

## تأثیرات هیدروژئوشیمیایی منطقه افیولیتی شمال شرق تربت حیدریه بر کیفیت آب های زیرزمینی منطقه گرماب-آبادارو

علی قاسمی<sup>۱\*</sup>، مرتضی رزم آرا<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

Alighasemi6813@yahoo.com

### چکیده

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی شامل EC، T.D.S، pH، T،  $K^+$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Na^+$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $HCO_3^-$  و  $Cl^-$  با نمونه برداری از آب های منطقه گرماب-آبادارو به منظور بررسی تأثیرات سنگ های افیولیتی و سرپانتینیتی بر کیفیت منابع آب منطقه مورد اندازه گیری قرار گرفت. با رسم نمودار Piper مشخص شد سه نمونه دارای رخساره Mg-Cl، سه نمونه دارای رخساره Mg-HCO<sub>3</sub> و دو نمونه Na-Cl می باشند به دلیل غنی بودن افیولیت های منطقه (بویژه سنگ های سرپانتینیتی و اولترامافیک) از Cr، این سنگها، منبع اصلی Cr در آب های زیرزمینی منطقه محسوب می شوند و فور اکسی-هیدروکسیدهای آهن و اکسیدهای منگنز (به عنوان پذیرنده های الکترونی) در اغلب مناطق مورد مطالعه، موجب اکسید شدن Cr (III) به Cr (VI) در حد قابل توجهی شده است. عمده فرآیند موثر بر هیدروشیمی آب های منطقه، هوازگی سنگ های فرومنیزین در کمپلکس افیولیتی است که خود علت میزان بالای کلر، منیزیم، بیکربنات و نیز بالا بودن pH و T.D.S در آب های منطقه می باشد. نمونه های برداشت شده از اطراف معادن کرومیت دارای شوری بالا،  $Mg^{2+}$ ، pH، T.D.S و EC بالاتر از حد مجاز شرب و کشاورزی می باشند. در این تحقیق همچنین با محاسبه ضریب اشباعیت لائزلیه (SI) کیفیت منابع آبی مورد مطالعه، جهت مصارف صنعتی خورنده تشخیص داده شد.

**کلمات کلیدی:** رخساره هیدروژئوشیمیایی، افیولیت، گرماب-آبادارو (تربت حیدریه)

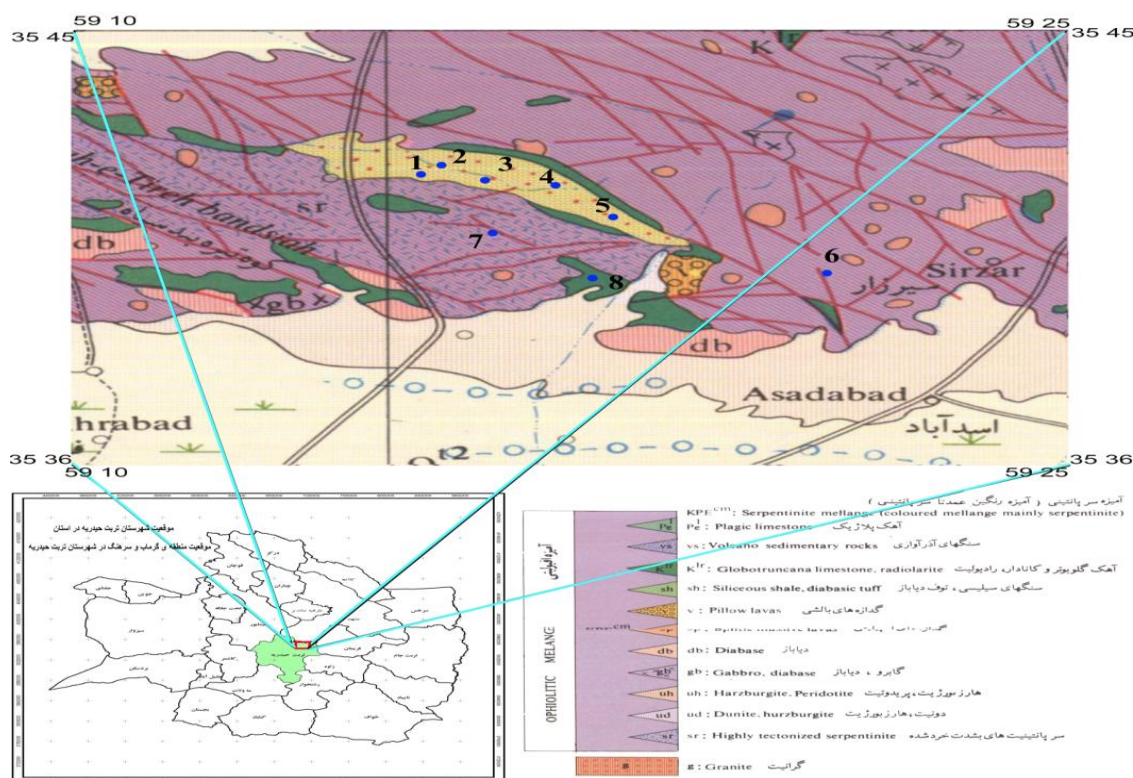
### ۱- مقدمه

تعیین خصوصیات کیفی آب جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین ارزیابی پارامترهای موثر بر تغییر کیفیت آب، از اهمیت زیادی برخوردار است. عوامل عمده آلودگی آب های زیرزمینی، آلودگی های شهری، صنعتی، کشاورزی و عوامل هیدرولوژیکی می باشد (Todd, 1980). یکی از موارد مهم مربوط به کیفیت شیمیایی آب های زیرزمینی، بررسی تیپ و رخساره آب های زیرزمینی است. بارندگی و جنس سازندهای مجاور دشت نیز از عوامل تأثیرگذار بر روی کیفیت هیدروشیمیایی آب های زیرزمینی می باشند (Nwankwoala and Udom, 2011). مهمترین آنیون های موجود در آب، کلرید، سولفات و بیکربنات بوده که بر اساس میزان این آنیون ها، آب ها به تیپ های کلروره، سولفات و بیکربنات تقسیم می شوند. هر یک از تیپ های آب با توجه به میزان کاتیون های آن که غالباً شامل سدیم، کلسیم و منیزیم است؛ دارای رخساره های مختلف سدیک، کلسیک و منیزیک خواهد بود. میزان آنیون ها و کاتیون های آب که در مجموع املاح آب را تشکیل می دهند بستگی به مواد تشکیل دهنده زمین، مسیر جریان و نفوذ آب های زیرزمینی دارد به گونه ای که تیپ و رخساره آب های زیرزمینی در هر ناحیه بستگی به منشأ آب زیرزمینی و مسیر جریان یا نفوذ آب ها خواهد داشت. آب های زیرزمینی غالباً توسط رخساره های Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> و Na-Cl-SO<sub>4</sub> مشخص می شوند (Al-Agha and El-Nakhal, 2004). در این تحقیق، تأثیر مجموعه سنگ های افیولیتی بر کیفیت منابع آب منطقه گرماب-آبادارو مورد مطالعه قرار گرفت.

## ۲- زمین شناسی منطقه

افیولیت ملائزه‌های منطقه مورد مطالعه دارای واحدهای سکانس گوشته‌ای و نیز واحدهای پوسته‌ای می‌باشند. قدیمی ترین واحدها شامل سکانس گوشته‌ای (هارزبورگیت، لرزولیت، پیروکسنیت) و سکانس پوسته‌ای (گابروهای ایزوتروپ، میکروگابروها، دایک‌های دیابازی ورقه‌ای و بازالت‌های بالشی) تشکیل شده است (شکل ۱). واحدهای ولکانیک منطقه عمدتاً شامل آندزیت‌ها، ولکانوسدیمتری‌ها، برش‌های هیالوکلاستیک، توف‌ها (توف‌های داسیتی، آندزیتی و ویتریک توف) می‌باشند. بازالت‌های بالشی منطقه از نوع الیون تولیت‌های غنی از منیزیم متعلق به پشته‌ی میان‌اقیانوسی (MORB) می‌باشند. بررسی بازالت‌ها توسط نمودارهای غنی‌شدگی - تهی‌شدگی نشان‌دهنده‌ی منشأ گرفتن این سنگها از گوشته‌ی تهی‌شده می‌باشند. بررسی سنگ منشأ این سنگها بیانگر تشکیل این واحدها از واحد اسپینل لرزولیتی است. جوانترین واحدها، توالی رسوبی منطقه شامل چرت‌های رادیولاریتی قرمزرننگ، آهک‌های پلاژیک (کرتاسه‌ی بالایی) و آهک‌های ماسه‌ای (ائوسن) می‌باشند. واحدهای سنگی منطقه تحت تاثیر سیالات متاسوماتیک قرار گرفته‌اند و در نتیجه‌ی آن گابروها به رودنگیت و در پریدوتیت‌ها، منیزیت، رگه‌های تالکی، آزبستی و هونیت ایجاد گردیده است. از ویژگی بارز افیولیت‌های منطقه مورد مطالعه، فراوانی واحدهای سرپانتینی نسبت به سایر واحدها می‌باشد (رزم آرا، ۱۳۶۹).

بررسی‌های انجام شده توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان‌دهنده‌ی حضور کانیهای سولفیدی آهن (پیریت) در گابروها و حضور Ni در کانیهای اپک در سرپانتینیت‌های منطقه می‌باشد که در اثر سرپانتینیزاسیون کانیهای سیلیکاته‌ی مافیک از ترکیب این کانیها آزاد گشته‌اند. بررسی‌های SEM بر روی اسپینل‌های موجود در سرپانتینیت‌ها نشان‌دهنده‌ی وجود محلول جامد بین اسپینل، منیزیوکرومیت، و کرومیت است که در اثر جانشینی عناصر Fe و Mg، Cr، Al ایجاد شده‌اند (Razmara et al., 2010).



شکل ۱- محل نمونه‌های آب برداشت شده بر روی نقشه زمین شناسی (۱:۲۵۰۰۰) تربت حیدریه (سازمان زمین شناسی ایران، ۱۳۷۰)

### ۳- روش نمونه برداری

نمونه برداری از منابع آب منطقه به منظور تعیین آنیون‌ها ( $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Cl}^-$ ) و کاتیون‌های اصلی ( $\text{K}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ) صورت گرفت. همچنین جهت بررسی میزان کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و ذرات جامد معلق (T.D.S)، اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین خواص شیمیایی از هر منبع، یک ظرف پلی اتیلن CC ۵۰۰ آب برداشت شد. پس از فیلتر کردن نمونه‌ها به هر ظرف آب، ۱۰ CC اسید نیتریک ( $\text{pH} \leq 2$ )، جهت تثبیت کاتیون‌ها اضافه گردید. سپس نمونه‌ها جهت تعیین غلظت عناصر به آزمایشگاه آب و خاک پویان‌پارسیان فرستاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای AQ.QA و CHEMISTRY، استفاده شد و نوع آب و کیفیت آن برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و نیز تاثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه بر کیفیت آب، مورد ارزیابی و تفسیر قرار گرفت.

### ۴- نتایج و بحث

فراوانترین یون‌ها در آب‌های زیرزمینی منطقه به ترتیب غلظت شامل کاتیون‌های  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$  و آنیون‌های  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  می‌باشند. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ بیان شده است. واکنش میان آب‌های زیرزمینی و کانی‌های موجود در آبخوان، نقش مهمی در کیفیت آب داشته و برای درک زایش آب زیرزمینی مفید است. در مجموع، فراوانی یون‌های اصلی به ماهیت سنگ بستر، شرایط آب و هوایی و تحرک یون‌ها وابسته است (Parsanna et al., 2010). علاوه بر بررسی غلظت و منشأ عناصر، این غلظت‌ها با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و استاندارد ۱۰۵۳ ایران مقایسه شد.

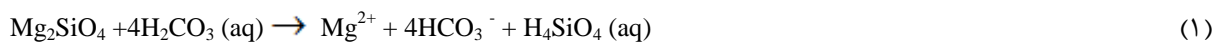
جدول ۱- نتایج پارامترهای فیزیکی و شیمیایی (عناصر اصلی بر حسب میلی‌اکی والان در لیتر)

SAR	TH	T.D.S (mg/l)	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	محل نمونه برداری
۴/۹۳	۳۵۸	۱۰۰۹	۷/۹۲	۱۵۳۳	۷/۰۵	۳/۷۴	۵/۰۹	۴/۶	۲/۵۴	۹/۲۶	۰/۰۹۳	۱ قنات کلاته نم
۲/۷۶	۱۹۳	۴۹۰	۸/۱۵	۷۳۹	۵/۳۵	۱/۰۸	۱/۳۵	۲/۱	۱/۷۵	۳/۸۳	۰/۰۲۱	۲ قنات علیای
۰/۵۴	۲۵۵	۳۳۰	۷/۵۹	۵۶۲	۴/۰۶	۰/۶۷	۰/۸۵	۲/۹	۲/۲	۰/۸۶	۰/۰۳۹	۳ چشمه آب باریک
۰/۵۹	۲۳۰	۳۱۰	۷/۸۳	۵۱۸	۴/۰۲	۰/۵۸	۰/۸۸	۲/۵	۲/۱	۰/۸۹	۰/۰۲۵	۴ چشمه حسنعلی
۰/۵۹	۳۳۳	۴۸۰	۸/۱۶	۷۱۶	۵/۷۵	۰/۷۷	۱/۲۵	۴/۰۵	۲/۶	۱/۰۵	۰/۰۶۳	۵ قنات قلعه کهنه
۰/۳۱	۱۷۹۷	۱۷۲۰	۱۰/۴	۳۰۵۹	۵/۹۸	۳/۲	۳۳/۲۳	۳/۰۵	۳۲/۹	۱/۳۱	۰/۱	۶ چشمه آبگردوی
۰/۲۸	۸۱۸	۷۱۰	۹/۹۲	۱۲۹۸	۴/۶	۳/۸۹	۱۰/۲۳	۳/۱۲	۱۳/۲۳	۲/۱۲	۰/۲۳	۷ چشمه عسگرد
۰/۱	۱۱۲۸	۱۴۳۰	۸/۶۳	۲۳۴۹	۲/۶۷	۱/۰۲	۲۰/۲۱	۲/۴۳	۲۰/۱۳	۱/۱۱	۰/۱	۸ چشمه سرهنگ

منطقه مورد مطالعه دارای پوشش وسیعی از سنگ‌های اولترامافیک به شدت سرپانتینی شده است و سرپانتینیت از جمله فراوانترین سنگ‌ها در منطقه بشمار می‌رود. بنابراین، عمده کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب‌ها، مرتبط با این سنگ‌ها می‌باشند.

**منیزیم ( $\text{Mg}^{2+}$ ):** کاتیون غالب در منطقه با میانگین ۱۱۹/۱ ppm می‌باشد. کمترین غلظت منیزیم در نمونه شماره ۲ با غلظت ppm ۲۱/۳ و بیشترین غلظت در نمونه شماره ۶ با غلظت ppm ۳۹۹/۷ می‌باشد. بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران، بیشینه غلظت مجاز منیزیم در آب ۳۰ ppm می‌باشد. شیمی آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های آذرین در نتیجه تجزیه کانیهای سیلیکاتی از طریق برهمکنش با آب‌های اسیدی محتوی  $\text{CO}_2$  کنترل می‌شود و در این میان سیلیکات‌های فرومنیزین (الیون، پیروکسن، آمفیبول،

بیوتیت) سریعتر از فلدسپارهای پتاسیک تحت تاثیر حمله اسیدی قرار می گیرند (Garrels, 1967) به عنوان مثال انحلال فورستریت، و برهمکنش آن با  $H_2CO_3$  به صورت رابطه ۱ خواهد بود (Eby, 2004).



با توجه به فراوانی الیون و پیروکسن در سنگ‌های دونیتی و هارزبورژیتی منطقه و بر اساس برهمکنش فوق می توان فراوانی منیزیم در نمونه‌های آب منطقه را توجیه نمود. از نسبت یون منیزیم به کلسیم می توان منشاء یون منیزیم را در منطقه مشخص کرد. در صورتی که این نسبت کمتر از ۰/۷ باشد منشاء آهکی، بین ۰/۷ تا ۰/۹ دولومیتی و اگر بالاتر از ۱ باشد منشاء آن از سنگ‌های افیولیتی است (Hounslow, 1995)، با توجه به این که این نسبت بالاتر از ۱ می باشد منشاء یون منیزیم را از سنگ‌های افیولیتی باید دانست.

**کلسیم ( $Ca^{2+}$ ):** دومین کاتیون غالب در منطقه با میانگین غلظت ۶۱ ppm می باشد. کمترین غلظت کلسیم در نمونه شماره ۲ با غلظت ۴۲ ppm و بیشترین غلظت در نمونه شماره ۱ با غلظت ۹۲ ppm می باشد. بیشینه میزان کلسیم در آب آشامیدنی ۱۰۰ ppm می باشد که این میزان به آنیون‌های همراه آن نیز بستگی دارد (WHO, 2011).

**سدیم ( $Na^+$ ):** سومین کاتیون در منطقه با میانگین غلظت ۵۸/۶ ppm می باشد. کمترین غلظت سدیم در نمونه شماره ۳ ۱۹/۸ ppm و بیشترین مقدار در نمونه شماره ۱ با غلظت ۲۱۲/۹ ppm می باشد. بیشینه مطلوب سدیم در آب به آنیون‌های همراه و دمای محلول بستگی دارد. در دمای معمولی بیشینه غلظت مجاز ۲۰۰ ppm می باشد (WHO, 2011).

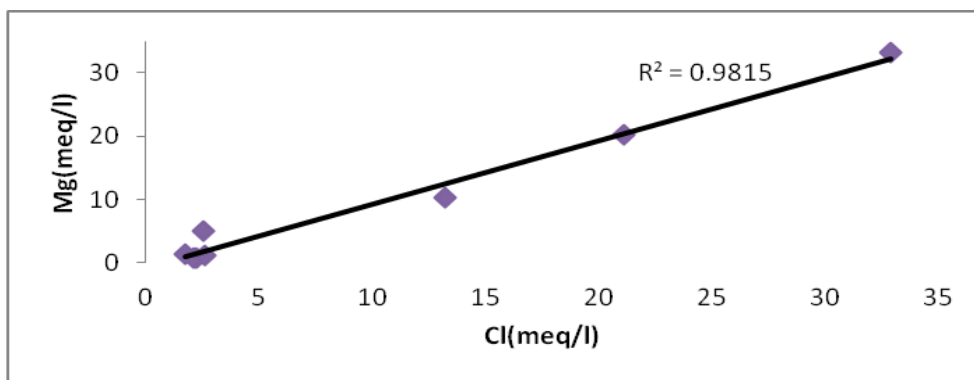
**پتاسیم ( $K^+$ ):** کمترین غلظت را در بین کاتیون‌ها با میانگین غلظت ۳/۳ ppm دارا می باشد. کمترین غلظت پتاسیم در نمونه شماره ۲ با غلظت ۰/۸۲ ppm می باشد. بیشترین مقدار پتاسیم هم در نمونه‌های شماره ۶ و ۸ با غلظت ۳/۹ ppm می باشد. بیشینه مطلوب پتاسیم در آب ۱۲ ppm می باشد (WHO, 2011). در منابع آب منطقه، پتاسیم غلظت پایینی را داراست. غلظت پایین پتاسیم در مقایسه با سایر کاتیون‌ها (بوژه سدیم) در منطقه، به دلیل مقاومت بیشتر پتاسیم در مقابل هوازدگی شیمیایی یا جذب آن توسط کانی‌های رسی است (Sabba Rao, 2008).

**بیکربنات ( $HCO_3^-$ ):** میانگین غلظت این آنیون در منطقه ۳۰۱ ppm می باشد. کمترین مقدار در نمونه شماره ۱۰ با غلظت ۱۶۳ ppm و بیشترین مقدار در نمونه شماره ۱ با غلظت ۴۳۰ ppm می باشد. بیشینه مجاز بیکربنات در آب آشامیدنی ۱۲۰ ppm می باشد (WHO, 2011). یک عامل مهم در ایجاد  $HCO_3^-$  و بالابودن یون بیکربنات، تجزیه سیلیکات‌های فرومنیزین بر اساس برهمکنش ۱ می باشد (Eby, 2004). با توجه به زیادبودن آنیون بیکربنات در منابع آبی منطقه، منشاء احتمالی آن ناشی از هوازدگی کانی‌های سیلیکاته مانند الیون می باشد (Freeze and Cherry, 1979).

**سولفات ( $SO_4^{2-}$ ):** میانگین غلظت این آنیون در منطقه ۸۰/۳ ppm می باشد. کمترین مقدار در نمونه شماره ۴ با غلظت ۲۴/۹ ppm می باشد. بیشترین مقدار در نمونه شماره ۹ با غلظت ۱۶۷ ppm می باشد. میزان مجاز سولفات در آب آشامیدنی کمتر از ۲۵۰ ppm می باشد (WHO, 2011).

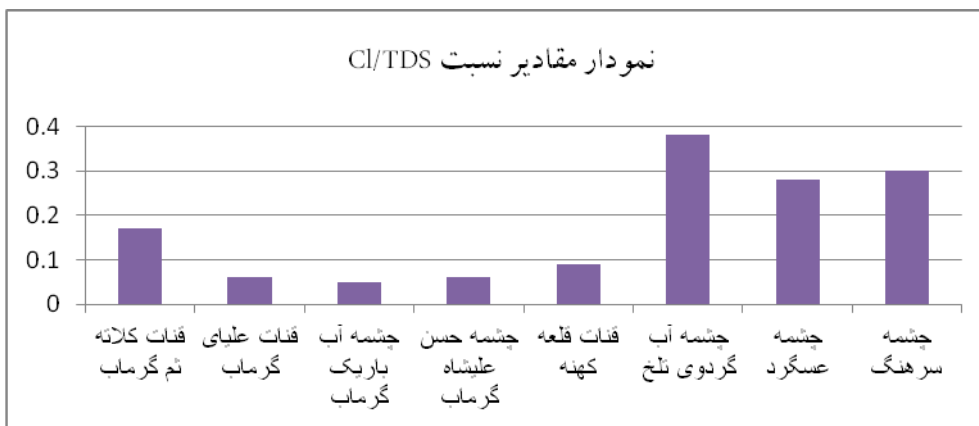
**کلر ( $Cl^-$ ):** میانگین غلظت این آنیون در منطقه ۳۲۳/۵ ppm می باشد. کمترین غلظت مربوط به نمونه شماره ۳ با غلظت ۳۰/۲ ppm و بیشترین غلظت مربوط به نمونه شماره ۶ با غلظت ۱۱۷۹ ppm می باشد. بیشینه مجاز کلر در آب، ۳۰۰ ppm می باشد و مقادیر بیشتر باعث تلخ شدن آب می گردد (WHO, 2011). میزان کلر در نمونه‌های آب منطقه از حد مجاز بالاتر می باشد. مقادیر بالای کلر در دونیت‌های سرپانتینی شده از سال‌ها پیش گزارش شده است (Earley, 1958) و سرپانتینیت‌ها به عنوان حامل‌های کلر در زون‌های فرورانش و محل فروکش کلر اگزوسفری در نظر گرفته شده‌اند (Scambelluri et al., 2004). کلر در سرپانتینیت‌ها به

دو صورت (هم در مواضع قابل انحلال در آب و هم در مواضع ساختاری) در سنگ حضور دارد (Sharp and Barnes, 2004). وجود همبستگی مثبت و قوی ( $R^2=9815$ ) میان کلر و منیزیم اندازه گیری شده در نمونه های آب مورد مطالعه (شکل ۲)، نشان دهنده هم منشابودن این دو عنصر و تاثیر حضور گسترده سربانتینیت ها در منطقه است.



شکل ۲- همبستگی مثبت قوی میان کلر و منیزیم در نمونه های آب منطقه

نسبت (Cl/TDS) در آب های شور مناطق غیردریایی بالاتر از ۱/۰ می باشد (Vengosh, 2005). برای بررسی میزان شوری نمونه ها در منطقه، این نسبت ها برای نمونه ها محاسبه و بر روی نمودار رسم گردید (شکل ۳). در چهار نمونه ۱، ۶، ۷ و ۸ نسبت Cl/TDS بالاتر از ۰/۱ می باشد که نشان دهنده شور و تلخ بودن نمونه های آب این چشمه ها نسبت به سایر چشمه هاست.



شکل ۳- نمودار Cl/TDS نمونه های آب منطقه

#### ۴-۱- بررسی تغییرات پارامترهای صحرائی

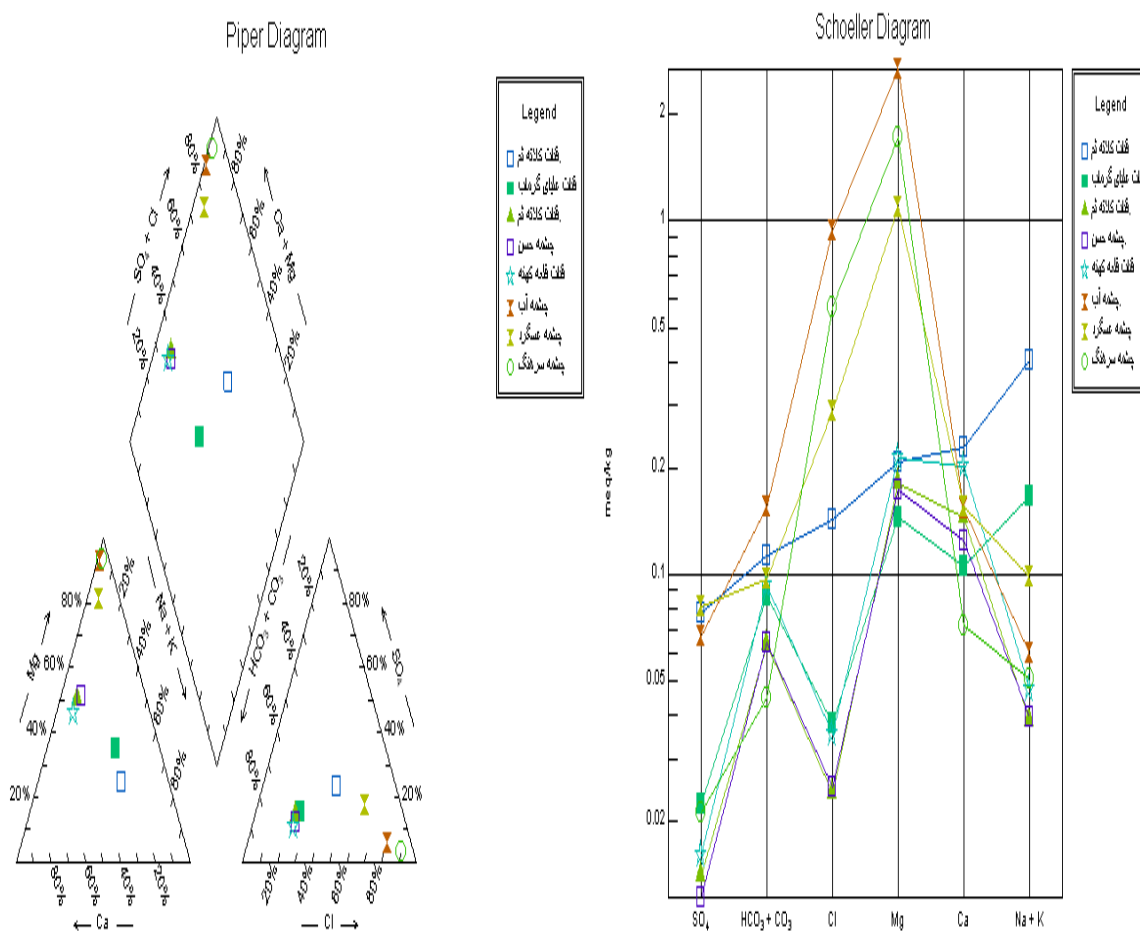
**pH**: بر اساس ترکیب آب و مواد تشکیل دهنده، pH آب متفاوت است اما معمولاً بین ۶/۵ تا ۸/۵ می باشد (WHO, 2011). به طور کلی در مناطق حاوی سنگ های اولترامافیک، دو نوع آب سطحی، تولید می شود که معمول ترین آن نوع قلیایی با pH=8.6 - 8.3 و غنی از بیکربنات منیزیم می باشد. نوع دوم که کمتر دیده می شود حاوی هیدروکسید کلسیم بالا با مقدار 11.8 - 11.2-pH می باشد (Gray and Sanzolone., 2001). با توجه به میزان pH نمونه ها، سه نمونه ۶، ۷ و ۸ pH آب، بالاتر از حد مجاز بود.

**TDS:** دامنه تغییرات TDS در منطقه بین ۳۱۰ تا ۱۷۲۰ می باشد. آب های دارای TDS کمتر از ۶۰۰ (mg/l)، معمولاً خوب در نظر گرفته می شوند. در صورتی که TDS بیشتر از ۱۰۰۰ (mg/l) باشد آب برای آشامیدن بدطعم می شود (WHO, 2011).

**EC:** دامنه تغییرات EC از ۵۱۸ تا ۳۰۵۹ (μs/cm) متغیر می باشد. مقادیر EC تا ۲۰۰۰ (μs/cm) برای آبیاری مناسب می باشد اما EC بیشتر از ۵۰۰ (μs/cm) می تواند بیانگر آلودگی در آب باشد (دولتی ارده جانی و همکاران، ۱۳۸۴).

#### ۲-۴- ارزیابی منابع آب از نظر شرب و تعیین رخساره آب

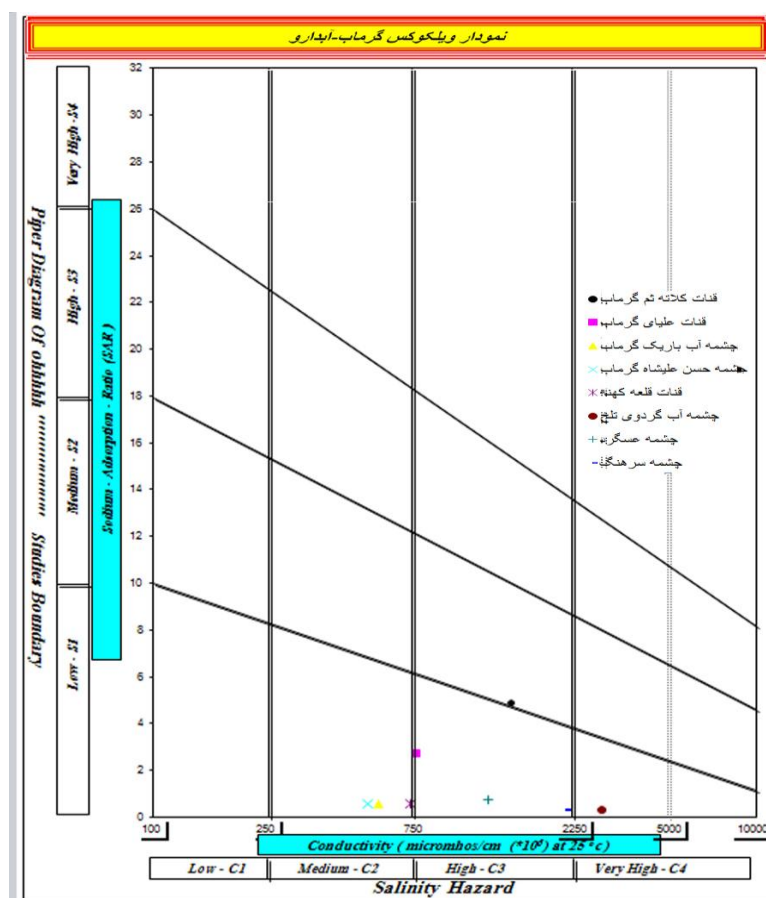
برای تعیین امکان استفاده از آب برای مصارف شرب از نمودار شولر (Schoeller, 1955) استفاده می شود. طبق نمودار شولر، آب ها به شش گروه تقسیم می شوند که عبارتند از: آب های خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل شرب. محدوده هر یک از این آب ها بر اساس آنالیزهای موجود برای منطقه ترسیم شد که نتایج در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. براساس این نمودار، ۴ نمونه خوب، ۱ نمونه قابل قبول و ۳ نمونه غیرقابل شرب تشخیص داده شد برای نمایش ترکیب شیمیایی و تعیین رخساره های هیدروشیمیایی آب ها، از نمودار (Piper, 1944) استفاده شد. از کاربردهای دیگر نمودار Piper، تعیین مخلوط شدگی سری آب های مورد نظر می باشد (Drever, 1997). با رسم نمودار Piper شکل ۴ مشخص شد، سه نمونه دارای رخساره Mg-Cl، سه نمونه دارای رخساره Mg-HCO<sub>3</sub> و دو نمونه نیز Na-Cl می باشند.



شکل ۴- نمودارهای Piper و Schoeller نمونه های آب منطقه

### ۳-۴- ارزیابی منابع آب جهت مصارف کشاورزی و صنعتی

برای تعیین کیفیت آب منطقه جهت مصارف کشاورزی از روش طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox, 1955) استفاده شد. این نمودار بر اساس دو پارامتر EC و نسبت جذب سدیم (SAR) رسم می‌شود که در آن EC خطر شوری و SAR به عنوان خطر قلیائیت بررسی می‌شود (Sundaray et al., 2009). بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس شکل ۵ آب‌های خیلی خوب دارای EC کمتر از ۲۵۰ ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) در کلاس C1S1 قرار می‌گیرند. آب‌های خوب در کلاس‌های C1S2, C2S2, C2S1, آب‌های متوسط در کلاس‌های C3S1, C1S3, C2S3, C3S2, C3S3 قرار گرفته و بقیه‌ی آب‌ها نامناسب می‌شوند (علیزاده، ۱۳۸۴).



شکل ۵- نمودار ویلکاکس منابع آب منطقه

معیار طبقه‌بندی آب برای مصارف صنعتی، محاسبه ضریب اشباعیت لائزلیه (SI) است که از رابطه زیر به دست می‌آید (آقازاده و همکاران، ۱۳۸۷).

$$SI = pH - p\text{H}_s \quad (2)$$

pH، مقدار اندازه‌گیری شده اسیدیته (واقعی) آب در صحرا، ولی  $p\text{H}_s$  میزان pH در حالت اشباع است که تحت عنوان شاخص اشباع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$p\text{H}_s = C + P_{Ca} + p\text{alk} \quad (3)$$

C پارامتری است که تابع درجه حرارت و ذرات جامد معلق (T.D.S) می‌باشد.  $P_{Ca}$ ، غلظت کاتیون کلسیم برحسب میلی‌گرم در لیتر ولی palk قلیائیت برحسب میلی‌گرم در لیتر است. مقادیر SI بیشتر از صفر نشان‌دهنده‌ی آب رسوبگذار و کمتر از صفر،

آب خورنده است. مقادیر برابر با صفر نشان می‌دهد که آب نه تمایلی به رسوبگذاری و نه خوردگی دارد. در جدول شماره ۲ کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی و همچنین سختی کل نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بیان شده است.

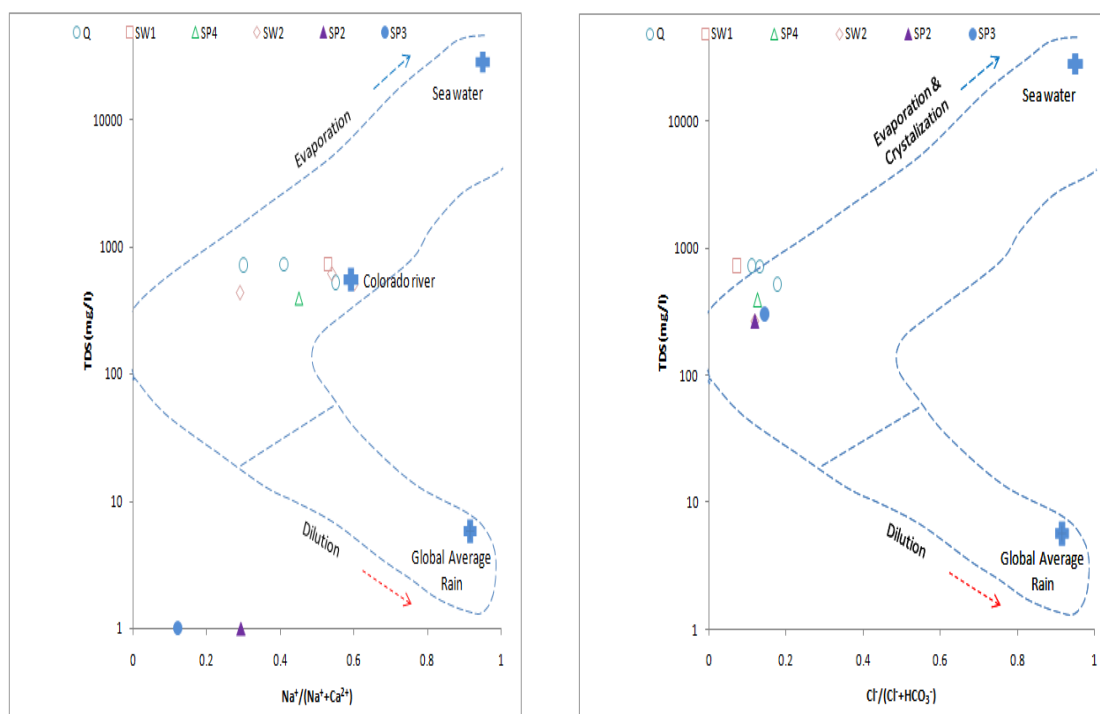
جدول ۲- وضعیت آب منطقه از نظر مصارف کشاورزی، صنعتی و سختی کل

شماره نمونه	محل نمونه برداری	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی	SI =PH-PHs	کیفیت آب برای صنعتی	سختی کل	کیفیت بر اساس سختی کل
۱	قنات کلاته نم	C3S2	شور-برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	-۱/۷۸	خورنده	۲۱/۹۴	سبک
۲	قنات علیای	C3S1	شور-برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	-۲/۲۵	خورنده	۱۲/۴۴	سبک
۳	چشمه آب باریک	C2S1	کمی شور-برای کشاورزی تقریباً مناسب	-۳/۳۱	خورنده	۱۶/۲۹	سبک
۴	چشمه حسنعلی	C2S1	کمی شور-برای کشاورزی تقریباً مناسب	-۳/۰۷	خورنده	۱۴/۸۸	سبک
۵	قنات قلعه کهنه	C2S1	کمی شور-برای کشاورزی تقریباً مناسب	-۲/۴۴	خورنده	۲۰/۸۱	سبک
۶	چشمه آبگردوی تلخ	C4S1	خیلی شور-مضر برای کشاورزی	-۰/۲۸	خورنده	۱۴۳	سخت
۷	چشمه عسگرد	C3S1	شور-برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	-۰/۴۸	خورنده	۶۲/۲۳	سبک
۸	چشمه سرهنگ	C3S1	شور-برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم	-۲/۴۷	خورنده	۹۰/۵۲	نسبتاً سخت

#### ۴-۴- فرآیندهای موثر بر شیمی آب

نمودار گیبس (Gibbs, 1970) به منظور ارزیابی تاثیر فرآیندهای هیدروشیمیایی نظیر بارش، هوازدگی سنگ و تبخیر بر شیمی آب بکار می‌رود. در این مدل (شکل ۶)، وقتی که مقدار نسبت  $\frac{Na}{(Na+Ca)}$  بالا و T.D.S پایین باشد، ریزش‌های جوی بیشترین تاثیر را روی آب‌های منطقه دارند. در صورتی که نسبت  $\frac{Na}{(Na+Ca)}$  پایین و T.D.S بین ۱۰۰-۱۰۰۰ ppm باشد (قسمت خمیده نمودار)، هوازدگی سنگ‌ها و در صورتی که هر دو افزایش پیدا کنند، به سمت دریاچه‌های شور حرکت کرده و عوامل تبخیر و تبلور در منطقه عامل کنترل‌کننده اصلی شیمی آب می‌باشند. با توجه به میانگین T.D.S، ۸۱۰ ppm و نسبت  $\frac{Na}{(Na+Ca)}$  برابر ۰/۴۳، نشان می‌دهد که عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب، هوازدگی سنگ‌های منطقه می‌باشد. شایان ذکر است که سه منبع آب که دارای آلودگی بودند با نماد Q و قنات‌های علیا و قلعه کهنه به ترتیب با نمادهای SW1، SW2 و چشمه‌های حسن-علیشاه، آب باریک و عسگرد به ترتیب با نمادهای SP2، SP3، SP4 نامگذاری شدند. نمونه‌ها در محدوده برتری فرآیند هوازدگی سنگ قرار می‌گیرند و بیانگر آن است که هوازدگی کانی‌های فرومیزین فراوان موجود در مجموعه سنگ‌های افیولیتی در محیط، نقش موثری در شیمی آب‌های منطقه داشته‌اند. عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب در منطقه مورد مطالعه، هوازدگی سنگ‌ها و برهمکنش آب با سنگ است که این نتیجه‌گیری با جنس سنگ‌ها و توپوگرافی منطقه تطابق دارد.





شکل ۶- مکان قرار گیری نمونه‌ها بر روی مدل گیبس (Gibbs, 1970)

## ۵- نتیجه گیری

- با بررسی نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب و مقایسه آنها با استانداردهای جهانی و همچنین ترسیم نمودارهای مربوط به کیفیت آب، نتایج زیر حاصل شد:
۱. با رسم نمودار Piper مشخص شد سه نمونه دارای رخساره Mg-Cl، سه نمونه دارای رخساره Mg-HCO<sub>3</sub> و دو نمونه Na-Cl می‌باشند.
  ۲. منیزیم کاتیون غالب در منطقه می‌باشد، علت آن هم تجزیه سیلیکات‌های فرومنیزین می‌باشد.
  ۳. وجود همبستگی مثبت و قوی (R<sup>2</sup>=9815) میان کلر و منیزیم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب مورد مطالعه، نشان‌دهنده هم‌منشأ بودن این دو عنصر و تاثیر حضور گسترده سرپانتینیت‌ها در منطقه است.
  ۴. بر اساس نمودار شولر و ویلکاکس، ۳ نمونه غیر قابل شرب و ۴ نمونه نیز برای مصارف کشاورزی، نامناسب تشخیص داده شد.
  ۵. با توجه به نمودار گیبس، هوازگی کانی‌های فرومنیزین فراوان موجود در مجموعه سنگهای افیولیتی در محیط، نقش موثری در شیمی آبهای منطقه داشته و عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب در منطقه مورد مطالعه هوازگی سنگ‌ها و برهمکنش آب با سنگ است.
  ۶. با محاسبه ضریب اشباعیت لانتزیه (SI)، کیفیت منابع آبی مورد مطالعه، جهت مصارف صنعتی خورنده تشخیص داده شد.
  ۷. تمامی نمونه‌های مربوط به محل‌های نزدیک به معادن کرومیت از نظر شرب و آبیاری در حد نامطلوب می‌باشند. این موضوع مربوط به دگرسانی شدید سنگ‌های اولترابازیک در محل تماس ذخایر کرومیت مجموعه افیولیتی است.

## منابع

- آقازاده، ن.، اصغری مقدم، ا. و کیمیایی، ا. (۱۳۸۷). "ارزیابی هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه سلماس و تعیین کیفیت برای مصارف مختلف". مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد ۳۴، شماره ۵.
- جلیلیان، م.، اعتمادی، ن. و افشاریان‌زاده، م. (۱۳۷۰). "سازمان زمین‌شناسی کشور"، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه.
- دولتی ارده‌جانی، ف.، شقایب تنکابی، س.، ض.، میرحبیبی، ع. و بدیعی، خ (۱۳۸۴). "بیوتکنولوژی، ژئوشیمی زیست‌محیطی و مدیریت پساب‌ها، جلد اول: پساب‌های معدنی". انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- رزم آرا، م. (۱۳۶۹). "بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پتانسیل معدنی افیولیت ملائزهای شمال تربت حیدریه (ناحیه اسدآباد)". رساله فوق لیسانس دانشگاه تهران، ۱۸۲ صفحه.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۱). "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ پانزدهم، انتشارات استان قدس رضوی، ۴۳۹ ص.
- Al-Agha, M. R. and El-Nakhal, A. (2004). "Hydrochemical facies of groundwater in the Gaza Strip (Palestine)". *Hydrological Sciences, Journal des Sciences. Hydrologiques*. Vol.108, pp. 359-371.
- Drever, J. I. (1997). "The Geochemistry of Natural Waters". 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Earley, J.W. (1958). "On chlorine in serpentinized dunite". *American Mineralogist*, 43, 148-155.
- Eby, G. N. (2004). "Principles of environmental geochemistry". Thomson Brooks/Cole. 516p.
- Freeze R. A. and Cherry J. A. (1979). "Gronundwater". Prentice Hall. Chapter. Groudwater Contamination, pp.432-433.
- Garrels, R. M. (1967). "Genesis of some groundwaters from igneous rocks". In Abelson, P. (ed.). *Researches in Geochemistry*, 2, 405-420.
- Gibbs, R. J. (1970). "Mechanisms controlling world water chemistry". *Science*, 170, 1088-1090.
- Gray, J. E. and Sanzalone, R. F. (2001). "Environmental studies of mineral deposits in Alaska". US Geological survey. Bulletin, 2156 p.
- Hounslow, A. (1995). "Water quality data". Analysis and interpretation. CRC.
- Nwankwoala, H.O. and Udom, G.J. (2011). "Hydrochemical Facies and Ionic Ratios of Groundwater in Port arcourt, Southern Nigeria". *Research Journal of Chemical Sciences*. Vol. 1(3), pp. 87-101.
- Piper, A. M. (1944). "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses". *Trans. Am. Geophy. Union*, 25, 914-928.
- Prasanna, M. V., Chidambaram, S., Senthil Kumar, G., Ramanathan, A. L. and Nainwal H. C. (2011). "Hydrogeochemical assessment of groundwater in Neyveli Basin, Cuddalore District, South India". *Arab J. Geosci*. Vol. 4, 319-330.
- Razmara, M., Khadivi, H., and Soudabi H. (2010). "Petrology and geochemistry of nickeliferous peridotites in the charbast area (NW of Fariman)". The first international applied geological congress. Mashhad, Iran. Proceeding. Pp 1209-1214.
- Scambelluri, M., Muntener, O., Ottolini, L., Pettke, T.T., Vannucci, R., (2004). "The fate of B, Cl and Li in the subducted oceanic mantle and in the antigorite breakdown fluids". *Earth and Planetary Science Letters*, 222, 217- 234.
- Sharp, Z. D. and Barnes, J. D., (2004). "Water soluble chlorides in massive seafloor serpentinites: a source of chloride in subduction zones". *Earth and Planetary Science Letters*, 226, pp. 243- 254.
- Subba Rao, N. (2008). "Factors controlling the salinity in groundwater in parts of Guntur district, Andhra pradesh, India". *Environ Moint. Assess*, 138 (1), pp.327-341.
- Sundaray, S. K., Nayak, B. B. and Bhatta, D. (2009). "Environmental studies on river water quality with reference to suitability for agricultural purposes: Mahanadi river estuarine system, India – a case study". *Environ Monit. Assess*. Vol, 155, pp 227-243.
- Todd, D.k. (1980). "Ground water hydrology". Second. Edition, John wiley and Sons.
- Vengosh, A. (2005) "Salinization and Saline Enviroments". *Environmental Geochemistry*. Volume 9, 333-365p.
- Wilcox, L. (1955). "Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of Agriculture". Cire. 969, Washington D.C. USA. 19 p.
- World health organization (WHO). "Guidelines for Drinking-water Quality" (2011). 4rd ed.