



## بررسی زیست‌محیطی آلودگی فلزات سنگین در منابع آب و خاک محدوده سنگ بست

حبیب‌الله ترشیزیان<sup>۱\*</sup>، مجید اطاری<sup>۲</sup>، مینا ممدوحی<sup>۲</sup>، سلیمه اسحاقی ایل‌بیگی<sup>۴</sup>

۱- استادیار رسوب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۳- کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۴- کارشناسی منابع طبیعی، گروه منابع طبیعی، واحد تربت جام، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت جام، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: h.torshizian@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۶/۲۱، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۹

### چکیده

در این پژوهش به ارزیابی غلظت فلزات سنگین در منابع آب و خاک منطقه سنگ بست که در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد واقع می‌باشد، پرداخته شده است. جهت این مطالعه، تعداد ۱۷ نمونه رسوب و ۱۰ نمونه آب جمع‌آوری شده است. pH رسوبات منطقه در محدوده قلیایی قرار گرفته است. این امر را می‌توان منتسب به حضور کانی‌های سولفیدی (آرسنوپیریت) دانست. در خاک‌های منطقه کروم از غنی‌شدگی خیلی شدیدی برخوردار است. حضور عنصر فوق مرتب با واحدهای الترامافیک (زون بینالود) و معادن کروم شمال محدوده مورد مطالعه می‌باشد. آلودگی فوق در منطقه نابرجا بوده و مرتبط به گرانیتهای سنگ بست نمی‌باشد. آلودگی فوق توسط شاخص زمین‌انباشتی و ضریب آلودگی تایید گردید. ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI) نشان داد، کیفیت منابع آب در منطقه پایین می‌باشد اما در محدوده روستای سنگ بست از کیفیت خوبی برخوردار می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، سنگ بست، فاکتور غنی‌شدگی، آلودگی خاک

### ۱- مقدمه

فاکتورهای مختلف به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک و همچنین تعیین کیفیت آب از لحاظ شرب در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

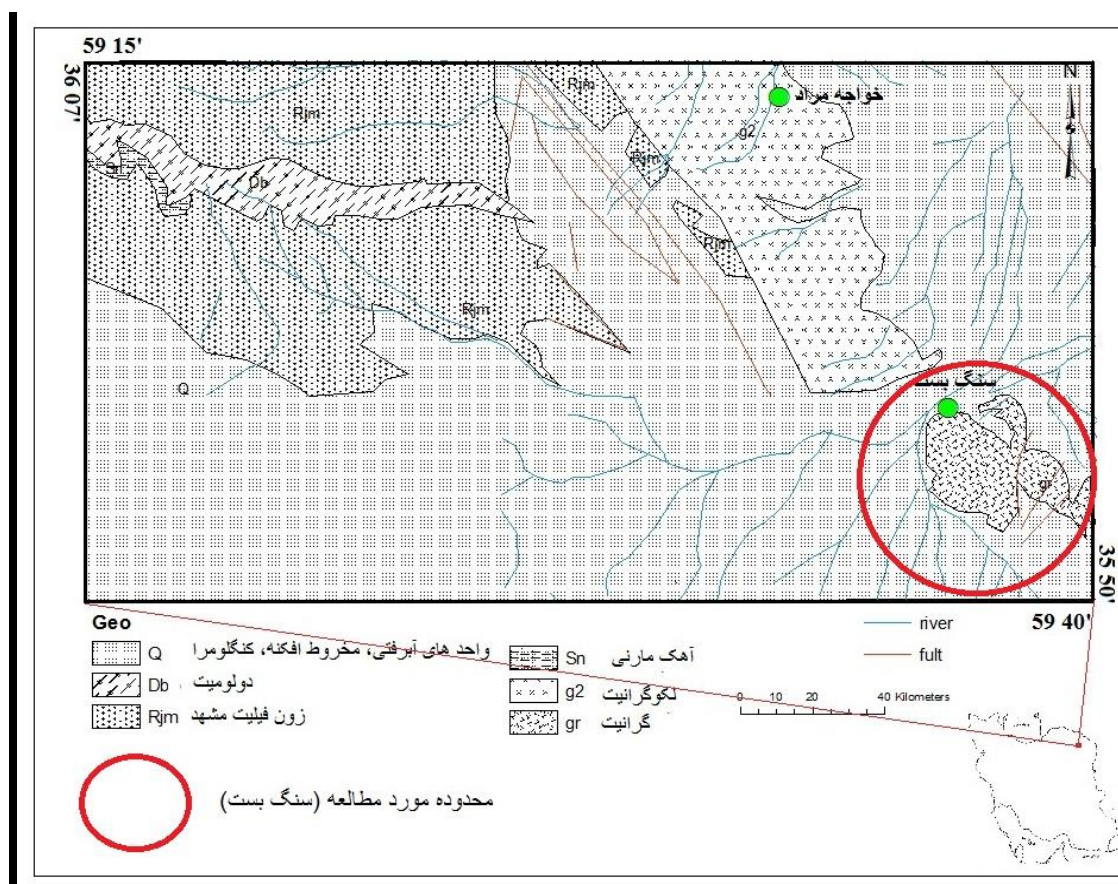
### ۲- زمین‌شناسی

روستای تاریخی سنگ بست در مرکز دهستان سنگ بست از توابع شهرستان فریمان و در محدوده استان خراسان رضوی، در شمال شرق کشور واقع است. اصلی‌ترین راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه جاده آسفالتی مشهد- فریمان می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در ۴۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد، واقع شده است. بر پایه مطالعات انجام شده توسط علوی تهرانی و همکاران، (۱۳۷۰) و واعظی‌پور و سهیلی، (۱۳۸۴) گستره برکه زمین‌شناسی فریمان شامل انواع سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی است که از نظر زمانی از پرکامبرین تا کواترنری را شامل می‌شوند. ماسه سنگ‌های دگرگون شده با لایه‌هایی از سنگ آهک‌های بلورین تیره رنگ در منطقه یافت می‌شود. همچنین واحدهای سنگی فیلیت و اسلیت‌هایی که در سطوح هوازده رنگ خاکستری متمایل به سبز دارند در منطقه وجود دارد. گرانیتهای سنگ بست در میانه مرز شمالی به سوی جنوب خاور، جنوب آبادی سنگ بست، توده نفوذی نسبتاً بزرگ با روند شمال باختر- جنوب خاور در سنگ‌های دگرگونی نسبت داده شده به پرمین جایگزین شده است (نبوی، ۱۳۵۷). این گرانیتهای در اصل لوکوگرانیتهای دانه درشت تا متوسط، با دانه‌بندی تقریباً یکنواخت است که می‌توان آن را گرانیتهای هم نامید. بافت

آلودگی خاک و آب یکی از عوارض مهم در به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت است. مهمترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش‌های اسیدی و مواد آلی هستند که از میان آنها، فلزات سنگین به دلیل خصوصیات غیرقابل تجزیه بودن، سمی بودن، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی بیشتر مورد توجه هستند (Mico et al., 2006). این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم ممکن است به خاک افزوده شوند. در حقیقت، فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (Yalcin et al., 2007). با توجه به اینکه خاک به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت عمومی از طریق تولید غذا تأثیر می‌گذارد، بنابراین حفاظت از این منبع و اطمینان از پایداری آن حائز اهمیت می‌باشد (Wong et al., 2002). باید توجه داشت که آلودگی فلزات سنگین در خاک ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی گردد (Lee et al., 2006). افزایش سرب در خون می‌تواند باعث بیماری‌های متعدد گردد (Altman, 1992). سازندهای زمین‌شناسی، چشمه‌های معدنی و منابع آب‌های شور می‌توانند عامل پایین آمدن سطح کیفی آب و آلودگی آن باشند (Misra et al., 2009). در اثر فرایندهای مختلف زمین‌شناسی فلزات سنگین می‌توانند از سنگ‌ها آزاد گشته و وارد محیط گردند (کشاورزی، ۱۳۸۸). در این پژوهش با استفاده از

جورشدهگی آنها افزوده می‌گردد (واعظی‌پور، ۱۳۸۷). رسوبات عهد حاضر که حاصل عوامل فرسایش در زمان حال هستند، در دره‌های اصلی و کف آبراهه‌ها به جای مانده‌اند. ابعاد آنها با فاصله از منشأ نسبت عکس دارند و در نهایت ریزترین آنها که سیلت و رس است به دورترین و پایین‌ترین محل‌ها که در بالای روستای سنگ بست قرار دارد، رسیده‌اند (واعظی‌پور، ۱۳۸۷) (شکل ۱).

این سنگ دانه‌ای- میکریتی و گاهی پورفیری است. نهشته‌های آبرفتی که به شکل مخروط افکنه از پای بلندی‌ها به ویژه محل اتصال رودخانه‌ها با نواحی پست‌تر (که غالباً توسط گسل نیز کنترل می‌شوند) بجای گذاشته شده‌اند. پس از انباشته شدن و به هم رسیدن آنها، دشت‌های آبرفتی را در پایین دست ایجاد کرده‌اند. این نهشته‌ها بافت سست دارند و هنوز سخت نشده‌اند. از پای بلندی‌ها به سوی عرصه دشت که در شمال ورقه و در میانه آن قرار دارد از اندازه قطر قطعات کاسته شده ولی در عوض بر گردشگی و

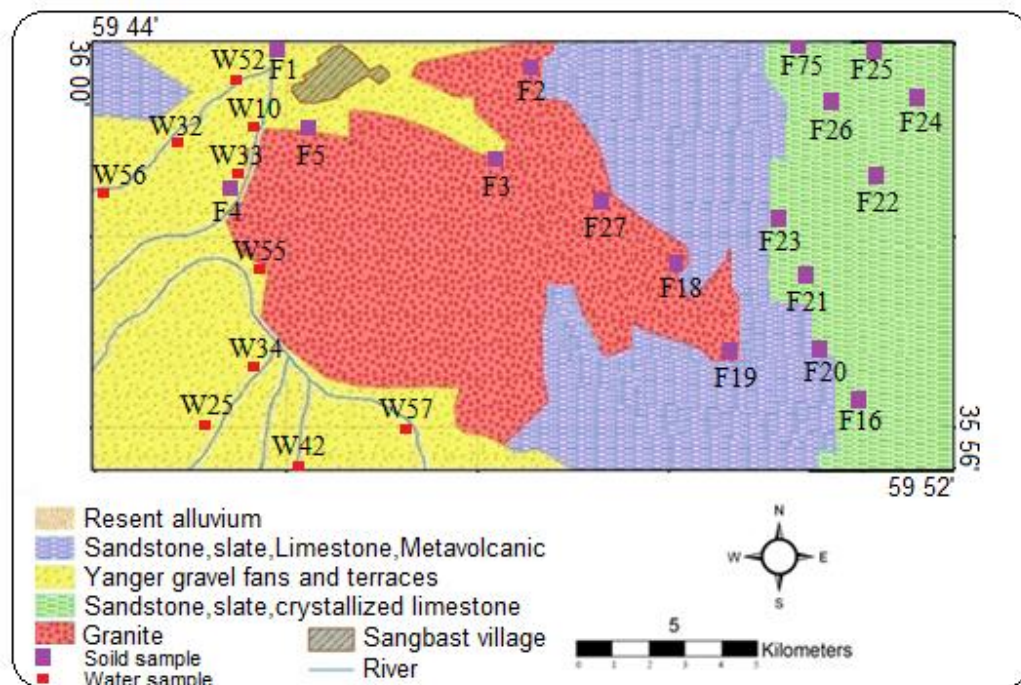


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه (برگرفته از نقشه واعظی‌پور و همکاران، ۱۳۷۰؛ افشار حرب و همکاران، ۱۳۶۵)

### ۳- مواد و روش‌ها

(EPA) با نسبت ۱:۱ (۲۰ گرم خاک و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) انجام گردید. همچنین میزان هدایت الکتریکی خاک با نسبت ۱:۵ (۱۰ گرم خاک و ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر) براساس استاندارد ۹۰۴۵ (EPA US, 2004) صورت پذیرفت. به منظور تعیین بافت خاک عمل دانه‌بندی و آزمایش هیدرومتری صورت پذیرفت و بافت خاک تعیین گردید. به منظور تعیین کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه اقدام به نمونه‌برداری گردید. با توجه به اینکه در محل نمونه‌برداری خاک (شرق محدوده) منابع آب در دسترس نبود، بنابراین ۱۰ نمونه آب از غرب محدوده مورد مطالعه برداشت گردید (شکل ۲). میزان غلظت عناصر در خاک به روش ICP-OES در آزمایشگاه ACCME کانادا اندازه‌گیری گردید (شکل ۲).

هدف از انجام این مطالعه بررسی وضعیت آلودگی خاک‌ها و تعیین کیفیت آب در منطقه سنگ بست می‌باشد. نمونه‌برداری از رسوبات منطقه به منظور تعیین آلودگی فلزی و اندازه‌گیری خواص شیمیایی انجام گرفت. به همین منظور ۱۷ نمونه از رسوبات برداشت شد (شکل ۲). به منظور جلوگیری از دخالت مواد آلی، نمونه‌های خاک از عمق ۱۰ سانتی‌متری برداشت گردید. نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال و پس از خشک شدن از الک عبور داده شد تا همگن‌سازی انجام گیرد. نمونه‌های خاک جهت تعیین غلظت فلزات سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه ACCME کانادا ارسال گردید. میزان اسیدیته خاک با استاندارد ۹۰۴۵ (EPA US, 2004)



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و محل نمونه های آب و خاک برداشت شده

۴- بحث

مورد مطالعه، معمولاً از مقایسه میزان عناصر در منطقه با استاندارد شیل جهانی و میانگین عناصر در پوسته زمین (Turekian and Wedepohl, 1961) و از فاکتورهای غنی شدگی، ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی و شاخص زمین انباشتگی بهره می گیرند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه های خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

۴-۱- ارزیابی آلودگی خاک به فلزات سنگین

برای ارزیابی میزان غلظت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه (بر حسب PPM)

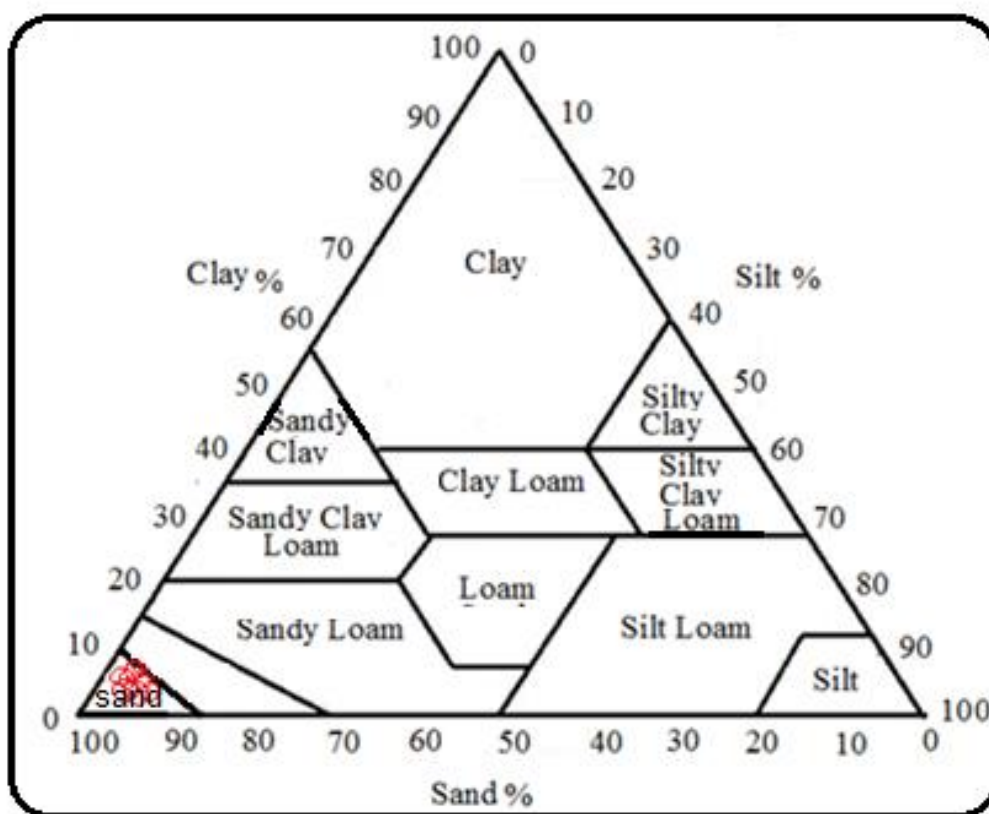
sample	Ni	Co	Cu	Pb	Fe	As	Sr	Sb	Li	Cr	Ba	Al	S
F-21	1412.2	76.1	14.8	3.8	38100.0	2.5	80.3	0.0	8.0	626.9	22.6	8300.00	0.02
F-26	744.7	44.8	78.2	5.2	34000.0	3.2	72.1	0.1	10.9	298.7	31.4	23300.00	0.02
F-24	1158.4	59.0	21.1	4.8	34500.0	3.9	102.4	0.1	8.9	508.7	30.8	14100.00	0.02
F-25	1216.3	70.1	35.1	4.5	39400.0	2.1	103.0	0.0	11.1	480.9	32.7	15300.00	0.02
F-27	1550.8	89.3	16.1	4.9	38800.0	28.8	60.1	0.1	9.0	671.7	24.7	8500.00	0.03
F-18	1653.9	96.8	79.1	4.7	40900.0	3.0	63.3	0.0	5.5	663.6	19.8	6800.00	0.03
F-20	1199.3	73.1	166.7	3.5	36100.0	4.8	70.6	0.0	7.2	608.4	20.0	8800.00	0.03
F-75	1208.8	84.6	13.1	2.7	43000.0	2.1	53.8	0.0	5.1	519.2	21.5	7500.00	0.02
F-19	1245.0	83.7	76.1	3.4	34900.0	2.3	71.6	0.0	4.3	567.6	18.1	7300.00	0.03
F-23	832.5	62.5	40.9	4.4	37500.0	2.2	122.5	0.0	10.1	437.2	41.3	19700.00	0.02
F-16	301.4	24.2	38.3	8.5	49700.0	16.0	110.5	0.3	11.7	217.5	23.0	18600.00	0.02
F-17	1488.8	84.8	20.97	1.61	40300.00	0.8	35.7	0.02	1.9	879.0	6.9	4600.00	0.03
F-1	178	14.4	37	9	26624.1	7.8	1043.9	0.7	22	430	404	41818	3000
F-2	98	10.7	29	23	26187.4	6.2	382.3	0.9	44	513	797	58905	305
F-3	145	13.6	27	20	27657.5	6.9	392.1	0.9	43	387	681	66517	155
F-4	63	10.7	25	18	24926.1	9.2	368.5	1.3	47	109	582	64476	353
F-5	276	25.1	37	15	38951.8	12.9	271.7	1.3	41	467	476	64408	426
S	68	19	45	20	47200	13	300	1.5	66	100	580	80000	2400
P	50	25	55	12.5	41000	1.8	375	0.2	20	102	425	260	82300

S = شیل جهانی = P = پوسته زمین

## ۴-۲- بررسی خصوصیات شیمیایی خاک

سولفیدی (آرسنوپیریت) می‌باشد. بررسی مقادیر EC در رسوبات منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، که هدایت الکتریکی در خاک‌های منطقه از ۲۹۱ تا ۶۴۲  $\mu\text{s}/\text{cm}$  در تغییر است. یکی از عوامل مهم در کیفیت خاک تعیین بافت خاک می‌باشد. برای تعیین بافت خاک، از استاندارد خاک کشاورزی آمریکا استفاده گردید (USDA, 1951). بررسی‌ها نشان داد، بافت خاک در منطقه از نوع بافت ماسه‌ای می‌باشد (شکل ۳).

عامل اسیدیته بر جذب و دفع عناصر موثر هستند (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). اسیدیته رسوبات منطقه مورد مطالعه در محدوده ۶/۳ تا ۷/۵ قرار گرفته است و بر اساس طبقه‌بندی انجمن علوم خاک آمریکا، در محدوده نسبتا خنثی تا اسیدی قرار می‌گیرد. مطالعات صحرائی و کانی سنگین در منطقه نشان داد، این امر منتسب به حضور کانی



شکل ۳- نمودار بافت خاک بر اساس استاندارد خاک کشاورزی آمریکا (USDA, 1951)

$$EF = \frac{\frac{C_{x1} \text{ sample}}{C_{ref1}}}{\frac{C_{x2} \text{ background}}{C_{ref2}}}$$

رابطه ۱

بررسی‌ها نشان از غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید نیکل و خیلی شدید کروم دارد. همچنین کبالت و آرسنیک غنی‌شدگی شدید و بقیه عناصر دارای غنی‌شدگی اندک تا متوسط ایجاد کرده است. عناصر کبالت، نیکل و کروم پاراژن بوده و در سنگ‌های الترامافیک قرار دارند، لذا حضور عناصر فوق مرتبط با واحدهای الترامافیکی (زون بینالود) و معادن کروم شمال محدوده مورد مطالعه می‌باشد. لذا آلودگی فوق در منطقه نابرجا بوده و مرتبط به گرانیتوئیدهای سنگ بست نمی‌باشد. نیکل در کانی‌هایی از جمله اولیوین، هورنبلند، اوژیت و بیوتیت قرار دارد (Bradl, 2005)، بخشی از غلظت نیکل در خاک منطقه می‌تواند مرتبط با کانی بیوتیت موجود در گرانیتوئیدهای سنگ بست باشد (شکل ۴).

## ۴-۳- فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment factor)

این فاکتور برای بیان میزان تاثیر عوامل خارجی بر رسوبات استفاده می‌گردد (Zhang, 2009). این فاکتور جهت تعیین آلودگی فلزی به صورت منشاء لیتوژنیک یا آنتروپوژنیک می‌باشد (Adamo et al., 2005). برای ارزیابی فاکتور فوق غلظت عناصر نمونه را با غلظت آن عنصر در پوسته زمین مقایسه می‌کنند. ضریب غنی‌شدگی طبق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (Loska et al., 1995). در رابطه فوق EF، فاکتور غنی‌شدگی،  $C_{x1}$  غلظت عنصر مورد بررسی،  $C_{ref1}$  غلظت عنصر مبنا (Al)،  $C_{x2}$  غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین)،  $C_{ref2}$  غلظت عنصر مبنا (Al) در محیط مبنا (پوسته زمین) می‌باشد. میزان غنی‌شدگی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- طبقه بندی فاکتور غنی شدگی از (Chen et al., 2007)

شدت غنی شدگی	بدون غنی شدگی	اندک	متوسط	نسبتا شدید	شدید	خیلی شدید	بی نهایت شدید
EF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۵	بین ۵ تا ۱۰	بین ۱۰ تا ۲۵	بین ۲۵ تا ۵۰	بیشتر از ۵۰

et al., 2006 - Chen & Dong, 2007, Ghrefat & Yusuf, 2006). میزان شاخص زمین انباشتگی در جدول ۳ نشان داده شده است. در رسوبات منطقه مورد مطالعه نیکل با داشتن شاخص زمین انباشتگی ۲/۵۲ آلودگی متوسط تا شدیدی دارد. کروم آلودگی متوسط و کبالت و آلومینیوم بدون آلودگی تا متوسط می باشند. بقیه عناصر بدون آلودگی تشخیص داده شده است. آلودگی کروم، نیکل و کبالت متناسب به زون اولترامافیک (بینالود) و معادن کرومیت در شمال منطقه مورد مطالعه می باشد (شکل ۴).  

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$$
 رابطه ۲

#### ۴-۴- شاخص زمین انباشتگی (Geoaccumulation Index)

این شاخص برای اولین بار توسط مولر بیان گردید (Muller, 1979). شاخص فوق برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به کار می رود (Audry et al., 2004). شاخص فوق طبق رابطه ۲ محاسبه می گردد. در این شاخص Cn غلظت عنصر در نمونه، Bn غلظت همان عنصر در شیل جهانی می باشد. در این شاخص ضریب ۱.۵ برای حذف احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین شناختی اعمال می گردد (Gonzales

جدول ۳- طبقه بندی شاخص زمین انباشتگی (Luoping et al., 2007)

شدت آلودگی	بدون آلودگی	بدون آلودگی تا متوسط	متوسط	متوسط تا شدید	شدید	شدید تا بی نهایت	بی نهایت
Igeo	کمتر از صفر	بین صفر تا ۱	بین ۱ تا ۲	بین ۲ تا ۳	بین ۳ تا ۴	بین ۴ تا ۵	بیشتر از ۵

در رابطه فوق،  $C_{sample}$  غلظت عنصر مورد بررسی،  $C_{background}$  غلظت عنصر در شیل جهانی می باشد. بر اساس ارزیابی صورت گرفته و تعیین ضریب آلودگی بر اساس شیل جهانی، عناصر مس، سرب، آهن، آرسنیک، استرانسیم، آنتیموان، لیتیم، باریم، آلومینیوم و گوگرد مقدار ضریب آلودگی کمتر از ۱ داشته و با درجه آلودگی پایین تعیین می گردد. کبالت آلودگی متوسط و کروم آلودگی قابل توجهی نشان می دهد. نیکل با آلودگی بسیار بالا در منطقه تعیین گردید (شکل ۴). بر طبق شاخص های قبلی آلودگی های فوق متناسب به زون الترامافیک (بینالود) و معادن کرومیت در شمال منطقه مورد مطالعه می باشد.

#### ۴-۵- ضریب آلودگی (Contamination factor)

این فاکتور برای بیان میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین به کار می رود. شاخص فوق طبق رابطه ۳ محاسبه می گردد. شاخص فوق از تقسیم غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در شیل جهانی به دست می آید (Abraham & Parker, 2008, Adomako et al., 2008).

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}} \quad \text{رابطه ۳}$$

جدول ۴- طبقه بندی ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)

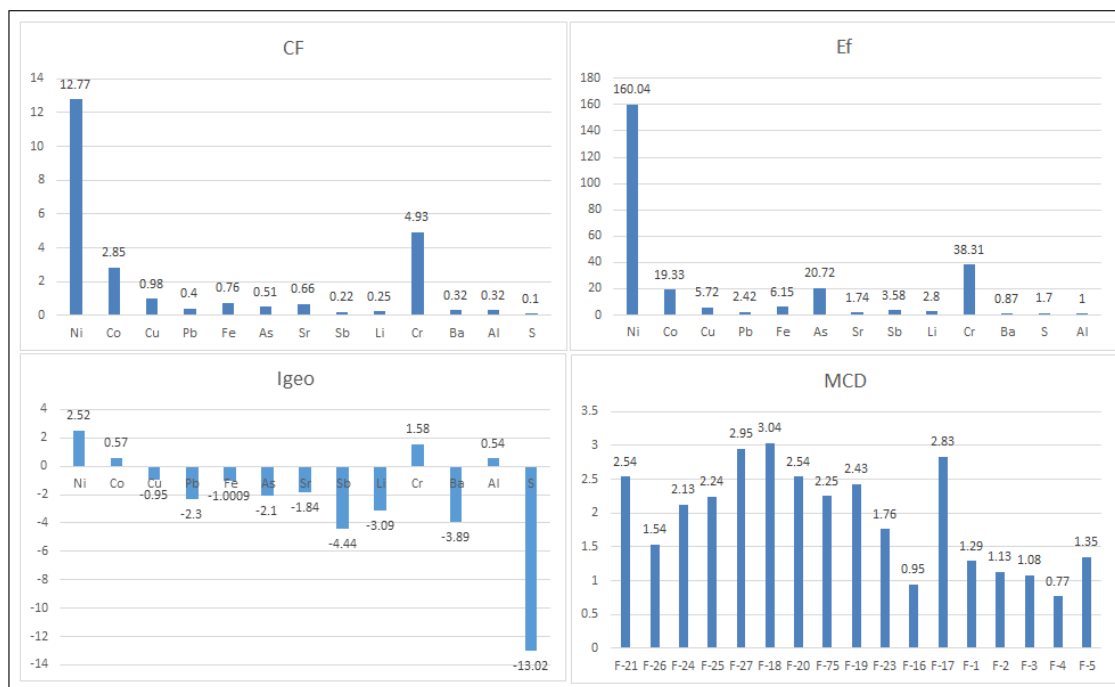
مقدار آلودگی رسوب	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا
CF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶

عناصر می باشد. بررسی ها نشان داد، نمونه های شرق محدوده مورد مطالعه درجه آلودگی اصلاح شده بیشتر از ضریب ۱.۵ دارند و بر اساس طبقه بندی Abraham & Parker, 2008، رسوبات منطقه آلوده می باشد (شکل ۴).

$$MCD = \frac{\sum_{i=0}^n C_i}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

#### ۴-۶- شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (MCD)

برای بررسی میزان آلودگی در رسوبات منطقه از درجه آلودگی اصلاح شده استفاده می شود. ارزیابی درجه آلودگی اصلاح شده (MCD) از طریق رابطه ۴ محاسبه می گردد (Abraham & Parker, 2008). در رابطه فوق  $mCd$  = درجه آلودگی تصحیح شده، C ضریب آلودگی عنصر، n تعداد



شکل ۴- نمودار شاخص‌های آلودگی خاک محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه

دارد. برای اندازه‌گیری میزان سختی آب از طریق رابطه ۵ استفاده شده است.

$$\text{CaCO}_3 = 2.5 \times \text{Ca}^{2+} + 4.1 \times \text{Mg}^{2+} \quad \text{رابطه ۵}$$

ارزیابی سختی آب نشان داد، میزان سختی آب از ۱۱۵ تا ۱۸۴۰  $\text{CaCO}_3$  در حال تغییر می‌باشد. تمام نمونه‌ها به جزء نمونه W10 سختی بالایی دارند. سختی فوق را می‌توان به ماسه سنگ‌های آهکی و سنگ آهک منتسب دانست. بر اساس استاندارد شولر (جدول ۵) سختی آب در رده از قابل قبول تا بد قرار گرفته است. سختی آب در اطراف سنگ بست پایین می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۵- استاندارد شولر برای سختی آب جهت شرب (صداقت، ۱۳۸۶)

کیفیت آب	خوب	قابل قبول	نامناسب	بد	قابل شرب در شرایط اضطراری	غیر قابل شرب
سختی	کمتر از ۲۵۰	۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	بیشتر از ۸۰۰۰

W33 با تیپ و رخساره سولفات کلسیم مشخص شد. وجود نمک‌های سولفیدی در منطقه باعث چنین رخساره‌ای گردیده است (شکل ۵). ترسیم نمودار شولر نشان داد، غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و سختی در نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه در محدوده خوب قرار گرفته‌اند. میزان غلظت مواد جامد محلول در آب از محدوده قابل قبول تا نامطلوب قرار دارند (شکل ۵).

### ۵- ارزیابی کیفیت آب شرب در منطقه مورد مطالعه

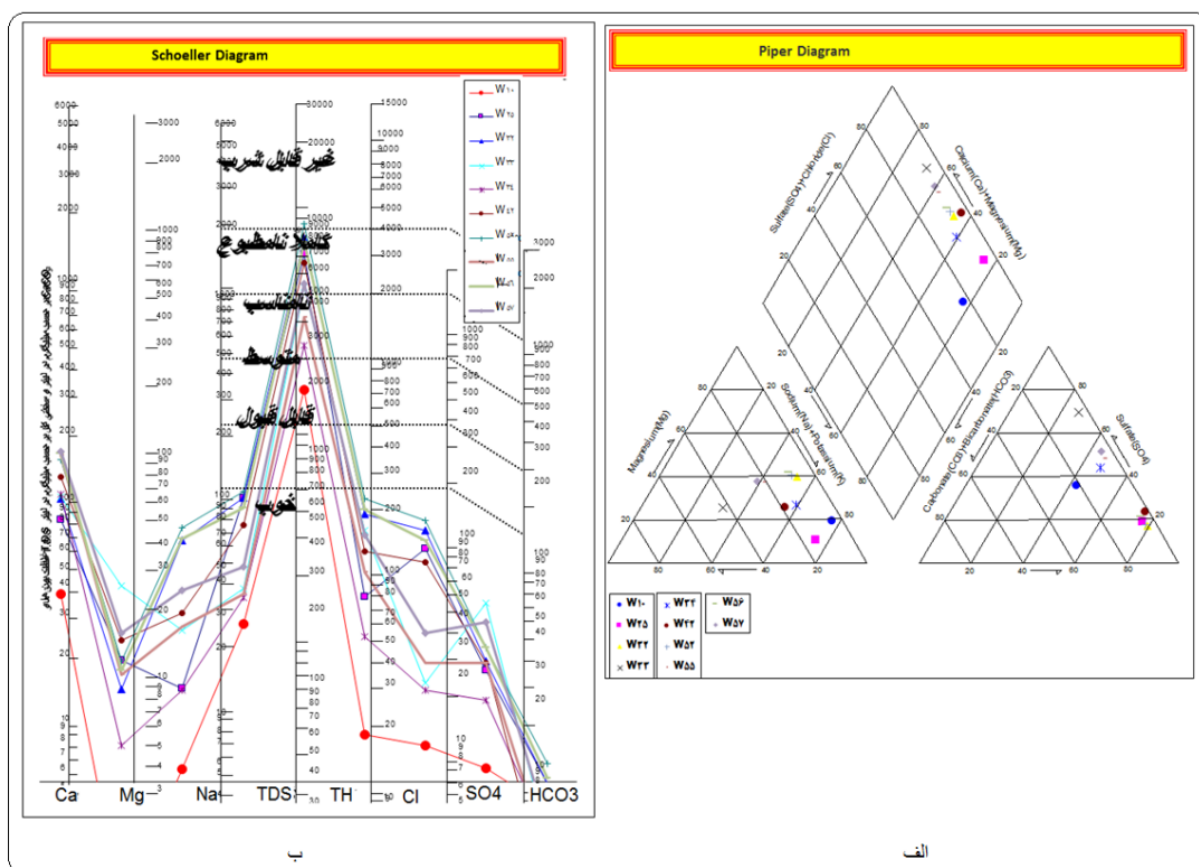
به منظور تعیین کیفیت آب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین برای تعیین کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه از اطلاعات گرافیکی و کیفیت آب بر اساس سختی و شاخص WQI استفاده گردید.

#### ۵-۱- ارزیابی کیفیت آب بر اساس سختی

آب سخت به آبی اطلاق می‌گردد که حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم باشد. شدت سختی آب، به بستر جریان آب در سطح و زیر زمین بستگی

#### ۵-۲- ارزیابی کیفیت آب به روش گرافیکی

برای تعیین تیپ و رخساره منابع آبی در منطقه مورد مطالعه از نمودار Paper استفاده شده است. ترسیم نمودار پایپر نشان از وجود ۳ رخساره در منابع آب منطقه دارد. نمونه‌های W10, W42, W25, W32, W34 و W52 با تیپ و رخساره کلروسدیک تعیین گردید. نمونه‌های W57 و W56 با تیپ و رخساره سولفات سدیک در منطقه مشخص گردید. نمونه



شکل ۵- الف- نمودار پایپر جهت تعیین رخساره آب، ب- نمودار شولر جهت تعیین کیفیت منابع آب در منطقه مورد مطالعه

### ۵-۳- شاخص کیفیت آب WQI

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} 100$$

رابطه ۷

بر این اساس مقدار شاخص WQI هر نمونه آب بر اساس رابطه ۸ به

دست می‌آید.

$$WQI = \sum_{i=1}^8 (W_i * q_i)$$

رابطه ۸

بر اساس جدول ۸، نمونه W10 با کیفیت بسیار عالی و نمونه W34 از لحاظ کیفیت در محدوده خوب قرار گرفته و نمونه‌های W57، W55 در محدوده ضعیف و نمونه‌های W25، W32، W33، W42، W56 در محدوده خیلی ضعیف قرار دارند. این امر نشان از بالا بودن مواد جامد محلول در آب در نمونه‌های فوق است که منجر به ضعیف شدن کیفیت آب دارد. نمونه W52 با رده کیفیت نامناسب، قابل شرب نمی‌باشد. بالا بودن مواد جامد محلول در آب باعث پایین رفتن کیفیت آب گردیده است. منابع آب در محدوده سنگ بست از کیفیت بسیار عالی برخوردار می‌باشد (شکل ۶).

بمنظور تعیین کیفیت آب از لحاظ شرب از شاخص کیفی WQI

استفاده گردید. از این شاخص برای تعیین کیفیت آب استفاده می‌شود (Kumar and Dua, 2009). شاخص فوق بر اساس کاتیون‌ها و آنیون‌های غیرفلزی تعیین می‌گردد. این شاخص برای اولین بار توسط میلر به کار برده شد (Han and Liu, 2004). برای ارزیابی شاخص فوق از غلظت نیترات، کلر، سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و میزان مواد جامد محلول در آب استفاده می‌کنند (جدول ۶). برای این کار، ابتدا وزن نسبی  $W_i$  از رابطه ۶ به دست می‌آید (Han and Liu, 2004, Kumar and Dua, 2009) (جدول ۷).

$$W_i = \frac{W_i}{\sum W_i}$$

رابطه ۶

سپس برای اندازه‌گیری شاخص کیفیت ( $q_i$ ) برای هر مؤلفه، از رابطه ۷

استفاده می‌شود. در رابطه فوق،  $C_i$  غلظت آن مؤلفه در هر نمونه آب،  $S_i$  غلظت استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) می‌باشد.

جدول ۶- میزان غلظت عناصر در منابع آب منطقه مورد مطالعه

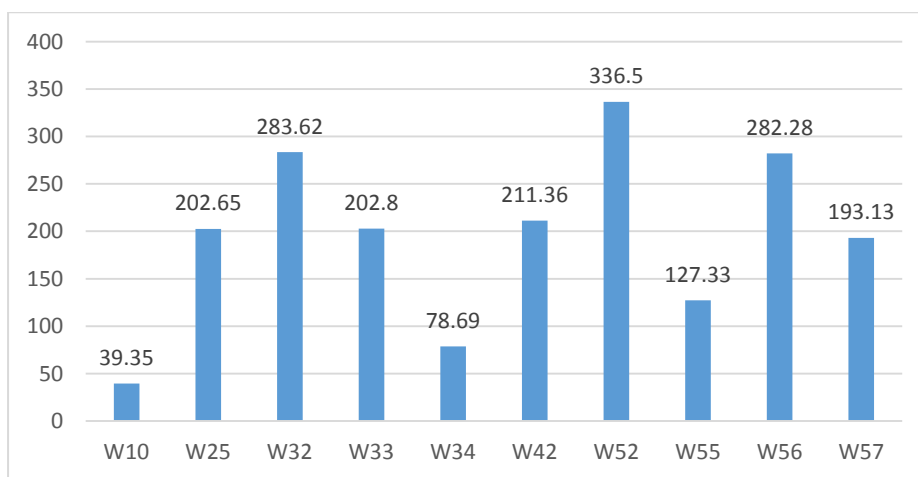
sample	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	TH	TDS
10	0.6	1.7	13.1	5.75	5.2	0	115	972.8
25	10.1	4.3	60	18	55	0	720	4788
32	7.2	23.2	60	20	69	0	1520	5739.3
33	23.5	8.3	20	39	11	0	1590	3238.2
34	3.8	4.2	18	12.6	10.1	0	400	1638
42	12.7	10.1	43	19.6	47	0	1140	4290.3
52	10	26.8	65	23.4	77	0	1840	6759.9
55	8.5	8.7	18.8	19.4	14	0	860	2268
56	9	23.6	53	23.4	61	0	1630	5506.2
57	13.7	13.1	26	31.3	20	0	1340	3376.8
WHO, (2002)	100	50	200	450	250	45	200	600

جدول ۷- وزن نسبی مؤلفه‌های شیمیایی منابع آب

NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	Na	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	TH	TDS	مؤلفه شیمیایی
0.076	0.192	0.076	0.115	0.115	0.115	0.115	0.192	وزن نسبی Wi
45	450	250	200	50	100	200	600	استاندارد WHO

جدول ۸- طبقه‌بندی کیفیت آب براساس شاخص WQI (Kumar and Dua, 2009)

کیفیت آب	بسیار عالی	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف	نامناسب
WQI	کمتر از ۵۰	بین ۵۰ تا ۱۰۰	بین ۱۰۰ تا ۲۰۰	بین ۲۰۰ تا ۳۰۰	بیشتر از ۳۰۰



شکل ۶- نمودار شاخص کیفیت WQI منابع آب منطقه مورد مطالعه



## نتیجه‌گیری

روستای تاریخی سنگ بست از توابع شهرستان فریمان در محدوده استان خراسان رضوی می‌باشد. برونزدهای سنگی منطقه شامل انواع سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی است که سنی از پرکامبرین تا کواترنری را شامل می‌شوند. بررسی مقادیر EC در رسوبات منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، که هدایت الکتریکی در خاک‌های منطقه از ۲۹۱ تا ۶۴۲  $\mu\text{s/cm}$  در تغییر است. بافت خاک در منطقه از نوع بافت ماسه‌ای می‌باشد. در خاک‌های منطقه، نیکل غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید و کروم غنی‌شدگی خیلی شدید نشان می‌دهد. بر اساس ارزیابی‌های اولیه انتظار می‌رفت آلودگی خاک در منطقه مرتبط با عناصر حاصل از تجزیه واحدهای گرانیتوئید باشد، اما از آنجا که عناصر کبالت، نیکل و کروم پاراژنر بوده و در سنگ‌های الترامافیک قرار دارند، لذا حضور عناصر فوق مرتبط با واحدهای الترامافیک (زون بینالود) و معادن کروم شمال محدوده مورد مطالعه می‌باشد. لذا آلودگی فوق در منطقه نابرجا بوده و مرتبط به گرانیتوئیدهای سنگ بست نمی‌باشد. آلودگی کروم و نیکل توسط شاخص زمین‌انباشتگی و ضریب آلودگی نیز تایید گردیده است. بررسی‌ها نشان داد، نمونه‌های شرق محدوده بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده آلوده می‌باشد. بررسی‌های کیفی منابع آب نشان داد، بر اساس استاندارد شولر سختی آب از قابل قبول تا بد قرار گرفته است. سختی آب در اطراف سنگ بست پایین می‌باشد. ترسیم نمودار پایپر نشان از وجود ۳ رخساره کلروسدیک، سولفات سدیک و رخساره سولفات کلسیم در منابع آب منطقه دارد. ترسیم نمودار شولر نشان داد، غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم، کلسیم، سولفات و سختی در نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه در محدوده خوب قرار گرفته‌اند. میزان غلظت مواد جامد محلول در آب از محدوده قابل قبول تا نامطلوب قرار دارند. ارزیابی شاخص WQI نشان داد، منابع آب تنها در محدوده سنگ بست از کیفیت بسیار عالی برخوردار می‌باشند.

## مراجع

- Abraham, G., Parker, R., 2008, "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary", *Auckland, New Zealand, Environmental Monitoring and Assessment* 136, P. 227-238.
- Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, B., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Fianko, J., Akaho, H., 2008, "Determination of toxic elements in (waters and sediments from River Subin in the) Ashanti Region of Ghana", *Environmental Monitoring Assessment* 141, P. 165-175.
- Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005, "Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naples city Port", *Chemosphere, Vol. 61, P.800-809*.
- Altman, L., 1992, "High levels of iron are tied to an increased risk of heart disease", *The New York times, sept 8, pp 28-36*
- Audry, S., Schafer, J., Blanc, G., Jouanneau, J., 2004, "Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)", *Environmental Pollution* Vol. 132, No. 3, P. 413-426.
- Bradli, H.B. (2005). "Heavy metals in the Environment", *Elsevier Ltd, Vol. 6*.
- Chen, C., Kao, C., Chen, F., Dong, D., 2007, "Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor", *Taiwan. Chemosphere Vol. 66, P. 1431-1440*.
- EPA, US, 2004, "Method 9045C".
- Ghrefat, H., Yusuf, N., 2006, "Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi AL-Arab Dam", *Jordan, Chemosphere 65, P. 2114-2121*.
- Gonzales-Macias, C., Schifter, I., Liuch-Cota, D., endez-Rodriguez, L., Hernandez-Vazquez, S., 2006, "Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico", P.22-32.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001, "Trace elements in soils and plants", *Third edition. CRC Press LLC, P.408*.
- Kumar A., Dua A., 2009, "Water quality index for assessment of water quality of river Ravi at Madhopur (India)", *Journal of Environmental Science, 8(1), P.49-57*.
- Hakanson L., 1980, "An ecological risk index for aquatic pollution control", *a sedimentological approach. Water Research, 14: P. 975-1001*.
- Han G., Liu C. Q., 2004, "Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province", *China, Chemical Geology, 204, P.1-21*.
- Lee, C. S.; Li, X. and Shi, W., 2006, "Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics", *Science of the Total Environment, 356(1-3): P.45-61*.
- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D., Kwapuliński, J., 1995, "Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland Water", *Air and Soil pollution, 93, P. 347-365*.
- افشارحرب، ع؛ آقابیاتی، ع؛ مجیدی، ن؛ علوی تهرانی، ن؛ شهرابی، م؛ داوود زاده، م؛ نوایی، آ، ۱۳۶۵، "نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد" وزارت صنایع و معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- صداقت، م، ۱۳۸۶، زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی) انتشارات دانشگاه پیام‌نور، صفحه ۱ تا ۲۸۵.
- واعظی‌پور، ج؛ علوی تهرانی، ن؛ بهروزی، م؛ خلقی، ح، ۱۳۷۰، "نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه" وزارت صنایع و معادن و فلزات، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- واعظی‌پور، م، ج، سهیلی، م، ۱۳۸۷، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فریمان" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کشاورزی، ب، مر، ف، ۱۳۸۸، "زمین‌پزشکی آرسنیک در منطقه معدنی طلای موه افغان" بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، صفحه ۱۰ تا ۱۶.
- نبوی، م، ح، ۱۳۵۷، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران" صفحه ۱ تا ۱۰۹.

- Luoping, Z., Huan, F., Tong, O., Rongyuan, L., Weiqi, C., 2007**, "Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China", *Mar Pollut Bull* 54, p: 974–982.
- Misra, S. G., Dinesh Mani., 2009**, "Soil Pollution", *Published by S.B. Nangia, New Delhi*.22-34.
- Mico', C., L. Recatala', M. Peris, J. Sa'nchez., 2006**, "Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area area by multivariate analysis", *Chemosphere. Vol. 65, P. 863-872*.
- Muller, G., 1979**, "Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veranderungenseit 1971", *Umschau Vol. 79, No. 24, P. 778-783*
- World Health Organization (WHO), 2008**, "Guidelines for drinking water quality".
- Turekian, K., Wedepohl KH, 1961**, "Distribution of the elements in some major units of the eart crust", *Bulletin of Geological Society of America, 72, P.175-92*.
- Wong, S. C.; Li, X. D.; Zhang, G.; Qi, S. H. and Min, Y. S., 2002**, "Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China", *Environmental Pollution, 119: P.33-44*.
- Yalcin, M. G.; Battaloglu, R. and Ilhan, S., 2007**, "Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood", *Kayseri, Turkey. Environ Geol, 53, P.399-415*.
- U.S. Department of Agriculture., 1951**, "Soil survey, manual, U.S. Dep. of Agric", *Handbook, 18, P.1-503*.
- Zhang, W., 2009**, "Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone", *An assessment from different indexes, Environmental Pollution, P.1-11*.

