دانشگاه شهید چمران اهواز
سومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران
۵-٤ اسفندماه ۱۳۹۰

تاثیر کانی‌سازی هیدروترمال بر هیدروژئوشیمی و شاخص کیفی منابع آب در منطقه چلپو – شمال کاشمر

طاهری، معصومه[۱]* و محمودی قرائی، محمد حسین[۲] و دادستان، احمد[۳] و مهرزاد، جلیل[۴] و افشاری، رضا[۵]

[۱و۲]گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد و[۳]سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران و [۴]گروه پاتوبیولوژی ، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد و [۵]مرکز تحقیقات سم‌شناسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

چکیده

در این مطالعه ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منابع آبی روستاهای چلپو و اکبرآباد انجام شده است. به منظور اندازه-گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی ده نمونه آب از منابع آبی روستاهای چلپو و اکبرآباد شامل آب چشمه و رودخانه در آبان ماه ۱۳۹۰برداشت شد. پارامترهایی مانند اسیدیته (pH) و دما(T) ، هدایت الکتریکی(EC) در صحرا اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه مقادیر پارامترها در اغلب نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز بود میزان متوسط وزن دار شاخص کیفی آب (AQWI) تعیین شد. مقادیر متوسط شاخص کیفی محاسبه شده برای نمونه‌های آب، نشانگر کیفیت پایین برای شرب می‌باشند. باتوجه به نمودار پایپر تیپ آب منطقه به طور کلی شامل انواع سدیم ـ کربناته و سدیم ـ سولفاته و سدیم ـ کلروره بوده، و با توجه به نمودار سه تایی ($Cl-HCO_3-SO_4$) که نشانگر رخداد اختلاط در آب‌های منطقه است، به احتمال بسیار زیاد کیفیت آب در ارتباط با کانی‌سازی سیستم هیدروترمال در محدوده‌ی مورد مطالعه منطقه چلپو می‌باشد.

کلمات کلیدی:هیدروژئوشیمی، شاخص کیفی آب، چلپو، اختلاط آبها، هیدروترمال.

The effect of hydrothermal mineralization in hydrogeochemistry and water quality index of Chelpu-region water resources - North of Kashmar

Masumeh Taheri[1], M.H. Mahmudy Gharaie[2], Ahmad Dadsetan[3],Jalil Mehrzad[4],reza Afshari[5]
[1,2]Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad
[3]Geological Survey of Iran, Tehran
[4]Department of Pathobiology, Ferdowsi University of Mashhad,[5] Medical Toxicology Research Center , Mashhad University of Medical Sciences
Taheri.Masumeh@yahoo.com

Abstract

Hydrogeochemistry of water sources in Chelpu and Akbar-Abad villages has been evaluated. Ten water samples of springs and rivers were collected for analysis of cations and anions in the original water sources. Parameters such as acidity (pH), temperature (T) and Electrical Conductivity (EC) were measured in the field. Considering the amount of those parameters, which were higher than standard limits, determine the water quality index was necessary. Average-weighted of water quality index (AWQI) for studied samples showed poor quality of the waters for drinking. According to Piper diagram which represents the type of waters, studied samples generally include Na – HCO_3, Na – SO_4 and Na – Cl bearing waters. Ternary diagram of Cl-HCO3-SO4 indicates the occurrence of mixing processes in the area; this hydrogeochemical processes are likely to be due to hydrothermal system in the studied area of Chelpu region.

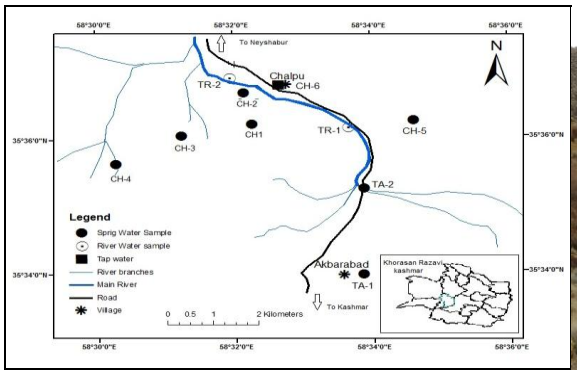
Keywords: Hydrogeochemistry, water quality index, Chelpu, water mixing, hydrothermal

مقدمه

کیفیت آب آشامیدنی از اهمیت بسیار بالای زیست‌محیطی برخوردار است. شیمی آب‌های زیرزمینی و سطحی به عوامل مختلفی مانند زمین‌شناسی محل و میزان تغذیه و خروج آب از بسترهای سنگی و رسوبی بستگی دارد. برهمکنش بین آب و سنگ یکی از عواملی است که باعث تغییر خصوصیات ژئوشیمیایی آب‌ها شده و در واقع با تغییر کیفیت باعث آلوده شدن و غیر قابل استفاده شدن آن می‌گردد. ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در مناطق گسله‌ای که با سیستم‌های هیدروترمال در ارتباطند، می‌تواند تحت تاثیر آب‌های جوی و شورابه‌های Na-Cl دار و همچنین برهمکنش(سنگ ـ آب) سیالات هیدروترمال با سنگ دیواره باشد،بنابراین در آبهای موجود در یک منطقه‌ی گسله ممکن است اختلاط صورت گیرد(Aiuppa *et al.*, 2006). چنانچه شیمی آب چشمه‌ها و زون‌های آلتراسیون هیدروترمال مورد بررسی قرار گیرد می‌توان به رابطه ی بین آن ها در منطقه پی برد. مثلا افزایش میزان آنیون سولفات در نمونه‌های آب چشمه، به اکسیداسیون سولفیدها و ایجاد سولفات و کانی‌های همراه مانند ژیپس نسبت داده می شود (Karakaya *et al.*, 2007).

منطقه‌ی مطالعاتی چلپو در طول جغرافیایی "44'29°58 تا"07'36°58 وعرض شمالی "12'33°35 تا °35 37' 77" واقع شده است. لیتولوژی غالب منطقه شامل شیل ،مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا و همچنین سری سنگ‌های تبخیری است.گسل‌های موجود در منطقه و چشمه‌های آب گرم حاکی از وجود یک سیستم هیدروترمال فعال در منطقه می‌باشد (اداره معادن و فلزات،۱۳۷۷). در این منطقه کانی‌سازی مرتبط با عناصر Sb,Au,As در سیستم اپی-ترمال در درجه حرارت‌های کمتر از۳۰۰ درجه و عمدتا بین ۱۰۰ تا۲۰۰ درجه‌سانتی گراد گزارش شده است (مظلومی و کریم‌پور، ۱۳۷۴). دو کانی ژاروسیت و آلونیت، شاخص دگرسانی گرمابی (آرژیلیک پیشرفته) بوده و وقوع آنها دلالت بر کانی‌سازی اپی ترمال دارد (پارساپور و همکاران ۱۳۸۳). در منطقه‌ی چلپو کانی‌های شاخص زون آلتره شامل ژاروسیت، آلونیت و کانی‌های رسی مانند مونت‌موریونیت و کائولینیت است که با مجموعه کانیهایی از قبیل استیبنیت، کانی‌های سولفیدی (رآلگار، اورپیمنت، پیریت) و دیگر کانی‌ها نظیر ژیپس و کوارتز همراهی می شوند (مظلومی و کریم‌پور ۱۳۷۴). از نشانگر های زون آلتراسیونی می توان به وجود کانی‌های رسی و ژاروسیت زرد رنگ اشاره کرد (شکل۱).

شکل ۱- زون آلتراسیون آرژیلیک



شکل۲- نقشه‌ی موقعیت منطقه و محل نمونه‌برداری‌های انجام شده

روش مطالعه

به منظور مطالعه‌ی کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده روستاهای چلپو و اکبرآباد، از هر ۱۰ منبع آب مورد استفاده‌ی اهالی شامل چشمه و رودخانه، برای اندازه‌گیری آنیون‌ها (CO_3^{2-}، HCO_3^-، SO_4^{2-} و Cl^-) و کاتیون‌ها (K^+، Na^+، Mg^{2+} و Ca^{2+}) در بطری‌های پلی اتیلنی، نمونه‌برداری انجام شد. پارامترهایی فیزیکی مانند اسیدیته (pH) و دما(T) ، هدایت الکتریکی(EC) در صحرا اندازه‌گیری گردید. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Atomic absorption spectrometer) در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شد. نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS ترسیم شد (شکل ۲). سنجش میزان متوسط وزنی شاخص کیفی آب (AWQI) نیز در نرم‌افزار Excel انجام شد. ترسیم نمودارهای هیدروژئوشیمیایی پایپر (piper) و سه‌تایی(ternary diagram) و تعیین تیپ آب با استفاده از نرم‌افزار RockWare Aq.Qa و AquaChem انجام گردید.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تجزیه آنیون‌ها و کاتیون‌ها به همراه پارامترهای اندازه‌گیری شده در عملیات صحرایی در جدول ۱ نشان داده شده است. نمونه‌های CH-1 تا CH-5 مربوط به چشمه‌های روستای چلپو، نمونه‌های TA-1 و TA-2 مربوط به چشمه‌های روستای اکبرآباد بوده و نمونه‌های TR-1 و TR-2 از آب رودخانه برداشت شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز مربوط به منابع آبی روستاهای چلپو و اکبرآباد ــ آبان ماه۱۳۹۰ (TDS و سایر آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی گرم بر لیتر و EC بر حسب میکرو زیمنس بر سانتی متر و دما (T) بر حسب درجه سانتی گراد)

sample ID	pH	TDS	EC	T	Na	K	Ca	Mg	HCO3	CO3	Cl	SO4	Water –type
CH-1	7.7	583.3	540	13.5	186.1	0.2999	6.098	0.7998	140.3	8.248	118.3	123.3	Na-Cl-SO_4HCO_3
CH-2	7.9	1072.1	1120	15.1	227.8	1.7	135.2	30.8	244	0	125.2	307.5	Na-Ca-SO_4-HCO3-Cl
CH-3	7.7	583.04	650	10.8	193	1.3	35.3	8.401	282.1	0	27.8	35.1	Na-Ca-HCO3
CH-4	7.9	3469.8	2920	9.2	537.1	17.74	466.5	81.4	122.3	0	139.5	2105	Na-Ca-SO4
CH-5	8.3	1273.4	1870	11.5	475.1	2.301	33.82	6.503	317.4	1.501	229.7	207.1	Na –Cl-HC_3SO_4
CH-6	8	781.74	950	12.4	186.4	1.2	67.6	14.9	202.8	0	114.8	194	Na -Ca-SO4-HCO_3-Cl
TR-1	8.2	999.62	1080	14.6	286	1.2	36.9	18.7	332.5	4.5	243.5	76.39	Na-Cl-HCO_3
TR-2	8.1	1569.6	1620	11.5	430.3	2.802	78.36	28.92	444.1	1.501	376	207.6	Na-Cl-HCO_3
TA-1	8.7	244.04	270	11.3	45.59	0.7998	9.198	3.699	134.2	8.998	6.998	34.59	Na-HCO3-SO_4
TA-2	8.2	785.96	1020	15	194.4	0.8997	89.07	29.89	269.8	0	163.4	38.39	Na-Ca-Cl-HCO_3

تعیین شاخص کیفی آب (Water quality Index = WQI) : با توجه به اینکه مقادیر TDS اندازه‌گیری شده به جز در یک نمونه که 244.4 mg/l است در سایر نمونه‌ها بیش از حد مجاز آن (500 mg/l) می باشد، همچنین مقادیر هدایت الکتریکی از270 تا 2920 میکرو زیمنس بر سانتی متر متغیر بوده و در بیشتر نمونه‌ها بیش از حد مجاز آن (500 میکرو زیمنس بر سانتی متر) است، و از طرفی pH نمونه‌های آب نیز از 7.7 تا8.7 متغیر و در برخی نمونه-ها بالاتر از حد مجاز (8.5 -7) می‌باشد، لازم است که شاخص کیفی آب (WQI) جهت تعیین مناسب بودن آن برای شرب مورد بررسی قرار گیرد. در واقع WQI ابزاری مفید برای به دست آوردن اطلاعات در مورد کیفیت آب است. در این مطالعه از مقادیر کاتیون‌ها (Ca^{2+}, Mg^{2+},K^{+},Na^{+}) و آنیون‌های اصلی (Cl^{-}،SO_4^{2-},HCO_3^{-}) و پارامترهایی مانند مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) و اسیدیته (pH) استفاده می‌شود (Ketata-R *et al.*, 2011). لازم به ذکر است که مقادیر به کار رفته در محاسبه‌ی AWQI بر کیفیت آب آشامیدنی بسیار تاثیرگذار است.

محاسبه‌ی مقدار متوسط وزن دار شاخص کیفی آب (AWQI) به صورت زیر می‌باشد (Jerome and Piuse, 2010)

$$AWQI = \boldsymbol{\Sigma}(q_i W_i)/\boldsymbol{\Sigma}(W_i)$$

$$q_i = 100*(V_i/S_i)$$

$$q_i\ pH = 100\{(V_{pH} - 7.0)/(8.5 - 7)\}\ ,\quad W_i = K/S_i$$

q_i = نرخ کیفی i امین پارامتر و مقدار i = (1,2,3,4,….N)

W_i = وزن واحدی که برای i امین پارامتر در نظر گرفته می‌شود(جدول ۲) و V_i = مقدار اندازه گیری شده‌ی پارامتر i

S_i = مقادیر استاندارد مجاز برای پارامتر(Jerome and Piuse, 2010 & Ketata-R *et al*,2011).(جدول ۲)

K = ثابت تناسب و برابر با یک در نظر گرفته می‌شود.

اگر مقدار AWQI برابر با صفر باشد نشان‌دهنده‌ی عدم وجود آلاینده و اگر برابر ۱۰۰ باشد به این معنی است که تمام آلاینده ها به حد غیر مجاز رسیده اند. با توجه به نتایج موجود در جدول۳ مقادیر متوسط وزن دار شاخص کیفی آب برای هیچ یک از نمونه‌ها صفر نبوده بلکه در اکثر نمونه‌ها بالا و حتی در نمونه‌های CH-2 ,CH-4 ,CH-5, TR-2 بالاتر از صد بوده و بیانگر آلودگی شدید می‌باشند. دیگر نمونه‌ها نیز بسیار نزدیک به حد غیر مجاز بوده، بنابراین از نظر شرب مناسب نمی‌باشند(Jerome and Piuse, 2010) .

جدول - ۲

پارامترها	مقداراستاندارد پیشنهادیWHO	وزن واحد(W_i)
pH	7 – 8.5	0.005
TDS	500(mg/l)	0.002
Ca^{2+}	75(mg/l)	0.0133
Mg^{2+}	50(mg/l)	0.02
Na^{+}	200(mg/l)	0.005
K^{+}	12(mg/l)	0.08
HCO_3^{-}	120(mg/l)	0.008
Cl^{-}	200(mg/l)	0.005
SO_4^{2-}	200 (mg/l)	0.005

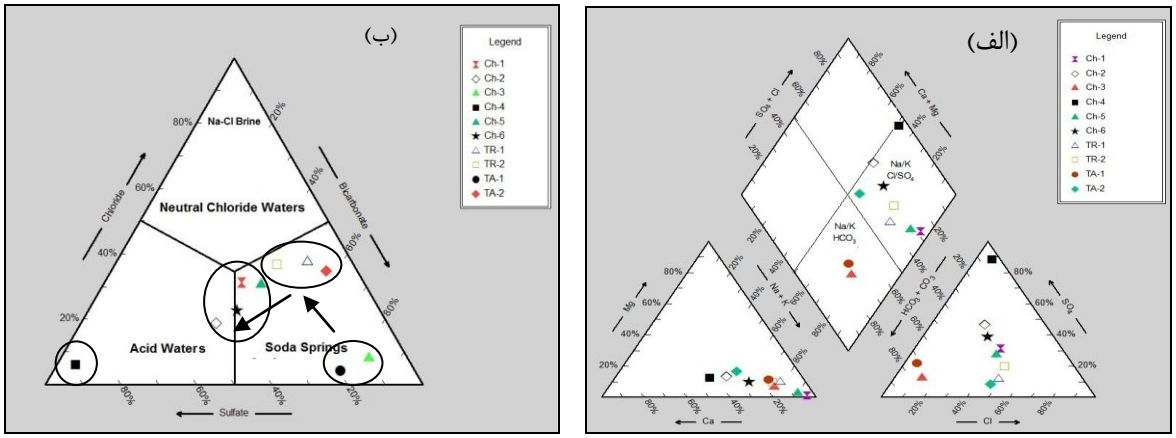
جدول - ۳

Sample	AWQI
CH-1	36.88528042
CH-2	118.8319123
CH-3	66.62517611
CH-4	451.4833787
CH-5	103.3845729
CH-6	78.63909902
TR-1	89.20488587
TR-2	144.7480877
TA-1	36.35811262
TA-2	92.21875435

کانی‌سازی سیستم هیدروترمال و شیمی آب: آلتراسیون غالب موجود در منطقه از نوع آرژیلیک می‌باشد (اداره معادن و فلزات خراسان، ۱۳۷۷). عناصری مانند پتاسیم و آنیون‌هایی مانند سولفات در این آلتراسیون‌ها افزایش می-یابند (Karakaya *et al.*, 2007). اکسیداسیون سولفیدها به سولفات و بر همکنش آب- سنگ در شرایط نزدیک سطح آلتراسیون آرژیلیک رخ می‌دهد (Karakaya *et al.*, 2007). کانی‌های سولفیدی مانند رآلگار و اورپیمنت تحت شرایط اکسیداسیون، سولفات ایجاد می‌نمایند (Henke, 2009). همچنین برهمکنش سنگ ـ آب در رابطه با کانی های ژیپس و هالیت نیز می‌تواند به ترتیب منجر به افزایش میزان یون‌های سولفات و کلر در آب شود. زمانی که مقادیر کلر

و سدیم به یک نسبت افزایش یابند می‌توان کانی هالیت را منشا آن در نظر گرفت و در غیر این صورت منشا دیگری مانند کانی‌های سیلیکاته هوازده دارد (Sarkar *et al.*, 2007). با توجه به داده های حاصل از این مطالعه (جدول ۱) ترکیب نمونه‌های آب برداشت شده از چشمه‌ها متاثر ازکانی‌سازی هیدروترمال است. میزان بالای کلر در نمونه‌های آب چشمه مجاور زون‌های آلتراسیونی را می‌توان به ارتباط آنها با سیالات هیدروترمال و شورابه‌های Na - Cl که از طریق گسلها انتقال می‌یابند نسبت داد (Aiuppa *et al.*, 2006). مقادیر یون‌های کلر و سدیم با نسبت یک به یک در نمونه-ی مرتبط با رودخانه که از چشمه‌های منطقه به رودخانه زهکش شده اند علاوه بر اینکه در ارتباط با شورابه‌ها است احتمالا می تواند در ارتباط با کانی‌های تبخیری مانند هالیت نیز که در شرق منطقه وجود دارند بوده باشد. بطوریکه بیشترین میزان کلر376mg/l متعلق به نمونه‌یTR-2 ، برداشت شده از رودخانه ،می‌باشد. بیشتر نمونه های آب منطقه مورد مطالعه از سولفات غنی بوده و در ارتباط با آلتراسیون ها و کانی ژاروسیت و ژیپس ثانویه می‌باشند. افزایش سولفات در آب می‌تواند از اکسیداسیون سولفیدها (اورپیمنت و رآلگار) به سولفات و برهمکنش سنگ ـ آب و یا حتی ارتباط مستقیم با سیالات هیدروترمال غنی از سولفات ناشی شود (Karakaya *et al.*, 2007).

تعیین تیپ آب، اختلاط آب و سیستم هیدروترمال: برای ارزیابی خصوصیات ژئوشیمیایی نمونه‌های آب از نمودار پایپر استفاده شد (Silva-filho *et al.*, 2009). با توجه به نمودار پایپر(شکل ۳ ـ الف) تیپ آبهای منطقه دارای رنج متفاوت و به طور کلی شامل $Na - HCO_3$, $Na - SO_4$, $Na - Cl$ می‌باشد که در گروه آبهای قلیایی و اسیدی و کلردار و حدواسط قرار می‌گیرد. در واقع آبهای منطقه اختلاط با آبهای شور و همچنین با آبهای اسیدی نشان می-دهند. نمودارسه تایی $Cl\text{-}HCO_3\text{-}SO_4$ سه محدوده مجزای قلیایی، اسیدی و آبهای کلردار را نشان می دهد (شکل ۳-ب) (Giggenbach, 1988). داده های پلات شده بر روی این نمودار نشانگر فرآیند اختلاط (Mixing Water) در نمونه‌های آب مورد مطالعه است که می تواند با توجه به شرایط زمین‌شناسی و کانی‌سازی موجود در منطقه ناشی از سیستم هیدروترمال و به خصوص گسل های فراوان باشد(Aiuppa *et al.*, 2006). لازم به ذکر است که آبهای منطقه با توجه به شرایط مذکور و کانی‌سازی هیدروترمال (Sb,Au,Hg,As) پتانسیل بالای آلودگی به شبه فلزات خطرناک مانند آرسنیک، آنتیموان و جیوه را دارندکه نیاز به آنالیز جهت عناصر سمی و همچنین مطالعات ایزوتوپی برای تعیین دقیق منشأ آلودگی دارد.



شکل ۳ – (الف) نمودار پایپر و (ب) نمودار سه تایی$Cl\text{-}HCO_3\text{-}SO_4$(Giggenbach, 1988) ، آبان ماه ۱۳۹۰

نتیجه گیری

در این مطالعه ارزیابی کیفی منابع آبی منطقه‌ی چلپو با استفاده از محاسبه‌ی مقادیر متوسط وزن دار شاخص کیفی آب(AWQI) انجام شد. اکثر نمونه‌ها دارای مقادیر بالاتر از حد مجاز بوده بطوریکه در نمونه‌ی CH-4 که مربوط به

چشمه می‌باشد این مقدار به 451.4833787 رسیده و اغلب نمونه‌ها نیز از نظر آشامیدن مناسب نمی‌باشند. با توجه به نمودار پایپر نوع آب‌های منطقه به طور کلی از نوع $Na - Cl$,$Na - HCO_3$, $Na - SO_4$ تشخیص داده شد. مقادیر بالای سولفات و کلر و سدیم و پتاسیم و همچنین رخداد فرآیند اختلاط آبهای(Mixing Water) منطقه به احتمال بسیار زیاد در ارتباط با کانی‌سازی در سیستم هیدروترمال و همچنین کانی‌های تبخیری می‌باشد.

منابع

- **اداره معادن و فلزات استان خراسان، ۱۳۷۷،گزارش مطالعات ژئوشیمیایی منطقه چلپو(کوهسرخ کاشمر) کانی سازیSb-As.**
- **پارساپور .آ، خلیلی .م، نقره‌ئیان .م، مکی‌زاده ،م.ع، ۱۳۸۳، مطالعه سنگ‌شناسی و ژئوشیمی ژاروسیت در رنگان (جنوب‌غرب اردستان)، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران. شماره ۲، صفحات ۲۰۳ تا ۲۰۴**
- **مظلومی .ع، کریم پور .م.ح، ۱۳۷۴، مطالعه زمین شناسی و ژئوشیمی کانسار آنتیموان طلادار چلپو در شمال کاشمر، مجموع مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران.**

References:

- Aiuppa.A,Avino R, Brusca.L, Caliro.V,Chiodini. G, Alessadro. W.D,.Favara. R,.Federico. C,Ginevra. W,Inguaggiato. S,Longo. M,Pecoraino. G,Valenza. M, 2006 ,Mineral control of arsenic content in thermal waters from volcano-hosted hydrothermal systems:insights from island of Ischia and Phlegrean Fields (Campanian Volcanic Province,Italy),.Chemical Geology; 229,pp:313-330.
- Giggenbach.W.F, 1988,Geothermal solute equalibria.Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, Geochemica a Casmochimica Act,Vol:52, pp:2749-2765.
- Henke.K, 2009, "Arsenic Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment.
- Jerome.C, Pius.A, 2010 , Evaluation of Water quality index and its impact on the quality of life in an industrial area in Banglalore,South india, American Journal of Scientific and industrial research; 1(3):595-603.
- Karakaya.N, Karakaya.M.C,Nalbantcilar. M.T, Yavuz. F, 2007, Relation between spring – water chemistry and hydrothermal alteration in the Saplica volcanic rocks, Sebinkarahisar(, Turkey), Journal of Geochemical Exploration; 93,pp: 35-46.
- ketata-Rokbani.M,Gueddari.M, Bouhlila.R, 2011, Use of geographical information system and water Quality Index to Assess Groundwater Quality in EL Khir at Deep Aquifer(Enfidha, Tunisian Sahel), Iranica Journal of Energy & Environment; 2(2):133-144.
- Sarkar.D, Datta.R, Hannigan.R, 2007, Concepts and Applications in environmental Geochemistry, Developments in Environmental Science; Vol:5.
- V.SilvaFilho., G.SobralBarcellos.R, Emblanch. C, Blavoux .B, MariaSella .S, Daniel .M, Simler.R, Cesar Wasserman .J, 2009 Groundwater chemical characterization of a Rio de Janeiro coastal aquifer SEBrazil, , Journal South American Earth Sciences; 27,pp :100–108.