

تحلیل شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی و کیفیت آب آبیاری و شرب منابع آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی

قاسم رجایی^{1*}، فاطمه حاجی‌زاده²، عبدالرسول سلمان ماهینی³، علیرضا پورخباز⁴

1 دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، باشگاه پژوهشگران جوان، گرگان

2 دانش آموخته گروه محیط زیست دانشگاه بیرجند

3 دانشیار گروه محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

4 استادیار گروه محیط‌زیست دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: 1390/8/8؛ تاریخ تصویب: 1390/12/22)

چکیده

آب‌های زیرزمینی از مهمترین منابع آب شرب شهرها، روستاها و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی محسوب می‌شوند. آب تهیه شده از این منابع باید از نظر بهداشتی کاملاً خالص و مواد محلول و عناصر آن کم باشند. هدف از این مطالعه، بررسی شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی و تناسب کیفیت آب برای آبیاری و شرب بوده است و برای آن از 46 حلقه چاه عمیق پوشش دهنده کل استان خراسان جنوبی در دو زمان (بهار و پاییز 1389) نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج نشان داد که میزان بعضی از مشخصه‌ها اختلاف معنی‌داری با مقادیر استاندارد ملی و جهانی دارد. بر اساس نمودار پایپر، تیپ غالب آب در منطقه NaCl، Na-SO₄، Na-HCO₃ و Mg-HCO₃ برآورد شد. نمودار گیبز نشان داد که آب‌های زیرزمینی منطقه در محدوده اثر متقابل آب و سنگ قرار دارند. همچنین، نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان داد که بیشترین تأثیر مشخصه‌ها بر کیفیت آب منطقه در فصل پاییز ناشی از مشخصه‌های EC، TDS، Cl، SO₄، Na و F و در فصل بهار ناشی از EC، TDS، Cl، SO₄، Na است. براساس طبقه‌بندی آب برای کشاورزی (نسبت ویکوکس، EC، Na، S.A.R، Mg) مشخص شد که کیفیت آب بعضی از چاه‌ها برای آبیاری مناسب نیست. همچنین، بر اساس طبقه‌بندی کل جامدات محلول و سختی، کیفیت آب منطقه برای نوشیدن نیز در وضعیت خوب تا نامناسب قرار دارد.

کلید واژه‌ها: کیفیت فیزیکی-شیمیایی، آب زیرزمینی، خراسان جنوبی، آلودگی

سراغاز

آب در طبیعت به صورت خالص یافت نمی‌شود، بلکه همواره مقادیری املاح، مواد معلق و گازهای محلول را همراه خود دارد و این موجب می‌شود که آب در مناطق مختلف ویژگی‌های مختلف داشته باشد. وجود برخی از املاح در آب برای سلامتی انسان ضروری است و این در حالی است که مقادیر بیش از حد آنها سلامتی انسان را به خطر خواهد انداخت (عودی، 1373؛ شریعت پناهی، 1377). مقایسه سرانه کل منابع آب شیرین قابل دسترسی در بین مناطق مختلف جهان تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. بیش از یک میلیارد نفر از جمعیت جهان آب سالم ندارند، نیمی از مردم جهان سیستم فاضلاب مناسب ندارند و 80% کل بیماری‌ها در کشورهای در حال توسعه دارای منشاء آب ناسالم هستند. در حال حاضر، 450 میلیون نفر در 29 کشور جهان ساکن نواحی کم آب هستند. این رقم ممکن است در سال 2050 به 2/5 میلیارد نفر برسد. پیش‌بینی می‌شود، در صورتی که روند کنونی ادامه یابد، تا سال 2025 از هر سه نفر جمعیت کره زمین دو نفر آنها در مناطق «بحران زده از نظر آب» زندگی خواهند کرد (جروم سی و تئودور جی، 1382).

آب‌های زیرزمینی از دو جنبه کمی و کیفی قابل بررسی هستند. در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم، بیشترین توجه به یافتن سفره‌های آب زیرزمینی مناسب برای تأمین آب مورد نیاز شرب و کشاورزی معطوف شده است و این در حالی است که کمتر به حفظ کیفی آبخوان‌ها توجه می‌شود (Pawar and Data, et al., 'Robertson, et al., 1996؛ Shaikh, 1995 1997؛ Kangarogh and Gunay, 1997). در بسیاری از نقاط دنیا، آبخوان‌ها تحت تأثیر انواع آلودگی قرار می‌گیرند (Pacheco and Cabera, 1997).

با افزایش توجه به کیفیت آب آشامیدنی، مطالعات وسیعی در دنیا به منظور مقابله با کاهش کیفیت آب شروع شده است که از آن جمله می‌توان به (Aksoy and Scheytt, 'Park, et al., 2005؛ 2007؛ Orhan, et al., 2010؛ Reddy, et al., 2009) اشاره کرد.

استان خراسان جنوبی در بخش شرقی کویر مرکزی ایران واقع شده و از نظر منابع آب سطحی بسیار فقیر است. به همین سبب فشار عمده‌ای در این محدوده برای برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف شرب، صنعتی و کشاورزی وجود دارد. در حال حاضر تأمین آب منطقه برای کشاورزی، صنعت و

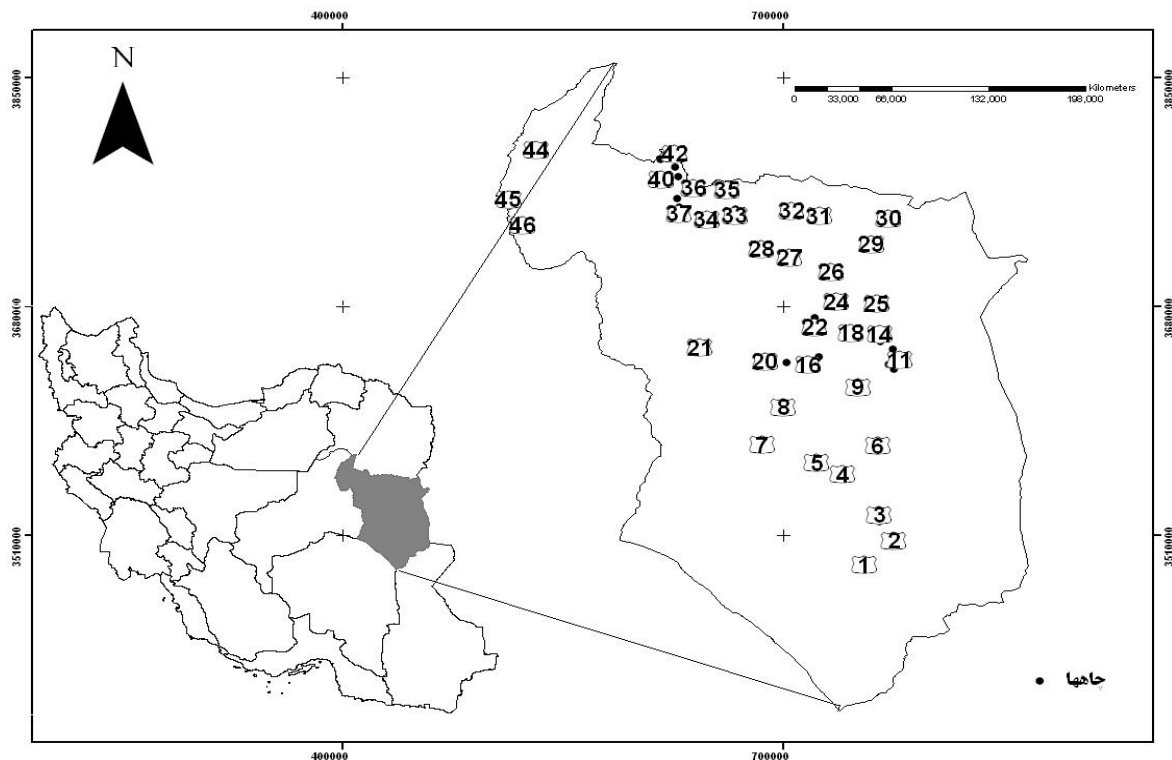
شرب از طریق آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد که این آب‌ها از نظر کیفیت شیمیایی با افزایش میزان TDS، یا شوری روبه‌رو هستند (شرکت آب و فاضلاب بیرجند، 1383). با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعت و در نهایت افزایش تولید و احتمال آلودگی، فشار زیادی به منابع آبی وارد شده است. از آنجا که منابع تجدید شونده آب در هر اقلیم نسبتاً ثابتی هستند، باید سیاست‌ها و روش‌های اتخاذ شده به منظور حفظ و مصرف بهینه از این منابع ساماندهی شود (ابراهیمی، 1380؛ وجدانی، 1381).

با توجه به نقش کیفیت آب در سلامتی ساکنان و لزوم پایش دائمی مشخصه‌های مختلف، این پژوهش به منظور تعیین وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی و تناسب آن برای آبیاری و نوشیدن در دو دوره زمانی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در فاصله زمانی بهار و پاییز 1389 در دو فصل تر و خشک (بهار و پاییز) انجام گرفت. در طول مدت تحقیق، جمعاً حدود 92 نمونه از 46 ایستگاه (46 نمونه در فصل بهار، 46 نمونه در فصل پاییز) برداشت شد. برای نمونه‌برداری از ظروف پلاستیکی یک لیتری استفاده شد و مشخصه‌های pH و EC در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. قبل از نمونه‌برداری از آب چاه‌ها، در حدود یک ساعت آب چاه‌ها پمپاژ و پس از این مدت شست‌وشوی ظروف با آب چاه مربوط صورت گرفت. سپس، آب چاه‌ها در ظروف نمونه‌برداری به آزمایشگاه انتقال داده شد. آزمایش‌ها در دو دسته آزمایش‌های دستگاهی و تیترومتری بر اساس مرجع استاندارد 1998 صورت گرفت. سنجش کلراید، سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، نیترات، فلوئور، سولفات با دستگاه IC مدل (Metrohm, 861)، کربنات، بی‌کربنات تیتراسیون با اسید سولفوریک 0/02 نرمال، آهن، منگنز، آمونیاک، نیتريت و رنگ با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (DR, 5000) و کدورت با دستگاه کدورت‌سنج مدل (Turb, 550 IR) انجام شد.

در این مطالعه، پردازش داده‌های هیدروشیمیایی با استفاده از نرم افزارهای (AQQ1) و (SPSS 16) برای ترسیم نمودار پایپر و تحلیل‌های آماری تحلیل عاملی و خوشه‌بندی داده‌های هیدروشیمی استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری شده در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل (1): موقعیت جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری شده

نمونه‌برداری بهار و پاییز 1389 با محاسبه مشخصه‌های آماری پایه از قبیل حداقل، حداکثر و میانگین صورت گرفته است. مشخصه‌های آماری محاسبه شده مربوط به داده‌های هیدروشیمی 92 نمونه آب زیرزمینی (46 ایستگاه) استان خراسان جنوبی در دو دوره نمونه‌برداری در جدول (1) ارائه شده است.

یافته‌ها

بیان آماری داده‌های کیفی روش مناسبی برای معرفی مشخصات کیفی آبخوان است (Wang, et al., 2001). امروزه با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره و تحلیل‌های عاملی، منشاء آب زیرزمینی تعیین می‌شود. در این بررسی نیز مقایسه داده‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی در دو دوره

جدول (1): مشخصه‌های فیزیکی- شیمیایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره نمونه‌برداری

استاندارد (WHO,1971)	استاندارد ایران (1053)	پاییز 1389			بهار 1389			مشخصه (mg/l)
		میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	
-	-	3/96	23	0	2/34	41	0	رنگ (TCU)
5	5	0/38	7/68	0/01	0/15	1/36	0/01	کدورت (NTU)
-	-	20/26	26/1	13/4	24/8	29/6	19	دما (c)
8/5 - 6/5	9/5 - 6/5	7/8	8/2	7	7/8	8/3	7/2	PH
200	400	271/8	689/5	26/3	272/8	653/1	27/2	سدیم
12	-	4/1	25/3	0/01	4/5	25/8	0/28	پتاسیم
75	200	56/3	261/7	4/7	55/5	241/2	11/04	کلسیم
**	150	46	155/6	4/9	44/8	158/9	2	منیزیم
100	500	325/2	865/9	60/6	323/3	831/7	40/9	سختی
500	1500	1101/9	2691/2	247/3	1103/8	2721/2	273	باقیمانده جامدات خشک

ادامه جدول (1): مشخصه‌های فیزیکی - شیمیایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره نمونه‌برداری

استاندارد (WHO,1971)	استاندارد ایران (1053)	پاییز 1389			بهار 1389			مشخصه (mg/l)
		میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	
-	-	1778	3880	449	1801	3940	465	هدایت الکتریکی ($\mu\text{mhos/cm}$)
-	-	1/7	19/8	0	8/01	36/7	0	کربنات
-	-	304/4	831/8	118/7	296/6	846/4	99/8	بی‌کربنات
-	-	252/3	681/8	97/3	256/6	754/8	93/8	قلیائیت کل
200	400	305/1	1133/4	23/3	301/8	1155/5	25/01	سولفات
200	400	253/7	684/2	15/2	252/4	707/8	14/1	کلرید
1/5	2/4 - 0/6	0/42	1/03	0/06	0/44	1/13	0/04	فلوراید
-	-	0/04	0/38	0	0/01	0/06	0	آمونیاک
45	50*	18/03	47/7	2/7	17/48	48/1	2/27	نیترات
<0/1	<0/3*	0/02	0/08	0	0/02	0/32	0	نیتریت
-	-	0/04	0/28	0	0/03	0/13	0	آهن
-	-	0/02	0/07	0	0/02	0/05	0	منگنز

* در مورد نیتریت و نیترات مجموع نسبت غلظت هر کدام به مقادیر توصیه شده نباید از یک تجاوز کند و نباید به‌تنهایی مورد قضاوت قرار گیرند.

** 30 اگر سولفات تا 250 میلی‌گرم در لیتر و بالاتر از 150 میلی‌گرم در لیتر اگر سولفات کمتر از 250 میلی‌گرم در لیتر باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

توصیف آماری داده‌های هیدروشیمی

نتایج نشان می‌دهد که عمده‌ترین غلظت کاتیون‌ها در نمونه‌های آب به صورت $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ است. دامنه تغییرات سدیم در طول دوره نمونه‌برداری بین 26/3 تا 689/35 و میانگین آن 272/3 میلی‌گرم بر لیتر بود. علت غالب بودن یون سدیم در منطقه وجود سازندهای زمین‌شناسی گچی و نمکی است. غلظت کلسیم، منیزیم و پتاسیم منطقه به ترتیب در محدوده 4/7 تا 261/7، 2 تا 158/9 و 0/01 تا 25/8 با میانگین 55/9، 50/4 و 4/3 میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. همچنین، عمده‌ترین غلظت آنیون‌ها در نمونه‌های آب به ترتیب مربوط به عناصر $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ بوده است. دامنه تغییرات سولفات و بی‌کربنات به ترتیب بین 23/3 تا 1155/5 و 99/8 تا 846/4 و میانگین آنها 303/4 و 300/5 میلی‌گرم بر لیتر برآورد شد. دلیل بالا بودن غلظت سولفات در منطقه را افزون بر ساختارهای زمین‌شناسی می‌توان نزدیکی برخی از نقاط نمونه‌برداری شده به فعالیت‌های صنعتی ذکر کرد. همچنین، احتمال می‌رود یکی از دلایل بالا بودن بی‌کربنات در منطقه ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی به

آب‌های زیرزمینی و تصفیه نادرست فاضلاب‌های صنعتی و وارد شدن آن به منابع آب زیرزمینی منطقه باشد (اکبرپور، 1385). غلظت کلرید در محدوده 14/1 تا 707/8 و میانگین آن 253 میلی‌گرم بر لیتر است. بالا بودن میزان کلرید در برخی از ایستگاه‌ها می‌تواند به سبب قرارگیری بر روی سازندهای زمین‌شناسی گچی و نمکی باشد. همچنین، دامنه تغییرات کربنات بین 0 تا 36/7 و میانگین آن 4/8 میلی‌گرم بر لیتر برآورد شد. میزان TDS آب چاه‌هایی که در گستره بیش از 1500 میلی‌گرم در لیتر قرار دارند از دیدگاه استاندارد شرب، غیرقابل شرب به حساب می‌آید. نتایج نشان داد که میزان باقیمانده جامدات خشک و هدایت الکتریکی به ترتیب بین 247/3 تا 2721/2 و 449 تا 3940 متغیر و میانگین آنها 1102/8 میلی‌گرم در لیتر و 1789/5 میکروموس بر سانتیمتر بود. رسوبات تبخیری و مارن در منطقه می‌تواند از دلایل بالا بودن میزان TDS در منطقه باشد. همچنین با توجه به اینکه با افزایش یک درجه سانتیگراد تقریباً 2 درصد EC افزایش می‌یابد، بنابراین طی سال‌های خشک و با افزایش دمای هوا، می‌توان پیش‌بینی کرد که TDS و EC نیز افزایش یابد (زاهدی کلاکی، 1383).

جهانی (45 میلی گرم در لیتر) بود. بر اساس طبقه‌بندی (مهدی‌نیا و نیک‌روش، 1380) آب‌های آلوده به نترات به سه گروه آب‌های کمی آلوده: غلظت‌های نترات کمتر از 20، آب‌های آلوده: 20 تا 45 و آب‌های خیلی آلوده: بیش از 45 میلی گرم در لیتر تقسیم‌بندی می‌شوند. به‌طور کلی در دو فصل 71/7 تا 76 درصد چاه‌ها جزء گروه اول، 21/7 تا 26 درصد جزء گروه دوم و 2/1 درصد جزء گروه سوم طبقه‌بندی شده‌اند (جدول 2). بالا بودن غلظت نترات در گروه دوم و سوم را می‌توان بدین صورت توجیه کرد که احتمالاً این چاه‌ها در منطقه‌ای واقع شده‌اند که دارای نفوذ پذیری بالاتری هستند. از این‌رو آب‌های سطحی احتمالی و چاه‌های فاضلاب جذبی به‌آسانی و بدون تصفیه به آب‌های زیرزمینی می‌رسند. از طرفی، این مناطق دارای تراکم جمعیتی بیشتری در سطح استان هستند که این عامل در افزایش نترات ناشی از آلودگی فاضلاب نقش مهمی ایفا می‌کند.

نتایج بررسی فلوراید در منابع آب منطقه نشان داد که تغییرات فلوراید در محدوده 0/04 تا 1/13 متغیر است و میانگین آن در دو فصل نمونه‌برداری 0/43 میلی گرم بر لیتر است (جدول 1). استانداردهایی که برای غلظت یون فلوراید در آب آشامیدنی از سوی سازمان‌های مختلف ارائه شده، متفاوت بوده و با تغییرات فصلی مرتبط هستند. منطق حاکم بر این موضوع وجود رابطه مستقیم بین دمای هوا و مصرف سرانه آب است. به عبارت دیگر، در ماه‌های گرم سال مقدار مصرف آب آشامیدنی نسبت به ماه‌های سرد سال افزایش می‌یابد. بنابراین با فرض ثابت بودن غلظت یون فلوراید در آب، افراد در ماه‌های گرم سال مقدار فلوراید بیشتری دریافت می‌کنند. براساس استاندارد ایران، غلظت بهینه فلوراید در ماه‌های گرم سال 0/7 میلی گرم بر لیتر و در ماه‌های سرد سال 1/2 میلی گرم بر لیتر است (عظیمی و همکاران، 1382).

غلظت نترات در محدوده 2/2 تا 48/1 و میانگین آن 17/7 میلی گرم بر لیتر برآورد شد. غلظت نترات در مقایسه با استاندارد بین المللی WHO فقط در یک ایستگاه، بالاتر از استاندارد

جدول (2): طبقه‌بندی آب‌ها از نظر غلظت نترات (میلی گرم بر لیتر)

گروه‌بندی آب‌ها	بهار	پاییز	ایستگاه‌های نمونه‌برداری
کمی آلوده (<20)	71/7	76	1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46
آلوده (20-45)	26	21/7	4, 5, 7, 9, 11, 15, 23, 25, 26, 32, 33, 42
خیلی آلوده (>45)	2/1	2/1	22

چند تعیین مسیره‌های تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان‌ها با استفاده از نمودار پایپر همانند اکثر مباحث مطالعات کیفی آب‌های زیرزمینی با قطعیت کامل همراه نیست، با این حال محققان زیادی از نمودار پایپر جهت تعیین مسیره‌های تکامل ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی استفاده نموده‌اند.

نمودار پایپر نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که تیپ غالب آب در منطقه NaCl ، Na-SO_4 ، Na-HCO_3 و Mg-HCO_3 است (شکل 2). غلبه سدیم در اکثر نقاط نمونه‌برداری ناشی از آبشویی سنگ‌ها، یا رسوبات تبخیری است که با مدل گیبز همخوانی دارد.

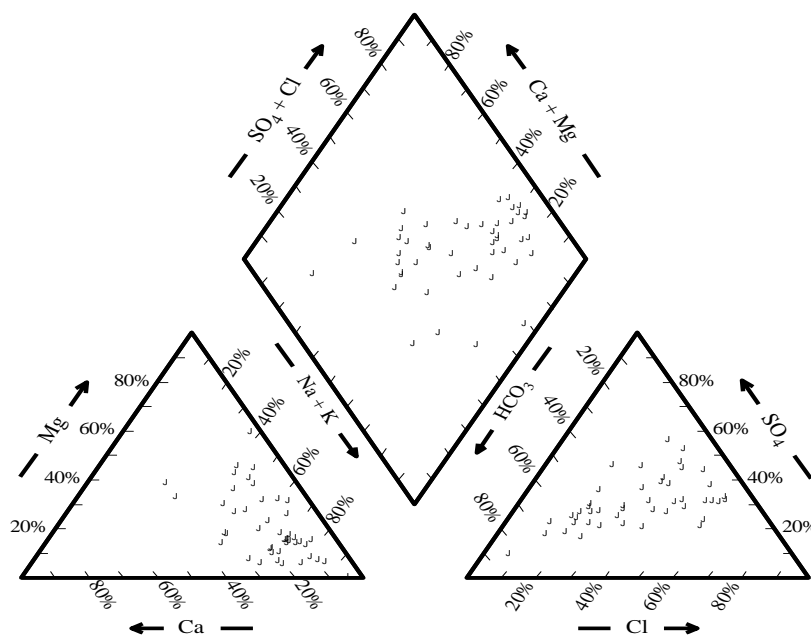
از میان کاتیون‌ها و آنیون‌ها، حداقل مقادیر غلظت در فصل پاییز و بهار به ترتیب مربوط به کربنات، آمونیاک، نیتريت، آهن و منگنز (صفر میلی گرم بر لیتر) و حداکثر غلظت مربوط به سولفات (1333/4 و 1155/5) است. همچنین، بیشترین دامنه تغییرات مربوط به سولفات (1155/5 - 23/3) برآورد شد.

طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی با استفاده از نمودار پایپر و گیبز

نمودارهای پایپر بیشتر برای تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیره‌های تکامل ژئوشیمیایی تهیه می‌شوند. هر

برای منشایابی رابطه بین ترکیبات آب و ویژگی‌های ساختاری حوزه آبریز استفاده می‌شود (Gibbs, 1970). سه عامل مشخص

نوسان‌های آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی دو عامل اصلی تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی هستند. نمودار گیبز بیشتر



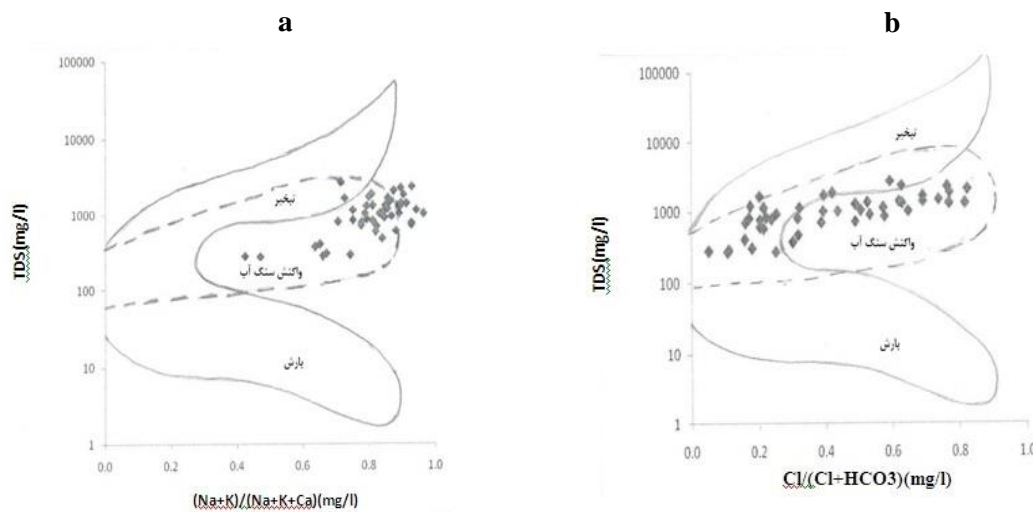
شکل (2): نمودار پایپر آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی

می‌آورد. نسبت گیبز برای کاتیون (a) و آنیون (b) در زیر نشان داده شده است.

$$(a) = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+}} \quad (1)$$

$$(b) = \frac{Cl^-}{Cl^- + HCO_3^-} \quad (2)$$

و مجزا از قبیل بارش غالب، اثر متقابل آب، سنگ و تبخیر غالب در نمودار گیبز مشاهده می‌شوند (شکل 3 و 4). مدل گیبز نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر اثر متقابل آب و سنگ قرار دارد. بر اثر فعل و انفعالات صورت گرفته، تبادلات یونی زیادی بین آب و سنگ صورت می‌گیرد که این تبادلات تغییرات اساسی در مشخصه‌های کیفی آب به وجود



شکل (3 و 4): نمودار نسبت گیبز برای کاتیون (a) و آنیون (b)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی با کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی از قبیل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلرید، سولفات، کربنات، بی‌کربنات، نیتрат، نیتريت، آمونیاک و فلوراید توصیف می‌شود. ماتریس همبستگی مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی فصل پاییز و بهار در جداول (3 و 4) ارائه شده است. فرایندهای آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی دو عامل اصلی تأثیرگذار بر ترکیبات ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی هستند (Chan, 2001).

بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی، در فصل پاییز 5 عامل و در فصل بهار 6 عامل مشاهده شد. بر این اساس، در فصل پاییز عامل اول با درصد واریانس کل 27/38 و درصد تجمعی 27/38، مربوط به مشخصه‌های هدایت الکتریکی، باقیمانده جامدات خشک، فلوراید، کلرید، سولفات و سدیم است. عامل دوم با درصد واریانس کل 19/46 و درصد تجمعی 46/84، مربوط به متغیرهای سختی، قلیائیت کل، بی‌کربنات، نیتريت و منیزیم است. متغیرهای نیترات، کلسیم و پتاسیم در عامل سوم قرار گرفتند. متغیرهای کربنات و pH در عامل چهارم و متغیرهای

آمونیاک، آهن و منگنز در عامل پنجم دیده می‌شوند (جدول 4). تغییرات مشخصه‌ها در فصل بهار نسبت به پاییز در عامل‌های مختلف اندک است و فقط فلوراید که در فصل پاییز در عامل اول قرار گرفت، در فصل بهار در عامل چهارم مشاهده شد. همچنین در فصل بهار نیتريت در عامل دوم دیده نشد و در عامل پنجم قرار گرفت. مشخصه‌های عامل‌های سوم، در دو فصل تغییری نداشتند و عامل‌های چهارم، پنجم و ششم آمونیاک، فلوراید، آهن، نیتريت، منگنز و کربنات که کمترین درصد کل واریانس و بیشترین درصد تجمعی را دارند دارای کمترین تأثیر بر کیفیت آب هستند. بنابراین، مشخصه‌های عامل اول شامل باقیمانده جامدات خشک، هدایت الکتریکی، کلرید، سولفات، سدیم و فلوراید در فصل پاییز و مشخصه‌های ذکر شده به استثناء فلوراید در فصل بهار بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب منطقه گذاشته‌اند. عامل ناچیز بودن تغییرات بین دو فصل را می‌توان ناشی از نبودن بارش‌های فصلی و شرایط خشکسالی حاکم بر منطقه و عمق زیاد چاه‌های نمونه‌برداری دانست.

جدول (3): تحلیل‌های عاملی مشخصه‌ها در فصل بهار

PC ₆	PC ₅	PC ₄	PC ₃	PC ₂	PC ₁	
-0/107	-0/161	-0/252	-0/634	-0/501	-0/031	pH
0/004	0/050	0/058	0/232	0/208	0/941	EC
0/012	0/047	0/064	0/269	0/186	0/939	TDS
-0/041	0/022	-0/137	0/299	0/715	0/523	TH
0/164	-0/010	-0/110	0/075	0/948	-0/067	Total Alkalinity
-0/168	-0/072	0/803	0/148	-0/033	0/026	NH ₃
-0/053	-0/058	0/647	-0/215	-0/201	0/385	F
-0/144	0/058	0/071	0/111	-0/074	0/911	Cl
0/088	0/041	0/074	0/323	0/072	0/881	SO ₄
0/860	0/044	-0/064	-0/033	0/145	0/010	CO ₃
0/069	-0/015	-0/105	0/081	0/955	-0/070	HCO ₃
-0/138	0/027	0/261	0/619	-0/051	0/432	NO ₃
0/208	0/860	0/053	0/054	-0/051	0/019	NO ₂
0/096	-0/102	-0/004	0/801	0/017	0/481	Ca
-0/111	0/093	-0/160	-0/168	0/840	0/307	Mg
0/015	0/056	0/132	0/146	-0/001	0/957	Na
-0/068	0/012	-0/150	0/832	0/036	0/336	K
0/282	0/265	0/590	0/068	-0/235	0/035	Fe
-0/410	0/649	0/051	-0/063	0/210	0/178	Mn
6/21	6/84	8/83	13/64	18/61	28/32	% واریانس
82/49	76/27	69/42	60/58	46/94	28/32	% تجمعی

جدول (4): تحلیل‌های عاملی مشخصه‌ها در فصل پاییز

PC ₅	PC ₄	PC ₃	PC ₂	PC ₁	
0/029	0/719	-0/270	-0/243	-0/118	pH
0/025	-0/077	0/270	0/224	0/922	EC
0/022	-0/063	0/301	0/195	0/925	TDS
-0/047	-0/340	0/393	0/663	0/449	TH
-0/091	0/006	-0/059	0/928	-0/006	Total Alkalinity
0/492	0/119	-0/134	-0/077	0/029	NH ₃
0/173	0/126	-0/268	-0/367	0/660	F
0/170	-0/135	0/205	-0/036	0/848	Cl
0/013	-0/076	0/373	0/101	0/851	SO ₄
0/137	0/903	0/110	0/118	0/021	CO ₃
-0/101	-0/055	-0/067	0/926	-0/007	HCO ₃
-0/113	-0/053	0/564	-0/175	0/393	NO ₃
0/012	0/162	0/090	0/628	-0/064	NO ₂
0/014	-0/144	0/829	-0/089	0/386	Ca
0/048	-0/303	-0/106	0/831	0/280	Mg
-0/003	0/051	0/160	0/038	0/967	Na
-0/092	0/042	0/859	0/127	0/188	K
0/781	0/003	-0/115	-0/192	-0/031	Fe
0/775	-0/002	0/201	0/219	0/212	Mn
8/29	8/74	13/28	19/46	27/38	% واریانس
77/17	66/87	60/13	46/84	27/38	% تجمعی

به دلیل بالا بودن میزان سدیم و هدایت الکتریکی منابع آب‌های زیرزمینی، چاه‌های بسیار زیادی در طبقات C₃S₄ و C₄S₄ قرار گرفتند که استفاده از آب، این چاه‌ها را برای کشاورزی با محدودیت مواجه می‌کند. از این رو، برای استفاده از آب این چاه‌ها برای آبیاری محصولات کشاورزی باید تمهیدات مناسبی در نظر گرفته شود.

هدایت الکتریکی (EC)، درصد سدیم (Na%)، نسبت

جذب سدیم (S.A.R) و نسبت منیزیم (Mg)

هدایت الکتریکی نشان دهنده مجموع املاح در آب است. مطابق طبقه‌بندی هدایت الکتریکی، هیچ یک از نمونه‌ها در طبقه عالی قرار نگرفتند. نتایج هدایت الکتریکی نشان داد که 6/5 تا 8/6 درصد برای آبیاری نامناسب‌اند. (Freeze and Cherry, 1979) اظهار داشتند TDS مناسب آب زیرزمینی برای هر هدفی باید

تحلیل کیفیت آب برای آبیاری

کیفیت آب، نوع خاک و ویژگی‌های محصولات نقش مهمی در کیفیت آب آبیاری ایفا می‌کنند. مشخصه‌های شیمیایی مهم و تأثیرگذار بر کیفیت آب برای آبیاری عبارتند از غلظت کل نمک‌های محلول، رابطه نسبی بین بی‌کربنات با کلسیم و منیزیم و نسبت سدیم به کلسیم. شوری و قلیائیت دو مسئله مهم برای کیفیت آب آبیاری هستند.

طبقه‌بندی ویلکوکس

برای طبقه‌بندی کیفیت آب از نمودار ویلکوکس استفاده شد. در این نمودار S معرف S.A.R (نسبت جذب سدیم) و C معرف (هدایت الکتریکی) است. با توجه به نمودار ویلکوکس مشخص است که کلاس C₁S₁ بهترین نوع کیفیت آب و کلاس C₄S₄ بدترین نوع کیفیت آب برای آبیاری است. براساس روش ویلکوکس، کیفیت آب به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود (جدول 5).

زیر 500 میلی‌گرم در لیتر باشد. در ایستگاه‌های نمونه‌برداری جدول (5): مناسب بودن آب برای آبیاری بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس

خیلی شور - مضر برای کشاورزی				شور - برای کشاورزی با تمهیدات مناسب				کمی شور و برای کشاورزی تقریباً مناسب				شیرین برای کشاورزی کاملاً مناسب				
C ₄				C ₃				C ₂				C ₁				
S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	
26/09	-	-	-	58/7	-	-	-	-	6/52	4/35	4/35	-	-	-	-	
26, 22, 20, 9, 8, 7				13, 10, 6, 5, 4, 3, 2, 1				11, 14, 30	12 و 38	23 و 27						
31				29, 28, 25, 24, 21, 19, 18, 17, 16, 15												
44, 43, 40, 36, 35				46, 45, 42, 41, 39, 37, 34, 33, 32												

کشاورزی نامناسب‌اند (جدول 6). منیزیم و کلسیم رفتار یکسانی در خاک ندارند. سطح منیزیم بالا معمولاً باعث حضور سدیم قابل مبادله در آبیاری خاک‌ها می‌شود. وقتی که سدیم غالب و شوری بالا باشد، منیزیم خواص خاک را بیشتر تخریب می‌کند و در نتیجه سبب کاهش بازدهی محصولات کشاورزی می‌شود. با نسبت منیزیم می‌توان تناسب آب را برای آبیاری طبقه‌بندی کرد که در زیر این نسبت ذکر شده است (Kumar, et al., 2007).

$$\text{Mg} = (\text{Mg}^{2+}) * 100 / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (5)$$

تحلیل کیفیت آب برای شرب

آب‌های زیرزمینی منبع اصلی و قابل اطمینان برای شرب در منطقه خراسان جنوبی هستند. آب شرب باید فاقد رنگ، بو و طعم باشد و به لحاظ عناصر و مواد شیمیایی موجود در آن در محدوده مجاز سازمان بهداشت جهانی باشد. تغییرات برخی از مشخصه‌ها از قبیل نیترات برای سلامتی بسیار اهمیت دارند، اما مشخصه‌های دیگر از قبیل هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و فلوراید عواملی هستند که در اکثر مطالعات توجه خاصی به آنها شده است. بر اساس WHO (1996) مشخصه‌هایی که مصرف‌کنندگان عمده‌ترین نارضایتی را از آنها دارند شامل رنگ، بو، مزه و کدورت است. WHO (1996) اشاره می‌کند که TDS زیاده‌تر از 1000 میلی‌گرم در لیتر باعث عدم رضایت مردم از مزه آب می‌شود. در جدول (7) تقسیم‌بندی آب بر اساس باقیمانده جامدات خشک (TDS) و سختی (TH) ذکر شده است. نتایج TDS نشان داد که در 36/9 تا 39/1 درصد چاه‌ها میزان TDS بالاتر از 1200 میلی‌گرم در لیتر بود.

شده، 17/3 درصد نمونه‌ها این مقدار TDS را نشان دادند. بررسی درصد سدیم نشان داد که هیچ یک از نمونه‌ها در طبقه نامناسب قرار ندارند و اکثر نمونه‌ها در طبقه عالی و خوب قرار دارند. دامنه تغییرات و میانگین Na% به ترتیب 3/7 تا 45/9 و 19/5 است. همچنین، نتایج SAR نشان داد که 80/4 درصد نمونه‌ها در وضعیت عالی، 17/3 درصد در وضعیت خوب و 2/1 درصد ایستگاه‌ها در وضعیت مشکوک قرار دارند (جدول 6). از فرمول S.A.R چنین نتیجه می‌شود که به ازای افزایش کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب، قدرت جذب سدیم در خاک کاهش می‌یابد و با کاهش این کاتیون‌ها قدرت جذب سدیم در خاک افزایش می‌یابد. افزایش میزان سدیم خاک در نتیجه تبادل کاتیونی سبب سخت شدن خاک و کاهش ریشه گیاهان می‌شود و کاهش جذب سدیم و افزایش کلسیم و منیزیم سبب افزایش توانایی و استعداد خاک برای کشاورزی می‌شود. افزایش S.A.R و Na% کیفیت بد آب را برای کشاورزی به همراه دارد. زیادی سدیم، یا محدودیت کلسیم و منیزیم با SAR و Na% ارزیابی می‌شود که در زیر فرمول آنها ارائه شده است (WHO, 1989).

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{rNa}}{\sqrt{(\text{rCa} + \text{rMg})/2}} \quad \% \text{Na} = (\text{Na} + \text{K}) / (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) * 100 \quad (4)$$

نتایج نسبت منیزیم به کلسیم نشان داد که 67/3 درصد نمونه‌ها برای آبیاری خوب، 15/2 متوسط و 17/3 برای آبیاری

براساس سختی نیز اکثر چاه‌های مورد مطالعه در ردیف 52/1 چاه‌ها جزء آب‌های خیلی سخت طبقه‌بندی شدند. آب‌های سخت و خیلی سخت قرار گرفتند، به طوری که 50 تا

جدول (6): مناسب بودن آب برای آبیاری بر اساس چندین طبقه‌بندی

مکان های نمونه برداری شده	درصد فصل پاییز	درصد فصل بهار	کلاس آب	طبقه بندی	مشخصه
-	-	-	عالی	>250	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$) Kumar, et al.,) (2007)
46, 45, 42, 39, 36, 30, 24	15/2	15/2	خوب	250 - 750	
21, 20, 19, 17, 16, 14, 13, 12, 11, 6, 2 27	41/3	45/6	مجاز	750 - 2000	
44, 43, 41, 38, 37, 35, 34, 33, 29 25, 23, 18, 14, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 1 40, 32, 31, 28, 26	36/9	30/4	مشکوک	- 3000 2000	
22, 15, 4, 3	6/5	8/6	نامناسب	<3000	
20, 19, 16, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 6, 2 24, 21	56/5	60/8	عالی	>20	%Na (meq/l) (Wilcox, 1955)
41, 39, 38, 37, 36, 35, 33, 30, 29, 28, 27 42					
26, 25, 23, 18, 17, 15, 14, 9, 7, 5, 4, 3 31					
44, 40, 34, 32					
43, 22, 1	6/5	2/1	مجاز	40 - 60	
-	-	-	مشکوک	60 - 80	
16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 8, 7, 6, 5, 2 17	80/4	80/4	عالی	>10	SAR (meq/l) Richards,) (1954)
29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19 30					
45, 44, 42, 41, 39, 38, 37, 36, 35, 33, 31 46					
40, 34, 32, 18, 9, 4, 3, 1					
43	2/1	2/1	مشکوک	18 - 26	
-	-	-	نامناسب	<26	
24, 23, 22, 21, 17, 14, 13, 9, 7, 5, 4, 1 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 27, 26, 25 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39	67/3	67/3	سالم	>1/5	نسبت Mg/Ca Kumar, et al.,) (2007)
38, 37, 28, 18, 16, 12, 3					
20, 19, 15, 11, 10, 8, 6, 2					
17/3	17/3	ناسالم	<3		

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کاهش بارندگی و خشکسالی‌های اخیر نقش مهمی در کاهش کیفیت منابع آب استان داشته است. طی سال‌هایی که خشکسالی رخ می‌دهد و دمای هوا نیز افزایش

همچنین، نتایج TDS نشان داد که 41/3 تا 45/6 درصد چاه‌های نمونه‌برداری در طبقه آب‌های شیرین و 54/3 تا 58/6 درصد در طبقه آب‌های کمی شور قرار دارند. افزون بر

استان در سال‌های اخیر در معرض آلودگی قرار گرفته‌اند. نتایج بررسی‌های هیدروشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه، تغییراتی را در غلظت‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، باقیمانده جامدات خشک، بی‌کربنات، سولفات، کلرید، نترات و فلوراید نشان می‌دهد. زیاد بودن میزان برخی از مشخصه‌ها در برخی از چاه‌ها با توجه به اینکه در منطقه کشاورزی واقع نشده‌اند، به منشاء زمین‌شناسی و همچنین فعالیت‌های انسانی (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی) مربوط می‌شوند.

می‌یابد، می‌توان پیش‌بینی کرد که TDS و EC افزایش یابد (زاهدی کلاکی، 1383).

در پایان نتیجه‌گیری می‌شود که امروزه، با افزایش جمعیت و افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و همچنین خشکسالی، مصرف آب زیرزمینی به‌طور چشمگیری افزایش یافته و این در حالی است که منابع آب موجود در معرض آلودگی قرار دارند. از این‌رو جلوگیری از آلودگی آب‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. منابع آب زیرزمینی به‌عنوان مهمترین منابع تأمین آب

جدول (7): تناسب آب برای شرب بر اساس چندین طبقه‌بندی

مشخصه	طبقه‌بندی	کلاس آب	درصد فصل بهار	درصد فصل پاییز	مکان‌های نمونه‌برداری شده
TDS (mg/l) (Kumar, et al., 2007)	<300	عالی	8/6	8/6	45, 39, 36, 30
	300 تا 600	خوب	10/8	15/2	46, 42, 38, 37, 31, 29, 24
	600 تا 900	نسبتاً خوب	21/7	17/3	44, 41, 37, 34, 33, 27, 20, 19, 11, 2
	900 تا 1200	فقر	21/7	19/5	43, 35, 21, 17, 16, 14, 13, 12, 10, 6
	>1200	نامناسب	36/9	39/1	18, 15, 14, 12, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 1, 40, 32, 28, 26, 25, 22
TH (mg/l/caco ₃)	<75	نرم	2/1	2/1	43
	75 تا 150	سختی متوسط	10/8	8/6	45, 37, 34, 29, 24
	150 تا 300	سخت	36/9	36/9	36, 35, 32, 31, 30, 21, 17, 13, 9, 2, 37, 46, 42, 41, 40, 39, 38
	>300	خیلی سخت	50	52/1	15, 14, 12, 11, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 1, 28, 27, 26, 25, 23, 22, 20, 19, 18, 16, 44, 33
TDS (mg/l)	0 تا 1000	شیرین	45/6	41/3	14, 13, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 1, 15, 31, 28, 26, 25, 23, 22, 21, 18, 17, 16, 44, 43, 40, 32
	1001 تا 10000	کمی شور	54/3	58/6	33, 30, 29, 27, 24, 20, 19, 13, 11, 2, 34, 46, 45, 44, 42, 41, 39, 38, 37, 36, 35
	10001 تا 100000	شور	0	0	-
	>100000	خیلی شور	0	0	-

بر اساس تحلیل عاملی، مشخصه‌های TDS، EC، Cl، SO₄، Na و F در فصل پاییز و همه این مشخصه‌ها به استثنای F در فصل بهار بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب منطقه گذاشتند. کیفیت آب برای آبیاری بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس و چندین

نمودار پاییز نقاط نمونه‌برداری شده نشان داد که تیپ غالب آب در منطقه Na-HCO₃، NaCl، Na-SO₄ و Mg-HCO₃ است. غلبه سدیم در منطقه به دلیل اثر متقابل آب و سنگ در منطقه رخ می‌دهد که با مدل گیبز همخوانی دارد.

صنایع و تمرکز آنها در شهرک‌های صنعتی، 3. حفر چاه‌های اکتشافی برای شناخت عمق و ضخامت لایه‌های آبدار و اقدامات ایمنی که بتوانند از انتقال آلودگی آبخوان‌های مختلف به یکدیگر جلوگیری کنند. همچنین ایجاد حریم‌های لازم برای چاه‌های آب و کاهش بهره‌برداری از آبخوان‌ها (برای جلوگیری از افت سطح آب‌های زیرزمینی)، جملگی از عوامل مؤثر در کاهش بار آلودگی منطقه به‌شمار می‌آیند.

سیاسگذاری

بدین‌وسیله از شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی، به‌ویژه از آقای مهندس توکلی و خانم مهندس ضامن که در این تحقیق یاری رساندند تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

طبقه‌بندی دیگر نشان داد که منابع آب زیرزمینی در پاره‌ای از چاه‌های مورد مطالعه برای آبیاری مناسب نیستند. همچنین، بر اساس طبقه‌بندی‌های مختلف، کیفیت آب منطقه برای نوشیدن در وضعیت خوب تا نامناسب قرار دارد. با توجه به مخاطرات ناشی از افزایش غلظت مشخصه‌ها در برخی از چاه‌های مورد مطالعه، لزوم اجرای طرح‌های پیشگیری از آلودگی آب ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های پیشنهادی برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه عبارتند از 1. ایجاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب و احداث تصفیه‌خانه فاضلاب در شهر بیرجند، 2. ایجاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب و احداث تأسیسات تصفیه پساب صنعتی در کارخانه‌ها و همچنین جلوگیری از پراکنده کردن

فهرست منابع

- ابراهیمی، پ. 1380. بررسی و ارزیابی مدیریت عرضه و تقاضای آب شرب در شرایط خشکسالی اصفهان، مجله آب و محیط‌زیست، تهران، 48: 89-98.
- اکبرپور، ا. 1385. بررسی و شناسایی میزان آلودگی منابع آب شهرستان بیرجند و تهیه نقشه‌های هم‌پراکنش منابع آلاینده، دانشگاه بیرجند، 94ص.
- جرومی، گ. و تودورجی، گ. 1382. وضعیت آینده در آستانه هزاره سوم، ترجمه محسن بهرامی، نشر خضرا، شرکت متن وابسته به وزارت نیرو، تهران- ایران.
- زاهدی‌کلاکی، ا. 1383. بررسی اثرات خشکسالی بر کمیّت و کیفیت منابع آب شهرستان بهشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، 114 ص.
- شرکت آب و فاضلاب بیرجند، 1383. گزارش معاونت بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب بیرجند، 64 ص.
- شریعت پناهی، م. 1377. اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، انتشارات دانشگاه تهران.
- عظیمی، ع. ا.، بیدهندی، غ. ر.، هاشمی، ح.، مهام، ی. 1382. بررسی غلظت یون فلوراید در منابع سطحی تامین آب شرب شهر تهران، مجله محیط‌شناسی، شماره 32: 35-40.
- عودی، ق. 1373. کیفیت آب آشامیدنی، انتشارات محقق، مشهد، 147 ص.
- مهدی‌نیا، م. و نیک‌روش، ش. 1380. بررسی میزان آلودگی شبکه توزیع آب شرب شهر دامغان به نیترات، مجله آب و فاضلاب، شماره 43: 60-61.
- وجدانی، ح. ر. 1381. چالش عمده پیشروی ناپایداری آب، مطالعه موردی استان همدان، مجله آب و محیط زیست، تهران، شماره 53: 16-12.
- Aksoy, A. O. and Scheytt, T. 2007. Assessment of groundwater pollution around Torbali. Izmir. Turkey. Environmental Geology. 53: 19- 25.
- Chan, H. J. 2001. Effect of Land use and Urbanization on Hydrochemistry and Contamination of Groundwater from Taejon area, Korea. Hydrology. 253: 194- 210.
- Data, P. S.; Deb, D. L. & Tygi, S. K. 1997. Assessment of ground water contamination from fertilizers in the Delhi area based on O^{18} , NO_3 and K composition. Contaminant Hydrology. 27: 249- 262.
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Gibbs, R. J. 1970. Mechanism controlling world water chemistry. The Sciences, 170: 795- 840.
- Kangarogh, F. & Gunay, G. 1997. Ground water nitrate pollution in an alluvial aquifer, Eskir urban area and its vicinity, Turkey. Environmental Geology. 31: 178- 184.
- Kumar, M.; Kumari, K.; Ramanathan, A. L. & Saxena, R. 2007. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. Environmental Geology. 53: 553- 574.
- Orhan, G.; Celalettin, S. & Altug, H. 2010. Arsenic pollution in the ground water of simav plain, Turkey. Its impact on water quality and human health. Water Air Soil Pollution. 205: 43- 62.
- Pacheco, A. H. & Cabera, S. A. 1997. Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan peninsula, Mexico. Hydro geological. 5: 47- 53.
- Park, S. S. P.; Soon, O. K.; Seong, T. Y.; Gi, T. C.; Soon, Y. Y.; Seungki, K. & Young, K. 2005. Effects of land use on the spatial distribution of trace metals and volatile organic compounds in urban groundwater, Seoul, Korea. Environmental Geology. 48: 1116- 1131.

- Pawar, N. J. & Shaikh, I. J. 1995. Nitrate pollution of ground waters from shallow basaltic aquifer Deccan trap, Hydrological province, India. *Environmental Geology*. 25: 197- 204.
- Reddy, A. G. S.; Niran Kumar, K.; Subba Rao, D. & Sambashiva, Rao S. 2009. Assessment of nitrat contamination due to groundwater pollution in north eastern part of Anatapur Distric, A. P. India. *Environmental Monit Assessment*. 148: 463- 476.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline alkali soils. US Department of Agriculture, Hand Book 60. 160 pp.
- Robertson, W. D.; Russeland, B. M. & Cherry, J. A. 1996. Attenuation of nitrate acquitted sediments of southern Ontario. *Hydrology*. 180: 267- 281.
- Wang, Y., Ma, T. & Leo, Z. 2001. Geostisical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on a regional scale: A study in the Liulin Karst system, north western China. *Hydrology*. 246: 223- 234.
- WHO (World Health Organization). 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: Report of a WHO Scientific Group: technical report series 778. WHO. Geneva. 74 pp.
- WHO. 1996. Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. E ans FN Spon, London, UK.
- Wilcox, L. V. 1955. Classification and use of irrigation waters. USDA, Circular 969, Washington, DC, USA.