

بررسی فرایندهای جذب و دفع و لخته‌سازی در حین اختلاط آب شور و شیرین (دریای خزر)

عبدالرضا کرباسی^۱، مجتبی فخرایی^{۲*}، علیرضا واعظی^۳، ابوالفضل بشیری^۴، مهدی حیدری^۵

۱. دانشیار مهندسی محیط‌زیست دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران، akarbasi@ut.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه مینه‌سوتا آمریکا.
۳. دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران، al.vaezi@ut.ac.ir
۴. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران، ab_bashiri@ymail.com
۵. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- منابع آب دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران، mehdiheidary@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۱۶

تاریخ وصول مقاله: ۹۳/۲/۱۶

چکیده

مطالعه در خصوص چرخه ژئوشیمیایی فلزات سنگین در محیط‌های آبی و اثر آن به خصوص در محیط‌های حساس اکولوژیکی چون مصب‌ها همواره مورد دقت بوده است. مصب‌ها که به‌منزله فیلتر طبیعی میان آب شور و شیرین عمل می‌کنند، مکان بسیار مناسبی برای زندگی گونه‌های مختلف آبی به حساب می‌آیند. از جمله فرایندهای مهمی که هنگام اختلاط مصبی رخ می‌دهند، لخته‌سازی، جذب و دفع است. با توجه به نقش مهم فرایند لخته‌سازی در ایجاد منبع غذایی مناسب برای موجودات آبی و کاهش بار آلودگی ورودی به محیط‌های آبی بازی، مطالعه حاضر مکانیزم لخته‌سازی و جذب و دفع فلزات سنگین از طریق ذرات معلق را در مصب رودخانه کرگان‌رود بررسی می‌کند. بر اساس روند لخته‌سازی ($Mn(94.8\%) < Zn(60.04\%) < Pb(36.63\%) < Cu(30.32\%)$) فلزات سنگین $Ni(14.84\%)$ ، Zn ، Mn و Pb دارای رفتار غیرخوددارند و فلز نیکل دارای رفتار نسبتاً خوددار است. بر پایه نتایج از آزمایش جذب، از میان فلزات مورد مطالعه مس دارای بالاترین نرخ جذب از طریق ذرات معلق است. همچنین، طی اختلاط آب رودخانه کرگان‌رود با آب دریای خزر در مصب شاهد رفتار دفعی فلز سرب بودیم. طبق نمودار خوشه‌ای لخته‌سازی فلز منگنز به طور قابل توجهی از طریق $NaClO$ کنترل شد. همچنین، طبق تحلیل آماری می‌توان گفت روند جذب فلزات Cu ، Mn و Zn از طریق عامل NO_3 کنترل شده است. نتایج تفکیک شیمیایی چهار مرحله‌ای نشانگر آن بود که غلظت بالای از فلزات سنگین مس، منگنز، روی و نیکل در فاز کربناتی و سولفیدی است.

کلیدواژه

دریای خزر، ذرات معلق، لخته‌سازی، فلزات سنگین، مصب.

پرتولیدترین اکوسیستم‌های دریایی اند (Pritchard, 1967; Currier and Small, 2005; Viswanathan and Chakrapan, 2010). در سال‌های اخیر، ژئوشیمی

۱. سرآغاز
مصب‌ها به‌منزله نقطه تلاقی آب شور و شیرین شناخته می‌شوند و به جهت تنوع بالای گیاهی و جانوری از

محیط‌زیستی به طور گسترده‌ای در مطالعات وضعیت آلودگی پهنه‌های آبی استفاده شده است (کرباسی، عبدالرضا، ۱۳۷۹).

فلزات سنگین که به صورت محلول یا غیرمحلول از طریق رودخانه وارد دریا می‌شوند در نتیجه اختلاط مصبی تحت تأثیر واکنش‌های مختلفی نظیر لخته‌سازی و جذب و دفع قرار می‌گیرند (Boyle, et al., 1977; Samarghandi, et al., 2007). طی فرایند لخته‌سازی فلزات محلول در آب به فاز غیرمحلول منتقل می‌شوند (Sholkovitz, 1976; Karbassi, et al., 2007). به طور کلی جذب فرایندی است که طی آن بخشی از فاز محلول به غیرمحلول ملحق می‌شود (Dojlido, 1993). تحقیقات گسترده نشان می‌دهد تفکیک شیمیایی روشی مناسب برای برآورد آلودگی، پی‌بردن به منشأ عناصر (زمینی و غیرزمینی) و نوع پیوند آن‌ها با فازهای مختلف است (Karbassi, et al., 2010; Vaezi, et al., 2014). با در اختیار داشتن غلظت زمینه و غلظت زمان حال فلزات سنگین در رسوبات یا ذرات معلق و با استفاده از فرمول‌های تعیین شدت آلودگی می‌توان به شاخص انباشت ژئوشیمیایی در رسوبات دست یافت (کرباسی و همکاران، ۱۳۷۴). بر اساس نتایج تحقیقات گسترده عواملی نظیر شوری، pH، اکسیژن محلول و ... می‌توانند در فرایند لخته‌سازی که در مراحل اولیه اختلاط (شوری‌های ۵-۰ قسمت در هزار) رخ می‌دهد اثر بگذارند (Duinker, 1980; Karbassi, et al., 2013; ValikhaniSamani, et al., 2014).

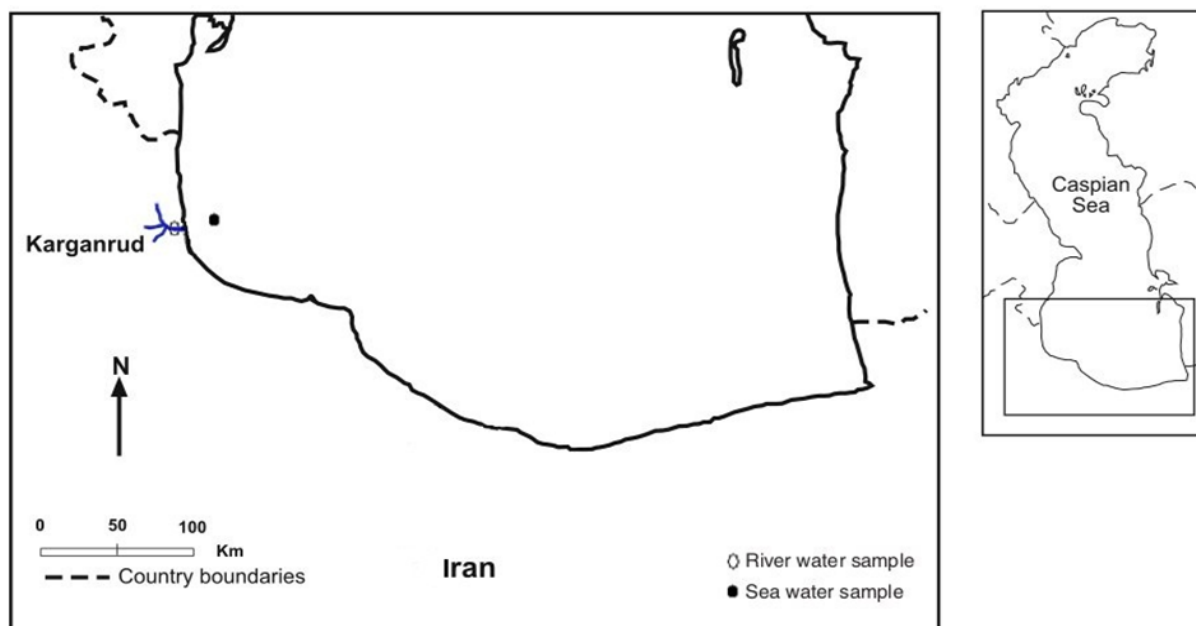
Turner و همکاران (۱۹۹۸) طی مطالعاتی بر خصوصیات جذبی و دفعی عنصر Ni در مصب یک رودخانه به این نتیجه رسیدند که جذب Ni در ذرات متأثر از عواملی همچون pH، نوع ذره، شوری و میزان مواد آلی است. مطالعه حاضر فرایند لخته‌سازی و جذب و دفع را هنگام اختلاط رودخانه کرگان‌رود و دریای خزر بررسی می‌کند.

اطلاعات بسیاری پیرامون فرایندهای لخته‌سازی و جذب و دفع فلزات سنگین در مصب رودخانه‌های ورودی به دریای خزر در دست نیست. بنابراین، مطالعات و آزمایش‌های بیشتر در این زمینه در جهت ارائه تصویر بهتری از این فرایندها مورد نیاز است. مطالعه حاضر به عوامل مؤثر در فرایند لخته‌سازی و جذب و دفع فلزات سنگین روی ذرات معلق رودخانه کرگان‌رود در محل ورودی دریای خزر می‌پردازد. همچنین، برای نخستین بار اثر عامل NaClO روی فرایند لخته‌سازی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین، در این تحقیق پارامترهایی نظیر DOC، NO₃ و pH به منظور شناخت تأثیر آن‌ها در این فرایندها اندازه‌گیری شدند.

۲. مواد و روش بررسی

کرگان‌رود با متوسط آبهی سالانه حدود ۸ متر مکعب در ثانیه، بزرگ‌ترین رودخانه شهرستان تالش است که به دریای خزر می‌ریزد. به منظور انجام آزمایش لخته‌سازی، نمونه آب رودخانه و ذرات معلق در فاصله ۱۶ کیلومتری بالادست مصب و نمونه آب دریا در فاصله ۲۰ کیلومتری نسبت به دهانه مصب جمع‌آوری شد (شکل ۱).

نمونه آب رودخانه در همان روز از طریق فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر می‌شود و ذرات معلق به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه در آون نگهداری می‌شوند. در ادامه مقادیری از آب دریا به مقدار معینی از آب رودخانه در ۸ آکواریوم برای حصول شوری‌های مختلف از ۰/۵ تا ۳ قسمت در هزار اضافه شد. همچنین، به منظور بررسی اثر NaClO در فرایند لخته‌سازی مقادیر ۵۰۰ تا ۵۰۰۰۰ پی پی ام به ۸ آکواریوم به طور جداگانه افزوده می‌شود. پس از ۲۴ ساعت رهاسازی، نمونه‌ها از طریق فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر می‌شوند. در ادامه فیلترها پس از هضم با اسید به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین به دستگاه ICP-AES تزریق می‌شوند.



شکل ۱. محل نمونه‌برداری از دریای خزر و رودخانه کرگان‌رود

جدول ۱. مواد و روش استفاده‌شده در آزمایش تفکیک

مرحله	ماده، غلظت، زمان	فاز جداشونده
۱	آب مقطر در دمای اتاق	پیوندهای بسیار سست
۲	استیک اسید (CH ₃ COOH)، ۰/۱۱ مول، ۱-۱۶ ساعت	فاز سست و کربناتی
۳	NH ₂ OH.HCl، ۰/۵ مول، ۱-۱۶ ساعت	فاز سولفیدی
۴	H ₂ O ₂ ، ۸/۸ مول، یک ساعت در دمای اتاق + دو ساعت در دمای ۸۵ درجه + پیوندهای آلی-فلزی آمونیم استات (CH ₃ COO NH ₄)، ۱ مول، ۱-۱۶ ساعت	

برآورد شدت آلودگی از شاخص I_{POLL} استفاده شد (Karbassi, et al., 2005):

$$I_{POLL} = \log_2 \left(\frac{B_n}{L_p} \right) \quad (1)$$

I_{POLL} = شاخص آلودگی؛

B_n = غلظت فلز سنگین در مطالعه حاضر؛

L_p = غلظت طبیعی فلز سنگین.

با توجه به جدول ۲ شش رده آلودگی برای شاخص

I_{POLL} در رسوبات در نظر گرفته می‌شود.

همچنین، به منظور مطالعه مکانیزم جذب و دفع نیز ۸ آکواریوم شامل مقادیر معینی از آب رودخانه، آب دریا و حدود ۵ گرم از ذرات معلق تدارک دیده می‌شوند. سپس، بعد از ۲۴ ساعت رهاسازی، ذرات معلق هر آکواریوم جمع‌آوری و برای تحلیل مقادیر فلزات سنگین از دستگاه ICP-AES استفاده می‌شود. در صورت مشاهده جذب مطالعه تفکیک شیمیایی ۴ مرحله‌ای (جدول ۱) انجام می‌شود (Morillo, et al., 2002).

برای تحلیل نتایج از تحلیل آنالیز خوشه‌ای (روش وزنی) استفاده می‌شود (Davis, 1973). همچنین، برای

جدول ۲. رده بندی خاک بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر و شاخص آلودگی

شاخص زمین انباشتگی	درجه آلودگی
کمتر از صفر	غیر آلوده
۱ - ۰	غیر آلوده تا کمی آلوده
۲ - ۱	کمی آلوده
۳ - ۲	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۴ - ۳	خیلی آلوده
۵ - ۴	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
بزرگتر از ۵	شدیداً آلودگی

۳. نتایج

یا فلز جذب شده از طریق ذرات در هر مرحله از مقادیر آن در مرحله پیشین کم شود. مقادیر ذکر شده در جداول ۵ و ۶ با لحاظ شرایط طبیعی مصب محاسبه شده اند.

جداول ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده مقادیر فلزات سنگین در لخته ها و ذرات معلق در شرایط آزمایشگاهی اند. برای لحاظ کردن شرایط طبیعی مصب باید مقدار لخته تولید شده

جدول ۳. مقادیر لخته سازی فلزات در شرایط آزمایشگاهی

نمونه	Cu(μg/L)	Mn(μg/L)	Ni(μg/L)	Zn(μg/L)	Pb(μg/L)	pH	S(%)
آب رودخانه	۴۴	۳۶	۳۸	۱۲۷	۲۲	۸/۹	۰/۲۱
۱	۳/۷۴	۱/۴۸	۲/۰۵	۳۳/۱۷	۰/۶۸	۸/۶۸	۰/۵
۲	۶/۰۹	۴/۵۴	۲/۸۶	۵۳/۷۴	۱/۱۲	۸/۶۴	۰/۸
۳	۱۱/۸۳	۸/۱۴	۱/۱۳	۶۰/۸۵	۱/۸۲	۸/۵۹	۱/۲
۴	۸/۲۶	۶/۱۷	۱/۰۲	۶۵/۲۹	۳/۱۴	۸/۵۷	۱/۵
۵	۱۲/۷۵	۱۴/۳۸	۴/۱۹	۱۷/۳۴	۱/۶۷	۸/۵۵	۱/۸
۶	۹/۶۳	۲۱/۸۱	۲/۳۴	۲۰/۶۸	۷/۷۶	۸/۵	۲/۲
۷	۸/۴۵	۱۷/۰۳	۴/۷۶	۷۳/۰۶	۱/۰۵	۸/۴۸	۲/۵
۸	۱۳/۳۳	۳۴/۰۹	۵/۶۳	۷۶/۲۴	۷/۸۱	۸/۴۵	۳

جدول ۴. مقادیر فلزات سنگین در ذرات معلق رودخانه کرگان رود

نمونه	Cu(μg/L)	Mn(μg/L)	Ni(μg/L)	Zn(μg/L)	Pb(μg/L)	pH	S(%)
آب رودخانه	۴۸	۸۸۰/۲	۸۳	۷۴	۴۵/۶	۸/۹	۰/۲۱
۱	۵۲/۹۷	۸۸۱/۶۸	۸۴/۷۷	۷۹/۴۶	۳۸/۰۷	۸/۶۲	۰/۵
۲	۵۹/۰۳	۸۸۳/۵۳	۸۵/۹۶	۸۴/۴۱	۳۷/۲۷	۸/۶	۰/۸
۳	۶۱/۳۴	۸۷۰/۳۳	۸۵/۰۴	۸۳/۰۷	۳۶/۱۳	۸/۵۷	۱/۲
۴	۶۱/۱	۸۶۵/۹۳	۸۸/۳	۸۱/۹۶	۳۶/۱۵	۸/۵۶	۱/۵
۵	۶۰/۴۶	۸۵۱/۸۵	۸۹/۵	۸۱/۶۴	۳۶/۱۶	۸/۵۴	۱/۸
۶	۶۰/۲۵	۸۸۴/۸۵	۸۷/۸۹	۸۱/۱۲	۳۶/۲۷	۸/۵۳	۲/۲
۷	۶۱/۶۸	۸۸۵/۷۶	۸۷/۸۵	۷۹/۴	۳۶/۲۸	۸/۵۱	۲/۵
۸	۶۱/۴۳	۸۸۶/۱۵	۸۷/۴۹	۷۸/۷۹	۳۵/۴۳	۸/۴۸	۳

جدول ۵. مقادیر واقعی لخته‌سازی فلزات سنگین در رودخانه کرگان‌رود

NaClO(ppm)	NO ₃	DOC(ppm)	S(%)	pH	Pb(μg/L)	Zn(μg/L)	Ni(μg/L)	Mn(μg/L)	Cu(μg/L)	نمونه
	۰/۳۱	۱/۹۲	۰/۲۱	۸/۹	۲۲	۱۲۷	۳۸	۳۶	۴۴	آب رودخانه
۵۰۰	۲/۱۲	۲/۹۵	۰/۵	۸/۶۸	۰/۶۸(۳/۱۰)	۳۳/۱۷(۲۶/۱۲)	۲/۰۵(۵/۴۱)	۱/۴۸(۴/۱۳)	۳/۷۴(۸/۵)	۱
۱۰۰۰	۱/۶۵	۳/۰۶	۰/۸	۸/۶۴	۰/۴۴(۲/۰۲)	۲۰/۵۷(۱۶/۰۲)	۰/۸۱(۲/۱۳)	۳/۰۶(۸/۵۰)	۲/۳۵(۵/۳۹)	۲
۲۰۰۰	۱/۱۲	۵/۸۷	۱/۲	۸/۵۹	۰/۷۰(۳/۲۲)	۷/۱۱(۵/۶۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۳/۶۰(۱۰/۰۲)	۵/۷۴(۱۳/۰۶)	۳
۵۰۰۰	۰/۸۶	۷/۰۲	۱/۵	۸/۵۷	۱/۳۲(۶/۰۲)	۴/۴۴(۳/۵۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۴
۱۰۰۰۰	۰/۸۱	۷/۴۵	۱/۸	۸/۵۵	۰/۰۰(۰/۰۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۱/۳۳(۳/۵۰)	۶/۲۴(۱۷/۳۴)	۰/۹۲(۲/۱۰)	۵
۲۰۰۰۰	۰/۵۸	۸/۹۶	۲/۲	۸/۵	۴/۶۲(۲۱/۰۲)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۷/۴۳(۲۰/۶۵)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۶
۳۰۰۰۰	۰/۴۱	۹/۸۱	۲/۵	۸/۴۸	۰/۰۰(۰/۰۰)	۷/۷۷(۶/۱۲)	۰/۵۷(۱/۵۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۰/۰۰(۰/۰۰)	۷
۵۰۰۰۰	۰/۴	۲۲/۳۴	۳	۸/۴۵	۰/۰۵(۰/۲۵)	۳/۱۷۵(۲/۵۰)	۰/۸۷(۲/۳۰)	۱۲/۲۸(۳۴/۱۲)	۰/۵۸(۱/۳۲)	۸
					۷/۸۳(۳۶/۶۳)	۷۶/۲۵(۶۰/۰۴)	۵/۶۳(۱۴/۸۴)	۳۴/۱۳(۹۴/۸۰)	۱۳/۳۴(۳۰/۳۲)	مجموع

جدول ۶. مقادیر واقعی جذب فلزات سنگین از طریق ذرات معلق رودخانه کرگان‌رود

NO ₃	DOC(ppm)	S(%)	pH	Pb(μg/L)	Zn(μg/L)	Ni(μg/L)	Mn(μg/L)	Cu(μg/L)	نمونه
۰/۳۱	۱/۹۲	۰/۲۱	۸/۹	۴۵/۶	۷۴	۸۳	۸۸۰/۲	۴۸	آب رودخانه
۲/۰۵	۲/۹	۰/۵	۸/۶۲	۰/۰۰	۵/۴۶	۱/۷۷	۱/۴۷	۴/۹۷	۱
۱/۴۸۵	۳/۱۲	۰/۸	۸/۶	۰/۰۰	۴/۹۵	۱/۱۹	۱/۸۶	۶/۰۷	۲
۱/۲	۵/۸	۱/۲	۸/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۲۹	۳
۰/۸۵۳	۷/۰۶	۱/۵	۸/۵۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰	۲/۳۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۴
۰/۸۲۴	۷/۵۵	۱/۸	۸/۵۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰	۱/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۵
۰/۶۱۲	۸/۸۹	۲/۲	۸/۵۳	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۳۲	۰/۰۰	۶
۰/۴۳۳	۹/۸	۲/۵	۸/۵۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۳۴	۷
۰/۴۱۴	۲۲/۵	۳	۸/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۰۰	۸
				۰/۱۴۶	۱۰/۴۱	۶/۵۸	۵/۹۶	۱۳/۶۸	مجموع

نتایج، بیشترین جذب فلزات به جز فلز Pb در شوری بین ۰/۵ تا ۱/۵ قسمت در هزار اتفاق افتاده است و فلزات Cu (13.68 mg/kg) و Pb (0.146 mg/kg) بالاترین و پایین‌ترین میزان جذب را دارند. با توجه به جدول ۶ و طبقه‌بندی کیفی آلودگی، غلظت فلزات بین آلودگی شدید تا بسیار شدید است. همچنین، بر اساس شاخص J_{POLL}، فلز Ni در طبقه آلودگی بسیار شدید و فلزات Mn, Zn و Cu در طبقه آلودگی شدید قرار می‌گیرند (جدول ۷).

بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین مقدار لخته به ترتیب مربوط به Mn (94.8%) و Ni (14.84%) است. حدود ۳۶ درصد از فلز Pb طی فرایند لخته‌سازی از فاز محلول به غیر محلول منتقل می‌شود و بخش عمده‌ای از لخته‌سازی فلز مس در مراحل اولیه اختلاط اتفاق می‌افتد. غلظت مواد آلی (DOC) در رودخانه کرگان‌رود برابر با ۱/۹۲ میلی‌گرم بر لیتر است که تا ۲۲/۳۴ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد و با افزایش گرادیان شوری همراه است که بیانگر منشأ دریایی مقدار مواد آلی (DOC) است. طبق

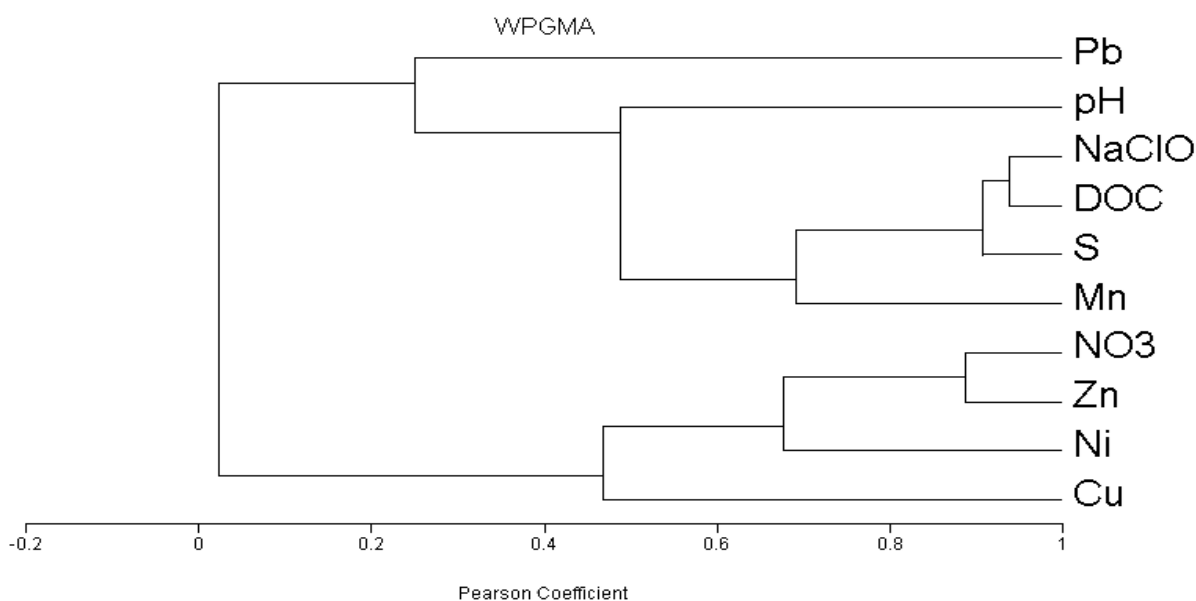
جدول ۷. مقادیر شاخص شدت آلودگی I_{POLL} در ذرات معلق رودخانه کرگان‌رود

عنصر	روی	نیک	منگنز	مس
I _{POLL}	۴/۲۹	۵/۰۶	۴/۷۳	۴/۶۱

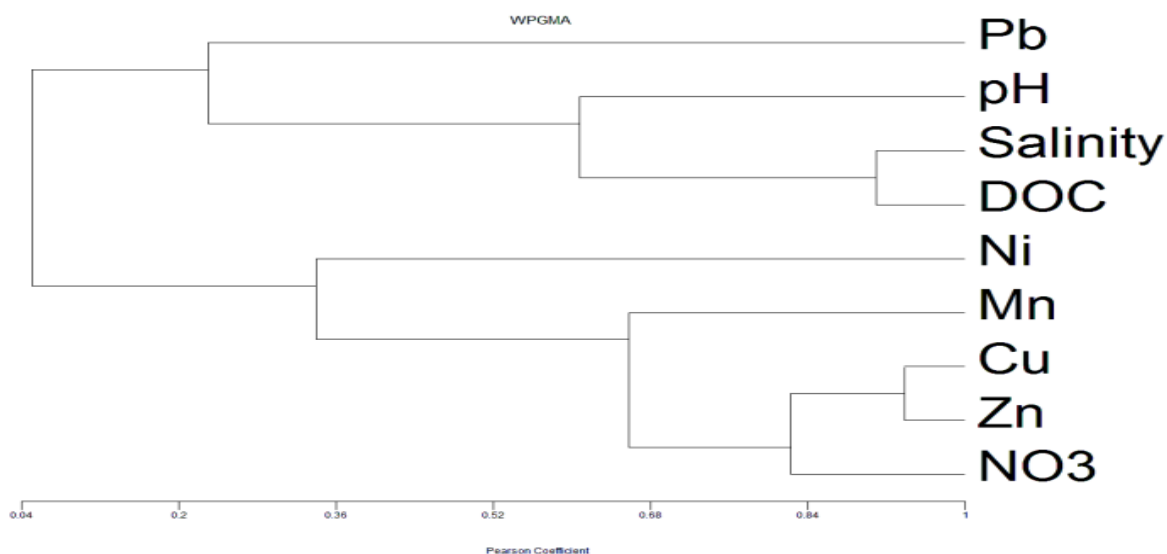
۴. بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر فلزات مس و سرب به ترتیب متحمل بالاترین و پایین‌ترین میزان جذب می‌شوند. بر اساس شکل‌های ۲ و ۳ روند لخته‌سازی فلز منگنز متأثر از NaClO است، در حالی که لخته‌سازی فلزات نیکل و روی

و تا حد کمتری مس با مقدار نیترات و نرخ جذب فلزات Cu، Zn و Mn با عامل NO₃ کنترل شده است. طبق نتایج آماری عامل پی هاش اثری در فرایند لخته‌سازی و جذب و دفع فلزات مورد مطالعه نداشته است.



شکل ۲. نمودار دندوگرام در آزمایش لخته‌سازی

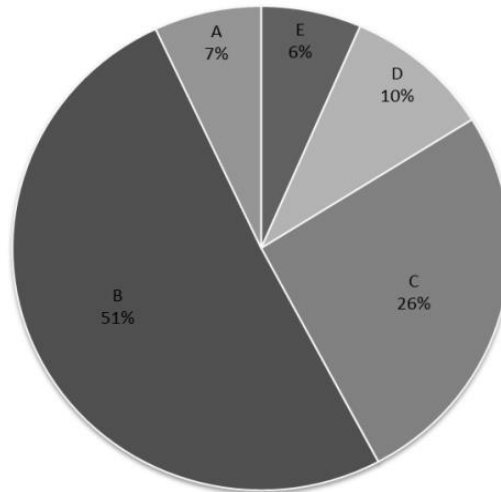


شکل ۳. نمودار دندوگرام در آزمایش جذب و دفع

است نشان می‌دهند.

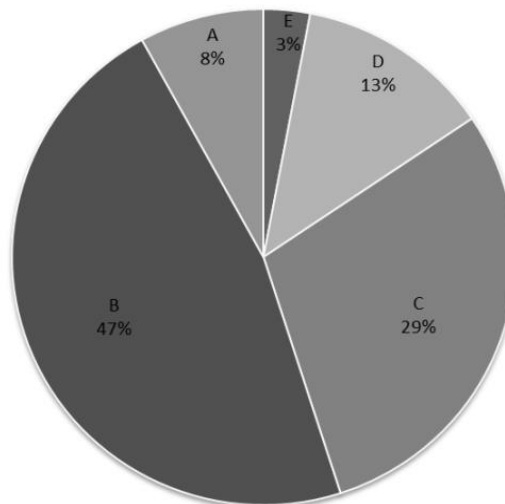
شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ درصد مقدار جذب‌شده هر فلز را در فازهای مختلف که حاصل مطالعه تفکیک شیمیایی

Zn



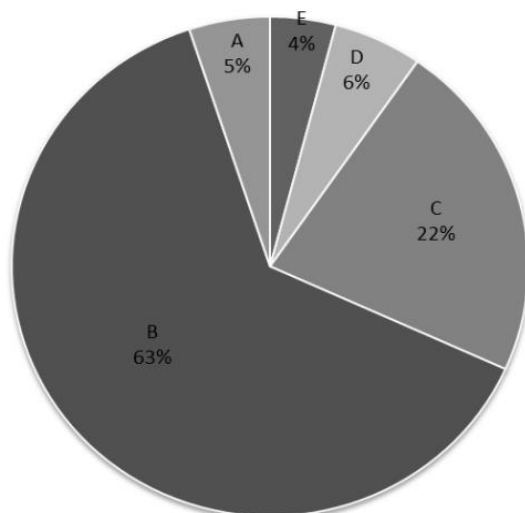
شکل ۴. درصد مربوط به غلظت فلز روی در پیوندهای مختلف

Ni



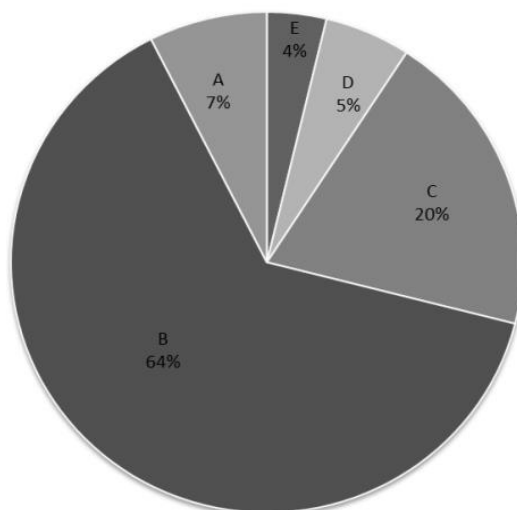
شکل ۵. درصد مربوط به غلظت فلز نیکل در پیوندهای مختلف

Cu



شکل ۶. درصد مربوط به غلظت فلز مس در پیوندهای مختلف

Mn



شکل ۷. درصد مربوط به غلظت فلز منگنز در پیوندهای مختلف

جدول ۸. مقدار بار آلودگی محلول ورودی به دریای خزر

فلز	بار محلول ورودی به دریا بر حسب تن بر سال	کاهش بار به دلیل لخته‌سازی بر حسب تن بر سال	افزایش بار محلول به دلیل دفع از ذرات بر حسب تن بر سال	بار محلول خالص بر حسب تن بر سال
Cu	۱۱۰۹	۳/۳۶	۱/۱۱	۸/۸۴
Mn	۹/۰۷	۸/۶۰	۲۶/۲۰	۲۶/۶۷
Ni	۹/۵۷	۱/۴۲	۲/۴۸	۱۰/۶۳
Pb	۵/۵۴	۱/۹۷	۸/۵۲	۱۲/۰۹
Zn	۳۲	۱۹/۲۲	۴/۶۵	۱۷/۴۳

و کربناتی جذب شده است. در پایان با توجه به مقدار دبی رودخانه ($252 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$) و بار ذرات معلق رودخانه (826745 تن) مقدار نهایی بار محلول آلودگی ورودی به دریا را می‌توان محاسبه کرد (جدول ۸).

مطالعات تفکیک شیمیایی نشان داد که حدود ۶۳ درصد از فلز Cu جذب شده روی ذرات معلق در فاز کربناتی است. طبق نتایج می‌توان گفت که حدود ۶۲/۵۸ درصد از فلز Mn در فاز سست و کربناتی و در خصوص فلز Zn نیز حدود ۴۶ درصد از غلظت آن در بخش سست

منابع

- کرباسی، ع. ۱۳۷۴. غلظت و منشأ Zn, Pb, Co, Fe, Mn, Cr, Cu و Cd در رسوبات سطحی بستر دماغه رودخانه سیاهرود، فصلنامه علمی سازمان حفاظت محیط‌زیست، جلد ۷، شماره ۲، صص ۳۵-۳۹.
- کرباسی، ع. ۱۳۷۹. غلظت استاندارد و منشأ Ni, Mn, Pb, Fe, V, Cd, Co, Cu و Zn در رسوبات خلیج فارس، مجله علم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره ۵-۶، صص ۵۳-۶۶.
- Boyle, E. A., Edmond, J. M., Sholkovitz, E. R. 1977. The mechanism of Fe removal in estuaries. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41(9), 1313-1324.
- Currier, D. R., Small, K. J. 2005. Macrobenthic community responses to long-term environmental change in an east Australian sub-tropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63 (1-2), 315-331.
- Duinker, J. C. 1980. *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*, Olausson, E. and Cato, I., (eds) Wiley, New York, 121-145.
- Davis, J. B. 1973. *Statistic and data analysis in geology*. New York.
- Dojlido, JR. 1993. *Chemistry of water and water pollution*. Ellis Horwood
- Karbassi, A. R., Heidari, M., Vaezi, A. R., Samani, A. R. V., Fakhraee, M., & Heidari, F. 2013. Effect of pH and salinity on flocculation process of heavy metals during mixing of Aras River water with Caspian Sea water. *Environmental Earth Sciences*, 1-9.
- Karbassi, A. R., Nabi-Bidhendi, G. R., & Bayati, I. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2(4), 255-260.
- Karbassi, A. R., Nabi-Bidhendi, G. R., Saeedi, M., Rastegari, A. 2010. Metals removal during estuarine mixing of Arvand River water with the Persian Gulf water. *Central European Journal of Geosciences*, 2(4), 531-536.
- Karbassi, A. R., Nouri, J., Ayaz, G. O. 2007. Flocculation of trace metals during mixing of Talar River water with Caspian Seawater, 66-73.
- Morillo, J., Usero, J., Gracia, I. 2002. Partitioning of metals in sediments from the Odiel River (Spain). *Environ Int*, 28, 263-271.
- Pritchard, D. W. 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: Lauf GH, editor. *Estuaries*. Washington: American Association for the Advancement of Science, 3-5.
- Samarghandi, M. R., Nouri, J., Mesdaghinia, A. R., Mahvi, A. H., Naseri, S., Vaezi, F. 2007. Efficiency removal of phenol, lead and cadmium by means of UV/TiO₂/H₂O₂ processes. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 4, 25-19.
- Sholkovitz, E. R. 1976. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing river water and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40, 845-831.
- Turner, A. M., Nimmo, and K. A. Thuresson. 1998. Speciation and sorptive behaviour of nickel in an organic-rich estuary (Beaulieu, UK). *Marine Chemistry*, 63, 105-118.
- Vaezi, A. R., Karbassi, A. R., Fakhraee, M., Valikhani Samani, A. R., Heidari, M. 2014. Assessment of Sources and Concentration of Metal Contaminants in Marine Sediments of Musa Estuary, Persian Gulf. *Journal of Environmental Studies*, 40, 345-360.

Samani, A. R. V., Karbassi, A. R., Fakhraee, M., Heidari, M., Vaezi, A. R., Valikhani, Z. 2014. Effect of dissolved organic carbon and salinity on flocculation process of heavy metals during mixing of the Navrud River water with Caspian Seawater. *Desalination and Water Treatment*, 1-9.

Viswanathan, M., and Chakrapani, G. J. 2010. Laboratory experiments on river–estuary geonanomaterials. *Current Science*, 99(2), 213–215.