

## برآورد ارتباط هیدرولیکی چشمه‌های تاقدیس کینو در شمال استان خوزستان با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی، روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و خوشه سلسله مراتبی (HCA)

سید یحیی میرزایی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

منوچهر چیت سازان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

زهرا چغاززدی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۱

yahyamirzaee@scu.ac.ir

### چکیده

در یک دهه اخیر، مدیریت منابع آب کارستی به دلیل نقش ویژه آن‌ها در تامین آب شرب، مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، این پژوهش به بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های واقع در تاقدیس کینو در استان خوزستان می‌پردازد. هدف این پژوهش تعیین ارتباط هیدرولیکی و بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی چشمه‌ها، با تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی و بهره‌گیری از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و خوشه سلسله مراتبی (HCA) است. نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های هیدروشیمیایی در بازه زمانی آذر ۱۳۹۱ الی تیر ۱۳۹۲ نشان می‌دهد، دو عامل یعنی متغیرهای منیزیم، بی‌کربنات، سدیم، کلر، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی به عنوان عامل اول و کلسیم و سولفات به عنوان عامل دوم بیش‌ترین تاثیر را بر کیفیت شیمیایی چشمه‌های تاقدیس دارند. در ادامه، برای بررسی ارتباط هیدرولیکی چشمه‌ها، از روش تحلیل خوشه‌سلسله‌مراتبی در حالت Q-mode استفاده شد. برپایه برآوردهای این تحلیل، چشمه‌های تاقدیس کینو در دو خوشه اصلی قرار می‌گیرند که این امر نشان دهنده ارتباط هیدرولیکی بین این چشمه‌ها در هر خوشه است. نتایج روش تحلیل خوشه‌ای در حالت R-mode نیز تاییدکننده روش Q-mode می‌باشد. در پایان، برای بررسی و شناخت فرایندهای شیمیایی موجود در چشمه‌ها، از نمودار پایپر و تحلیل نسبت‌های یونی استفاده شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد چشمه سوسن با تنگ‌سرد و چشمه آب‌سرد با موری دارای ارتباط هیدرولیکی هستند.

**کلمات کلیدی:** آمار چندمتغیره، پارامترهای کیفی آب، تاقدیس کینو، Q-mode و R-mode

### مقدمه

همچنین پارامترهای غیرشیمیایی مانند دما و گرانروی اشاره کرد (Voudouris et al., 2000). افزون بر این، فرایندهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی پیچیده هستند و این پیچیدگی‌ها به‌طور مستقیم، قوانین حاکم بر فرایندها را نشان نمی‌دهند. از این رو نمی‌توان با روش‌های گرافیکی، کیفیت آب‌های زیرزمینی با شرایط پیچیده هیدروژئولوژیکی را بررسی کرد (Banoeng-Yakubo et al., 2009). استفاده از روش‌هایی همانند ردیابی و هیدروشیمی به سبب هزینه‌های بالا، تنها برای پروژه‌هایی با منابع اقتصادی فراوان مناسب است. از این رو یکی از روش‌های کاربردی در این زمینه، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره (تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی) است که برای تعیین ارتباط و تحلیل داده‌های مختلف هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی آبخوان‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته شده است. از جمله پژوهش‌ها، می‌توان به کار (Mohamadi et al., 2009) اشاره نمود که آنان با استفاده از روش تحلیل عاملی، هیدروژئوشیمی آبخوان ساحلی آبدان- دیر را در استان بوشهر بررسی نموده و سه فرایند اصلی تبخیر، نفوذ آب‌های آهکی و آب برگشتی از کشاورزی را از عوامل اصلی کنترل کننده کیفیت آبخوان تشخیص دادند. (Khosravi et al., 2015) مناطق همگن از لحاظ کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت قیر در استان

آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تامین آب شرب، کشاورزی و صنعتی در تمام دنیا است و اهمیت آن به دلیل رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی روزه‌روز بیش‌تر می‌شود. روند کاهش کیفیت آب زیرزمینی، شرایط دشواری را برای کنش‌های انسانی ایجاد کرده است که همواره، دامنه آن رو به گسترش است. از این رو پایش و مطالعه این منابع برای حفاظت، نگهداری و اصلاح کمی و کیفی آن امری بایسته است (Adepelumi et al., 2009). از مهم‌ترین کارها در مدیریت منابع آب زیرزمینی، شناخت فرایندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر سیستم آبخوان است. حاصل این فرایند، شکل‌گیری ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی است که به‌وسیله چندین عامل مانند ترکیب شیمیایی آب باران، فعالیت‌های انسانی، ساختارهای زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حوضه آبریز و آبخوان کنترل می‌شوند (Andre et al., 2005; Gibbs, 1970). یکی از مناسب‌ترین روش‌های شناخت فرایندهای حاکم بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، استفاده از انواع نمودارهای توصیفی مانند نمودار پایپر، گیبس، و نمودار ترکیبی در هیدروژئوشیمی است. اگرچه این روش‌های گرافیکی برای ارزیابی فرایندهای حاکم بر آب زیرزمینی به‌کار می‌روند، ولی با کمبودهایی هم روبرو هستند. از این بین می‌توان به بکار نگرفته شدن برخی پارامترهای شیمیایی مانند نیترات، سیلیس، آرسنیک، فلوئور

این پژوهش از متغیرها با بیشترین بارهای عاملی در تحلیل خوشه‌ای استفاده شد کم و بیش برابر ۲۴ مترمکعب بر ثانیه بوده که اگرچه در حوضه آبخیز سازند ایلام - سروک واقع است، ولی از سازند پابده گورپی خارج می‌شود. چشمه تنگ‌سرد خروجی اصلی یال جنوب‌غربی تاقدیس کینو است. این چشمه از نوع چشمه‌های کنتاکتی بوده و در دره‌ای بالاتر از روستای لدر در کنتاکت بین سازندهای سروک و گورپی جای دارد. حوضه آبخیز این چشمه سازند سروک بوده و میانگین آبدهی آن در طول دوره پژوهش (بازه زمانی آذر ۹۱ الی تیر ۹۲) کم و بیش برابر یک مترمکعب بر ثانیه است. چشمه آب‌سرد در یال شمالی تاقدیس‌های کینو و لیلا قرار دارد و از سازند آسماری خارج می‌شود. آبدهی این چشمه دارای میانگین ۰/۹۶ مترمکعب بر ثانیه است. چشمه موری از کنتاکت سازندهای آسماری - شهبازان و کشکان تخلیه می‌شود. در طول این پژوهش، میانگین آبدهی این چشمه حدود ۰/۷۱ مترمکعب بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنجی به منطقه مورد پژوهش ایستگاه کوه‌رنگ است که میانگین بارش در یک دوره ۳۰ ساله ۱۲۹۸ میلی‌متر در سال برآورد شده است.

### روش تحقیق

#### گردآوری نمونه‌های آب چشمه‌های مورد پژوهش

در این پژوهش برای ارزیابی داده‌های کیفیت آب ۴ چشمه (سوسن S1، تنگ‌سرد S2، آب‌سرد S3 و موری S4) از آمار و اطلاعات کیفی مشترک هر ۴ چشمه در بازه زمانی آذر ۹۱ الی تیر ۹۲ استفاده شده است. این اطلاعات مربوط به عناصر شیمیایی  $Ca^{2+}$ ،  $K^{+}$ ،  $TDS$ ،  $EC$ ،  $Cl^{-}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $HCO_3^{-}$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $Na^{+}$  هستند.

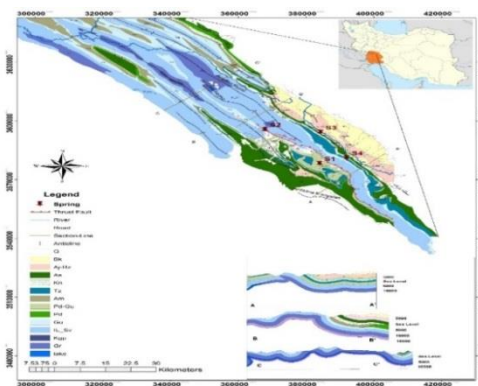
#### استاندارد سازی و تبدیل داده ها

پیش از انجام تحلیل‌های آماری، نخست داده‌های ناهمگون با استفاده روش نزدیک‌ترین همسایگی حذف و سپس برای کاهش اثر تفاوت مقیاس داده‌ها از آن‌ها لگاریتم گرفته شد. مطالعات آماری چند متغیره و تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از نرم افزار XLSTAT2016 انجام شد. تفسیر و تعیین منشأ هر یک از فاکتورها نیز برپایه بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناختی و فرآیندهای هیدروشیمیایی انجام گرفته شده است. سپس برای بررسی‌های بیشتر، از روش‌های کلاسیکی هیدروشیمیایی از جمله؛ روش‌های ترسیمی و نسبت یونی استفاده شده است.

فارس را نیز با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی و خوشه‌ای بررسی نمودند. در چاه‌های منطقه مورد پژوهش به پنج خوشه رده‌بندی شدند. برپایه این رده‌بندی، کیفیت پارامترها از گروه یک تا پنج افزایش یافته و چاه‌هایی که در گروه نخست جای داشتند از دیدگاه کیفیت به‌عنوان مناسب‌ترین چاه‌ها در نظر گرفته شدند. (Guler et al. (2002 از روش آمار چند متغیره برای بررسی شش چشمه در حوضه کربنیفر دوبلین در منطقه مرکزی شرقی ایرلند استفاده نمودند. برآوردها در این پژوهش نشان دهنده اولین تجزیه و تحلیل آماری داده‌های هیدرولیکی از چشمه‌های هیدروترمال است. ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی بیشتر نشان‌دهنده ترکیب شیمیایی سنگ بستر میزبان است. تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی به‌ویژه در مناطق کارستی شده جایی که داده‌های هیدروشیمیایی اغلب به اندازه یا مهم‌تر از داده‌های هیدرودینامیکی رایج هستند، سودمند است. از دید منطقه‌ای، به‌عنوان منابع اولیه آب و هم‌چنین به لحاظ اقتصادی، این پهنه‌های کارستی نقش برجسته را برای جامعه ایفا می‌کنند. هدف این پژوهش بررسی تغییرات پارامترهای شیمیایی چشمه‌های کربناته تاقدیس کینو و ارتباط این تغییرات از طریق بررسی ارتباط این چشمه‌ها با یکدیگر از طریق آمار چند متغیره (تحلیل عامل‌های اصلی و خوشه‌بندی سلسله مراتبی) است. در تاقدیس کینو یازده چشمه گزارش شده وجود دارد که از میان آن‌ها، با نگرش به داده‌های در دسترس چشمه‌های سوسن، تنگ‌سرد، آب‌سرد و موری برای پژوهش برگزیده شده‌اند.

#### مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی

تاقدیس کینو در مختصات جغرافیایی  $49^{\circ}44'$  تا  $49^{\circ}22'$  شرقی و  $32^{\circ}26'$  تا  $32^{\circ}43'$  شمالی، در شمال شرق استان خوزستان و در فاصله ۴۰ کیلومتری شهرستان اندیکا جای دارد. چشمه‌های مورد پژوهش، روی این تاقدیس قرار گرفته‌اند (شکل ۱). مهم‌ترین رخنمون تکتونیکی منطقه، گسل تراستی مفارون است که سبب جای‌گیری سازند پابده و گرو در کنار سازند ایلام - سروک شده است و از این راه بر روی کیفیت دو چشمه از چشمه‌های مورد پژوهش یعنی چشمه سوسن و تنگ‌سرد تأثیرگذار است. این گسل که در حد جنوبی تاقدیس کینو، بین سازندهای سخت منطقه و واحدهای آبرفتی مجاور جای دارد، دارای ساختار فشارشی است با نگرش به این‌که جابه‌جایی این گسل بیش‌تر از ضخامت لایه نفوذناپذیر می‌باشد، سبب خروج آب از پهنه کارستی تاقدیس کینو شده است و در نتیجه آب زیرزمینی از چشمه سوسن و تنگ‌سرد به‌ترتیب از پلانچ جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی خارج می‌شود. چشمه سوسن، دارای آبدهی میانگین



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش و مکان چشمه‌های مورد نظر.

جدول ۱- نتایج اندازه گیری نمونه های آب چشمه های مورد پژوهش برحسب (میلی اکی والان بر لیتر).

Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	TDS	EC	تاریخ نمونه برداری	نام چشمه
63.84	21.8	3.586	0.46	229.8	49.18	13.76	219	453.4	91/9	s1
48.29	7.29	0.22	0.39	164.7	1.44	5.318	124.6	249	91/9	s2
52.1	17.01	38.85	0.39	238.6	1.92	54.24	299.2	468	91/9	s3
57.51	24.79	42.07	0.39	233.7	31.22	75.16	285.2	571	91/9	s4
68.37	12.2	4.042	0.74	228.3	9.48	12.2	257.8	407.9	91/10	s1
42.13	9.84	1.149	0.39	147.1	7.68	8.33	167.8	262.8	91/10	s2
45.83	13.12	34.14	0.50	186.3	14.6	56.28	272.2	449	91/10	s3
50.02	17.35	41.98	0.70	222.8	18.64	51.9	301	495.2	91/10	s4
73.63	16.45	3.72	0.47	225.2	46.43	14.02	210.4	421.7	91/11	s1
49.1	12.76	1.72	0.39	171.6	17.77	10.64	133.1	266.3	91/11	s2
45.73	14.22	26.97	0.39	196.5	15.52	43.43	246.3	416	91/11	s3
52.64	24.53	46.82	0.71	211.4	57.56	66.89	262.6	523.2	91/11	s4
70.06	7.121	1.931	0.46	214.5	11.91	11.27	214	384.4	91/12	s1
49.65	5.52	0.57	0.39	164.4	8.40	5.67	144.3	262.3	91/12	s2
50.1	8.50	20.69	0.39	172.1	13.93	39	238.3	411	91/12	s3
49.3	14.14	25.6	0.65	192.8	8.64	53.42	262.9	447.3	91/12	s4
62.79	9.39	2.29	0.39	201.8	13.93	10.52	199.8	363	92/1	s1
44.69	7.12	0.91	0.39	153.4	5.123	6.97	138.9	252.7	92/1	s2
54.11	10.33	22.99	0.39	175.7	11.05	47.86	262.3	411	92/1	s3
52.55	14.7	30.58	0.78	201.2	23.06	47.33	284	500	92/1	s4
67.53	13	2.75	0.391	192.2	48.03	10.28	196.4	340	92/2	s1
50.5	7.29	0.919	0.39	152.5	15.85	8.50	136.6	237	92/2	s2
52.7	5.89	49.77	0.58	160.8	9.60	87.04	333.1	528	92/2	s3
63.12	16.77	35.63	0.78	210.5	16.81	74.45	363	568	92/2	s4
72.84	3.76	8.276	3.12	182.7	30.98	19.85	298.7	485.5	92/3	s1
44.09	3.40	0.919	0.39	149.5	1.44	7.44	128.6	229	92/3	s2
44.69	14.34	67.13	0.39	192.8	7.20	100.3	370	579	92/3	s3
55.51	14.34	49.2	0.78	163.2	26.42	95.19	391	612	92/3	s4
79.15	15.92	5.51	0.78	184	91.98	14.71	305.2	476.5	92/4	s1
46.89	5.83	0.91	0.39	156.8	7.20	8.86	138.6	246	92/4	s2
39.68	14.46	52.19	0.78	182.4	12.97	85.09	322.1	512	92/4	s3
57.81	14.95	49.77	0.78	199.8	19.45	85.8	383	608	92/4	s4

### بحث و نتایج

#### تحلیل مؤلفه اصلی چشمه ها

برای انجام این پژوهش، نخست داده ها به روش PCA در محیط نرم افزار XLSTAT با استفاده از روش لگاریتم گیری استاندارد شدند. در گام دیگر، امکان استفاده از تحلیل عاملی برای جامعه آماری بوسیله آزمون KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) سنجیده شد با توجه به کمینه ۰/۵ برای ضریب KMO جهت

صلاحیت استفاده از آزمون عاملی، مقادیر این ضریب بررسی گردید (جدول ۲) نتایج بررسی نمایانگر مناسب بودن پارامترهای هیدروشیمیایی برای انجام تحلیل می باشد (Shokouhifar and Izadpanah (2013) به منظور بهبود روابط بین ورودی ها و عامل های اولیه و نیز تفکیک بهتر آن ها جهت عضویت در عامل ها، از چرخش Varimax استفاده شد.

جدول ۲- ارزیابی کفایت داده های هیدروشیمیایی چشمه های مورد پژوهش با روش KMO.

Kaiser- Meyer-Olkin	
۰/۶۸۲	S1
۰/۶۲۰	S2
۰/۶۵۹	S3
۰/۷۰۲	S4

**همبستگی بین متغیرها**

در این پژوهش، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی برپایه ماتریس همبستگی صورت گرفته است، زیرا بررسی دقیق ماتریس همبستگی می‌تواند ارتباط بین متغیرها و همچنین ارتباط مجموعه داده‌ها با یکدیگر را نشان دهد (Oinam et al., 2012). در (جدول ۳) ماتریس همبستگی پارامترهای کیفیت آب چشمه‌های سوسن (S1)، تنگ سرد (S2)، آب سرده (S3) و موری (S4) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بیش‌ترین همبستگی بین کلر و سدیم (۰/۹۸۲)، سدیم و EC (۰/۹۰۴)، بی‌کربنات و منیزیم (۰/۶۹۱)، بی‌کربنات و EC (۰/۶۱۶)، و سولفات و کلسیم (۰/۵۷۹) وجود دارد.

**استخراج بارهای عاملی اصلی**

(جدول ۴) نمایانگر خروجی نرم‌افزار XLSTAT حاصل از نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. بارهای عاملی و مقادیر ویژه هر مؤلفه خلاصه شده است. معیارهای گوناگونی برای شناسایی تعداد مؤلفه‌های اصلی که باید برگزیده شوند تا ساختار داده‌ها حفظ شود، وجود دارد. در این پژوهش، بارهای عاملی با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک به عنوان مؤلفه‌های اصلی مؤثر در کیفیت شیمیایی چشمه‌های تاقدیس کینو در نظر گرفته شده است. در این جدول پارامترهای کیفی به ده مؤلفه تقسیم شده که در هر ردیف مقدار ویژه با میزان تغییرپذیری و

تغییرپذیری تجمعی آن‌ها نشان داده شده است. مطابق با این جدول دو مؤلفه اول و دوم دارای بیش‌ترین تغییرات کیفی هستند (به ترتیب ۴۷/۶۹ و ۲۳/۹۵). از این رو، مؤلفه‌های اول و دوم به عنوان بهترین فاکتور در توصیف تغییرات کیفیت آب چشمه‌های مورد پژوهش انتخاب شدند.

در (جدول ۵)، ستون یک و دو بار عاملی متغیرها، ستون سه و چهار درصد سهم بار عاملی یک و دو بر متغیرها و ستون پنج و شش مربع کسینوس بار عاملی یک و دو بعد از چرخش می‌باشد. برپایه این جدول پارامترهای کیفی دارای مربع کسینوس قابل قبول نزدیک به ۰/۵ و بیش‌تر (اعداد درشت در جدول) به عنوان پارامترهای مؤثر در بارهای عاملی نشان داده شده است. به این ترتیب در مؤلفه اول (D1)، پارامترهای منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، کلر، TDS، EC به ترتیب با مربع کسینوس ۰/۴۶۰، ۰/۶۶۱، ۰/۳۸۲، ۰/۶۵۵، ۰/۸۶۴ و ۰/۹۴۳ مؤثر هستند که این عامل را با توجه به همبستگی بالای سدیم و کلر می‌وان به انحلال‌هالیت و هم‌چنین انحلال دولومیت به دلیل همبستگی بالای منیزیم و بی‌کربنات نسبت داد. در عامل دوم (D2) کلسیم و سولفات به ترتیب با مربع کسینوس ۰/۷۵۹ و ۰/۳۴۹ بیش‌ترین همبستگی را نشان می‌دهند که بیانگر انحلال کانی‌های تبخیری مانند انیدریت است.

جدول ۳- ماتریس همبستگی پارامترهای کیفی چشمه‌های تاقدیس کینو.

متغیر	Ca	Mg	Na	HCO3	SO4	Cl	EC
Ca	1						
Mg	0.15	1					
Na	-0.03	0.57	1				
HCO3	0.50	0.69	0.45	1			
SO4	0.58	0.51	0.31	0.37	1		
Cl	-0.12	0.54	0.98	0.37	0.22	1	
TDS	0.25	0.52	0.91	0.50	0.39	0.88	1
EC	0.31	0.61	0.90	0.62	0.48	0.87	1

جدول ۴ - مقادیر ویژه چشمه‌های تاقدیس کینو.

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	
4.769	2.395	0.932	0.624	0.577	0.411	0.180	0.073	0.030	0.009	Eigenvalue
47.694	23.951	9.320	6.239	5.769	4.112	1.799	0.732	0.298	0.086	Variability (%)
47.694	71.645	80.965	87.205	92.974	97.085	98.884	99.616	99.914	100.000	Cumulative %

جدول ۵- مقادیر بارهای عاملی و مربع کسینوس چشمه‌های تاقدیس کینو.

F1	F2	F1 on the variable	F2 on the variable	Squared cosines of D1	Squared cosines of D2	
0.065	0.759	1.372	31.670	0.065	0.759	Ca
0.460	0.033	9.642	1.363	0.460	0.033	Mg
0.661	0.218	13.858	9.089	0.661	0.218	Na
0.382	0.249	8.011	10.402	0.382	0.249	HCO3
0.157	0.473	3.286	14.586	0.157	0.349	SO4
0.655	0.251	13.731	10.501	0.655	0.251	Cl
0.864	0.028	18.123	1.158	0.864	0.028	TDS
0.943	0.004	19.773	0.171	0.943	0.004	Ec

عنوان معیار تشابه/ عدم تشابه در میان پارامترها انتخاب و فاصله‌های اتصال بین خوشه‌های اولیه با استفاده از الگوریتم پیوند وارد تعیین شد. در پژوهش پیش‌رو، هر دو حالت Q-mode و R-mode روش تحلیل سلسله مراتبی بر روی داده‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های تاقدیس کینو صورت گرفت.

دندروگرام‌ها یا نمودارهای درختی برای نشان دادن روابط تولید شده بوسیله روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی ایجاد می‌شوند. از این رو، تعداد دو خوشه برای چشمه‌های مورد پژوهش در نظر گرفته شد (شکل ۳).

بر این اساس چشمه‌های S1 و S2 که به ترتیب چشمه سوسن و تنگ سرد می‌باشند، درخوشه اول (سمت راست گراف) و چشمه‌های S3 و S4 که به ترتیب آب سرده و موری هستند در خوشه دوم جای می‌گیرند. برپایه روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی، مشاهداتی که در یک کلاس جای می‌گیرند (Within group) دارای میزان واریانس صفر بوده و بین این گروه‌ها تفاوت معنی داری وجود ندارد.

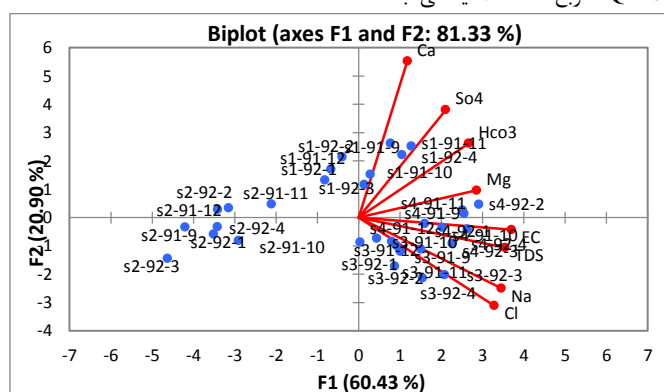
از این رو می‌توان دریافت که منشأ آن‌ها یکی است. آن دسته از مشاهداتی که خارج از گروه‌ها جای دارند (Between group)، دارای بیشینه واریانس هستند (Farshadfar, ۲۰۰۹). با نگرش به داده‌های مشاهداتی (چشمه‌ها)، قرار گرفته در محور افقی (شکل ۳)، مشخص می‌شود که چشمه سوسن (S1) و تنگ سرد (S2) در یک خوشه و چشمه‌های آب سرده و موری نیز در خوشه‌ای دیگر قرار گرفته‌اند. این موضوع می‌تواند ناشی از منشأ یکسان چشمه سوسن (S1) و تنگ سرد (S2) با هم و چشمه آب سرده (S3) و موری (S4) با یکدیگر باشد.

## بررسی کیفیت چشمه‌های تاقدیس کینو با استفاده از نمودار دو متغیره

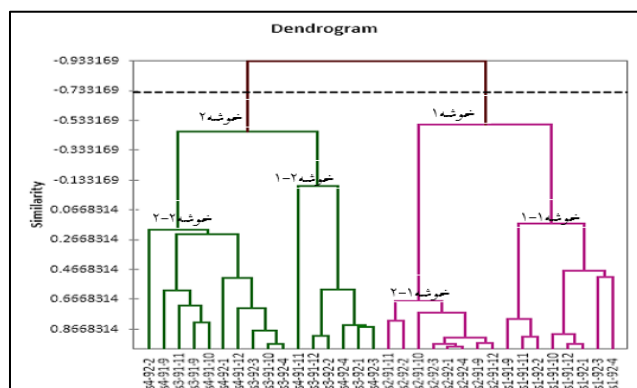
برای شناخت و بررسی این‌که هر کدام از عامل‌های ۱ و ۲ تعیین شده در مرحله پیشین با پارامترهای هیدروشیمیایی در برگزیده، در کدام یک از چشمه‌ها اثرگذار هستند، از نمودار دو متغیره استفاده شد. در نمودار (شکل ۲)، دو مؤلفه اصلی حاکم (F1 و F2) بر کیفیت شیمیایی در چشمه‌های سوسن (S1)، تنگ سرد (S2)، آب سرده (S3) و موری (S4) همراه با بردارهای پارامترهای شیمیایی مرتبط با این مؤلفه‌ها نشان داده شده است. در این نمودار پارامترهای کیفی چشمه‌ها با بردار قرمز و داده‌های مشاهداتی (چشمه‌ها) با نقاط آبی رنگ نشان داده شده است. طول هر بردار، تأثیر آن را بر هر عامل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود داده‌های زمانی مکانی چشمه‌های تاقدیس کینو با نگرش به دو مؤلفه اصلی در چهار ربع نمودار پراکنش یافته‌اند. برپایه این نمودار کلسیم و سولفات بیش‌ترین سهم را بر عامل دوم دارند که تأثیر آن در چشمه سوسن S1 (ربع بالایی سمت راست) بیشینه و به سمت چشمه تنگ سرد S2 (ربع پائینی سمت چپ) کمینه است. کلر، سدیم، EC و TDS بیش‌ترین سهم را بر عامل اول در چشمه‌های آب سرده S3 و موری S4 (ربع پائینی سمت راست) دارند. به همین ترتیب تأثیر بی‌کربنات، منیزیم را بر بارهای عاملی و چشمه‌ها می‌توان مشاهده کرد.

## تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA)

هدف این روش، ساخت سلسله مراتبی از خوشه‌ها می‌باشد. در این پژوهش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی معروف به Q-mode، مربع فاصله اقلیدسی به



شکل ۲- نمودار دو متغیره دو مؤلفه اصلی پارامترهای کیفی چشمه‌های تاقدیس کینو همراه با پراکنش داده‌های مشاهداتی.



شکل ۳- خوشه‌بندی مکانی زمانی داده‌های چشمه‌های تاقدیس کینو در حالت Q-mode.

خوشه دوم، شامل بی‌کربنات و منیزیم است، این خوشه برآیند انحلال آهک‌های ایلام - سروک و میان لایه‌های دولومیتی سازند آسماری است. خوشه اصلی دوم دربرگیرنده عناصر سولفات و کلسیم است. با بررسی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته در منطقه مورد پژوهش مشخص شد، که در این مناطق هیچ‌گونه رخنمون گچی وجود ندارد، از این رو، این خوشه می‌تواند بیانگر تماس چشمه سوسن و تنگ‌سرد با سازند گورپی و سازند تبخیری گوتنیا موجود در زیر سازند گرو باشد.

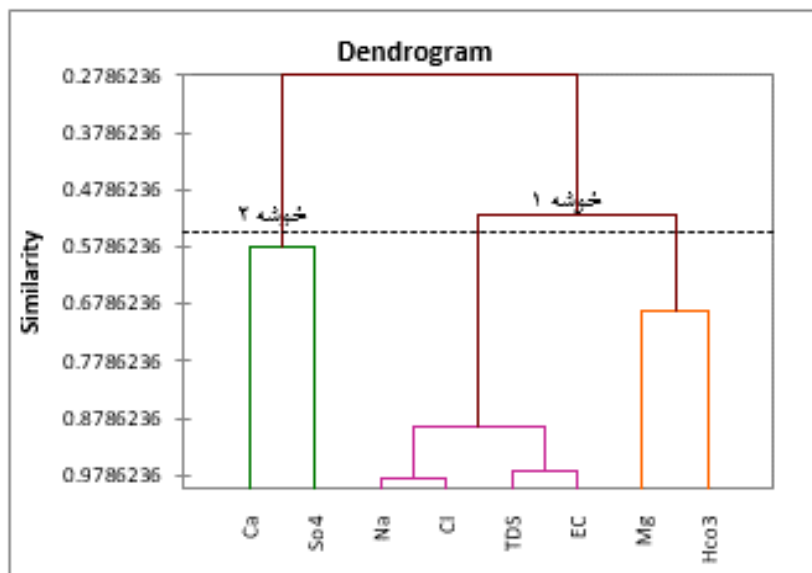
#### نمودار پایپر

نمودار پایپر متداول‌ترین روش مورد استفاده ترسیمی برای نمایش رخساره‌های هیدروشیمیایی است (Fetter, 1999). این نمودار ابزاری مؤثر برای جداسازی داده‌های تحلیلی با توجه به منبع مواد انحلال‌پذیر، تغییرات در ویژگی آب در طول مسیر جریان و مسائل ژئوشیمیایی درگیر می‌باشد. این روش برپایه یک نمودار سه تایی است که غالباً غلظت درصد ترکیبات اصلی محلول (یعنی  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$  و  $Cl^-$ ) را نشان می‌دهد. با استفاده از نرم افزار AqQa، نمودار پایپر نمونه‌های آب چشمه‌های مورد پژوهش تهیه شد (شکل ۵). همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود بیشتر نمونه‌های چشمه‌های S1 - S2 دارای بی‌کربنات، کلسیم و بعضی منیزیم بالایی هستند. در چشمه‌های S3 - S4 بیشتر نمونه‌ها کلسیم، بی‌کربنات، سدیم و کلر بالایی دارند. با رسم نمودار پایپر افزون بر تیپ آب، می‌توان دریافت که چشمه‌های S1 - S2 و S3 - S4 در یک قسمت نمودار تجمع پیدا کرده‌اند که این موضوع می‌تواند بیانگر خاستگاه یکسان چشمه‌های S1 و S2 با هم و نیز چشمه‌های S3 و S4 با یکدیگر باشد.

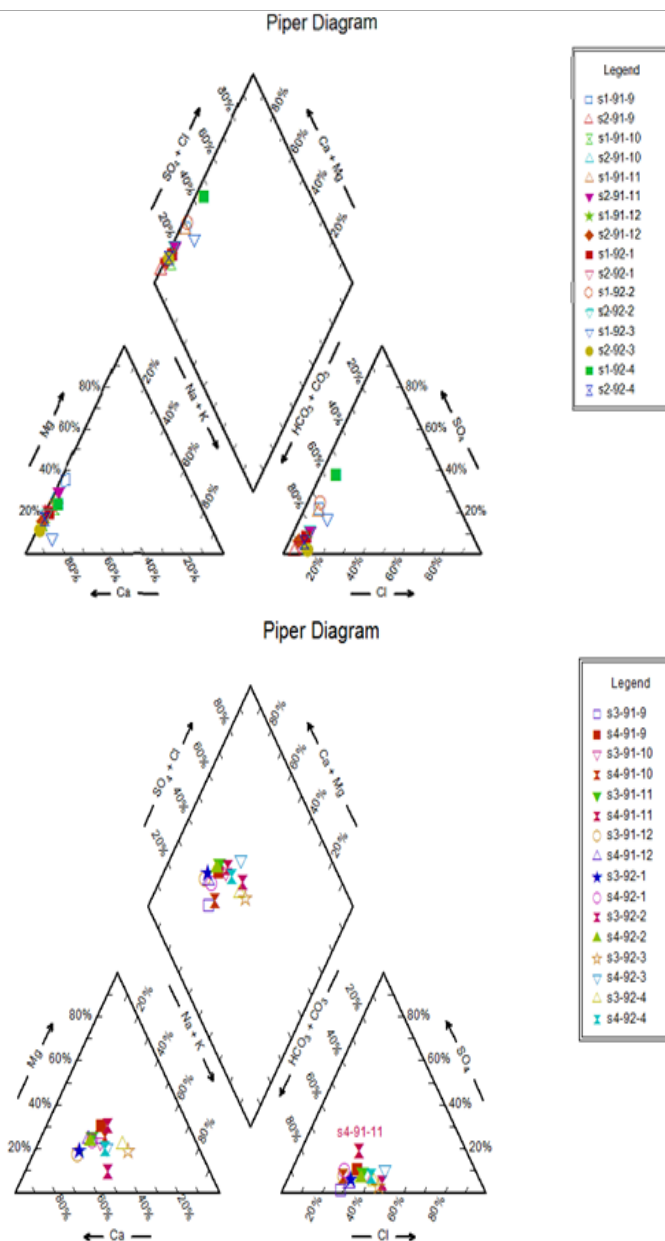
#### بررسی فرایندهای ژئوشیمیایی حاکم بر چشمه‌های تاقدیس کینو

برای بررسی دقیق‌تر فرایندهای شیمیایی حاکم بر چشمه‌های تاقدیس کینو و منشاء آن‌ها از حالت R-mode روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی، نمودار پایپر و نسبت یونی استفاده شد. در روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی در حالت R-mode پارامترهای کیفی چشمه‌ها خوشه‌بندی می‌شوند. ماتریس داده، برای تحلیل خوشه ای، باید در فرم استاندارد با n ردیف نمونه و p ستون متغیر، به نام ماتریس  $n \times p$  باشد. تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی با برآورد ماتریس فاصله بین تمامی جفت نمونه آغاز می‌شود. این عملیات به عنوان تجزیه و تحلیل حالت Q شناخته می‌شود؛ هم چنین ممکن است یک تحلیل خوشه ای در حالت R-mode انجام شود که در این حالت، فاصله‌ها (شباهت‌ها) بین تمامی جفت متغیرها پارامترهای کیفی برآورد می‌شود. تجزیه و تحلیل خوشه ای در حالت R-mode ارتباطاتی که نشان دهنده علت تغییرات هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش است را آشکار می‌سازد. مراحل انجام تحلیل سلسله مراتبی در حالت R-mode مشابه با شیوه Q-mode است.

(شکل ۴) دندروگرام (نمودار درختی) داده‌های هیدروشیمیایی خوشه‌بندی سلسله مراتبی در حالت R-mode را نشان می‌دهد. انتخاب تعداد کلاس خوشه‌ها به صورت خودکار با نرم افزار انجام گرفته است. همان‌گونه که در (شکل ۴) دیده می‌شود، عوامل اصلی مؤثر بر کیفیت شیمیایی چشمه‌های مورد پژوهش به دو کلاس اصلی تقسیم می‌شود، که کلاس اول شامل دو خوشه اصلی است. نخستین خوشه اصلی دربرگیرنده زیر خوشه سدیم، کلر، TDS و EC است و نشان‌دهنده نهشته‌های تبخیری کلهر در سازند آسماری و مارن‌های ایلام سروک می‌باشد. زیر



شکل ۴ - خوشه‌بندی کیفی پارامترهای چشمه‌های تاقدیس کینو در حالت R-mode.



شکل ۵- نمودار پایپر داده‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های تاقدیس کینو.

می‌دهد که اگرچه جایگاه ظهور چشمه سوسن، سازند پابده گورپی است (Karimi vardenjani, 2008)، اما حوضه آبریز آن، چنان‌که در نقشه زمین شناسی (شکل ۱) نیز نمایان است، بیشتر وابسته به سازند سروک است. خلوص بالاتر سازند سروک (Ghobadi and Karami, 2005) سبب بالاتر بودن نسبت  $Ca/Mg$  در چشمه‌های آن یعنی سوسن و تنگ‌سرد شده است به گونه‌ای که نسبت یادشده در دو چشمه بزرگ سازند آسماری، یعنی چشمه موری و آب‌سرد (به ترتیب با ابدی متوسط ۷۱۰ و ۹۶۰ لیتر بر ثانیه)، به نحو بارزی پایین می‌باشد (حدود ۱/۸۷ و ۲/۳۸) و در نتیجه از محاسبات بیلان سازند سروک خارج می‌گردند.

### نسبت یونی

نسبت‌های یونی، معرف‌های مناسبی برای بررسی شیمی منابع آب زیرزمینی هستند و استفاده از آن‌ها روش مناسبی برای تعیین منشأ املاح است. در پیدایش ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب بوده و مقدار کانی انحلال یافته در درجه بعدی اهمیت قرار دارد (Howard and Mullings, 1996) همانطور که در (جدول ۴) قابل مشاهده است، میانگین اندازه نسبت  $Ca/Mg$  در چشمه‌های سوسن، تنگ‌سرد، آب‌سرد و موری به ترتیب ۳/۳۹، ۳/۸۵، ۲/۳۸ و ۱/۸۷ است. مقایسه این داده‌ها با نتایج مربوط به سازند آسماری در تاقدیس کینو و تاقدیس‌های پیرامون نشان

جدول ۶ - برآورد نسبت‌های یونی در چشمه‌های منطقه مورد پژوهش.

نسبت یونی	موری	آب سرده	تنگ سرد	سوسن
Ca+Mg	4.19	3.4	2.94	4.5
Ca+Mg/HCO <sub>3</sub>	1.25	1.1	1.14	1.32
Ca+Mg/HCO <sub>3</sub> +SO <sub>4</sub>	1.08	1.02	1.07	1.07
Ca/Mg	1.87	2.38	3.85	3.39
Cl/HCO <sub>3</sub>	0.57	0.58	0.08	0.11
SO <sub>4</sub> /HCO <sub>3</sub>	0.15	0.07	0.06	0.23
Na/Cl	0.9	0.93	0.18	0.46
Na/Σcations	0.29	0.33	0.01	0.03
Cl/Σanions	0.33	0.35	0.07	0.08

### نتیجه گیری

آب سرده (S3) و موری (S4) نیز در خوشه‌ای دیگر جای گرفته‌اند. این نوع خوشه‌بندی بیانگر یکسان بودن خاستگاه چشمه سوسن (S1) و تنگ سرد (S2) از یک سو و چشمه آب سرده و موری از سوی دیگر است.

- با ارزیابی منابع آب چشمه‌های سوسن، تنگ سرد، آب سرده و موری با روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) در حالت R-mode مشخص شد که تعداد ۲ عامل در تغییرات کیفی چشمه‌های مورد پژوهش تأثیرگذار هستند. بر پایه این یافته‌ها، خوشه نخست دربردارنده‌ی دو زیر خوشه است. خوشه اصلی اول شامل زیر خوشه سدیم، کلر، TDS و EC است که نشان‌دهنده نهشته‌های تبخیری کلهر در سازند آسماری و مارن‌های ایلام سروک می‌باشند. زیر خوشه دوم دربردارنده‌ی یون‌های بی‌کربنات و منیزیم است، این خوشه نتیجه انحلال آهک‌های ایلام - سروک و میان لایه‌های دولومیتی سازند آسماری است. عامل دوم شامل سولفات و کلسیم می‌باشد. با بازدیدهای میدانی و بررسی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته در منطقه مورد پژوهش مشخص شد در این مناطق هیچ‌گونه رخنمون گچی وجود ندارد، از این رو این خوشه می‌تواند در اثر تماس چشمه سوسن و تنگ سرد با سازند گوری و سازند تبخیری گوتنیا موجود در زیر سازند گرو است.

- تیپ آب تعیین شده بوسیله نمودار پایپر نشان می‌دهد بیشتر نمونه‌ها در چشمه‌های سوسن (S1) و تنگ سرد (S2)، دارای بی‌کربنات، کلسیم بوده و بعضی نمونه‌ها دارای منیزیم بالایی هستند. هم‌چنین بیشتر نمونه‌ها در چشمه‌های آب سرده (S3) و موری (S4) دارای کلسیم، بی‌کربنات، سدیم و کلر بالایی هستند. از سویی، با استفاده از نمودار پایپر می‌توان مشاهده کرد که چشمه‌های S1 - S2 و S3 - S4 روی نمودار در یک قسمت تجمع پیدا کرده‌اند که این موضوع بیانگر خاستگاه یکسان برای چشمه‌های S1 و S2 و نیز چشمه‌های S3 و S4 با یکدیگر است.

- نتایج بدست آمده از ماتریس همبستگی پارامترهای کیفیت آب چشمه‌های سوسن (S1)، تنگ سرد (S2)، آب سرده (S3) و موری (S4) نشان داد که بیش‌ترین همبستگی بین کلر و سدیم (۰/۹۸۲)، سدیم و EC (۰/۹۰۴) بی‌کربنات و منیزیم (۰/۶۹۱) سولفات و کلسیم (۰/۵۷۹) وجود دارد.

- تحلیل عامل‌های اصلی نشان داد که دو عامل اصلی با بیش‌ترین تغییرات کیفی (۷۲ درصد) حاکم بر کیفیت شیمیایی چشمه‌های تاقدیس می‌باشند. عامل نخست دربرگیرنده‌ی متغیرهای منیزیم، بی‌کربنات، سدیم، کلر، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی است. این عامل را با توجه به همبستگی بالای سدیم و کلر می‌توان به انحلال هالیت و هم‌چنین انحلال دولومیت به‌دلیل همبستگی بالای منیزیم و بی‌کربنات نسبت داد. در عامل دوم کلسیم و سولفات بیش‌ترین همبستگی را نشان می‌دهند که بیانگر انحلال کانی‌های تبخیری مانند انیدریت می‌باشد.

- جهت شناخت و بررسی این‌که هر کدام از عامل‌های یک و دو تعیین شده در تحلیل عامل‌های اصلی با پارامترهای هیدروشیمیایی در برگیرنده، در کدام‌یک از چشمه‌ها اثرگذار هستند از نمودار دو متغیره استفاده شد. برآوردها نشان می‌دهد کلسیم و سولفات بیش‌ترین سهم را بر عامل دوم دارند که تأثیر آن در چشمه سوسن (S1) بیشینه و به سمت چشمه تنگ سرد (S2) کمینه است. کلر، سدیم، EC و TDS بیش‌ترین سهم را بر عامل اول در چشمه‌های آب سرده (S3) و موری (S4) دارند

- آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی در حالت Q-mode به صورت خودکار تعداد دو خوشه برای چشمه‌های مورد پژوهش در نظر گرفت که بر پایه‌ی این خوشه‌بندی، چشمه سوسن (S1) و تنگ سرد (S2) در یک خوشه و چشمه‌های

### منابع

- Adepelumi. A.A., Ako. B., Ajayi. T., Afolabi. O., Omotoso. E., 2009, Delineation of saltwater intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria: Environmental Geology, Vol: 56, No: 5, p:927-933.
- Andre. L., Franceschi. M., Pouchan. P., Atteia. O., 2005, Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France, Journal of Hydrology, Vol: 305, No: 1-4, p: 40-62.
- Banoeng-Yakubo. B., Yidana. SM., Nti. E., 2009, Hydrochemical analysis of groundwater using multivariate statistical methods the Volta region, Ghana: KSCE Journal of Civil Engineering, Vol: 13, No: 1, p: 55-63.
- Farshadfar. E., 2009, Multivariate statistical principles and methods, Razi University press, p: 754 (In Persian)
- Fetter. C., 1999, Transformation, retardation, and attenuation of solutes. Contaminant Hydrogeology, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey
- Gibbs. R.J., 1970, Mechanisms controlling world water chemistry, Science, Vol: 170, No: 3962, p: 1088-1090.



- Guler. C., Thyne. G.D., McCray. J.E., Turner. A.K., 2002, Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, *Hydrogeology Journal*, Vol: 10, No, 4, p: 455-474
- Ghobadi. M.H., Karami. R., 2005, The necessity to pay attention to the physical and chemical properties of carbonate rocks in the Karst engineering geology studies, fourth conference on engineering geology and environment. [In Persian]
- Howard. F.W., Mulling. E., 1996, Hydrochemical analysis of groundwaterflow and saline intrusion in the Clarendon basin, Jamaica, *Ground water*, Vol: 34, p: 801-810
- Karimi. H., 2008, Methodology of Using Hydrochemistry, Budget and Geology Studies in Determining the Hydraulic Relationship between Water Resources (Case Study: North of Izeh City), 12th Conference of Iranian Geological Society. [In Persian]
- Khosravi. H., Moradi. A., Darabi. H., 2015, Identification of homogeneous regions in terms of groundwater quality using factor analysis and cluster analysis; Case study, Qir plain of Fars province, *Scientific and Research Journal of Irrigation Engineering*, Vol: 6, p: 119-133. [In Persian]
- Mohammadi. S., Zare. M., Sharifzad. B., 2009, Using Multivariate Statistical Analysis in Coastal Aquifer Underground Water Management, Eighth International Conference on Urban Engineering, Shiraz-Iran. [In Persian]
- Oinam. J.D., Ramanathan. A., Singh, G., 2012, Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India: *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol: 48, p: 136-149
- Shokouhifar. M., Izadpanah. Z., 2013, Evaluate relationship between TDS, EC, HCO<sub>3</sub> and Cl with Karun river discharge in cold and warm seasons of the year using regression analysis, the first national conference challenges of water resources and agriculture. Islamic Azad University of Khorasgan [In Persian]
- Voudouris. K., Panagopoulos. A., Koumantakis. J., 2000, Multivariate statistical analysis in the assessment of hydrochemistry of the Northern Korinthia Prefecture Alluvial Aquifer system (Peloponnese, Greece): *Natural Resources Research*, Vol: 9, No: 2, p: 135-146