ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ (تربت حیدریه) با استفاده از روش‌های زمین آمار

دکترحمید رضا ناصری

استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

E-mail: hamidrezanassery@yahoo.com

چکیده:

دشت رخ، یک دشت وسیع در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران است و دارای اقلیم نیمه خشک تا خشک می‌باشد . مدیریت غیر اصولی ، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی ، کاهش میزان بارندگی و متعاقب آن کاهش منابع آب عواملی نگران کننده از لحاظ تغییرات کیفی آبخوان دشت رخ محسوب می‌شوند .

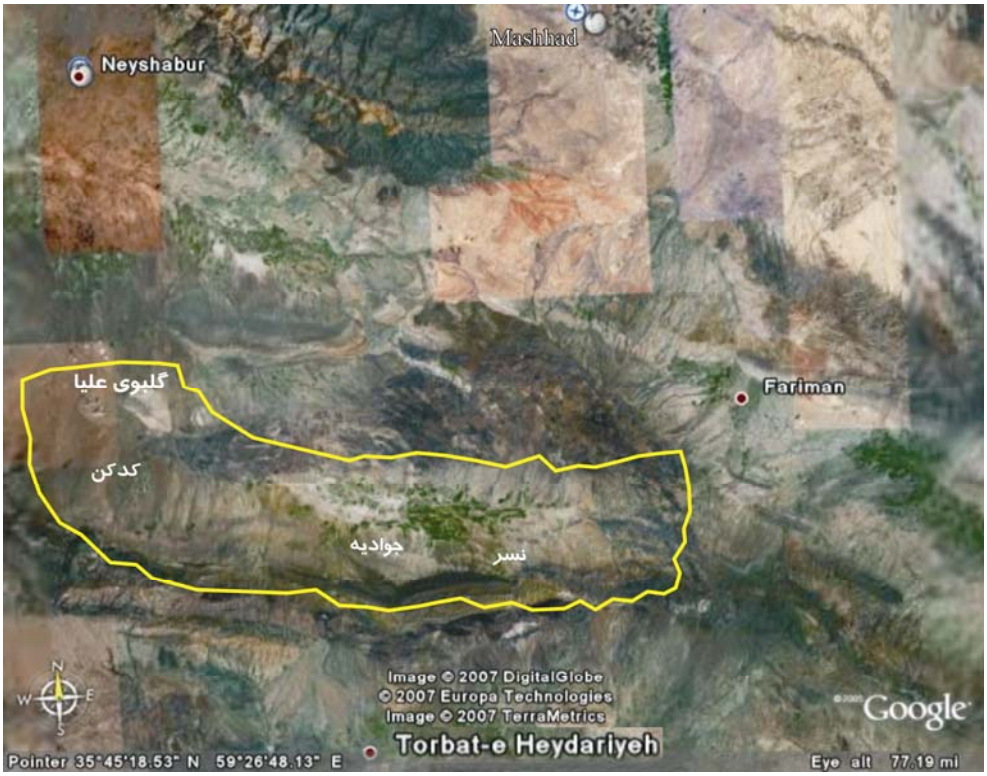
با استفاده از آمار و داده های کیفی و اعمال روش‌های آماری چند متغیره (تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای)، وضعیت کیفی آبخوان دشت رخ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است . با توجه به نتایج تحلیل عاملی ، سه عامل به عنوان تأثیر گذارترین عوامل ۸۷٪ ترکیب شیمیایی آب زیر زمینی را تحت کنترل دارند. زمین شناسی مهمترین عامل در تغییرات کیفی آب زیرزمینی منطقه می باشد . تحلیل خوشه‌ای متغیرها نشان دهنده شباهت بالای میزان یون های سدیم و کلر است . در تحلیل خوشه‌ای داده های کیفی منطقه، داده های محدوده جوادیه همواره در خوشه‌ای مجزا قرار گرفته است و از لحاظ ترکیب شیمیایی شباهت کمتری با سایر منابع دارد.

واژگان کلیدی: دشت رخ (تربت حیدریه)، تحلیل عاملی، تحلیل خوشه ای، ترکیب شیمیایی

مقدمه

رخ، دشت وسیعی در شمال شرق کشور با اقلیم خشک تا نیمه خشک می باشد . این دشت در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران و در طول جغرافیایی ´۳۰ °۵۸ تا ´۴۰ °۵۹ شرقی و ´۳۰ °۳۵ تا ´۵۰ °۳۵ عرض شمالی قرار گرفته است(شکل ۱) . حوضه آبریز دشت رخ با مساحت ۲۳۰۰ کیلومترمربع از شمال به حوضه نیشابور،

از شرق به حوضه‌های سرجام و تربت‌جام، از جنوب به حوضه‌های زاوه و ازغند و ریوش و از سمت غرب به حوضه عطائیه وکال ماروس محصور شده است.

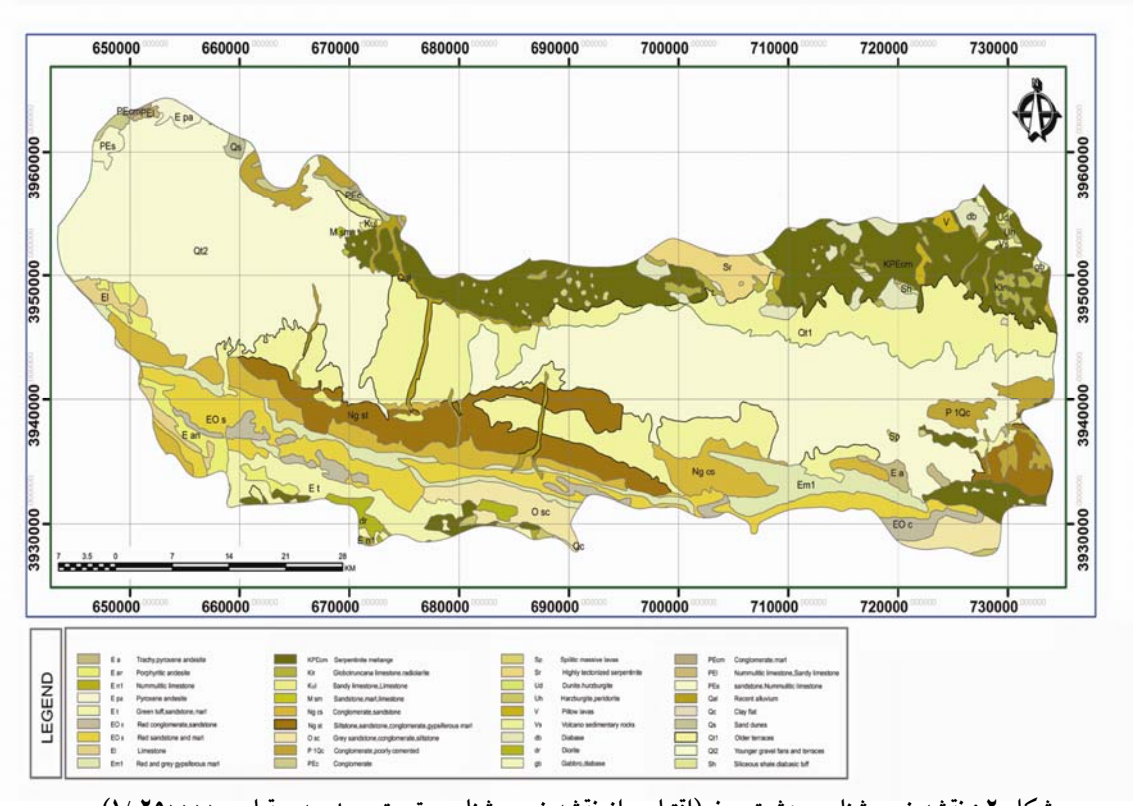


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت رخ (WWW. Earth. Google.com, 2006)

وسعت دشت رخ۹۹۱ کیلومتر مربع است . زهکش اصلی دشت ، رود شور می باشد که مسیر جریان رود شور از نقاط کم ارتفاع شمالی دشت سرچشمه گرفته ، به سمت خروجی دشت در شمال غرب جریان یافته و پس از خارج شدن از دشت رخ ، نهایتاً به کال شور نیشابور می‌رسد. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران جزء حوضه رسوبی ایران مرکزی محسوب می‌شود . حوضه آبریز مشرف به دشت رخ را سازندهای زمین‌شناسی از دوره کرتاسه تا عهد حاضر در برگرفته است(شکل ۲) .

آمیزه های رنگین، قدیمی ترین رسوبات منطقه، با سن کرتاسه زیرین در شمال محدوده دشت رخنمون دارند. ارتفاعات شرقی و جنوبی دشت از سری سنگ‌های رسوبی و تبخیری دوران سوم است که از مارن‌های الوان، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است. وجود سازندهای تبخیری میوسن و ائوسن در مناطق جنوبی دشت، به علت داشتن املاح گچ و نمک باعث کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است.

بهره‌برداری بی‌رویه از ذخایر آب زیرزمینی سبب کاهش تدریجی این ذخایر، کاهش آبدهی چاه‌ها و چشمه‌ها، خشک شدن قنوات و افت کیفیت آب‌های زیر زمینی در این منطقه خصوصاً مناطق جنوبی دشت ایجاد شده است.



شکل ۲ : نقشه زمین‌شناسی دشت رخ (اقتباس از نقشه زمین شناسی تربت حیدریه، مقیاس ۲۵۰۰۰۰ /۱)

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی کیفی آبخوان دشت رخ از داده های کمی وکیفی منابع آب‌زیرزمینی دشت رخ در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۳ (آب منطقه‌ای خراسان ،۱۳۸۳) استفاده شده است. در مطالعات هیدروشیمی ترجیحاً از نتایج آنالیز شیمیایی تیر ماه سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۳ که از دقت بیشتری نسبت به سایر دوره‌ها از لحاظ ضریب درصد خطای یونی برخوردار بوده ، استفاده گردیده است(جداول۱و۲). کلیه نقشه‌ها و پارامترهای نقشه‌ای به کمک نرم افزارهای GIS از جمله Arc viw GIS 3.2a(Applegate,1996) و Arc GIS9 (ESRI, 2002) ترسیم شده است. به منظور تحلیل های آماری از نرم افزار SPSS 13 استفاده گردید. پس از جمع‌آوری کلیه اطلاعات لازم در این مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام و در نهایت نتایج بدست آمده مورد تفسیر قرار گرفته است. جهت ارزیابی کیفی دشت رخ از روش‌های آماری چند متغیره از جمله تحلیل عاملی (Factor Analysis) و تحلیل خوشه‌ای (Cluster Anlysis) استفاده شده است.

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی منابع انتخابی آب زیرزمینی دشت رخ تیرماه ۱۳۷۹ (آب منطقه‌ای خراسان، ۱۳۸۳)

محل چاه نمونه‌برداری	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO^{-}_3	CO^{2-}_3	SO^{2-}_4	Cl^{-}	TDS	TH	EC	pH	SAR	UTM_x	UTM_y
اراضی سربالا	6.7	8.5	15.5	0	2.9	0	15	13	1764	760	2800	8.2	5.622	712382	3937782
پاگدار	3.6	1	2.6	0	1.6	0	5.1	0.5	453	230	719	8.1	1.714	706780	3930536
باغ آقا	1.7	0.7	1.9	0	2.2	0	1.1	1.1	268	120	425	8.2	1.735	718488	3932060
محمودآباد	2.8	2.9	3.7	0	4.9	0	0.9	3.7	573	285	910	7.9	2.192	720432	3939683
قجاق	1.2	1.3	4.1	0	3.5	0.8	1.2	1.2	391	125	620	8.6	3.667	705220	3934168
کلاته بایزد	1	1.8	10.5	0	3.6	1	5.6	3.2	807	140	1281	8.7	8.874	714971	3936444
احمدآباد	2.3	0.8	3.4	0	1.9	0.4	2	2.2	376	155	597	8.3	2.731	724334	3941655
نظامیه ۱	1.3	2.3	7.1	0	2.8	0.5	3.3	4.3	654	180	1038	8.5	5.292	705692	3942158
نظامیه ۲	1.2	2.9	8.5	0	2.3	0.8	4.3	5.4	770	205	1222	8.4	5.937	703863	3944290
میاندشت ۱	1.8	2.1	10.8	0	2.8	0.4	4.4	7.2	891	195	1414	8.5	7.734	707799	3941068
کلاته دودرختی	0.4	6.9	2.1	0	4.8	0.5	2.3	1.9	560	365	889	8.7	1.099	711332	3948362
کلاته کال	1	2.5	3.1	0	3.9	0.4	1.3	1.1	379	175	601	8.5	2.343	709259	3949091
کلاته القیطان	5	5	16.3	0	2.1	0	4.1	20.2	1638	500	2600	8.1	7.29	722407	3934287
میاندشت ۲	1.2	2.2	6.9	0	2.4	0.6	2.7	4.6	648	170	1028	8.4	5.292	710579	3942395
خلج	1.1	1.9	5.3	0	2.8	0.6	2	3	496	150	787	8.4	4.327	717956	3943319
میاندشت ۳	1.6	2.8	6.7	0	2.7	0.4	3	5.2	660	220	1047	8.4	4.517	714152	3942606
بایزید	1.3	0.5	1.8	0	1.9	0.2	1	0.6	222	90	353	8.3	1.897	716013	3932323
ذم	6.6	2.4	31.1	0	2.3	0	7.8	30	2463	450	3910	8.2	14.661	657367	3956188
اسفیر ۱	2	0.3	4.8	0	1.8	0.2	3	2.2	424	115	673	8.3	4.476	664148	3937820
اسفیر ۲	5.8	3.9	23.4	0	2.2	0	4.6	26.5	2073	485	3290	8.2	10.625	663047	3946829
مرغزار	1.1	1.3	1.2	0	2.3	0.4	0.7	0.3	222	120	353	8.3	1.095	701369	3931908
کریم آباد	5.3	6.6	61	4.7	2.3	0	4.3	71	4889	595	7760	8	26.934	697156	3939981
سلطان آباد	1.3	4.3	19.5	0	4.3	0.5	8	12.5	1537	280	2440	8.5	11.654	698479	3946658
رباط سنگ	2.5	7.3	22.9	0	2.5	0.2	3.6	26.5	2022	490	3210	8.3	10.345	698914	3936630
جوادیه	4	7.6	51.7	2.2	2.7	0	8	55	4082	580	6480	8.2	22.381	691634	3942133
کلاته اگریار	1	1.1	3.8	0	2.1	0.4	2.6	0.6	374	105	594	8.3	3.708	700505	3931372
بیدستان	5	2.7	9.6	0	2.2	0	13.6	1.5	1093	385	1735	8.1	4.893	696041	3932116
عزیز آباد	1	3.3	18.7	0	2.7	0.4	6	14.1	1405	215	2230	8.4	12.753	695906	3944620
حاجی بیگی (مال آباد)	2.1	3.1	14.7	0	4	0.8	9	6.2	1241	260	1970	8.4	9.117	686091	3937775
کلاته اوژخی (اورگی)	0.8	1	3	0	2.9	0.8	0.9	0.3	294	90	466	8.4	3.162	682316	3937163
کلاته حول آباد	1	1	5.6	0	3.7	0.8	2.2	1	476	100	755	8.4	5.6	702983	3935104
ده منار(اله آباد)	3	2.9	14.6	0	2.4	0	7	11.3	1251	295	1985	8.2	8.5	686934	3942931

جدول ۲: نتایج آنالیز شیمیایی منابع انتخابی آب زیرزمینی دشت رخ تیرماه ۱۳۸۳ (آب منطقه‌ای خراسان، ۱۳۸۳)

نام	محل چاه نمونه‌برداری	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO^{-}_3	CO^{2-}_3	SO^{2-}_4	Cl^{-}	TDS	TH	EC	pH	SAR	UTM_x	UTM_y
w1	حیدرآباد خزائی	0.9	2.2	5.3	0	4.2	0	2.3	2	401	155	803	8.1	4.257	724850	3940200
w2	ارقیطون (خرده مالک)	1.7	4.7	11.6	0	2	0.2	4.8	10.8	900	320	1796	8.4	6.485	723650	3933600
w3	ارقیطون (صداقت)	1	4.8	14.2	0	3.4	1.4	5	10.4	987	290	1971	8.4	8.339	721200	3938450
w4	نسر	1.9	0.7	2.3	0	2.2	0	1.1	1.7	235	130	471	8.2	2.017	720550	3931950
w5	داراب آباد (سهامی)	2.3	4.3	6	0	2	0.4	3.1	7	628	330	1257	8.5	3.303	714500	3941600
w6	کلاته صادق (خرده مالک)	9.3	8.7	2.7	0	3.8	0	14	3	1020	900	2060	7.7	0.9	714800	3934500
w7	اراضی نسر (خسروسهامی)	5	7.5	10.3	0	2.6	0	6.4	14	1120	625	2240	8.2	4.12	712350	3938500
w8	اراضی نسر (بهزاد)	2.5	5.2	10.9	0	2.8	0.3	4	11.7	906	385	1813	8.4	5.555	715150	3938050
w9	اراضی میاندشت (بنی‌هاشمی)	2.5	3.4	6.8	0	2.2	0.2	3.8	6.5	633	295	1268	8.6	3.959	710500	3942950
w10	اسلام آباد (رحیمی)	1.6	4.3	7.5	0	2.3	0.2	3.4	7.6	672	295	1337	8.3	4.367	718050	3942550
w11	آبدارو (خرده مالک)	1	1	1.5	0	1.9	0.2	1	0.6	151	100	303	8.6	1.5	710650	3951600
w12	اراضی نوری (خرده مالک)	3.8	0.5	0.2	0	2.8	0	3	1	321	215	645	8.2	0.136	707850	3931900
w13	سلطان آباد (حیدری)	1.3	4.5	12.7	0	3.8	1	5.7	8	924	290	1852	8.5	7.458	698400	3946900
w14	خماری (خرده مالک)	2.3	3.9	5.2	0	3.8	0	5.5	2.1	573	310	1143	8	2.953	698350	3931800
w15	رباط سنگ(احمدی وشرکائ)	0.7	1.1	9	0	3.7	1	2.8	3.4	510	90	1020	8.5	9.487	700250	3936650
w16	اراضی علی آقا (عظیم‌زاده)	1.3	3.5	8.1	0	2.6	0.2	4.3	5.8	646	240	1290	8.6	5.229	703900	3944500
w17	رباط سنگ (رضایی)	2.3	3.5	6.4	0	4.1	0.8	4.9	2.5	596	290	1193	8.5	3.758	698150	3936650
w18	اراضی حمدآباد(تقوی)	1.6	2.8	7.8	0	2.2	0.4	4	5.7	595	220	1189	8.6	5.259	705900	3944150
w19	رباط میاندشت(کارگران)	1.4	2.3	10.1	0	2.6	0.6	3.6	7	693	185	1388	8.7	7.426	707800	3941400
w20	علاقه (خرده مالک)	1.1	5.4	4.3	0	4.2	1.2	3.2	2.3	526	325	1058	8.6	2.385	708350	3948700
w21	فتحی (خرده مالک)	1	1.3	3.9	0	2.7	1	1.3	1.2	297	115	594	8.7	3.637	702950	3935300
w22	رحمت آباد (میرزائی)	3.6	5.7	29.2	0	2.5	0	7.3	28.6	1930	465	3890	8.3	13.541	698000	3939050
w23	اسمائیل آباد (رمضانی)	1.6	5.2	11.9	0	2.9	0	6	9.8	940	340	1869	8.2	6.454	695900	3944700
w24	خرم (خرده مالک)	3.7	2.7	6	0	2.9	0	6.2	3.3	624	320	1243	8	3.354	694000	3935500
w25	اسفیز (سلیمانی)	4.1	4	22.1	0	2	0	4.7	23.4	1560	405	3120	8.2	10.982	663100	3947450
w26	زمه (صدیقی‌زاده)	4.9	2.9	30.7	0	1.6	0	7.9	28.5	1950	390	3910	8.1	15.546	656700	3957100
w27	شورای ده	2.8	1.8	2.9	0	2.4	0	3.7	1.6	365	230	729	8	1.912	688850	3933450
w28	جوادیه (بنیادمستضعفان)	4.5	8.1	40	0.2	2.6	0	10.9	39.5	2610	630	5210	8.2	16.016	691650	3942300
w29	ده منار (عباسپور)	1.5	4.1	13.2	0	3	1	5.2	9.8	923	280	1849	8.5	7.889	687000	3943100
w30	برس (خرده مالک)	1.4	1.9	2.2	0	2.5	0	2	1	244	165	488	8.3	1.713	680250	3939600
w31	کدکن (شورای ده)	2.1	1.4	2.9	0	2	0.6	2.5	1.4	311	175	625	8.5	2.192	669650	3935800
w32	کدکن (خرده مالک)	5.7	6.1	12.5	0	3.2	0	10.9	9.9	1250	590	2530	7.8	5.146	673350	3939150

بحث

در مواردی که چندین متغیر به صورت همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند، روش های آماری چند متغیره ابزار مناسبی در بررسی روابط متغیرها می‌باشد. هدف اصلی تحلیل عاملی، در صورت امکان ، بیان روابط هم تغییری (Covariance) تعداد زیادی از متغیرها بر اساس چند کمیت تصادفی غیر قابل مشاهده است که عامل‌ها نامیده می‌شوند (Jahnson and Wichern, 1988). جهت انجام تحلیل عاملی، اولین مرحله تهیه ماتریس همبستگی از تمام متغیرها می‌باشد و در مرحله بعد عامل‌ها استخراج شده و تفسیر نتایج انجام می‌گیرد (Guler et al., 2002) . میزان همبستگی نزدیک به مثبت و منفی یک نشان دهنده همبستگی قوی میان یک متغیر و عامل مربوطه می‌باشد، در حالیکه بار نزدیک به صفر نشان دهندهٔ همبستگی ضعیف می‌باشد (Davis, 1986; Evans et al., 1996) .

متغیرهای کیفی آب شامل آنیون‌ها و کاتیون همراه با EC و pH ، کل مواد جامد محلول و سختی منابع آب توسط تحلیل عاملی بررسی گردید. ماتریس همبستگی داده‌های هیدروژئوشیمی منطقه رخ طی دو دوره سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۳ (جداول ۲ و ۳) نشان‌دهنده همبستگی خطی مستقیم بالا هدایت الکتریکی با یون‌های سدیم و کلر می‌باشد. هدایت الکتریکی در دوره اول به ترتیب با یون‌های سدیم، کلر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم همبستگی خطی مستقیم و بالا دارد. سختی آب با هدایت الکتریکی همبستگی مستقیم و بالا داشته و با pH همبستگی ضعیفی دارد . در دوره دوم هدایت الکتریکی به ترتیب با یون‌های کلر، سدیم، سولفات، منیزیم و پتاسیم دارای همبستگی خطی مستقیم و بالا می‌باشد. همچنین همبستگی هدایت الکتریکی نسبت به سختی آب و pH نسبت به دوره قبل تغییرات اندکی داشته است. بیشترین همبستگی در دوره‌های نمونه‌برداری بین یون‌های Na^+ و Cl^- بوده است. این میزان همبستگی را می‌توان ناشی از تأثیرات زمین‌شناسی منطقه و تبادل یونی دانست. همبستگی بالای حدود ۹۸٪ بین یون‌های سدیم و کلر و هر یک از این دو یون با هدایت الکتریکی وجود احتمالی منشأ زمین شناسی خاصی مانند هالیت را در منطقه تأیید می نماید.

جدول ۲: ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی منابع آب زیرزمینی رخ (تیرماه ۱۳۷۹)

همبستگی	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	TDS	TH	EC	pH
Ca^{2+}	1.000	0.470	0.585	0.330	-0.322	-0.728	0.623	0.592	0.648	0.825	0.648	-0.683
Mg^{2+}	0.470	1.000	0.643	0.434	0.0232	-0.335	0.489	0.654	0.708	0.887	0.708	-0.150
Na^+	0.585	0.643	1.000	0.812	-0.109	-0.383	0.399	0.981	0.993	0.718	0.993	-0.352
K^+	0.330	0.434	0.812	1.000	-0.106	-0.271	0.076	0.841	0.804	0.451	0.804	-0.347
HCO_3^-	-0.322	0.232	-0.109	-0.106	1.000	0.400	-0.035	-0.155	-0.102	-0.020	-0.102	0.403
CO_3^{2-}	-0.728	-0.335	-0.383	-0.271	0.400	1.000	-0.292	-0.447	-0.440	-0.595	-0.440	0.801
SO_4^{2-}	0.623	0.489	0.39	0.076	-0.035	-0.292	1.000	0.275	0.441	0.640	0.441	-0.206
Cl^-	0.592	0.654	0.981	0.841	-0.155	-0.447	0.275	1.000	0.982	0.729	0.982	-0.409
TDS	0.648	0.708	0.993	0.804	-0.102	-0.440	0.441	0.982	1.000	0.792	1.000	-0.397
TH	0.825	0.887	0.718	0.451	-0.020	-0.595	0.640	0.729	0.792	1.000	0.792	-0.453
EC	0.648	0.708	0.993	0.804	-0.102	-0.440	0.441	0.981	1.000	0.792	1.000	-0.397
pH	-0.683	-0.150	-0.352	-0.347	0.403	0.801	-0.206	-0.409	-0.397	-0.453	-0.397	1.000

جدول ۳: ماتریس همبستگی بین متغیرهای شیمیایی منابع آب زیرزمینی رخ (تیرماه ۱۳۸۳)

همبستگی	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	TDS	TH	EC	pH
Ca^{2+}	1.000	0.581	0.274	0.195	-0.029	-0.504	0.829	0.362	0.517	0.874	0.520	-0.749
Mg^{2+}	0.581	1.000	0.466	0.378	0.223	-0.131	0.799	0.517	0.661	0.903	0.662	-0.407
Na^{+}	0.274	0.466	1.000	0.604	-0.257	-0.123	0.514	0.978	0.956	0.423	0.955	-0.142
K^{+}	0.195	0.378	0.604	1.000	-0.049	-0.151	0.379	0.605	0.591	0.328	0.588	-0.100
HCO_3^-	-0.029	0.223	-0.257	-0.049	1.000	0.317	0.156	-0.344	-0.182	0.118	-0.181	-0.171
CO_3^{2-}	-0.504	-0.131	-0.123	-0.151	0.317	1.000	-0.280	-0.236	-0.224	-0.344	-0.224	0.622
SO_4^{2-}	0.829	0.799	0.514	0.379	0.156	-0.280	1.000	0.519	0.717	0.914	0.719	-0.662
Cl^-	0.362	0.517	0.978	0.605	-0.344	-0.236	0.519	1.000	0.964	0.500	0.964	-0.185
TDS	0.517	0.661	0.956	0.591	-0.182	-0.224	0.717	0.964	1.000	0.667	1.000	-0.333
TH	0.874	0.903	0.423	0.328	0.118	-0.344	0.914	0.500	0.667	1.000	0.669	-0.638
EC	0.520	0.662	0.955	0.588	-0.181	-0.224	0.719	0.964	1.000	0.669	1.000	-0.335
pH	-0.749	-0.407	-0.142	-0.100	-0.171	0.622	-0.662	-0.185	-0.333	-0.638	-0.335	1.000

لازم به ذکر است بررسی ماتریس همبستگی در دو دوره نشان دهنده همبستگی ضعیف هدایت الکتریکی با یون‌های کربنات می‌باشد. بررسی pH در دو دوره نشان دهنده همبستگی خطی معکوس و بالای یون کلسیم با pH می‌باشد. سختی آب (TH) با یون‌های منیزیم و سولفات همبستگی خطی مستقیم و بالا دارد. غیر از موارد فوق الذکر در اکثر موارد بین یون‌ها نسبت به هم همبستگی ضعیف برقرار است .

با استفاده از ماتریس همبستگی هر عامل به طریقی تعیین می‌گردد که نشان دهنده بالاترین تغییرات متغیرها باشد (Johnson and Wichern, 1988). تغییر و تعیین منشاء هر یک از عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی و فرایندهای هیدروژئوشیمیایی صورت می‌گیرد (Jeong, 2001). تفسیر عامل‌های بدست آمده مشکل می‌باشد و لازم است آنها در یک فضای چند بعدی چرخانده شوند. بار چرخیده (Rotated) بزرگتر از ۰/۵ به عنوان بار متوسط و بار بزرگتر از ۰/۷۵ به عنوان بار قوی در نظر گرفته می‌شود. مقادیر ۰/٤ تا ۰/۵ نیز حد پایین متوسط بار متغیرها بر روی عامل‌ها هستند (Evans et al., 1996; Miller And Drever, 1977).

استخراج عامل‌ها در دشت رخ با نرمال سازی Kaiser توسط نرم افزار SPSS 12 انجام شده است. با توجه به داده‌های تحلیل عاملی سه عامل تأثیرگذار بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت رخ، به عنوان بیان کننده حداکثر تغییرات یون‌های اصلی موجود در آب، تقریباً ۸۷٪ ترکیب آب زیرزمینی را تحت کنترل دارند (جداول ۳ و ٤). عامل اول به ترتیب با ۵۵/۱۷٪ تا ۵۹/٤٦٪ بیشترین و عامل سه با میزان ۱۱/٦۳٪ تا ۱۹٪ کمترین تأثیر را در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت رخ نشان می‌دهند. با توجه به جداول ماتریس بار چرخیده (Rotated) در دوره اول، نتیجه می‌شود که بارهای عامل تأثیرگذار روی عامل اول، شامل یون سدیم، کلر، پتاسیم دارای بار قوی، منیزیم دارای بار متوسط و سایر موارد بدون بار می‌باشند. در سال ۱۳۸۳ پتاسیم از بار ضعیف‌تری نسبت به سدیم و کلر برخوردار است و همراه منیزیم دارای بار متوسط می‌باشد. این حالت را می‌توان به یک سری فرایندهای ژئوشیمیایی شامل ا نحلال، تبادل یونی و تأثیر مارن‌های ژیپس دارنئوژن منطقه یا منابع زمین‌شناسی خاص (احتمالاً هالیت) نسبت داد. بارهای تأثیرگذار بر روی عامل دوم به ترتیب در دوره اول شامل سولفات با بار قوی، کلسیم و منیزیم دارای بار متوسط و مابقی یون‌ها فاقد بار می‌باشند. در دوره دوم کلسیم و سولفات دارای بار عاملی قوی هستند.

منیزیم دارای بار عاملی متوسط بر روی عامل دوم می‌باشد. عامل دوم را می‌توان به تأثیر پذیری احتمالی این عامل از فعالیت‌های اتمسفری و نزولات جوی و تغییرات کیفی آب‌های سطحی منطقه نسبت داد. در عامل سوم یون بی‌کربنات و کربنات دارای بار قوی می‌باشند. این وضعیت را می‌توان به انحلال احتمالی آهک در ارتفاعات جنوبی دشت و در مسیر حرکت آب زیرزمینی نسبت داد.

جدول ۳: مقادیر بار عامل‌ها با چرخش Varimax به ازای متغیرهای هیدروشیمی تیرماه۱۳۷۹

متغیرها \ عامل	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
Ca^{2+}	0.315	0.650	-0.608
Mg^{2+}	0.547	0.713	0.149
Na^{+}	0.920	0.305	-0.148
K^{+}	0.923	-0.062	-0.140
HCO_3^-	-0.036	0.228	0.778
CO_3^{2-}	-0.193	-0.384	0.788
SO_4^{2-}	0.074	0.840	-0.103
Cl^-	0.938	0.244	-0.215
TDS	0.898	0.386	-0.176
TH	0.515	0.797	-0.223
EC	0.898	0.386	-0.176
pH	-0.211	-0.205	0.836
واریانس	59.462	15.905	11.630
درصد تجمعی واریانس	59.462	75.367	86.997

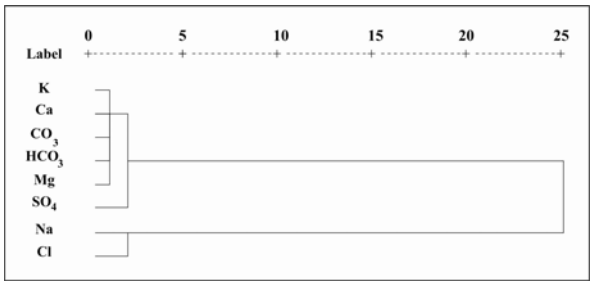
جدول ٤: مقادیر بار عامل‌ها با چرخش Varimax به ازای متغیرهای هیدروشیمی تیرماه ۱۳۸۳

متغیرها \ عامل	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
Ca2+	0.217	0.902	-0.076
Mg2+	0.529	0.610	0.410
Na+	0.966	0.085	-0.113
K+	0.695	0.074	0.019
HCO_3^-	-0.245	0.176	0.834
CO_3^{2-}	0.008	-0.613	0.671
SO_4^{2-}	0.486	0.792	0.225
Cl-	0.952	0.165	-0.203
TDS	0.926	0.348	-0.043
TH	0.430	0.840	0.204
EC	0.924	0.351	-0.043
pH	0.005	-0.896	0.110
واریانس	55.177	19.001	11.99
درصد تجمعی واریانس	86.172	74.178	86.17

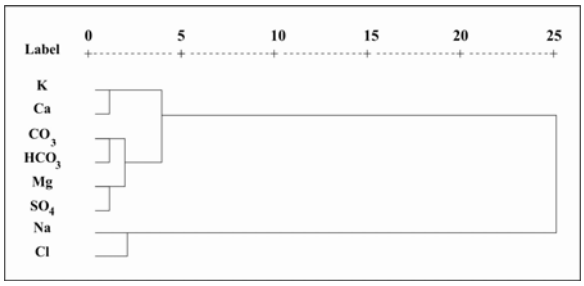
روش آماری تحلیل خوشه‌ای، امکان گروه بندی نمونه‌های آب را براساس شباهت ترکیب شیمیایی آنها فراهم می‌نماید. در ارزیابی پارامترهای شیمیایی، مثل ترکیبات آب، مهمترین فاکتور در انجام یک آنالیز خوشه‌ای موفق انتخاب متغیرها به خصوص مستقل بودن و ارتباط قابل مقایسه آنها می‌باشد. (Troiano et al., 1994; Fovell, 1997).

آنالیز خوشه‌ای به دو صورت R-mode برای متغیرها و Q-mode برای مشاهدات قابل انجام می‌باشد (Reghunath et al. 2002). با توجه به شکل‌های ۳ و ٤ طی دو دوره نمونه‌برداری آب زیرزمینی و استفاده از روش R-mode دو خوشه اصلی تشکیل می‌شود. یون‌های +Na و -Cl به صورت متمایز از سایر یون‌ها در یک خوشه مجزا قرار گرفته است. در این تحلیل سدیم و کلر دارای بالاترین مقدار شباهت نسبت به هم می‌باشند. علت آن را می‌توان متأثر از یک منشاء خاص زمین‌شناسی احتمالاً هالیت دانست. زیرا بر اثر انحلال این کانی به نسبت

مشابهی (یک مول) کلرید و سدیم وارد آب می‌گردد. این تحلیل نشان دهنده غالب بودن تیپ کلروره سدیک در آب زیر زمینی منطقه می‌باشد.



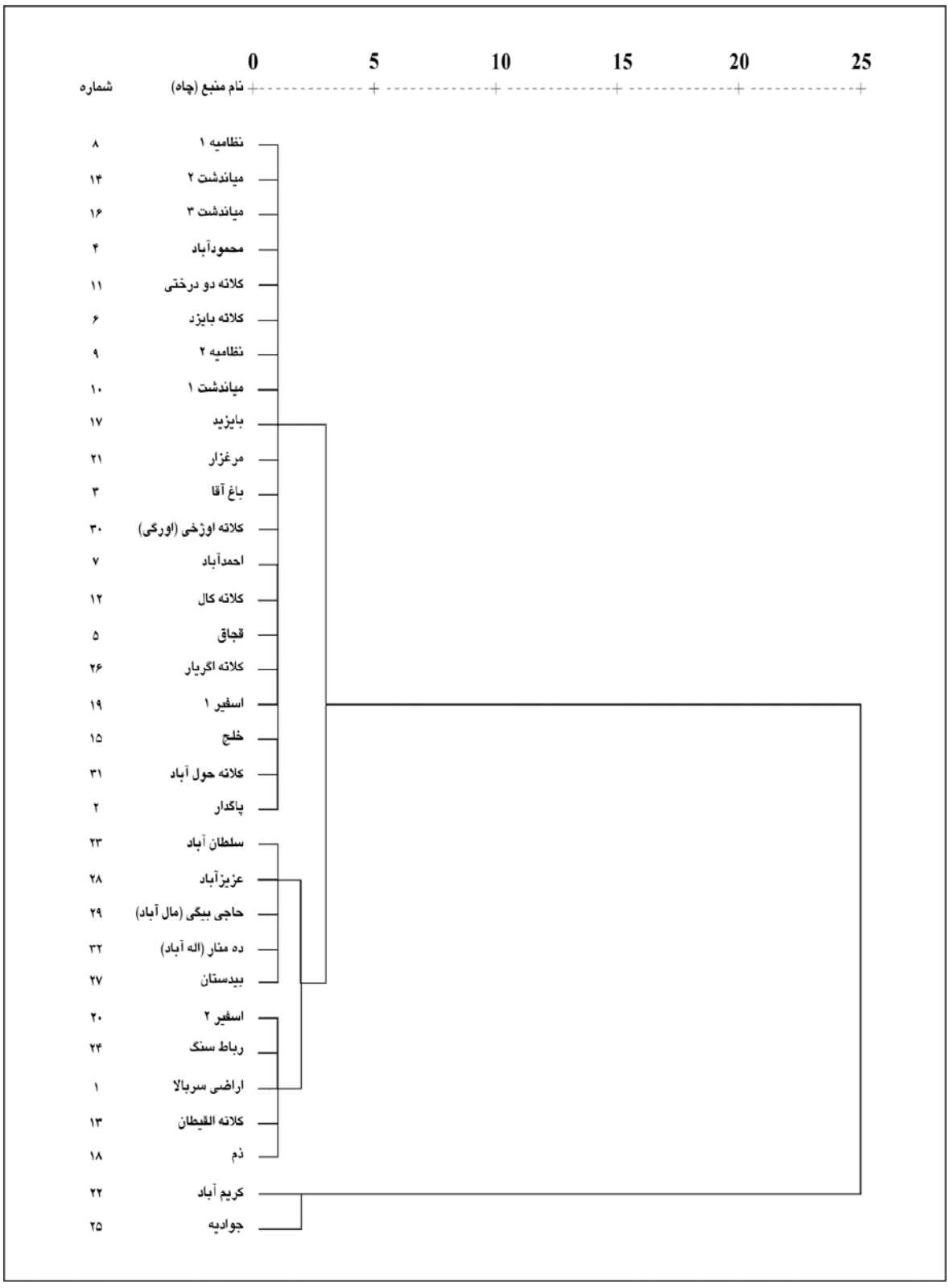
شکل ۳: تحلیل خوشه ای متغیر های کیفیت منابع آب انتخابی تیرماه (۱۳۷۹)



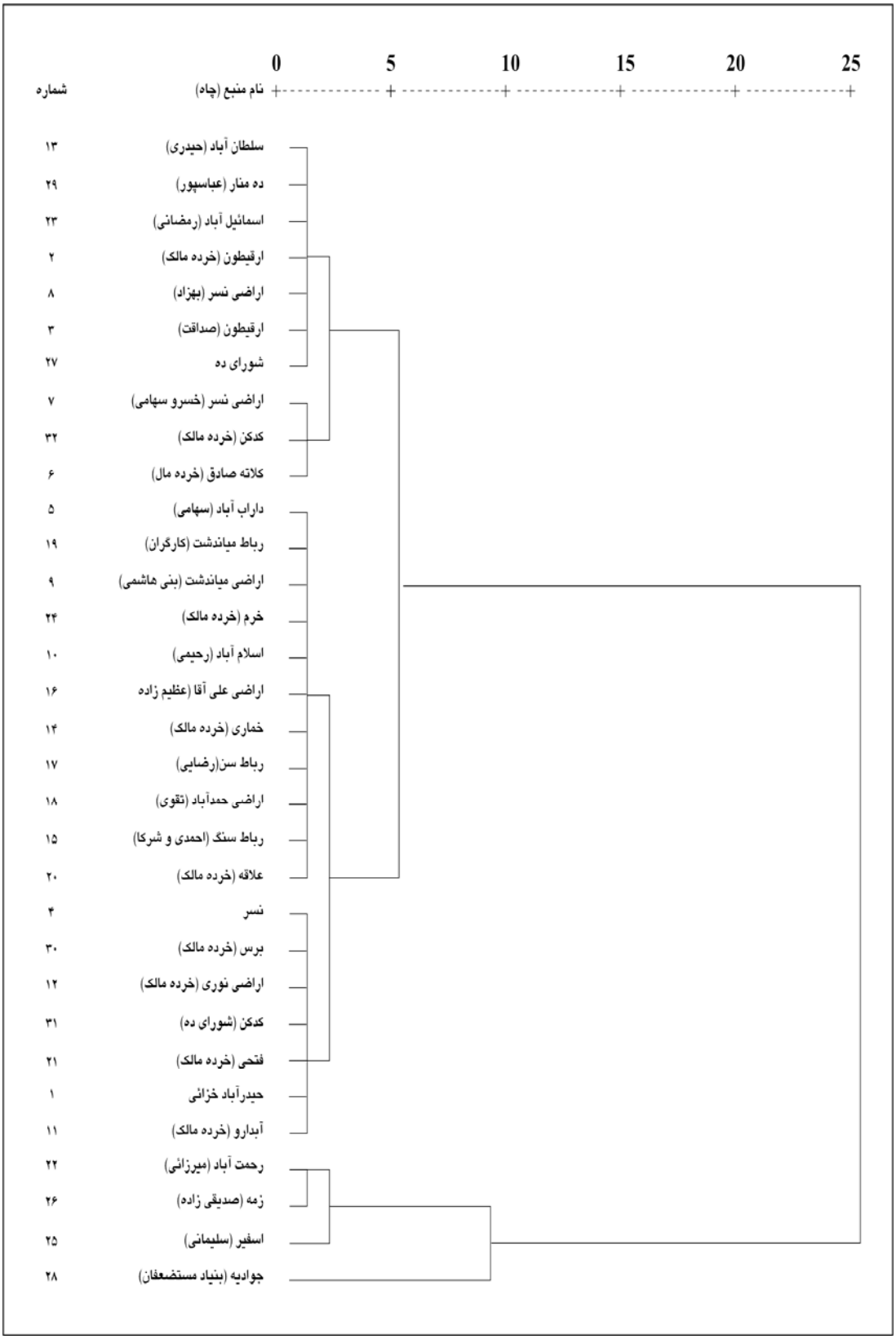
شکل٤ : تحلیل خوشه ای متغیر های کیفیت منابع آب انتخابی تیرماه (۱۳۸۳)

در تیرماه ۱۳۷۹ یون های پتاسیم، کلسیم، بی کربنات، منیزیم و کربنات با یکدیگر شباهت داشته و در یک خوشه قرار گرفته اند. یون سولفات در مرتبه ای پایین تر از نظر شباهت با خوشه فوقانی خود قرار دارد. این پدیده را می توان به انحلال سازندهای گچی منطقه مانند مارن های ژیپس دار نئوژن نسبت داد. در دوره دوم کربنات و پتاسیم دارای شباهت هایی می باشند. میزان بی کربنات با کربنات شباهت داشته و با زیر خوشه منیزیم و سولفات شباهت هایی دارند.

تحلیل خوشه ای مشاهدات (Q-mode) براساس بررسی شباهت کیفیت ترکیب شیمیایی منابع آب زیرزمینی نسبت به یکدیگر انجام می گیرد (شکل های ۵ و ٦). در آنالیز خوشه‌ای (Q-mode) متغیرهای کیفی موجود در هر منبع نمونه برداری را با هم ترکیب کرده و آنها را به عنوان یک نتیجه واحد معرفی می‌کنند (Fovell, 1997). در بین منابع انتخابی در دوره ۱۳۷۹ نمونه‌های آب کریم آباد و جوادیه به علت شباهت ترکیب شیمیایی و تیپ منحصر به فرد کلروره سدیک ، همواره در یک خوشه منفرد قرار می گیرند. سایر منابع در یک خوشه مجزا قرار می گیرند. شباهت بین منابع تا حدودی منعکس کننده موقعیت زمین شناسی و توزیع جغرافیایی این منابع می باشد. در دوره ۱۳۸۳ جوادیه همانند دوره پیشین در یک خوشه مجزا قرار می گیرد. با افت کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت رخ در سال ۱۳۸۳ منبع جوادیه با منابع رحمت آباد، زمه و اسفیر (سلیمانی) شباهت زیادی دارد و در یک خوشه قرار گرفته اند، در صورتی که در دوره اول این منابع در خوشه‌ای با کیفیت مناسب قرار داشته‌اند. با تغییرات کیفی آبخوان ، این منابع به خوشه ای مجزا منتقل شده است. علت آن را می توان، خشکسالی های ۱۰ ساله اخیر در منطقه دانست که متعاقب آن تعدادی از منابع بهره برداری منطقه خشک شده و بهره برداری از سایر منابع افزایش یافته است. با افزایش میزان بهره برداری از آب زیر زمینی، آب شور که در قسمت زیرین نسبت به آب شیرین قرار دارد به صورت مخروط معکوس به سمت بالا حرکت کرده (Upconing) و باعث افزایش میزان هدایت الکتریکی ، در نتیجه شورشدن آب زیرزمینی منطقه شده است.



شکل ۵ : تحلیل خوشه‌ای منابع آب انتخابی بر اساس ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی حوضه رخ تیر ماه(۱۳۷۹)



شکل ٦ : تحلیل خوشه‌ای منابع آب انتخابی بر اساس ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی حوضه رخ تیر ماه(۱۳۸۳)

نتیجه گیری:

۱- وجود سازندهای تبخیری میوسن و ائوسن حاوی گچ و نمک ، به خصوص نهشته‌های میوسن زیرین که بیشتر تبخیری است، در ناحیه مرکزی و جنوبی دشت رخ، از عوامل مؤثر در کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت رخ می‌باشد.

۲- نتایج تحلیل عاملی، سه عامل را به عنوان تأثیر گذارترین عوامل بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت رخ تعیین می‌کند. این عوامل بیان کننده حداکثر تغییرات یون های اصلی موجود در آب است و تقریباً ۸۷٪ ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی را تحت کنترل دارند. در این بررسی عامل اول با سدیم، کلر، پتاسیم و هدایت الکتریکی، عامل دوم با سولفات، سختی، کلسیم و منیزیم و عامل سوم با کربنات و بی کربنات همبستگی بالایی دارند.

۳- با توجه به بارهای عامل تأثیرگذار بر عامل اول، می توان عامل اول به یک سری فرایندهای ژئوشیمیایی شامل تبادل یونی ، انحلال یا تأثیر منبع زمین شناسی خاص ، احتمالاً هالیت نسبت داد.

٤- نتایج تحلیل خوشه‌ای متغیرها (R-mode) تیپ کلروره سدیک را به صورت قرار گرفتن یون سدیم و کلردریک خوشه مجزا همچنین شباهت بالا و فاصله زیاد نسبت به سایر متغیرها به عنوان تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه مشخص می نماید.

۵- براساس نتایج خوشه‌ای مشاهدات (Q-mode) منطقه جوادیه طی دو دوره نمونه برداری همواره در خوشه ای مجزا قرار می گیرد. در دوره دوم، منطقه جوادیه بر اثر افت کیفیت، به جز منطقه کریم آباد با هیچ یک از منابع دیگر از لحاظ ترکیب شیمیایی شباهت ندارد.

٦- با توجه به خشکسالی های ۱۰ ساله اخیر در منطقه ، میزان بهره برداری از آب زیر زمینی افزایش یافته و آب شور از قسمت زیرین به صورت مخروط معکوس به سمت بالا حرکت کرده و باعث افزایش میزان هدایت الکتریکی، در نتیجه شورشدن و کاهش کیفیت آب زیرزمینی منطقه شده است.

منابع و مأخذ:

۱-آب منطقه‌ای خراسان ، دفتر مطالعات آبهای زیرزمینی (۱۳۸۳): آمار هیدروژئوشیمی شبکه چاه های نمونه برداری دشت رخ (۱۳۷۸ الی ۱۳۸۳) .

۲-سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۰): نقشه زمین شناسی تربت حیدریه، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰.

3- Applegate, D. (1996): Arc view GIS , Environmental Systems Research Institute, (ESRI), version 3.2a . New York .

4- Davis, J.C. (1986): Statistics & Data Analysis in Geology. Wiley, Toronto, 646 p.

5- (ESRI) Environmental systems research institute (2002): Arc GIS version 9. New York, USA .

6- Evans, C.D., Davies, T.D., Wigington, P.J., Tranter, J. M., and Kretser,W.A. (1996): Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of

four streams in the Adirondack Mountains, New York. Journal of Hydrology, Vol.185, pp. 297-316.

7- Fovell, R.G. (1997): Consensus clustering of US temperature and precipitation data. Journal of Climate, Vol.10 (6), pp. 1405-1427.

8- Guler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E, and Turner, A.K. (2002): Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for dissication of water chemistry data, Hydrogeology Journal, Vol.10 , pp. 455-474.

9- Jeong, C.H. (2001): Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination ot ground water from Taejon area, Korea, Journal of Hydrology, Vol.253, pp. 194-210.

10- Johnson, R. A., and Wichern, D.W. (1988): Applied Multivariate Statistical Analysis, Perntice Hall, 605 P.

11- Miller W.R., and Drever, J. I. (1977): Water chemistry of a stream following a storm, Absaroka Mountains, Wyoming, Geological Society of America Bulletin, Vol.88, pp. 286-290.

12- Reghunath, R., Murthy, T.R.S. and Raghvan, B.R. (2002): The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, Water Research, Vol.36, pp. 2437-2442.

13- Troinano, J., Johnson, B.R., Powell, S., and Schoenig, S. (1994): Use of cluster and principal component analysis to profile areas in California where ground water has been contaminated by pesticides. Environmental Monitoring and Assessment,Vol.32, pp. 269-288.

14- WWW. Earth.google. com ., 2007