بررسی و تعیین عوامل موثر بر کیفیت منابع آب دشت گله‌دار، جنوب فارس

روح اله آدینه وند [*۱]، جابر مظفری زاده [۲]، زهرا سجادی [۳]، عبدالحمید انصاری [۴]

۱-گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۲-کارشناس ارشد هیدروژئولوژی شرکت آب منطقه‌ای بوشهر، بوشهر، ایران
۳-گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴-گروه مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لامرد، لامرد، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵
تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۴/۲۳

چکیده

با توجه به ارتباط منابع آب با محیط اطراف، شناخت برهمکنش این دو عامل می‌تواند دید مناسبی را جهت مدیریت بهینه منابع در اختیار قرار دهد. محدوده گله‌دار یکی از دشت‌های مهم صنعتی و کشاورزی در جنوب استان فارس می‌باشد که چه از لحاظ کمی و چه کیفی متأثر از این فرایند می‌باشد. در این تحقیق، عوامل کیفیت آب زیرزمینی دشت گله‌دار با تجزیه و تحلیل داده‌های کیفی چاه‌های بهره‌برداری انتخابی مورد بررسی قرار گرفت. از دیاگرام پایپر، نمودارهای ترکیبی، آنالیز آماری، تحلیل عاملی و بررسی نمایه‌های اشباع برای شناسایی منشأ شوری و شناسایی عوامل تاثیرگذار بر روی کیفیت آب آبخوان دشت گله‌دار استفاده شد. آب زیرزمینی دشت گله‌دار دارای تیپ کلروره-سدیک و سولفاته-کلسیک می‌باشد، همچنین نمودارهای ترکیبی نشان می‌دهند که یک روند خطی واضحی بین سدیم و کلر و همچنین کلسیم و سولفات وجود دارد که حاکی از ورود آب‌های حاوی املاح هالیت و ژیپس ناشی از انحلال سازندهای اطراف و زمین‌های شور و نمکزارها منطقه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که دلایل تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی در این دشت متعدد و ناشی از ورود آب‌های عبوری از نمکزارها، پساب‌های کشاورزی، آب شور رودخانه‌ها، و انحلال هالیت و ژیپس توسط رواناب‌های حاصل از سازندهای گچی اطراف دشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت منابع آب زیرزمینی، آنالیزهای آماری، نمودارهای ترکیبی، منشا شوری، دشت گله-دار.

*- نویسنده مسئول: Email: radinehvand66@yahoo.com

مقدمه

کیفیت منابع آب یک مسئله بسیار مهم در مدیریت منابع آب است که در اکثر مناطق ایران به دلیل کمبود منابع آب و برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی تبدیل به یک مشکل گردیده است (مظفری‌زاده، ۱۳۸۵). افت کیفی منابع آب از بسیاری جهات بر منابع طبیعی دیگر نیز تاثیر می‌گذارد، از جمله باعث کاهش تولیدات کشاورزی، به هم ریختن ساختار خاک، تغییر شرایط اقلیمی و ایجاد مشکلات برای سلامتی انسان‌ها می‌گردد (ویلیامز، ۲۰۰۱). در رابطه با منشا شوری و کیفیت منابع آب، مطالعات متعددی در مناطق مختلف صورت گرفته است (Freeze and Cherry, 1979؛ Alley, 1993؛ Mazor, 2004). ترکیب شیمیایی منابع آب زیرزمینی تابعی پیچیده از متغیرهای فراوانی نظیر ترکیب شیمیایی آب تغذیه شونده (عامل آب و هوا)، ترکیب سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی سنگ-های زیرسطحی (عامل زمین‌شناسی)، ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سنگ‌ها (عامل هیدروژئولوژی) (Langmuir, 1997)، فعالیت‌های انسانی تغییر دهنده ترکیب شیمیایی منابع آب (Hem, 1989)، نفوذ آب شور به داخل تشکیلات حاوی آب زیرزمینی شیرین در اثر فعالیت‌های انسانی عموماً غیرعمدی (جعفری عظیم آبادی، ۱۳۹۰) و تغییر کیفیت در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی (میرشاهی، ۱۳۸۶) نتیجه می‌شود. در ارتباط با بررسی علل و منشأ شور شدن آب زیرزمینی و خاک در مناطق مختلف کشور مطالعات متعددی صورت گرفته و یا در دست انجام است. منشأیابی و تعیین علل شوری آب زیرزمینی نیز از جمله اقدامات محققان بوده که مطالعه کلانتری و علیجانی (۱۳۸۷) در دشت عباس در استان خوزستان از آن جمله است. آنها برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی اقدام به نمونه‌برداری از آب ۳۱ حلقه چاه بهره‌برداری عمیق در دو دوره اردیبهشت و مهرماه نموده و یون‌های عمده آن‌ها را مورد تجزیه شیمیایی قرار دادند. آنها اذعان کردند که هرچند عوامل مختلفی کیفیت آب زیرزمینی دشت عباس را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، ولی کیفیت عمدتا متأثر از لیتولوژی (سنگ‌شناسی) بوده که در معرض شوری قرار دارد. به لحاظ ژئوشیمیایی، مسیر تکاملی به سمت انحلال کانی‌های تبخیری ژیپس و هالیت می‌باشد که باعث شوری بیش از حد آب‌های زیرزمینی دشت عباس شده است. خداپناه و همکاران (۲۰۰۹)، کیفیت آب زیرزمینی را به منظور اهداف مختلف در منطقه اشتهارد، تهران مطالعه نمودند و به این نتیجه رسیدند که شوری می‌تواند مربوط به فرآیندهای رسوبگذاری و انحلال در سازندهای میوسن، رسوبات تبخیری (ژیپس و سنگ نمک)، بهره‌برداری بیش از حد و نرخ تبخیر بالا در منطقه باشد. ماهادو و همکاران (۲۰۱۰)، به منظور بررسی منابع آب سطحی رودخانه‌های دالوی و کارانجی از روش‌های آماری چند متغیره استفاده کردند و آلکالینیتی و سختی را به‌عنوان پارامترهای اصلی کنترل‌کننده رشد فیتوپلانکتون-ها بیان نمودند. دارماوان و همکاران (۲۰۱۰)، روابط بین کیفیت آب رودخانه کانتو را با زمین-های اطراف بررسی کردند و نشان دادند که کیفیت آب این رودخانه متأثر از سازندهای اطراف آن است. ولی پور و همکاران (۱۳۸۶) نیز روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس آباد استان قم را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج به دست آمده آنها نشان داد که طی ۴۷ سال گذشته، وسعت اراضی کشاورزی ۹/۵ برابر افزایش یافته است که در منطقه حدود افزایش برداشت آب از منابع زیرزمینی را به همراه

داشته و موجب افت سطح آب این ناحیه و نهایتاً افزایش شوری شده است. بوتا و الم (۲۰۰۵) در بررسی میزان استحصال آب‌های زیرزمینی در پاکستان و تأثیر آن بر شور شدن خاک مشخص نمودند که ۸۰ درصد از آب‌های بهره‌برداری شده در بخش کشاورزی استفاده شده است. مقایسه داده‌های موجود از شوری خاک در سال‌های ۱۹۵۳، ۱۹۵۴، ۱۹۷۷، ۱۹۷۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ توسط آنها نشان داد که سطح زمین‌های شور افزایش تقریبی ۱۷ میلیون هکتار (از ۵۶ درصد به ۷۳ درصد) داشته است. در همین کشور تحقیق مشابهی توسط کینه و واندر (۱۹۹۲) انجام شده و نتیجه آن افت سطح ایستابی زیرزمینی و افزایش شوری به موجب برداشت بیش از حد از این منابع عنوان شده است. همچنین کینه و واندر (۱۹۹۲) گفته‌اند که استخراج بیش از اندازه آب‌های زیرزمینی در ناحیه‌ای از جنوب کویت باعث افت کمی و کیفی سفره آب زیرزمینی این منطقه شده است. به‌طوری که سطح آب زیرزمینی حدود ۲۰ متر افت نموده است. پیش‌بینی شده که ادامه این روند موجب کاهش شدید کیفیت آب چاه‌های منطقه و به دنبال آن افزایش شوری خاک خواهد شد. ژئونگ (۲۰۰۱) در روش تحلیل عاملی فرایندهای عمده‌ی کنترل‌کننده‌ی شیمی آب، در قالب عامل‌های پیونددهنده‌ی مجموعه‌ای از متغیرهای دارای وابستگی بالا را بیان کردند. فان و همکاران (۲۰۱۰)، آنالیزهای آماری را برای مشخص کردن خصوصیات آب و ارزیابی الگوی مکانی کیفیت آب استفاده کردند و نشان دادند که ایستگاه‌های شمال، شرق و غرب رودخانه را براساس شدت آلودگی به ترتیب به ۴، ۳ و ۴ خوشه دسته‌بندی کرد. در این تحقیق با هدف بررسی تأثیر عامل زمین‌شناسی با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی چاه‌های بهره‌برداری انتخابی آبخوان گله‌دار تیپ آب ارزیابی گردیده است.

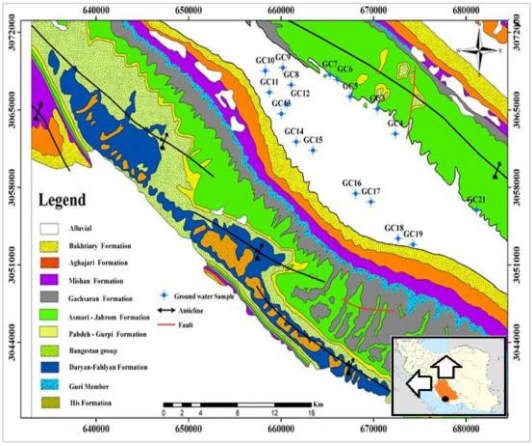
منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی گله‌دار در جنوب استان فارس بین طول جغرافیایی °۵۲ و´۲۳ تا °۵۲ و´۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی °۲۷ و´۳۱ تا °۲۷ و´۵۰ شمالی واقع شده است. این محدوده بخشی از شهرستان مهر می‌باشد و توسط کوه‌های هفچه کوه و لردکوه در جنوب، از منطقه عسلویه و خلیج فارس جدا می‌شود. در این محدوده منابع آب سطحی بسیار محدود بوده و آب مورد نیاز کشاورزی، صنعت و شرب از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. تنها منبع آب سطحی منطقه رودخانه فصلی مهران است. سرچشمه رودخانه مهران، چشمه‌ها، مسیل‌ها و جریانات سطحی ناشی از بارش بر ارتفاعات محدوده مطالعاتی گله-دار است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۰). با توجه به وابستگی شدید منطقه به آب زیرزمینی شناخت کمی و کیفی از این منبع محدود جهت مدیریت بهینه آن امری اجتناب-ناپذیر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه، بخشی از چین‌خوردگی ساده زاگرس است و روند کلی امتداد چین خوردگی‌ها شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. تاقدیس وراوی در شمال و تاقدیس عسلویه در جنوب، مهم‌ترین تاقدیس‌های منطقه می‌باشند. سازندهای زمین‌شناسی که در منطقه رخنمون پیدا کرده‌اند از قدیم به جدید شامل سازندهای فهلیان و داریان از گروه خامی، سازندهای کژدمی و سروک از گروه بنگستان، سازند پابده – گورپی، آسماری – جهرم، گچساران (که شامل تناوبی از مارن و لایه‌های نازک ماسه سنگ، سیلت، گچ و نمک می‌باشد)، سازند میشان،

آغاجاری، کنگلومرای بختیاری و رسوبات آبرفتی دوران چهارم که به‌وجـود آورنده سفـره آب زیرزمیـنی دشت گله‌دار می‌باشند. این رسوبات در حاشیه دشت به صورت واریزه و مخروط افکنه می‌باشد و با حرکت به سمت مرکز دشت دانه‌ریز می‌گردند (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی هیدروشیمیایی آبخوان دشت گله‌دار ۲۰ چاه بهره‌برداری در بهار ۱۳۹۰ که پراکندگی مناسبی در تمام طول دشت داشتند، انتخاب و نمونه‌برداری از آن‌ها صورت گرفت (جدول ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه منابع آب دشت گله‌دار (شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۶۵)

پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، دما، کاتیون‌های اصلی (شامل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌های اصلی (شامل کلر، سولفات و بی‌کربنات) و نیترات اندازه-گیری شدند (جدول ۱). نمونه‌ها وارد مدل PHREEQC شده و خروجی مدل به همراه پارامترهای هیدروشیمیایی دیگر وارد محیط ArcGIS گردید و براساس بهترین روش درونیابی با استفاده از روش‌های ژئواستاتیستیکی، پهنه-بندی گردید. نمودارهای ترکیبی نیز به منظور بررسی واکنش‌های صورت گرفته در محیط آبخوان ترسیم شد. سپس اقدام به تحلیل داده‌ها از طریق بررسی روابط رگرسیونی بین شوری آب زیرزمینی و تأثیر سازندها گردید. این کار در نرم افزار SPSS و توسط آزمون همبستگی دو متغیره[1] صورت گرفت. با انجام این کار تأثیرات سازندهای منطقه بر شور شدن آب زیرزمینی به صورت کمی بررسی شد.

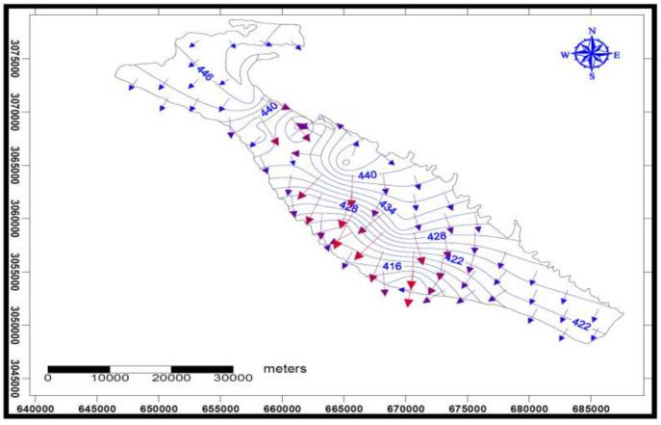
نتایج

به منظور تجزیه و تحلیل کیفیت آب زیرزمینی دشت گله‌دار، در ابتدا تأثیر عوامل هیدروژئولوژیکی در چگونگی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی قرار گرفته و نقشه تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای دشت گله‌دار تهیه شد. جهت جریان آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از عوامل مهم هیدروژئولویکی، در کمک به تفسیر نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های جمع‌آوری شده مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از اطلاعات ماهانه سطح آب تعداد ۱۴ حلقه از چاه-های مشاهده‌ای آبخوان استفاده گردید (شکل ۲).

با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که جهت جریان آب‌های زیرزمینی عموماً از شمال به سمت جنوب دشت گله‌دار می‌باشد. این روند منطبق بر شیب توپوگرافی و شبکه زهکشی سطحی نیست و دلیل آن پمپاژ چاه‌های کشاورزی حفر شده در جنوب دشت می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که قسمت اعظم ورودی آب‌های زیرزمینی منطقه از ارتفاعات شمالی و سازندهای آهکی آسماری می‌باشد.

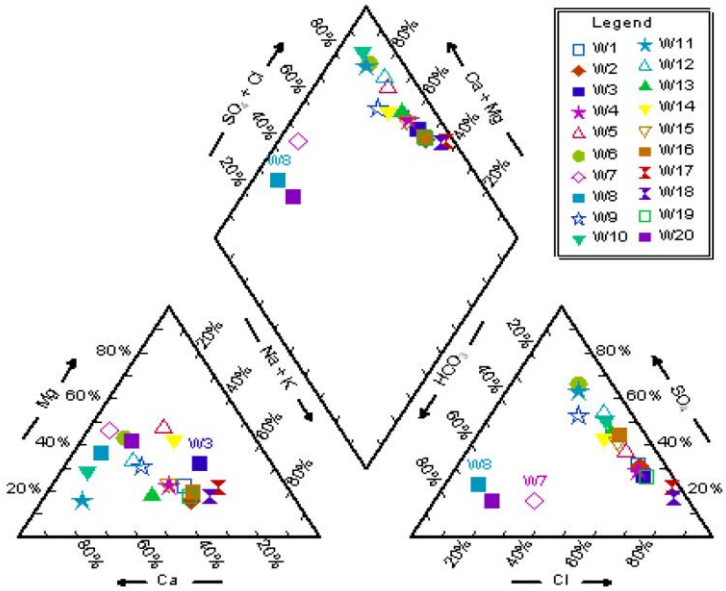
جدول ۱: مقادیر پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب دشت گله‌دار

نام نمونه	(میلی اکی والان بر لیتر)							(میلیگرم بر لیتر)		درصد خطا
	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	TDS	NO_3	
GC_3	15.0	10.4	20.0	0.2	4.0	14.2	27.5	2790	20.36	0.03
GC_4	22.5	10.4	32.0	0.4	5.5	20.0	40.0	4035	23.61	-0.19
GC_5	15.0	20.9	27.7	0.3	5.5	16.6	40.0	3744	25.06	1.41
GC_6	17.5	10.4	17.8	0.2	4.5	12.9	27.5	2757	4.07	1.15
GC_7	15.0	26.1	13.5	0.3	5.5	19.8	29.5	3255	17.72	0.03
GC_8	17.5	18.2	5.6	0.2	4.5	27.5	9.5	2628	20.94	0.02
GC_9	5.5	5.7	0.9	0.1	6.0	1.8	4.0	793.5	30.86	1.43
GC_{10}	4.5	3.1	0.8	0.0	5.5	1.9	1.0	604	18.24	0.65
GC_{11}	11.5	8.3	6.9	0.1	4.7	14.0	8.0	1734	19.54	0.31
GC_{12}	27.5	13.0	4.0	0.2	4.3	22.0	17.5	2740	59.37	1.09
GC_{13}	22.5	5.2	4.2	0.2	4.0	20.2	8.0	2110	22.43	-0.18
GC_{14}	17.5	13.0	8.6	0.2	3.5	21.0	15.0	2458	7.45	-0.26
GC_{15}	20.0	7.8	15.3	0.2	4.5	19.2	19.0	2719	13.05	0.78
GC_{16}	6.5	10.4	7.3	0.1	3.5	10.4	10.5	1507	28.83	-0.06
GC_{17}	12.5	7.8	12.5	0.2	3.5	13.7	16.0	2071	14.08	-0.29
GC_{18}	15.0	9.4	22.4	0.3	4.0	20.6	22.5	2966	11.07	-0.15
GC_{19}	22.0	21.4	54.3	0.5	2.3	20.8	75.0	5755	22.92	0.01
GC_{20}	22.5	15.1	45.3	0.5	3.5	14.5	67.5	4989	18.45	-1.27
GC_{21}	20.0	10.4	28.4	0.3	5.0	15.5	39.0	3617	12.63	-0.36
GC_{22}	3.5	3.6	1.5	0.0	5.5	1.3	1.7	605.1	29.53	0.99



شکل ۲: سطح آب زیرزمینی و جهت جریان در آبخوان دشت گله‌دار

برای تقسیم‌بندی و تعیین تیپ منابع آب، از نمودار پایپر استفاده شد (شکل ۳). با توجه به نمودار پایپر، تیپ‌های غالب در منطقه مورد مطالعه به صورت کلروره- سدیک و سولفاته- کلسیک می‌باشد. در مناطق شمالی تیپ نمونه-های آب سولفاته است. در راستای جهت جریان تیپ آب از حالت کربناته و سولفاته به کلروره سدیک و منیزیک تغییر می‌یابد (شکل ۳). این امر با توجه به ترتیب تکامل یونی چیباتاروف (Chebotarev, 1955) و زمان ماندگاری بیشتر صورت می‌گیرد. دلیل کم بودن تیپ کربناته در بالادست دشت حضور سازند و نهشته‌های سازند گچساران می‌باشد که تیپ غالب سولفاته را به خصوص در حاشیه شمال غربی آبخوان باعث شده است.

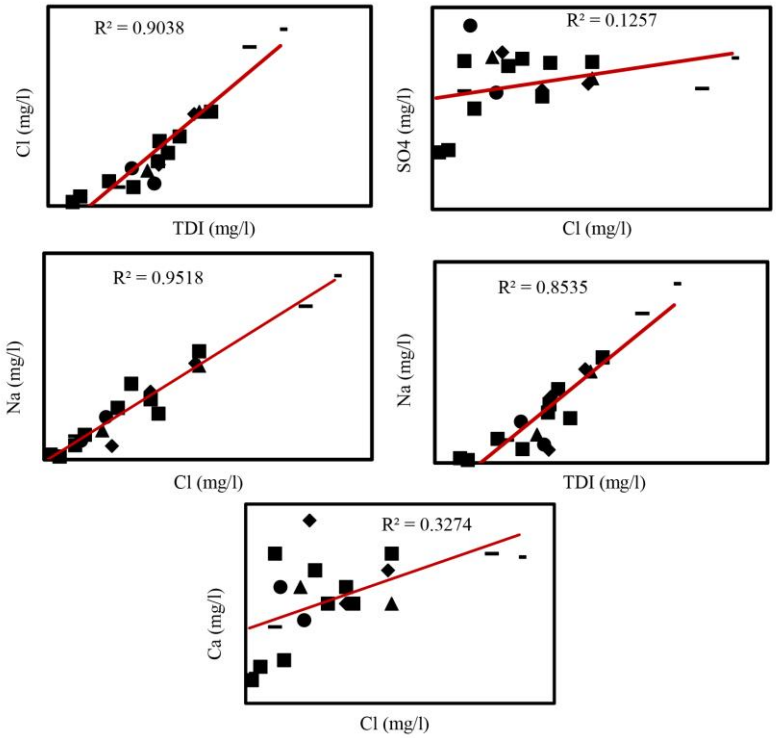


شکل ۳: منحنی پایپر از نمونه‌های آنالیز شده در منطقه مورد مطالعه

-منشأ مواد حل شده در آب زیرزمینی

ارزیابی روابط بین یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و بی‌کربنات و با توجه به ضرایب همبستگی این یون‌ها، اطلاعات قابل قبولی درباره فرآیندهای حاکم بر رفتار یون‌ها را به دست می‌دهد (Jalali, 2009). برای تعیین شوری آب‌های زیرزمینی می-توان از ارتباط بین کلر و سدیم استفاده کرد (Magaritz et al, 1981؛ Dixon and Chiswell, 1992؛ Sami, 1992). مقادیر بالای سدیم و کلر در برخی نمونه‌ها ممکن است به علت انحلال نمک باشد. همبستگی مثبت بالای این دو یون (R^2=۰/۹۵) مؤید این مطلب است (شکل ۴). ارتباط کلر و بی‌کربنات یک ارتباط معکوس می-باشد به‌گونه‌ای که با افزایش کلر مقدار بی‌کربنات کاهش می‌یابد، که با سری چیباتاروف مطابقت دارد. عدم رابطه قوی مثبت بین کلر و سولفات نشان می‌دهد که منشأ کلر آبخوان گله‌دار شورابه-های کلردار سازند گچساران نمی‌باشد. به احتمال زیاد آب‌های سطحی تغذیه کننده آبخوان که از خاک‌های شور منطقه غیراشباع آبخوان عبور می-کنند عامل اصلی شور شدن و کلر آب‌های زیرزمینی است. ارتباط مثبت و قوی بین کلر و

TDI (R^2=۰/۹۰) و سدیم با TDI (R^2=۰/۸۵) حاکی از نقش مهم این دو یون و در نتیجه انحلال هالیت در افزایش TDI و شوری آب زیرزمینی دشت گله‌دار می‌باشد.



شکل ۴: نمودارهای پراکندگی برخی یون‌ها در آب‌های زیرزمینی منطقه

-تحلیل عاملی و آنالیز خوشه‌ای

تحلیل عاملی یک روش مفید برای تفسیر داده-های کیفی آب زیرزمینی و ارتباط دادن آن‌ها با فرآیندهای خاص هیدروژئولوژیکی است. در واقع در تحلیل عاملی متغیرهایی که با هم همبستگی بالایی دارند را با یک عامل نشان می‌دهند و بجای چندین متغیر تنها یک عامل را در تحلیل‌ها به کار می‌برند (Guler et al, 2002). تفسیر و تعیین منشأ هر یک از فاکتورهای موثر براساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناختی و فرآیندهای هیدروشیمیایی صورت می‌گیرد. اولین گام در تحلیل عاملی تهیه یک ماتریس ضرایب همبستگی از تمام متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد (جـــدول ۲). با توجه به این جدول بیشترین میزان همبستگی بین یون‌های کلر و سدیم مشاهده می‌گردد. همبستگی خوبی نیز بین پتاسیم و کلر و همین‌طور بین کلسیم و سولفات وجود دارد. براساس ماتریس همبستگی داده‌های هیدروژئوشیمی، تمامی متغیرهای شیمیایی بجز بی‌کربنات همبستگی مثبت با TDS آب زیرزمینی نشان می‌دهند، که مؤید نقش مهم انحلال ژیپس، انیدریت و هالیت در شوری آب زیرزمینی دشت گله‌دار می‌باشد. مقدار منفی همبستگی بی‌کربنات با TDS به علت رسوبگذاری کربنات کلسیم می-باشد. بیشترین همبستگی بین کلر و سدیم به میزان ۰/۰۹۷۶ و کمترین همبستگی بین بی-کربنات و سدیم به میزان ۰/۰۴۲۲- است. که حاکی از غالب بودن تیپ آب کلرید-سدیک در

دشت گله‌دار می‌باشد (جدول ۲). کیفیت آب زیرزمینی دشت گله‌دار توسط ۳ عامل کنترل می‌شود. بار این عامل‌ها نسبت به مشخصه‌های کیفیت در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که این عامل‌ها حدود ۸۴/۹ درصد از کل واریانس داده‌ها را در خود دارند که ۵۱/۹ درصد به وسیله عامل ۱، ۲۲/۹ درصد با عامل ۲ و ۱۰/۱ درصد توسط عامل ۳ تبیین می‌شود. عامل ۱ مربوط به فرایندهای شیمیایی ناشی از انحلال هالیت می‌باشد، زیرا یون‌های سدیم و کلر دارای بار عاملی بالایی هستند (به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۹۱). عامل ۲ را می‌توان به انحلال کانی‌های ژیپس و انیدریت نسبت داد، چون بار عاملی کلسیم و سولفات بالاست. عامل ۳ احتمالا در ارتباط با انحلال و فرایندهای مربوط به کربنات کلسیم می‌باشد.

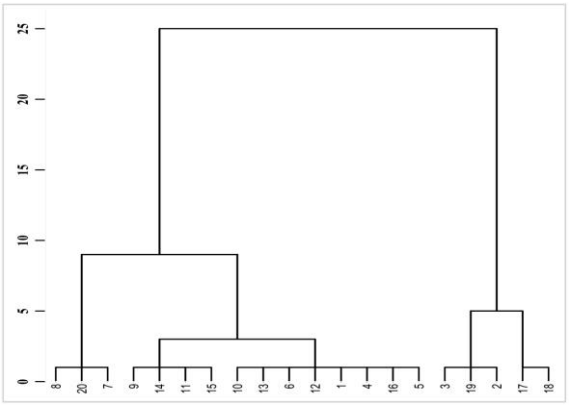
جدول ۲: ماتریس همبستگی عناصر موجود در نمونه‌ها

	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	TDS	EC
Ca	1								
Mg	0.405	1							
Na	0.508	0.498	1						
K	0.715	0.67	0.93	1					
HCO_3	- 0.389	- 0.189	- 0.422	-0.39	1				
SO_4	0.8	0.59	0.326	0.57	-0.417	1			
Cl	0.572	0.605	0.976	0.95	-0.411	0.355	1		
TDS	0.747	0.689	0.924	0.98	-0.441	0.623	0.951	1	
EC	0.717	0.694	0.936	0.98	-0.436	0.581	0.966	0.998	1

جدول ۳: مقدار بار عامل‌ها براساس چرخش واریماکس در نمونه‌ها

متغیر	عامل		
	1	**2**	**3**
Ca	0.728	0.488	-0.50
Mg	0.674	0.112	0.506
Na	0.844	-0.503	-0.098
K	0.979	-0.128	0.066
HCO_3	-0.451	-0.209	0.787
SO_4	0.599	0.764	0.105
Cl	0.913	-0.396	-0.034
TDS	0.994	-0.072	0.036

درهر (۲۰۰۳)، گولر و همکاران (۲۰۰۲)، ویلیامز (۱۹۸۲) از روش آماری آنالیز خوشه برای رده‌بندی داده‌های هیدروشیمی استفاده کرده‌اند. خوشه را می‌توان با مفهوم پیوستگی درونی و انزوای بیرونی تعریف کرد. به این مفهوم که نمونه‌های موجود در یک گروه خیلی شبیه یکدیگر هستند و در مقابل نمونه‌های خوشه‌های متفاوت کاملاً از هم مجزا می‌باشند. در این تحقیق برای تقسیم‌بندی نمونه‌ها به گروه‌های مشخص، از روش فاصله اقلیدسی به‌عنوان سنجش تشابه نمونه‌ها با یکدیگر طبق روش تکرار وارد[۲] استفاده شده است (Qannam, 2003). فرضیات روش آنالیز خوشه‌ای شامل واریانس همسانی و توزیع نرمال متغیرهاست (Alther, 1979). به همین منظور قبل از انجام آنالیز، داده‌ها را استاندارد می‌کنند (Dreher, 2003) (شکل ۵).



شکل ۵: دندروگرام نمونه آب چاه‌های منطقه

نمودار درختی نمونه‌های آب محدوده مورد مطالعه در شکل ۶ ارائه شده است، در این شکل پنج گروه متمایز دیده می‌شود. این پنج گروه را می‌توان به دو دسته مشابه تقسیم کرد، گروه اول و دوم را می‌توان در یک دسته و گروه‌های سوم، چهارم و پنجم را در دسته دیگر قرار داد. بیشتر نمونه‌ها در دسته دوم قرار دارند. این پنج گروه به شرح زیر می باشند: گروه اول: شامل نمونه آب چاه‌های شماره ۷، ۸ و ۲۰ می‌باشد. بهترین کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه مربوط به نمونه‌های این گروه می‌باشد.

گروه دوم (زیرگروه ۱): این زیر گروه شامل نمونه آب چاه‌های شماره ۹، ۱۱، ۱۴ و ۱۵ می‌باشد. این زیر گروه با کیفیت نامناسب‌تری نسبت به گروه اول مشخص می‌شود.

گروه دوم (زیر گروه ۲): این زیر گروه، نمونه آب چاه‌های ۱، ۴، ۵، ۶، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۶ را شامل می‌شود. زیر گروه ۲ با کیفیت نامناسب‌تر در مقایسه با گروه اول و زیر گروه ۱ مشخص می-گردد.

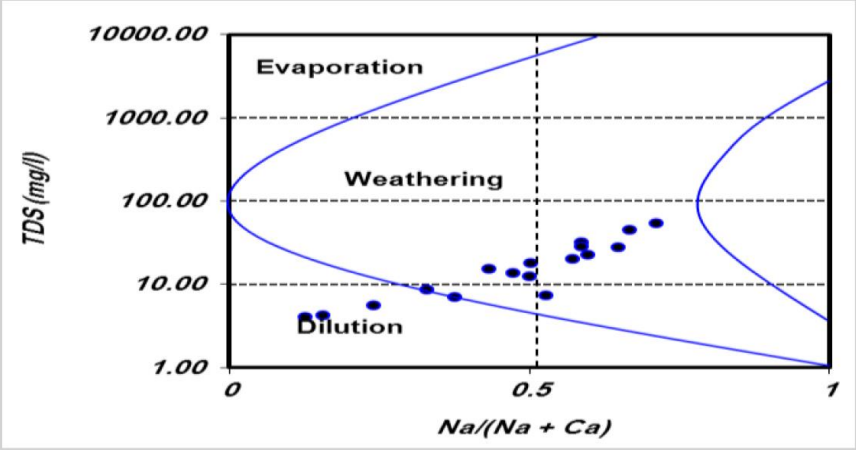
گروه سوم: این گروه دارای سه عضو ۲، ۳ و ۱۹ می‌باشد. از نظر کیفیت آب این نمونه‌ها در رده سوم پس از گروه اول و دوم قرار دارد و نسبت به گروه چهارم کیفیت آب مناسب‌تری دارد.

گروه چهارم: این گروه سه عضو داشته و مربوط به GC_4، GC_5 و GC_{21} می‌باشد که به دلیل برداشت از عمق زیاد به دلیل پمپاژ زیاد چاه‌های کشاورزی از آبخوان می‌باشد.

گروه پنجم: این گروه با دو عضو ۱۷ و ۱۸ دارای کیفیت نامطلوب‌تری نسبت به سایر نمونه‌های دشت می‌باشد که در انتهای دشت گله‌دار و خروجی دشت قرار دارند.

-نمودار گیبس و شاخص اشباع منابع آب

از نمودار ترکیبی گیبس جهت تشخیص منشأ مواد محلول موجود در آب آبخوان استفاده شد. این نمودار (شکل ۶) نشان می‌دهد که منشأ غالب املاح موجود در آب، هوازدگی نهشته‌های موجود در منطقه می‌باشد. جهت شناسایی عوامل مؤثر بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی استفاده از مقادیر نمایه‌های اشباع کانی‌های مختلف و بررسی روابط بین نمایه‌های اشباع بسیار مفید می‌باشد. بدین جهت برای شناخت منشأ شوری آب‌های زیرزمینی دشت گله‌دار مقادیر نمایه‌های اشباع با استفاده از کد کامپیوتری PHREEQC (Parkhurst and Appelo, 1999) محاسبه گردیده است (جدول ۴).



شکل ۶: نمودار گیبس منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت گله‌دار

جدول ۴: شاخص‌های اشباع کانی‌ها در آبخوان دشت گله‌دار

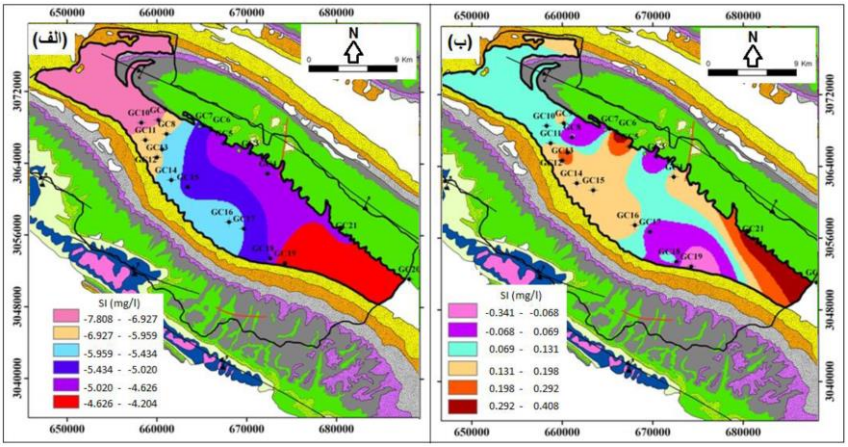
نام چاه	نام کانی				نام چاه	نام کانی			
	هالیت	کلسیت	دولومیت	ژیپس		هالیت	کلسیت	دولومیت	ژیپس
GC_3	-5.01	-0.06	-0.22	-0.62	GC_{13}	-6.21	0.2	0.2-	-0.28
GC_4	-4.67	0.17	0.06	-0.4	GC_{14}	-5.64	0.15	0.22	-0.41
GC_5	-4.73	0.23	0.66	-0.65	GC_{15}	-5.29	0.13	-0.1	-0.39
GC_6	-5.06	0.44	0.71	-0.6	GC_{16}	-5.83	0.18	0.61	-0.97
GC_7	-5.17	0.01	0.32	-0.58	GC_{17}	-5.43	0.02	-0.12	-0.65
GC_8	-6.03	-0.11	-0.16	-0.33	GC_{18}	-5.05	0.09	0.02	-0.48
GC_9	-7.14	0.17	0.41	-1.63	GC_{19}	-4.19	-0.36	-0.67	-0.49
GC_{10}	-7.14	0.17	0.41	-1.63	GC_{20}	-4.31	0.42	0.71	-0.58
GC_{11}	-5.98	0.13	0.15	-0.64	GC_{21}	-4.72	0.41	0.58	-0.53
GC_{12}	-5.91	0.26	0.24	-0.25					

با توجه به جدول نمایه اشباع و نقشه‌های هم‌نمایه اشباع (شکل ۷)، اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع می‌باشند (بجز نمونه‌های GC_3، GC_8 و GC_{19}) در حالی که نسبت به ژیپس و انیدریت تحت اشباع می‌باشند. علت آن می‌تواند کاهش حلالیت CO_2 در آب تغذیه شونده باشد که با افزایش دما و pH آب همراه است. انحلال ژیپس باعث آزاد شدن کلسیم خواهد شد که این موضوع در فوق اشباع شدن کلسیت و دولومیت مؤثر خواهد بود. مقادیر محاسبه شده SI برای کلسیت و دولومیت نمونه های آب زیرزمینی منطقه به ترتیب بین ۰/۳۶- تا ۰/۴۴ و ۰/۶۷- تا ۰/۷۱، همچنین در مورد ژیپس و هالیت این مقادیر به ترتیب برابر ۱/۶۳- تا ۰/۲۵- و ۷/۸۱- تا ۴/۱۹- می‌باشد. در حدود ۹۰٪ از نمونه‌ها دارای شاخص SI >0 برای کلسیت و دولومیت هستند که نشان‌دهنده اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به این دو کانی می‌باشد. انحلال ژیپس باعث آزاد شدن کلسیم خواهد شد که در فوق اشباع شدن کلسیت و دولومیت مؤثر خواهد بود. در نواحی وسیعی از دشت گله‌دار انحلال کانی‌های کربناته به وسیله آب‌های زیرزمینی روی می‌دهد. رخنمون سازندهای آهکی و دولومیتی مانند آسماری- جهرم سبب فوق اشباع شدن آب زیرزمینی منطقه نسبت به کلسیت و دولومیت شده است، همچنین وجود مقادیر قابل ملاحظه‌ای

از کانی‌های تبخیری ژیپس و انیدریت در مواد آبرفتی باعث گردیده است تا آب‌های زیرزمینی، این دو کانی را با نرخ‌های واکنشی سریعی حل نمایند. کلسیم ناشی از انحلال ژیپس باعث ایجاد واکنش اثر یون مشترک[۳] به صورت رابطه ۱ می‌گردد:

رابطه ۱)

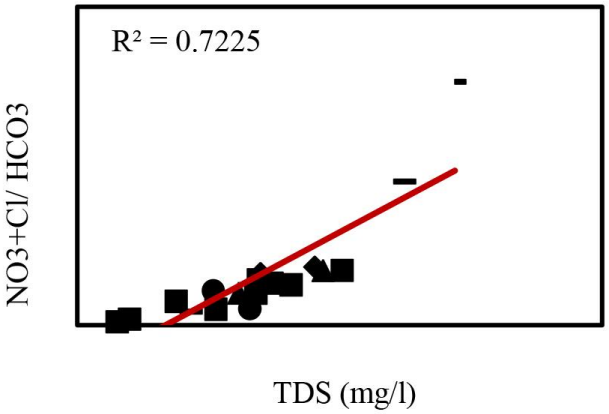
$(CaSO_4 \cdot 2H_2O\ (gypsum) + 2HCO \rightarrow CaCO_3 + SO_4 + 2H_2O)$



شکل ۷: پهنه‌های هم نمایه اشباع، الف) هالیت، ب) کلسیت

-تأثیر رواناب‌های سطحی و عوامل انسانزاد بر کیفیت منابع آب

انحلال سازندهای زمین‌شناسی قابل حل در آب به‌ویژه سازندهای تبخیری باعث می‌شود که رواناب‌های عبوری از روی این سازندها به شدت افت کیفیت پیدا کنند و در نهایت با ورود به دشت‌های آبرفتی باعث کاهش کیفیت آب زیرمینی شود. مهم‌ترین سازندهای انحلال‌پذیر که سبب افت کیفیت آب‌های سطحی می‌شوند، سازندهای گچساران و میشان هستند. در دشت گله‌دار به دلیل مجاورت سازندهای گچساران در شمال غرب منطقه و تغذیه آبخوان توسط آبراهه-های ورودی از این سازند، کیفیت آب زیرزمینی به شدت کاهش پیدا می‌کند. تغییرات TDS موجود در آب‌های زیرزمینی ممکن است در ارتباط با نوع کاربری زمین و حاکی از آلودگی این آب‌ها باشد، (Gillardet et al, 1999). نیترات، سولفات، کلر و سدیم یون‌هایی هستند که به‌طور غالب در نتیجه استفاده از کودهای شیمیایی کشاورزی، کودهای حیوانی، فعالیت‌های شهرسازی و فاضلاب‌های صنعتی به آب‌های زیرزمینی اضافه می‌شوند (Jalali, 2009). رسم نمودار غلظت این یون‌ها در مقابل TDS می‌تواند اثر فعالیت‌های انسان را در تعیین شیمی آب‌های زیرزمینی نشان دهد (Han et al, 2004). به‌عبارت دیگر اگر همبستگی این یون‌ها با TDS مثبت باشد، می‌تواند دلیلی بر منشأ انسانی آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی باشد. همان‌طورکه در شکل دیده می‌شود همبستگی بسیار خوبی (R^2=۰/۷) بین TDS و $Cl+NO_3/HCO_3$ وجود دارد (شکل ۸). با توجه به این شکل مشخص می‌شود که نیترات موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، بیشتر در اثر فعالیت‌های انسانی به این آب‌ها اضافه شده‌اند.



شکل ۸: رابطه بین $Cl+NO_3/HCO_3$ با TDS

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر عوامل زمین‌شناسی بر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت گله‌دار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی قسمت‌هایی از دشت گله‌دار که تحت-تأثیر سازندهای نمکی و گچی گچساران و میشان در اطراف قرار دارند، غلظت یون‌های کلرید و سولفات در آب زیرزمینی از سایر یون‌ها بیشتر است. روند کلی فرایندها هیدروژئوشیمیایی حاکم بر آبخوان آبرفتی گله‌دار شامل انحلال هالیت و ژیپس و رسوب کلسیت و دولومیت می‌باشد. همچنین شاخص اشباع کانی‌های هالیت، ژیپس و انیدریت نشان‌دهنده تأثیر سازندهای سولفاته در تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد. نتایج به دست آمده از روابط همبستگی بین یون‌های مختلف نشان می‌دهد که منشأ کلر، سدیم، سولفات و کلسیم که مهم‌ترین یون‌های موجود در آب‌های زیرزمینی هستند، توالی سنگ‌شناسی منطقه است. دشت گله‌دار دارای منابع آب با دو نوع رخساره هیدروژئوشیمیایی کلروره- سدیک و سولفاته کلسیت (منیزیک) می‌باشد. افزایش خطی سدیم و کلر نسبت به TDI نشان دهنده انحلال هالیت در منطقه است که منشأ آن را می‌توان به انحلال نمک و ژیپس سازندهای حاشیه غربی دشت توسط رواناب‌ها و زه آب کشاورزی مرتبط دانست. منشأ تمامی آب‌های دشت از اختلاط آب تغذیه‌ای سولفاته-کلسیک از بخش‌های انیدریتی سازند گچساران و شورابه تغذیه‌ای کلروره- سدیک می‌باشد. آنالیز آماری و تحلیل عاملی وجود سه عامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت را نشان می‌دهد که عامل ۱ با مقدار ۵۱/۹ درصد بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب زیرزمینی دارد و ناشی از انحلال هالیت است. فعالیت‌های کشاورزی که منبع ورود نیترات به آب‌های زیرزمینی در منطقه گله‌دار محسوب می‌شوند سبب شده است که غلظت نیترات در مناطق میانی دشت از سایر قسمت‌ها بیشتر شود.

پانوشت

1-Bivariate Correlation
2-Wards Method
3-Common Ion Effect

منابع

-جعفری عظیم‌آبادی، ه.، ۱۳۹۰. بررسی کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در ارتباط با افت سطح ایستابی ناشی از پمپاژ- آبخوان هرات در استان یزد، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود.

-شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، گزارش پیشنهاد ممنوعیت محدوده مطالعاتی گله‌دار، ۱۳۸۰. ۱۱۰ ص.

-شرکت ملی نفت ایران، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱ به ۲۵۰۰۰۰ جنوب غرب فارس، برگه ۲۰۵۱۴، ۱۹۶۵.

-کلانتری، ن. و علیجانی، ف.، ۱۳۸۷. بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان، مجله علوم دانشگاه شهید چمران (قسمت ب)، شماره ۱۹، ۸۴-۹۷ ص.

-مظفری‌زاده، ج. و چیت‌سازان، م.، ۱۳۸۵. تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب رود کارون در محدوده گتوند-شوشتر، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، بیرجند- ۱۳۸۵.

-میرشاهی، م.، ۱۳۸۶. بررسی تاثیرافت سطح آب زیرزمینی بر روی کیفیت آن دردشت فریمان- تربت جام، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

-ولی‌پور، م.، کریمیان اقبال، م.، ملکوتی، م.ج. و خوش گفتارمنش، ا.ح.، ۱۳۸۶. روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۶، ص ۶۹۱- ۶۸۳.

-Alley, W.M., 1993. Regional Groundwater Quality, Van Nostrand Reinhold, New York, 623 p.

-Alther, G.A., 1979. A Simplified Statistical Sequence Applied to Routine Water Quality Analysis: A Case History, groundwater, v. 17, p. 556-561.

-Bhutta, M.N. and Alam, M.M., 2005. Prospective and Limits of Groundwater Use in Pakistan, in: Proceeding of IWMI- ITP- NIH International Workshop on "Creating Synergy between Groundwater Research and Management in South and Southeast Asia, Roorkee, India.

-Chebotarev, I.I., 1955. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering, Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 8, p. 22-48.

-Darmawan, A., Oguchi, T. and Yokohari, M., 2010. Land Use/ Cover and Surface Water Quality at Multiple Spatial Scales in the Kanto Region, Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo.

-Dreher, T., 2003. Comment on Guler C, Thyne GD, McCray JE, Turner AK (2002): Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology Journal, v. 11, p. 455-474.

-Dixon, W. and Chiswell, B., 1992. The use of hydrochemical sections to identify recharge areas and saline intrusions in alluvial aquifers, southeast Queensland, Australia, Journal of Hydrology, v. 130, p. 299–338.

-Fan, X.B., Cui, H., Zhao, Z., and Zhang, H., 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques, Procedia Environmental Sciences, v. 2, p. 1220-1234.

-Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979. Ground Water, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604 p.
-Gillardet, J., Dupre, B., Louvat, P. and Allegre, C.J., 1999. Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. Chemical Geology, v. 159, p. 3–10.
-Guler, C. Thyne, G.D., McCray, J.E. and Turner, A.K., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology Journal, v. 10, p. 455-474.
-Han, G. and Liu, C-Q., 2004. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou province, China, Chemical Geology, v. 204, p. 1–21.
-Hem, J.D., 1989. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters, third edition, U.S, geological survey, water-supply paper, 2254 p.
-Jalali, M., 2009. Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran. Environmental Geology v. 56, p. 1479-1488.
Jeong, C., 2001. Mineral-water interaction and hydrogeochemistry in the Samkwang mine area, Korea, Geochemical Journal, v. 35, p. 1-12.
-Khodapanah, L., Sulaiman, W.N.A. and Khodapanah, N., 2009. Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran, European Journal of Scientific Research, v. 36, p. 543-553.
-Kijne, J.W. and Vander, V.E.J., 1992. Salinity in Punjab watercourse commands and irrigation systems operations, Chap. 8 in Advancements in IIMI's research, 1989–91, 139–75, Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute.
-Langmuir, D., 1997. Aqueous environmental geochemistry, Prentice hall, New Jersey.
-Magaritz, M., Nadler, A., Koyumdjisky, H. and Dan, N., 1981. The use of Na/Cl ratio to trace solute sources in a semiarid zone. Water Resources, v. 17, p. 602–608.
-Mahadev, J., Hosamani, S.P. and Akheel Ahmed, S., 2010. Statistical Multivariate Analysis of Lake Water Quality Parameters in Mysore, Karnataka, India, World Applied Science Journal, v. 11, p. 1370-1380.
-Mazor, E., 2004. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology, third edition, John Wiley, New York, 589 p.
-Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., 1999. PHREEQC (v.2)-A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One- Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations, U. S. Geological Survey, 326 p.
-Qannam, Z., 2003. A hydrogeological, hydrochemical and environmental study in Wadi Al Arroub drainage basin, south west Bank, Palestine, Freiberg On-line Geosciences, v. 9.
-Sami, K., 1992. Recharge mechanisms and geochemical processes in a semi-arid sedimentary basin, Eastern Cape, South Africa. Journal of Hydrology, v. 139, p. 27-48.
-William, W.D., 2001. Anthropogenic Salinization of inland waters, Hydrobiology, v. 466, p. 329-337.