۵/۰	۲/۰	۲/۴	۷/۰	۱۱/۹	۱۷/۷	۲۰/۹	۲۳/۸	۲۲/۵	۱۹/۶	۱۳/۲

شکل ۱- ۵: منحنی امبروترمیک دشت بیرجند

منحنی امبروترمیک دشت بیرجند در شکل ۱-۵ رسم و دوره تر و خشک تعیین شده است. که دوره تر از اواخر آبان ماه تا اواخر فروردین ماه و دوره خشک از اردیبهشت ماه تا اوایل آذر ماه می‌باشد.

۱-۶- زمین‌شناسی دشت بیرجند

بررسی و شناخت سازندهای زمین‌شناسی از نظر تأثیر بر کیفیت آب‌ها و نقش گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی در تشکیل لایه‌های آبدار از اصول اولیه مطالعات هیدروژئولوژیکی یک منطقه می‌باشد. دشت بیرجند از نظر ساختاری جزئی از زون زمین‌ساختی ایران مرکزی بوده که در حاشیه زون فلیش شرق ایران قرار دارد. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ محدوده مطالعاتی بیرجند در شکل ۱-۶ نشان داده شده است. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که به طور کلی از نظر زمین‌شناسی دشت بیرجند را می‌توان به سه ناحیه سنگی تقسیم‌بندی نمود.

۱-افیولیت و مخلوط آمیزه (در هم رنگین)

۲-رسوبات نوع فلیش

۳-سنگ‌های آذرآواری جوان‌تر از افیولیت‌ها

به طور کلی ارتفاعات شمالی دشت بیرجند عمدتاً از رسوبات افیولیت و ارتفاعات جنوبی و غربی دشت از سنگ‌های آندزیتی-داسیتی و توف تشکیل شده است. قدیمی‌ترین سازندهای شناخته شده در منطقه، سازندهای افیولیتی کرتاسه می‌باشد. در مناطق کم ارتفاع دشت رسوبات دوران چهارم شامل تراس‌ها، آبرفت‌های مخروط افکنه‌ای، ماسه‌های بادی و رسوبات کویری بر جای گذاشته شده است. با توجه به اهمیت بالای سازندهای زمین‌شناسی در کیفیت و کمیت آبخوان‌های آبرفتی، در این قسمت به طور مختصرسازندهای مهم زمین‌شناسی بیرجند بررسی می‌شود.

۱-۶-۱- افیولیت و مجموعه آمیزه رنگین

آمیزه افیولیتی منطقه بیرجند یکی از مناطق مهم آمیزه افیولیتی شرق کشور است که به طور گسترده‌ای در ارتفاعات باقران مشاهده می‌شود. رخنمون‌های سنگی در این منطقه، شامل مجموعه افیولیتی به عنوان قدیمی‌ترین واحدهای سنگی و نهشته‌های بعد از جای‌گیری مجموعه افیولیتی است. این مجموعه افیولیتی شامل سنگ‌های اولترامافیک، مافیک و گدازه‌های بازی همراه سنگ آهک‌های پلاژیک کرمی رنگ، شیل‌ها و مادستون‌های ارغوانی و سرخ رنگ رادیولردار است. سن این مجموعه سنگی به قبل از کرتاسه برمی‌گردد. این مجموعه توسط ولکانیک‌ها و سنگ‌های رسوبی ترشیاری به صورت دگرشیب پوشیده شده‌اند و شامل مجموعه سنگی زیر است:

- سنگ‌های اولترابازیک

این سنگ‌ها به طور گسترده در منطقه مشاهده می‌شود که خود بیشتر شامل پریدوتیت‌ها، هارزبورژیت‌ها، لرزولیت و سرپانتنیت می‌باشد. یکی از بزرگترین رخنمون این سنگ‌ها در کوه کوجالو قرار دارد. اغلب سنگ‌های اولترامافیک منطقه به خصوص هارزبورژیت‌ها سرپانتنیزه شده‌اند اما بافت اولیه آن‌ها به صورت پزدومورف‌های سرپانتین حفظ شده است.

- گابروها

سنگ‌های اولترابازیک در بعضی قسمت‌ها بوسیله دایک‌های با ترکیب گابرویی قطع شده است. این سنگ‌ها توده‌ای بوده و بافت آن‌ها از ریزدانه تا درشت دانه تغییر می‌کند. در برخی نقاط بلورهای بزرگی از پیروکسن در داخل آن‌ها مشاهده می‌شود. گاه این سنگ‌ها در فیلیت‌ها و اسپلیت‌های متعلق به ردیف افیولیتی تظاهر نموده‌اند.

- اسپلیت‌ها

این سنگ‌ها در منطقه آمیزه رنگین به خوبی پراکنده بوده و یکی از واحدهای مهم آمیزه رنگین بشمار می‌روند. ساخت بالشی از صور بارز این سنگ‌ها بوده که به وضوح در روی زمین دیده می‌شود. اجزاء تشکیل‌دهنده این واحد دگرگون شده و دگرگونی ناحیه‌ای ضعیفی را متحمل شده‌اند. در بعضی مناطق پیشرفت تدریجی سنگ‌های غیردگرگونی به دگرگونی قابل رویت است. برای مثال بین سنگ‌های اسپلیتی و شیست‌ها یک گروه از سنگ‌های متوسط وجود دارد که به نام بازالت اسپلیتی دگرگون شده نامیده می‌شود.

۱-۶-۲- رسوبات نوع فلیش

در محدوده مطالعاتی دو نوع فلیش با سن کرتاسه بالایی و پالئوسن وجود دارد. فلیش‌های کرتاسه بالایی از اجزاء متشکله آمیزه رنگین محسوب می‌شوند. این رسوبات در غرب و جنوب منطقه رخنمون داشته و از شیل‌های سبز رنگ، ماسه سنگ و سیلت استون و شیل‌های فیلیتی تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها در بعضی از مناطق شدیداً ماسه‌ای بوده و با سنگ‌های اولترابازیک به نسبت‌های مختلف آمیخته شده است. مجموعه فلیشی پالئوسن-ترشیاری شامل تناوبی از شیل و ماسه سنگ به رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری می‌باشد که در شرق و شمال شرقی منطقه، در زیر حوضه شوراب، بیشترین رخنمون را دارند. در حاشیه زون‌های برشی رسوبات فلیشی متحمل دگرگونی حرکتی گردیده و تداخل‌هایی از فیلیت و کوارتزیت در آن‌ها دیده می‌شود.

۱-۶-۳- سنگ‌های آذرآواری جوان‌تر از افیولیت‌ها

فلیش‌ها در بعضی رخنمون‌ها، با تناوبی از مارن‌های سبز خاکستری و ماسه سنگ دیده می‌شوند، که به وسیله آهک ضخیم لایه تا توده‌ای به سن ائوسن زیرین–میانی پوشیده شده‌اند. سنگ‌های رسوبی ائوسن نیز به صورت هم شیب به وسیله آندزیت داسیت و توف‌های داسیتی پوشیده شده است. در بعضی مناطق پیشروی ائوسن با حضور کنگلومرائی که حاوی قطعاتی از تمام عناصر مخلوط در هم رنگین می‌باشد، دیده می‌شود.

به طور کلی در چندین محل اثراتی از طبقات نومولیت‌دار ائوسن دیده می‌شود، که به صورت پیشرونده با همبری مشخص بر روی سنگ‌های اولترابازیک و دیگر سنگ‌های کرتاسه مجموعه مخلوط در هم رنگین قرار گرفته‌است. در شمال منطقه مورد مطالعه ولکانیک‌های پالئوژن با سری‌های توفی شروع گردیده و شامل توف‌های قرمز، سبز و زرد و نیز مارن‌های توف‌دار و برش‌های توف‌دار می‌باشد. این سری در کوه مارکوه توسط داسیت و دیگر مناطق توسط برش‌های ولکانیکی، برش‌های توفی، آگلومرا آندزیت و آندزیت بازالت پوشیده می‌شود.

ردیف رسوبی پالئوژن در بخش شمالی، به طور دگرشیب به وسیله نهشته‌های نئوژن که اکثر شامل کنگلومرا می‌باشد، پوشیده می‌گردد. در بخش مرکزی دشت مارن‌های گچ‌دار توف و مارن‌های توفی سفید رنگ در زیر کنگلومرا دیده می‌شود. این توف‌ها می‌توانند، منشأ املاح موجود در آب زیرزمینی باشند.

۱-۶-۴- نهشته‌های نئوژن

کنگلومرای نئوژن دارای لایه‌بندی بوده و ذرات تشکیل دهنده آن از حد رس تا قلوه سنگ‌های با قطر ۲۱ سانتیمتر است و متحمل سخت‌شدگی نگردیده و در بعضی قسمت‌ها یک سیمان رسی موجب به هم چسبیدن ذرات آن شده است. جنس ذرات تشکیل دهنده آن از سنگ‌های ولکانیکی (آندزیت، آندزیت بازالت، توف)، سنگ‌های اولترابازیک و سنگ‌های رسوبی نظیر ماسه سنگ است. این کنگلومرا یک رخساره مولاس بوده، که در اثر برخاستگی ارتفاعات دشت و فرسایش سریع آن در یک محیط رسوبی

میان کوهی و پرانرژی بر جای گذاشته شده است. این کنگلومرا در تمام دشت در زیر رسوبات کواترنر گذاشته شده است، ولی به دلیل چین‌خوردگی تنها در بخش مرکزی دشت به صورت تپه ماهورهایی با روند شرقی-غربی از شمال بیرجند رخنمون دارد و در اکثر حفاری‌ها با رسوبات مخروط افکنه اشتباه گرفته می‌شود، زیرا به دلیل سخت نبودن این واحد مشابه رسوبات کواترنر می‌باشد. وجود لایه‌بندی تقریباً منظم و تغییرات عمودی در اندازه دانه‌ها و چین‌خوردگی در لایه‌های آن از ویژگی‌های این واحد سنگی است. در زیر این کنگلومرا در بعضی از نقاط دشت لایه‌های توف سفید رنگ رخنمون دارد، که خود به عنوان لایه نفوذناپذیر و سنگ کف دشت محسوب می‌گردد. در بین لایه‌های کنگلومرا باندهای مارن رس و حتماً گچ-نمک دیده می‌شود که از عوامل مؤثر درکاهش کیفیت آب زیرزمینی دشت محسوب می‌شود.

۱-۶-۵- بازالت، آندزیت

سنگ‌های ولکانیکی نئوژن در سمت جنوب غرب منطقه گسترش دارند. قسمت اعظم این سنگ‌ها از نوع پیروکسن آندزیت بوده، که در بعضی مناطق ترکیبشان تا آندزیت بازالتی نیز می‌رسد. به طور کلی این آندزیت‌ها کم و بیش کربناتیزه شده‌اند.

۱-۶-۶- رسوبات کواترنری

۱-۶-۶-۱- رسوبات آبرفتی قدیمی

قدیمی‌ترین رسوبات آبرفتی کواترنر هستند، که پس از بوجود آمدن کوه‌ها در بخش‌های میان کوهی و کنار کوهی برروی سنگ‌های قدیمی برجای گذاشته شده‌اند.

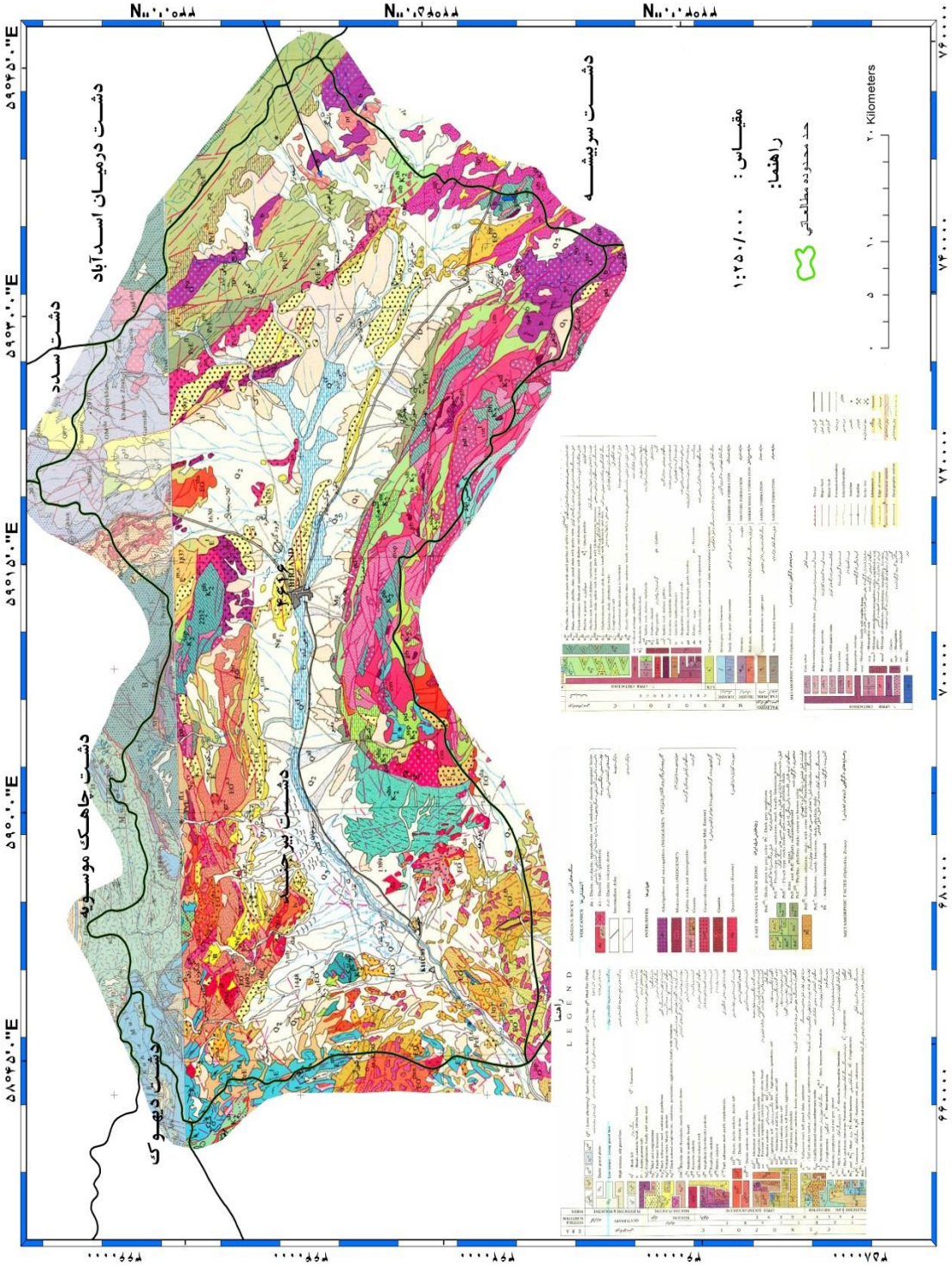
۱-۶-۶-۲- رسوبات آبرفتی جوان

بخش عمده‌ای از دشت توسط رسوباتی پوشیده شده، که حاصل فرسایش رشته کوه‌های اطراف می‌باشد

و توسط آب در سیل‌ها حمل شده‌اند و به تدریج در دشت ته‌نشین شده‌اند. به دلیل اینکه سرعت فرسایش و رسوبگذاری در ابتدای تشکیل این رسوبات خیلی زیادتر از عهد حاضر بوده لذا از عمق ۵ متر به پایین در بخش مرکزی دشت رسوبات دانه درشت در حد قلوه سنگ نیز وجود دارد.

۱-۱۱-۹-۳- رسوبات رودخانه‌ای

شامل رسوبات دانه درشت در حد ۱ تا ۲۱ سانتیمتر می‌باشد. این رسوبات لایه‌بندی مشخصی را نشان نمی‌دهد، ولی به صورت فصلی و سالانه انباشته می‌شوند. این رسوبات به دلیل درشت بودن ذرات، بهترین محل برای تزریق آب به داخل آبخوان می‌باشند.



شکل ۱ـ ۶: نقشه زمین‌شناسی دشت بیرجند (شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۹۲)

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

آب‌های زیرزمینی از زمان‌های قدیم به عنوان بهترین منابع ذخیره شده آب به شمار رفته که از آن برای مصارف مختلف مانند شرب و کشاورزی استفاده می‌شود. با صنعتی شدن شهرها و نفوذ آلاینده‌ها در خاک و انتقال آن‌ها به منابع آب زیرزمینی، این منابع را در محدوده‌ای که آلودگی انتشار پیدا کرده غیرقابل استفاده می‌نماید. برای استفاده از این منابع باید نوع آلودگی آن را مشخص و بسته به نوع مصرف (کشاورزی، شرب، صنعت و غیره) تصفیه کرد که این عملیات‌ها هزینه زیادی را متحمل می‌شود (بدو ۱۳۸۳). برای این منظور ابتدا باید منبع آلودگی و مکانیزم انتقال آلودگی مشخص و سپس حریم حفاظتی برای چاه‌ها تعیین شود. بسته به داده‌های موجود روش مناسب تعیین حریم حفاظتی انتخاب می‌شود. در موارد مختلف از جمله مدیریت، حفاظت منطقه تغذیه و تعیین محدوده جریان منبع آلودگی می‌باشد.

۲-۱- تعاریف و اصطلاحات

۲-۱-۱- انواع لایه‌های آبدار

لایه‌های آبدار به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱- لایه‌های آبدار آزاد[1]، ۲- لایه‌های آبدارمحبوس[2].

[1] Unconfined
[2] Confined

لایه‌های آزاد لایه‌هایی هستند که لایه محبوس کننده در بالای آن نباشد و اگر پیزومتر در آن حفر گردد

سطح آب پیزومتر هم‌تراز با سطح آب زیرزمینی آن لایه باشد. لایه آبدار محبوس لایه آبداری است که یک لایه محبوس کننده روی آن قرار دارد و از نفوذ و خروج آب جلوگیری می‌کند (Todd 1980).

۲-۲- آلودگی منابع آب زیرزمینی و مکانیزم‌های انتقال آلودگی به این منابع

اگر به طور مصنوعی کیفیت منابع آب زیرزمینی تغییر کند، در این منابع آلودگی اتفاق می‌افتد و از قابل استفاده بودن خارج می‌شود. برای استفاده نمودن از این منابع باید هزینه‌های زیادی را جهت تصفیه آن‌ها خرج نمود.

ویژگی آلودگی‌ها در آب‌های زیرزمینی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱-تشخیص آلودگی منابع آب زیرزمینی از آب‌های سطحی مشکل‌تر است.

۲-کنترل آلودگی آن‌ها مشکل است.

۳-استمرار آلودگی ممکن است تا قرن‌ها ادامه پیدا کند (Rowe 1993).

آلاینده‌های آب زیرزمینی، مواد شیمیایی آلی و معدنی، سمی، فیزیکی، بیولوژیکی و رادیواکتیویته هستند. این آلاینده‌ها از مواردی از جمله صنعت، تراوش از تانک‌ها و خطوط لوله‌ها، فعالیت‌های معدنی، استخراج نفت، مواد آلوده کننده کشاورزی، مواد زائد حیوانی و کودهای شیمیایی می‌باشند که وارد منابع آب زیرزمینی می‌شوند و باعث آلودگی منابع آب می‌شود (بدو ۱۳۸۳).

۲-۳- مکانیزم‌های انتقال آلودگی

مکانیزم انتقال آلودگی انواع مختلفی دارد، که شامل انتقال به طریق همرفت، انتقال به طریق انتشار، و پخش‌شدگی می‌باشد. در ادامه این موارد به طور مفصل شرح داده شده است.

۲-۳-۱- انتقال به طریق همرفت

انتقال به طریق همرفت، حرکت ماده آلوده همراه جریان آب است. در این روش سرعت حرکت آلودگی مشابه سرعت جریان آب زیرزمینی است و حرکت ماده آلوده از سرعت جریان آب زیرزمینی

پیروی می‌کند. f توده ماده آورده که با مکانیزم هم‌رفت در واحد سطح در واحد زمان انتقال می‌یابد، جریان توده‌ای نامیده می‌شود (Rowe 1993) که طبق معادله ۲-۱ قابل محاسبه می‌باشد.

$$\boldsymbol{f = n.v.c = v_a.c}$$ معادله ۲-۱

که در آن n تخلخل، v سرعت تراوش، v_a سرعت دارسی، c غلظت ماده آلوده، در زمان و مکان مورد نظر، (توده ماده آلوده در واحد حجم (ML^{-3})) می‌باشد.

M: توده ماده آلوده

۲-۳-۲- انتقال به طریق انتشار[1]

انتشار یعنی ماده آلوده از نقطه‌ای که دارای ماده شیمیایی با غلظت بالاست به نقطه‌ای که غلظت پایین‌تری دارد حرکت کند. مثل پخش شدن جوهر در آب (Rowe 1993).

جریان توده‌ای انتقال یافته به طریق انتشار با استفاده از معادله (۲-۲) محاسبه می‌شود.

$$f = -nD_e \frac{\partial c}{\partial z}$$ معادله ۲-۲

در اینجا، n تخلخل موثر خاک، D_e ضریب انتشار موثر و $\frac{\partial c}{\partial z}$ گرادیان غلظت است که با فاصله تغییر می‌کند. علت منفی شدن گرادیان غلظت، به دلیل این است که ماده آلوده از نقطه‌ای که غلظت آن بالاست به نقطه‌ای که غلظت آن پایین است حرکت می‌کند.

۲-۳-۳- عمل پخش‌شدگی[2]

پخش‌شدگی سومین مکانیزم انتقال آلودگی است که در اثر تغییرات منطقه‌ای در سرعت آب زیرزمینی ایجاد می‌شود و با ضریب پخش‌شدگی هیدرودینامیکی[3] تعریف می‌شود (Rowe 1993) که با استفاده از معادله ۲-۳ محاسبه می‌گردد.

$$D = D_e + D_{md}$$ معادله ۲-۳

[1] Diffusive transport
[2] Dispersion
[3] hydrodynamic dispersion

که در اینجا D_e ضریب انتشار مولکولی، D_{md} ضریب پخش‌شدگی مکانیکی ($D_{md}=\alpha.v$) می‌باشد. α پراکنش و v سرعت آب زیرزمینی است. جریان توده‌ای انتقال یافته به وسیله پخش‌شدگی از طریق معادله ۲-۴ برابر است با:

معادله ۲-۴ $$f = n.v.c - nD\frac{\partial c}{\partial z}.$$

۲-۴- حریم حفاظتی

محدوده‌ای که شامل جریان‌های آب زیرزمینی مخصوص یک چاه یا زهکش می‌باشد حریم حفاظتی گفته می‌شود. لازم به ذکر است که این زون مربوط به جریان‌های آب زیرزمینی در یک زمان مشخص تعریف می‌گردد (Hansen 1991).

حریم حفاظتی که در متون علمی از آن به عناوین مختلف نظیر منطقه تسخیر یا منطقه گیرش[1]، منطقه مشارکت [2]یا محدوده حفاظت سرچاهی نام برده شده است، معرف ناحیه سطحی یا زیرسطحی اطراف چاه بوده که در هنگام پمپاژ آب چاه را تأمین می‌نماید. از این ناحیه مواد آلاینده به طرف چاه حرکت نموده و در نهایت وارد چاه می‌گردند (EPA 1987). این حریم مشخص کننده محدوده‌ای اطراف یک چاه پمپاژ بوده که بایستی از آلاینده‌های مختلف مانند چاه‌های فاضلاب، مخازن مواد شیمیایی و سوختی، زباله‌های شهری، صنعتی و بیمارستانی و سایر آلودگی‌ها که می‌توانند به آب زیرزمینی نفوذ کرده و سبب آلودگی این آب‌ها گردند، پاکسازی شود (Fetter 1993).

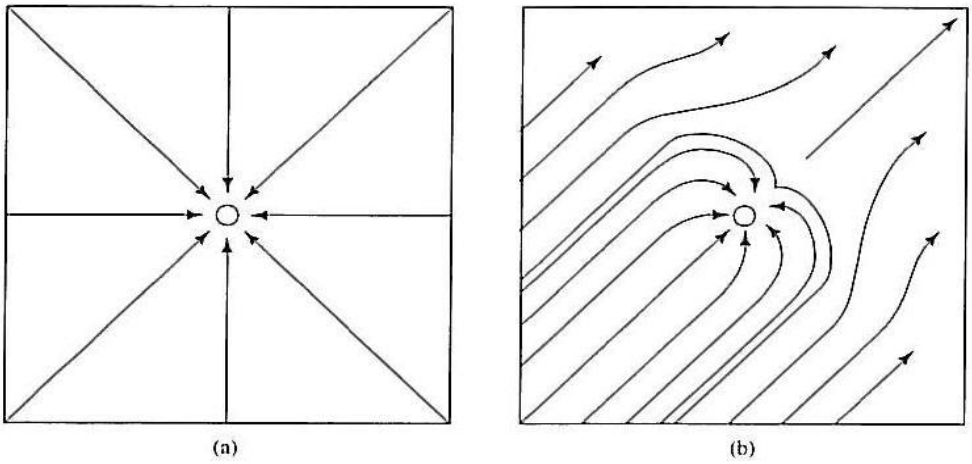
۲-۵- تاثیر عوامل مختلف بر حریم حفاظتی (منطقه گیرش)

شکل حریم حفاظتی یک چاه تابع عوامل مختلفی می‌باشد که این عوامل بر شکل حریم حفاظتی تأثیر می‌گذارند. این عوامل شامل شیب سطح ایستابی، سرعت جریان آب زیرزمینی و درجه همگنی آبخوان می‌باشد.

[1] Capture Zone
[2] Zone of Contribution

۲-۵-۱- شیب سطح ایستابی

شیب سطح ایستابی بر شکل حریم حفاظتی تأثیرگذار می‌باشد. در صورتی که سطح ایستابی افقی باشد حریم حفاظتی سیلندری (استوانه‌ای) شکل و در شرایطی که سطح ایستابی شیب‌دار باشد حریم حفاظتی به سمت بالادست جریان کشیده می‌شود. تأثیر شیب سطح ایستابی بر حریم حفاظتی در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲- ۱: تاثیر شیب سطح ایستابی بر شکل حریم حفاظتی(Fetter 1993)

۲-۵-۲- سرعت جریان آب زیرزمینی

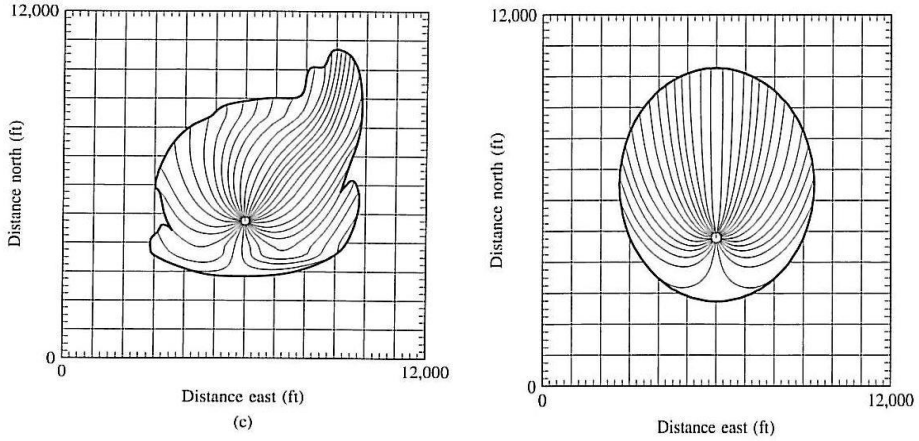
سرعت جریان آب زیرزمینی باعث تغییر شکل حریم حفاظتی یک چاه می‌گردد. به طور کلی هر چه سرعت جریان بیشتر باشد عرض حریم حفاظتی کمتر می‌شود.

۲-۵-۳- همگنی آبخوان [1]

تغییرات هدایت هیدرولیکی (تراوایی) آبخوان در جهت‌های مختلف از عواملی است که باعث تغییر در ابعاد وسعت حریم حفاظتی می‌گردد. تراوایی بالا باعث گسترش حریم حفاظتی و تراوایی پایین باعث کاهش ابعاد آن می‌گردد (Fetter 1993). شکل ۲-۲ تاثیر همگنی (یکنواخت بودن هدایت

[1] Homogeneity

هیدرولیکی در جهات مختلف) و ناهمگنی آبخوان بر شکل و نحوه گسترش حریم حفاظتی یک چاه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- ۲: تاثیر همگنی و ناهمگنی آبخوان بر شکل حریم حفاظتی(Fetter 1993)

۲-۶- معیارها و روش‌های محاسبه و تعیین حریم حفاظتی

دفتر آب زیرزمینی و آب آشامیدنی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا راهنمائی‌هایی در مورد معیارهای تعیین حریم حفاظتی ارائه نموده است (USEPA 1993). این معیارها شامل مواردی از جمله فاصله، افت، زمان ماندگاری، مرزهای جریان و ظرفیت کاهش آلودگی می‌باشند که در ادامه به صورت مختصر موارد مذکور شرح داده می‌شود.

۲-۶-۱- معیار فاصله

بر اساس معیار فاصله، فاصله شعاعی اطراف چاه پمپاژ به عنوان محدوده حریم حفاظتی آن چاه تعیین می‌گردد.

۲-۶-۲- معیار افت

معیار افت میزان پایین افتادگی سطح آب زیرزمینی در آبخوان آزاد یا پایین افتادن سطح پیزومتری در آبخوان تحت فشار را نشان می‌دهد.

۲-۶-۳- زمان ماندگاری

حداکثر زمانی که آلودگی به سمت چاه حرکت می‌کند به عنوان زمان ماندگاری تعریف شده و یکی از معیارهای تعیین حریم حفاظتی است.

۲-۶-۴- مرز جریان

یک مفهوم عملی برای تعیین سطح جداکننده آب زیرزمینی و یک فاکتور فیزیکی برای کنترل جریان آب زیرزمینی است. از مرز جریان برای تعیین ناحیه تغذیه استفاده می‌شود. مرز جریان شامل رودخانه، دریاچه، کانال‌ها و زهکش‌ها می‌باشد (EPA 1993).

۲-۶-۵- ظرفیت کاهش آلودگی

در کنترل حریم بهداشتی چاه از آلودگی، باز داشتن آلودگی از حرکت و یا رقیق کردن آلودگی در طی حرکت به سمت چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم کنترل آلودگی سر چاهی، این معیار ناحیه‌ای را به نام ناحیه رقیق‌کنندگی، مشخص می‌کند یعنی آلودگی به حداقل مقدار قابل قبول خود می‌رسد (EPA 1993).

۲-۷- روش‌های تعیین حریم حفاظتی

روش‌هایی که از این معیارها بهره می‌گیرند از روش‌هایی ساده تا کاملاً پیشرفته متغیر می‌باشند. بسته به نوع آبخوان و بررسی ویژگی‌های آبخوان روش مناسب جهت تعیین حریم حفاظتی انتخاب می‌شود (Expósito *et al.* 2010). در ادامه مهمترین روش‌های مورد استفاده در تعیین و ترسیم حریم حفاظتی چاه‌ها ارائه می‌گردند.

۲-۷-۱- شعاع ثابت اختیاری

روش انتخاب یک شعاع اختیاری یک روش بسیار ساده در تعیین حریم حفاظتی چاه‌ها بوده و در مواقعی که اطلاعات زیادی از منطقه مورد مطالعه وجود نداشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال محدوده شعاعی به فاصله حدود ۳۰۰ متر از محل چاه مورد نظر به عنوان حریم حفاظتی آن چاه در نظر

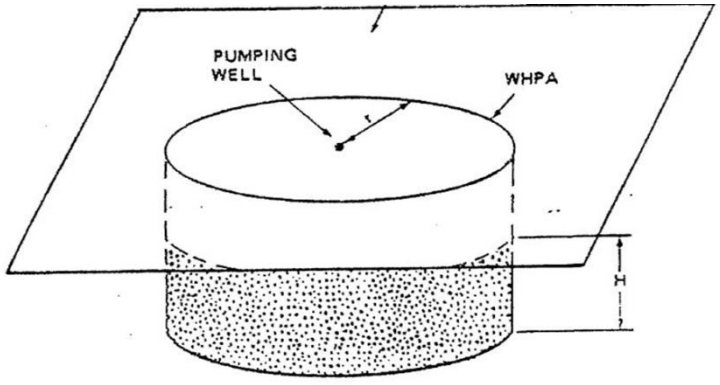
گرفته می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد نتایج این روش بسیار ساده در بسیاری ازمواقع با واقعیت انطباق نداشته و به همین دلیل دفاع از آن در تعیین حریم حفاظتی چاه‌ها بسیار مشکل می‌باشد. همانطور که قبلاً بیان گردید این روش تنها در مواردی که هیچگونه اطلاعاتی از وضعیت منطقه مورد مطالعه در دسترس نباشد، به عنوان تخمینی اولیه از وسعت حریم حفاظتی کاربرد دارد. از معایب این روش می‌توان دقت کم هیدرولوژیکی، ارائه شعاع آستانه بزرگ و آسیب دیدن لایه آبدار در صورت نادرست بودن جواب را نام برد (Pekas 1992).

۲-۷-۲- شعاع ثابت محاسبه‌ای

این روش در مواردی که سطح ایستابی از شیب بسیار کمی برخوردار بوده یا بدون شیب باشد، استفاده می‌گردد. در این روش حریم حفاظتی یک چاه به شکل استوانه‌ای تصور شده (شکل ۲-۳) که شعاع آن معادل شعاع استوانه است و طبق معادله ۲-۵ محاسبه می‌گردد (Muldoon and Payton 1993).

$$R = \sqrt{\frac{Qt}{n\pi H}}$$ معادله ۲-۵

که در این معادله R شعاع محاسبه شده منطقه گیرش چاه (بر حسب متر)، Q نرخ پمپاژ (بر حسب مترمکعب بر ثانیه) ، t زمان سیر تا چاه پمپاژ (بر حسب روز)، n تخلخل سفره آب زیرزمینی و b ضخامت سفره یا طول اسکرین چاه بر حسب متر می‌باشد (EPA 1993).

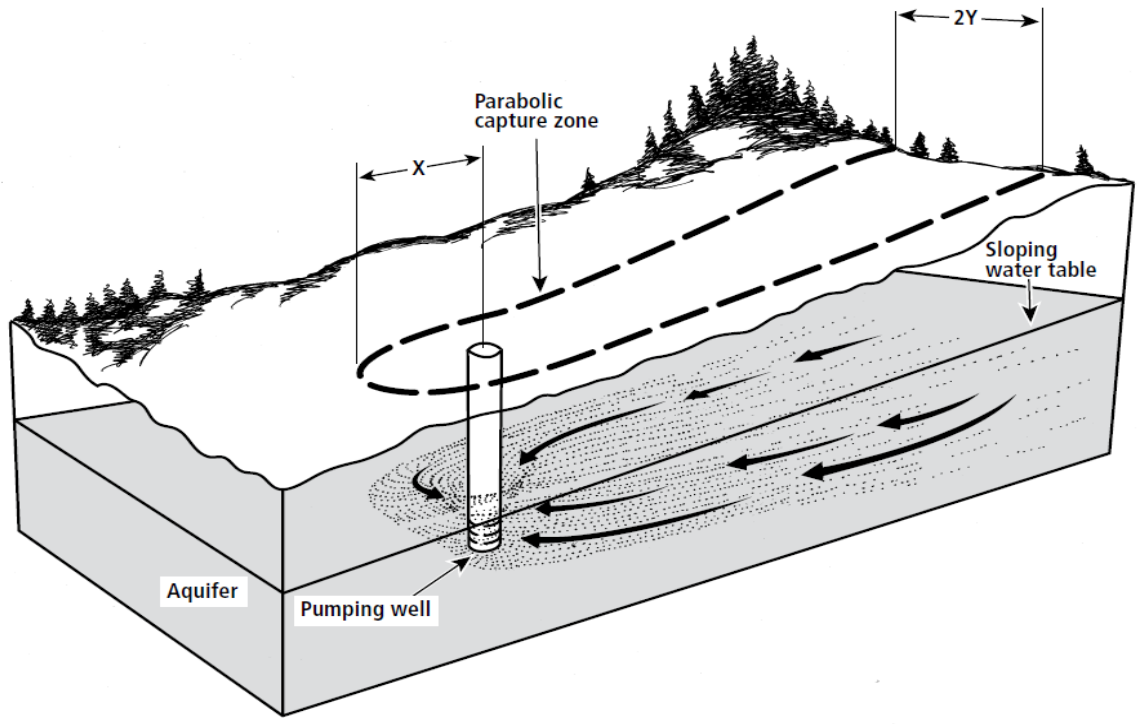


شکل۲- ۳: محدوده حریم حفاظتی استوانه‌ای یک چاه در روش شعاع ثابت(EPA 1993)

۲-۷-۳- معادلات تحلیلی

روش تحلیلی، یکسری معادلات جریان با داده‌های مختلف هیدروژئولوژیکی را برای محاسبه فاصله تا محل جدایی آب زیرزمینی از گرادیان پایین‌دست به کار می‌برد و ناحیه تغذیه کننده چاه را به دست می‌آورد. این روش از سال ۱۹۷۰ مورد استفاده تا به امروز بکار گرفته می‌شود (Hunt *et al.* 2006). و داده‌های مورد نیاز این روش شامل ضریب قابلیت انتقال، تخلخل، گرادیان هیدرولیکی، نفوذپذیری و عمق اشباع لایه آبدار می‌باشد. این روش در سطوح شیبدار، ناحیه تغذیه کننده چاه را تعیین می‌کند ولی ناحیه تأثیر را نمی‌تواند تعیین کند. در جاهایی که سطح آب زیرزمینی مسطح است می‌توان برای هر دو استفاده کرد، زیرا هر دو برابرند (Heij 1987).

در مواردی که سطح آب زیرزمینی شیبدار باشد، سطح حریم حفاظتی چاه به شکل سهمی خواهد بود. در این حالت روش‌های ارائه شده قبلی برای تعیین حریم قابل استفاده نبوده و به همین دلیل از حل معادلات جریان (روش تحلیلی) برای محاسبه حریم حفاظتی استفاده می‌گردد. تصویر شماتیک حریم حفاظتی برای دو سیر زمانی مختلف در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.



شکل۲- ۴: تصویر حریم حفاظتی برای دو زمان سیر مختلف

محاسبه حریم حفاظتی با استفاده از حل تحلیلی معادلات جریان آب زیرزمینی در شرایطی که آبخوان مورد بررسی از نوع آزاد یا از نوع محبوس (تحت فشار) باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۷-۳-۱- محاسبه حریم حفاظتی در آبخوان محبوس

با فرض محبوس بودن و همگن بودن آبخوان و اینکه جریان آب زیرزمینی از نوع پایدار باشد، حریم حفاظتی اطراف چاه با استفاده از معادله ۲-۶ محاسبه می‌شود:

$$y = \pm\frac{Q}{2BU} - \frac{Q}{2\pi BU}tan^{-1}\frac{y}{x}$$ معادله ۲-۶

این معادله از حل معادله دوبعدی جریان توسط جواندل و تیسانگ به دست آمده است. در این معادله y نصف عرض حریم حفاظتی، X فاصله مرز حریم حفاظتی به سمت بالادست چاه پمپاژ و Q دبی پمپاژ، B ضخامت آبخوان و U سرعت دارسی قبل از پمپاژ می‌باشد(javandel *at al.* 1986).

۲-۷-۳-۲- معادله حریم حفاظتی در شرایط آبخوان آزاد

محاسبه شکل حریم حفاظتی در شرایطی که آبخوان آزاد، همگن و ایزوتروپ باشد به وسیله معادله زیر که توسط گراب ارائه شده است، تعیین می‌گردد.

$$x = \frac{-y}{\tan\left[\frac{\pi K(h_1^2-h_2^2)y}{QL}\right]}$$ معادله ۲-۷

که در این فرمول Q دبی پمپاژ، K هدایت هیدرولیکی آبخوان آزاد، h_1 و h_2 هد در پایین‌دست و بالادست پمپاژ قبل از پمپاژ و L فاصله بین آن‌ها می‌باشد. در این معادله tan بر حسب رادیان می‌باشد. در این شرایط X_O (فاصله تا خط تقسیم آب زیر زمینی به سمت پایین دست) و Y_{max} (حداکثر عرض منطقه گیرش) از طریق فرمول ۲-۸ و ۲-۹ محاسبه می‌شود.

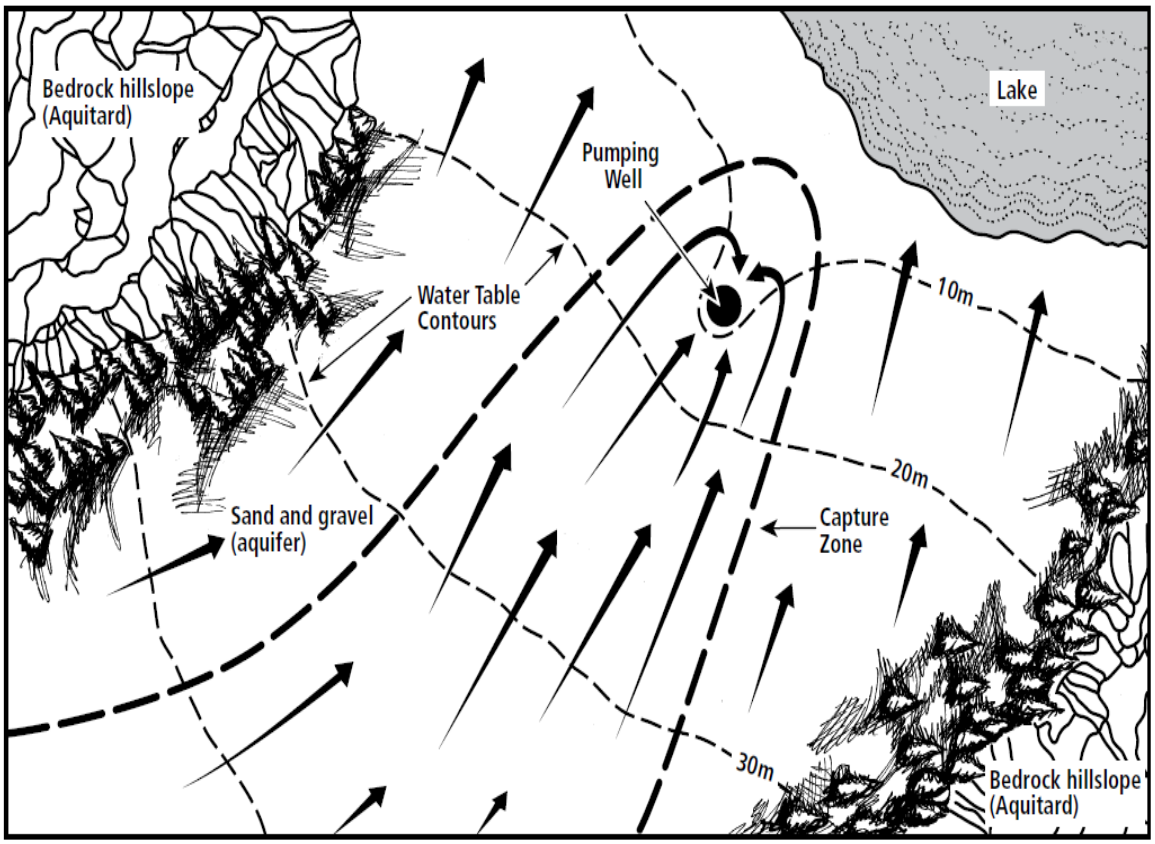
$$Xo = -QL/(BK(h_1 - h_2))$$ معادله ۲-۸

$$Y_{max} = (QL)/(K(h_1^2 - h_2^2))$$ معادله ۲-۹

در استفاده از معادلات تحلیلی باید گرادیان هیدرولیکی، نرخ پمپاژ و قابلیت انتقال آبخوان مشخص باشد.

۲-۷-۴-نقشه هیدروژئولوژی[1]

در این روش از نقشه‌های هیدروژئولوژی و اطلاعات سطح آب زیرزمینی برای ترسیم حریم حفاظتی استفاده می‌گردد. برای محدوده و منبع مورد نظر یک شبکه پایش تعریف شده و پیزومترهای آن حفاری می‌گردد. بر اساس مقادیر تراز سطح ایستابی در این پیزومترها، خطوط هم‌پتانسیل و جریان (شبکه تعیین حریم حفاظتی با استفاده از نقشه‌های هیدروژئولوژی در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲- ۵: تصویر تعیین حریم حفاظتی با استفاده از نقشه هیدروژئولوژی(EPA 1993)

[1] Hydrogeology Mapping

۲-۷-۵- مدلسازی عددی جریان[1]

در این روش داده‌های مورد نیاز در تهیه مدل جریان آب زیرزمینی تهیه شده و سفره آب زیرزمینی به روش عددی شبیه سازی می‌گردد. به منظور حفاظت از منابع آب زیر زمینی در دلتای نیل جهت تعیین حریم حفاظتی چاه‌ها (بیش از ۱۵۰۰ چاه) از روش مدل سازی عددی استفاده گردید (Fadlelmawla *et al*. 2006) برای مثال کد کامپوتری MODFLOW و کدهای کامپیوتری مناسب نظیر MODPATH یا PMPATH حریم حفاظتی چاه را تعیین می‌کنند.

۲-۸- ضرورت تعیین حریم کیفی آب های زیرزمینی

به منظور حفاظت آبخوان‌ها در مقابل آلودگی، اعمال محدودیت‌ها بر کاربری اراضی موجود و آینده، و همچنین برداشت بیش از حد از آبخوان‌ها، ضروری است. اما در این بین محدودیت‌هایی نیز وجود دارد، چرا که از دیدگاه اقتصادی-اجتماعی قابل قبول نیست که برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی، کل محدوده آبخوان را برای کاربری‌های مختلف ممنوع کرد. در نتیجه به جای آنکه تمامی قسمت های آبخوان ممنوع شود، تنها توسعه کاربری، برای مناطق حساس و مستعد آلودگی متوقف گردد.

بنابراین، باید حریم‌هایی بر پایه آسیب پذیری آبخوان و شعاع حفاظتی منابع تأمین آب و همچنین میزان آلاینده‌ها، برای آبخوان‌ها تعیین گردد. در واقع این امر نشان می‌دهد چه فعالیت‌هایی و در کجا با خطر قابل قبول آلودگی آب زیرزمینی می‌تواند صورت بگیرد و یا چه فعالیت‌هایی بایستی متوقف گردد.

به عقیده برخی از کارشناسان، شرایط هیدروژئولوژیکی به قدری پیچیده است که هیچ‌گونه پهنه‌بندی نمی‌تواند کلیه شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه مورد نظر را پوشش دهد، با این وجود پهنه‌بندی یا تعیین حریم کیفی براساس آسیب‌پذیری آبخوان به عنوان یک چارچوب کلی برای توسعه و اجرای خطی مشی حفاظت از منابع آب زیرزمینی لازم و ضروری است. تصمیماتی که

[1]. Numerical Flow Modeling

در رابطه با کاربری اراضی اتخاذ می‌گردد، به هر حال آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار خواهد داد و اگر هیچ گونه حریم‌بندی کیفی وجود نداشته باشد، بدین معنی است که نگرانی در مورد منبع آب زیرزمینی وجود ندارد. هم‌چنین انتظار حفاظت انحصاری از تمام منابع آب زیرزمینی یا به عبارتی اعمال محدودیت کاربری اراضی در کل محدوده تأمین آب زیرزمینی غیرمنطقی است. بنابراین یک استراتژی پهنه‌بندی و حریم‌بندی کیفی برای اطمینان از تعامل منطقی بین توسعه اقتصادی و حفاظت از آبخوان بسیار مهم و ضروری است.

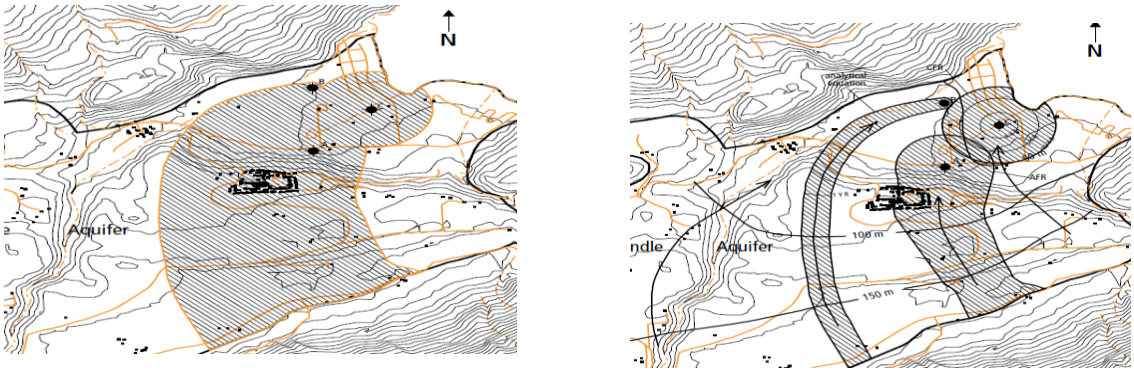
۲-۹- کاربردهای تعیین حریم حفاظتی (منطقه گیرش)

۲-۹-۱- تعیین محدوده جریان یک منبع

تعیین محدوده جریان یک منبع آبی نظیر چاه هم کاربرد کمی و هم کاربرد کیفی دارد. برای مثال تعیین حریم حفاظتی یک چاه نشان‌دهنده محدوده تغذیه کننده آن چاه و بنابراین منشأ جریان آن می‌باشد. شناخت این موضوع در مباحث کمی آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارد.

۲-۹-۲- مدیریت و حفاظت کیفی منطقه تغذیه

این موضوع به خصوص برای چاه‌های آب شرب مطرح می‌باشد. به طوری که با مشخص شدن ابعاد حریم حفاظتی هر منبع آبی، منطقه حفاظت کیفی آن استخراج و با ترکیب آن‌ها حریم حفاظتی مربوط به کلیه منابع آبی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۲-۶ سه منبع آبی رانشان می‌دهد که محدوده حفاظتی پیشنهادی اطراف آن‌ها تعریف شده است.



شکل ۲- ۶: تصویر سه منبع آبی (شکل راست) و حریم حفاظتی پیشنهادی برای آن‌ها (Fetter 1993)

۲-۹-۳- تعیین حریم حفاظتی برای پاکسازی آلودگی

در صورت ایجاد آلودگی در آبخوان می‌توان برای پاکسازی آلودگی و جلوگیری از گسترش بیشتر آن یک یا چند منبع آبی (چاه) را با توجه به شکل و بزرگی هاله آلودگی ایجاد شده در آبخوان طراحی نمود، به نحوی که با توجه به وسعت منطقه گیرش چاه‌های مورد نظر، از گسترش و توسعه بیشتر آلودگی جلوگیری گردد.

در شرایطی که به چند چاه برای کنترل و پاکسازی آلودگی نیاز باشد، فاصله چاه‌ها بایستی با توجه به حریم حفاظتی آن‌ها به نحوی تنظیم گردد تا مانع فرار آلودگی از فضای بین چاه‌ها باشد. طبق نظر فتر (Fetter 1993) در صورتی که به دو چاه کنترل هاله آلودگی نیاز باشد، بایستی فاصله آن‌ها کمتر یا حداکثر برابر $\frac{Q}{2\pi BU}$ باشد. در مواردی که از سه چاه برای کنترل هاله آلودگی استفاده شود، فاصله بهینه برابر $1.2\frac{Q}{BU}$ می‌باشد. که این پارامترها در معادله ۲-۶ تعریف شده است.

۲-۱۰- پیشینه پژوهش

۲-۱۰-۱- مطالعات انجام شده در جهان

در زمینه چگونگی تعیین حریم‌های کیفی منابع آب زیرزمینی در سطح بین‌المللی تجارب این نوع مطالعات محدود می‌باشد. اطلاعات مربوط به تجربیات کشورهای مختلف دنیا از طریق جستجو در مجلات علمی پژوهشی، کتاب‌ها و سایت‌های اینترنت جمع‌آوری گردیده است. در منابع جمع‌آوری شده، حریم کیفی آب زیرزمینی با عناوین (protection area و Groundwater protection zoning) بیان شده و تعیین حریم کیفی یا حریم‌های حفاظت کیفی منابع و آب زیرزمینی در راستای طرح‌های حفاظت از منابع آب زیرزمینی صورت گرفته‌است. عمده‌ترین طرح‌های حفاظت منابع آب زیرزمینی در ایالات متحده آمریکا، کشورهای اروپایی، کانادا و استرالیا انجام شده است که تعیین حریم کیفی در سطح آبخوان یا در سطح یک چاه یا گروهی از چاه‌ها از اساسی‌ترین بخش طرح‌های حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی بوده است.

فرنت (Ferrante *at al.* 2015) ضمن ترسیم حریم حفاظتی با استفاده از مدل MODFLOW و WhAEM2000 تاثیرشیب سطح ایستابی و جهت جریان در حالت جریان یکنواخت بررسی کردند. بنابراین اظهار کردند که عواملی از جمله چاه‌های اطراف و چشمه‌ها نیز بر شکل حریم موثر است.

وولو و همکاران (Wuolo *et al.* 1995) به توصیف WHPA با استفاده از روش تحلیلی آب زیرزمینی برای چاه‌های پیشنهاد شده و موجود در بروکلین پارک مینسوتای آمریکا پرداختند. با استفاده از کالیبره کردن مدل‌های مجزا سپس پیوند دادن این مدل‌ها به هم ناحیه حفاظت سر چاهی برای چاه‌ها رسم شد.

لیوینگستون (Livingston *et al.* 1995) اصطلاحات و روش های مورد استفاده در تعیین ناحیه حفاظت سر چاه را توضیح دادند. یک مطالعه موردی فرضی نیز برای نشان دادن روش‌های مختلف توصیف WHPA و ارزیابی آن‌ها ارائه شد.

در مقاله میلر و همکاران (Miller *et al.* 2003) سعی شده است تا با استفاده از نرم افزار GIS، داده‌های مکانی حفاظت از منطقه سرچاهی که بر اساس روش شعاع ثابت هستند را به وجود آورده و ناحیه گیرش حاصل از آن را با روش‌های پیچیده‌تر دیگر مقایسه کنند. ضمن مقایسه روش شعاع ثابت محاسبه‌ای با مدل‌های تحلیلی، به این نتیجه رسید که برای زمان‌های طولانی دقت روش شعاع ثابت کاهش می‌یابد.

باتس و ایوان (Bates *et al.* 1996) مدل‌های تحلیلی GPTRAC و نیمه‌تحلیلی CAPZONE و مدل عددی MODFLOW را با یکدیگر مقایسه کردند. به این نتیجه رسیدند که علی رغم هم اندازه بودن ناحیه تسخیر، شکل و تقارن در سه مدل متفاوت است. علت آن هم فرضیات متفاوت در سه مدل است.

۲-۱۰-۲-مطالعات در ایران

بدو (۱۳۸۳) پس از توصیف معیارها و روش‌های تعیین حریم حفاظتی چاه، با استفاده از داده‌های مربوط به چاه‌های شرب شهر ارومیه، نتایج روش‌های شعاع ثابت محاسبه‌ای و معادله تعادلی تایس و اشکال متغیر ساده شده را با مدل تحلیلی WHPA مقایسه کرد. نتایج نشان می‌دهد حریم حفاظتی

ترسیم شده توسط روش‌های شعاع ثابت محاسبه‌ای، تایس و اشکال متغیر ساده شده به مراتب بزرگتر از حریم رسم شده توسط مدل تحلیلی WHPA بوده، لذا در صورت کافی بودن اطلاعات استفاده از مدل تحلیلی اقتصادی‌تر است.

ناصری و قره محمودلو (۱۳۸۳) پس از توصیف روش‌های تعیین حریم حفاظتی چاه حریم حفاظتی چاه‌های شرب شهر ساری را با استفاده از روش شعاع ثابت محاسبه‌ای و روش تحلیلی محاسبه کردند. ایشان ضمن بررسی تأثیر عوامل هیدرولیکی آبخوان بر حریم حفاظتی نحوه پراکنش هدایت الکتریکی، کلر و نیترات در نواحی حفاظتی چاه‌های شرب شهر ساری را مورد تجزیه تحلیل قرار دادند.

قنادی (۱۳۹۰) جهت تعیین حریم ۱۷۴ حلقه چاه آب آشامیدنی شهر مشهد از روش ریاضی انتقال میکروارگانیسم‌ها که از جمله روش‌های محاسباتی-عددی در تعیین حریم بیولوژیک چاه محسوب می‌شود استفاده نمود. نتایج حاکی از آن است که چاه‌های آشامیدنی شهر مشهد به دلیل تفاوت در خصوصیات آبخوان در مناطق مختلف شهر دارای حریم‌های متفاوتی هستند.

تعیین حریم حفاظتی چاه با استفاده از نرم‌افزار WhAEM2000، در شهرستان قائم‌شهر به روش‌های حجمی، تغذیه، جریان یکنواخت، و مرزهای جریان بررسی شد (فضلی و همکاران ۱۳۸۷). نتایج این روش‌ها که با استفاده از مدل المان تحلیلی به دست آمد، نشان داد که در شرایط واقعی با توجه به تأثیر عوامل طبیعی، حریم به صورت دایره در نمی‌آید و همچنین زهکش‌ها به دلیل منحرف کردن جهت آب چاه به سمت خود، باعث کوچک شدن حریم چاه می‌شوند.

نجمی و همکاران (۱۳۹۰)۰ با توجه به خصوصیات هیدرولیکی و مشخصات آبخوان و سوابق واحدهای آلاینده احداث شده در آبخوان زنجان با استفاده از نرم افزار WhAEM2000 به روش جریان یکنواخت، حریم کیفی ۲۰ ساله و بهداشتی ۵۰ روزه چاه‌های آب شرب را تعیین نمود.

علیزاده (۱۳۹۰) به تعیین و پهنه‌بندی چاه‌های شهر مشهد پرداخت که نتایج نشان می‌دهد چاه‌های آشامیدنی شهر مشهد به دلیل تفاوت در خصوصیات آبخوان در مناطق مختلف شهر دارای حریم متفاوتی بوده به طوری که دامنه حریم از غرب و شمال غربی به سمت شرق مشهد به طور نسبی کاهش می‌یابد.

فصل سوم: روش انجام کار

۱- ۳- منابع اطلاعاتی و نرم‌افزارهای مورد استفاده

جهت تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب آبخوان بیرجند از منابع اطلاعاتی از جمله نقشه توپوگرافی و داده‌های ژئوفیزیکی، نقشه زمین‌شناسی و نقشه هم‌پتانسیل دشت بیرجند استفاده شده است. همچنین آمار مربوط به بارش، تبخیر، دما، سطح آب زیرزمینی، لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، گزارش مطالعات ژئوفیزیکی و گزارش آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند استفاده شده است. کلیه فایل‌های مورد نیاز با فرمت shp در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردیده است.

۲-۳- مدل WhAEM2000

۲-۳-۱- معرفی نرم افزار WhAEM2000

یک مدل محاسباتی برای تعیین حریم کیفی چاه‌ها است. مدل فوق برای تعیین حریم کیفی یک چاه به صورت گام به گام با روش‌های مختلف از قبیل روش شعاع ثابت، به دست آوردن حریم به روش جریان یکنواخت و روش مدل‌های ژئوهیدرولوژیکی ارائه شده است. این مدل توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برنامه‌نویسی شده است و بر مبنای روش المان تحلیلی آب زیرزمینی را

مدل‌سازی و حریم حفاظتی را محاسبه می‌کند. معادلات تحلیلی یکسری توابع ریاضی (حقیقی و مختلط) بوده که با هم ترکیب شده‌اند و سیستم آب زیرزمینی خاصی را مدل می‌کنند.

بر خلاف مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی بر مبنای روش‌های عددی (مانند نرم‌افزار ModFlow)، روش المان تحلیلی نیازی به تقسیم حوضه (شبکه‌بندی) ندارد و بجای آن تنها عوارض زمین شناسی و هیدرولوژیکی در مدل وارد شده که متناظر هر کدام از آن‌ها تابعی تعریف می‌شود. هر کدام از این توابع یکی از عوارض هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژیکی موثر بر سیستم آب زیرزمینی را مدل می‌کنند. مثلا تابع line sink برای مدل کردن رودخانه‌ها و مرز دریاچه‌ها و تابع Areal sink برای مدل کردن تغذیه سطحی می‌باشد. توابع مختلف دیگری نیز در این روش تعریف شده‌اند که با توجه به خواص هیدرولوژیکی، عوارض گوناگون برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

در واقع استفاده از این توابع یکی از مزیت‌های روش المان‌های تحلیلی نسبت به روش‌های عددی است که در این حالت کاربر نیازی به تعریف شبکه و مقیاس مدل نخواهد داشت. همچنین بر خلاف روش‌های عددی با استفاده از این روش می‌توان خواص سیستم را در هر نقطه دلخواه به دست آورد که این نیز به دلیل عدم نیاز به شبکه‌بندی حوضه می‌باشد.

همان طور که اشاره شد توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ارائه شده است. آخرین نسخه آن تحت نسخه ۳.۲.۱ در سال ۲۰۰۷ به روز شده است. این نرم افزار از سایت WWW.epa.gov قابل دانلود می‌باشد. مدل‌های دیگری نیز در این زمینه ارائه شده است که مدل WhAEM2000 در بین آن‌ها کاربردی‌تر است.

تعیین حریم کیفی محدوده مورد نظر با استفاده از این مدل دارای پنج گام اصلی بوده که در زیر شرح داده شده است:

۱-وارد کردن نقشه رقومی شده مورد نیاز به مدل مانند نقشه آب‌های سطحی، توپوگرافی، مناطق مسکونی، راه‌ها و غیره.

۲-انتخاب مدل مورد نظر و تعیین پارامترهای مورد نیاز آن مدل

۳-ایجاد المان تحلیلی متناظر عوارض ژئولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه با توابع مربوط

۴-اجرای مدل، تجزیه و تحلیل نتایج و همچنین واسنجی کردن مدل

۵-تعیین ناحیه حفاظتی چاه‌ها بر مبنای مدل تهیه شده (Haitjema 2002).

بعد از تهیه مدل و وارد کردن المان‌ها و پارامترهای مورد نیاز و نیز گرفتن خروجی از مدل باید نتایج حاصله از مدل را کنترل نمود. به عبارت دیگر در این مرحله بررسی می‌گردد که جریان مدل شده با جریان موجود در طبیعت هماهنگی دارد یا خیر. این کار با مقایسه سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت با سطح آب مدل در همان نقطه که Test Point نامیده می‌شود انجام می‌شود. سپس محل چاه‌های مورد مطالعه وارد مدل شده و حریم حفاظتی آن‌ها رسم می‌شود. مدل WhAEM2000 ناحیه حفاظتی را با ردیابی حرکت ذرات در سیستم آب‌های زیرزمینی در مدت زمان معینی تعیین می‌کند. جهت تعیین ناحیه حفاظتی علاوه بر مختصات چاه مورد مطالعه، میزان بده، تخلیه، شعاع و مقدار ذراتی که باید ردیابی شوند به مدل وارد می‌شود.

۳-۳- روش‌های تعیین حریم حفاظتی با استفاده از نرم افزارWhAEM2000

۳-۳-۱- روش شعاع ثابت اختیاری

روش شعاع ثابت اختیاری روش نسبتاً ساده‌ای بوده که برای بسیاری از منابع آب قابل استفاده می‌باشد. در روش شعاع ثابت، نرم‌افزار حریم حفاظتی را به صورت دایره‌ای در اطراف چاه رسم می‌کند.

۳-۳-۲-روش تعیین حریم بر اساس زمان گذر

معیار زمان گذر برای نشان دادن مدت زمان حرکت آب‌زیرزمینی یا آلاینده از یک نقطه در حریم چاه تا خود چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس معیار زمان گذر، به ۲ روش زیر حریم چاه محاسبه می‌شود:

الف) روش حجمی

ب) روش جریان یکنواخت.

الف- روش حجمی

در این روش حریم بر اساس معیار زمان گذر طبق معادله ۱-۳ محاسبه می‌گردد. که در این معادله Q میزان بده برداشت از چاه (مترمکعب بر ثانیه)، t زمان مد نظر برای رسیدن آلودگی به چاه (روز)،

n تخلخل، π عدد ثابت برابر ۳/۱۴، H ارتفاع ستون آب در چاه (متر) و R شعاع حریم (متر) می‌باشد.

$$\boldsymbol{R = \sqrt{\frac{Qt}{n\pi H}}}$$ معادله ۱-۳

ب- تعیین حریم حفاظتی به روش جریان یکنواخت

این روش با فرض یکنواختی جریان آب زیرزمینی حریم حفاظتی چاه‌ها را رسم می‌کند. برای به دست آوردن حریم حفاظتی به روش جریان یکنواخت لازم است که پارامترهای جهت جریان، گرادیان هیدرولیکی، تخلخل، سرعت پمپاژ و حداکثر زمان گذر مشخص می‌باشد.

۳-۳-۳- تعیین حریم براساس معیار مرزهای جریان

یکی دیگر از معیارهای تعیین حریم کیفی نقطه‌ای، مرزهای جریان می‌باشد که تأثیر عوارض طبیعی بر حریم کیفی را در نظر می‌گیرد.

واضح است که رودخانه‌ها، زهکش‌های طبیعی و مصنوعی تأثیر بسزایی در شکل‌دهی و اندازه حریم دارند. عواملی از جمله هدایت هیدرولیکی، عمق، بده جریان و طول آن‌ها، تأثیرات متفاوتی بر روی حریم چاه‌ها خواهند گذاشت(Ferrant *et al*. 2015). در این روش ضمن کالیبراسیون مدل تأثیر مرزهای مختلف نظیر زهکش‌ها یا چاه‌های کشاورزی بر روی حریم حفاظتی چاه‌های شرب بررسی می‌شود.

فصل چهارم: تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند

با استفاده از مدل WhAEM2000

در این فصل نحوه تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند با استفاده از مدل WhAEM2000 ذکر شده و حریم ترسیم شده مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا مدل مفهومی آبخوان بیرجند تهیه شده، سپس با استفاده از مدل WhAEM2000 جریان آب زیر زمینی در آبخوان بیرجند شبیه‌سازی شده است. مدل طراحی شده از آبخوان به منظور حصول نتایج مشابه شرایط واقعی آبخوان، کالیبره شده و حریم چاه‌های شرب به روش‌های مختلف شامل شعاع ثابت اختیاری، شعاع ثابت محاسبه‌ای، جریان یکنواخت و مرز جریان تعیین و ترسیم شده است. لازم به ذکر است که از بین روش‌های ارائه شده تنها روش مرز جریان به مدل کالیبره شده نیاز داشته که البته با توجه به ویژگی‌های آن نتایج نزدیکتر به واقعیت ارائه می‌نماید. بنابراین حریم چاه‌های شرب بیرجند با این روش تعیین و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است.

۴-۱- مدل مفهومی آبخوان بیرجند

آبخوان اصلی بیرجند در بخش مرکزی و نیمه‌جنوبی دشت بیرجند تشکیل شده است. این گستره دارای مساحت ۳۰۶ کیلومترمربع می‌باشد. آبخوان دارای شکل کشیده و از نوع آزاد می‌باشد. تغذیه آبخوان از نواحی مرتفع صورت می‌گیرد و آبخوان در نواحی جنوبی تخلیه می‌گردد. در حاشیه

ارتفاعات به دلیل شیب زیاد سنگ کف، آبخوان تشکیل نشده است. ضخامت آبرفت در نواحی مرکزی دشت افزایش یافته است و به حدود ۱۵۰ متر می‌رسد. ضخامت لایه اشباع در این بخش از آبخوان زیاد بوده و آبخوان از قابلیت انتقال بالایی برخوردار می‌باشد. به همین جهت این بخش مناسب‌ترین محل از نظر پتانسیل آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند می‌باشد.

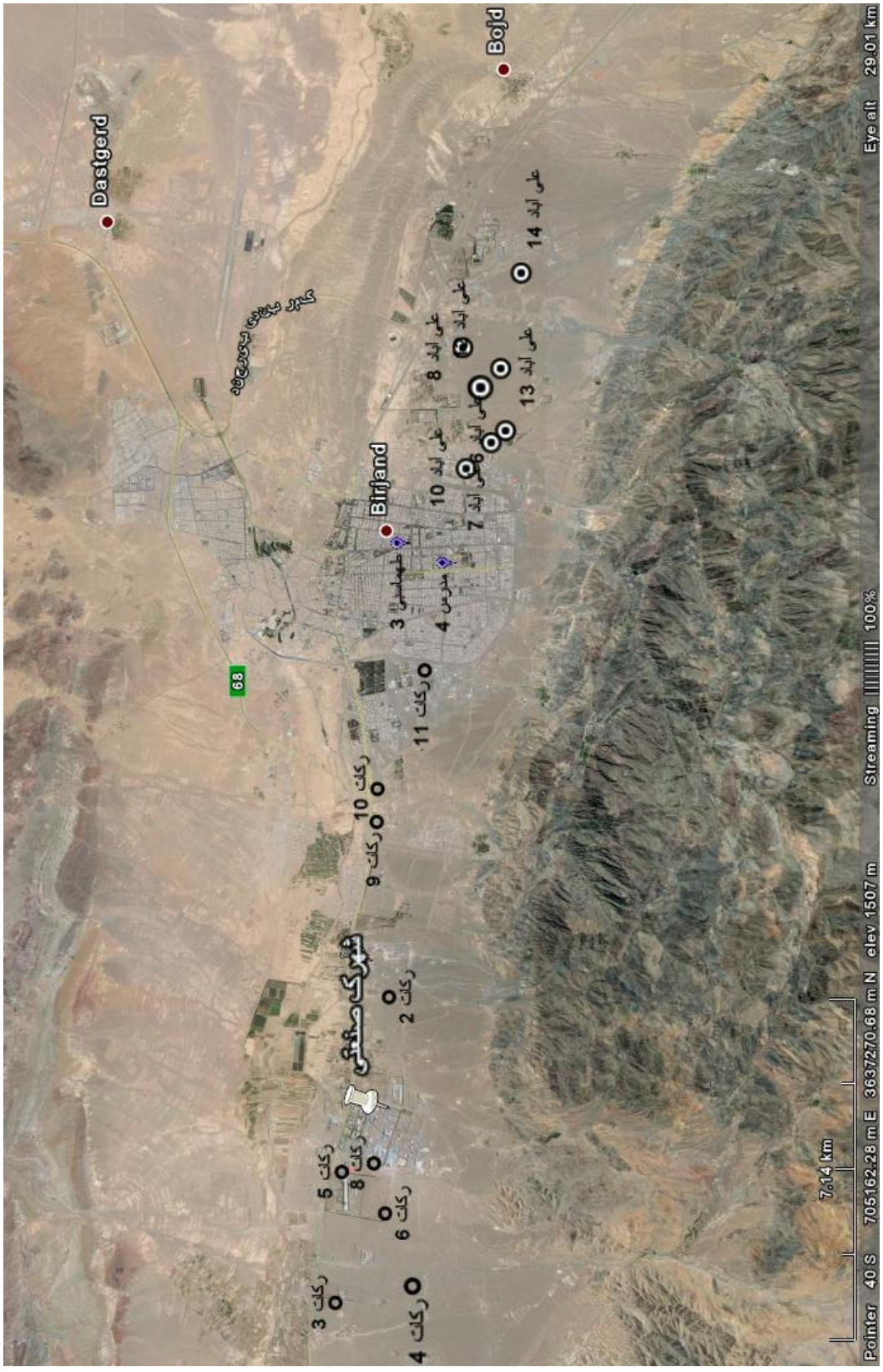
بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی متوسط ارتفاع سنگ کف در بخش شرقی آبخوان ۱۳۰۰ متر، بخش مرکزی ۱۲۸۵ متر و در بخش غربی آبخوان ۱۲۷۰ متر در نظر گرفته شده است.

بر اساس اطلاعات حاصل از گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی بیرجند (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۹۲) تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری تا سنگ کف حفر شده‌اند که عمق سنگ کف در آن‌ها از ۸ متر تا ۱۵۷ متر متغیر می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از این حفاری‌ها ضخامت آبخوان به طور متوسط ۹۰ متر درنظر گرفته شده است.

به منظور تعیین جهت جریان آب زیرزمینی و جبهه‌های ورودی و خروجی آبخوان، نقشه هم‌پتانسیل آبخوان (شکل ۱-۳) رسم شده است. بر اساس این نقشه جهت جریان در این آبخوان از شرق به طرف غرب می‌باشد. بخش اعظم تغذیه سفره آب زیرزمینی از ارتفاعات باقران در بخش جنوبی آبخوان صورت می‌گیرد. بر اساس خطوط تراز سطح آب زیرزمینی خروجی آبخوان در بخش غربی می‌باشد.

مطابق هیدروگراف ترسیم شده از آبخوان بیرجند (شکل۱-۴) ارتفاع سطح ایستابی در آبخوان روند نزولی دارد. متوسط افت سالانه سطح ایستابی در آبخوان حدود ۰/۶ متر می‌باشد.

آبخوان بیرجند توسط ۳۰۵ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد که به مصارف صنعت، شرب و کشاورزی می‌رسد. آب شرب شهر بیرجند توسط ۱۹ حلقه چاه که در محدوده آبخوان بیرجند حفر شده‌اند، تأمین می‌شود. موقعیت این چاه‌ها در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود چاه‌ها در منطقه رکات و علی‌آباد پراکنده شده‌اند. همچنین دو حلقه چاه شرب در محدوده شهر بیرجند قرار دارند.



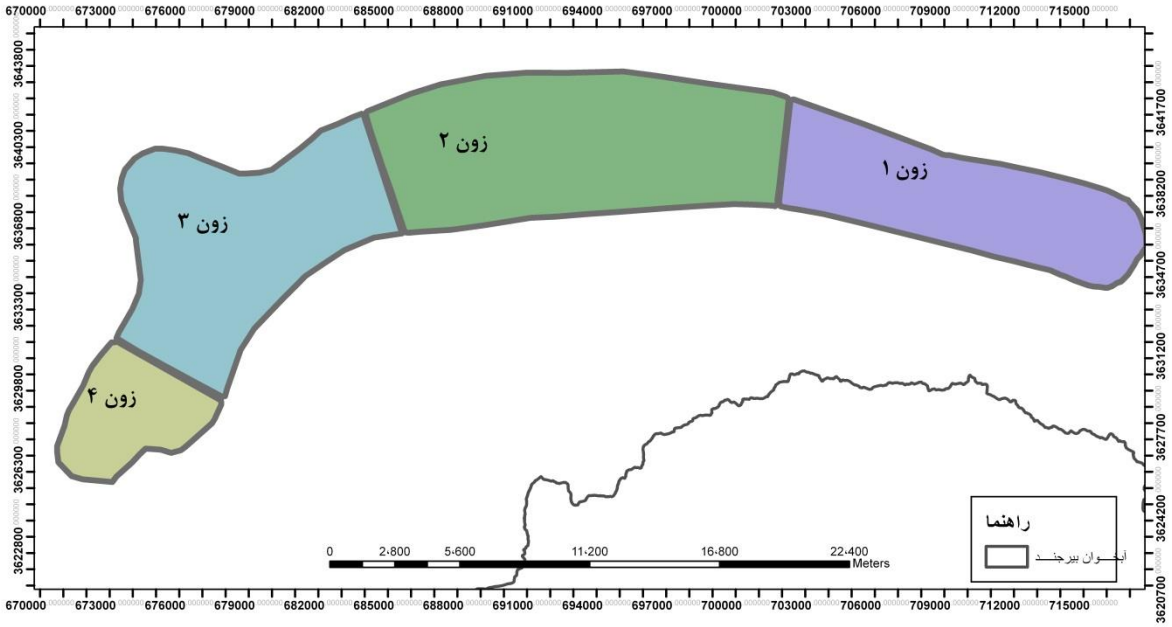
شکل ۴- ۱: موقعیت چاه‌های شرب آبخوان بیرجند

۴-۲- طراحی و ساخت مدل آبخوان بیرجند با استفاده از نرم افزار WhAEM2000

ابتدا محدوده آبخوان بیرجند با فرمت shp در نرم افزار GIS مشخص شده است. سپس این فایل به مدل WhAEM2000 وارد شده است. در ادامه اطلاعات اولیه مربوط به هندسه و هیدرولیک آبخوان که شامل ضخامت، ارتفاع سنگ کف، هدایت هیدرولیکی و تخلخل می‌باشد به مدل وارد شده است. بر اساس نتایج حاصل از مدل مفهومی متوسط ضخامت آبخوان حدود ۹۰ متر، متوسط ارتفاع سنگ کف حدود ۱۳۰۰ متر، میانگین هدایت هیدرولیکی حدود ۱۵ متر بر روز و تخلخل ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است.

با توجه به تغییرات خصوصیات آبخوان در قسمت‌های مختلف، محدوده آبخوان به چهار زون تقسیم‌بندی گردید (شکل ۴-۲). نرم افزار WhAEM2000 این قابلیت را دارد که تغییرات تغذیه، ارتفاع سنگ کف، هدایت هیدرولیکی و تخلخل در بخش‌های مختلف آبخوان در نظر بگیرد. بنابراین آبخوان زون‌بندی شده است تا شرایط آن به حالت واقعی نزدیک‌تر گردد. جدول ۴-۱ اطلاعات مربوط به تغذیه، ارتفاع سنگ کف و هدایت هیدرولیکی در زون‌های چهارگانه آبخوان بیرجند را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است اعداد مربوط به تغذیه در این جدول مربوط به تغذیه ناشی از بارش بوده که بر اساس نتایج بیلان آبخوان بیرجند (جدول ۱-۱) محاسبه شده است. مقادیر آن در محاسبات تغذیه در جدول ۴-۱ در نظر گرفته شده است.

حداقل ارتفاع سنگ کف ۱۲۷۰ در بخش غربی مربوط به زون سه و چهار بوده که به دلیل قرارگیری آن‌ها در قسمت خروجی آبخوان و بالاآمدگی سنگ کف می‌باشد. حداکثر مقدار ارتفاع سنگ کف حدود ۱۳۰۰ متر در بخش شرقی آبخوان می‌باشد. حداقل و حداکثر مقدار هدایت هیدرولیکی به ترتیب ۵ و ۱۲ متر بر روز مربوط به زون ۴ و ۱ می‌باشد. به دلیل اینکه جنس رسوبات در خروجی آبخوان زون ۴ دانه‌ریز می‌باشد، هدایت هیدرولیکی پایینی دارد.



شکل ۴- ۲: زون‌بندی آبخوان بیرجند توسط مدل WhAEM2000

جدول ۴- ۱: اطلاعات مربوط به خصوصیات آبخوان در زون‌های جداگانه

ردیف	تغذیه (متر بر روز)	ارتفاع سنگ کف (متر)	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
زون ۱	۰/۰۰۰۴	۱۳۰۰	۱۲
زون ۲	۰/۰۰۰۴	۱۲۸۵	۱۰
زون ۳	۰/۰۰۰۴	۱۲۷۰	۱۰
زون ۴	۰/۰۰۰۴	۱۲۷۰	۵

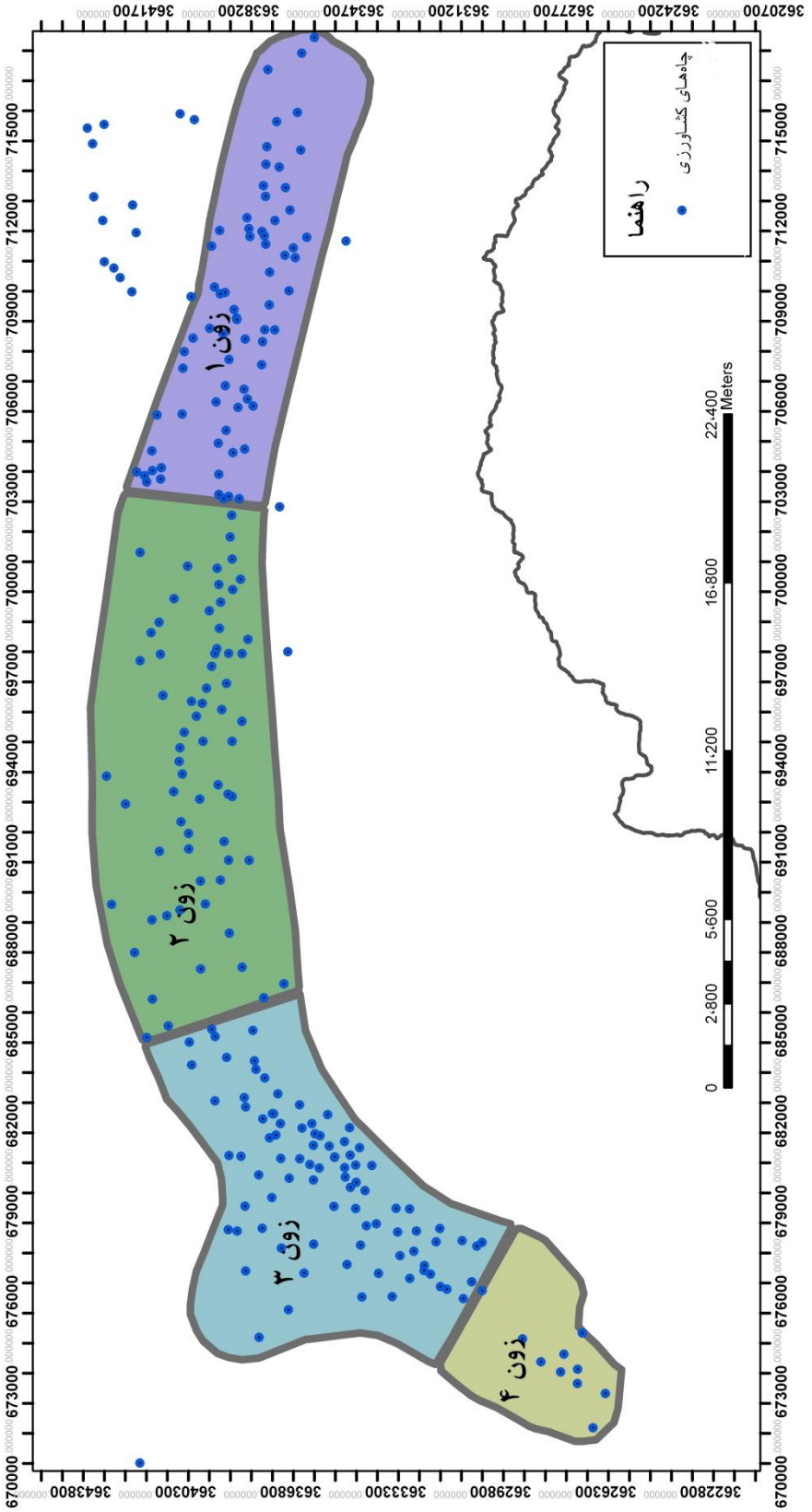
۴-۳- کالیبراسیون مدل WhAEM2000

در طی فرایند کالیبراسیون، پارامترهای مدل به نحوی تغییر داده شده‌اند تا مقادیر بار هیدرولیکی شبیه‌سازی شده به هد اندازه‌گیری شده در پیزومترها نزدیک گردد. در مرحله اول چاه‌های کشاورزی به مدل وارد می‌شوند (شکل ۴-۳). سپس پیزومترها جهت ترسیم خطوط هم‌پتانسیل به مدل وارد می‌گردد (شکل ۴-۴). در طی فرایند کالیبراسیون ابتدا پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ارتفاع سنگ

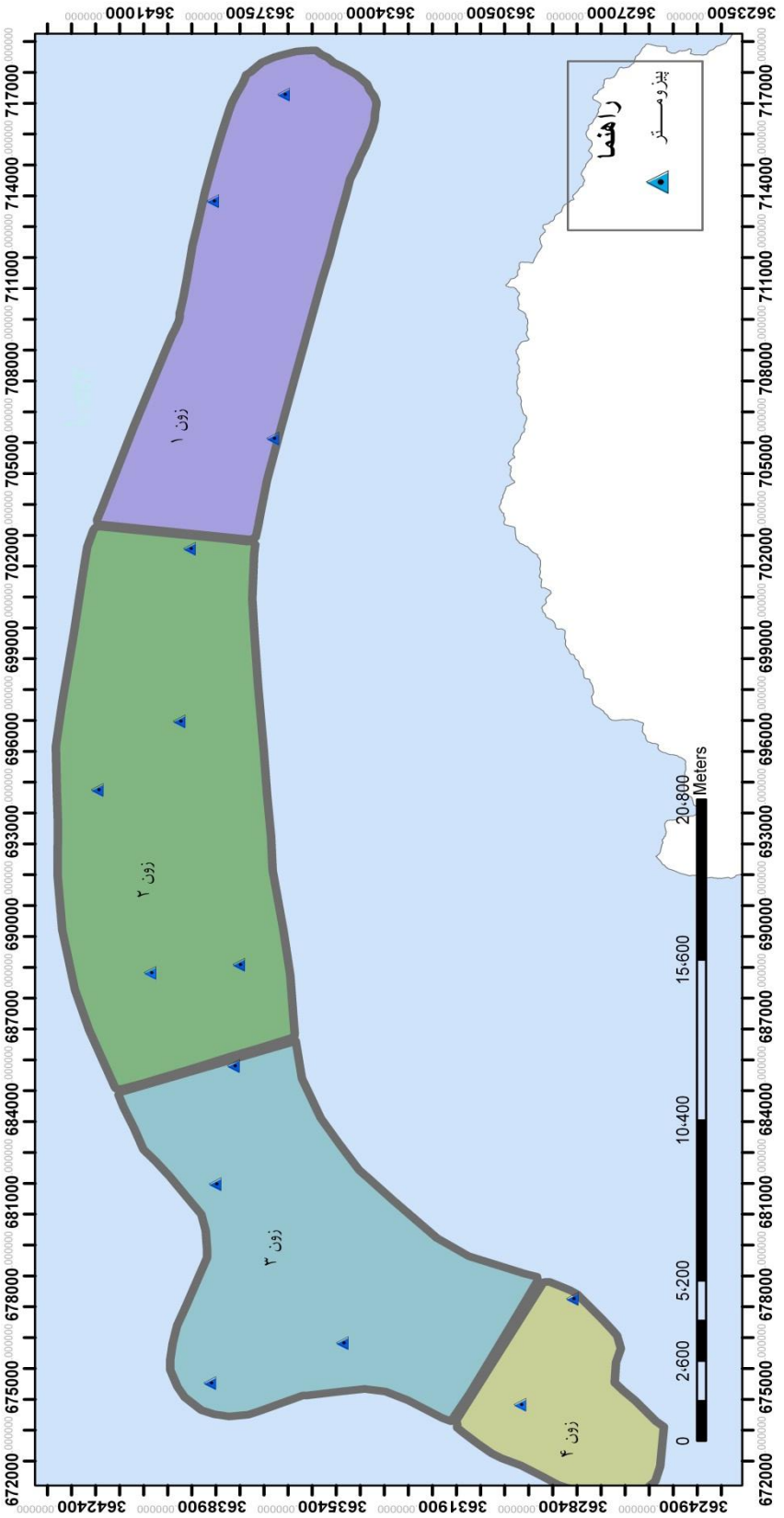
کف، تغذیه و تخلخل در مدل در اندازه معقول تغییر داده شده است. لیکن نتایج مدل با نتایج بار هیدرولیکی در پیزومترهای آبخوان تفاوت زیادی داشت. این تفاوت از طریق مثلث‌هایی که اندازه آن متناسب با اختلاف مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای می‌باشد، در مدل نشان داده می‌شود. در مرحله بعد جهت انجام کالیبراسیون مقادیر بار هیدرولیکی در زون‌های ورودی و خروجی آبخوان، که از طریق تعدادی چاه با بار هیدرولیکی مشخص تعریف شده است، تغییر داده شده تا نقشه تراز شبیه‌سازی شده توسط مدل مشابه نقشه تراز واقعی آبخوان گردد. پس از تغییرات متوالی در مقادیر بار هیدرولیکی در مرزهای آبخوان مقادیر شبیه‌سازی شده و محاسبه شده بار هیدرولیکی در پیزومترها به هم نزدیک گردید و اختلاف آن‌ها حداقل شده است (ابعاد مثلث‌ها که نشان‌دهنده اختلاف بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد به حداقل خود رسید).

شکل ۴-۵ مقادیر محاسبه شده بار هیدرولیکی توسط مدل WhAEM2000 در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده آن در پیزومترها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نزدیک به هم می‌باشند. حداقل و حداکثر خطا به ترتیب ۰/۹۹- و ۱/۶۷+ متر و متوسط خطا ۰/۷ متر می‌باشد. متوسط خطای معیار (RMS) برابر ۰/۸ بوده که نشان‌دهنده صحت کالیبراسیون مدل می‌باشد.

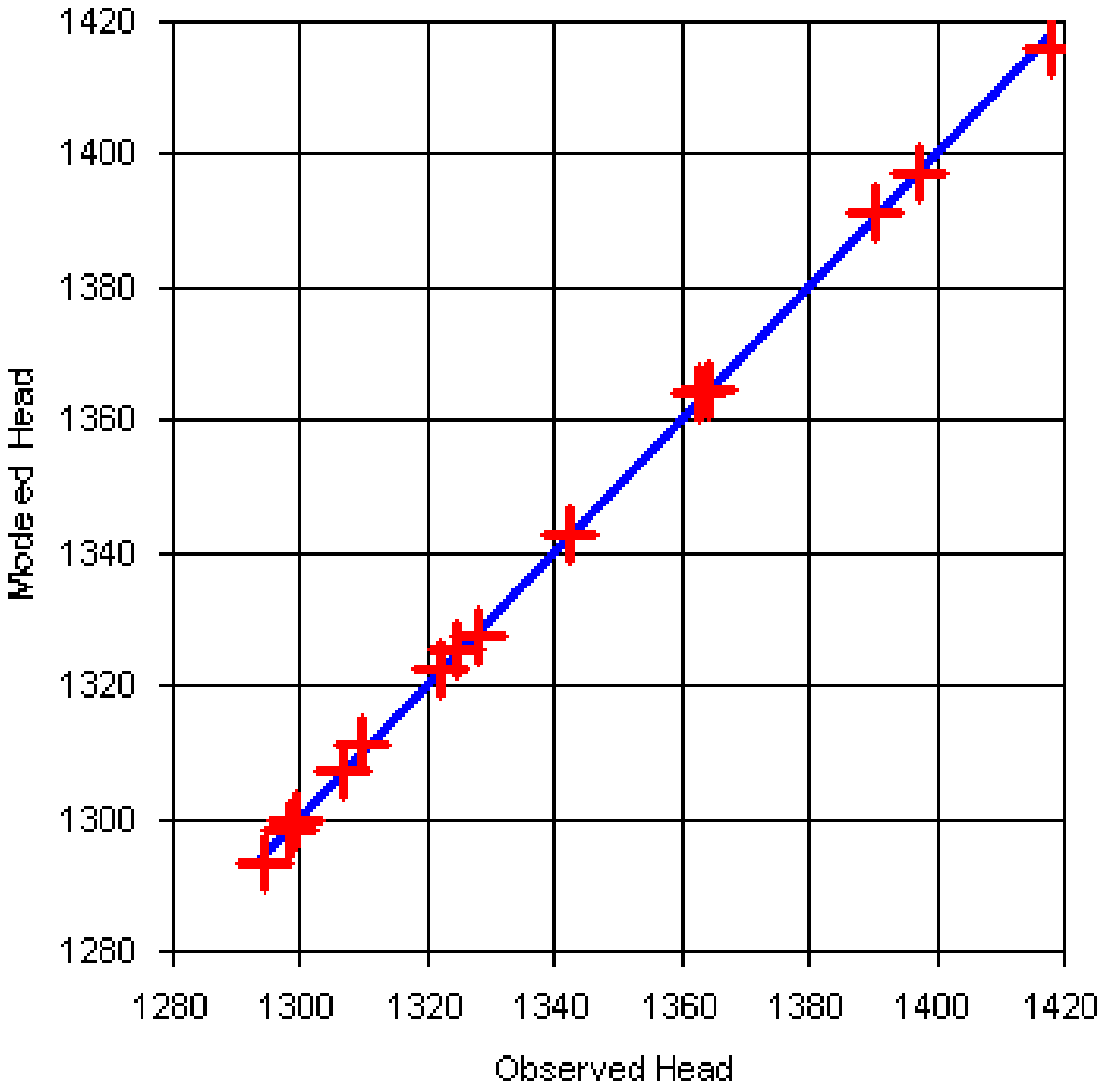
در پایان مرحله کالیبراسیون نقشه تراز سطح ایستابی شبیه‌سازی شده آبخوان ترسیم شده که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود این شکل مشابه نقشه تراز ترسیم شده از آبخوان (شکل ۱-۳) بوده که تأیید کننده دقت شبیه‌سازی جریان در آبخوان بیرجند توسط مدل WhAEM2000 می‌باشد.



شکل ۴ - ۳: نمایش موقعیت چاه‌های بهره‌برداری ابخوان بیرجند در مدل WhAEM2000

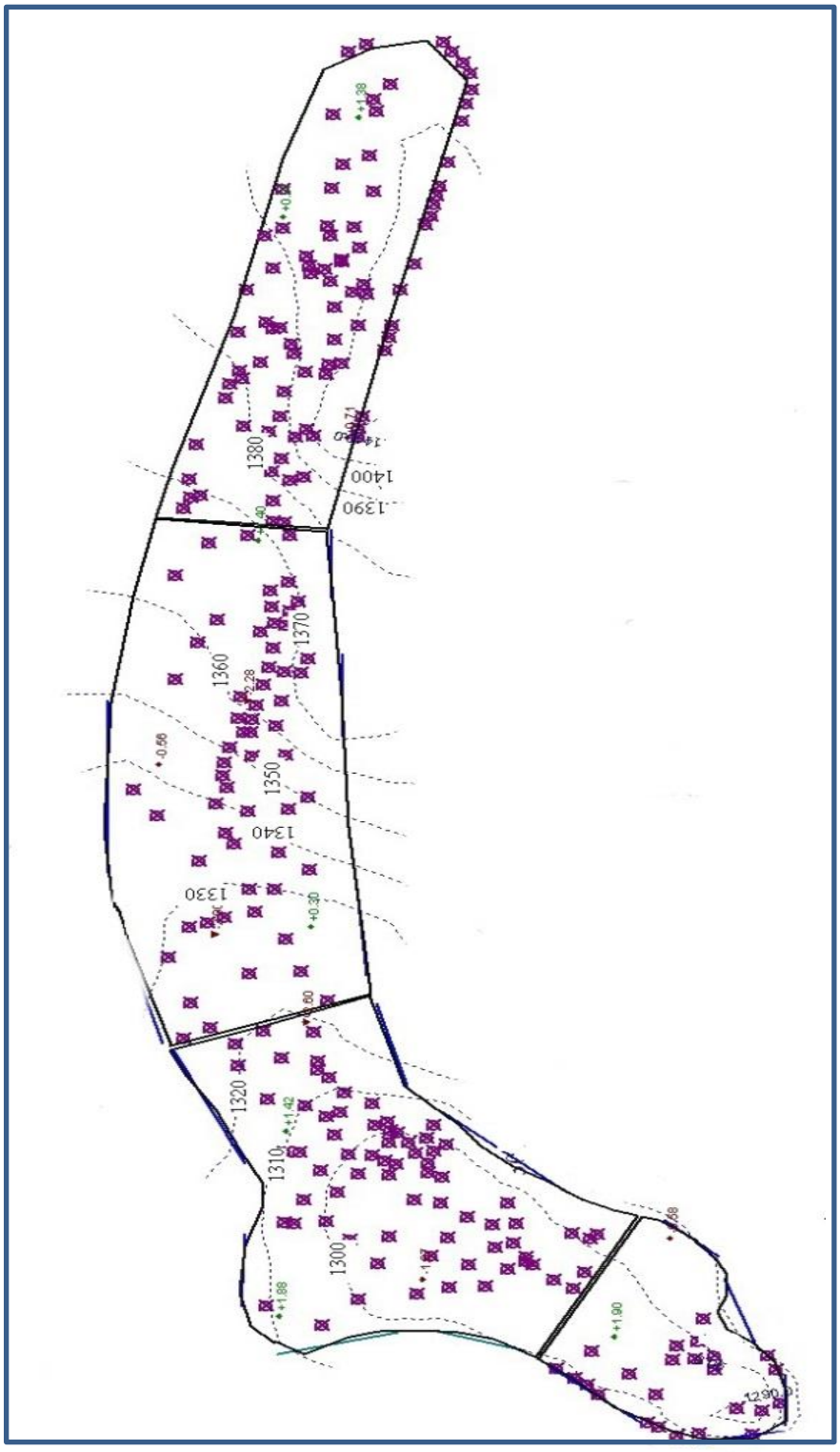


شکل ۴- ۴: نمایش موقعیت پیزومترها در مدل WhAEM2000



شکل ۴- ۵: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای در شرایط واقعی و بار هیدرولیکی محاسبه‌ای توسط مدل WhAEM2000

با توجه به مشابهت الگوی جریان در مدل و شرایط واقعی آبخوان، مدل WhAEM2000 توانایی شبیه‌سازی جریان در محدوده آبخوان بیرجند را دارد. بنابراین قابل استفاده در مباحث بعدی یعنی تعیین و ترسیم حریم چاه‌ها می‌باشد. در ادامه از مدل کالیبره شده جهت ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب شهر بیرجند استفاده شده است.



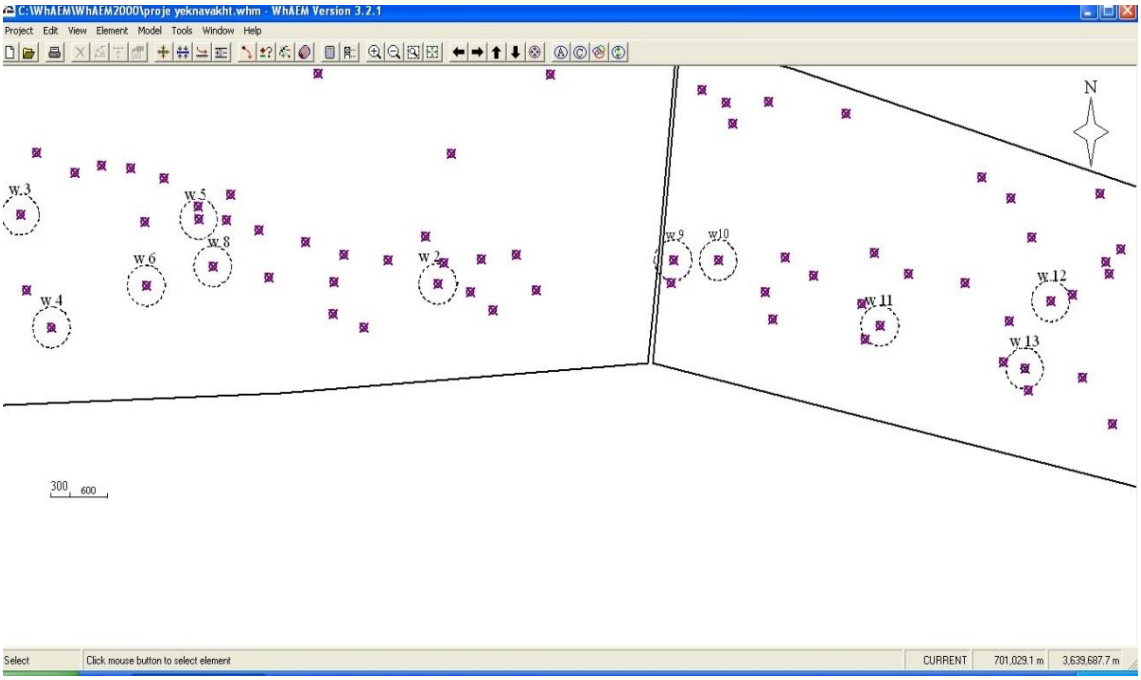
شکل ۴- ۶: نقشه هم‌پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل WhAEM2000

۴-۴- ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب شهر بیرجند با استفاده از مدل WhAEM2000

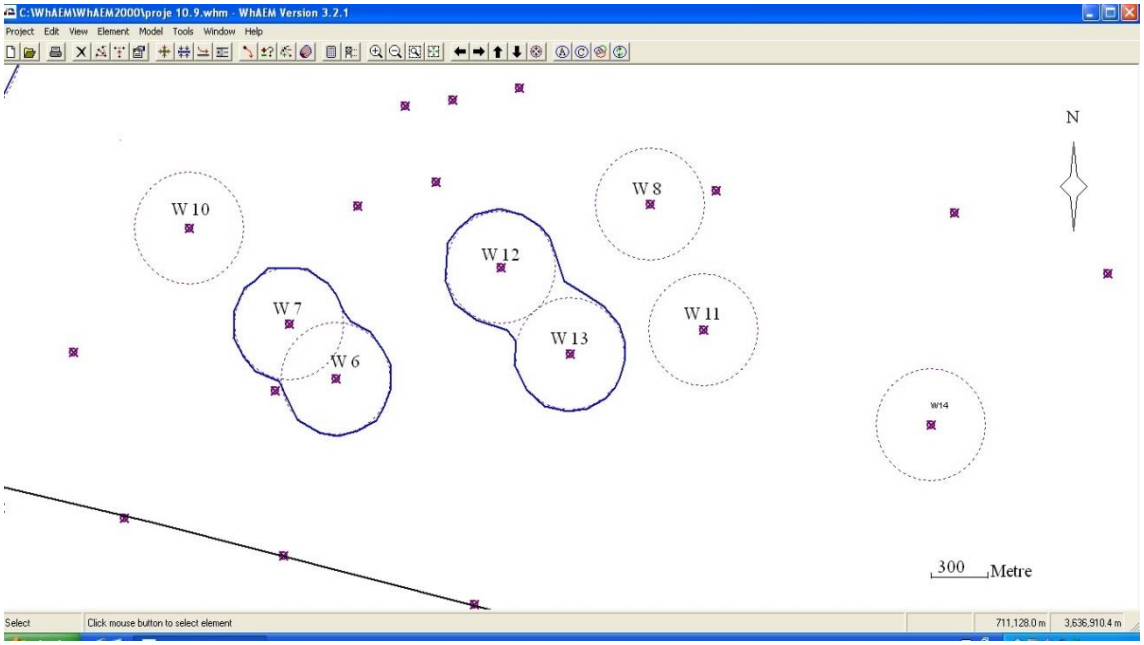
حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند به چهار روش شعاع ثابت اختیاری، شعاع ثابت محاسبه‌ای، جریان یکنواخت و مرز جریان تعیین شده‌اند. لازم به ذکر است که محاسبه حریم به سه روش شعاع ثابت اختیاری، شعاع ثابت محاسبه‌ای و جریان یکنواخت بدون نیاز به کالیبراسیون مدل انجام می‌شود. تعیین حریم به روش مرز جریان نیازمند مدل کالیبره شده بوده که در انتهای این بخش به آن پرداخته می‌شود. به منظور سهولت در نمایش حریم، چاه‌های شرب بر حسب موقعیت آن‌ها در دو گروه چاه‌های رکات و علی‌آباد تفکیک شده‌اند و حریم آن‌ها ترسیم شده است.

۴-۴-۱- روش شعاع ثابت اختیاری

در این روش بر اساس تجربیات و نظرات کارشناسی، شعاع حریم حفاظتی در چاه‌های شرب منطقه علی‌آباد و رکات برابر ۳۰۰ متر در نظر گرفته شده است. حریم حفاظتی در این روش به صورت دوایری در اطراف هر یک از چاه‌ها نشان داده می‌شود. حریم حفاظتی چاه‌های شرب رکات و علی‌آباد به ترتیب در شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۴- ۷: حریم حفاظتی چاه‌های شرب رکات به روش شعاع ثابت اختیاری



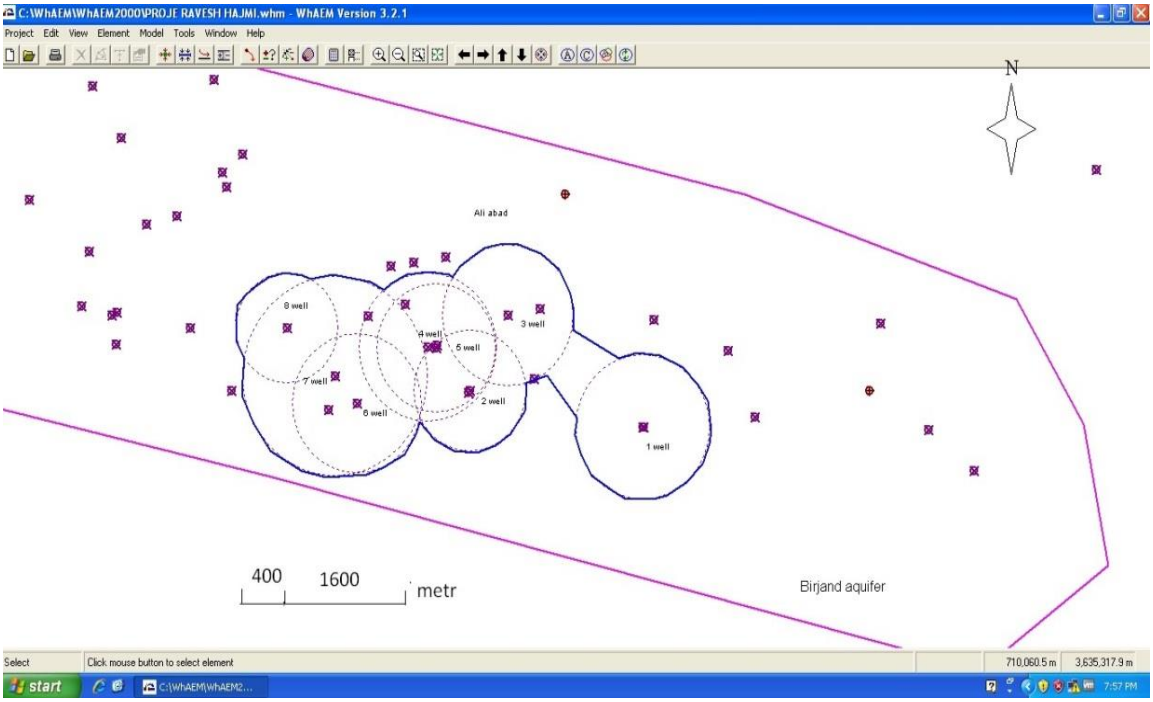
شکل ۴-۸: حریم حفاظتی چاه‌های شرب علی‌آباد به روش شعاع ثابت اختیاری

۴-۴-۲- شعاع ثابت محاسبه‌ای

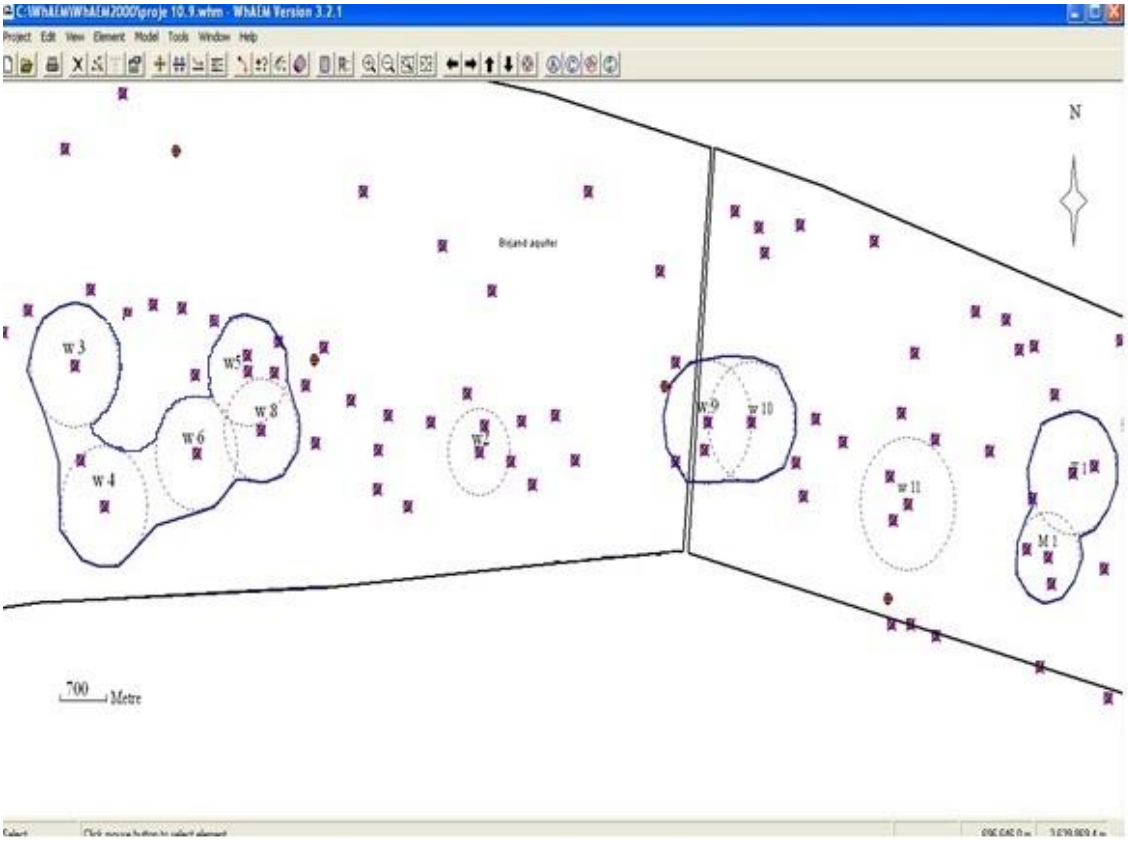
در این روش شعاع حریم حفاظتی با استفاده از فرمول ۳-۱ محاسبه شده، سپس شعاع‌های محاسبه شده به نرم‌افزار وارد و حریم هر چاه رسم شده است. پارامترهای مورد نیاز در این روش ارتفاع سطح آب، دبی، تخلخل و زمان مورد نظر برای رسیدن آلودگی به چاه می‌باشد. مقدار تخلخل حدود ۰/۲۵ در نظر گرفته شده و محدوده زمانی حریم برای زمان ۲۰ سال محاسبه شده است. داده‌های مورد نیاز در جدول ۴-۲ به تفکیک دو منطقه رکات و علی‌آباد ارائه شده است. لازم به ذکر است ارتفاع ستون آب در محل هر چاه از تفاضل ارتفاع سطح ایستابی و ارتفاع سنگ کف آبخوان در آن محل محاسبه شده است. شعاع‌های محاسبه شده به مدل وارد شده و حریم چاه‌های شرب توسط نرم‌افزار در قالب دو شکل ۴-۹ و ۴-۱۰ نشان داده شده است. در منطقه رکات بیشترین شعاع حریم حفاظتی مربوط به چاه شماره ۱۱ به مقدار ۷۶۱ متر و کمترین شعاع حریم حفاظتی به مقدار ۵۰۴ متر مربوط به چاه شماره دو می‌باشد. در منطقه علی‌آباد بیشترین شعاع حریم حفاظتی مربوط به چاه شماره هفت به مقدار ۱۰۵۴ متر و کمترین مقدار ۵۸۰ متر مربوط به چاه شماره ۱۰ می‌باشد.

جدول ۴- ۲: اطلاعات مورد نیاز جهت محاسبه حریم چاه‌های شرب به روش شعاع ثابت محاسبه‌ای

منطقه	نام چاه	UTMx	UTMy	ارتفاع ستون آب (متر)	دبی (مترمکعب‌بروز)	شعاع ۲۰ ساله (متر)
رکات	رکات۲	۶۹۸۵۷۲	۳۶۳۸۲۲۸	۱۰۱	۹۱۷/۹۷	۵۰۴
	رکات۳	۶۹۲۱۰۱	۳۶۳۹۲۱۶	۴۷/۹	۹۳۴/۹۸	۷۰۹
	رکات۴	۶۹۲۵۷۶	۳۶۳۷۶۰۶	۴۸/۳	۱۰۰۱/۷۸	۶۹۴
	رکات۵	۶۹۴۸۶۳	۳۶۳۹۱۴۱	۴۶/۷	۱۱۹۵/۶۸	۶۳۰
	رکات۶	۶۹۴۰۴۷	۳۶۳۸۲۰۸	۳۸/۸	۸۷۰/۳۱	۶۵۶
	رکات۸	۶۹۵۰۸۰	۳۶۳۸۴۶۹	۵۰	۱۱۳۵/۳۴	۵۸۹
	رکات ۹	۷۰۲۲۲۲	۳۶۳۸۵۷۱	۶۴	۱۴۸۵/۵۴	۷۰۸
	رکات ۱۰	۷۰۲۹۱۶	۳۶۳۸۵۷۱	۵۷	۱۴۴۹/۳۱	۷۰۲
	رکات ۱۱	۷۰۵۴۱۳	۳۶۳۷۶۳۴	۴۳/۷	۱۲۳۵/۳۲	۷۶۱
	طهماسبی۳	۷۰۸۰۵۷	۳۶۳۷۹۸۱	۴۶	۲۹۰/۵۹	۷۰۵
	مدرس۴	۷۰۷۶۵۸	۳۶۳۷۰۲۶	۸۶	۲۶۴/۱۷	۵۱۵
علی‌آباد	علی‌آباد ۶	۷۱۰۴۴۶	۳۶۳۶۰۹۹	۴۴/۳	۱۱۴۸/۸۱	۷۳۷
	علی‌آباد ۷	۷۱۰۱۹۶	۳۶۳۶۳۹۱	۲۳/۴	۹۷۴/۷۵	۱۰۵۴
	علی‌آباد ۸	۷۱۲۱۵۳	۳۶۳۷۰۲۵	۳۸/۲	۹۳۹/۹۴	۷۴۵
	علی‌آباد ۱۰	۷۰۹۶۵۰	۳۶۳۶۸۹۹	۶۶/۸	۱۶۳۶/۹	۵۸۰
	علی آباد۱۱	۷۱۱۲۴۵	۳۶۳۶۶۸۹	۴۰/۹	۱۱۱۴	۷۸۵
	علی‌آباد۱۲	۷۱۱۳۴۵	۳۶۳۶۶۸۸	۴۵	۱۲۱۸/۴۴	۶۸۱
	علی‌آباد۱۳	۷۱۱۷۲۳	۳۶۳۶۲۳۱	۶۳	۸۳۵/۵	۶۴۰
	علی‌آباد۱۴	۷۱۳۶۸۵	۳۶۳۵۸۵۵	۳۶	۹۷۴/۷۵	۷۶۷



شکل ۴-۹: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه رکات رسم شده به روش شعاع ثابت محاسبه‌ای



شکل ۴-۱۰: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه علی آباد رسم شده به روش شعاع ثابت محاسبه‌ای

۴-۴-۳- روش جریان یکنواخت

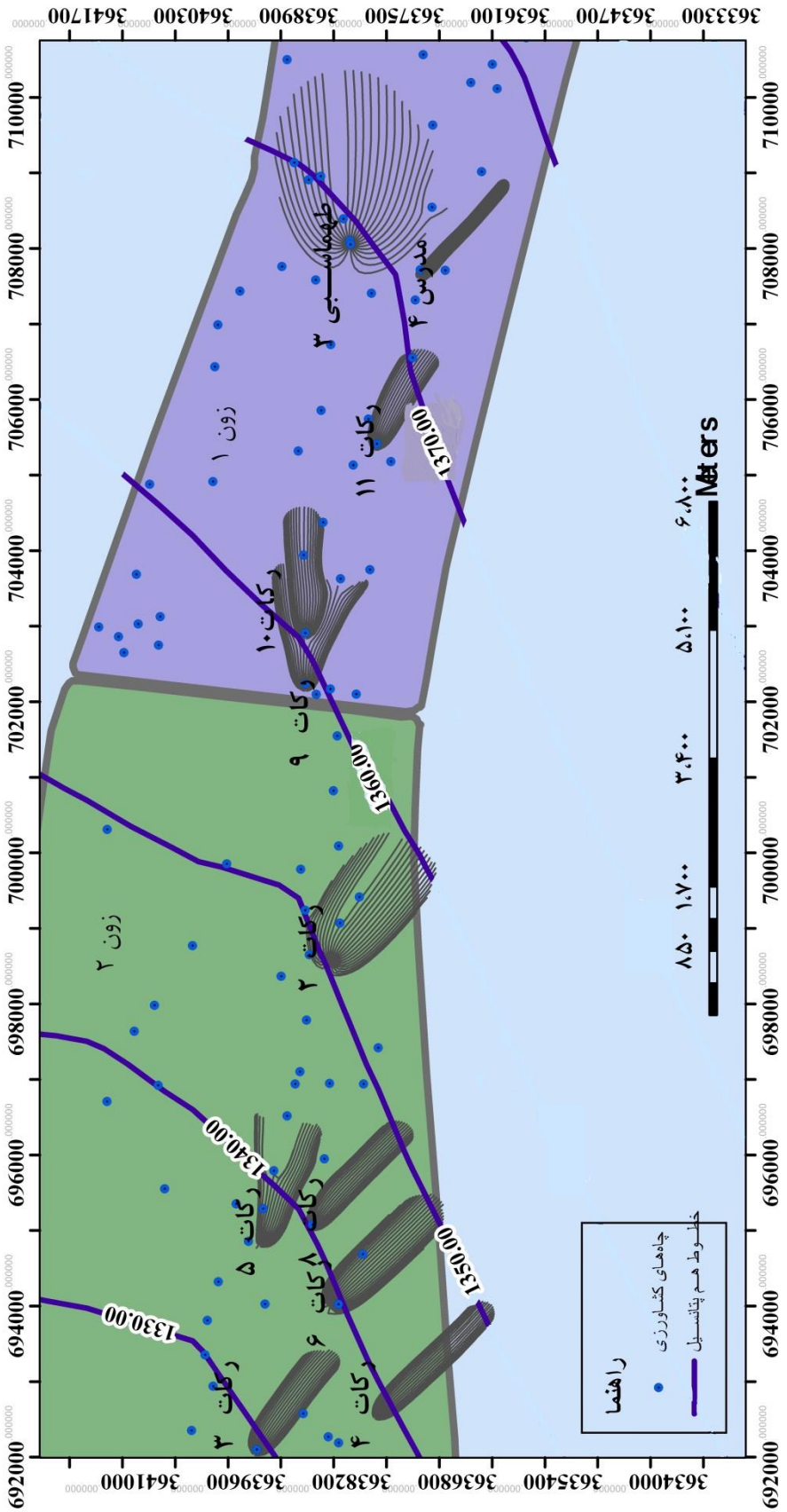
به منظور ترسیم حریم حفاظتی به روش جریان یکنواخت به پارامترهای گرادیان هیدرولیکی، هدایت هیدرولیکی، ضخامت آبخوان و ارتفاع سنگ کف نیاز می‌باشد. لازم به ذکر است ترسیم حریم حفاظتی به روش جریان یکنواخت بدون نیاز به مدل کالیبره شده انجام می‌شود.

مقدار عددی گرادیان هیدرولیکی در دو منطقه علی‌آباد و رکات بر اساس نقشه هم‌پتانسیل دشت بیرجند (شکل۱-۳) محاسبه شده است. مقدار آن در منطقه علی‌آباد ۰/۰۰۹۶ و در منطقه رکات ۰/۰۰۸۷ می‌باشد.

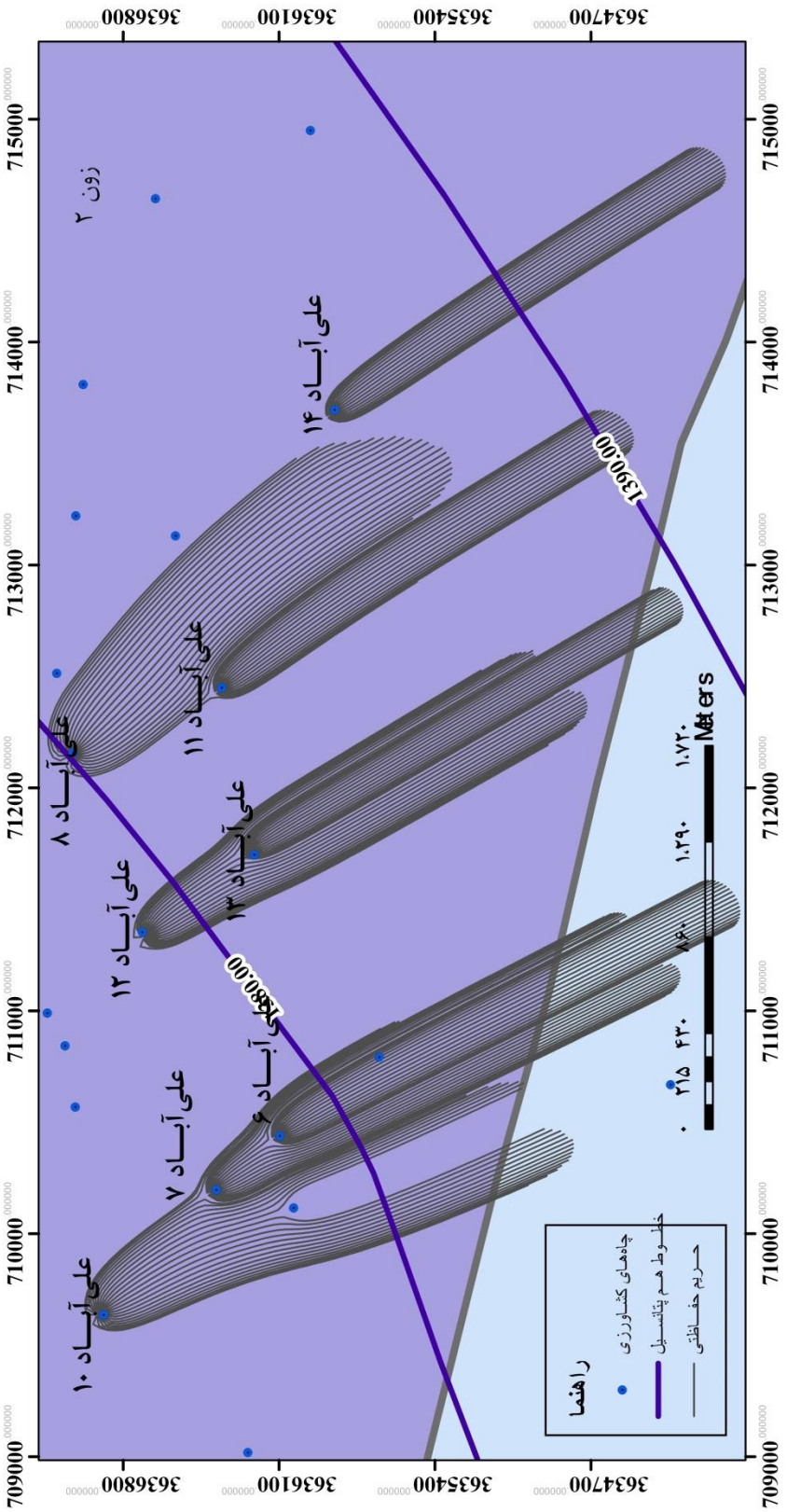
چاه‌های منطقه رکات در قسمت مرکزی آبخوان قرار گرفته‌اند. جهت عمومی جریان در این منطقه به صورت شرقی-غربی می‌باشد. چاه‌های منطقه علی‌آباد در قسمت شرقی آبخوان واقع شده که در این قسمت از آبخوان جهت جریان از جنوب به سمت شمال می‌باشد. مقدار عددی جهت جریان در مدل WhAEM2000 بر اساس زاویه‌ای که جهت جریان نسبت به افق (محور X) می‌سازد سنجیده می‌شود. بر این اساس مقدار عددی جهت جریان در منطقه علی‌آباد ۹۰ درجه و در منطقه رکات ۱۷۰ درجه لحاظ شده است.

مقدار ارتفاع سنگ کف از تفاضل ارتفاع توپوگرافی و ارتفاع سطح آب در پیزومترها محاسبه شده است. مقدار آن در منطقه علی‌آباد حدود ۱۳۰۰ متر و در منطقه رکات حدود ۱۲۸۰ متر می‌باشد.

پس از ورود داده‌ها، مدل اجرا می‌شود. خطوط هم‌پتانسیل در این روش به صورت خطوط موازی و صاف ترسیم می‌شود. پس از فعال‌سازی چاه‌های شرب در مدل حریم حفاظتی ۲۰ ساله این چاه‌ها به روش جریان یکنواخت رسم گردید. حریم‌های رسم شده به روش جریان یکنواخت در دو منطقه رکات و علی‌آباد در شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه رکات رسم شده به روش مرز



شکل ۴- ۱۲: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب علی‌آباد ترسیم شده به روش جریان یکنواخت

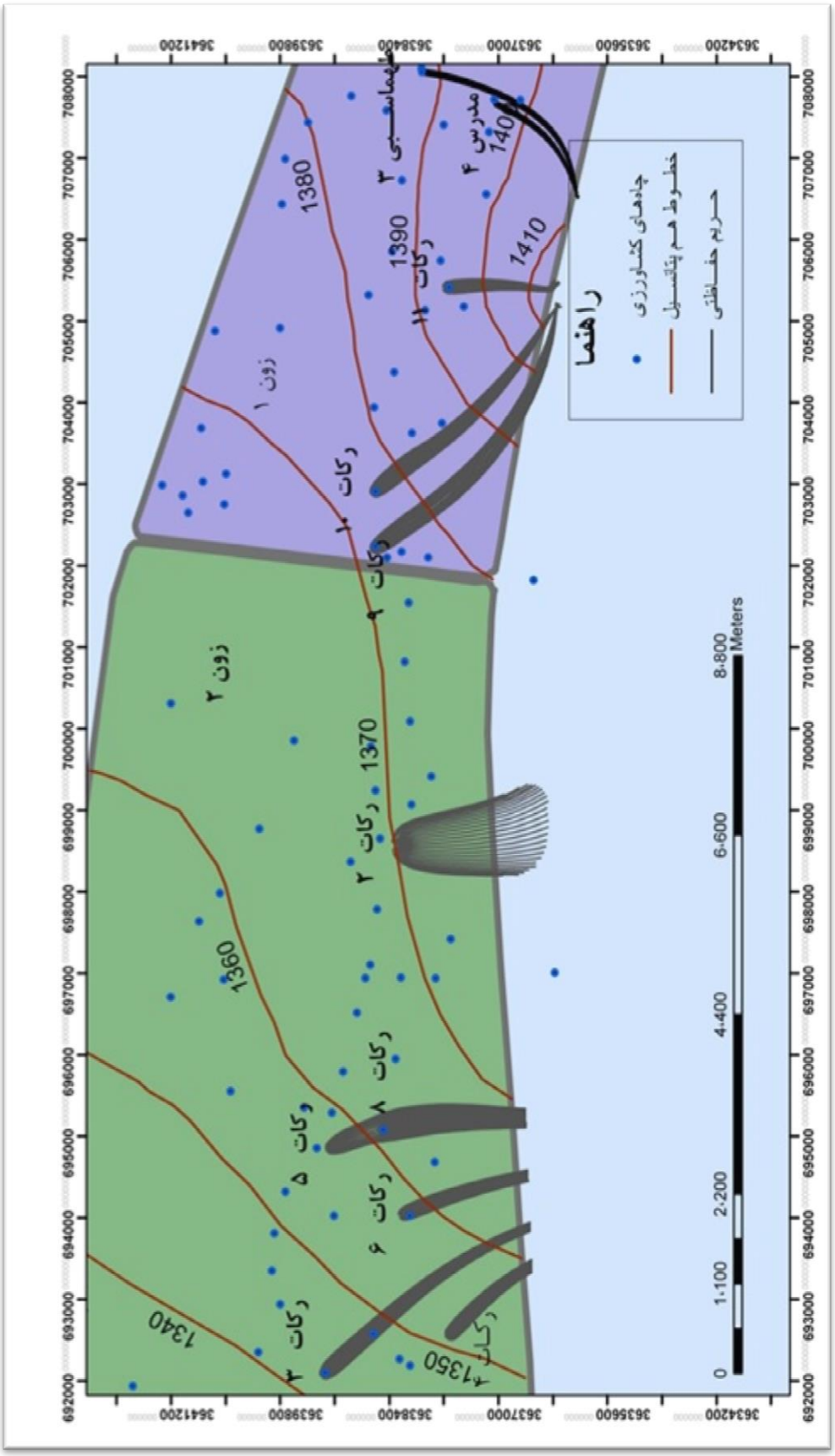
۴-۴-۴- روش مرز جریان

یکی دیگر از معیارهای تعیین حریم حفاظتی چاه‌ها، روش مرز جریان می‌باشد. این روش تأثیر عوارض طبیعی را بر شکل حریم حفاظتی بررسی می‌کند. واضح است که رودخانه‌ها، زهکش‌های طبیعی و مصنوعی تأثیر بسزایی در شکل‌دهی و اندازه حریم دارند. همچنین عمق و دبی تأثیر متفاوتی بر روی حریم چاه‌ها خواهند داشت. در حال حاضر در دشت بیرجند رودخانه و یا قنات وجود ندارد. تنها چاه‌های کشاورزی به عنوان زهکش در منطقه در نظر گرفته شده و تأثیر آن‌ها بر شکل حریم حفاظتی چاه‌های شرب بررسی شده است. لازم به ذکر است این روش بر مبنای مدل کالیبره شده حریم حفاظتی چاه‌های شرب را ترسیم می‌نماید. پس از اجرای مدل کالیبره شده آبخوان بیرجند حریم حفاظتی چاه‌های شرب رکات و علی‌آباد به صورت شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نشان داده شده است.

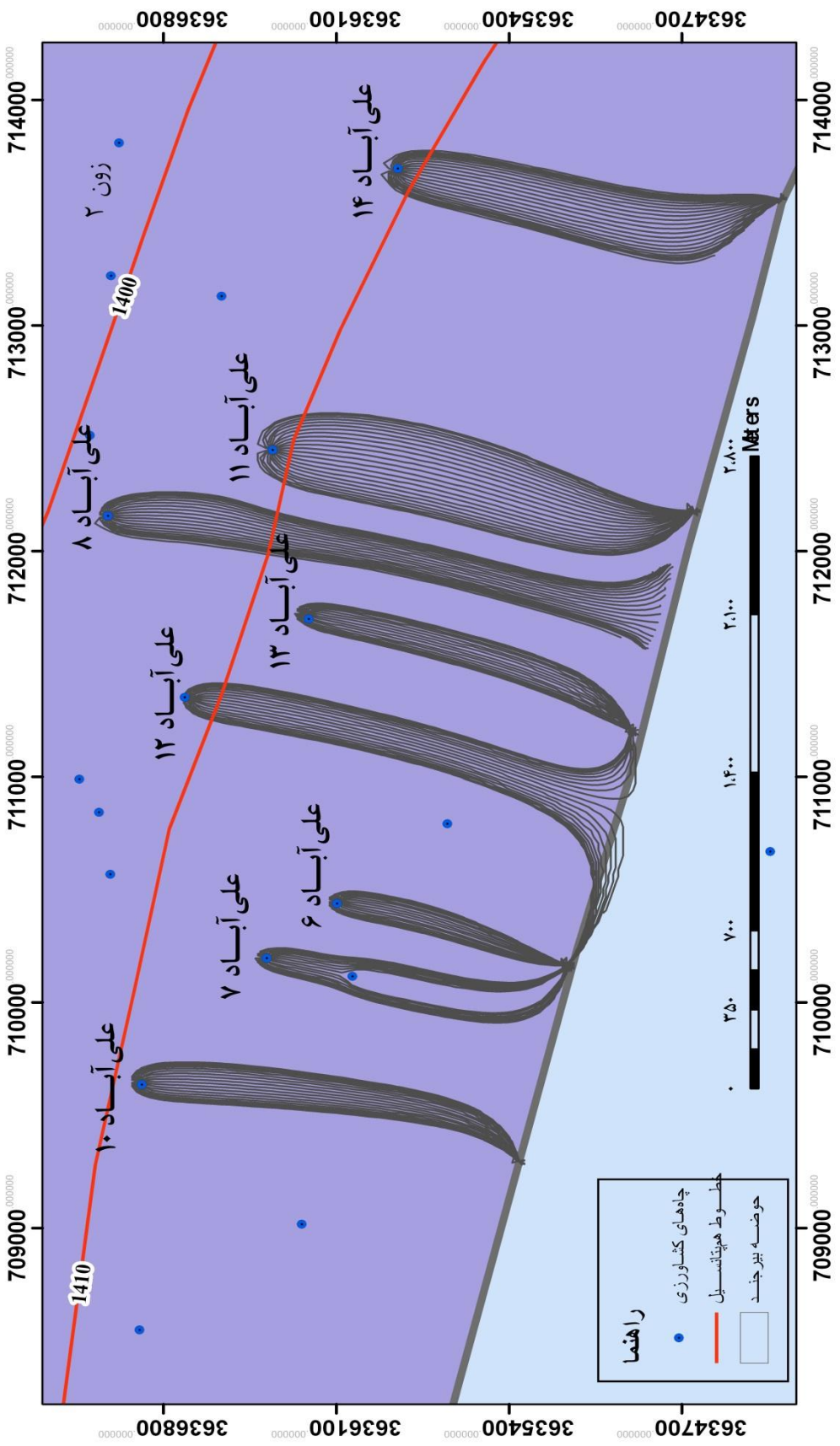
همانطور که در این دو شکل دیده می‌شود حریم حفاظتی ترسیم شده به روش مرز جریان دارای شکل کشیده‌ای می‌باشد. در منطقه رکات ۱۳ چاه وجود دارد. حریم حفاظتی چاه‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ در غرب شهرک صنعتی و پهنای کمی دارند. حریم حفاظتی چاه رکات ۲ نسبت به بقیه چاه‌ها دارای پهنای بیشتری می‌باشد و حریم حفاظتی در این منطقه در راستای جنوبی-شمالی کشیده شده است.

شکل ۴-۱۴ حریم حفاظتی چاه‌های شرب منطقه علی‌آباد ترسیم شده به روش مرز جریان را نشان می‌دهد. در این منطقه ۸ حلقه چاه شرب وجود دارد. حریم حفاظتی این چاه‌ها به روش مرز جریان دارای شکل کشیده‌ای می‌باشد. حریم حفاظتی چاه‌های ۶، ۷ و ۱۳ علی‌آباد دارای طول کمتری می‌باشند. راستای کشیدگی حریم حفاظتی در منطقه علی‌آباد نیز در راستای جنوبی-شمالی می‌باشد.

در ادامه به طور مفصل هر یک از حریم‌های حفاظتی در مناطق رکات و علی‌آباد مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۴- ۱۳: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب منطقه رکات ترسیم شده به روش مرز جریان



شکل ۴- ۱۴: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب علی‌آباد ترسیم شده به روش مرز جریان

۴-۵- مقایسه روش‌های حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند

هر کدام از روش‌ها و معیارهای ارائه شده در این گزارش دارای مزایا و معایبی می‌باشند. استفاده صحیح و انتخاب هر کدام از این روش‌ها به داشتن اطلاعات کافی از آبخوان مربوط می‌باشد. در این تحقیق حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند به چهار روش شعاع ثابت اختیاری، شعاع ثابت محاسبه‌ای، جریان یکنواخت و مرز جریان تعیین شده است. مزایا و معایب این روش‌ها در ادامه بحث می‌گردد.

بر اساس روش شعاع ثابت اختیاری شعاع ۳۰۰ متری برای چاه‌های شرب دو منطقه علی‌آباد و رکات در نظر گرفته شده است. این روش به دلیل عدم در نظر گرفتن شرایط هیدروژئولوژی محلی و اینکه شعاع انتخاب شده اختیاری داشته می‌باشد، احتمال خطای زیادی و بنابراین قابل اعتماد نیست.

روش شعاع ثابت محاسبه‌ای با استفاده از معادله ۱-۳ شعاع حریم حفاظتی را محاسبه می‌کند. این روش به طور میانگین در منطقه رکات شعاع ۶۵۰ متری و در منطقه علی‌آباد شعاع ۷۵۰ متری را در اطراف هر چاه در نظر می‌گیرد. از معایب این روش می‌توان به عدم در نظر گرفتن تمام عوامل هیدروژئولوژیکی و احتمال خطا در صورت وجود شیب زیاد سطح آب اشاره نمود. کاربرد ساده و هزینه کم از مزایای این روش می‌باشد.

روش جریان یکنواخت در شرایطی کاربرد دارد که جریان یکنواخت در سفره آب زیرزمینی برقرار باشد. برای مثال خطوط هم‌پتانسیل به صورت مستقیم باشند. با توجه به عدم برقراری این شرایط در آبخوان استفاده از نتایج ترسیم حریم چاه‌های شرب بیرجند به روش جریان یکنواخت احتمالاً با خطا همراه خواهد بود. نتایج این روش تنها برای نشان دادن کارایی مدل در این تحقیق ارائه شده است.

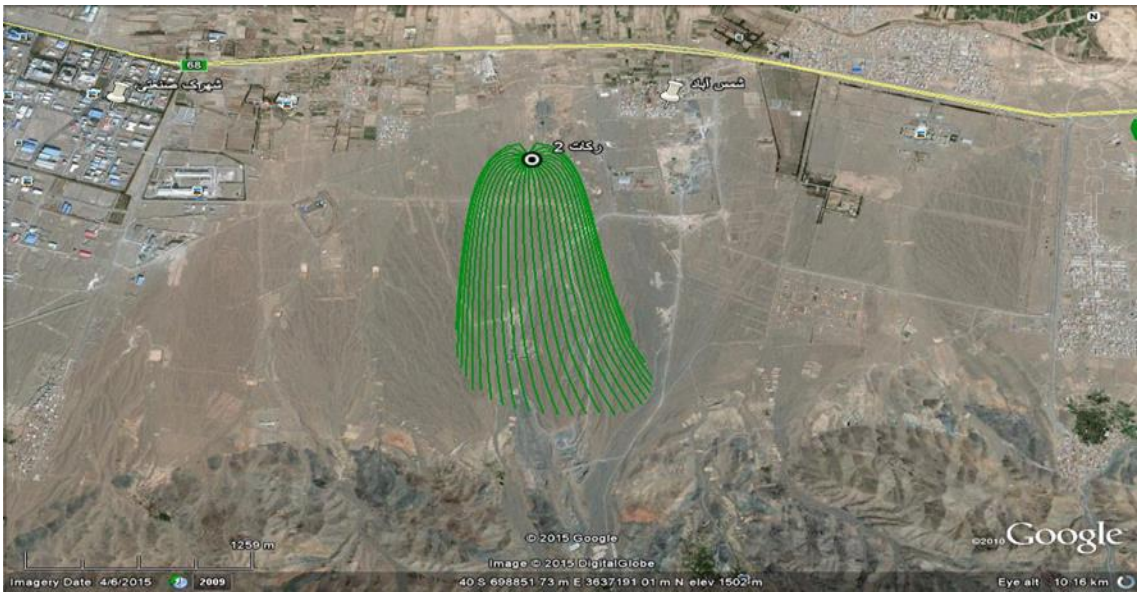
در بین روش‌های بررسی شده روش مرز جریان به دلیل استفاده از مدل کالیبره شده و همچنین در نظر گرفتن شرایط هیدروژئولوژیکی محلی از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. به همین جهت این روش به عنوان یک روش قابل اعتماد جهت تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند انتخاب شده و حریم ترسیم شده توسط آن مورد بررسی بیشتر قرار گرفته است.

۴-۶- تجزیه و تحلیل حریم حفاظتی چاه‌های بیرجند

پس از انتخاب روش مرز جریان به عنوان روش قابل اعتماد، حریم حفاظتی محاسبه شده چاه‌های شرب بیرجند با این روش در تصاویر گوگل ارث نشان داده شده است. سپس بر اساس موقعیت قرارگیری این چاه‌ها، حریم آن‌ها مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است. در این بخش ابتدا حریم چاه‌های شرب منطقه رکات و سپس حریم چاه‌های شرب منطقه علی‌آباد مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفته است.

۴-۶-۱- چاه‌های شرب منطقه رکات

شکل ۴-۱۵ محدوده حریم چاه شماره ۲ را نشان می‌دهد. این چاه در قسمت جنوب غربی منطقه شمس‌آباد و قسمت شرقی شهرک صنعتی بیرجند قرار گرفته است. جهت‌یابی حریم حفاظتی این چاه در جهت ورودی آب از ارتفاعات باقران به آبخوان بیرجند می‌باشند. همانطور که در شکل دیده می‌شود در اطراف حریم حفاظتی این چاه زمین کشاورزی و یا منبع آلوده کننده‌ای وجود ندارد. پهنای حریم حدود ۰/۸ کیلومتر و بیشترین طول آن ۱/۹ کیلومتر می‌باشد. مساحت حریم این چاه ۱/۶۱ کیلومتر مربع محاسبه شده است.

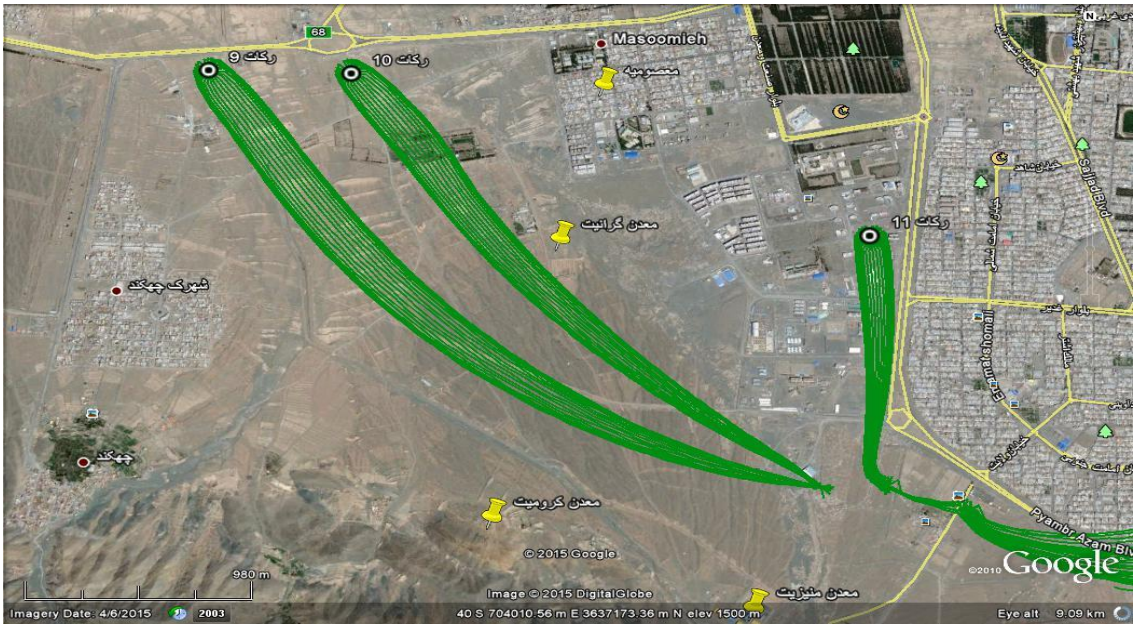


شکل ۴- ۱۵: حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه شرب رکات ۲

شکل ۴-۱۶ محدوده حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شماره سه، چهار و شش رکات را نشان می‌دهد. این چاه‌ها در قسمت غربی شهرک صنعتی واقع شده‌اند. حریم حفاظتی چاه سه رکات دارای ۳/۱ کیلومتر طول و ۰/۱۸ کیلومتر پهنا می‌باشد. حریم این چاه دارای شکل بسیار کشیده بوده و مساحت آن ۰/۵۵ کیلومترمربع می‌باشد. حریم حفاظتی چاه شماره چهار رکات دارای طول ۱/۳۵ کیلومتر و پهنای ۰/۱۷ کیلومتر می‌باشد. حریم حفاظتی این چاه از نظر مساحت و پهنا کوچکتر از بقیه می‌باشد. چاه شماره شش در غرب شهرک صنعتی بیرجند واقع شده است. حریم این چاه دارای طول ۱/۶۴ کیلومتر، پهنای ۰/۱۹ کیلومتر و مساحت حدود ۰/۲۸ کیلومترمربع می‌باشد. حریم حفاظتی چاه هشت رکات روی چاه حریم حفاظتی چاه شماره پنج قرار می‌گیرد. حریم حفاظتی این دو چاه در محدوده کارخانه کاشی و سرامیک آیدا سرامیک و همچنین کارخانه تولید قیر و انواع ماشین آلات راهسازی می‌باشد. حریم چاه شماره پنج دارای طول ۲/۵ کیلومتر، پهنای ۰/۳۸ کیلومتر و مساحت ۰/۷۹ کیلومتر مربع و حریم چاه هشت رکات دارای طول ۱/۸ کیلومتر، پهنای ۰/۲۲ کیلومتر و مساحت ۰/۳۵ کیلومتر مربع می‌باشد. در این دو چاه به دلیل نزدیک بودن به شهرک صنعتی و قرار گرفتن بخشی از حریم آن‌ها در محدوده شهرک صنعتی احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی زیاد بوده و بنابراین به مراقبت بیشتری احتیاج دارند.

شکل ۴- ۱۶: حریم حفاظتی چاه‌های رکات شماره ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸

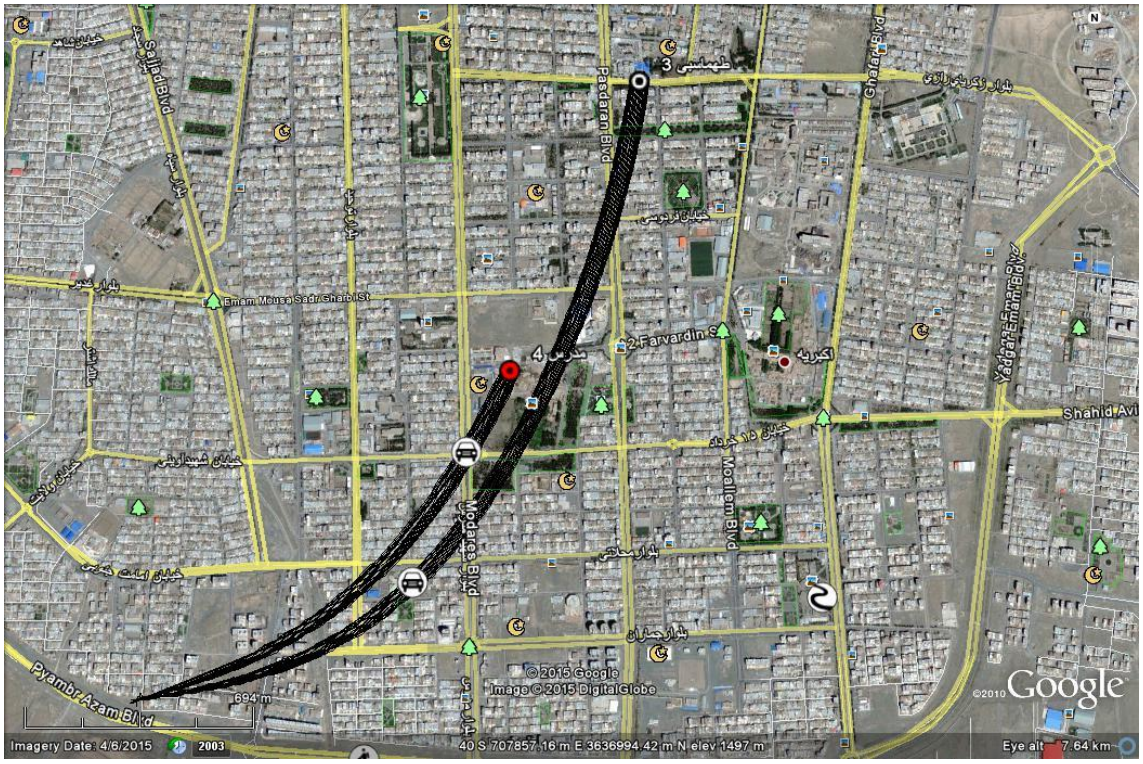
در شکل ۴-۱۷ حریم حفاظتی چاه‌های شرب ۹ ، ۱۰ و ۱۱ رکات نشان داده شده است. چاه ۹ و ۱۰ رکات بین شهرک چهکند و معصومیه در قسمت جنوب غربی شهر بیرجند واقع شده‌اند. حریم حفاظتی چاه شماره ۹ دارای ۳/۸ کیلومتر طول، ۰/۲۵ کیلومتر پهنا و ۰/۷۵ کیلومتر مربع مساحت می‌باشد. حریم حفاظتی چاه شماره ۱۰ دارای طول ۳/۲ کیلومتر، پهنای ۰/۱۹ کیلومتر و مساحت ۰/۵۳ کیلومتر مربع می‌باشد. حریم حفاظتی این دو چاه از پهنای کم و شکل کشیده‌ای برخوردار می‌باشد. چاه شماره ۱۱ حریم حفاظتی با طول ۱/۳۷ کیلومتر، پهنای ۰/۱۶ کیلومتر و مساحت ۰/۱۷ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است



شکل ۴- ۱۷: حریم حفاظتی چاه‌های شرب رکات شماره ۹، ۱۰ و ۱۱

حریم حفاظتی دو چاه طهماسبی ۳ و مدرس ۴ در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است. حریم حفاظتی این دو چاه در ناحیه شهری قرار می‌گیرد. حریم حفاظتی چاه طهماسبی ۳ دارای ۲/۷ کیلومتر طول، ۰/۰۶ کیلومتر پهنا و ۰/۱۴ کیلومترمربع مساحت می‌باشد. حریم حفاظتی چاه مدرس ۴ دارای مساحت ۰/۰۷ کیلومترمربع، پهنای ۰/۰۶ کیلومتر و طول ۱/۶ کیلومتر می‌باشد. حریم

حفاظتی این دو چاه در محدوده شهری واقع شده و بنابراین در اثر نفوذ احتمالی فاضلاب شهری به آب زیرزمینی می‌باشند.



شکل ۴- ۱۸: حریم حفاظتی چاه‌های شرب طهماسبی ۳ و مدرس ۴

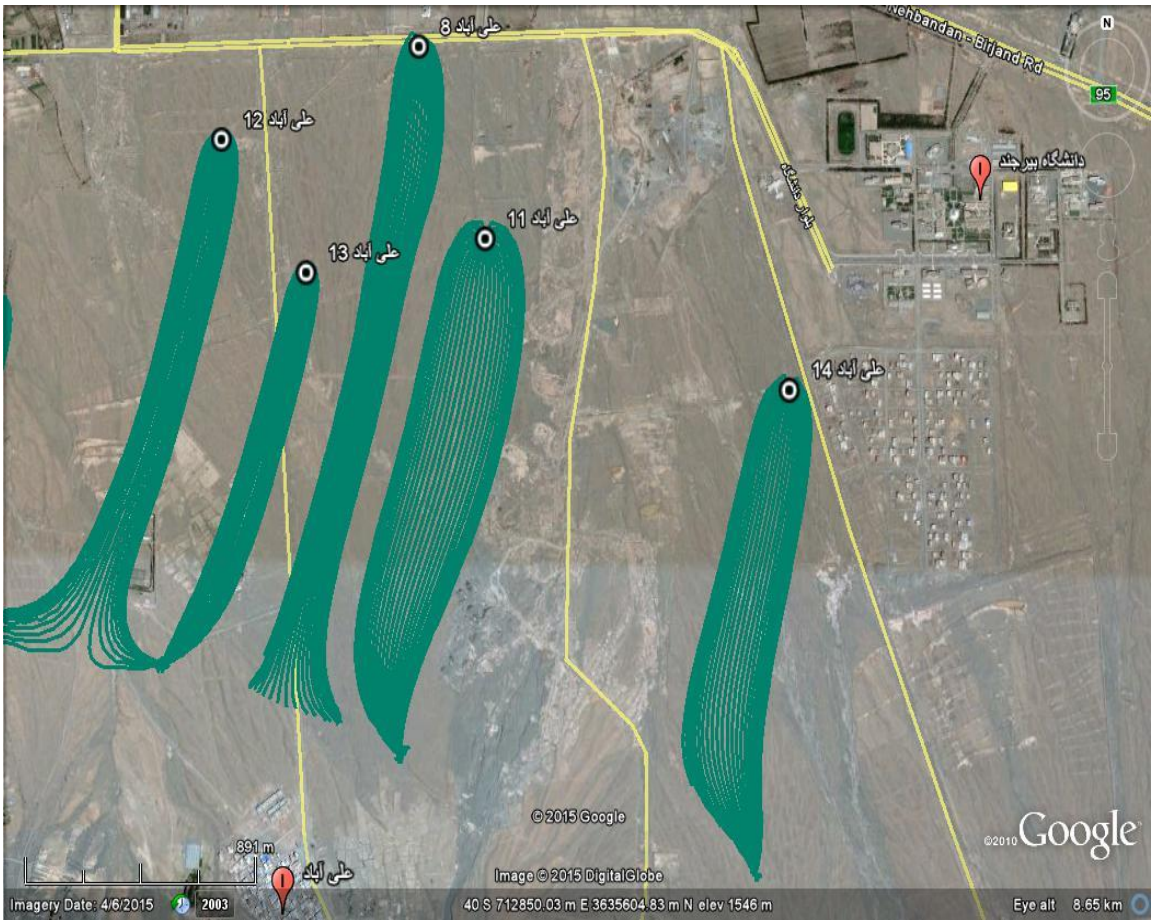
۴-۶-۲- چاه‌های شرب منطقه علی‌آباد

شکل ۴-۱۹ حریم حفاظتی چاه‌های شرب ۶، ۷ و ۱۰ علی‌آباد را نشان می‌دهد. این چاه‌ها در قسمت جنوب شرقی شهر بیرجند واقع شده‌اند. چاه ۱۰ علی‌آباد در ابتدای خیابان شهید آوینی، در منطقه نوغابچیک قرار گرفته است. حریم حفاظتی چاه شماره۱۰ دارای شکل کشیده و طول و پهنا به ترتیب ۱/۶ و ۰/۱۶ کیلومتر می‌باشد. مساحت حریم این چاه ۰/۲۴ کیلومتر مربع محاسبه شده است. بخش وسیعی از حریم این چاه در منطقه مسکونی قرار گرفته است. چاه‌های ۶ و ۷ با فاصله کمی از این چاه قراردارند. حریم حفاظتی آن‌ها از نظر طولی کوتاه‌تر از چاه شماره ۱۰ می‌باشند. حریم چاه شماره

شش دارای ۰/۹۸ کیلومتر طول و ۰/۱۳ کیلومتر پهنا می‌باشد. حریم حفاظتی این چاه مساحت ۰/۱۵ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده است. چاه شماره هفت دارای طول و پهنای ۱/۲ و ۰/۱۴ کیلومتر و مساحت ۰/۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در میان این سه چاه، حریم چاه شش از نظر طول و پهنا و مساحت کوچکتر از دو چاه دیگر می‌باشد.

شکل ۴- ۱۹: موقعیت حریم حفاظتی چاه‌های ۶، ۷ و ۱۰ علی‌آباد

در تصویر ۴-۲ حریم حفاظتی چاه‌های شرب شماره ۸ ، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ علی‌آباد نشان داده شده است. این چاه‌ها در شمال روستای علی‌آباد و غرب دانشگاه بیرجند واقع شده‌اند. در اطراف حریم حفاظتی این چاه‌ها زمین کشاورزی وجود ندارد و حریم حفاظتی آن‌ها در محدوده مسکونی قرار نگرفته است.



شکل ۴-۲۰: حریم حفاظتی چاه‌های شرب شماره ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ علی‌آباد

به طور کلی در منطقه علی‌آباد چاه شماره ۱۰ به دلیل قرارگیری در منطقه مسکونی بیشتر از بقیه چاه‌ها در معرض آلودگی‌های شهری می‌باشد. چاه‌های شرب شماره ۱۱ و ۱۲ به نسبت بقیه چاه‌ها دارای دبی نسبتاً بالاتری (به ترتیب مقدار ۱۱۱۴ و ۱۲۱۸/۴۴ متر مکعب بر روز) بوده که بر شکل حریم آن‌ها تأثیرگذار بوده است. به طوری که مساحت حریم حفاظتی آن‌ها بزرگتر از بقیه چاه‌های منطقه علی‌آباد می‌باشد. خلاصه ابعاد حریم حفاظتی ۲۰ ساله چاه‌های شرب شهر بیرجند در جدول ۴-۵ ارائه شده است.

جدول ۴- ۳: طول، پهنا و مساحت حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند محاسبه شده به روش مرز جریان

منطقه	نام چاه	UTMx	UTMy	دبی (مترمکعب‌برروز)	مساحت حریم حفاظتی ۲۰ ساله (کیلومترمربع)	طول حریم حفاظتی۲۰ ساله (کیلومتر)	پهنای حریم حفاظتی ۲۰ ساله (کیلومتر)
رکات	رکات۲	۶۹۸۵۷۲	۳۶۳۸۲۲۸	۹۱۷/۹۷	۱/۶۱	۱/۹	۰/۸۰
	رکات۳	۶۹۲۱۰۱	۳۶۳۹۲۱۶	۹۳۴/۹۸	۰/۵۵	۳/۱	۰/۱۸
	رکات۴	۶۹۲۵۷۶	۳۶۳۷۶۰۶	۱۰۰۱/۷۸	۰/۲۳	۱/۳۵	۰/۱۷
	رکات۵	۶۹۴۸۶۳	۳۶۳۹۱۴۱	۱۱۹۵/۶۸	۰/۷۹	۲/۵	۰/۳۸
	رکات۶	۶۹۴۰۴۷	۳۶۳۸۲۰۸	۸۷۰/۳۱	۰/۲۹	۱/۶۴	۰/۱۹
	رکات ۸	۶۹۵۰۸۰	۳۶۳۸۴۶۹	۱۱۳۵/۳۴	۰/۳۵	۱/۸	۰/۲۲
	رکات ۹	۷۰۲۲۲۲	۳۶۳۸۵۷۱	۱۴۸۵/۵۴	۰/۷۵	۳/۸	۰/۲۵
	رکات ۱۰	۷۰۲۹۱۶	۳۶۳۸۵۷۱	۱۴۴۹/۳۱	۰/۵۳	۳/۲	۰/۱۹
	رکات ۱۱	۷۰۵۴۱۳	۳۶۳۷۶۳۴	۱۲۳۵/۳۲	۰/۱۷	۱/۳۷	۰/۱۶
	طهماسبی۳	۷۰۸۰۵۷	۳۶۳۷۹۸۱	۲۹۰/۵۹	۰/۱۴	۲/۷	۰/۰۶
	مدرس۴	۷۰۷۶۵۸	۳۶۳۷۰۲۶	۲۶۴/۱۷	۰/۰۷	۱/۶	۰/۰۶
علی آباد	علی آباد ۶	۷۱۰۴۴۶	۳۶۳۶۰۹۹	۱۱۴۸/۸۱	۰/۱۰	۰/۹۸	۰/۱۳
	علی‌اباد ۷	۷۱۰۱۹۶	۳۶۳۶۳۹۱	۹۷۴/۷۵	۰/۲	۱/۲	۰/۱۴
	علی آباد ۸	۷۱۲۱۵۳	۳۶۳۷۰۲۵	۹۳۹/۹۴	۰/۴۵	۲/۲	۰/۱۷
	علی‌آباد ۱۰	۷۰۹۶۵۰	۳۶۳۶۸۹۹	۱۶۳۶/۹	۰/۴	۱/۶	۰/۱۶
	علی آباد۱۱	۷۱۱۲۴۵	۳۶۳۶۶۸۹	۱۱۱۴	۰/۵۷	۱/۷	۰/۳۹
	علی‌آباد۱۲	۷۱۱۳۴۵	۳۶۳۶۶۸۸	۱۲۱۸/۴۴	۰/۴۴	۱/۸	۰/۱۸
	علی‌آباد۱۳	۷۱۱۷۲۳	۳۶۳۶۲۳۱	۸۳۵/۵	۰/۲۱	۱/۴	۰/۱۶
	علی‌آباد۱۴	۷۱۳۶۸۵	۳۶۳۵۸۵۵	۹۷۴/۷۵	۰/۳۹	۱/۵	۰/۲۷

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

این تحقیق جهت تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند با استفاده از مدل WhAEM2000 به روش‌های شعاع ثابت اختیاری، شعاع ثابت محاسبه‌ای، جریان یکنواخت و مرز جریان انجام شده است. در این فصل نتایج حاصل از هر یک از این روش‌ها ارائه شده و در آخر پیشنهاداتی برای مطالعات آینده ارائه شده است.

۱-۵- نتایج

۱- نقشه تراز سطح ایستابی شبیه‌سازی شده آبخوان توسط مدل WhAEM2000 تأیید کننده دقت شبیه‌سازی توسط این مدل می‌باشد. این موضوع قابلیت شبیه‌سازی جریان در آبخوان توسط این مدل را نشان می‌دهد.

۲- در روش شعاع ثابت اختیاری بر اساس تجربیات و نظرات کارشناسی شعاع حریم حفاظتی ۳۰۰ متر را برای چاه‌های شرب منطقه رکات و علی‌آباد در نظر گرفته شده است. پس از ورود این مقدار به مدل حریم حفاظتی به صورت دوایری در اطراف چاه‌های شرب رسم می‌شود.

۳- بر اساس نتایج روش شعاع ثابت محاسبه‌ای شعاع حریم حفاظتی در منطقه رکات از ۵۰۵ متر تا ۷۶۱ متر متغیر می‌باشد. در منطقه علی‌آباد شعاع حریم حفاظتی بر این اساس از حداقل ۵۸۰ متر تا حداکثر ۱۰۵۴ متر تغییر می‌نماید.

۴- حریم حفاظتی محاسبه شده در منطقه رکات به روش جریان یکنواخت با توجه به جهت جریان تعریف شده در مدل به صورت شرقی-غربی رسم شده است. این حریم در منطقه علی‌آباد به صورت جنوب شرقی-شمال غربی تعیین شده است.

۵-در بین روش‌های بررسی شده، روش مرز جریان به دلیل استفاده از مدل کالیبره شده و همچنین در نظر گرفتن شرایط هیدروژئولوژیکی محلی از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. به همین جهت این روش به عنوان روش قابل اعتماد جهت تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب بیرجند معرفی شده است.

۶- براساس نتایج حاصل از روش مرز جریان مساحت حریم حفاظتی محاسبه شده چاه‌های منطقه رکات از ۰/۲۳ تا ۱/۶۱ کیلومترمربع تغییر می‌نماید. پهنای حریم حفاظتی از ۰/۱۶ تا ۰/۸۰ کیلومتر متغییر می‌باشد و طول حریم حفاظتی در این منطقه از ۱/۳۷ تا ۳/۸ کیلومتر متغیر است.

۷- نتایج حاصل از ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب در منطقه علی‌آباد نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مساحت حریم حفاظتی به ترتیب ۰/۱ کیلومترمربع و ۰/۵۷ کیلومترمربع (مربوط به چاه‌های علی‌آباد ۶ و علی‌آباد ۱۱) می‌باشد. بیشترین و کمترین پهنای حریم حفاظتی در این منطقه از ۰/۱۳ تا ۰/۳۹ کیلومتر تغییر می‌نماید. تغییرات طول حریم حفاظتی چاه‌ها در این منطقه از ۰/۹۸ تا ۲/۲ کیلومتر محاسبه شده است.

۸- بررسی حریم حفاظتی چاه‌های شرب منطقه رکات نشان می‌دهد حریم حفاظتی چاه‌های رکات ۵ و رکات ۸ در منطقه شهرک صنعتی بیرجند قرار می‌گیرد. بنابراین احتمال ورود آلاینده‌های صنعتی به آب زیرزمینی در این منطقه زیاد بوده و این دوچاه به مراقبت بیشتری نیاز دارند.

۹- حریم حفاظتی چاه‌های طهماسبی ۳ و مدرس ۴ در محدوده شهری واقع شده و بنابراین در معرض نفوذ احتمالی فاضلاب شهری به آب زیرزمینی می‌باشند.

۱۰- در منطقه علی‌آباد چاه علی‌آباد ۱۰ در منطقه مسکونی (منطقه نوغابچیک) قرار گرفته است. این چاه در معرض نفوذ احتمالی فاضلاب شهری به آب زیرزمینی می‌باشد.

۱۱- به طور متوسط با مقایسه کلی طول، پهنا و مساحت حریم حفاظتی رسم شده، حریم حفاظتی چاه‌ها در منطقه رکات به دلیل خصوصیات آبخوان از نظر طول، پهنا و مساحت بزرگتر از منطقه علی‌آباد می‌باشد.

۲-۳- پیشنهادها

۱- برای شناسایی دقیق خصوصیات آبخوان از جمله هدایت هیدرولیکی و ارتفاع سنگ کف بررسی‌های اکتشافی بیشتری در آبخوان بیرجند صورت بگیرد. نتایج این بررسی‌ها در مطالعات مدل‌سازی آبخوان سودمند می‌باشد.

۲- حریم حفاظتی تعدای از چاه‌های شرب آبخوان بیرجند در محدوده شهری و صنعتی قرار دارند. بنابراین پیشنهاد می‌شود کنترل و مدیریت منابع آلوده کننده در محدوده حریم این چاه‌ها با دقت و جدیت بیشتری دنبال گردد.

۳- در این تحقیق مدل WhAEM2000 جهت تعیین حریم حفاظتی مورد استفاده قرار گرفته است. پیشنهاد می‌شود جهت تعیین حریم حفاظتی از روش‌های دیگر نیز استفاده شود و نتایج با مدل ذکر شده مقایسه گردد.

۴- با توجه به قابلیت مدل WhAEM2000 در شبیه سازی جریان و ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب در سایر نقاط کشور استفاده شود.

مراجع

بدو ک. (۱۳۸۹)، "مبانی محاسبات حریم بهداشتی برای حفاظت کیفی چاه‌های آب شرب در شهرها"، استقلال سال ۲۳، شماره ۲، اسفند ۱۳۸۳.

بدو ک. مولایی م. (۱۳۸۳)، "معیارها و روشهای تعیین ناحیه حفاظت سرچاهی (حریم بهداشتی چاه) محاسبات موردی برای چاه آب شرب شماره ۳۳ شهرستان ارومیه"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده صنعتی شریف.

بهزادی فر و. و شهابی فرد ف. و اعتباری ب. (۱۳۸۸)، "مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از G.M.S" ، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.

-حاجی آبادی ف. طباطبایی م. حبیبی داویجانی م. (۱۳۹۱)، "مدل سازی آلودگی آب‌های زیرزمینی در بهبود مدیریت منابع آب و خاک با استفاده ازروش‌های زمین آمار(مطالعه موردی دشت بیرجند)"، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، کرمان، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران.

دلخواهی ع. و اسدیان ف. و خدایی ک. (۱۳۹۱)، "مقایسه توانایی روش‌های شعاع ثابت محاسبه‌ای و مدل عددی در تعیین حریم حفاظتی چاه‌های شرب منطقه یافت آباد تهران"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال هفتم، شماره بیست و ششم، صفحات ۳۳ تا ۴۳.

علیزاده ا. و افشین س. و دانش ش. (۱۳۹۰)، "تعیین و پهنه‌بندی حریم بهداشتی چاه‌های آشامیدنی مشهد" فصلنامه تحقیقات جغرافیایی- ش .۹۲

فضلی ح. و محمدی ک. (۱۳۸۷)، "تعیین حریم بهداشتی چاههای آب شرب در دشت قائمشهر با استفاده از مدل WhAEM2000"، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران.

گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی بیرجند، (۱۳۹۲)، شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی.

مجرد م. و درخشنده‌رو غ. و حمید ا. (۱۳۹۲)، "تعیین حریم کیفی ناحیه‌ای و نقطه‌ای منبع آب زیرزمینی دشت زرقان در استان فارس با استفاده از نرم‌افزار PMWIN "

مولایی م. و بدو ک. (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه حریم بهداشتی چاه‌ها با استفاده از روش‌های تئوریک و کد کامپیوتری WHPA "، دانشکده فنی گروه عمران، دانشگاه ارومیه.

ناصری ح. و قره محمودلو م. (۱۳۸۳)،" تعیین حریم بهداشتی چاه‌های آب شرب (مطالعه موردی: شهر ساری)" هشتمین انجمن زمین‌شناسی ایران.

نجمی ز. و احمدی ب. و افشاری ا. (۱۳۹۰)، "ارزیابی آسیب پذیری و تعیین حریم نقطه ای سفره های آب زیرزمینی با استفاده از مدل WhAEM2000 (مورد مطالعاتی آبخوان)" دومین کنفرانس ملی کاربردی منابع آب.

وزارت نیرو، (۱۳۹۲)، "دستور العمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی"، نشریه شماره ۶۲۱

Bates J.K. & Evans J.E. (1996). Evaluation of wellhead protection area delineation methods, applied to the municipal well field at Elmore, Ottawa County, Ohio. Ohio Journal of Science, 96, 13-22.

Badv K. (2004). VIRALT Code for delineation of wellhead protection areas against viral contaminants–Typical examples.

Bhatt K. (1993). Uncertainty in wellhead protection area delineation due to uncertainty in aquifer parameter values. Journal of Hydrology, 149(1), 1-8

Expósito J. L., Esteller M. V. Paredes J., Rico C., & Franco R. (2010). Groundwater protection using vulnerability maps and wellhead protection area (WHPA): a case study in Mexico. Water resources management, 24(15), 4219-4236.

Fadlelmawla A. A., & Dawoud M. A. (2006). An approach for delineating drinking water wellhead protection areas at the Nile Delta, Egypt. Journal of environmental management, 79(2), 140-149.

Ferrante M., Mazzetti E., Fiori A., Burini M., Fioriti B., Mazzoni A., & Capponi C. (2015). Delineation of Wellhead Protection Areas in the Umbria region. 2. Validation of the Proposed Procedure. Procedia Environmental Sciences, 25, 96-103.

Fetter C. W.(1980). Applied Hydrogeology. Charle E. Merill publishing Company Columbus. Ohio

Hansen C. V. (1991). Description and evaluation of selected methods used to delineate wellhead-protection areas around public-supply wells near Mt. Hope, Kansas. Water Resources Investigation (No. PB-93-108546/XAB; USGS/WRI--90-4102). Geological Survey, Lawrence, KS (United States). Water Resources Div.

Heij B. J. 1987. Personal communication. National Institute of Public Hygiene, Bilthoven, The Netherlands

Hunt R. J. (2006). Ground water modeling applications using the analytic element method. Groundwater, 44(1), 5-15.

Indelman P., Lessoff S. C., & Dagan G. (2006). Analytical solution to transport in three-dimensional heterogeneous well capture zones. Journal of contaminant hydrology, 87(1), 1-21.

Miller CH.W., 2003. A comparison of wellhead protectionarea delineation methods for public drinking water systems in Whatcom County,Washington. Journal of Environmental Health, 66, 2, 17-23.

Muldoon M. A., & Payton, J. (1993). Determining Wellhead Protection Boundaries: An Introduction. The Department.

Kompani-Zare M., Zhan, H., & Samani, N. (2005). Analytical study of capture zone of a horizontal well in a confined aquifer. Journal of hydrology,307(1), 48-59.

Kraemer S. R., Haitjema, H. M., & Kelson, V. A. (2007). Working with WhAEM2000: Capture Zone Delineation for a City Wellfield in a Valley Fill Glacial Outwash Aquifer Supporting Wellhead Protection. Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Washington.

Livingston S. Franz, T., & Guiger N. (1995), Managing ground water resources using wellhead protection, Geosciences Canada, Vol. 22, No. 4, pp 121-128

Paradis D., Martel R., Karanta G., Lefebvre R., Michaud Y., Therrien R., & Nastev M. (2007). Comparative study of methods for WHPA delineation.Groundwater, 45(2), 158-167.

Pekas B. S. 1992. Capture-Zone Geometry Calculations With Spreadsheet Programs. Ground Water Management 9:653-666.

Rowe R. K. 1993. Environmental Design for waste Disposal, Department of Civil Engineering, The University of Western Ontario, ES465b Lecture Notes.

Todd D. K., & Mays, L. W. (2005). Groundwater hydrology edition. Wiley, New Jersey.

U. S. Environmental Protection Agency [EPA]. 1987. Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas. EPA/440/6-87-010

U. S. Environmental Protection Agency [EPA]. 1989. Resolution on the use of Methematical Models by EPA for Regulatory Assessment and Decision-Making. EPA-SAB-EEC-89-012,7PP

Vieux B. E., Mubaraki M. A., & Brown D. (1998). Wellhead protection area delineation using a coupled GIS and groundwater model. Journal of environmental management, 54(3), 205-214.

Wuolo R. W., Dahlstrom D. J., & Fairbrother M. D. (1995). Wellhead Protection Area Delineation Using the Analytic Element Method of Ground-Water Modeling. Groundwater, 33(1), 71-83.

Zhang D. X., & Lu, Z. M. (2004). Stochastic delineation of well capture zones. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 18(1), 39-46.

Abstract

Birjand plain The main plain in south Khorasan, encompasses 33% of the population of the prorince. Total area of its basin is 3435 km^2 and area of the aquifer is 306 Km^2. The average annual rainfall and temperature in Birjand plain are 140 mm and 16.5°C, respectively and the climate is arid. Drinking water of Birjand city is mainly suplied from groundwater resource. Prilcing wells are located in urban and sub- urban area, as it increases contamination possibility. Regarding this, the aim of the study was to analyze the wellhead protection area (Capture zone) of municipal wells in Birjand aquifer using WhAEM2000. Wellhead protection area of the wells was calculated by Arbitrary Fiexed Raduse (AFR), fiexed radus (CFR), uniform flow and flow boundary method. Based on engineering judgment in AFR method a distance of 300 m was selected for drinking wells in Aliabad and Rekat area. In CFR method the average radius of 650 m for Rekat and 750 m for Aliabad were calculated as 20- year capture zone of drinking wells.

The minimum and maximum length of 20- year capture zone in flow boundary method was determined as 0.98 and 3.8 km respectively .Flow boundary method, in which calibrated method is used and local hydrogeological conditions are considered as well, has higher accuracy and was selected as the reliable method drinking wells. The capture zone has an elongated shape in this method. Based on calculated capture zone wells near industrial estate and in birjand city area, are most exposed to contamination and more attention must be paid to protect them.

Key words: Birjand, Capture zone, Fiexed radus, Uniform flow, Flow boundary, WhAEM2000

Shahrood Univercity of technology

Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Enviromental Geology Group

M. Sc. Thesis

Capture zone analysis of the municipal wells in Birjand aquifer

By:

Najme zare

Supervisor:

Dr. H. Jafari

January 2016