

## بررسی هیدروشیمیایی دشت میان آب با استفاده از روش‌های آماری، نمودارهای هیدروشیمیایی و منطق فازی

نصرا.. کلانتری<sup>(۱\*)</sup>، محمد حسین رحیمی<sup>۲</sup> و اکبر اکبری<sup>۳</sup>

۱. استاد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران

۲. مربی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران

۳. کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۴/۲

### چکیده

منطق فازی یک روش طبقه‌بندی مناسب برای تقسیم‌بندی نمونه‌های شیمی آب به گروه‌های مشابه، ابزاری کارآمد برای توصیف محیط‌های هیدروژئولوژیکی است. سیستم‌های زمین‌شناختی و هیدروشیمیایی در برخی موارد خیلی پیچیده‌تر از آن است که توسط روش‌های گرافیکی و آماری مرسوم تحلیل شود. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی در چرخه طبیعت اغلب به صورت پیوسته تغییر می‌کنند و ناگهانی نیستند، یا به عبارت دیگر فرآیندهای فیزیکوشیمیایی همیشه خروجی‌های مجزایی ندارند. به دلیل این پیوستگی ممکن است گروه‌های آماری به خوبی از یکدیگر تفکیک نشوند و در عوض ممکن است توالی را تشکیل دهند که گروه‌ها با هم همپوشانی داشته باشند. در این شرایط، روش منطق فازی می‌تواند برای مدل‌سازی و گروه‌بندی مفید باشد. در این مطالعه ۳۰ نمونه آب زیرزمینی دشت میان آب با استفاده از روش تقسیم‌بندی فازی به سه گروه تقسیم شده و سپس این گروه‌ها از لحاظ غلظت مجموع املاح و تیپ آب مورد بررسی قرار گرفته است. غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه سوم افزایش می‌یابد. در گروه اول و دوم تیپ آب بصورت کلروره سدیک است و در گروه سوم سولفات-کلسیک است. به منظور شناسایی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر سفره آبدار، نمودارهای ترکیبی، نسبت‌های یونی و اندیس‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژپس نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی به شدت تحت تأثیر تغذیه از رودخانه، رسوبات تشکیل دهنده سفره آبدار و تبخیر از سطح آب زیرزمینی قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** دشت میان آب، روش تقسیم‌بندی فارسی، سیستم هیدروشیمی

### مقدمه

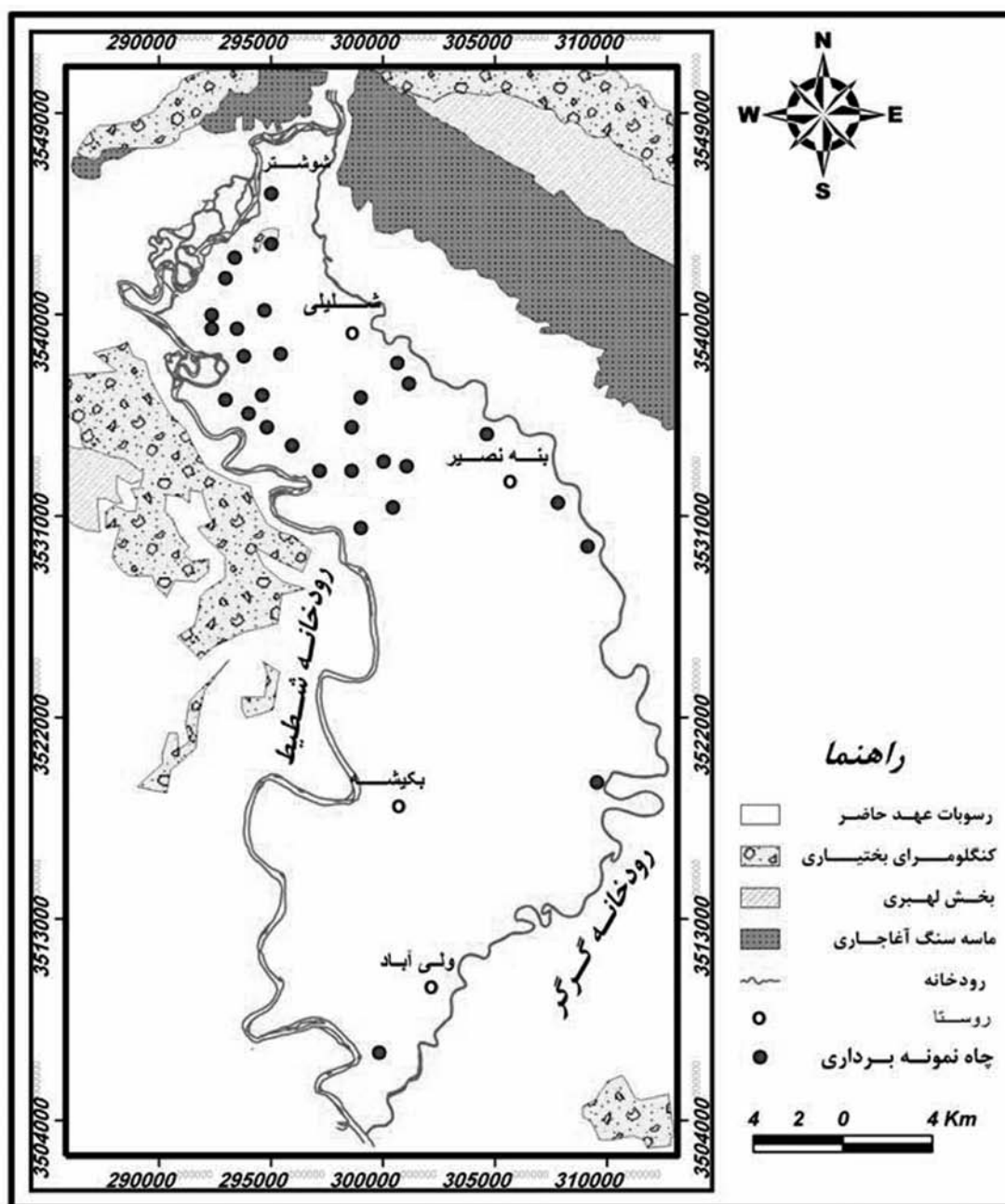
به استثنای قسمت کوچکی از منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان شوشتر که در آن کنگلومرای بختیاری رخمون دارد، رسوبات آبرفتی عهد حاضر در سراسر دشت گسترش یافته است. نهشته‌های مذکور که حاصل هوازدگی، تخریب، فرسایش و انتقال اجزاء سازندهای قدیمی‌تر مناطق مجاور هستند، غالباً از لایه‌های رس، رس‌سیلت‌دار و ماسه تشکیل شده‌اند که به‌طور متناوب بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. بررسی بیش از ۵۰ لاگ مربوط به چاه‌های پیژومتری و چاه‌های عمیق و مطالعات ژئوفیزیک در منطقه مورد مطالعه حاکی از آن است که از سمت شمال به جنوب از اندازه ذرات کاسته شده و بر سنگینی بافت خاک افزوده می‌گردد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بجز در حواشی و بسترهای قدیمی رودخانه

دشت میان آب شوشتر با مساحت ۴۵۳/۲ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ۳۶° ۳۱' تا ۳۲° ۰۳' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۵° ۴۸' تا ۴۹° ۰۱' شمالی، در فاصله تقریبی ۴۰ کیلومتری شمال اهواز در استان خوزستان قرار دارد. دشت میان آب به‌صورت جزیره‌ای در بین دو رودخانه گرگر و شطیط محصور می‌باشد. شکل (۱) موقعیت این منطقه را در استان خوزستان نشان می‌دهد. این دشت با ارتفاع متوسط ۳۲ متر از سطح دریا دارای آب و هوای گرم و نیمه‌بیابانی است و میانگین بارش سالانه در آن ۲۵۴ میلیمتر، تبخیر سالانه (از سطح تشت) در حدود ۲۶۷۸ میلیمتر و متوسط دمای سالانه آن ۲۴ درجه سانتیگراد می‌باشد.

\*نویسنده مرتبط

محدوده مورد مطالعه دارند. با انجام چهار آزمایش پمپاژ در چاه های بهره برداری منطقه مشخص شده است که آبگذری در بخش شمالی در حد متوسط بوده و این بخش از نظر هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره متوسط می باشد. به جز قسمت هایی از شمال منطقه هدایت هیدرولیکی که رسوبات دانه درشت در آن گسترش دارند، بیشتر قسمت های مرکزی و جنوبی از آبگذری پایینی برخوردار می باشد که این عامل از لحاظ هیدروژئولوژیکی تاثیر بسزائی در افت کمی و کیفی آب زیرزمینی دارد (اکبری، ۱۳۸۵).

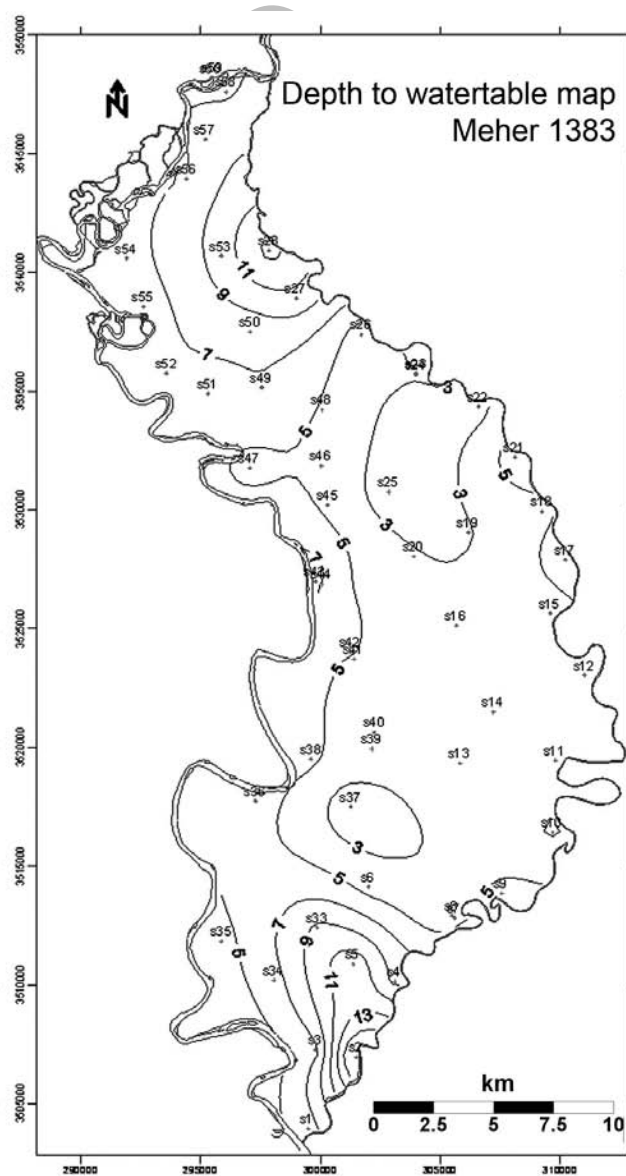
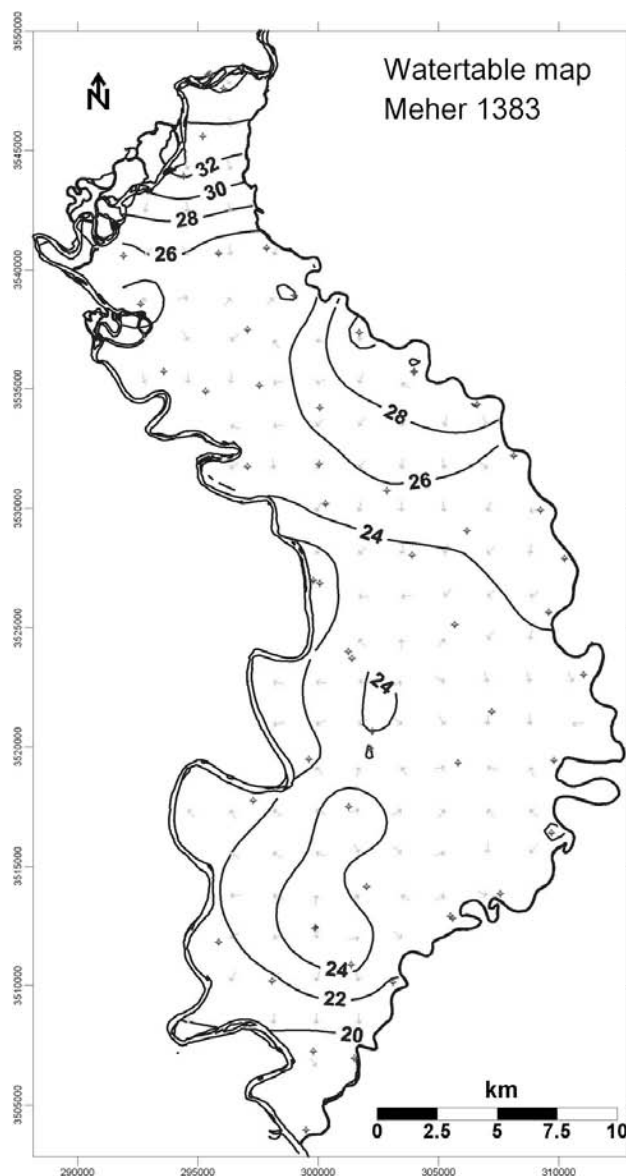
شطیط تقریباً از مرکز دشت به سمت جنوب، رسوبات دانه درشت بطور کامل محو می گردد. مقاومت الکتریکی کم (در حدود ۵-۱۰ اهم متر) رسوبات بخصوص در لایه های سطحی در این ناحیه ناشی از تمرکز مواد بسیار دانه ریز و حاوی املاح فراوان است که ازدیاد املاح عمدتاً به علت تبخیر می باشد. رسوبات دانه درشت در حد گراول که بیشتر نهشته رودخانه ای و حاصل جابجایی رودخانه شطیط می باشد، سفره آبدار نسبتاً مناسبی در نیمه شمالی دشت ایجاد کرده است. رسوبات دانه ریز، بیشتر حاصل فرسایش سازندهای آجاجاری و بخش لهبری می باشند که گسترش زیادی در اطراف



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری

بررسی سطح آب رودخانه شطیپ با استفاده از داده‌های اشل ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه و مقایسه آن با داده‌های سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت، مبین آن است که این رودخانه در بخش شمالی، سفره‌آبدار را تغذیه می‌کند و در بخش‌های مرکزی و جنوبی از آن تغذیه می‌شود. عمق برخورد به سطح ایستابی در دشت میان‌آب اغلب کمتر از ۱۵ متر است. این عمق در بخش مرکزی دشت اغلب کم و در محدوده تبخیر است (شکل ۲) (اکبری، ۱۳۸۵).

برداشت از آب‌های زیرزمینی در دشت، اغلب توسط پمپاژ از چاه‌های دهانه‌گشاد کم‌عمق صورت می‌گیرد. تعداد چاه‌های بهره‌برداری که عمدتاً جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به بیش از ۳۷۴ حلقه می‌رسد که اغلب در شمال دشت میان‌آب واقع شده‌اند. در بخش شمالی دشت، تغذیه سفره آبدار بوسیله رودخانه شطیپ باعث بهبود نسبی کیفیت آب زیرزمینی شده است به گونه‌ای که از شمال به سمت جنوب دشت بر میزان مجموع املاح آب TDS زیرزمینی افزوده می‌گردد (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه عمق برخورد به سطح ایستابی و سطح آب زیرزمینی در مهر ماه ۱۳۸۳

## آنالیز خوشه‌ای

به کارگیری یک روش طبقه‌بندی مناسب برای تقسیم‌بندی نمونه‌های آب از نظر شیمیایی گروه‌های مشابه، ابزاری کارآمد برای توصیف محیط‌های هیدروژئولوژیکی است. نمونه‌های آب با خصوصیات هیدروشیمیایی مشابه برحسب ترکیب کانی شناسی، آب و هوا و زمان ماندگاری اغلب دارای تاریخچه هیدرولوژیکی، نواحی تغذیه و مسیرهای جریان مشابه هستند. امروزه روش‌های متنوعی برای رده‌بندی نمونه‌های هیدروشیمیایی وجود دارد که شامل روش‌های گرافیکی (نمودارهای پایپر، استیف، انگشتی، نمودارهای ترکیبی) و روش‌های آماری (آمار توصیفی، آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای) است. آنالیز خوشه‌ای به روش‌های متنوعی صورت می‌گیرد که شامل K-means, Q-mode hierarchical cluster analysis (HCA) clustering (KMC) و Fuzzy Partitonnig (FP) می‌باشد. از این روش‌ها در بررسی اطلاعات کیفی آب و تعیین امکان تقسیم بندی نمونه‌ها به گروه‌های متمایزی که از نظر زمین شناسی و آماری معنی‌دار باشند می‌توان استفاده نمود (Stossel, 1997). اغلب روش‌های گرافیکی مورد استفاده، محدودیت تعداد نمونه و پارامتر (T, PH, & ...) را دارند. از طرفی هیچ یک از روش‌های گرافیکی، قادر به تعایز بین گروه‌ها و آزمایش میزان شباهت در بین گروه‌ها نمی‌باشند. برخلاف روش‌های گرافیکی روش‌های آماری امکان استفاده از تمامی پارامترها را ارائه می‌دهند. محدودیتی که روش‌های آنالیز خوشه‌ای (اغلب روش‌های آماری) نسبت به روش‌های گرافیکی دارند این است که اطلاعاتی راجع به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها در هر گروه ارائه نمی‌کنند. اگر چه آنالیز خوشه‌ای روشی بسیار کارآمد در طبقه‌بندی نمونه‌ها بر اساس شباهت‌های فیزیکی و شیمیایی است، ولی نتایج آن را نمی‌توان به سرعت در تفسیر روند و مشکلات مربوط به فرایندهای هیدروشیمیایی به کار برد، ترکیب دو روش فوق باعث می‌شود که مزایای هر روش باقی بماند و محدودیت‌های هر روش به حداقل برسد (رحیمی، ۱۳۸۴ الف، رحیمی، ۲۰۰۲ و Gulер, 2002).

## تقسیم بندی فازی

منطق فازی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی عسگری زاده، استاد ایرانی الاصل دانشگاه برکلی کالیفرنیا بنیان نهاده شد. امروزه از منطق فازی در شاخه‌های مختلف علوم مهندسی و پایه استفاده می‌شود. علم زمین شناسی نیز به نوبه خود در حل برخی مسائل مبهم و پیچیده از منطق فازی بهره می‌برد. منطق فازی براساس مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود که در آن مجموعه‌ها حد و مرز معینی ندارند. اما در منطق صریح یا منطق صفر و یک برخلاف منطق فازی، مجموعه دارای مرز معین می‌باشند. به عبارت دیگر مرز مجموعه‌های فازی صلب نبوده و الاستیک می‌باشد. منطق فازی به این نکته تأکید دارد که بسیاری از پارامترهایی که در عالم واقع با آنها سروکار داریم دقیقاً تعریف نشده‌اند. منطق فازی استدلالی ارائه می‌دهد که بوسیله آن می‌توان دانش کیفی را به مجموعه قوانین کمی و دقیق تبدیل کرد. یکی از اساسی‌ترین مفاهیم در منطق فازی تابع عضویت است که برای هر عضو مجموعه یک مقدار عضویت می‌دهد. درجه عضویت صفر مشخص کننده آن است عضو هیچ تعلق به مجموعه مورد نظر ندارد و درجه عضویت یک مبین آن است که تعلق عضو به آن مجموعه ۱۰۰٪ است. بنابراین مقدار عضویت در مجموعه‌های غیرفازی صفر یا یک است. اما مقدار عضویت در مجموعه‌های فازی عددی در فاصله ۱ و ۰ است (رحیمی، ۱۳۸۴ الف و Gulер, 2002).

## بحث

ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت میان آب بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی ۳۰ نمونه آب زیرزمینی و پنج نمونه آب سطحی مربوط به رودخانه شطیط در بهار ۱۳۸۵ انجام شده است. غلظت عناصر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات و کلر در آزمایشگاه آب و برق خوزستان و پارامترهایی مانند هدایت الکتریکی EC، pH و درجه حرارت در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. نتایج آنالیز تعدادی از نمونه‌های انتخابی در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز فیزیکی- شیمیایی برخی از نمونه‌های آب زیرزمینی

Code	Ca	Mg	Na	K	Cations	HCO3	Cl	So4	Anions	TDS	EC	pH	SAR	%S.P
	meq/lit					meq/lit				Mg/lit	mmho/cm			
D256	3.83	7.27	8.7	0.03	19.83	6.88	10.31	2.42	19.61	1068	1920	7.2	3.7	43.87
D167	13.37	8.45	22	0.14	43.96	5.3	33.24	5.17	43.71	2270	4122	7.2	6.67	50.05
D241	13.37	8.45	22	0.14	43.96	5.3	33.24	5.17	43.71	2270	4122	7.2	6.67	50.05
D124	13.3	31.89	38.2	3.2	86.59	9.04	43.94	33.36	86.34	3320	6037	6.8	8.04	44.12
D125	8.56	6.67	7.8	0.26	23.29	5.55	14.38	3.13	23.06	1274	2305	7	2.83	33.5
D187	6.83	4.57	7.5	0.05	18.95	4.65	9.34	4.74	18.73	1000	1815	7.1	3.15	39.58
D137	5.54	5.09	6.9	0.01	17.54	4.08	8.67	4.58	17.33	1121	1724	7.9	2.997	39.4
D160	9.18	7.1	12.4	0.12	28.8	5.74	14.46	8.36	28.56	1488	2700	7.1	4.35	43
D127	8.77	9.68	7.8	0.1	26.35	7.48	12.29	6.38	26.11	1428	2615	7	2.57	29.6
D218	6.73	6.91	13	0.06	26.7	6.45	13.66	6.35	26.46	1438	2677	7.2	4.98	48.7

1. Fuzzy logic  
2. Crisp logic

3. Electrical Conductivity

## تقسیم‌بندی فازی نمونه‌های آب زیرزمینی

مجزا تقسیم شدند.

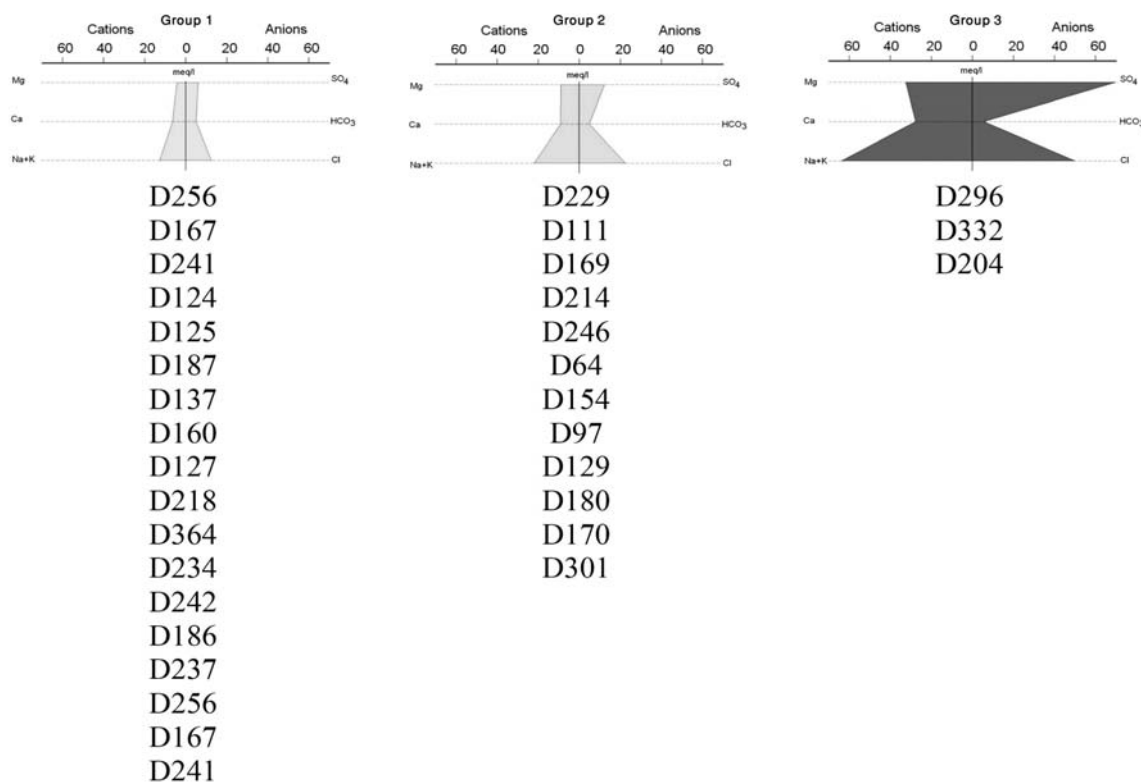
در جدول ۲ ضریب عضویت<sup>۱</sup> هر یک از نمونه‌ها به هر یک از گروه‌ها بر اساس تقسیم‌بندی به روش FP ارائه شده است. بر اساس این جدول هر نمونه به گروهی تعلق می‌گیرد که بیشترین ضریب عضویت را دارد، به عنوان مثال نمونه D124 در این جدول ۷۸٪ به گروه یک، ۲۰٪ به گروه دو و ۲٪ به گروه سه تعلق دارد. چون این نمونه در گروه یک دارای بیشترین ضریب عضویت می‌باشد به این گروه تعلق دارد. در جدول ۳ نمونه‌ها بر اساس بالاترین ضریب عضویت به گروه‌های مربوطه اختصاص داده شده‌اند.

تعداد ۳۰ نمونه آب زیرزمینی دشت میان آب با استفاده از نرم افزار (S-PLUS,2000) و روش Fuzzy partitioning (FP) رده‌بندی شده و برای سنجش تشابه نمونه‌ها از روش فاصله اقلیدسی استفاده شده است. پارامترهای مورد استفاده برای تقسیم‌بندی گروه‌ها، یون‌های اصلی و مجموع املاح (کلیه پارامترها بر حسب میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. در این روش، تعیین تعداد گروه‌ها به صورت دستی انجام گرفته است که خود به مقیاس مطالعات، ترکیب شیمیایی نمونه‌ها و ضرائب همبستگی بین متغیرها بستگی دارد. در این تحقیق نمونه‌ها به سه گروه

جدول ۲- ضریب عضویت هر یک از نمونه‌ها به هر یک از گروه‌ها

Code	Cluster 3	Cluster 2	Cluster 1
D124	0.02	0.20	0.78
D154	0.02	0.78	0.20
D170	0.08	0.64	0.27
D169	0.02	0.67	0.31
D160	0.02	0.19	0.79
D301	0.22	0.47	0.31
D64	0.03	0.71	0.26
D241	0.03	0.21	0.76
D256	0.04	0.28	0.68
D218	0.01	0.15	0.84

جدول ۳- تقسیم بندی نمونه‌ها در سه رده ۱، ۲ و ۳



1. Member ship coefficients



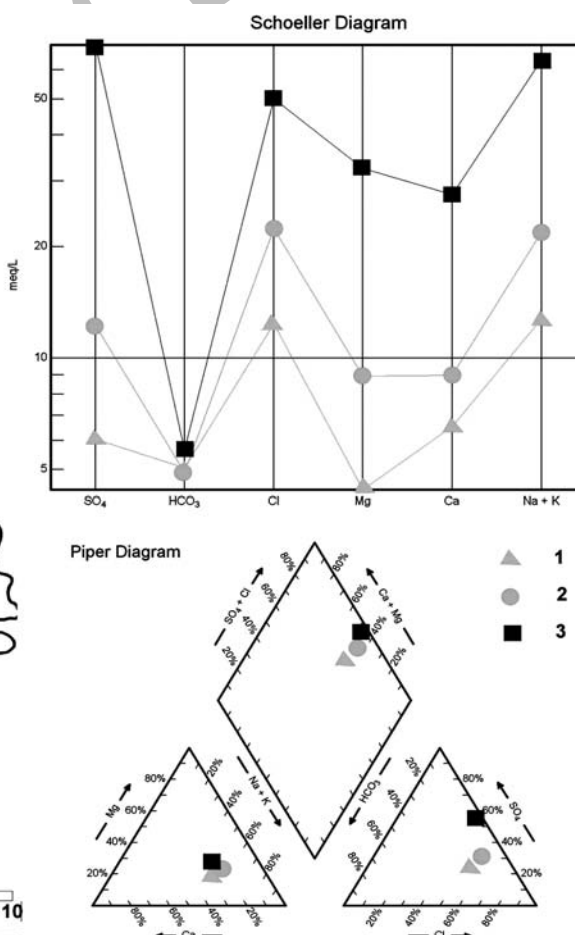
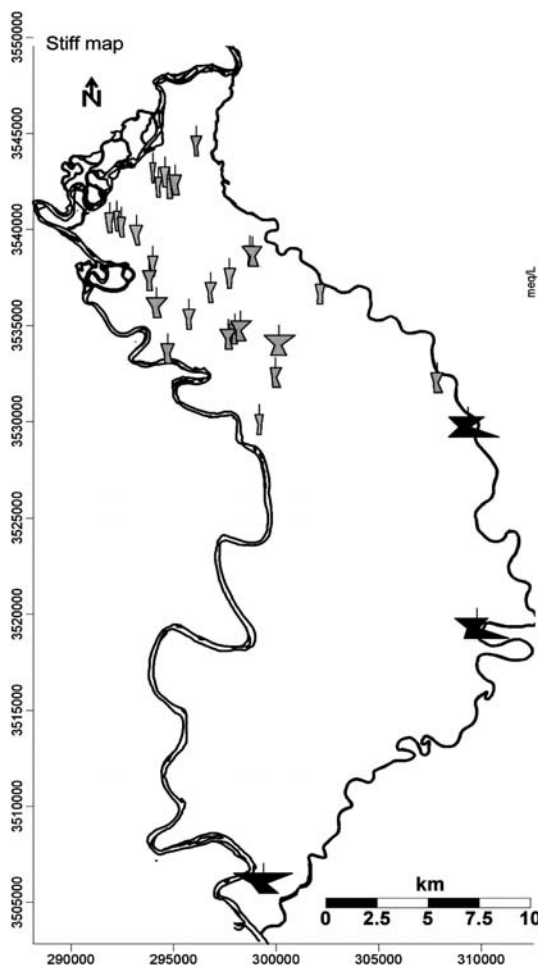
یونها و رخساره بین گروهها مورد شناسائی قرار گرفته است. گروه یک دارای کیفیت مناسب تری است و غلظت مجموع املاح به طور متوسط ۱۲۷۴ میلی گرم در لیتر است، اغلب در قسمتهای شمال غربی دشت و حاشیه رودخانه شطیط دیده می شود. با توجه به نمودارهای پایپر و درو مربوط به نمونه های آب زیرزمینی مشخص شده است که سولفات ۲۶٪، کلر ۵۳٪ و بی کربنات ۲۲٪ آنیون های اصلی و کلسیم ۲۸٪، منیزیم ۱۹٪، سدیم و پتاسیم ۵۳٪ کاتیون های اصلی را تشکیل می دهند و تیپ بیشتر نمونه ها کلروره - سدیک است. در گروه دوم غلظت مجموع املاح به طور متوسط ۲۱۹۲ میلی گرم در لیتر است، اغلب در جنوب و شرق گروه یک دیده می شوند. با توجه به نمودارهای پایپر و درو (نمونه های آب زیرزمینی) مشخص شده است که در این گروه سولفات ۳۱٪، کلر ۵۷٪ و بی کربنات

ترکیب شیمیایی هر گروه با استفاده از میانگین ترکیب شیمیایی اعضاء آن محاسبه شده و جدول ۴ نشان داده شده است. رخساره های هیدروشیمیایی جهت توصیف تفاوت ها در ترکیب شیمیایی آب های زیرزمینی مورد استفاده قرار می گیرند (Fetter, 1999). جهت نشان دادن رخساره های هیدروشیمیایی عمدتاً از نمودارهایی مثل استیف<sup>۱</sup>، پایپر<sup>۲</sup> و درو<sup>۳</sup> استفاده می شود.

برای مقایسه ترکیب شیمیایی هر یک از گروهها بر اساس میانگین ترکیب شیمیایی گروهها (جدول ۴)، نمودارهای شولر، پایپر و نقشه استیف تهیه شده است (شکل ۳). نمودارهای شولر و پایپر تغییرات غلظت و رخساره گروهها مشخص شده است. در نقشه استیف علاوه بر موارد ذکر شده پراکندگی مکانی گروه های هیدروشیمیایی نیز مشخص است. با توجه به این نمودارها روند تغییرات نسبی غلظت

جدول ۴- میانگین ترکیب شیمیایی گروهها

	TDS	pH	T	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
	mg/l		° C							
Cluster 1	1278	7.79	22.03	130.97	53.64	292.45	1.98	308.57	439.23	290.24
Cluster 2	2192	7.73	22.75	180.17	108.67	499.22	6.52	299.74	793.46	588.73
Cluster 3	6961	7.67	26.27	554.03	394.47	1454.33	22.28	345.13	1775	3361.33



شکل ۳- نمودارهای شولر و پایپر و نقشه استیف گروه های هیدروشیمیایی

1. Stiff  
2. Piper

3. Durov

کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی، مجموع املاح و pH محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۵ ارائه گردیده است. همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، میانگین مجموع املاح در رودخانه‌های گرگر و شطیط، در دوره آماری ۸۵-۱۳۷۸ به ترتیب ۱۵۳۵، ۹۰۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. از لحاظ رخساره هیدروژئوشیمیائی رودخانه‌های گرگر و شطیط دارای رخساره کلروره سدیک می‌باشند (رحیمی و کلاتری، ۱۳۸۶). در حقیقت می‌توان نتیجه گرفت آب‌های زیرزمینی دشت میان‌آب از رودخانه‌ها و مخصوصاً رودخانه شطیط در شمال دشت منشاء می‌گیرند به همین دلیل تیپ آنها در نقاط تغذیه کلروره سدیک یعنی مشابه با تیپ آب رودخانه‌ها است. به سمت جنوب و شرق منطقه، به علت تغذیه نشدن سفره آبدار از رودخانه‌ها، گسترش رسوبات دانه‌ریز و همچنین تبخیر زیاد از سطح آب زیرزمینی، از کیفیت آب زیرزمینی کاسته می‌شود. وجود باقیمانده‌هایی از میان لایه‌های ژئوس و انیدریت فرسایشی ناشی از سازند آغاچاروی و بخش لهری در نواحی مذکور باعث تغییر رخساره آب زیرزمینی از نوع کلروره به سولفاته شده است.

۱۲٪ آنیون‌های اصلی و کلسیم ۲۳٪، منیزیم ۲۲٪، سدیم و پتاسیم ۵۵٪ کاتیون‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و تیپ بیشتر نمونه‌ها کلروره - سدیک است. در گروه سوم غلظت مجموع املاح به طور متوسط ۶۹۶۱ میلی‌گرم در لیتر است، اغلب در جنوب و مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. با توجه به نمودارهای پایپر و درو نمونه‌های آب زیرزمینی مشخص شده است که سولفات ۵۶٪، کلر ۴۰٪ و بی‌کربنات ۴٪ آنیون‌های اصلی و کلسیم ۲۲٪، منیزیم ۲۶٪، سدیم و پتاسیم ۵۲٪ کاتیون‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و تیپ بیشتر نمونه‌ها سولفاته - سدیک است. در بخش شمالی دشت که غلظت مجموع املاح کمتر است، تیپ آب کلروره بوده و در قسمت جنوبی که غلظت مجموع املاح بیشتر است تیپ آب سولفاته می‌باشد که این مسئله برخلاف سکانس تکامل آبیونی است. بر اساس نتایج تجزیه شیمیائی آب در ایستگاه‌های آب‌سنجی موجود در محدوده مورد مطالعه پارامترهایی مانند حداکثر مقدار ثبت شده، حداقل مقدار ثبت شده، متوسط مقادیر ثبت شده، انحراف از معیار (S.D) و درصد ضریب تغییرات (CV٪) برای آنیون‌ها و

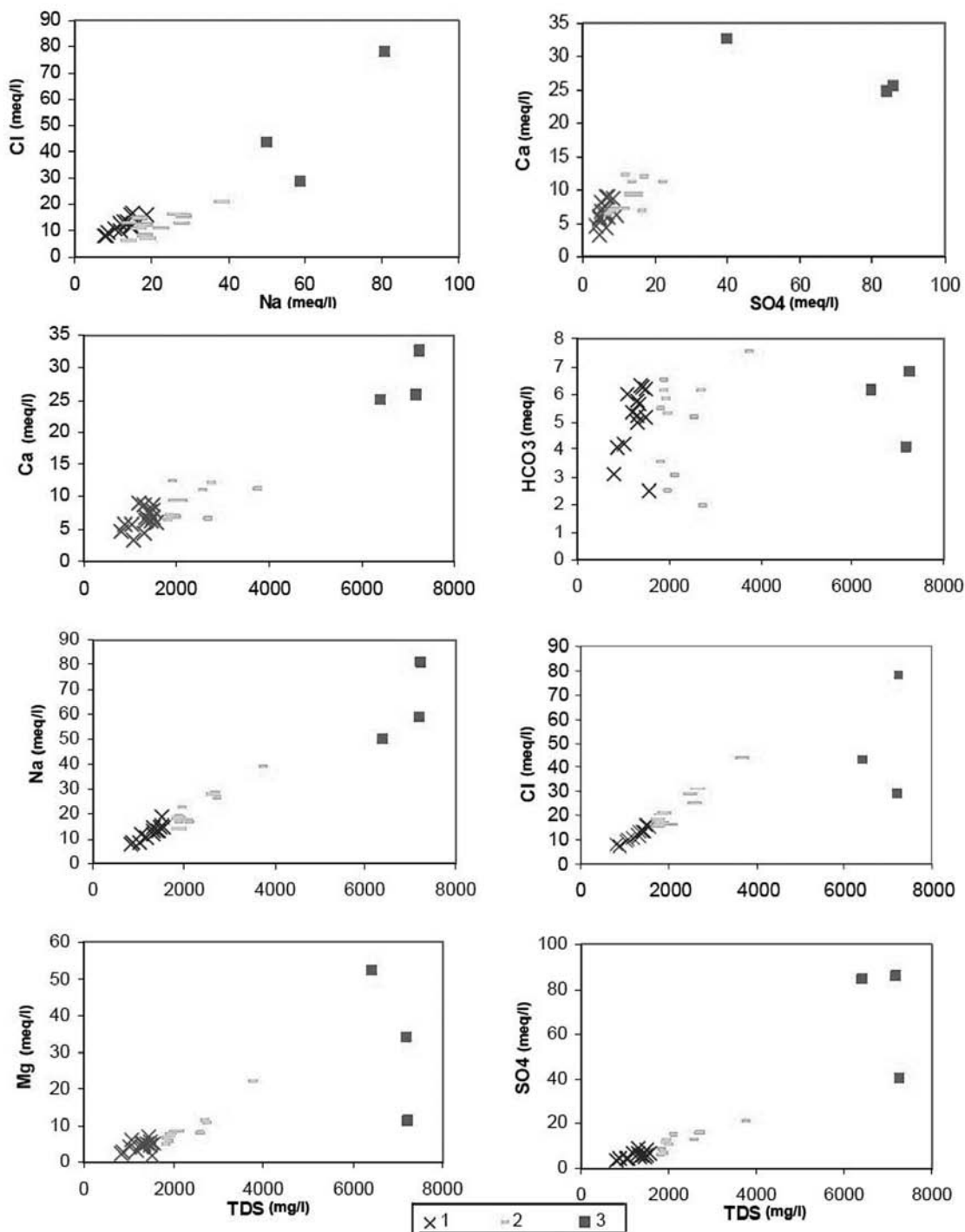
جدول ۵- پارامترهای آماری ترکیب شیمیائی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه

SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	K	Na	Mg	Ca	PH	Ec	TDS	Temp.	River
									mho/cmμ	Mg/l	°C	
meq/lit												
7.54	14.06	2.71	0.05	0.08	14.53	3.82	6.07	8.0	2398	1535	20.8	Mean
26.57	34.34	3.55	0.68	0.20	34.28	11.60	18.51	8.8	5292	3339	30.0	Max
1.46	3.79	1.27	0.00	0.01	4.28	0.14	3.11	7.3	907	245	10.0	Min
4.12	7.28	0.46	0.14	0.04	7.53	1.96	2.56	0.3	1022	683	4.9	SD
55	52	17	317	43	52	51	42	4	43	44	24	CV
3.12	7.03	2.68	0.03	0.05	6.96	1.71	4.27	8.0	1292	902	20.0	Mean
16.40	24.65	3.75	0.88	0.15	25.00	4.81	17.54	8.6	3482	5381	29.0	Max
0.86	1.85	1.53	0.00	0.02	1.82	0.80	2.39	7.0	572	375	12.0	Min
2.28	3.31	0.50	0.12	0.02	3.33	0.60	2.02	0.3	474	586	4.9	SD
73	47	19	374	37	48	35	47	4	37	65	25	CV

غلظت بی‌کربنات با افزایش TDS نسبتاً ثابت باقی مانده است و تغییرات کمی دارد که نشان دهنده انحلال کربنات‌ها در سفره آبدار دشت میان‌آب به طور جزئی می‌باشد. با افزایش TDS، غلظت کلسیم به طور خطی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر این رابطه خطی بین یون‌های سولفات و کلسیم نیز وجود دارد که در مجموع نشان دهنده رویداد فرآیند انحلال ژئوس در سفره آبدار است. از طرفی با توجه به اینکه در نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت یونی HCO<sub>3</sub>/Sum Anions کمتر از ۰/۸ و مقدار سولفات بالا است، نقش انحلال ژئوس در تغییر کیفیت آب تأیید می‌شود (Hounslow, 1995).

### نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی ابزارهای مفیدی جهت شناخت منشاء شوری می‌باشند. از نمودارهای ترکیبی مختلفی جهت شناخت فرآیندهای ژئوشیمیائی مؤثر بر شوری آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است (علیچانی، ۱۳۸۱؛ کلاتری و همکاران، ۱۳۸۶؛ Kalantari, 2001؛ Timms, et al, 2000؛ Stossel, 1997؛ rie, 2001) جهت شناخت فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر در شوری آب‌های زیرزمینی دشت میان‌آب، از نمودارهای ترکیبی مختلف نیز استفاده شده است (شکل ۴) که نتایج زیر از آنها به دست آمده است:



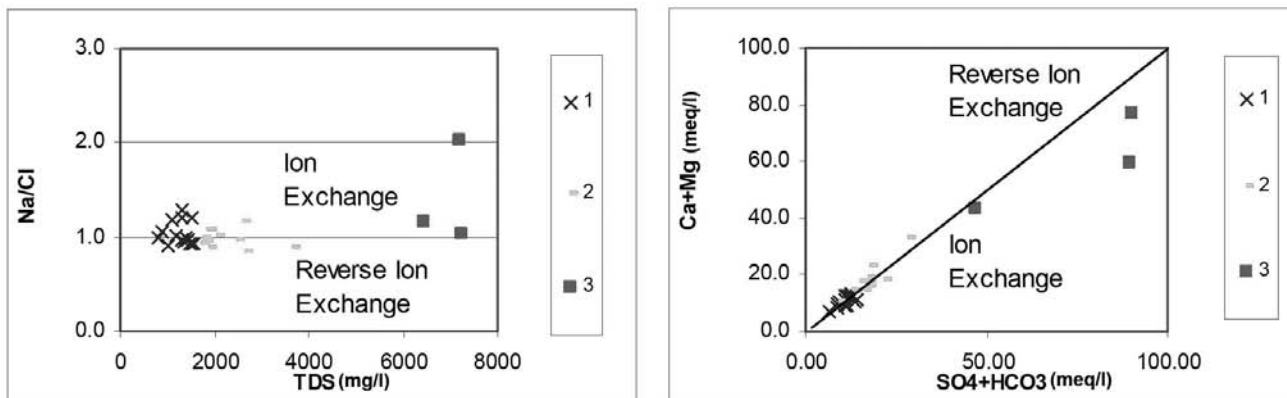
شکل ۴- نمودارهای ترکیبی بعضی از متغیرها

افزایش خطی منبسط با افزایش TDS نیز تا حدودی مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه نسبت یونی  $Mg/(Ca+Mg)$  در اغلب نمونه‌های گروه اول و دوم کمتر از ۰/۵ است به همین دلیل منشأ منبسط ناشی از هوازدگی دولومیت است و لی در نمونه‌های سولفات‌گروه سوم با توجه به اینکه این مقدار بیشتر از ۰/۵ دارای منشأ دولومیتیزاسیون<sup>۱</sup> Hounslow, 1995 است.

رسم کلرید در مقابل سدیم، دارای دو روند خطی با TDS است یکی در نمونه‌های گروه اول و دیگری در نمونه‌های گروه دوم که نشان دهنده دو منشأ متفاوت برای این یون‌ها می‌باشد. در گروه اول منشأ نمک ناشی از نفوذ آب کلروره رودخانه است و گروه دوم ناشی از انحلال نمک در رسوبات سفره آبدار است. غلظت سدیم و کلر با افزایش TDS به صورت خطی افزایش می‌یابد.

1. Dedolomitization





شکل ۵- وضعیت تبادل یونی در هریک از گروه ها

دولومیت و ژپس می‌باشد. نمونه‌هایی که در امتداد خط ۱:۱، مقادیر کمتر از ۵ meq/l واقع شده‌اند، نشان دهنده انحلال کلسیت و دولومیت در دشت می‌باشد و مشاهده می‌شود که انحلال این دو کانی به در نمونه‌ها دیده نمی‌شود. در نمونه‌های گروه سوم آب زیرزمینی دشت میان آب در زیر خط ۱:۱ واقع می‌شوند فرآیند تبادل یونی قابل مشاهده است.

جهت بررسی ساز و کارهای کنترل کننده شیمی آب‌های زیرزمینی دشت میان آب و شناخت روند تکاملی آنها، نمودار گیبس<sup>۱</sup> برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. بر اساس نمودار گیبس فرآیند عمده کنترل کننده کیفیت شیمیایی، واکنش متقابل آب و سنگ می‌باشد (شکل ۶).

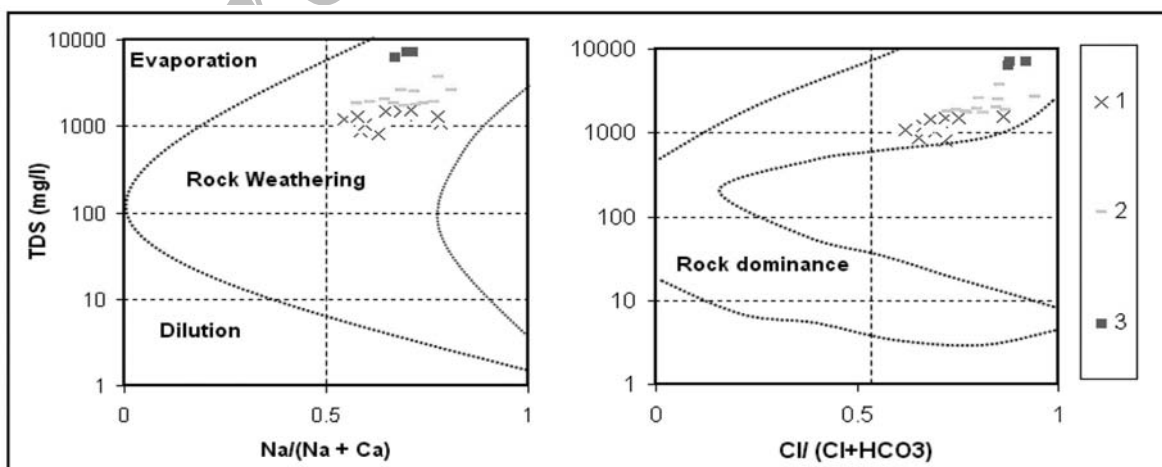
### نمایه‌های اشباع

جهت بررسی تاثیر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژپس بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه مقادیر نمایه‌های اشباع این سه کانی بر اساس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت میان آب با استفاده از کد کامپیوتری PHREEQC

جهت نمایش فرآیندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس در سفره آبدار دشت میان آب، دو نمودار ترکیبی با استفاده از توابع بین متشکله‌های شیمیایی متأثر از فرآیند تبادل یونی تهیه گردیده است (شکل ۵). رخداد فرآیند تبادل یونی بر حسب واکنش‌های زیر است:



در شکل ۵ (چپ) نمودار دو متغیره Na / Cl در مقابل TDS برای نمونه‌های آب زیرزمینی میان آب ارائه گردیده است. نمونه‌هایی که در بالای خط  $Na / Cl = 1$  واقع شده‌اند، منشاء دوگانه دارند و نمونه‌هایی که مقادیر TDS آن‌ها بیش از ۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر است، نشان دهنده آن است که منشاء غالب هالیت می‌باشد. این وضعیت در نمونه‌های گروه سوم بخوبی نمایان است و فرآیند تبادل یونی در این نمونه‌ها مشاهده می‌شود. در شکل ۶ (راست) نمودار دو متغیره Ca+Mg در مقابل  $HCO_3 + SO_4$  نمایش داده شده است. خط ۱:۱ نشان دهنده فرآیندهای انحلال کلسیت،

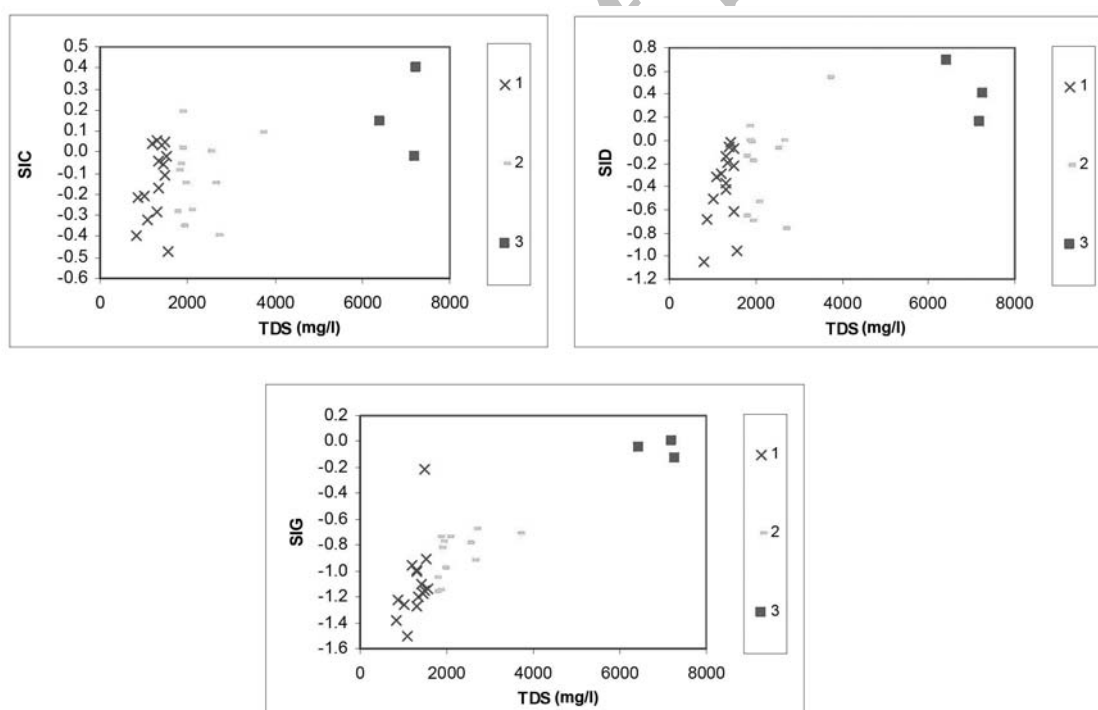


شکل ۶- نمودارهای گیبس نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

1. Gibbs diagram

جدول ۶- مقادیر نمایه های اشباع کلسیت، دولومیت و ژپس نمونه های آب زیرزمینی

Code	نمایه اشباع کلسیت	نمایه اشباع دولومیت	نمایه اشباع ژپس
D256	-0.40	-1.05	-1.39
D237	-0.47	-0.96	-1.14
D170	-0.39	-0.76	-0.67
D64	-0.35	-0.70	-0.78
D167	-0.21	-0.68	-1.23
D229	-0.29	-0.66	-1.16
D186	-0.02	-0.61	-0.91
D97	-0.28	-0.53	-0.74
D241	-0.20	-0.51	-1.26
D187	-0.28	-0.42	-1.27
D160	-0.17	-0.37	-1.00



شکل ۷- نمودارهای دو متغیره نمایه اشباع کلسیت، دولومیت و ژپس در مقابل مجموع املاح

به این کانی فوق اشباع هستند. آب های زیرزمینی منطقه نسبت به دولومیت در اغلب موارد در حال تعادل و در برخی موارد تحت اشباع است البته نمونه های گروه سوم که در جنوب دشت واقع شده اند فوق اشباع است. به غیر از نمونه های گروه سوم که نسبت به ژپس در حال

(Parkhurst, et al., 1999) و در جدول ۶ ارائه گردیده است. نمودارهای دو متغیره نمایه اشباع کلسیت، نمایه اشباع دولومیت و نمایه اشباع ژپس در مقابل مجموع املاح (شکل ۷) نشان دهنده آن است که نمونه های گروه اول و دوم نسبت به کانی کلسیت در حال تعادل می باشند ولی نمونه های گروه سوم نسبت

تبادل هستند بقیه نمونه ها نسبت به ژپس تحت اشباع هستند.

## نتایج

استفاده از روش‌های آماری، روش مناسبی برای تحلیل نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی است، اما نباید جایگزین روش‌های اصلی تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی شود، بلکه باید به عنوان یک ابزار کمکی بکار گرفته شود. تلفیق روش‌های آماری و هیدروشیمیایی، باعث حفظ مزایا و کاهش محدودیت‌های آنها می‌شود. منطق فازی می‌تواند به عنوان ابزاری قدرتمند و کارا در خوشه بندی نمونه کیفی مورد استفاده قرار گیرد. پس از تقسیم بندی نمونه‌ها به سه گروه‌های کوچکتر تفسیر فرآیندهای ژئوشیمیایی راحت‌تر می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از تقسیم بندی فازی، سفره‌آبدار از لحاظ کیفی به سه گروه، منطقه یا زون تقسیم‌بندی شده است. غلظت یون‌های محلول در آب زیرزمینی از گروه اول به سمت گروه سوم افزایش می‌یابد. در گروه اول و دوم تیپ آب کلروره سدیک است. در گروه سوم تیپ سولفات-کلسیک مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی دشت میان‌آب از رودخانه‌ها و مخصوصاً رودخانه شطیپ در شمال دشت منشاء می‌گیرند، به همین دلیل تیپ آنها در نقاط تغذیه کلروره سدیک یعنی مشابه با تیپ آب رودخانه‌ها است. وجود باقیمانده‌هایی از میان لایه‌های ژپس و انیدریت فرسایشی ناشی از سازند آجاجاری و بخش لهبری در نواحی مرکزی و جنوبی محدوده مورد مطالعه باعث تغییر رخساره آب زیرزمینی از نوع کلروره به سولفات شده است. با توجه به روش‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده در این تحقیق، مهمترین عامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه واکنش بین آب و مواد تشکیل دهنده سفره آبدار است. اصلی ترین فرآیندهای حاکم بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های سولفات ژپس و انیدریت و کانی‌های هستند. منشاء یون سدیم در آب زیرزمینی را علاوه بر تغذیه، می‌توان به فرآیندهای دیگری مانند تبادل یونی مخصوصاً در نمونه‌های گروه سوم نسبت داد. شاخص‌های اشباع نشان دهنده آن است که نمونه‌های گروه اول و دوم نسبت به کانی کلسیت و دولومیت در حال تعادل می‌باشند ولی نمونه‌های گروه سوم نسبت به این کانی فوق اشباع هستند. به غیر از نمونه‌های گروه سوم که نسبت به ژپس در حال تعادل هستند بقیه نمونه‌ها نسبت به ژپس تحت اشباع هستند.

## منابع

- رحیمی، م.ح.، ۱۳۸۴، کاربرد روش‌های آماری در تعیین نقاط پایش هیدروشیمیایی، نهمین همایش انجمن زمین شناسی، تهران. دانشگاه تربیت معلم
- رحیمی، م.ح.، کلاتری، ن.، ۱۳۸۶، استفاده از روابط آمیختگی در تعیین ترکیب شیمیایی رودخانه‌ها، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد.
- علیجانی، ف.، ۱۳۸۱، هیدروژئوشیمی و آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ایذه، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۳۷۱ ص.
- کلاتری، ن. و رحیمی، م.ح.، چرچی، ع.، ۱۳۸۶، استفاده از نمودارهای ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خران، مجله زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت معلم تهران، بهار و تابستان ۱۳۸۶ جلد اول.
- Fetter, C. W., 1999, Contaminant Hydrgeology, 2d ed., Prentice Hall Inc., NJ.
- 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 10, 455-474.
- Hounslow, A. W., 1995, Water Quality Data – Analysis and Interpretation, CRC Press LLC, p. 85.
- Kalantari, N., and Nasserli, H., 2001, Ground water quality of the Ghereso aquifer systems in north Iran, Third international conference on ground water quality Sheffield, UK. PP. 219-221
- Marie, A., and Vengosh, A. 2001, Sources of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley, Ground Water, 39, 2, 240-248.
- 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.
- Stossel, R. K., 1997, Delineating the chemical composition of the salinity source for saline groundwater: An example from east-central Canadian Parish, Luisiana. Ground Water, 35, 3, , 409-417.
- S-PLUS 2000 Professional Release 1, Copyright © 1988-1999 Math Soft,
- Timms, W., Acworth, R. I. Jankowski, J. and Lawson, J. 2000, Groundwater quality trends related to aquitard salt storage at selected sites in the Lower Murumbidgee alluvium, Australia, Groundwater: Past Achievements and Future Challenges, Sililo et al. (eds.) , Balkema, Rotterdam, 655-660.
- اکبری، ا.، ۱۳۸۵. بررسی هیدروژئولوژیکی دشت میان آب شوشتر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- رحیمی، م.ح.، ۱۳۸۳. بررسی کیفیت شیمیایی دشت‌های زویرچری و خران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- رحیمی، م.ح.، کلاتری، ن. و چرچی، ع.، ۱۳۸۴، رده بندی نمونه‌های هیدروشیمیایی با استفاده از منطق فازی، بیست چهارمین همایش علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، تهران.