ارزیابی حریم کمی و کیفی چاه های آب شرب نسبت به نیترات مطالعه موردی: دشت آسپاس شهرستان اقلید، استان فارس

نوذر سامانی
استاد هیدروژئولوژی بخش علوم زمین دانشگاه شیراز
صلاح الدین کامرانی
دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی دانشگاه خوارزمی تهران
تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۳۱ تاریخ پذیرش : ۹۴/۹/۱۹
Salah.kamrani@yahoo.com

چکیده

این مطالعه با هدف تعیین حریم کمی و کیفی و بررسی عوامل موثر بر چگونگی گسترش زون گیرش و حریم کمی و کیفی چاه‌های آب شرب دشت آسپاس انجام شده است. با بررسی آمار ماهانه ۴۳ پیزومتر در بازه زمانی ۱۰ ساله (۸۹-۸۰)، پیزومترهای موجود در آبخوان از نظر الگوی رفتاری به ۳ گروه تقسیم گردید که توزیع مکانی این سه گروه، آبخوان را به ۳ زون مجزا از هم تفکیک نمود. با تجزیه و تحلیل داده‌های کمی و کیفی آبخوان و همچنین اطلاعات زمین شناسی، هواشناسی، آبشناسی و جغرافیایی جمع‌آوری شده، مدل عددی آبخوان با استفاده از نرم‌افزار GMS با کد شبیه‌ساز MODFLOW تهیه گردید. پس از اجرای مدل، پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان در شرایط پایدار بهینه شد و درستی آن برای شرایط ناپایدار صحت‌سنجی شد. با استفاده از کد MODPATH حریم کمی تمام چاه‌های آب شرب موجود در محدوده مورد مطالعه، شبیه سازی شد و حریم کمی شبیه سازی شده بر روی خطوط هم‌ارزش نیترات دشت آسپاس منطبق گردید. با توجه به تغییرات نیترات در محدوده زون گیرش، حریم نهایی چاه‌های آب شرب تعیین گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که گسترش زون گیرش تابع دو عامل شیب هیدرولیکی و مرزهای تغذیه‌ای می‌باشد و با توجه به این دو عامل، الگوی گسترش زون گیرش تغییر می‌کند. پمپاژ نیز باعث افزایش جزیی عرض زون گیرش می‌شود.
واژه‌های کلیدی: ، نرم‌افزار GMS، کد MODPATH، حریم کمی، حریم کیفی، زون گیرش، نیترات

مقدمه

آب‌های زیرزمینی بخش مهمی از منابع آبی مورد استفاده برای آشامیدن و مصارف متنوع بشر را تشکیل می‌دهند و محافظت از کیفیت آب زیرزمینی امری بسیار مهم است، با توجه به افزایش آلودگی‌ها، محافظت از کیفیت آب زیرزمینی به چالشی بزرگ در سطح جهانی تبدیل شده است و در دهه‌های اخیر آلودگی آبهای زیرزمینی به وسیله فعالیت‌های انسانی مشکلات متعددی را به بار آورده است. در میان آلاینده‌ها، نیترات دارای جایگاه مهمی است که در یک نگاه کلی توسط فعالیت‌های بنیادی بشر (کشاورزی، دامداری و فعالیت‌های صنعتی) تولید می‌شود و غلظت زیاد نیترات در آب آشامیدنی، صدمات جدی را به انسان و حیوان وارد می‌کند(Cross et al, 1992). بر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی(WHO 1993) غلظت نیترات در آب آشامیدنی نباید از ۵۰ میلی گرم بر لیتر بیشتر شود. بعلت محلول بودن نیترات، این ترکیب به راحتی بوسیله آب از لایه‌های مختلف خاک عبور می‌کند و به سفره‌های آب‌های زیرزمینی راه می‌یابد، به همین دلیل برنامه‌های مدیریتی امروزه، نیازمند استراتژی‌های جامع در جهت حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد(Shal and Vanclooster, 2009).

نیترات در آب چاه‌ها، تحت تاثیر عوامل مختلف تغییر می‌کند، مقایسه غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی کم عمق با کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشتر آلودگی آب چاه‌ها در ارتباط با فعالیت‌های کشاورزی است (Hite, 2006). مدل های تجربی طراحی شده، در مناطق با آب ورودی زیاد، خاک‌های با زهکشی بالا، سنگ‌های دارای شکستگی و تخلخل فراوان و نبود فرآیندهایی که سبب میرایی آلاینده‌ها می‌شوند، میزان نیترات را زیاد پیش‌بینی می‌کند. علاوه بر مدل های تجربی، مدل های ریاضی طراحی شده برای آبهای زیرزمینی کارایی زیادی دارند و با توجه به پارامترهایی که در این مدل‌ها برای آبخوان تعریف می‌شود وضعیت آبخوان، نحوه انتقال آلاینده‌ها و شرایط آینده را پیش‌بینی می‌کنند.

از آنجا که بیشتر آلاینده ها به طور مستقیم یا غیر مستقیم از سطح زمین وارد سیستم آب زیرزمینی می‌شوند، یک روش مناسب به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی، تعیین نواحی تامین کننده آب برای چاه های شرب و سپس اعمال محدودیت های کاربری اراضی و حفاظتی در داخل این نواحی نیاز می باشد .این محدوده از آبخوان را که آب مورد نیاز چاه را تامین می کند زون گیرش می‌گویند.

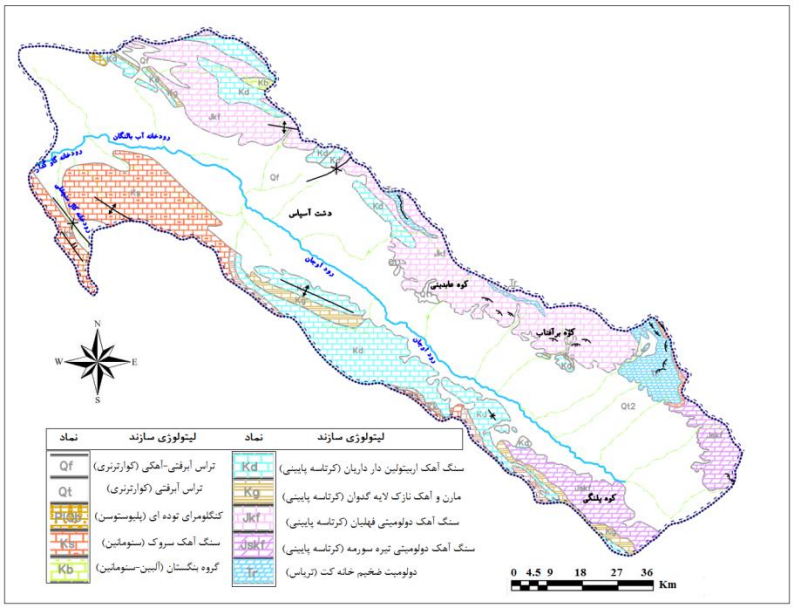
در واقع زون گیرش چاه، بخشی از آبخوان اطراف یک چاه است که آب و آلاینده ها از طریق آن وارد سیستم آب زیرزمینی می شوند و در نهایت به داخل چاه راه پیدا می‌کنند.

در حالت طبیعی زون گیرش از اندکی پائین دست چاه به سمت بالا دست جریان و تا مرزهای طبیعی(گسل، رودخانه، خط تقسیم آب، مرزهای ورودی آبخوان) توسعه می‌یابد ولی در کاربردهای عملی مرز بالا دست توسط زمان محدود می‌شود. به عبارتی دیگر فقط بخشی از آبخوان که در زمان تعیین شده می‌توانند آب و آلاینده ها را به چاه برسانند مد نظر قرار می‌گیرند که به این بخش حریم حفاظتی چاه می‌گویند. به منظور ترسیم حریم حفاظتی چاه‌های شرب، چندین روش وجود دارد که در میان روش‌ها، روش شعاع ثابت محاسبه‌ای (CFR)، مدل‌های تحلیلی، نقشه‌های هیدروژئولوژی و مدل های عددی جریان پرکاربردتر هستند. از میان این روش‌ها مدل ریاضی عددی به دلیل در نظر گرفتن گرادیان هیدرولیکی، انواع شرایط مرزی و پارامترهای هیدرولیکی دارای تطابق بیشتری با شرایط واقعی هیدروژئولوژیکی و بهترین روش جهت تعیین حریم حفاظتی چاه محسوب می‌شود.

در ایران تاکنون از روش مدل سازی در مطالعات مختلفی بهره گرفته شده است. برای مثال(مشهدی و باغوند، ۱۳۸۹) در مطالعه موردی آبخوان امان آباد اراک به بررسی و مدلسازی آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر مجاورت با محل دفن زباله پرداختند، بعد از نمونه‌گیری از خاک و آب چاه‌های شرب، آبخوان را با نرم افزار MODFLOW شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که منطقه موجود از پتانسیل آلودگی بالایی برخوردار بوده و در صورت عدم کنترل و رفع آلودگی آبخوان با مشکلات جدی از جمله آلودگی چاههای آب شرب روبرو خواهند شد. (شجاعی و سامانی، ۱۳۹۰) تحقیقی در راستای بهینه‌سازی روش پمپاژ و تصفیه برای پاکسازی آب‌های زیرزمینی آلوده به نفت را با استفاده از نرم افزارهای MODFLOW، MODPATH و نرم افزارهای تخصصی دیگر انجام دادند که یک منبع آلودگی نقطه‌ای فرضی به آبخوان بررسی شده وارد شد و ابر آلودگی ناشی از این منبع بدست آمد و سناریوهای مختلف پاکسازی آلودگی مورد بررسی قرار گرفت. قلی‌زاده و سامانی (۱۳۹۱) میزان تبادل آب های سطحی و زیرزمینی با آنالیز تحلیلی و عددی زون گیرش را بررسی کردند که هندسه‌ی زون گیرش و سهم رودخانه در تأمین دبی پمپاژ نسبت به پارامترهای کنترل کننده آن مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج‌ها نشان داد که با کاهش فاصله بین چاه و رودخانه، دبی ورودی به چاه در سفره های آزاد بصورت خطی و در سفره های تحت فشار بصورت تصاعدی افزایش می یابد. در این مطالعه پس از شبیه سازی آبخوان، حریم کمی و کیفی نسبت به نیترات برای چاه‌های تامین کننده آب آشامیدنی در یکی از دشت‌های استان فارس انجام شده است.

محدوده مورد مطالعه

دشت آسپاس در استان فارس در ۳۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان اقلید واقع است. با دشت‌های اطراف هیچ‌گونه ارتباط هیدروژئولوژیکی نداشته و رودخانه اوجان در قسمت مرکزی دشت جریان دارد که آب‌های سطحی و زیرزمینی را زهکشی می کند (گزارش آب منطقه‌ای فارس ۱۳۸۸) جهت کلی جریان آب زیرزمینی در دشت آسپاس باتوجه به خطوط ایزوپتانسیل از جنوب شرق به شمال غرب می باشد. بررسی ها نشان می دهد منطقه مورد مطالعه به صورت یک آبخوان آزاد در نظر گرفته می‌شود که یک ناودیس در امتداد شمال غرب-جنوب شرق بوده که از نهشته های آبرفتی و فرسایشی پر گردیده است. ضخامت لایه های آبرفتی نسبتا متغیر بوده بطوریکه هرچه از جنوب شرق به سمت شمال غرب می رویم ضخامت آبرفت کاهش می یابد. کف آبخوان در قسمت عمده ای از دشت اصولاً رسوبات مارنی می باشد که به عنوان سنگ کف در غالب حفاری ها در نظر گرفته می شود. (شکل ۱)

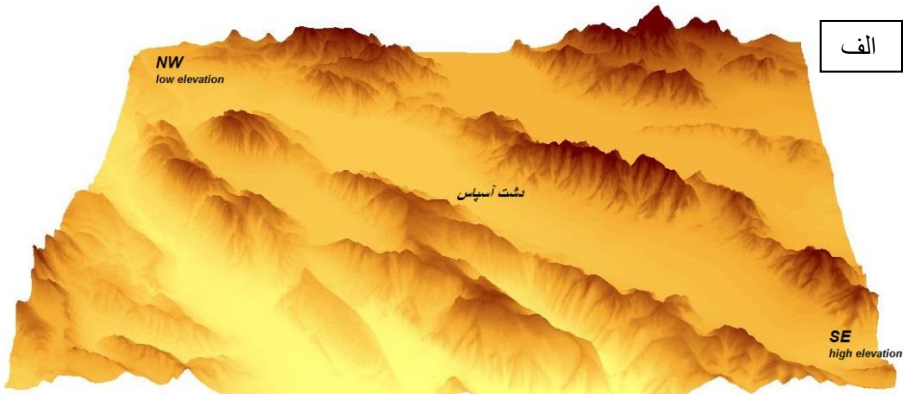


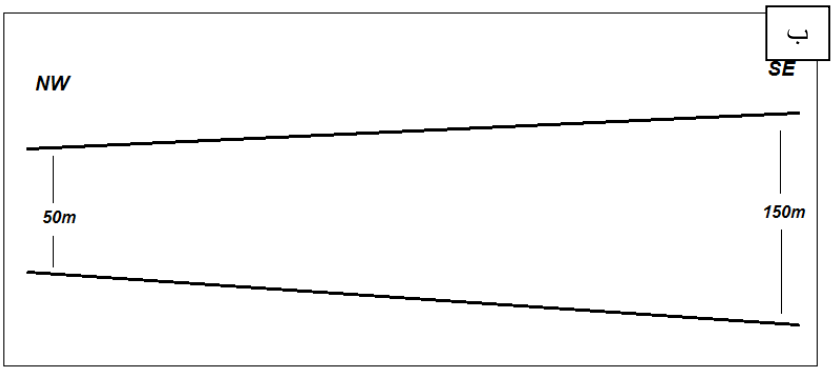
شکل۱. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

ضخامت لایه های آبرفتی در دشت نسبتا متغیر بوده و از جنوب شرق به سمت شمال غرب ضخامت آبرفت کاهش می یابد(شکل ۲). بر اساس داده‌های لاگ ۱۴ گمانه اکتشافی، سنگ کف در قسمت عمده ای از دشت اصولاً رسوبات مارنی تشخیص داده‌شده است. باتوجه به لاگ‌های حفاری که الگوی کم و بیش شبیه به هم دارند از سطح به کف شامل ۵ لایه می‌باشد

۱) رس، ماسه، شن
۲) شن، ماسه، کمی رس، کمی قلوه
۳) قلوه، شن، ماسه
۴) رس، ماسه، قلوه، کمی مارن
۵) مارن

که لایه مارن به عنوان سنگ کف در نظرگرفته شد و با توجه به قرارگیری لایه های مذکور در ترازهای ارتفاعی متفاوت از نظر مکانی و گاها حذف بعضی لایه ها شکل آبخوان به حالت گوه‌ای پیش بینی می‌شود.



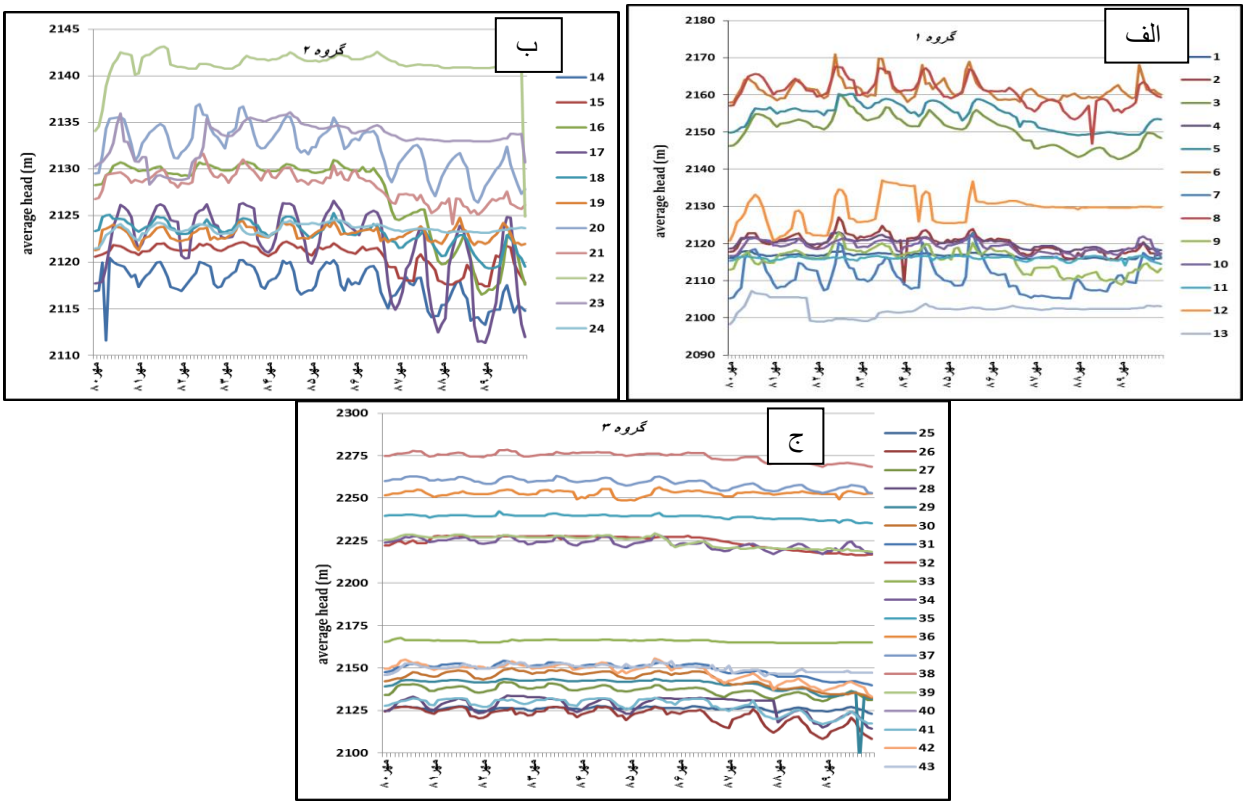


شکل۲. الف) توپوگرافی مورد مطالعه ب) نمایش شماتیک از محور z در محدوده مورد مطالعه

روش مطالعه

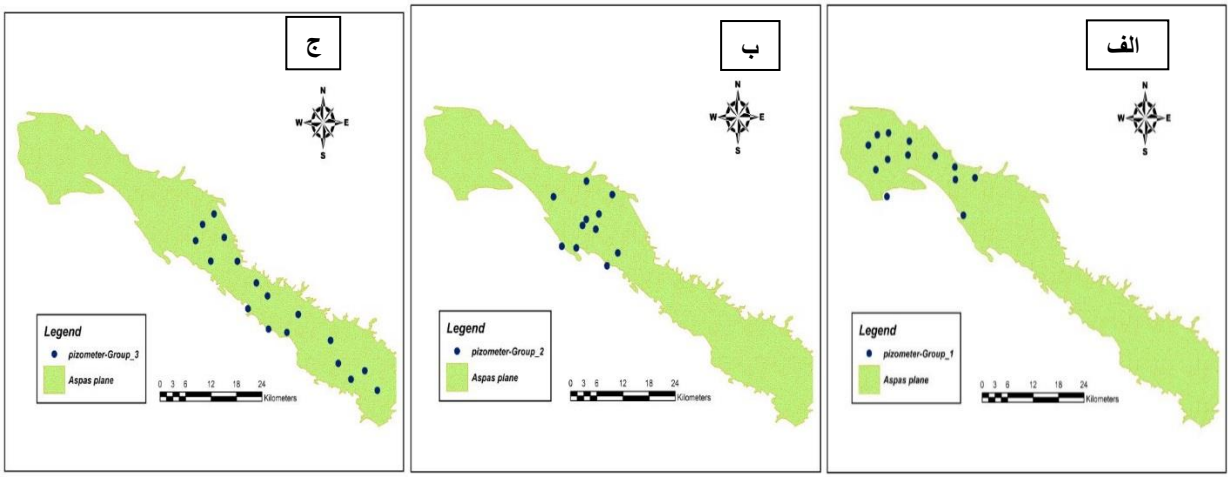
تجزیه و تحلیل هیدروگراف پیزومترها

در محدوده‌ی مورد مطالعه۴۳ پیزومتر موجود است که آمار سطح ایستابی در آنها از سال۸۰ تا ۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا هیدروگراف تمام پیزومترها برای دوره آماری ترسیم گردید. بررسی دقیق چشمی هیدروگراف‌ها نشان داد که بر اساس روند نوسانات سطح ایستابی در پیزومترها، می توان آنها را به گروه‌هایی با روند مشابه تفکیک کرد. به منظور انجام مقایسه صحیح و دقت بیشتر در تفکیک پیزومترهای هم روند، هیدروگراف ماهانه برای هر پیزومتر برای دوره ۱۰ سال رسم گردید. با مقایسه هیدرگراف سالانه، پیزومترهایی که دارای روند تغییرات شبیه به هم بودند در یک گروه قرار گرفتند و در نهایت به سه گروه تفکیک شدند. در این مطالعه سعی شده است گروه‌بندی به گونه ای باشد که پیزومترهای مربوط به هر گروه ضمن داشتن تفاوت باگروه‌های دیگر، دارای شباهت معنی‌دار بین اعضای هم گروه خود باشند. با در نظر گرفتن این مهم در گروه اول ۱۳ پیزومتر، گروه دوم ۱۱ پیزومتر و در گروه سوم ۱۹ پیزومتر قرار گرفت که در (شکل ۳) هیدروگراف سالانه هر گروه آورده شده است.



شکل ۳. الف) هیدروگراف سالانه پیزومترهای گروه ۱، ب) گروه ۲، ج) گروه ۳

پیزومترها در محیط GIS به صورت لایه اطلاعاتی بر روی نقشه منطقه مورد مطالعه پیاده شد. نکته قابل تامل این است که پیزومترهای تفکیک شده و هم‌گروه دارای نظم مکانی مشخصی در محدوده مورد بررسی هستند که گروه اول در شمال غرب، گروه دوم در مرکز و گروه سوم در جنوب شرق دشت قرار می‌گیرند (شکل ۴). بدین ترتیب آبخوان به سه زون برای ورود پارامترهای هیدرولوژیکی به منظور دقت بیشتر در مدلسازی تفکیک می‌شود.

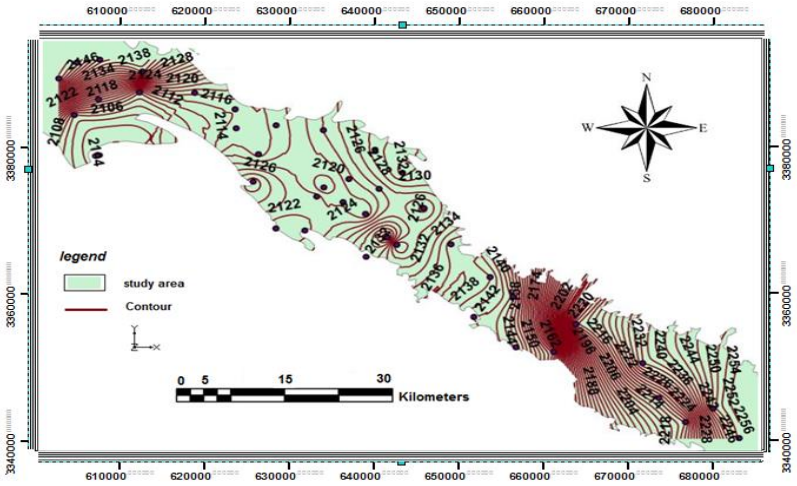


شکل ۴. الف) موقعیت پیزومترهای گروه ۱ ، ب) موقعیت پیزومترهای گروه ۲ ، ج) موقعیت پیزومترهای گروه ۳

تعیین شرایط مرزی

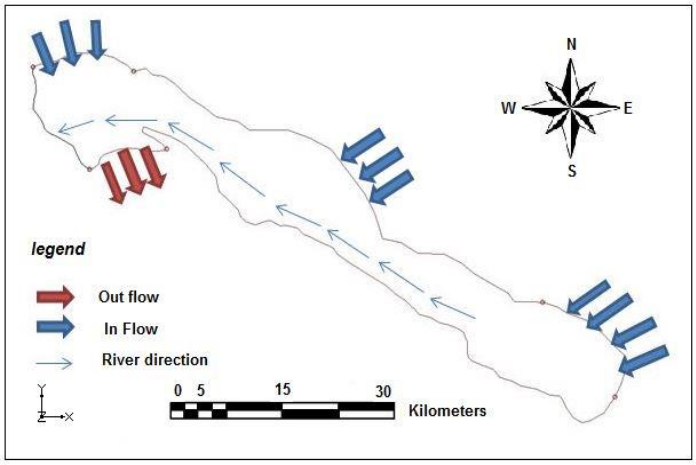
انتخاب شرایط مرزی مناسب برای مدل یکی از مراحل مهم و ظریف در تهیه و طراحی مدل جریان آب زیرزمینی می باشد که در معرض اشتباهات زیادی است. شرایط مرزی در واقع بیان ریاضی است که به صورت متغیر وابسته (بار هیدرولیکی) و مشتق متغیر وابسته (جریان) به مرزهای محدوده مدل نسبت داده می شود.

در محدوده آسپاس، درشمال شرق و جنوب غرب، آبرفت به تاقدیس های آهکی منتهی می شود. با رسم نقشه های ایزوپتانسیل سطح آب زیرزمینی، نقش هر یک از مرزها مورد بررسی قرار گرفته است(شکل ۵). لازم به ذکر است که با توجه به نوسانات ماهانه، ماه دی بعنوان ماه پایدار (Steady) در نظر گرفته شده است.



شکل۵. نقشه ایزوپتانسیل سطح آب زیرزمینی دی ماه

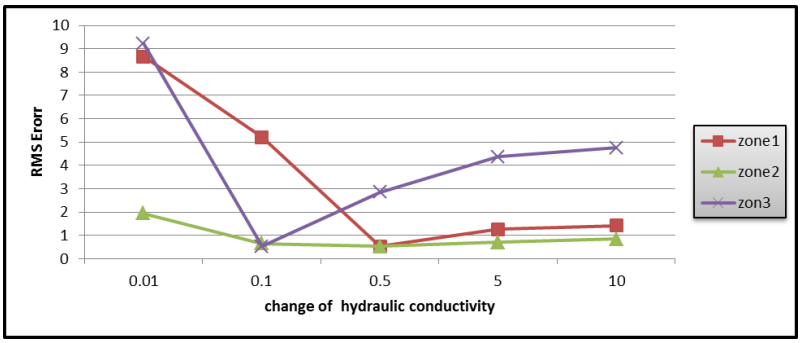
بررسی های انجام شده بر روی خطوط ایزوپتانسیل در مجاورت رودخانه، مشاهده می شود که خطوط کنتوری در مسیر رودخانه الگوی متفاوتی دارد به گونه‌ای که رودخانه در بعضی مناطق حالت تغذیه کننده و در بعضی جاهای دیگر تخلیه کننده است. در گزارشات و مطالعات قبلی به اینکه دشت آسپاس با دشتهای مجاورش ارتباط ندارد اشاره شده است. در قسمت جنوب‌شرقی، الگوی خطوط ایزوپتانسیل مشخص کننده‌ی یک مرز ورودی می باشد که این حالت در بخش‌های دیگر دشت نیز مشاهده می‌شود و در قسمت شمال‌غربی الگوها نشان از مرز تخلیه‌کننده دارند.(شکل ۶)



شکل۶. نمایش شرایط مرزی محدوده مطالعاتی

واسنجی و آنالیز حساسیت مدل

تحلیل حساسیت دشت آسپاس نشان می دهد که سطح آب محاسبه شده توسط مدل نسبت به تغییرات تغذیه، پمپاژ و هدایت هیدرولیکی زون های تفکیکی حساسیت متفاوتی را نشان می‌دهد. در (شکل ۷) برای مثال نمودار حساسیت نسبت به هدایت هیدرولیکی در زون های تفکیکی آورده شده است.



شکل ۷. آنالیز حساسیت تغییرات هدایت هیدرولیکی در زون های تفکیکی در محدوده مدل

جدول۱. خلاصه خطاهای مدلسازی دشت آسپاس

خطاها	خلاصه خطاهای مدلسازی
Mean error	۰/۰۲۵
Mean Abs. Error	۰/۳۰۴
Root Mean Sq. Error	۰/۳۴۵

خلاصه خطاهای مدلسازی در (جدول ۱) آورده شده است. جهت ترسیم زون گیرش و حریم کمی چاه‌ها از نتایج مدل جریان در MODPATH استفاده می‌شود.

روش مدل عددی جهت ترسیم حریم حفاظتی چاه

امروزه مدل عددی بعنوان یک روش استاندارد جهت ترسیم حریم حفاظتی چاه در بسیاری از نقاط دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Golder, 2001 Harter, 2002. Frind and Mohammad, 2002) در این مدل‌ها معادله اصلی جریان آب زیرزمینی از طریق روش های تقریب زنی به شکلی در می آید که به راحتی و به سرعت توسط یک کامپیوتر قابل حل باشد. به این صورت که محیط پیوسته به یک محیط ناپیوسته با هزاران گره (نود) تبدیل می‌شود و برای هر گره یک معادله جریان جداگانه تعریف می‌شود سپس با استفاده از حل ماتریسی و تکرار، مجهولات محاسبه می‌شوند. به منظور محاسبه ابعاد و شکل زون گیرش برای زمان های معین، معمولا از یک برنامه کامپیوتری جداگانه استفاده می‌شود که در آن بر اساس نتایج بدست آمده برای بار هیدرولیکی و سرعت جریان آب زیرزمینی در مدل، ابعاد زون گیرش برای چاه رسم می‌گردد.

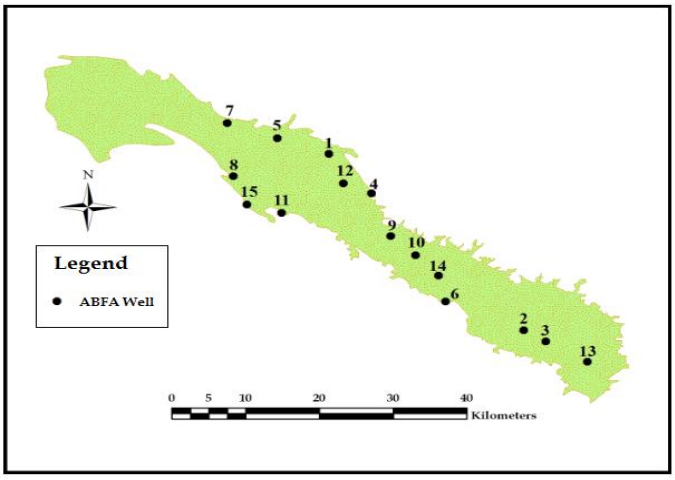
براساس نتایج مطالعات و بررسی های انجام شده مشخص شده است که حریم های حفاظتی تعیین شده توسط مدل عددی با حریم های حفاظتی واقعی چاه (که براساس آزمایش‌های ردیابی در محل چاه تعیین شده است) از انطباق بالایی برخوردار می‌باشد(Puchalski 2009). لذا در صورت صحت داده‌های اولیه مورد استفاده، مدل عددی مطمئن‌ترین روش جهت رسم حریم حفاظتی چاه محسوب می‌شود. مدل عددی استفاده در این مطالعه، مدل عددی GMS که یک مدل جریان سه بعدی است. این مدل دارای یک برنامه شبیه سازی جریان به روش تفاضل محدود به نام MODFLOW و یک برنامه مکان یابی ذره‌ای به نام MODPATH جهت محاسبه مسیرهای جریان آب زیرزمینی و زمان‌های حرکت می‌باشد. طی مدلسازی از طریق مقایسه مقادیر بار هیدرولیکی محاسبه شده با مقادیر مشاهده شده در پیزومترهای دشت در طی تصحیح و تکرارهای متعدد، مدل واسنجی می‌شود. سپس نتایج مدل واسنجی شده به همراه تخلخل موثر مواد تشکیل دهنده آبخوان، به عنوان داده‌های اولیه وارد MODPATH شده، مسیرهای جریان آب زیرزمینی محاسبه و نهایتا زون گیرش برای چاه‌ها رسم می‌گردد. این برنامه مسیر حرکت ذرات آب یا آلاینده برای هر چاه شرب را ترسیم می کند که در واقع این مسیرهای حرکت ذرات، زون گیرش را مشخص می‌کنند. MODPATH یک ذره فرضی را در نظر می‌گیرد که از یک نقطه مشخص، مطابق با سرعت محاسبه شده جریان آب زیرزمینی و در یک دوره زمانی معین حرکت می‌کند (در جهت جریان آب زیرزمینی). و برنامه قادر به ردیابی حرکت ذره از میان شبکه می‌باشد. برنامه MODPATH از روش مکان یابی ذره‌ای معکوس(backward) برای این کار استفاده می‌کند.

ردیابی معکوس شامل ردیابی ذرات در جهت خلاف جریان آب زیرزمینی می‌باشد. با استفاده از روش مناطقی که هیچ آبی را برای چاه تامین نمی‌کند حذف می‌شود. به همین منظور با انتخاب تعدادی از ذرات در اطراف یک چاه و ردیابی معکوس، زون گیرش چاه مشخص می‌شود.

مشخصات چاه‌های شرب مورد بحث در مطالعه

در محدوده مورد بررسی تعداد ۱۵حلقه چاه آب شرب، جهت تامین آب مورد نیاز حفر شده است. این چاه‌ها از پراکندگی مناسبی جهت تحلیل محدوده برخوردارند. بر اساس گزارش‌های موجود، این چاه‌ها در آبرفت حفر شده‌اند. موقعیت چاهها در (شکل ۸) نشان داده شده است.

با توجه به گزارشات سازمان آبفای روستایی، این سازمان در هر سال در دو نوبت، یکی در فصل خشک و دیگری در فصل تر از چاه‌ها نمونه برداری می‌کند. که داده‌های مربوط به نمونه‌برداری سال ۹۲-۹۱ در (جدول ۲) آورده شده است.



شکل۸. موقعیت چاه‌های آب شرب در محدوده مطالعاتی

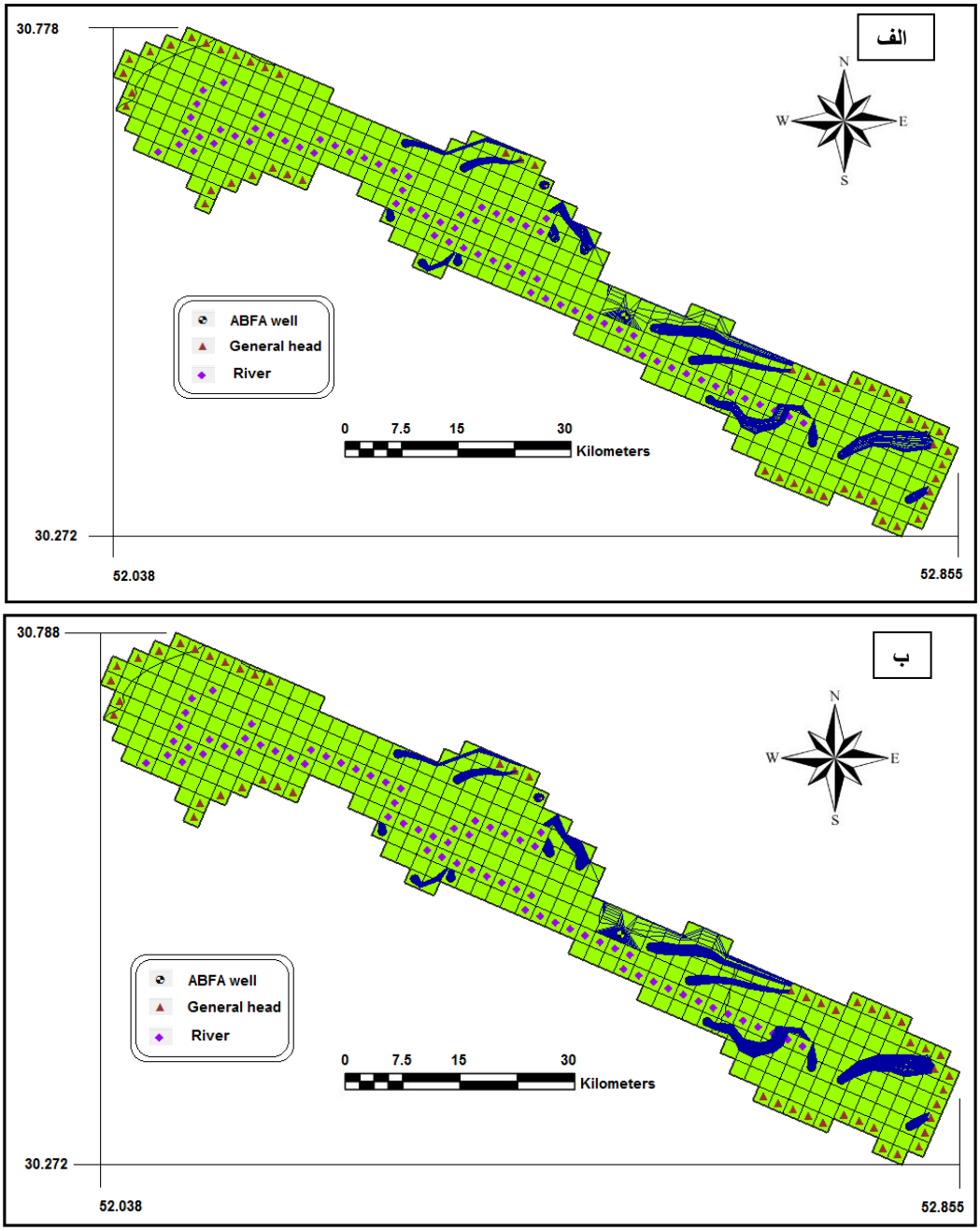
جدول۲. مقادیر نیترات چاه‌ها در سال ۹۲- ۹۱

شماره چاه	UTMx	UTMy	نیترات mg/l (فصل تر)	نیترات mg/l (فصل خشک)
۱	638597	3388189	۱۲	۱۱/۷
۲	665007	3360168	۱۷	۱۷/۶
۳	667991	3358349	۲۰	۲۰/۷
۴	644418	3381935	۶/۸	۸/۴
۵	631646	3390693	۱۴/۶	۱۵/۳
۶	654418	3364687	۱۳/۴	۱۷/۴
۷	624846	3393077	۲۲/۵	۲۲/۶
۸	625651	3384661	۱۹/۵	۲۰/۳
۹	647013	3375135	۱۵/۷	۱۶
۱۰	650332	3372087	۱۵/۶	۱۴/۴
۱۱	632185	3378833	۱۱/۳	۱۲/۳
۱۲	640581	3383524	۲۲/۶	۲۳/۱
۱۳	673661	3355102	۱۹/۲	۱۸/۱
۱۴	653446	3368845	۱۱	۱۲/۶
۱۵	627475	3380163	۱۲/۳	۱۲/۶

بحث و نتیجه‌گیری

تعیین حریم کمی و کیفی

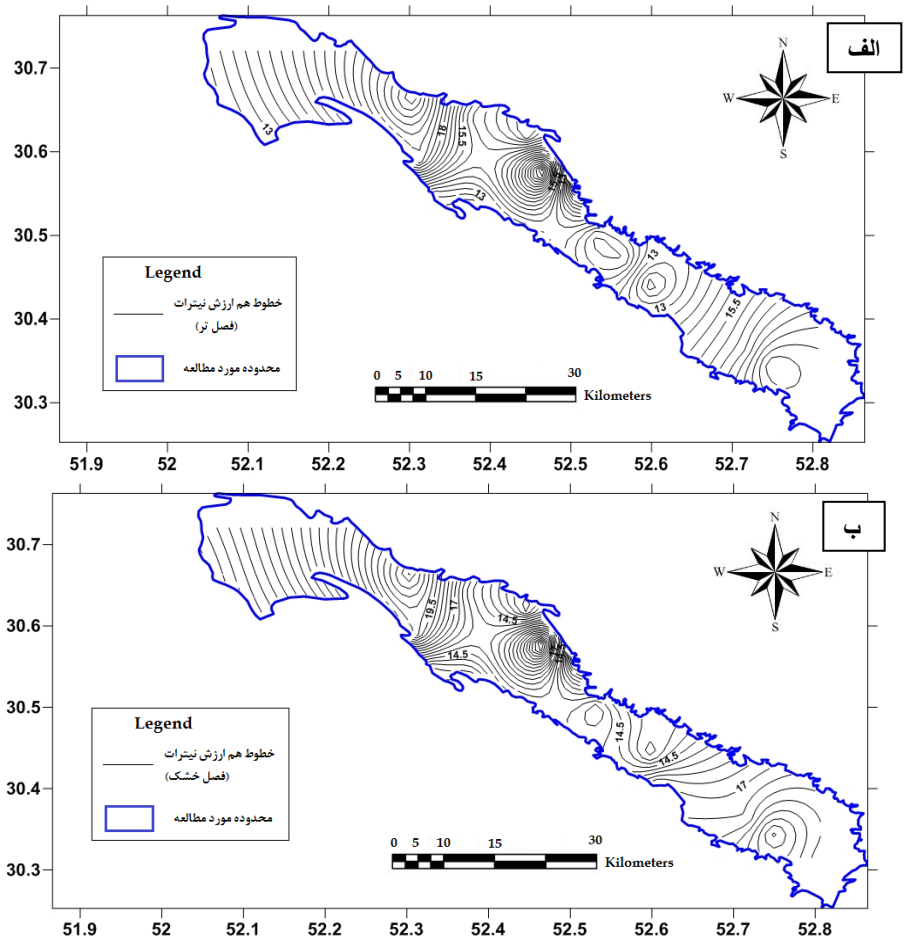
حریم چاه‌های آب شرب محدوده در محیط MODPATH در طول دوره یک ساله در (شکل ۹) نشان داده شده است. نکته قابل توجه در مدل، گسترش عرضی کم زون گیرش با افزایش ۵۰٪ پمپاژ می‌باشد که دلیل آن را می‌توان شکل کشیده، عرض کم دشت، جاری بودن رودخانه دائمی اوجان در خط‌القعر دشت و همچنین جنس نسبتا درشت رسوبات تشکیل دهنده دانست.



شکل ۹. الف) زون گیرش چاه‌های آب شرب محدوده در طول دوره یک ساله ب) زون گیرش افزایش ۵۰٪ پمپاژ

با توجه به شکل، هندسه زون گیرش چاه‌های شبیه‌سازی شده، تابع دو عامل شیب هیدرولیکی و مرزهای تغذیه (رودخانه و مرز ورودی حاشیه) می-باشد. در شرایط عادی، زون گیرش چاه‌ها در جهت خلاف شیب جریان آب زیرزمینی ناحیه‌ای گسترش می‌یابد ولی تحت تاثیر مرزهای تغذیه ای می‌تواند منحرف شود و با الگوی جریان محلی منطبق شود.

به منظور تعیین حریم کیفی چاه‌ها، با توجه به نقاط با غلظت نیترات معلوم، خطوط هم ارزش نیترات در نرم افزار SURFER برای دشت درونیابی شد. غلظت نیترات در فصول خشک و کم باران (فصل کشاورزی) نسبت به فصول تر و پرباران بیشتر است. با توجه به (جدول ۲)، بیشترین غلظت ثبت شده در فصول کم‌باران ۲۳/۱ میلی گرم بر لیتر و در فصول پرباران ۲۲/۶ میلی گرم بر لیتر است. این غلظت نصف مقدار اعلام شده توسط EPA (۵۰ میلی گرم بر لیتر) می‌باشد که بیانگر وضعیت مطلوب دشت آسپاس نسبت به تمرکز نیترات است. همچنین ایزوپتانسیل نیترات مربوط به فصل تر و خشک در (شکل ۱۰) نشان داده شده است.

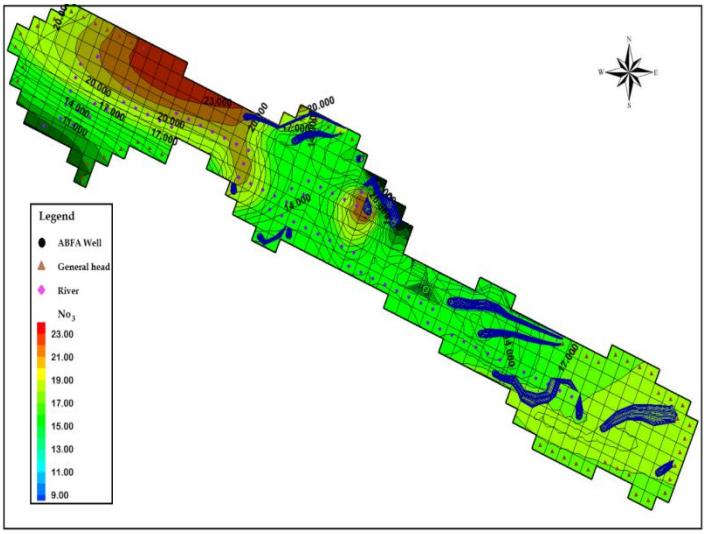


شکل ۱۰. خطوط هم نیترات در محیط Surfer الف) فصل تر ب) فصل خشک

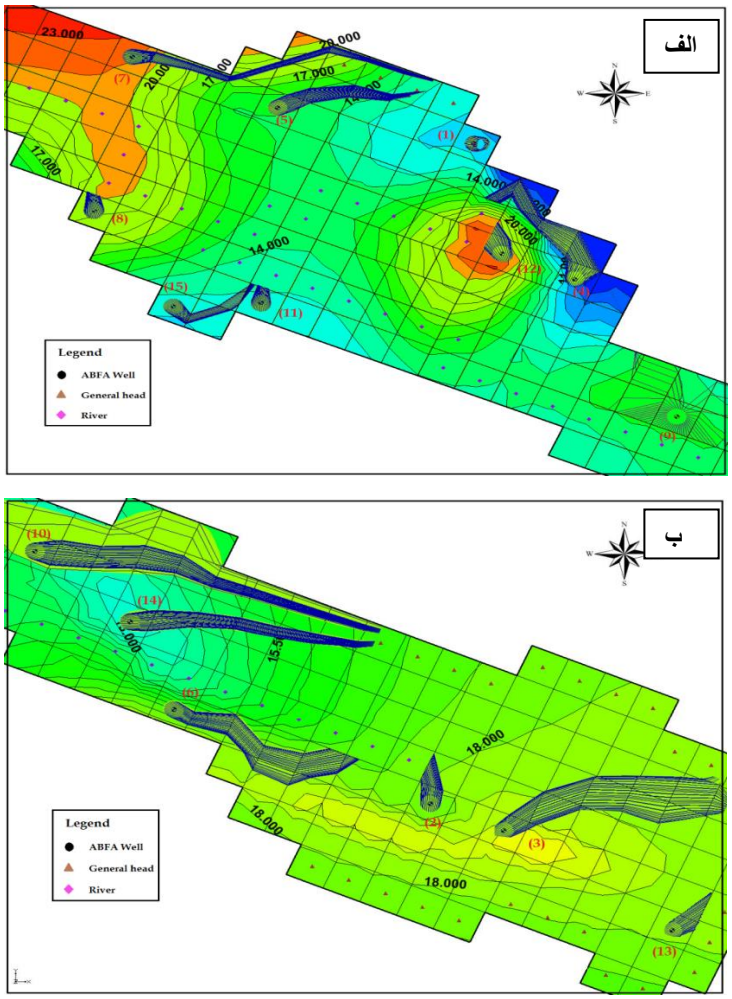
با توجه به نقشه‌های هم‌ارزش نیترات، بیشترین تمرکز نیترات در دو فصل تر و خشک مربوط به شمال‌غرب و بخش کوچکی در مرکز محدوده گسترش دارد که این افزایش در شمال‌غرب محدوده، در ارتباط با تراکم زیاد جمعیت، به سبب قرارگیری شهر "سده" که مهمترین شهر محدوده و روستاهای نزدیک به هم می‌باشد. در قسمت میانی نیز تمرکز بالا بیشتر به دلیل گسترش کشاورزی و وسعت زیاد سطح کشت است.کمترین غلظت هم بیشتر مربوط به حاشیه دشت و مرزهای ورودی آب است که دلیل آن عدم تماس با آب‌های درون دشت می‌باشد.

برای تعیین حریم نهایی چاه‌ها، زون گیرش چاه‌ها بر روی خطوط هم ارزش نیترات فصل خشک (به دلیل غلظت بالاتر از فصل تر) به صورت هم مقیاس قرار داده شده است. در این حالت غلظت نیترات در هر نقطه از زون گیرش و روند افزایشی یا کاهشی بودن میزان نیترات، در طول زون گیرش تا محل چاه مشخص می‌شود، از مقایسه غلظت نیترات در چاه شرب با بیشترین خط هم ارزش نیترات در داخل زون گیرش برای هر چاه، می‌توان روند افزایشی یا کاهشی غلظت نیترات را در طول زون گیرش نشان داد.

موقعیت زون گیرش و خطوط هم نیترات در (شکل های ۱۱و ۱۲) آورده شده است. (به منظور وضوح بیشتر برای مقایسه، در دو بزرگنمایی جداگانه نیز ذکر شده است).



شکل۱۱. انطباق زون گیرش و خطوط هم ارزش نیترات در دشت آسپاس



شکل۱۲. انطباق زون گیرش و خطوط هم نیترات الف) بخش مرکزی دشت ب) بخش جنوب شرقی دشت

با توجه به نمودارها، دو حالت عکس برای دو چاه ۱۰ و ۱۲ بوجود آمده است که در چاه ۱۰ فاصله زیاد ومتناسب با فاصله، میزان غلظت نیترات کم و در چاه ۱۲ فاصله از منبع کم و میزان غلظت نیترات زیاد است.

با تحلیل نمودارها و مقایسه با شرایط حاکم بر دشت آسپاس، تغییرات غلظت در چاه شماره۱۰ به دلیل فاصله زیاد از محل تامین آب زون گیرش و تغییرات کم در خطوط هم ارزش نیترات در طول زون گیرش این چاه است. همچنین نوع منبع تامین کننده (رودخانه یا مرز حاشیه) از نظر غلظت اولیه‌ی نیترات مهم است چرا که آب تامین شده از رودخانه به دلیل تاثیر منفی عوامل سطحی(زهکشی از زمین‌های کشاورزی)، بیشتر از آب ورودی از مرزهای تغذیه آبخوان دستخوش تغییرات نامطلوب می‌گردد.

تغییرات غلظت نیترات در چاه شماره ۱۲، علیرغم فاصله کم از منبع تامین آب زون گیرش خود (رودخانه) را می‌توان به قرارگیری در مرکز دشت که توسعه سطحی کشاورزی قابل توجه است نسبت داد. رودخانه در این قسمت از دشت، آب‌های سطحی را زهکشی می‌کند که قسمتی از این آب، مربوط به آب برگشتی کشاورزی است که میزان غلظت نیترات بالایی دارد

شرایط چاههای تامین کننده آب شرب دشت آسپاس

ویژگی‌های کمی و کیفی چاه‌های آب شرب در دشت آسپاس در جدول (۳) عنوان شده است.

جدول۳. شرایط حریم کمی و کیفی چاه‌های آب شرب منطقه

شماره چاه	مرز تامین کننده آب چاه	بیشینه نیترات در چاه mg/l	بیشینه نیترات در زون گیرش mg/l	نرخ پمپاژ چاه m^3/d	توضیحات
۱	مرز ورودی	۱۲	۱۲-۱۱	۱۵۳۷/۹۲	بدلیل نزدیکی به مرز ورودی در حاشیه و تامین آب از مرز این چاه از رودخانه اثرپذیر نیست.
۲	رودخانه	۱۷/۶	۱۸	۵۷۷/۱۵	بدلیل نزدیکی به رودخانه اثرپذیری این چاه از رودخانه زیاد است
۳	مرز ورودی	۲۰/۷	۲۱	۴۰۶/۰۸	گسترش در خلاف جهت جریان دارد. با توجه به نقشه از حاشیه زون گیرش این چاه به سمت محل چاه، میزان نیترات در حال افزایش است.
۴	رودخانه	۸/۴	۱۵	۶۷۳/۹۲	این چاه در حاشیه قرار دارد و زون گیرش این چاه موازی مرز بدون جریان است. کمترین غلظت نیترات (۶/۴ میلی گرم بر لیتر در فصل تر) را دارد که علت آن را می‌توان به قرارگیری در حاشیه شمالی و تاثیر کم کشاورزی بر آن دانست زیرا با توجه به نقشه ها، حاشیه شمالی در این بخش از دشت نقطه شروع جریان عمومی آب‌های سطحی و زیر زمینی است.
۵	مرز ورودی	۱۵/۳	۱۵	۱۴۳۷/۷	گسترش در خلاف جهت جریان دارد
۶	رودخانه	۱۷/۴	۱۹	۲۷۸۲/۰۸	زون گیرش گسترش یافته و خلاف جهت شیب هیدرولیکی دارد. این چاه با اینکه در حاشیه است ولی به دلیل مرز نفوذ ناپذیر، از حاشیه قادر به تامین آب نمی‌باشد و با مرز حاشیه خود موازی است. از حاشیه زون گیرش به سمت محل چاه میزان نیترات روندی کاهشی دارد که دلیل آن را می‌توان به اختلاط آب‌های زهکشی تازه در طول رودخانه و عملکرد رقیق‌کنندگی رودخانه دانست
۷	مرز ورودی	۲۲/۶	۲۱	۶۳۰/۷۲	گسترش زون گیرش در خلاف جهت جریان عمومی است و غلظت زیاد به دلیل وسعت زیاد زون گیرش و مجاورت با مناطق پر جمعیت و توسعه زیاد کشاورزی می‌باشد.
۸	رودخانه	۲۰/۳	۲۰	۱۲۵۴/۵۳	به دلیل مجاورت با مناطق تامین کننده (رودخانه)، دارای زون گیرش محدود می‌باشد. نیترات نسبتا بالا نسبت به میانگین این محدوده را می‌توان به قرارگیری در پایین‌دست جهت جریان عمومی آب‌های سطحی و زیرزمینی که از زمین های با توسعه سطحی زیاد کشاورزی منشا می‌گیرند نسبت داد.
۹	رودخانه و به نسبت کمتر از مرز ورودی	۱۶	۱۴	۱۶۹۸/۶۲	دارای زون گیرش نسبتا منظم و تا حدودی متقارن است.
۱۰	مرز ورودی	۱۵/۶	۱۶	۴۲۵/۹۵	زون گیرش این چاه که حالتی کشیده و طولی در خلاف جهت شیب هیدرولیکی دارد و با مرز بدون جریان موازی است. به دلیل فاصله‌ی زیاد از محل تامین آب زون گیرش و به طبع آن تغییراتی کمی که در طول مسیر حاصل می‌شود دارای میزان نیترات کم در تناسب با توسعه زون گیرش خود می‌باشد. همچنین نوع منبع تامین کننده (رودخانه یا مرز حاشیه) از نظر غلظت اولیه‌ی نیترات مهم است زیرا آب تامین شده از رودخانه به دلیل تاثیر عوامل مخرب محیطی، بیشتر از آب ورودی از مرزها دستخوش تغییرات نامطلوب می‌گردد.

ادامه جدول۳. شرایط حریم کمی و کیفی چاههای آب شرب منطقه

۱۱	رودخانه	۱۲/۳	۱۳	۲۷۶/۲۴	زون گیرش این چاه گسترش سطحی محدودی دارد و کمترین میزان پمپاژ را در بین چاه‌های آب شرب محدوده دارد.
۱۲	رودخانه	۲۳/۱		۸۹۴/۲۴	این چاه علیرغم فاصله کم از منبع تامین آب زون گیرش خود (رودخانه) بدلیل قرارگیری در حاشیه زمین‌های کشاورزی که توسعه سطحی قابل توجه دارند دارای بیشترین نیترات است. رودخانه در این قسمت دشت، آب‌های سطحی را زهکشی می‌کند که قسمتی از این آب مربوط به آب برگشتی کشاورزی است که میزان غلظت نیترات بالایی دارد.
۱۳	مرز ورودی حاشیه جنوب شرقی	۱۹/۲	۱۸-۱۹	۶۷۰/۴۶	گسترش زون گیرش در خلاف جهت شیب هیدرولیکی است و به دلیل مجاورت با مرز و دبی نسبتا پایین دارای زون گیرش کمی می‌باشد.
۱۴	مرز ورودی	۶	۱۶	۵۷۱/۸۶	از حاشیه‌ی زون گیرش این چاه به سمت محل چاه نیترات کاهش می‌یابد به طوری که نسبت به مناطق مجاور دارای کمترین غلظت می‌باشد. در این محدوده گسترش زمین‌های کشاورزی حداقل است.
۱۵	رودخانه	۱۲/۶	۱۳	۴۵۷/۹۲	جهت جریان عمومی در دشت سبب انحنا در زون گیرش این چاه شده است

نتایج:

در دشت آسپاس، بخش عمده‌ای از آب رودخانه از زهکشی آب‌های سطحی تامین می‌شود که با عبور از زمین‌های کشاورزی و اختلاط با آب برگشتی کشاورزی در طول مسیر رسیدن به رودخانه، دارای نیترات نسبتا بالایی می‌شوند، به همین دلیل چاه‌هایی که آب خود را از رودخانه می‌گیرند نسبت به چاه‌هایی که آب خود را از مرز تامین می‌کنند، غلظت بیشتری از نیترات را دارا هستند. براساس نتایج این تحقیق، چاه‌های نزدیک به مرزهای ورودی دشت آسپاس دارای غلظت نیترات کمتر از متوسط دشت و چاه‌های پایین‌دست زمین‌های کشاورزی و نسبتا دورتر از مرزهای ورودی دارای غلظت بیشتر از متوسط دشت را دارا هستند. همچنین مشخص شد که گسترش زون گیرش تابع دو عامل شیب هیدرولیکی و مرزهای تغذیه (رودخانه و مرز ورودی حاشیه) می‌باشد و زون گیرش در خلاف جهت شیب هیدرولیکی به سمت مرزهای دارای جریان(inflow) گسترش پیدا می کند و با مرزهای بدون جریان (noflow) موازی می باشد. با افزایش ۵۰ درصدی پمپاژ چاه‌ها، توسعه خطوط زون گیرش در شبیه ساز MODPATH نسبتا کم است که دلیل آن را می‌توان شکل کشیده، عرض کم دشت، جاری بودن رودخانه دائمی و همچنین جنس نسبتا درشت رسوبات تشکیل دهنده دانست. مجموع این شرایط و نتیجه حاصل از ارتباط این عوامل سبب پویایی بیشتر وضعیت آبی در محدوده و زمان ماندگاری نسبتا کم آب در این سیستم می‌شود.

منابع:

شجاعی، ع.، ۱۳۹۰، بهینه سازی روش پمپاژ و تصفیه برای پاکسازی آبهای زیرزمینی، دانشگاه شیراز، پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی.
شرکت سهامی آب منطقه ای فارس ، ۱۳۸۸، مطالعات بهنگام سازی اطلس منابع آب حوزه آبریز دریاچه های تشک – بختگان و مهارلو.
قلیزاده، ح.، ۱۳۹۱، بررسی تبادل آبهای سطحی و زیرزمینی توسط آنالیز عددی زون گیرش چاه، همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب، ۸-۹ اسفند، کرمان.
مشهدی، ل.، باغوند، ا. ۱۳۸۹، بررسی و مدلسازی آلودگی ناشی از زباله های محل دفن بر آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان امان آباد)، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی محیط زیست
Cross. J., Schiff. K., Schaefer. H., 1992, Surface runoff to the Southern California Bight. Southern California Coastal water Research Project Annual Rep, 1989-1990.
Frind. E. O., Mohammad. D.S., 2002, Delineation of three dimensional well capture zone for complex multiaquifer systems, Ground Water Journal, 40, 6, 586-598.
Golder Associates Ltd., 2001, Phase II groundwater protection study, County of Oxford, Ontario, Canada.
Harter. T., 2002, Delineating groundwater sources and protection zones, California, Department of Health Services.
Hite. D., 2006, Recycling the City: The use and reuse of urban land. Journal of Regional Science, Vol 46. 410-412.
Puchalski. G., 2009, Wellhead protection plan for the city of Barrett. Minnesota Department of Health, 2-16.
Shal. M., Vanclooster. M, 2009, Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal, Agricultural Water Management 96, 1360–1368.