

استفاده از نقشه‌های حفاظتی برای جلوگیری از آلودگی چاه‌های آب شرب

دکتر حمیدرضا ناصری

استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

مجتبی قره‌محمودلو

دانشجوی کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

یک روش جلوگیری از آلودگی چاه‌های تامین کننده آب شرب، بکارگیری نواحی حفاظتی در اطراف چاه‌ها می‌باشد. براساس اطلاعات مربوط به ۲۱ چاه تحت نظارت شرکت آب و فاضلاب ساری، حریم کیفی چاه‌های آب شرب شهر ساری تعیین شده است. براین اساس نواحی حفاظتی در تنگه لته بیشترین وسعت را دارا می‌باشد و به سمت شهر ساری به کمترین مقدار خود می‌رسد. مقدار شعاع حفاظتی، تابعی از خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان، میزان پمپاژ و زمان پایداری آلاینده می‌باشد. نتایج حاصل از ترسیم نمودار همبستگی بین پارامترهای مذکور و شعاع حفاظتی بیانگر دو مطلب است:

- ۱- برخی از پارامترها تاثیر متفاوتی بر میزان شعاع حفاظتی بالادست و پایین دست دارند.
- ۲- ضخامت اشباع شده نقش بسزایی در اندازه شعاع حفاظتی در محدوده شهر ساری داشته است. با توجه به نمودارهای همبستگی بین شعاع موثر و شعاع حفاظتی بالادست، پایین دست و عمود بر جریان، مقدار شعاع حفاظتی بصورت تقریبی برای هر چاه تعیین شده است. نتایج حاصل از بررسی های هیدروژئوشیمیایی بیانگر آن است که نواحی حفاظتی مربوط به چاه‌های تنگه لته از آلودگی کمتری برخوردار می‌باشند و به سمت مرکز شهر ساری، میزان آلودگی در نواحی حفاظتی چاه‌های آب شرب افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: حریم کیفی، نواحی حفاظتی، شعاع حفاظتی.

مقدمه

آب زیرزمینی همواره به وسیله عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی در معرض آلودگی می‌باشد. از آنجایی که آلودگی آب زیرزمینی پویا می‌باشد و فرآیندهای بهبود آن سخت و پرهزینه است، حفاظت از آن یک امر مهم و حیاتی می‌باشد. یکی از استراتژی‌ها در حفاظت آب‌های زیرزمینی، تعیین نواحی حفاظتی برای چاه‌های آب شرب می‌باشد. برای تعیین نواحی حفاظتی لازم است که اطلاعات کاملی از خصوصیات آبخوان (لیتولوژی، هیدروژئولوژی، هیدروژئوشیمی و آسیب‌پذیری) و میزان دبی بهره‌برداری چاه‌ها در دست باشد. بایستی برای هر چاه به ترتیب سه ناحیه داخلی (Inner zone)، میانی (Intermediate zone) و بیرونی (Outer zone) مشخص شود. ناحیه داخلی ناحیه‌ای اطراف چاه می‌باشد که اندازه آن به نوع آبخوان بستگی دارد. ناحیه میانی که ناحیه داخلی را احاطه می‌کند، به نرخ پمپاژ و نوع آبخوان وابسته می‌باشد. ناحیه حفاظتی بیرونی ناحیه میانی را احاطه می‌کند، در این راستا محاسبه بهینه و دقیق نواحی حفاظتی با استفاده از مبانی علمی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. زیرا محاسبه و اعمال حریم کوچکتر خطر آلودگی آب چاه را افزایش می‌دهد و حریم بزرگتر اتلاف سرمایه را به دنبال خواهد داشت (Ferreira, 2001).

روش کار

به منظور محاسبه حریم چاه‌های آب شرب شهر ساری ابتدا وضعیت زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان مورد بررسی قرار گرفته است. در بررسی هیدروژئولوژی مراحل زیر انجام شده است.

۱- ترسیم نقشه هم پتانسیل جریان آب زیرزمینی به منظور مشخص نمودن جهت کلی جریان و میزان شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی

۲- ترسیم نقشه هم هدایت هیدرولیکی آبخوان با استفاده از نتایج لوژان و لفران در آبخوان

۳- ترسیم نقشه هم ضخامت اشباع آبخوان (b) با بررسی لوگ چاه‌های آب شرب

۴- تعیین تخلخل موثر آبخوان با استفاده از روش‌های حجمی - وزنی

۵- اندازه‌گیری میزان دبی بهره‌برداری چاه‌های آب شرب

به منظور بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان مورد مطالعه دو نوبت نمونه‌برداری در طی آذرماه ۱۳۸۲ و فروردین ماه ۱۳۸۳ از چاه‌های آب شرب ساری (شکل ۱) بعمل آمده است، که نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های فروردین ماه ۱۳۸۳ در جدول ۱ ارائه شده است. برای مشخص نمودن نحوه پراکنش یون‌ها در زون‌های حفاظتی نقشه‌های هم‌میزان یون‌های اصلی ترسیم شده است (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵).

برای تعیین حریم کیفی چاه‌های آب شرب موارد زیر انجام شده است.

۱- محاسبه فواصل حفاظتی هر چاه به صورت جداگانه با استفاده از روش‌های تغییر یافته CFR (Calculated Fixed Radius) و تحلیلی (جدول ۲)

۲- رسم نقشه تغییرات میزان فواصل حفاظتی بالادست جریان، پایین‌دست جریان و عمود بر مسیر جریان (شکل‌های ۶، ۷ و ۸)

۳- ترسیم نقشه زون‌های حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری (شکل ۸)

۴- تهیه نقشه‌های حفاظتی برای فواصل بالادست جریان، پایین‌دست جریان و عمود بر مسیر جریان با دبی ثابت برای محدوده شهر ساری (شکل‌های ۱۰ و ۱۱)

- ۵- بررسی نمودارهای همبستگی پارامترهای فیزیکی مورد نیاز و شعاع حفاظتی (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴)
 ۶- بررسی نمودارهای همبستگی بین شعاع موثر و شعاع حفاظتی (شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷)
 ۷- بررسی تغییر غلظت یون‌ها در زون‌های حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی چاه‌های آب شرب شهر ساری
 (یون‌های اصلی و هدایت الکتریکی برحسب meq/l و $\mu mhos/cm$)

Well	X	Y	TDS(mg/l)	Ec	pH	Cl	CO3	Hco3	So4	Mg	Ca	Na	S.A.R
1	685248	4045899	540	1150	7.53	3.2	0	7.4	1.2	4.1	5.3	2.5	1.15
2	685416	4045229	408	869	7.66	1.8	0	6.3	0.8	1.4	5.8	1.7	0.89
4	685551	4045265	392	835	7.59	1.2	0	6.5	1.6	3.7	4.7	1.2	0.58
5(2)	685836	4046593	444	945	7.51	1.7	0	7.2	1.9	4.6	4.8	1.4	0.064
5(3)	685560	4046611	672	1429	7.54	7.2	0	6.3		3.7	5.3	4.4	2.07
6	685453	4046067	920	1957	7.45	11.7	0	6.7		4.8	5.8	7.7	3.34
7	684837	4046639	657	1397	7.37	6	0	7.2	0.5	3.9	5.8	4	1.81
9	686006	4046060	386	822	7.59	1.4	0	6.4	1.1	3.2	4.5	1.2	0.61
11	686557	4045988	368	784	7.65	1.3	0	6.2	1.1	3.1	4.3	1.2	0.62
12	686611	4046317	375	797	7.58	1.6	0	6.3	0.4	1.8	5.1	1.4	0.75
3	685595	4044667	347	739	7.64	1.2	0	5.9	0.3	1.9	4.4	1.1	0.61
15	686950	4048350	377	802	7.59	1.5	0	6.1	0.3	1.1	5.5	1.3	0.71
18	683588	4047155	552	1175	7.45	4.1	0	7		1.2	5.8	3.1	1.55
3(t)	687274	4040718	366	779	7.31	1	0	6.3	1.5	2.3	5.6	1.2	0.6
4(t)	687431	4040293	361	769	7.35	1.1	0	6.3	0.8	2.3	5	1.1	0.57
10	682519	4046023	480	1022	7.23	2.7	0	7.1	1	2.7	6.1	2.2	1.04
16	684953	4049793	535	1142	7.24	2.9	0	7.8	1.1	3.3	6.7	2.1	0.94
17	683660	4047486	563	1196	7.15	3.5	0	7.8	1.2	3.3	6.6	2.6	1.2

بحث

۱- زمین شناسی

نهمین نسل‌های آبرفتی دشت ساری که آبخوان منطقه را تشکیل می‌دهند، متأثر از زمین‌شناسی حوضه آبریز بویژه سازندهای زمین‌شناسی حاشیه دشت، فرسایش و رسوبگذاری رودخانه تجن می‌باشد. آبخوان دشت ساری به شکل کاسه‌ای می‌باشد که گودی آن در مرکز دشت واقع شده است و به سمت شمال و جنوب از ضخامت آن کاسته می‌شود. تغییرات ضخامت آبخوان در محدوده شهر ساری براساس نقشه‌های هم‌عمق و مقاطع ژئوالکتریک از ۳۰ متر در تنگه لته تا ۲۵۰ متر در شمال شهر ساری می‌باشد (کمپانی ژئوفیزیک، ۱۳۴۸).

۲- هیدروژئولوژی

بیشترین تراز پیزومتری در نواحی جنوبی دشت است که به طرف شمال منطقه مقدار آن کاهش می‌یابد. همچنین میزان شیب هیدرولیکی در محدوده مورد مطالعه از ۶ در هزار در تنگه لته تا ۵ در هزار در محدوده شهر ساری تغییر می‌کند. جهت کلی جریان آب زیرزمینی به سوی شمال غرب می‌باشد. نتایج آزمون‌های پمپاژ نشان دهنده همخوانی تغییرات قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان می‌باشد.

۳- هیدروژئوشیمی

غلظت بیشتر یون‌های اصلی در جهت جریان افزایش یافته است. اما آنومالی‌هایی نیز در اکثر موارد در چاه شماره ۶ و برخی موارد در چاه ۷ مشاهده شده است. به طوریکه قابلیت هدایت الکتریکی، سولفات، کلر و نیترات در چاه شماره ۶ بیشترین میزان را دارا می‌باشد. نفوذ پساب‌های شهری و چاه‌های جذبی باعث افزایش یون‌ها در چاه‌های مذکور شده است.

۴- حریم کیفی

نواحی حفاظتی محدوده اطراف چاه‌ها می‌باشند که در آن‌ها آلاینده قبل از ورود به چاه از بین می‌رود. زون‌های حفاظتی معمولاً شامل سه قسمت داخلی، میانی و بیرونی می‌باشند که هر قسمت نیز براساس زمان

رسیدن آلاینده به چاه تقسیم بندی می شود (Ferreia, 2001).

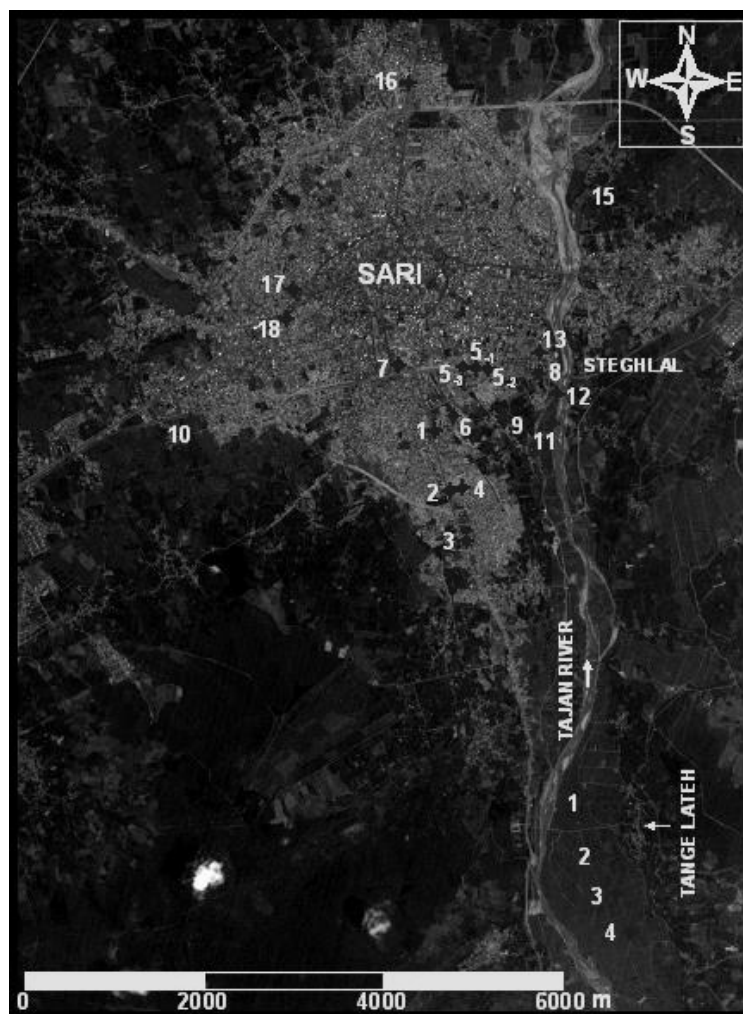
الف- ناحیه داخلی:

میزان شعاع این زون برای هر آبخوان مقدار ثابتی است و بین ۲۰ تا ۶۰ متر متغیر می باشد. در منطقه ساری با توجه به درشت بودن مواد متشکله آبخوان این زون ۴۰ متر در نظر گرفته شده است.

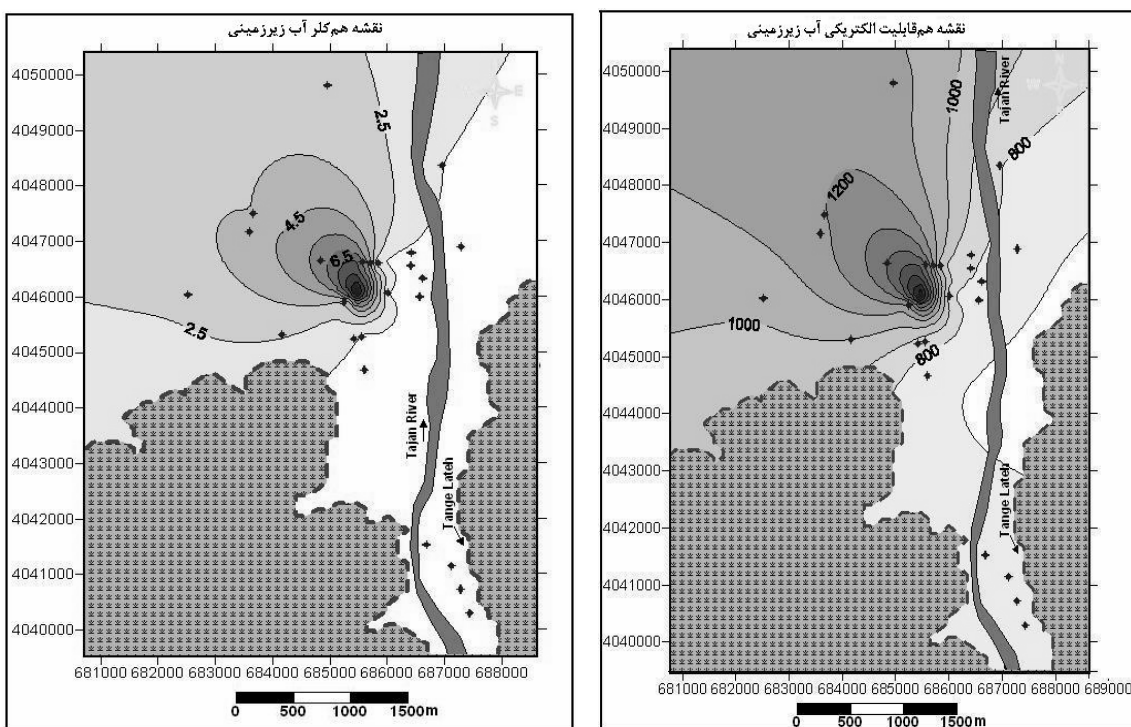
ب- ناحیه میانی:

این زون براساس زمان تاخیر ۶۰ روز تعیین می شود (زمان تاخیر ۶۰ روز به این معنی است که ۶۰ روز طول می کشد تا ویروس یا باکتری رها شده در مدت زمان قبل از مردن از نقطه در اطراف چاه به چاه برسد). مطالعات نشان داده اند که ویروس ها در آب چاه دارای عمر طولانی تری نسبت به آب های سطحی اند. ۰/۱ درصد ویروس های Polivirus، Heptaitisrius و Enterororius می توانند بیش از ۱۴۰ روز در آب زنده بمانند در صورتی که مدت زمان زنده ماندن E.Coli که مهمترین فاکتور بیماریزایی به طریق آب آشامیدنی می باشد، ۵۰ تا ۶۰ روز است. میزان شعاع حفاظتی در این زون بین ۳۵۰ تا ۲۴۰۰ متر می باشد.

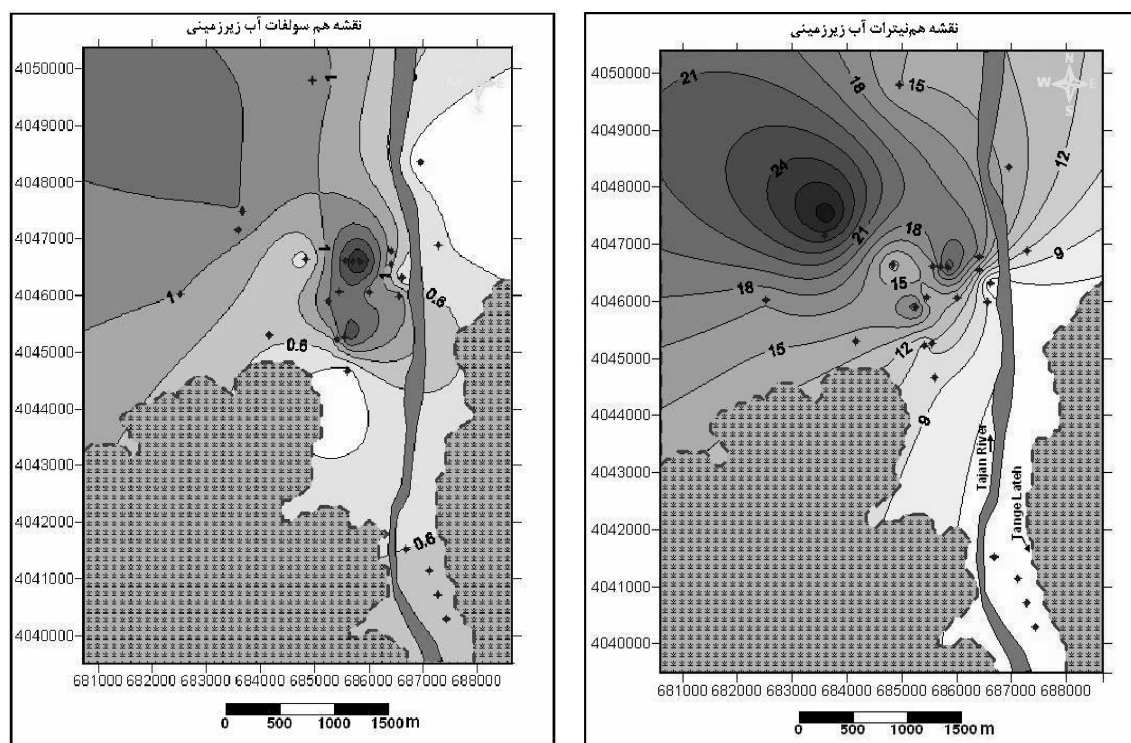
از جمله روش های مورد استفاده برای تعیین حریم عبارتند از:



شکل ۱: نقشه موقعیت چاههای آب شرب شهر ساری



شکل ۲: تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی آب زیرزمینی آبخوان ساری شکل ۳: تغییرات کلر آب زیرزمینی آبخوان ساری



شکل ۵: تغییرات سولفات آب زیرزمینی آبخوان ساری

شکل ۴: تغییرات نیترات آب زیرزمینی آبخوان ساری

۱- روش استوانه‌ای (Cylinder Method) یا روش شعاع ثابت محاسبه شده (Calculated Fixed Radius)

۲- روش تحلیلی (Analytical Method)

۳- روش مدل عددی جریان - انتقال (Transport Method/NumericalFlow)

ناحیه حفاظتی در زمان ۶۰ روز بسته به نوع گرادیان هیدرولیکی بیضوی و یا دایره‌ای شکل می‌باشد. به‌طوریکه در گرادیان‌های بالا بیضوی و در گرادیان‌های خیلی کوچک دایره شکل است. بیضوی حفاظتی دارای سه فاصله بالادست جریان، پایین دست جریان و عمود بر مسیر جریان می‌باشد. هریک از این فواصل بسته به نوع روش بکار گرفته شده قابل محاسبه است. در روش تحلیلی که برای شهر ساری مورد استفاده قرار گرفته است برای تک‌تک فواصل روابط جداگانه‌ای براساس پارامترهای هیدروژئولوژیک و دبی پمپاژ وجود دارد. معادلاتی که در این روش برای محاسبه شعاع حفاظتی بالا دست، پایین دست و عمود بر مسیر جریان مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از (Ferreira, 2001):

- شعاع حفاظتی بالادست (r_u)

$$r_u = (0.00002 X^5 + 0.0009 X^4 + 0.015 X^3 + 0.37 X^2 + X) / f \quad (1)$$

$$X = \sqrt{\frac{2 ft}{A}}$$

$$f = \frac{2 \pi kbi}{Q}$$

$$A = \frac{n}{ki}$$

Q = دبی پمپاژ (مترمکعب بر روز)

k = هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)

b = ضخامت اشباع شده چاه (متر)

i = شیب هیدرولیکی

t = زمان تاخیر ۶۰ روز (روز)

n = تخلخل

- شعاع حفاظتی پایین دست (r_d)

$$r_d = (0.042 X^3 + 0.37 X^2 + 1.04 X) / f \quad (2)$$

- شعاع حفاظتی عمود بر مسیر جریان (r_p)

$$r_p = \sqrt{\frac{Qt}{3.14 n . b}} \quad (3)$$

ساده‌ترین روش تعیین حریم کیفی، روش استوانه‌ای می‌باشد. برای محاسبه حریم کیفی چاه‌های آب شرب شهر ساری از روش تغییر یافته استوانه‌ای استفاده شده است. در این روش، اگر منبع آلودگی در بالادست جریان باشد، محاسبه شعاع بالادست براساس رابطه زیر خواهد بود (EPA, 1994).

$$r_u = \sqrt{\frac{Q \cdot t_{60}}{\pi \cdot b \cdot n_e}} + \left(\frac{ki}{n_e}\right) t_{60} \quad (4)$$

Q = دبی (مترمکعب بر ثانیه)

t_{60} = زمان ۶۰ روز (بر حسب ثانیه)

b = ضخامت اشباع شده چاه (بر حسب متر)

k = هدایت هیدرولیکی (متر بر ثانیه)

n_e = تخلخل موثر

i = شیب هیدرولیکی

اما اگر منبع آلودگی در پایین دست جریان باشد، شعاع حفاظتی پایین دست طبق فرمول زیر محاسبه خواهد شد (EPA, 1994).

$$r_d = \sqrt{\frac{Q \cdot t_{60}}{\pi \cdot b \cdot n_e}} - \left(\frac{ki}{n_e}\right) t_{60} \quad (5)$$

با استفاده از روش استوانه‌ای تغییر یافته، مقدار شعاع حفاظتی برای چاه‌های آب شرب شهر ساری محاسبه شده است (جدول ۲). با توجه به نقشه شعاع حفاظتی محدوده مورد مطالعه (شکل های ۶، ۷ و ۸) بیشترین شعاع حفاظتی، مربوط به چاه‌های تنگه لته می‌باشد. فواصل حفاظتی محاسبه شده را به دو طریق می‌توان نمایش داد (Ferreira, 2001).

جدول ۲: مقادیر شعاع حفاظتی محاسبه شده چاه‌های آب شرب شهر ساری (روش تغییر یافته CFR)

Well	X	Y	r_u	r_d	r_p	r_{3500}
1	685248	4045899	114.5	92.2	103.4	1437.7
2	685416	4045229	102.6	77.3	90.0	1423.1
4	685551	4045265	90.0	108.9	121.6	1670.2
5(2)	685836	4046593	61.9	41.9	51.9	979.2
5(3)	685560	4046611	67.1	47.6	57.4	1004.2
6	685453	4046067	83.7	62.0	72.9	1188.3
7	684837	4046639	84.4	65.3	74.9	1126.5
8	686406	4046548	75.7	54.5	65.1	1114.4
9	686006	4046060	93.5	70.8	82.1	1289.6
10	682519	4046023	106.4	85.3	95.8	1349.2
11	686557	4045988	86.6	62.2	74.4	1281.5
12	686611	4046317	109.9	87.2	98.5	1412.3
13	686415	4046780	56.7	36.6	46.7	942.5
15	686950	4048350	61.0	48.6	54.8	779.0
16	684953	4049793	69.4	60.6	65.0	755.2
17	683660	4047486	70.7	56.5	63.6	899.5
18	683588	4047155	66.1	51.3	58.7	881.7
1(t)	686681	4041522	75.4	38.4	56.9	1513.0
2(t)	687115	4041143	108.6	68.7	88.7	1841.2
3(t)	687274	4040718	150.6	110.5	130.5	2166.8
4(t)	687431	4040293	173.7	133.4	153.6	2348.9

3500 t: شعاع حفاظتی ناحیه بیرونی با زمان تاخیر ۳۵۰۰ روز

۱- ترسیم شعاع‌های حفاظتی بصورت بیضوی برای هر چاه در نقشه مبنا (شکل ۹)
 ۲- تهیه نقشه‌های مربوط به شعاع‌های حفاظتی بالادست، پایین دست و عمود بر جریان ناحیه حفاظتی کمتر از ۶۰ روز به شکل دایره یا بیضی کامل می‌باشد. بنابراین برای تخمین دقیق‌تری از شکل نواحی حفاظتی لازم است تا شکل‌های رسم شده تصحیح شوند. با علم به اینکه ناحیه حفاظتی در بالادست جریان وسعت بیشتری دارد، بنابراین بیشترین عرض بیضوی در مرکز آن نمی‌باشد، بلکه در بالادست جریان است (Jesus, 2001).

بر اساس نقشه‌های هم‌شعاع حفاظتی می‌توان با توجه به مکان حفر چاه، میزان شعاع حفاظتی را به دست آورد. لازم به ذکر است که نقشه‌های مربوطه بر اساس مقدار معینی از دبی تهیه می‌شوند. اگر میزان برداشت بیشتر و یا کمتر از مقدار تعیین شده باشد، نمی‌توان از این نقشه‌ها استفاده کرد. برای دبی‌های حد واسط از درون یابی دو نقشه با دبی بالاتر و پایین‌تر استفاده می‌شود. برای محدوده شهر ساری نقشه‌های هم‌شعاع حفاظتی برای دبی‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ لیتر بر ثانیه تهیه شده است که چند نمونه از این نقشه‌ها در شکل‌های ۱۱ و ۱۰ ارائه شده‌اند. با توجه به نقشه‌های ترسیم شده بدلیل تاثیر پارامترهای فیزیکی (بالا بودن میزان دبی، شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی) میزان شعاع حفاظتی در منطقه تنگه‌لته بیشترین مقدار را دارا می‌باشد و به طرف شهر ساری از مقدار آن کاسته می‌شود. بنابراین زون حفاظتی در تنگه لته، محدوده بیشتری را شامل می‌شود.

ناحیه بیرونی:

این محدوده بر اساس زمان تاخیر ۳۵۰۰ روز (۱۰ سال) مشخص می‌شود. شعاع حفاظتی در این زون بین ۳۵۰ تا ۲۴۰۰ متر می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴).

با استفاده از روش تغییر یافته، مقدار شعاع حفاظتی بیرونی برای چاه‌های آب شرب شهر ساری محاسبه شده است (جدول ۲). روند تغییرات این زون مشابه زون میانی می‌باشد. به‌طوریکه در چاه‌های جنوبی بیشترین مقدار می‌باشد و به سمت شمال ساری از مقدار آن کاسته می‌شود.

۵- ارزیابی تاثیر پارامترهای فیزیکی بر شعاع حفاظتی

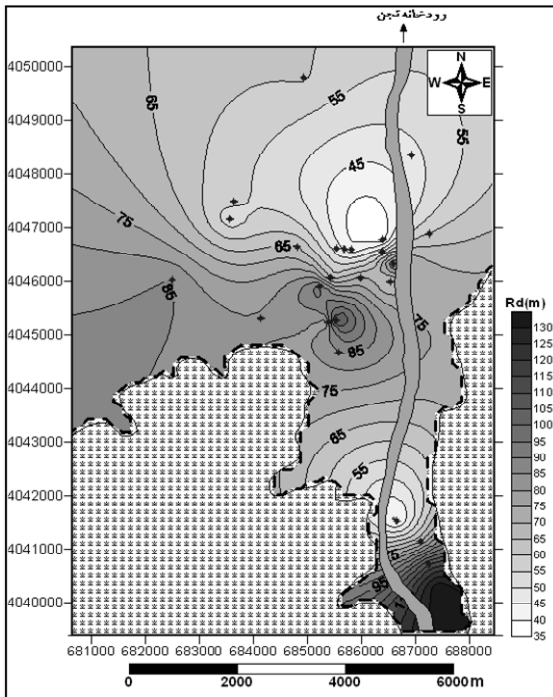
به‌منظور ارزیابی تاثیر پارامترهای فیزیکی بر شعاع حفاظتی رابطه همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شعاع حفاظتی مورد بررسی قرار گرفت. نمودارهای مربوطه با استفاده از آمار و اطلاعات مربوط به چاه‌ها و مقادیر محاسبه شده شعاع حفاظتی ترسیم گردیده است (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴) که نتایج آن به‌صورت زیر می‌باشد.

هدایت هیدرولیکی:

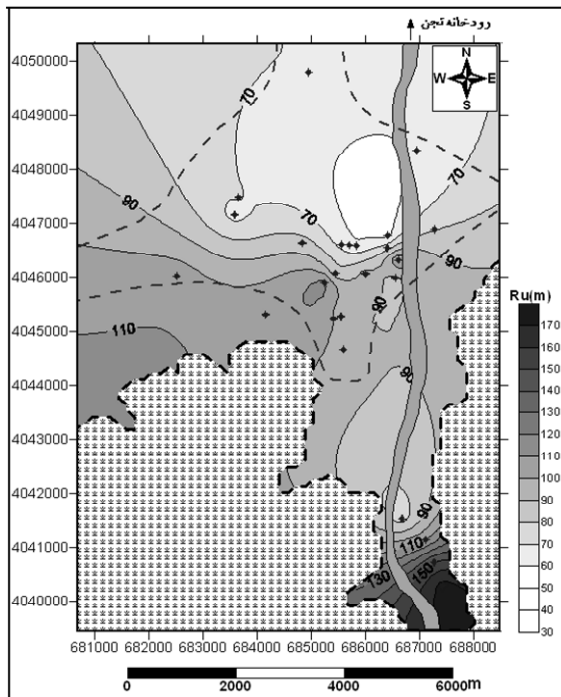
بین هدایت هیدرولیکی و شعاع حفاظتی بالادست یک رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوریکه با افزایش هدایت هیدرولیکی شعاع حفاظتی بالادست افزایش می‌یابد. اما با افزایش هدایت هیدرولیکی شعاع حفاظتی پایین دست کاهش می‌یابد (شکل ۱۲).

ضخامت اشباع شده آبخوان

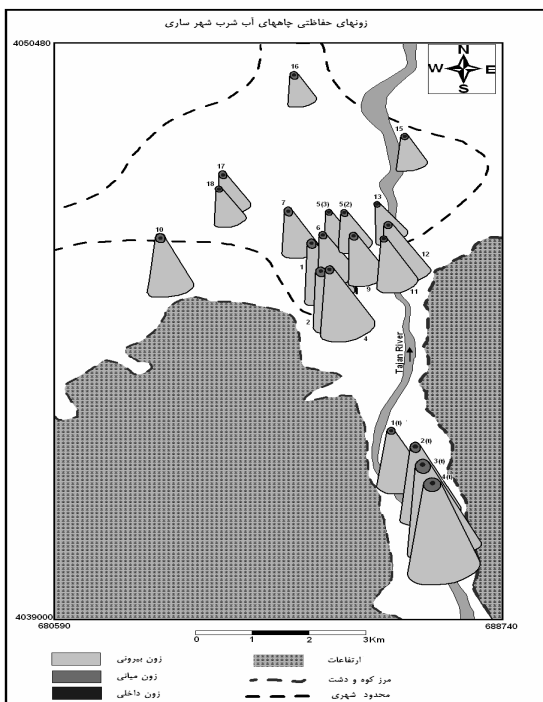
ضخامت اشباع شده آبخوان بر میزان شعاع حفاظتی تاثیر معکوس دارد. به‌طوریکه با افزایش ضخامت زون اشباع، شعاع حفاظتی کاهش می‌یابد. در نتیجه حریم حفاظتی اطراف چاه‌ها کوچکتر می‌شود. با توجه به میزان همبستگی نقاط بنظر می‌رسد که ضخامت اشباع شده چاه بیشترین تاثیر را بر میزان شعاع‌های حفاظتی چاه‌های منطقه داشته است (شکل ۱۳).



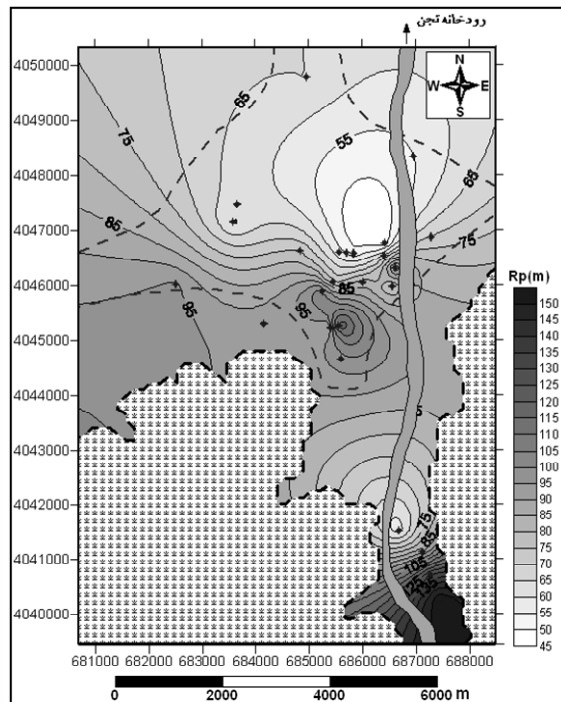
شکل ۷: تغییرات شعاع حفاظتی پایین دست چاههای آب شرب شهر ساری



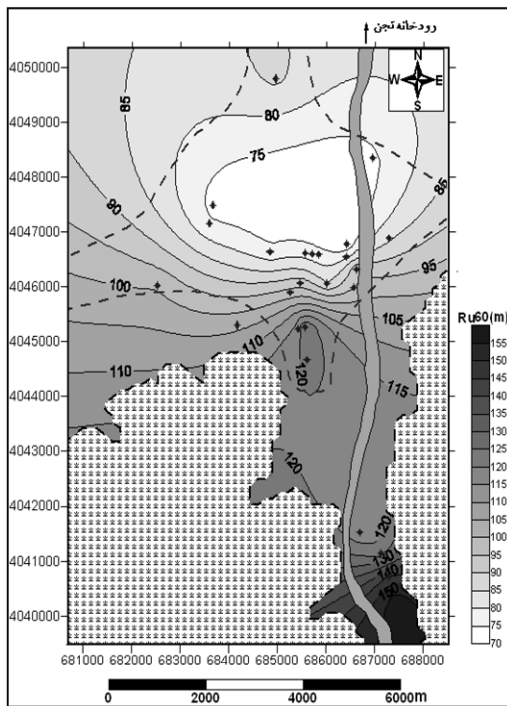
شکل ۶: تغییرات شعاع حفاظتی بالادست چاههای آب شرب شهر ساری



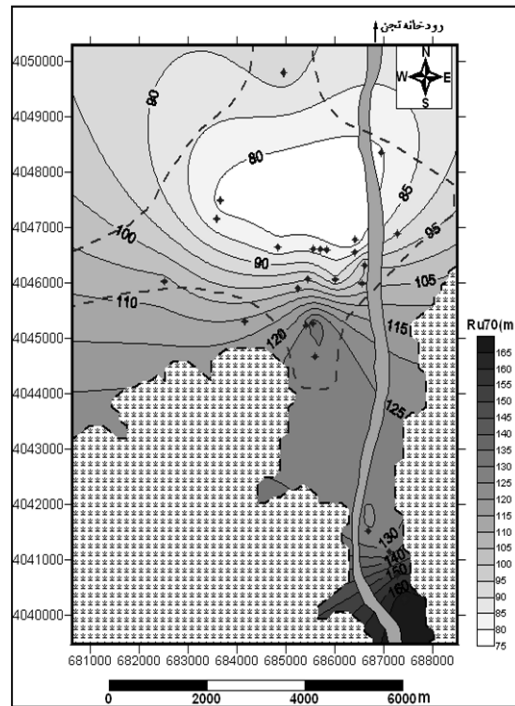
شکل ۹: نواحی حفاظتی چاههای آب شرب شهر ساری



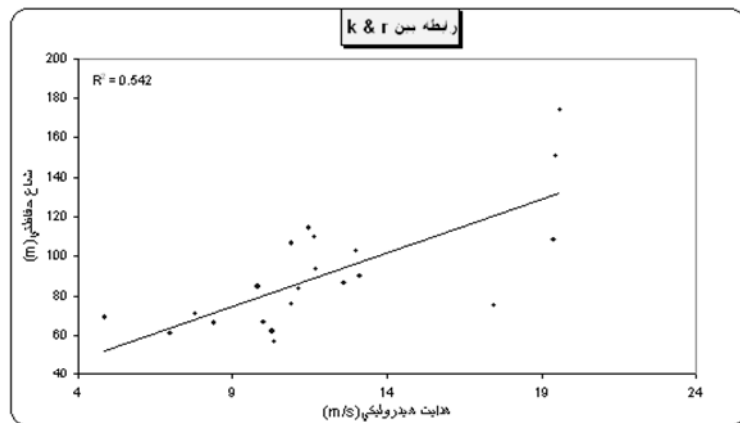
شکل ۸: تغییرات شعاع حفاظتی عمود بر مسیر جریان چاههای آب شرب شهر ساری



شکل ۱: تغییرات شعاع حفاظتی بالادست چاههای آب شرب شهر ساری (دبی ثابت ۶۰ لیتر بر ثانیه)



شکل ۱۰: تغییرات شعاع حفاظتی بالادست چاههای آب شرب شهر ساری (دبی ثابت ۷۰ لیتر بر ثانیه)



شکل ۱۲: نمودار همبستگی بین هدایت هیدرولیکی و شعاع حفاظتی بالادست جریان

تخلخل موثر

تخلخل موثر بر شعاع حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری تاثیر معکوس دارد. به‌طوریکه با افزایش مقدار تخلخل موثر شعاع حفاظتی کاهش می‌یابد.

شیب هیدرولیکی

عملکرد شیب هیدرولیکی بر روی شعاع حفاظتی بالا و پایین دست متفاوت می‌باشد. در شعاع حفاظتی بالادست، جریان با افزایش شیب هیدرولیکی میزان شعاع حفاظتی بالادست افزایش و میزان شعاع حفاظتی پایین دست کاهش می‌یابد و این خود عاملی بر نامتقارن بودن ناحیه حفاظتی است و زمانی که شیب هیدرولیکی به صفر نزدیک می‌شود، حریم حفاظتی به شکل دایره نزدیک‌تر می‌شود.

دبی

یکی دیگر از پارامترها که نقش مهمی در میزان شعاع حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری داشته، دبی برداشت چاه‌ها می‌باشد. به‌طوریکه با افزایش این پارامتر، شعاع حفاظتی بالادست، پایین دست و عمود بر مسیر جریان افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).

زمان

از دیگر پارامترهای موثر در تعیین حریم، زمان مورد نیاز برای رسیدن آلاینده به چاه می‌باشد. این پارامتر نیز عملکرد متفاوتی بر روی شعاع حفاظتی بالادست و پایین دست جریان دارد. با افزایش زمان، مقدار شعاع حفاظتی بالادست افزایش و مقدار شعاع حفاظتی پایین دست کاهش می‌یابد.

۶- رابطه بین شعاع موثر و شعاع حفاظتی

بر اثر پمپاژ منطقه‌ای مخروطی شکل در اطراف چاه تشکیل می‌شود که مخروط افت می‌نامند و شعاع تاثیر منطقه‌ای است که سطح مخروط افت با سطح ایستابی اولیه مماس می‌گردد. نرخ پمپاژ و میزان نفوذ دو پارامتر موثر در مقدار شعاع تاثیر می‌باشند. بمنظور بررسی رابطه بین شعاع‌های حفاظتی و شعاع تاثیر چاه‌های آب شرب شهر ساری، ابتدا با استفاده از رابطه ۶ مقدار شعاع تاثیر برای برخی از چاه‌های آب شرب شهر ساری محاسبه شده است (جدول ۳).

$$R_e = 3000S\sqrt{K} \quad (۶)$$

R_e = شعاع تاثیر (متر)

S = مقدار افت سطح آب چاه بر اثر پمپاژ (متر)

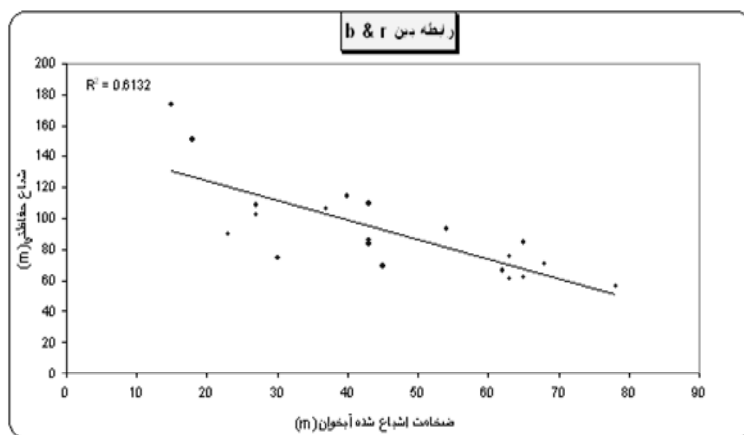
K = هدایت هیدرولیکی (متر بر ثانیه)

سپس نمودارهای همبستگی بین شعاع‌های حفاظتی بالادست، پایین دست و عمود بر مسیر جریان و شعاع موثر چاه‌های آب شرب شهر ساری ترسیم شده است (شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷). در نهایت با توجه به نمودارهای مربوطه، روابط زیر برای شعاع‌های حفاظتی به دست آمد.

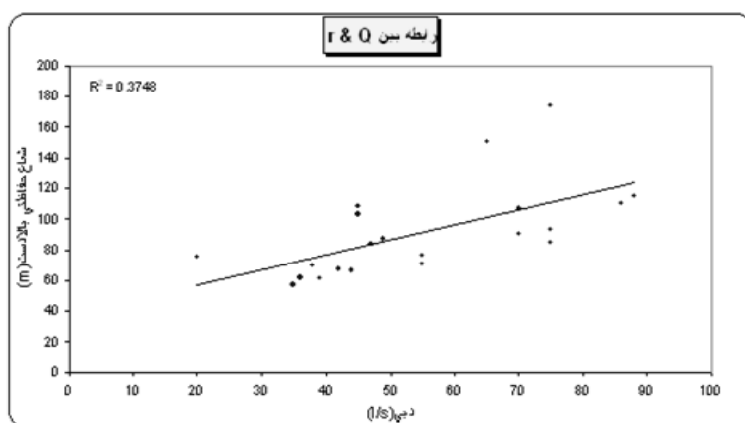
- شعاع حفاظتی بالادست

$$R_u = 0.067 R_e + 63.37 \quad (۷)$$

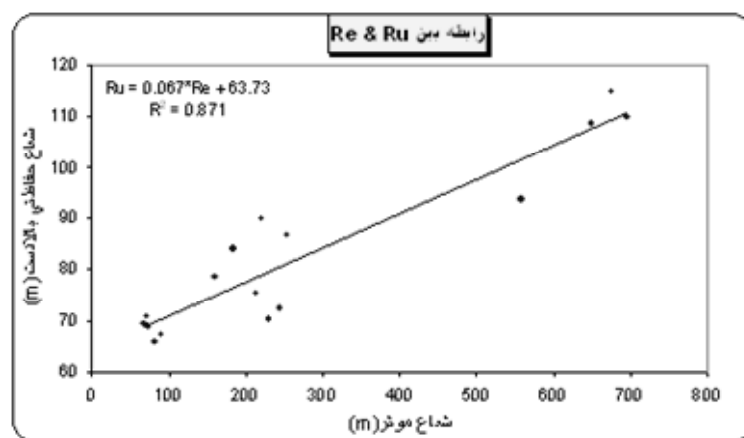
- شعاع حفاظتی پایین دست



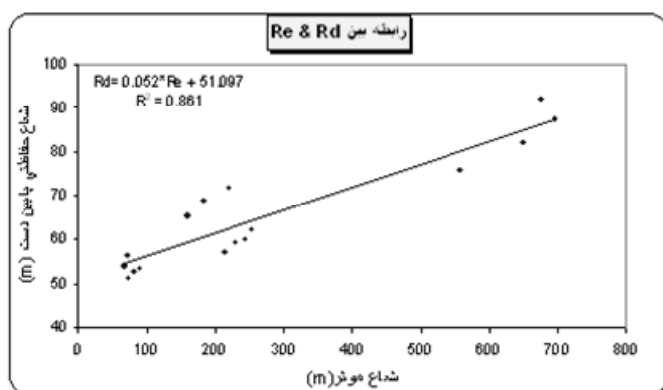
شکل ۱۳: نمودار همبستگی بین ضخامت اشعاع شده آبخوان و شعاع حفاظتی بالادست جریان



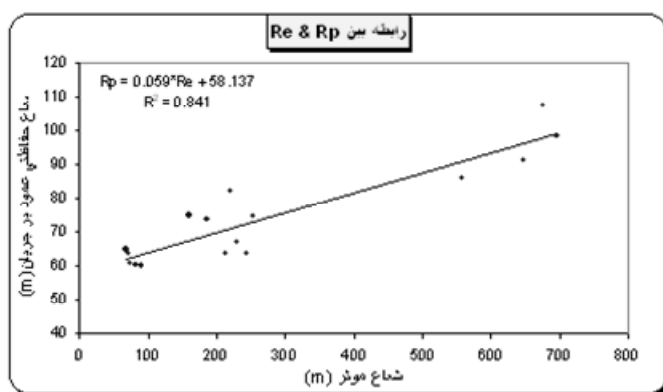
شکل ۱۴: نمودار همبستگی بین دبی بهره‌برداری و شعاع حفاظتی بالادست جریان



شکل ۱۵: نمودار همبستگی بین شعاع موثر و شعاع حفاظتی بالادست



شکل ۱۶: نمودار همبستگی بین شعاع موثر و شعاع حفاظتی پایین دست



شکل ۱۷: نمودار همبستگی بین شعاع موثر و شعاع حفاظتی عمود بر جریان

$$R_d = 0.052R_e + 51.09 \quad (۸)$$

- شعاع حفاظتی عمود بر جریان

$$R_p = 0.059R_e + 58.14 \quad (۹)$$

با توجه به روابط مذکور با داشتن شعاع تاثیر هر چاه می‌توان مقدار هر یک از شعاع‌های حفاظتی را محاسبه نمود.

۷- تغییرات میزان غلظت یون‌ها در نواحی حفاظتی

به منظور بررسی تغییر غلظت کلر، نیترات، سولفات و تغییرات هدایت الکتریکی در نواحی حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری از نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی مربوطه و نقشه نواحی حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری (شکل ۹) استفاده شده است. نتایج حاصله به شرح ذیل می‌باشد.

جدول ۳: مقادیر شعاع موثر چاه‌های آب شرب شهر ساری

Well	Re(m)	Well	Re(m)
4	184.7	13	229.8
5(2)	81.9	15	243.0
5(3)	89.0	16	67.6
7	159.8	17	71.3
9	558.6	18	74.0
10	219.0	1(t)	213.2
11	253.6	2(t)	649.0
12	696.7	3(t)	676.0

- قابلیت هدایت الکتریکی:

میزان قابلیت هدایت الکتریکی در نواحی حفاظتی مربوط به چاه‌های جنوبی و جنوب شرق ساری در حد مطلوب می‌باشد. بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی در زون داخلی چاه شماره ۶ به میزان بیش از ۱۸۰۰ میکرومومس بر سانتی‌متر می‌باشد و کمترین مقدار آن مربوط به چاه‌های تنگه‌لته می‌باشد (کمتر از ۸۰۰ میکرومومس بر لیتر).

روند کاهشی قابلیت هدایت الکتریکی به سمت زون بیرونی در بیشتر چاه‌های آب شرب شهر ساری دیده می‌شود. اما در چاه‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸، تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی به سمت زون بیرونی افزایش می‌یابد. بدین ترتیب با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی، احتمال بالا رفتن قابلیت هدایت الکتریکی در آینده نزدیک در چاه‌های مذکور وجود دارد.

- کلر:

روند تغییرات کلر مشابه هدایت الکتریکی در چاه‌های آب شرب شهر ساری می‌باشد. از آنجایی که این پارامتر رابطه مستقیمی با هدایت الکتریکی دارد و با توجه به همبستگی بالا بین کلر و هدایت الکتریکی که در حدود ۰/۹۰۵ می‌باشد، این امر بدیهی است. نحوه پراکنش کلر در زون‌های حفاظتی نیز مشابه هدایت الکتریکی می‌باشد. به‌طوریکه در مرکز شهر بیشترین و در جنوب و جنوب شرقی کمترین مقدار میزان کلر وجود دارد. چاه شماره ۶ با بیش از ۵/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، بیشترین مقدار و چاه‌ها جنوبی به‌خصوص چاه‌های تنگه‌لته با ۵/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کمترین مقدار کلر را دارا می‌باشند. به‌جز چاه‌های (۲)، ۵، ۷، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ غلظت یون کلر از زون داخلی به سمت زون بیرونی کاهش می‌یابد. اما در چاه‌های مذکور، غلظت یون کلر از مرکز به سمت بیرون افزایش می‌یابد.

- نیترات:

با توجه به نحوه پراکنش نیترات در زون‌های چاه‌های آب شرب شهر ساری بیشترین میزان نیترات در زون داخلی چاه شماره ۱۷ به بیش از ۲۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر و کمترین میزان نیترات مربوط به چاه‌های تنگه‌لته کمتر از ۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. در بیشتر چاه‌های آب شرب شهر ساری، میزان غلظت نیترات از زون داخلی به سمت زون بیرونی در حال کاهش می‌باشد. به‌جز چاه‌های شماره ۷ و ۱۶ که روند تغییرات عکس می‌باشد و به سمت بیرون، مقدار یون نیترات در حال افزایش می‌باشد.

- سولفات:

به منظور بررسی نحوه پراکنش غلظت یون سولفات از نقشه هم‌سولفات آب زیرزمینی (شکل ۵) و نقشه زون‌های حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری استفاده شده است. با توجه به نقشه هم‌سولفات آب زیرزمینی بیشترین غلظت سولفات در زون داخلی چاه‌های (۲) ۵ و ۴ به ترتیب به میزان ۸/۱ و ۴/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد و کمترین میزان غلظت یون سولفات مربوط به زون داخلی چاه شماره ۱۵ است. در بیشتر موارد غلظت زون سولفات از زون داخلی به سمت بیرون کاهش می‌یابد. بیشترین تغییر در غلظت یون سولفات در چاه (۲) ۵ وجود دارد. به طوریکه از ۱/۸ تا ۱/۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر می‌باشد. کمترین تغییرات در میزان غلظت یون سولفات مربوط به چاه‌های تنگ‌لته می‌باشد که دامنه تغییرات کمتر از ۰/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

نتیجه‌گیری

- ۱- نواحی حفاظتی چاه‌ها در تنگ‌لته بیشترین وسعت را دارا می‌باشد و به سمت شهر ساری (چاه ۱۶) به کمترین مقدار خود می‌رسد.
- ۲- زون‌های حفاظتی مربوط به چاه‌های تنگ‌لته از آلودگی کمتری برخوردار می‌باشند و به سمت مرکز شهر میزان آلودگی در زون‌های حفاظتی افزایش می‌یابد.
- ۳- ضخامت اشباع شده چاه، بیشترین تاثیر را در وسعت زون‌های حفاظتی چاه‌های آب شرب شهر ساری داشته است.
- ۴- رعایت نکردن حریم بهداشتی و نفوذ پساب‌های شهری از جمله عوامل موثر در آلودگی چاه‌های آب شرب شهر ساری می‌باشد.

منابع:

- ۱- کمپانی ژنرال ژئوفیزیک، ۱۳۴۸، "مطالعات ژئوفیزیک منطقه بهشهر-نکا"
- 2-Ferreira, L., 2001, "A methodology for delineation wellhead protection area", <http://.google.com>.
- 3-Jesus, M., 2001, "Groundwater Protection for Public Water-Supply in Portugal", Environmental and Land Management Ministry.
- 4-United State Environmental Protection Agency, 1994, Groundwater and Wellhead protection, EPA/625/R-94/001.