سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین
۳ و ۴ اسفند ۱۳۹۳
33rd National Geosciences Symposium

بررسی آلایندگی جیوه و فرایندهای کنترل کننده تحرک و جابجایی آن در حوضه سفیدرود

فاطمه علمی[۱]، مرتضی رزم آرا[۲]
۱-دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی،دانشگاه فردوسی مشهد، e.fatemeh@ymail.com
۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده :

در این مطالعه برای بررسی آلودگی رودخانه سفیدرود به جیوه تعداد ۱۱ نمونه آب از مناطق مختلف آن برداشت شد نتایج آنالیز نمونه‌های آب نشان‌دهنده غلظت بیش از حد مجاز جیوه در منابع آبی منطقه است.

رسوبات حوضه سفیدرود، نقش اصلی در برهمکنش‌ها، حمل، سرنوشت و تبدیل گونه‌های جیوه در آبهای رودخانه دارند. عمده-ترین فرآیندهایی که تحرک و جابجایی جیوه را کنترل می‌کنند مرتبط با رسوبات معلق، پدیده‌های جذب، واجذب، جذب جیوه به مواد آلی جامد، تبدیلات ژئوشیمیایی، انحلال فازهای جامد، تشکیل کمپلکس با مواد آلی محلول (DOM)، فرآیندهای انتشار و برهمکنش‌های اکسایش-کاهش (redox) می‌باشند.

این مطالعه نشان داد که عمده مقدار جیوه توسط رسوبات حامل جیوه حمل و به دلیل فرآیندهای انتشار، جیوه به تدریج در آب آزاد می‌شود. در زمان پرآبی، به دلیل تعلیق دوباره رسوبات، مقدار جیوه حمل‌شده افزایش می‌یابد.

کلید واژه ها: سفیدرود، جیوه، رسوبات حوضه، تحرک و جابجایی

Assessment of Mercury contamination in Sefid Rud basin and the processes controlling its mobility and transport

Fateme Elmi[1], Morteza Razm Ara[2]
1- MSc Student Environmental Geology, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor of Mineralogy, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Abstract:

In this research to study mercury contamination, 11 water samples were randomly collected from different parts of Sefid Roud basin. The results of analysis shows the exceeded concentration of mercury in the water bodies. Sediments oof Sefid Roud basin play a major role in fate, reactions, transport and transformations of mercury in water bodies. The main processes which control the mobility and transport of mercury in the water include suspended sediments, sorption, desorption, Hg sorption to solid organic matter, geochemical transformations,

dissolution of solid phase Hg, ,complexation with dissolved organic matter (DOM), diffusive processes and redox reactions.

The study showed that the majority of mercury is carried by sediments containing mercury and mercury can be released gradually due to diffusive processes. This fraction increases during the high flow conditions due to the resuspension of the sediments.

Keywords : Sefid Roud basin, mercury, sediments of basin, mobility and transport

◇◇◇◇◇◇◇

مقدمه :

رودخانه سفیدرود در استان گیلان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های ایران و دومین رود بلند کشور است که رسوبات مسیر رودخانه و دلتای آن محل تجمع فلزات سنگین ازجمله جیوه است. به‌طورکلی آلودگی آب‌ها به جیوه می‌تواند دارای دو منشاء زمین‌زاد و بشرزاد باشد.آلودگی زمین‌زاد این عنصر در اثر انحلال از کانسارها، آنومالی‌ها، باطله‌های معدنی و کانه‌آرایی و نیز فعالیت‌های آتش‌فشانی ایجاد می‌شود، سوزاندن زغال‌سنگ، پسماندهای کارخانه‌ها، کاربردهای علمی، کشاورزی و صنعتی جیوه، از دیگر راه-های ورود این عنصر به محیط و افزایش غلظت آن در آب‌های سطحی و زیرزمینی است (EPA report,1997). مهم‌ترین کانی جیوه سینابر است، سایر کانی‌های جیوه که اغلب سولفوسالت‌هایی هستند که فراوانی زیادی ندارند می‌توانند دارای ارسنیک نیز باشند و عموماً با ذخایر معدنی همراه‌اند (Barringer et al,2013). کانی‌های مانند آمفیبول، اسفن، اسفالریت و سایر سولفیدها نیز می‌توانند کانی میزبان جیوه باشند (Pendias and Mukherjee,2007).

جیوه در محیط و سیستم‌های بیولوژیکی می‌تواند به سه حالت اکسیداسیونی شامل؛Hg(0)، Hg(II) و Hg(I) حضورداشته باشد. اصلی‌ترین گونه‌های جیوه محلول در اکوسیستم‌های آبی شامل؛ جیوه عنصری(Hg0)، کمپلکس‌های Hg(II) و ترکیبات آلی جیوه (متیل‌مرکوری و دی‌متیل‌مرکوری) است. فرم‌های شیمیایی Hg در سیستم‌های آبی شدیداً تحت تأثیر شرایط اکسیداسیون-احیا، pH و همچنین غلظت عوامل کمپلکس‌کننده آلی و غیر آلی است. Hg^0 در آب‌های سطحی عمدتاً از احیای ترکیبات Hg(II) ایجاد می‌شود. Hg(I) تنها به‌صورت (Hg^{2+}_2) در محلول آبی پایدار است و به سهولت به Hg^0 و Hg^{2+} تبدیل می‌شود (Ullrich et al,2001). باکتری‌های احیاکننده سولفات (SRB) و آهن (FeRB) جیوه غیرآلی(Hg(II)) را طی فرایند متیلاسیون به متیل-مرکوری تبدیل می‌کنند (Ravichandran,2003). هیدروکسیدمتیل‌مرکوری (CH_3HgOH)، پایدارترین گونه متیل‌مرکوری در آب شیرین است (Ullrich et al,2001). متیل‌مرکوری، سمی‌ترین شکل جیوه،که به مقدار زیادی ازنظر زیستی در دسترس است، به‌آسانی می‌تواند در بدن ماهی‌ها تجمع یافته و در چرخه غذایی انسان، زیست انباشت پیدا کند. متیل‌مرکوری از طریق گوارش جذب می‌شود و توسط خون به سایر قسمت‌های بدن انسان انتقال می‌یابد. ورود ترکیبات جیوه به بدن انسان در غلظت‌های بالا می-تواند منجر به جهش‌های ژنتیکی، سرطان‌زایی، اختلالات جنینی، آسیب به DNA، نقص ایمنی، آسیب به دستگاه عصبی مرکزی

و... شود (Pendias and Mukherjee,2007). سازمان بهداشت جهانی(WHO,2008)، حد مجاز جیوه در آب را ppb ۶ و آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA,2012)، ppb ۲ تعیین کرده‌اند.

در برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری حوضه سفیدرود، مقدار جیوه بیش از ppb ۱۷ در آب رودخانه گزارش‌شده‌است. ازاین‌رو هدف این مطالعه بررسی حوضه سفیدرود ازنظر آلودگی به فلزسنگین جیوه و بررسی عوامل کنترل کننده تحرک انتقال و آزاد شدن جیوه است.

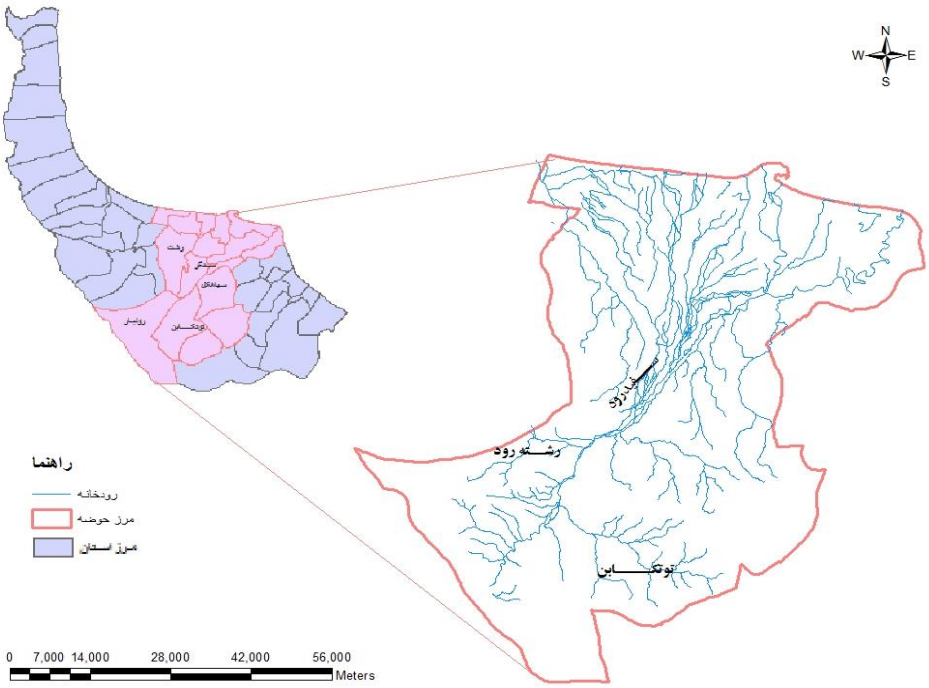
◇◇◇◇◇◇◇

روش تحقیق:

زمین‌شناسی و هیدرولوژی منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه قسمت‌هایی از ورقه‌های زمین‌شناسی یک‌صد هزارم جیرنده، رودبار و رشت در شمال-شمال غربی ایران را در برمی‌گیرد. عمده سنگ‌های منطقه شامل آبرفت‌های کواترنر، توف‌ها و توده‌های نفوذی داسیتی آندزیتی، لاواهای بازالتی و آندزیک، مونزونیت، دیوریت-گابرو، گابرو و دایک‌های آندزیک می‌شود.

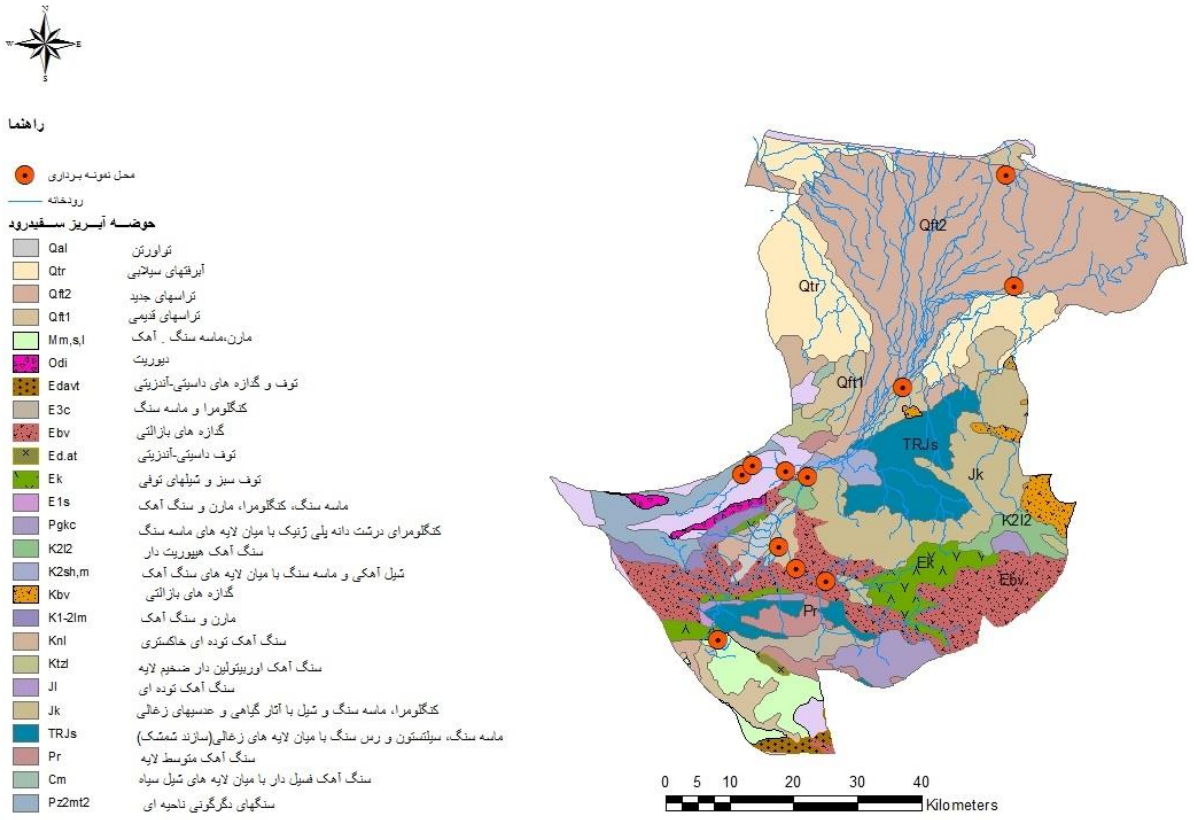
رودخانه سفیدرود از به هم پیوستن دوشاخه اصلی قزل‌اوزن و شاهرود در منجیل تشکیل می‌شود .سرشاخه های آن از استان‌های کردستان و آذربایجان شرقی، زنجان سرچشمه گرفته و در استان گیلان در بندر کیاشهر وارد دریای خزر می‌شود. شیب حوضه از جنوب غربی به سمت شمال شرقی می‌باشد .سفیدرود دارای رژیم هیدرولوژی برفی– بارانی و در تمام‌مسیر تقریباً سیلابی است. برف به‌ویژه در ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر نقش مهمی درآورد بهاره رودخانه دارد .بستر رودخانه را در غالب نقاط رسوب‌های دانه‌درشت تشکیل می‌دهد ولی گاهی در مسیر کوتاهی در دره‌های تنگ ناحیه میانی و حتی پایاب سد منجیل، بستر رودخانه در امتداد قابل‌توجهی سنگی است (کتیرایی،۱۳۸۰). رودخانه سفیدرود در دشت آستانه-کوچصفهان که حوضه میانی گیلان است به همراه رودخانه‌های توتکابن، رشته رود، فیارود، خرشک، زیلکی‌رود و دیسام حوضه سفیدرود را تشکیل می‌دهد (میرمشتاقی و همکاران، ۱۳۹۰) (شکل ۱).



شکل۱. موقعیت حوضه آبریز سفیدرود در استان گیلان

روش نمونه‌برداری

در این مطالعه نمونه‌برداری از منابع آبی به‌صورت ماهانه درطی ماه های آذر و بهمن، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان از پنج نقطه در سفیدرود، سه‌نقطه در توتکابن و سه‌نقطه در رشته رود انجام‌شده است. پارامترهای فیزیکی مانند دما و pH در منطقه مورد مطالعه، اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت جیوه وپارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب، از هر نقطه یک ظرف پلی اتیلن 500 cc آب برداشت شد.پس از فیلترکردن نمونه‌ها، جهت تثبیت فلزات سنگین، به هر ظرف آب، 10 cc اسید نیتریک اضافه شد. در شکل ۲ موقعیت محل‌های نمونه‌برداری نشان داده‌شده است.

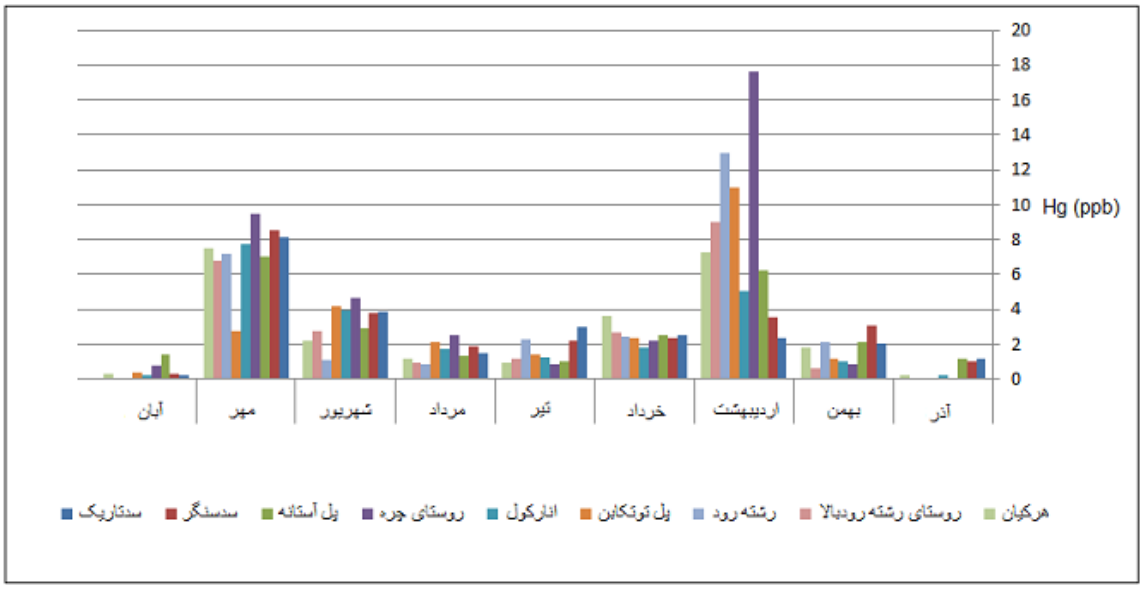


شکل ۲. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری

نتایج و بحث

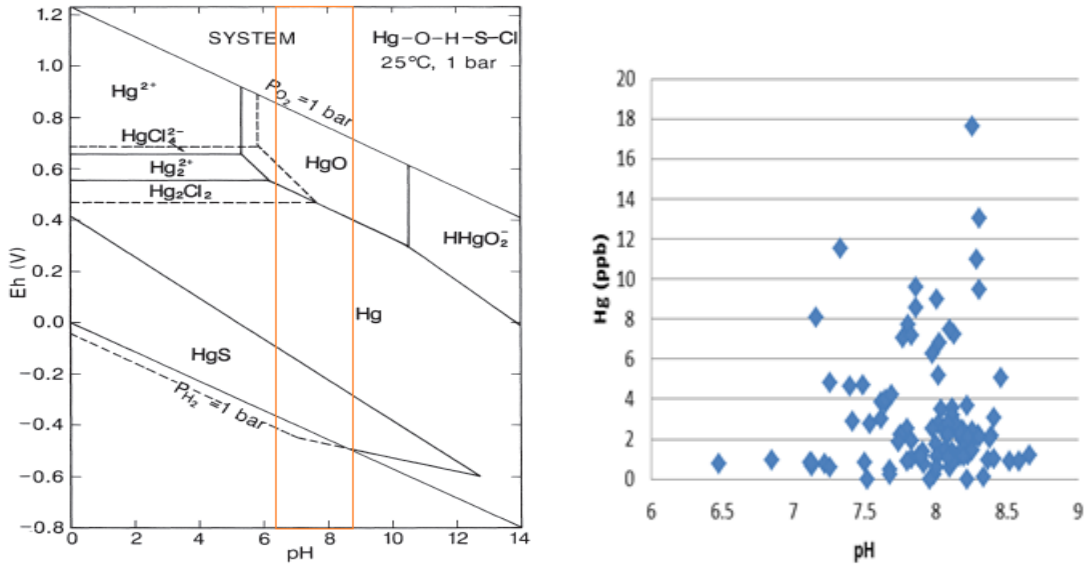
رسوبات محل تجمع بسیاری از مواد فیزیکی و زیستی اند و طیف گسترده ای از مواد شیمیایی را در خود جذب می‌کنند. دلتای سفیدرود نیز مواد حاصل از فرسایش حوضه آبریز (بار رسوبی طبیعی) و بار رسوبی ناشی از فعالیت های انسانی را دریافت می‌کند. آلاینده های فلزی که به رودخانه منتقل می شوند عمدتا در رسوبات ریزدانه تجمع می‌یابند (علی زاده و همکاران، ۱۳۸۴). رسوبات نقش اصلی در پویایی سیستم های آبی طبیعی دارند. تحرک و سرنوشت جیوه تاحدزیادی به رسوبات بستگی دارد (Farrell et al., 1998). توزیع جیوه میان فازهای محلول ویا ذره ای نتیجه رقابت بین لیگاندها در محلول، اجزای کلوئیدی و مواد ارگانیک و غیرارگانیک است.

بر اساس نتایج به دست‌آمده از آنالیز نمونه‌های آب موردمطالعه،که در جدول ۱ آمده است؛ تغییرات غلظت جیوه برای تمامی ایستگاه‌های اندازه گیری‌شده در ماه‌های مختلف رسم شد (شکل ۳). بیشترین غلظت های اندازه‌گیری شده جیوه در اردیبهشت ومهرماه و کمترین مقدار آن در آبان‌ماه بوده است. میانگین مقادیر جیوه در ایستگاه‌های موردمطالعه در اردیبهشت ۷/۵۴ ، در مهر ۷/۸۲ و در آبان ۰/۷۵۴ ppb محاسبه شده است. میانگین pH، TDS (شوری) و دبی در اردیبهشت و مهر بیشتر از آبان بوده است و بیشترین مقدار جیوه در ایستگاه روستای چره مشاهده می‌شود.



شکل۳- تغییرات مقادیر جیوه در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری طی ماه‌های مختلف

مقدار pH اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدوده ۶/۴۸ تا ۸/۶۶ قرار گرفته است. در شکل ۴ این بازه بر روی دیاگرام Eh-pH گونه‌های جیوه مشخص شده است و گونه‌های احتمالی جیوه غیرآلی موجود در نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه را نشان می‌دهد. میانگین pH در ماه‌های اردیبهشت،مهر وآبان به ترتیب ۸/۱۵، ۷/۷۸ و ۷/۲۸ است که می‌تواند نشانگر همبستگی مثبت ضعیف میان انحلال‌پذیری جیوه و pH باشد (شکل ۴).



شکل ۴- دیاگرام Eh-pH گونه های جیوه در آب و روند تغییرات غلظت Hg اندازه گیری شده در منطقه موردمطالعه بر اساس pH

میانگین دبی اندازه گیری شده برای اردیبهشت، مهر و آبان به ترتیب 12.03، 12.01 و 8.07 m3/s است وهمبستگی مثبتی با میانگین جیوه در این ماه ها دارد این مسئله نشان می دهد در ماه‌های پرآبی با افزایش فرسایش حوضه و بالتبع افزایش مواد جامد معلق در آب(TDS) میانگین جیوه اندازه گیری شده نیز افزایش یافته است.

جدول۱- نتایج آنالیز نمونه های آب؛ Hg(برحسب ppb)، DO و TDS (برحسب mg/l)

	نام ایستگاه	پارامتر	آذر۸۶	بهمن۸۶	اردیبهشت ۸۷	خرداد۸۷	تیر۸۷	مرداد۸۷	شهریور۸۷	مهر۸۷	آبان۸۷
سفید رود	سد منجیل	Hg	1.45	2.15	2.74	3.18	1.92	1.02	4.67	11.5	1.13
		PH	8.26	8.39	8.02	8.12	8.19	8.11	7.49	7.33	7.5
		TDS	1147	1473	1225	1224	1183	1299	1398	1440	1427
	سد تاریک	Hg	1.14	2.01	2.38	2.54	3	1.53	3.84	8.1	0.2
		PH	7.88	8.38	8.15	8.06	7.62	8.2	7.62	7.16	7.12
		TDS	784	1332	1216	1232	840	1106	940	689	248
	سد سنگر	Hg	1.05	3.07	3.57	2.36	2.2	1.91	3.76	8.56	0.3
		PH	8.09	8.41	8.12	8.08	7.77	7.83	7.65	7.86	6.48
		TDS	336	868	1200	1161	667	995	871	644	367
	پل آستانه	Hg	1.14	2.1	6.27	2.54	1.02	1.35	2.91	7.02	1.4
		PH	7.9	8.23	7.98	7.98	7.83	7.91	7.42	7.77	7.13
		TDS	302	592	1089	1051	815	1022	818	587	537
	پل کیاشهر	Hg	1.15	2.24	5.2	3.47	0.6	1.49	4.84	9.57	2
		PH	8.2	7.75	8.02	8.04	8.1	8.07	7.26	7.86	6.85

		TDS	359	926	1139	981	824	1041	767	599	547
سیاهرود توتکابن	روستای چره	Hg	n.d	0.86	17.6	2.22	0.882	2.53	4.63	9.49	0.8
		PH	8.22	8.59	8.26	8.3	8.52	7.8	7.4	8.31	7.8
		TDS	322	340	307	327	313	316	273	272	290
	انارکول	Hg	0.214	0.98	5.07	1.83	1.25	1.76	3.96	7.71	0.2
		PH	7.99	8.41	8.46	8.26	8.03	8	7.65	7.81	7.92
		TDS	341	330	325	337	355	382	357	314	227
	پل توتکابن	Hg	0.101	1.19	10.98	2.39	1.4	2.13	4.21	2.74	0.35
		PH	8.34	8.66	8.29	8.26	8.12	8.08	7.69	7.54	7.86
		TDS	312	315	365	364	365	410	400	326	238
رشته رود	رشته رود	Hg	n.d	2.1	13	2.44	2.25	0.875	1.1	7.16	n.d
		PH	7.96	8.31	8.31	8.19	8.18	8.12	8.01	7.83	7.13
		TDS	207	203	232	240	212	244	238	235	166
	روستای رشته رودبالا	Hg	n.d	0.6	8.97	2.7	1.15	0.971	2.74	6.8	n.d
		PH	7.52	8.01	8.01	8.15	8.17	8.37	8.09	8.03	7.22
		TDS	181	178	213	227	207	235	232	203	122
	هرکیان	Hg	0.227	1.83	7.25	3.65	0.92	1.17	2.21	7.5	0.3
		PH	7.68	7.74	8.13	8.22	8.13	8.23	8.09	8.1	7.26
		TDS	173	164	9.6	223	218	248	243	210	120

به طورکلی ماده آلی، شوری، مقدار و ماهیت ذرات و pH نقش مهمی در جذب جیوه غیرآلی (Hg^{2+}) و متیل‌مرکوری توسط رسوبات دارد. اجزای ماده آلی محلول (DOM) که ترکیبات مستحکمی را با گونه های جیوه تشکیل می‌دهند نیز جذب آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Pelcova et al., 2009).

◇◇◇◇◇◇◇

نتیجه گیری :

میانگین غلظت جیوه در منابع آبی منطقه‌موردمطالعه بیشتر از حدمجاز است و در ایستگاه روستای چره به بیشترین حد خود(17.6 ppb) می‌رسد.

میانگین جیوه اندازه گیری شده در ماه های اردیبهشت و مهر بسیار بیشتراز آبان است که نشان می‌دهد با افزایش رواناب‌های حوضه در ماه‌های پرآبی وبه دنبال آن افزایش دبی حوضه، رسوبات جیوه بیشتری را به آب حمل کرده‌اند.

رفتار جیوه در محیط های آبگین به گونه شیمیایی آن، فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی مختلف و فرایندهای کنترل کننده تحرک و جابجایی از قبیل؛ انحلال فازهای جامد،تبدیلات ژئوشیمیایی، تشکیل کمپلکس با مواد آلی محلول، برهمکنش‌های اکسایش-کاهش و... بستگی دارد. رسوبات نیز از طریق پدیده جذب و واجذب نقش بسیار مهمی در تحرک و سرنوشت گونه های جیوه موجود در آب دارند.

◇◇◇◇◇◇◇

منابع فارسی :

علی زاده کتک لاهیجانی، ح.، کامران پوری، ع.، امینی، ع." آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دلتای سفیدرود". مجله علوم و فنون دریایی ایران، ۳-۴ (۴)، ۵۲-۴۳.

میرمشتاقی، م.، امیرنژاد، ر.، خالدیان، م. (۱۳۹۰). "بررسی کیفیت آب رودخانه سفیدرود و پهنه بندی آن با استفاده از شاخص¬های کیفی NSFWQI و OWQI." فصلنامه علمی-پژوهشی تالاب، ۹، ۳۴-۲۳.

کتیرایی، غ.، "کاربردGIS برای پهنه بندی سیلاب رودخانه¬ها، مطالعه موردی: رودخانه سفیدرود. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه". دانشکده صنعت آب و برق تهران.

◇◇◇◇◇◇◇

References:

Pelcova, P., Margetinova, J., Vaculovic, T., Komarek, J., Kuban,V., 2009. *"Adsorption of mercury species on river sediments-effects of selected abiotic parameters"*. Central European journal of chemistry, 8 (1), 116-125.

Farrell, R.E., Huang,P.M., Gemida, J.J., 1998. *"Biomethylation of mercury(II) adsorbed on mineral colloids common in freshwater sediments".* Applied organometallic chemistry, 12, 613-620.

Ravichandran, M., 2003. *"Interactions between mercury and dissolved organic matter: a review".* Chemosphere 55. 319–331.

Ullrich, S.M., Tanton, T.W., Abdrashitova, S.A., 2001. *"Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation"*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 31 (3), 241-293.

United states environment protection agency, 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories

United states environment protection agency, 1997, Mercury study report to congress, vol.1.

Barringer, J.L., Szabo, Z., Reilly, P.A., 2013. *"Occurrence and mobility of mercury in groundwater".*

Kabata-pendias, A. and Mukherjee, A.B., 2007. *"Trace elements frome soil to human".* Springer

World Health Organization, 2008. Guidelines for drinking-water quality, vol.1.