شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

ارزیابی شاخص فلزی (MI)، لانژلیه (LSI) و پارامترهای کیفی آب کشاورزی ـ منابع آب روستای کاهو (خراسان رضوی)

محمد حسین محمودی قرائی[1]، عاطفه سفیدیان[2*]، معصومه طاهری[3]، علیرضا سیاره[4]، جواد ربانی[5]

۱- دکتری، عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، mahmudygharaie@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه فردوسی،مشهد،A.Cephidian@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه فردوسی مشهد، Taheri.masumeh@gmail.com

۴- کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، Sayyareh43@yahoo.com

۵- دانشجوی دکتری، چینه‌شناسی و فسیل شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، javad.rabbani@gmail.com

چکیده:

غلظت فلزات سنگین(Pb, Hg, Ni, Cd, Ba)، شبه فلزات (As, Sb)، آنیون‌ها (HCO3, Cl, SO4) و کاتیون ها (Ca, Mg, Na, K) در منابع آب آشامیدنی روستای کاهو (شمال غرب مشهد) اندازه‌گیری شد. تعیین شاخص فلزی(MI) با توجه به استانداردWHO (2011) و با استفاده از مقادیر فلزات سنگین (Pb, Hg, Ni, Cd, Ba)، انجام شد. مقدار MI در نمونه‌های مرتبط با منبع آب آشامیدنی روستا و یکی از قنات‌ها، بسیار بالاتر از یک بوده و بنابراین غیرقابل آشامیدن است. با توجه به نمودار شولر نمونه‌های آب در محدوده‌ی خوب تا قابل قبول قرار دارند. بررسی خورندگی ـ رسوبگذاری آب‌ها با استفاده از شاخص لانژلیه (Langlier index) صورت گرفت و نمونه‌های آب از نوع متعادل، رسوبگذار و خورنده برآورد شد. پارامترهای کیفی کشاورزی مانند نسبت جذب سدیم(Sodium Absorption Ratio)، درصد سدیم (%Na) و سدیم کربنات باقی‌مانده (Residual Sodium Carbonate) مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به مقادیر هدایت الکتریکی برآورد خطر شوری (Salinity hazard) انجام شد. کلاس آب بر اساس SAR و مقادیرهدایت الکتریکی (EC)، شامل C2-S1,C3-S1 بوده و کیفیت آب، مناسب برای کشاورزی (کمی شور) و قابل استفاده برای کشاورزی(شور) ارزیابی شد.

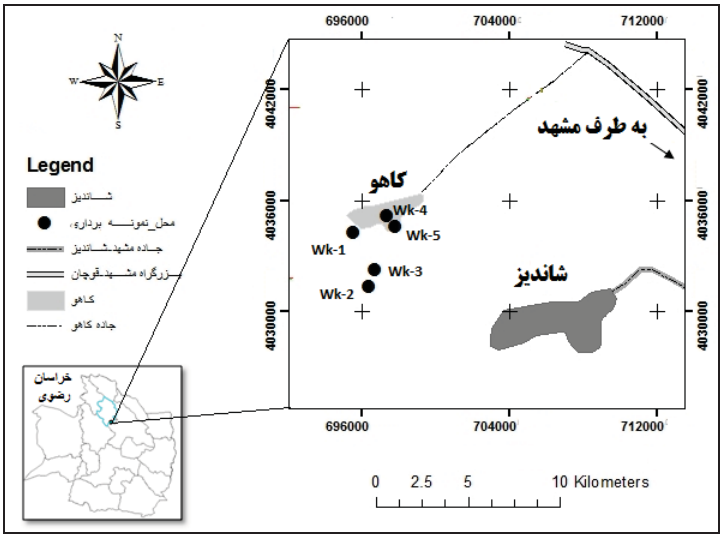
واژه های کلیدی: شاخص فلزی، شاخص لانژلیه، پارامترهای کشاورزی، روستای کاهو.

مقدمه :

کیفیت آب بیشترین اهمیت را در برنامه‌ریزی منابع آب داشته و می‌تواند تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی مانند آب و هوای محلی، زمین‌شناسی و شیوه‌های آبیاری تغییر نماید (Ravikumar, 2010). ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب به‌عنوان عامل کنترل سلامتی و بیماری موجودات زنده در نظر گرفته می‌شود. منشا آلودگی آب به فلزات سبک (Light Metal) و سنگین (Heavy Metal) عمدتا از دو طریق طبیعی (هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها) و بشرزاد (معدنکاری و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی) است که می توانند باعث کاهش کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی شوند. عناصری از قبیل کلسیم (Ca)،

پتاسیم (K)، سدیم (Na) ، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، مس (Cu) و روی (Zn) برای موجود زنده ضروری بوده و فقط در غلظت‌های بالا زیان آور هستند، در صورتی‌که فلزات سنگین و شبه فلزاتی همچون کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni) و آرسنیک (As) غیر ضروری بوده و بسیار سمی هستند. اثرات سمی آن‌ها شامل سردرد، فشارخون بالا، بیماری‌های کلیوی، عصبی، قلب و عروق، کم خونی و حتی در مواردی می تواند کشنده باشد (Shah *et al*., 2012). تعریف حداکثر غلظت مجاز (maximum allowable concentration) برای عناصر خاصی که به‌عنوان عناصر کمیاب (Trace element) معرفی می‌شوند، سوژه تحقیقات شیمیایی و بیولوژیکی در بسیاری از کشورهاست. به‌طور مثال در مورد آرسنیک، حداکثر غلظت مجاز(MAC_{As}) در ایالات متحده از ۵۰ به ۱۰ میکروگرم بر لیتر در آب چشمه‌ها و آب‌های سطحی کاهش یافت. در رابطه با این شبه‌فلز هنوز بحث وجود دارد، آژانس حفاظت محیط زیست (Environmental Protection Agency) و شورای ملی تحقیقات (National Research Council) و چند گروه تحقیقاتی دیگر اظهار داشته‌اند که اثرات مزمن بیماری در انسان ممکن است با مصرف طولانی مدت آب آلوده به آرسنیک با غلظت کمتر از ۵ میکروگرم بر لیتر (EPA) و کمتر از ۳ میکروگرم بر لیتر (NRC) ایجاد شود (Tamasi & Cini, 2004). کیفیت آب کشاورزی نیز از اهمیت بالایی برخوردار بوده و استانداردهای کیفیت آب آبیاری بر اساس غلظت کل نمک‌های محلول (شوری آب)، غلظت یون‌های سمی از قبیل بور و همچنین خطر سدیم (Sodium hazard)تعیین شده است(صداقت،۱۳۸۶).

محدوده‌ی مورد مطالعه‌ی روستای کاهو در طول جغرافیایی "59°10'12.5 تا"59°14'6 وعرض "36°23'42 تا"36° 26' 42.77 شمالی واقع شده است. راه‌های دسترسی به منطقه در شکل ۱ آورده شده است. لیتولوژی غالب منطقه شامل شیل و فیلیت‌های مشهد به سن ژوراسیک است (نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی).



شکل ۱ – موقعیت روستای کاهو و نقاط نمونه‌برداری آب

روش ها و مواد:

به‌منظور ارزیابی کیفیت منابع آب روستای کاهو واقع در استان خراسان رضوی، ۵ نمونه آب از منابع آبی روستا، شامل قنات و چاه، در اسفند ماه ۱۳۹۰برداشت شد. پارامترهایی مانند اسیدیته (pH)، دما(T) و هدایت الکتریکی (EC) در صحرا اندازه‌گیری شد. از هر محل به‌منظور اندازه‌گیری آنیون‌ها (CO_3^{2-}، HCO_3^-، SO_4^{2-} و

(Cl^-) و کاتیون ها (K، Na، Mg و Ca) و عناصر فلزی و شبه فلزی (Pb, Hg, Ni, As, Sb, Ba) نمونه‌برداری آب در بطری‌های پلی اتیلنی صورت گرفت. به جز نمونه‌های آنیونی سایر نمونه های آب با فیلتر سایز 0.45 میکرومتر فیلتر شده و pH آن با استفاده از اسیدنیتریک خالص به کمتر از ۲ رسانده شده و کلیه‌ی نمونه‌ها تا زمان انجام آنالیز در دمای کمتر از 4ºC نگهداری شدند. نمونه‌های مرتبط با آنیون با روش تیتراسیون، کاتیون های اصلی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Atomic absorption spectrometer) در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شد. اندازه‌گیری سایر عناصر با استفاده از دستگاه ICP –ES در سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. نقشه‌ی موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS ترسیم شد (شکل ۱). ترسیم نمودار شولر و تعیین پارامترهای کیفی کشاورزی در برنامه کیفیت منابع آب Chemistry انجام شد.

نتایج و بحث:

بمنظور ارزیابی کیفی منابع آب روستای کاهو جهت مصرف آشامیدنی از نمودار شولر (Schoeller)، شاخص فلزی (Metal Index) و لانژلیه(Langlier index) استفاده شد و پارامترهای آب کشاورزی مانند نسبت جذب سدیم (Sodium Absorption Ratio)، درصد سدیم (Sodium percent) و سدیم کربنات باقی‌مانده نیز (Sodium Carbonate Residual) تعیین شد.

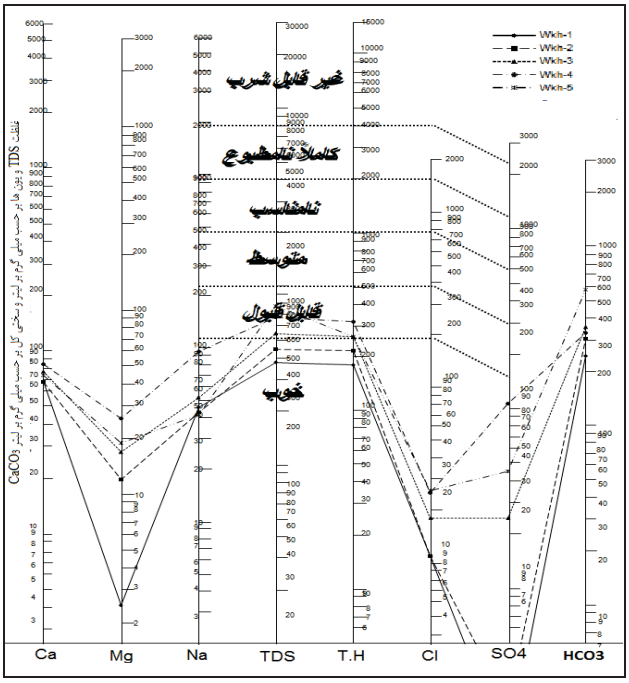
جدول ۱ ــ نتایج آنالیز آنیون‌ها، کاتیون‌های اصلی، شبه‌فلزات و فلزات سنگین به همراه پارامترهای اندازه‌گیری شده در صحرا

	Wk-1	Wk-2	Wk-3	Wk-4	Wk-5	WHO(2011)
pH	7.8	7.6	7.5	8.1	7.9	7 - 8.5
T(ºC)	17.3	13.2	12.8	15.9	9.7	-
TDS($mg.L^{-1}$)	371	438	540	665	772	500
EC(µS.cm−1)	431	564	677	795	1142	250
As (µg. L−1)	1.411	0.669	0.723	0.635	15.507	10.000
Ba (µg. L−1)	0.361	10.005	12.087	36.086	0.531	700
Cd (µg. L−1)	45.749	<0.025	<0.025	<0.025	41.607	3
Hg (µg. L−1)	6.234	<0.022	<0.022	<0.022	62.224	6
Li (µg. L−1)	1.442	17.739	15.652	46.232	9.146	-
Ni (µg. L−1)	14.579	5.239	3.343	7.086	65.991	70
Pb (µg. L−1)	1.190	0.880	<0.062	0.147	0.954	10
Sb (µg. L−1)	<0.006	4.871	4.141	4.780	0.011	20
Ca (mg. L−1)	67.82	67.22	76.6	84.59	73.42	75
Mg (mg. L−1)	2.394	11.67	16.46	25.14	18.46	50
Na (mg. L−1)	44.98	42.19	51.17	94.47	41	200
K (mg. L−1)	0.7978	0.758	0.798	1.217	1.028	12
HCO3 (mg. L−1)	243.3	304.2	352.9	328.6	567.6	120
SO4 (mg. L−1)	1.197	2.194	24.44	106.9	44.49	200
Cl (mg. L−1)	10.67	10.67	17.75	24.74	25.54	200

* نمونه‌های Wk-1 تا Wk-4 مربوط به قنات و نمونه‌ی Wk-5 مربوط به چاه (منبع آب آشامیدنی روستا) است.
* World Health Organization : (WHO, 2011)

نمودار شولر (Schoeller):

با توجه به نمودار شولر که با استفاده از مقادیر (TDS, T.H, Ca, Mg, Na, Cl, SO4, HCO3) ترسیم می‌شود، کیفیت منابع آب روستای کاهو در محدوده‌ی خوب تا قابل قبول قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲ – نمودار شولر (Schoeller)

تعیین شاخص فلزی (Metal Index):

جهت ارزیابی کیفی آب از شاخصی به نام شاخص فلزی (Metal Index) استفاده شد. شاخص فلزی با استفاده از فرمول زیر و براساس استاندارد (WHO, 2011) تعیین می‌گردد:

$$MI = \sum_{i=1}^{N} \frac{C_i}{(MAC)_i}$$

Ci: غلظت عنصر مورد نظر

i: i امین عنصر مورد نظر در نمونه

$(MAC)_i$: حداکثر غلظت مجاز عنصر مورد نظر

اگر مقادیر بدست آمده برایMI کمتر از یک باشد آب قابل آشامیدن است. اگر MI بیشتر از یک باشد آب غیرقابل آشامیدن و اگر برابر با صفر باشد در حد آستانه‌ی خطر قرار دارد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر شاخص فلزی در نمونه‌های مرتبط با منبع آب آشامیدنی روستا(Wk-5) و یکی از قنات‌ها (Wk-1) بسیار بیشتر از یک بوده و بنابراین غیرقابل آشامیدن است. سایر نمونه‌ها دارای شاخص فلزی کمتر از یک بوده و در رده‌ی

قابل آشامیدن قرار دارند. شبه فلزات آرسنیک و آنتیموان در این محاسبه منظور نمی‌شوند. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که مقادیر غلظت آرسنیک در نمونه‌ی Wk-5، (منبع آب آشامیدنی روستا) 15.5µg/l بوده بالاتر از حد مجاز اعلام شده توسط WHO (10µg/l) است. مقادیر آنتیموان در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد WHO (20µg/l) است.

جدول۲- مقادیر شاخص فلزی (MI) محاسبه شده بر اساس استاندارد(WHO,2011)

SampleID	MI (WHO,2011)
Wk-1	16.62
Wk-2	0.19
Wk-3	0.08
Wk-4	0.18
Wk-5	25.28

بررسی خورندگی-رسوب گذاری:

بر اساس استانداردEPA (Environmental Protection Agency) و دیگر استانداردهای معتبر جهانی آب‌های آشامیدنی نباید خورنده باشند. برای بررسی آب‌ها از نظر خوردندگی و رسوبگذاری از شاخص‌هایی مانند لانژلیه استفاده می‌شود. این شاخص توسطW.F لانژلیه در سال ۱۹۳۶ ارائه شد. این شاخص در واقع تفاوت بین pH واقعی آب و pH_s اشباع شده توسط کربنات کلسیم می‌باشد که به‌عنوان شاخصی برای بیان خورندگی و رسوبگذاری آب به‌کار می‌رود. نحوه‌ی محاسبه‌ی این شاخص به‌صورت زیر است(Gupta *et al*, 2010 و مختاری و همکاران، ۱۳۸۹):

$LI\ (SI)=pH - pH_s$

$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D)$

$A = (Log_{10}\ [TDS] - 1) / 10$

$B = -13.12 \times Log_{10}\ (^{o}C + 273) + 34.55$

$C = Log_{10}\ [Ca^{2+}\ as\ CaCO3] - 0.4$

$D = Log_{10}\ [alkalinity\ as\ CaCO3]$

مقادیرSI کمتر از صفر نشاندهنده‌ی آب خورنده و بیشتر از صفر، آب رسوبگذار است. مقادیر برابر با صفر نشان می‌دهد که آب نه تمایلی به رسوبگذاری و نه به خورندگی دارد. محاسبه‌ی مقادیر بدست آمده برای شاخص لانژلیه نشان داد که نمونه‌ی Wk-1 متعادل، نمونه های Wk-2 و Wk-3 خورنده، و نمونه های Wk-4 و Wk-5رسوبگذار هستند. مقادیر محاسبه شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر شاخص لانژلیه(SI)

نام نمونه	قلیائیت بر حسب CaO	pHs	pH	pH-pHs	کیفیت آب
Wk-1	45.768	7.8	7.8	67.68	0	متعادل
Wk-2	42.9612	7.8	7.6	67.1	-0.2	خورنده
Wk-3	51.9936	7.7	7.5	76.46	-0.2	خورنده
Wk-4	95.7211	7.4	8.1	84.42	+0.7	رسوبگذار
Wk-5	42.0347	7.8	7.9	73.28	+0.1	رسوبگذار

پارامترهای کیفیت آب کشاورزی:

برای ارزیابی کیفیت آب‌ها به لحاظ کشاورزی از مقادیر سدیم (Na) و هدایت الکتریکی (EC) کمک گرفته می‌شود. سدیم فراوان‌ترین فلز قلیایی است که در بسیاری از سنگ‌های آذرین و تبخیری یافت می‌شود. سدیم مانند دیگر کاتیون‌ها با رس‌های موجود در خاک واکنش داده و جانشین یون‌های کلسیم و منیزیم شده و باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. نسبت جذب سدیم (Sodium Absorption Ratio) بهترین معیار برای برآورد خطر سدیم (Sodium hazard) است که میزان جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم به‌وسیله‌ی یون‌های سدیم را بیان می‌کند و فرمول آن به صورت زیر است (غلظت‌ها بر اساس میلی اکی والان در لیتر):

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

فرمول(۱)

آب‌ها با توجه به مقادیر S.A.R به چهار کلاس S1: با خطر سدیم کم (S.A.R<10)، S2: خطر سدیم متوسط (S.A.R= 10 – 18)، S3: خطر سدیم بالا (S.A.R = 18 – 26) و S4: خطر سدیم بسیار بالا (S.A.R>26) تقسیم می‌شوند (Ackah et al.,2011). آب‌هایی که در کلاس خطر شوری کم (C1) (EC= 100- 250 µs.cm−1) قرار می‌گیرند، برای کشاورزی مناسب هستند. آب‌هایی که در کلاس خطر شوری متوسط (C2) (EC= 250-750 µs.cm−1) قرار می‌گیرند، در صورتیکه مقدار آبشویی در حد متوسط باشد، برای کشاورزی مناسب هستند. آب‌های با میزان شوری بالا که شامل کلاس‌های C3 (EC=750-2250 µs.cm−1) و C4,C5 (EC>2250 µs.cm−1) هستند، در خاک‌های با زهکش کم نمی‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند و حتی در خاک‌هایی با زهکش مناسب نیاز به برنامه‌های مدیریتی و توجه ویژه برای کنترل شوری دارند (Ravikumar, 2010). کلاس نمونه‌های آب بر اساس SAR و مقادیرهدایت الکتریکی (EC)، شامل C2-S1,C3-S1 بوده و کیفیت آب برای کشاورزی، مناسب (کمی شور) و قابل استفاده برای کشاورزی(شور) ارزیابی شد. درصد سدیم (%Na) پارامتر دیگری است که فرمول آن بصورت زیر بوده و به همراه مقادیر هدایت الکتریکی برای ارزیابی کیفیت آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد(Wilcox, 1995).

$$\%Na = \frac{(Na^{+} + K^{+})X100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+})}$$

فرمول (۲)

با توجه به مقادیر درصد سدیم آب‌ها به پنج گروه عالی(%Na <20)، خوب (%Na = 20– 40)، مجاز (%Na = 40 – 60)، مشکوک (%Na =60 – 80) و نامناسب(%Na>80) تقسیم می‌شوند. تمامی نمونه‌های آب با توجه به مقادیر موجود در جدول ۵ در رده‌ی خوب قرار می‌گیرند. علاوه‌بر درصد سدیم و نسبت جذب سدیم، مقادیر Residual Sodium Carbonate (RSC) یا سدیم کربنات باقی‌مانده (کربنات و بیکربنات باقی‌مانده) در آب بر مناسب بودن آب برای آبیاری تاثیر می‌گذارد. کربنات و بیکربنات سدیم اضافه باعث تغییر ویژگی‌های خاک، مانند انحلال مواد آلی خاک می‌شود. RSC به طریق زیر قابل محاسبه است:

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

فرمول (۳)

مقادیر RSC نمونه‌ها در جدول زیر آورده شده است. مقادیر RSC کمتر از 1.25 meq/L نشاندهنده‌ی کیفیت خوب آب، 1.25-2.5 meq/L کیفیت مشکوک، و بیشتر از 2.5meq/L برای آبیاری نامناسب

هستند(Ravikumar, 2010). با توجه به جدول ۵ اکثر نمونه‌ها در رده‌ی خوب و تنها یک نمونه در رده‌ی نامناسب برای آبیاری قرار دارند.

جدول ۵ ـ مقادیر پارامترهای کیفی آب کشاورزی

	Wk-1	Wk-2	Wk-3	Wk-4	Wk-5
Salinity Hazard	Medium	Medium	Medium	Medium	High
SAR	1.46	1.25	1.38	2.32	1.11
%Na	35.56	30.06	30.26	39.69	25.88
RSC	0.68	0.67	0.61	0.91	4.17

نتیجه گیری :

در این مطالعه ارزیابی کیفی منابع آبی روستای کاهو واقع در شمال غرب مشهد از لحاظ آشامیدن و کشاورزی انجام شد. با توجه به نمودار شولر کیفیت منابع آب روستای کاهو در محدوده‌ی خوب تا قابل قبول قرار دارد. مقادیر شاخص فلزی در نمونه‌های مرتبط با منبع آب آشامیدنی روستا(Wk-5) و یکی از قنات‌ها (Wk-1) بسیار بیشتر از یک بوده و بنابراین غیرقابل آشامیدن است. با توجه به شاخص لانژلیه نمونه‌های آب از نوع متعادل، رسوبگذار و خورنده برآورد شد. با توجه به پارامترهای کیفی کشاورزی نسبت جذب سدیم(SAR) در رده‌ی خطر سدیم کم، درصد سدیم (%Na) در رده‌ی خوب و سدیم کربنات باقی‌مانده(RSC)، اکثر نمونه‌ها در رده‌ی خوب و تنها یک نمونه در رده‌ی نامناسب برای آبیاری قرار دارند. کلاس آب بر اساس SAR و مقادیرهدایت الکتریکی (EC)، شامل C2-S1,C3-S1 بوده و کیفیت آب، مناسب برای کشاورزی (کمی شور) و قابل استفاده برای کشاورزی(شور) ارزیابی شد.

منابع فارسی :

۱- مختاری، آ.، عالیقدری، م.، حضرتی، ص.، صادقی، ه.، قراری، ن.، قربانی، ل. (۱۳۸۹)، ارزیابی خورندگی و رسوبگذار شبکه‌ی توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص‌های Langelier وRyznar ، *مجله علمی پژوهشی سلامت و بهداشت اردبیل، شماره اول، صفحات ۱۴ تا ۲۳.*

۲- صداقت، م. (۱۳۸۶)، *زمین و منابع آب(آب‌های زیرزمینی)*، انتشارات دانشگاه پیام نور.

References:

1- Askah, M., Agyemang, O., Anim, A.K., Osie, J., Bentil, N.O., Kpattah, L., Gyamfi, E.T., Honson, J.E.K, (2011), Assesment of groundwater quality for drinking and irrigation: the case study of teiman-oyarifa community. Ga East Municipality. Ghana, Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences, Vol. 1(3-4), pp. 186-194.

2- Gupta, N., Nafees, S.M., Jain, M.K., Kalpana, S, (2010), Assessment of groundwater quality of outer Skirts of kota city with reference to its potential of scale formation and corrosivity. Journal of chemistry, 8(3), pp. 1330-1338.

3- Ravikumar. P., Somashekar. R.K, (2010), Maltivariate analysis to evaluate geochemistry of groundwater in varahi river basin of udupi in Karnataka (india), An international quarterly journal of environmental sciences, 4(2&3), pp. 153-162.

4- Shah, M.T., Ara, J., Khan, S., Tariq, S. (2012), Health risk assessment via surface water and sub – surface water consumption in the mafic and ultramafic terrain, mohmand agency, northern Pakistan. Journal of Geochemical Exploration, No. 8.

5- Tamasi, G., Cini, R, (2004), Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata(Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the province of Siena. Science of the Total Environment, vol(327), pp. 41-51..

5- Wilcox, L. V, (1955), Classification and Use of Irrigation Waters, US Department of Agriculture, No. 969.

6- World Health Organization, (2011), Guidelines for drinking-water quality.