

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
گروه زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (بنادر
سیریک و جاسک) و تعیین منشأ احتمالی آن

زهرا پوررحیم نجف آبادی

اساتید راهنما:

دکتر بهناز دهر آزما

دکتر حبیب ا... قاسمی

اساتید مشاور:

دکتر محمد صدیق مرتضوی

دکتر بتول تقی پور

پایان نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین

گروه: زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم: زهرا پوررحیم نجف آبادی

تحت عنوان: ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز

(بنادر سیریک و جاسک) و تعیین منشأ احتمالی آن

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
دکتری (مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.
(رساله

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر محمد صدیق مرتضوی		نام و نام خانوادگی: دکتر بهناز دهر آزما
	نام و نام خانوادگی: دکتر بتول تقی پور		نام و نام خانوادگی دکتر حبیب ا... قاسمی

امضاء	نمایندہ تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که وجودشان همیشه

مایه افتخار من است.

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس مخصوص خدایی است که ذره ذره وجودم را با نور خود روشن گردانید و مرا در مسیر والای علم و دانش قرار داد. اکنون که به یاری خداوند متعال نگارش پایان نامه اینجانب به اتمام رسیده است، حسب به آیه شریفه من لم یبشکر المخلوق لم یبشکر الخالق، بر خود واجب می‌دانم که از کلیه عزیزی که در مراحل مختلف این تحقیق یاریگر من بوده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

قطعاً راهنمایی‌های مستمر و بی‌شائبه اساتید گرامیم سرکار خانم دکتر دهر آزما و جناب آقای دکتر قاسمی سهم بزرگی در تکمیل این تحقیق داشته است. حمایت‌ها، علاقه‌مندی ایشان به موضوع و سخنان ارزنده آنها همواره مایه امیدواری اینجانب بوده است. شایسته است که در این زمان احترام و ارادت خالصانه خود را به ایشان ابراز نموده و از زحمات بی‌دریغ ایشان صمیمانه سپاسگزاری نمایم، همچنین خواستار بهترین آرزوها برای ایشان هستم.

از جناب آقای دکتر مرتضوی (مشاور اول) که همکاری صمیمانه ایشان سنگ بنای اصلی شروع این پایان نامه بوده و همواره حمایت‌های ایشان در طی مراحل مختلف پایان نامه راهگشای بنده بوده است، تشکر می‌نمایم. همچنین از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ سرکار خانم دکتر تقی پور (مشاور دوم) که گامی مؤثر در جهت تعیین موضوع پایان نامه برداشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

بی‌شک انجام مراحل مختلف این تحقیق بدون مساعدت‌های کارمندان پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان و بالاخص، بخش اکولوژی، آقایان دکتر طاهری‌زاده، مهندسان ابراهیمی، آعاجری، اکبری، بهپوری، جوکار، هاشمیان و سرکار خانم مهندس محبی امکان پذیر نبود. ایشان در پیشبرد هر چه بهتر این پایان نامه سهم ارزنده‌ای ایفا کرده‌اند. اکنون فرصت را مغتنم شمرده و مراتب قدردانی و تشکر خود را از افراد مذکور اعلام کرده و بهروزی در تمام امور را برای ایشان آرزو نمودم.

از جناب آقای دکتر کرمی، ریاست محترم دانشکده علوم زمین به خاطر نصایح گوهر بارشان در طول این مدت که مایه دلگرمی اینجانب بوده است، تشکر و قدردانی می‌نمایم. از آقایان دکتر صادقین، دکتر فردوست و دکتر طاهری که با حسن نیت اطلاعات خویش را در اختیار اینجانب قرار دادند و بسیاری از مسائل مبهم را برایم آشکار کردند، بسیار سپاسگزارم و بهترین آرزوها را برایشان خواستارم. از آقایان دکتر انصاری و دکتر کنشلو نیز که صمیمانه با اینجانب همکاری نموده‌اند، متشکرم.

از کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های دانشکده علوم زمین و کشاورزی، آقایان مهندس میرباقری، مهندس خانعلیزاده، مهندس شاکری و سرکار خانم سعیدی که با صبر و حوصله بسیار، نقش به‌سزایی در انجام مراحل آزمایشگاهی این تحقیق بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدر دانی را دارم. همچنین در اینجا جا دارد از زحمات آقای شاه حسینی مسؤل آموزش دانشکده زمین شناسی، تشکر و قدردانی نمایم.

از کارمندان بخش زمین شناسی دریایی سازمان زمین شناسی کشور، آقایان دکتر سعد الدین، مهندس قرائی و محمدی، سرکار خانم‌ها دکتر لک و دکتر شارمد که اطلاعات لازم را در اختیار اینجانب قرار دادند، بسیار سپاسگزارم. همچنین از آقایان مهندس دمی زاده و چوپانی (بخش آبخیزداری تحقیقات جهاد کشاورزی استان هرمزگان) و سرکار خانم مهندس سالارزاده (بخش GIS سازمان منابع طبیعی استان هرمزگان) که اطلاعات رقومی مورد نیاز منطقه را در اختیار اینجانب قرار دادند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان عزیز و همکلاسی‌های گرامیم، سرکار خانم‌ها مهندس مهری باقر کاظمی، زهره جنگروی، کژال حیدری، الهام شاه حسینی، فرشته سیف و مرضیه نیکنامی و همچنین جناب آقای مهندس مرتضی رحیمی که همواره مشوق اینجانب در طول مسیر بوده‌اند، بسیار سپاسگزارم.

در پایان از خانواده بزرگوارم بویژه دو گوهر ناب زندگیم (پدر و مادر مهربانم)، برادر و خواهران گرامیم که حضورشان مایه آسایش من و وجودشان آرامش بخش روح و روان من است، تشکر نموده و دستانشان را از صمیم قلب می‌فشارم.

اقرارنامه و واگذاری حقوق

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

تیرماه ۱۳۸۸

چکیده

آلودگی محیط زیست از جمله معضلات اصلی جوامع مدرن و در حال توسعه است. تأثیرات سوء ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی از دیرباز مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. با توجه به نقش استراتژیک تنگه هرمز در نقل و انتقال نفت دنیا، آلودگی محیط دریایی این منطقه به انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین دور از انتظار نیست. در این تحقیق آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک (واقع در سواحل شمال شرقی تنگه هرمز) مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور با همکاری پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، نمونه‌برداری از رسوبات ۱۶ ایستگاه واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در بنادر سیریک و جاسک انجام گرفت. خصوصیات رسوب‌شناسی از قبیل دانه-بندی، pH، چگالی و غیره رسوبات سطحی مناطق مورد مطالعه با استفاده از روش‌های استاندارد مشخص گردید. برای تعیین غلظت فلزات سنگین از روش ICP-MS استفاده شد. داده‌های بدست آمده از آزمایشات مختلف مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و با رسم نمودار در محیط Excel 2003، تغییرات غلظت عناصر در ایستگاه‌های مختلف سیریک و جاسک نشان داده شد. همچنین برای نمایش بهتر توزیع این فلزات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب و مقایسه آنها منحنی‌های هم‌غلظت آنها توسط نرم افزار Surfer در این مناطق رسم گردید. با استفاده از روش‌های زمین آماری و با در نظر گرفتن مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه و همچنین کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه منشأ فلزات سنگین در رسوبات مشخص گردید. میانگین غلظت As, Hg, Pb, Ni, V, Mn, Cr به ترتیب بر حسب ppm در سیریک معادل ۵/۲۹، ۰/۰۳، ۱۰/۴۴، ۹۷/۳۳، ۳۴/۲۵، ۶۶۵/۶۳، ۷۰/۲۵ و در جاسک به ترتیب بر حسب ppm معادل ۴/۵۲، ۰/۰۳، ۱۳/۰۳، ۹۷/۴، ۳۹/۱۲، ۶۳۷/۸۷، ۶۷/۵ اندازه‌گیری گردید. همچنین غلظت آهن بر حسب درصد در سیریک و جاسک به ترتیب معادل ۲/۴۵ و ۲/۸۸ اندازه‌گیری شد. مقایسه غلظت عناصر در سیریک و جاسک نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، منگنز و کروم در رسوبات سطحی سیریک و میانگین غلظت جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم و آهن در رسوبات سطحی جاسک بیشتر می‌باشد. محاسبه فاکتور آلودگی نشان‌دهنده آلودگی کم تمام فلزات مورد بررسی (غیر از نیکل) در رسوبات سطحی سیریک و جاسک است. فاکتور آلودگی نیکل (۱/۴۲) به آلودگی متوسط این عنصر در این منطقه و احتمال بیشتر وجود آلودگی نفتی در این مناطق اشاره دارد. محاسبه درجه آلودگی ایستگاه‌ها نیز حاکی از آلودگی کم ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. بررسی منشأ فلزات در رسوبات نشان داد که منابع مختلف زمینی و انسانی در حضور این فلزات در رسوبات منطقه نقش اساسی داشته‌اند.

کلمات کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، رسوبات، بندر سیریک، بندر جاسک

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

مقاله های پذیرفته شده

۱. پوررحیم نجف آبادی، ز، دهر آزما، ب، خطرات زیست محیطی جیوه و روش های جدید پاکسازی آن، (۱۳۸۶)، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. پوررحیم نجف آبادی، ز، دهر آزما، ب، روش های جدید شناسایی و حذف آلودگی فلزات سنگین از رسوبات، (۱۳۸۷)، دومین همایش مهندسی محیط زیست. تهران.
۳. پوررحیم نجف آبادی، ز، دهر آزما، ب، آثار زیست محیطی ناشی از حمل و نقل نفت و روش های نوین پاکسازی آن، (۱۳۸۷)، اولین همایش حمل و نقل مواد خطرناک و آثار زیست محیطی آن، سازمان محیط زیست کشور، تهران.
۴. پوررحیم نجف آبادی، ز، دهر آزما، ب، قاسمی، ح، مرتضوی، م، بررسی آلودگی نفتی سواحل شمال شرق تنگه هرمز (بندر سیریک)، (۱۳۸۸)، سومین همایش ملی روز جهانی محیط زیست، دانشگاه تهران.

فهرست مطالب

ج	تصویب نامه.....
د	تقدیم به.....
ه	تشکر و قدردانی.....
و	اقرارنامه و واگذاری حقوق.....
ح	لیست مقالات مستخرج از پایان نامه.....

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱- مقدمه.....
۴	۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۵	۳-۱- آب و هوا و اقلیم منطقه.....
۶	۱-۳-۱- وضعیت بارندگی.....
۸	۲-۳-۱- دمای هوا.....
۸	۳-۳-۱- وضعیت باد.....
۸	۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه.....
۱۰	۵-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۱۱	۶-۱- اهداف مطالعه.....
۱۲	۷-۱- روش مطالعه.....
۱۲	۸-۱- ساختار پایان نامه.....

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

۱۴	۱-۲- مقدمه.....
۱۴	۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه.....
۱۵	۳-۲- چینه‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه.....
۱۵	۱-۳-۲- واحدهای کرتاسه فوقانی.....
۱۶	۲-۳-۲- واحدهای الیگوسن.....

- ۱۶.....۳-۳-۲ واحدهای میوسن
- ۱۷.....۴-۳-۲ واحدهای پلیوسن
- ۱۸.....۵-۳-۲ واحدهای کواترنری
- ۱۸.....۴-۲ زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه
- ۱۸.....۱-۴-۲ چین‌های منطقه
- ۲۱.....۲-۴-۲ سیستم گسلی شمال شرقی تنگه هرمز
- ۲۳.....۵-۲ زمین‌شناسی اقتصادی منطقه
- ۲۴.....۶-۲ حوضه آبریز بندرعباس-میناب-جاسک
- ۲۸.....۷-۲ محیط رسوبی سواحل شمال شرق تنگه هرمز
- ۲۹.....۹-۲ الگوی چرخش آب در خلیج فارس و تنگه هرمز

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

- ۳۲.....۱-۳ مقدمه
- ۳۳.....۲-۳ آرسنیک
- ۳۵.....۳-۳ جیوه
- ۳۷.....۴-۳ سرب
- ۳۹.....۵-۳ نیکل
- ۴۰.....۶-۳ وانادیم
- ۴۱.....۷-۳ منگنز
- ۴۳.....۸-۳ آهن
- ۴۴.....۹-۳ کروم
- ۴۶.....۱۰-۳ آلومینیوم
- ۴۷.....۱۱-۳ آلودگی خاک و رسوبات به فلزات سنگین
- ۵۱.....۱۲-۳ ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات
- ۵۲.....۱-۱۲-۳ فاکتور غنی‌شدگی
- ۵۳.....۲-۱۲-۳ فاکتور آلودگی و درجه آلودگی

- ۱۳-۳- منشأ عناصر سنگین در خاک و رسوب..... ۵۴
- ۱۴-۳- عوامل مؤثر بر تحرک عناصر در رسوب..... ۵۷
- ۱۵-۳- جذب فلزات سنگین توسط رسوبات..... ۵۹
- ۱۶-۳- تاریخچه آلودگی فلزات سنگین در خلیج فارس و تنگه هرمز..... ۶۰

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

- ۱-۴- مقدمه..... ۶۶
- ۲-۴- نمونه برداری..... ۶۶
- ۳-۴- آماده سازی نمونه‌های رسوب..... ۶۸
- ۴-۴- دانه‌سنجی رسوبات (آنالیز اندازه دانه‌ها)..... ۶۸
- ۵-۴- تعیین pH رسوبات..... ۷۱
- ۶-۴- تعیین چگالی رسوبات..... ۷۲
- ۷-۴- تعیین درصد مواد آلی..... ۷۲
- ۸-۴- تعیین درصد کربنات کلسیم در رسوبات..... ۷۲
- ۹-۴- کانی‌شناسی رسوبات (XRD و مطالعات میکروسکوپی)..... ۷۳
- ۱-۹-۴- پراش پرتو اشعه ایکس (XRD)..... ۷۴
- ۲-۹-۴- مطالعات میکروسکوپی و جداسازی کانیهای سنگین..... ۷۴
- ۱۰-۴- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین..... ۷۵
- ۱-۱۰-۴- طیف سنجی جرمی گسیل پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)..... ۷۵

فصل پنجم: خصوصیات رسوب‌شناختی سواحل سیریک و جاسک

- ۱-۵- مقدمه..... ۷۸
- ۲-۵- دانه‌بندی رسوبات..... ۷۸
- ۳-۵- تغییرات pH در رسوبات..... ۸۳
- ۴-۵- تغییرات چگالی رسوبات..... ۸۵
- ۵-۵- تغییرات مقدار ماده آلی رسوبات..... ۸۵

۵-۶- تغییرات کربنات کلسیم در رسوبات..... ۸۷

۵-۷- کانی‌شناسی رسوبات..... ۸۸

فصل ششم: توزیع عناصر سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز

۶-۱- مقدمه..... ۹۱

۶-۲- بررسی همبستگی عناصر با یکدیگر و با خصوصیات رسوب‌شناختی..... ۹۱

۶-۲-۱- آرسنیک..... ۹۱

۶-۲-۲- جیوه..... ۹۳

۶-۲-۳- سرب..... ۹۴

۶-۲-۴- نیکل..... ۹۴

۶-۲-۵- وانادیوم..... ۹۶

۶-۲-۶- منگنز..... ۹۷

۶-۲-۷- آهن..... ۹۸

۶-۲-۸- کروم..... ۹۸

۶-۲-۹- آلومینیوم..... ۹۹

۶-۳- گسترش عناصر سنگین و آلومینیوم در سیریک و جاسک..... ۱۰۰

۶-۳-۱- آرسنیک..... ۱۰۰

۶-۳-۲- جیوه..... ۱۰۲

۶-۳-۳- سرب..... ۱۰۵

۶-۳-۴- نیکل..... ۱۰۷

۶-۳-۵- وانادیوم..... ۱۰۹

۶-۳-۶- منگنز..... ۱۱۱

۶-۳-۷- آهن..... ۱۱۳

۶-۳-۸- کروم..... ۱۱۶

۶-۳-۹- آلومینیوم..... ۱۱۸

۶-۴- محاسبه آلودگی رسوبات..... ۱۲۰

۶-۴-۱- فاکتور آلودگی (Contamination Factor)..... ۱۲۰

۶-۴-۲- درجه آلودگی محیط (Contamination Degree)..... ۱۲۲

فصل هفتم: بررسی منشأ احتمالی عناصر سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک

۱۲۵	۱-۷- مقدمه.....
۱۲۵	۲-۷- فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor).....
۱۲۷	۳-۷- بررسی نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه.....
۱۲۹	۴-۷- منشأ کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات منطقه.....
۱۳۰	۵-۷- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای.....
۱۳۳	۶-۷- بررسی منشأ عناصر سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه.....
۱۳۴	۱-۶-۷- آرسنیک.....
۱۳۵	۲-۶-۷- جیوه.....
۱۳۶	۳-۶-۷- سرب.....
۱۳۷	۴-۶-۷- نیکل.....
۱۳۹	۵-۶-۷- وانادیوم.....
۱۳۹	۶-۶-۷- منگنز.....
۱۴۰	۷-۶-۷- آهن.....
۱۴۱	۸-۶-۷- کروم.....

فصل هشتم: نتیجه‌گیری

۱۴۳	۱-۸- مقدمه.....
۱۴۳	۲-۸- خصوصیات رسوب‌شناختی.....
۱۴۴	۳-۸- همبستگی عناصر با یکدیگر و با خصوصیات رسوب‌شناختی.....
۱۴۴	۴-۸- گسترش عناصر سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک.....
۱۴۵	۵-۸- بررسی آلودگی رسوبات منطقه به عناصر سنگین مورد مطالعه.....
۱۴۵	۶-۸- بررسی منشأ عناصر سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک.....
۱۴۶	۷-۸- پیشنهادها.....
۱۴۷	پیوست‌ها.....
۱۵۲	منابع.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۶
- شکل ۱-۲: واحدهای ساختاری-رسوبی ایران ۱۵
- شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی سیریک ۱۹
- شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی جاسک ۲۰
- شکل ۴-۲: موقعیت گسل میناب و امتداد محوری تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها در غرب ارتفاعات مکران ۲۲
- شکل ۵-۲: موقعیت و امتداد گسل‌های اصلی منطقه ۲۳
- شکل ۶-۲: موقعیت حوضه‌های آبریز بخش ساحلی منطقه ۲۵
- شکل ۷-۲: وضعیت شماتیک جریان‌های سطحی و فرایندهای چرخشی در آب ۳۰
- شکل ۱-۳: موقعیت برخی از عناصر سنگین در جدول تناوبی ۳۳
- شکل ۲-۳: حلالیت کروم در pHهای مختلف ۳۸
- شکل ۳-۳: طرح شماتیکی از تحرک نیکل تحت تأثیر pH خاک ۳۹
- شکل ۴-۳: تأثیر PH خاک بر فعالیت Fe^{3+} که به‌طور عمده در اکسیدهای Fe وجود دارند ۴۳
- شکل ۵-۳: حلالیت کروم در pHهای مختلف ۴۵
- شکل ۶-۳: انحلال پذیری گونه‌های مختلف هیدروکسید آلومینیوم به عنوان تابعی از pH ۴۷
- شکل ۷-۳: جدایش ژئوشیمیایی برخی عناصر مهم بر مبنای پتانسیل یونی ۵۸
- شکل ۸-۳: طرح شماتیکی از تحرک فلزات تحت تأثیر pH خاک ۵۹
- شکل ۱-۴: موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری به صورت شماتیک ۶۷
- شکل ۱-۵: موقعیت رسوبات مناطق سیریک و جاسک در مثلث طبقه‌بندی رسوبات ۷۹
- شکل ۲-۵: فاصله ایستگاه‌های مورد مطالعه تا ساحل ۷۹
- شکل ۳-۵: موقعیت رودخانه‌های منتهی به دریا نسبت به ایستگاه‌های مورد مطالعه ۸۰
- شکل ۴-۵: تغییرات ماسه در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک ۸۱

- شکل ۵-۵: تغییرات سیلت در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب سیریک و جاسک..... ۸۱
- شکل ۵-۶: تغییرات رس در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک..... ۸۱
- شکل ۵-۷: تغییرات pH در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک..... ۸۴
- شکل ۵-۸: تابعیت pH از مقدار کربنات کلسیم..... ۸۵
- شکل ۵-۹: تغییرات چگالی رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک..... ۸۵
- شکل ۵-۱۰: تغییرات مقدار ماده آلی رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک..... ۸۶
- شکل ۵-۱۱: تغییرات درصد کربنات کلسیم در رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک..... ۸۸
- شکل ۵-۱۲: تجمعی از صدف‌های آهکی (شکم پایان) در رسوبات سطحی سیریک و جاسک..... ۸۸
- شکل ۶-۱: نقشه توزیع کربنات در رسوبات سطحی خلیج فارس..... ۹۸
- شکل ۶-۲: تغییرات غلظت آرسنیک در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۰۱
- شکل ۶-۳: توزیع آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۰۱
- شکل ۶-۴: تغییرات غلظت آرسنیک در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۰۲
- شکل ۶-۵: توزیع آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۰۲
- شکل ۶-۶: تغییرات غلظت جیوه در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۰۳
- شکل ۶-۷: توزیع جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در سیریک..... ۱۰۳
- شکل ۶-۸: تغییرات غلظت جیوه در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۰۴
- شکل ۶-۹: توزیع جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۰۴
- شکل ۶-۱۰: تغییرات غلظت سرب در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۱: توزیع سرب در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۲: تغییرات غلظت سرب در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۳: توزیع سرب در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۴: تغییرات غلظت نیکل در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۵: توزیع نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۰۸

- شکل ۶-۱۶: تغییرات غلظت نیکل در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۷: توزیع نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۸: تغییرات غلظت وانادیوم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۱۱
- شکل ۶-۱۹: توزیع وانادیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲۰: تغییرات غلظت وانادیوم رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲۱: توزیع وانادیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲۲: تغییرات غلظت منگنز در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۱۳
- شکل ۶-۲۳: تغییرات غلظت کلسیم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۱۳
- شکل ۶-۲۴: توزیع منگنز در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۱۳
- شکل ۶-۲۵: تغییرات غلظت منگنز در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۱۴
- شکل ۶-۲۶: تغییرات غلظت کلسیم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۱۴
- شکل ۶-۲۷: توزیع منگنز در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۱۴
- شکل ۶-۲۸: تغییرات غلظت آهن در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۱۵
- شکل ۶-۲۹: توزیع آهن در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۱۵
- شکل ۶-۳۰: تغییرات غلظت آهن در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۱۶
- شکل ۶-۳۱: توزیع آهن رسوبات در ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۱۶
- شکل ۶-۳۲: تغییرات غلظت کروم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۱۷
- شکل ۶-۳۳: توزیع کروم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۱۷
- شکل ۶-۳۴: تغییرات غلظت کروم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۱۸
- شکل ۶-۳۵: توزیع کروم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک..... ۱۱۸
- شکل ۶-۳۶: تغییرات غلظت آلومینیوم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک..... ۱۱۹
- شکل ۶-۳۷: توزیع آلومینیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک..... ۱۱۹
- شکل ۶-۳۸: تغییرات غلظت آلومینیوم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک..... ۱۲۰
- شکل ۶-۳۹: توزیع آلومینیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در جاسک..... ۱۲۰

- شکل ۷-۱: تغییرات فاکتور غنی‌شدگی فلزات مورد بررسی در رسوبات سطحی سیریک و جاسک..... ۱۲۷
- شکل ۷-۲: نقشه کاربری اراضی منطقه سیریک و جاسک..... ۱۲۸
- شکل ۷-۳: کرومیت و پیروکسن در نمونه ایستگاه ۱۵ در جاسک..... ۱۳۰
- شکل ۷-۴: پلاژیوکلاز در نمونه ایستگاه ۱۵ در جاسک..... ۱۳۰
- شکل ۷-۵: هماتیت گویتی شده در نمونه رسوبات ایستگاه ۳ در سیریک..... ۱۳۰
- شکل ۷-۶: تجمعی از هماتیت و مگنتیت در نمونه رسوب ایستگاه ۱ در بندر سیریک..... ۱۳۰
- شکل ۷-۷: نقشه زمین‌شناسی و حوضه آبریز سیریک..... ۱۳۱
- شکل ۷-۸: دندوگرام آنالیز خوشه‌ای پارامترهای مورد بررسی در رسوبات بنادر سیریک و جاسک..... ۱۳۴
- شکل پ-۱: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۳..... ۱۴۸
- شکل پ-۲: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۴..... ۱۴۹
- شکل پ-۳: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۹..... ۱۵۰
- شکل پ-۴: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۱۰..... ۱۵۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: غلظت معمول برخی عناصر در انواع سنگ‌ها ۳۳
- جدول ۲-۳: غلظت جیوه در محیط زیست ۳۵
- جدول ۳-۳: غلظت آلومینیوم در محیط زیست ۴۷
- جدول ۴-۳: بررسی شدت غنی‌شدگی رسوبات ۵۲
- جدول ۵-۳: توصیف مقادیر فاکتور آلودگی ۵۳
- جدول ۶-۳: بررسی کیفیت محیط زیست از نظر درجه آلودگی ۵۳
- جدول ۷-۳: خصوصیات ژئوشیمیایی عناصر نادر و دامنه pH مورد نیاز برای رسوب کردن هیدروکسید های آنها ۵۸
- جدول ۸-۳: مقایسه‌ای بین میانگین غلظت عناصر سنگین در پوسته زمین، رسوبات اقیانوس‌ها و چندین منطقه مطالعه شده در سواحل ایرانی خلیج فارس ۶۳
- جدول ۹-۳: بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات در آب بندر سیریک و جاسک در اعماق ۵ و ۱۰ متر ۶۴
- جدول ۱-۴: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۶۷
- جدول ۲-۴: اندازه ذرات رسوبی در مقیاس Φ و ونتورث (mm) ۶۸
- جدول ۳-۴: خصوصیات رسوب شناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه ۷۳
- جدول ۴-۴: غلظت عناصر در رسوبات با استفاده از ICP-MS ۷۶
- جدول ۱-۵: طبقه‌بندی رسوبات بر اساس اندازه ذرات ۷۸
- جدول ۱-۶: همبستگی عناصر با یکدیگر، خصوصیات رسوب شناختی و عناصر دیگر از قبیل گوگرد، پتاسیم، فسفر و کلسیم نمونه‌های رسوبات سطحی بندر سیریک و جاسک ۹۲
- جدول ۲-۶: محاسبه نسبت Ni/Mg در نمونه‌های رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک ۹۶
- جدول ۳-۶: محاسبه فاکتور آلودگی رسوبات بنادر سیریک و جاسک نسبت به عناصر مورد بررسی ۱۲۲
- جدول ۴-۶: محاسبه درجه آلودگی رسوبات بنادر سیریک و جاسک ۱۲۳
- جدول ۱-۷: فاکتور غنی‌شدگی فلزات در ایستگاه‌های مورد مطالعه در بنادر سیریک و جاسک ۱۲۶

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

پدیده آلودگی به‌ویژه در قرن حاضر عمدتاً نتیجه پیشرفت تکنولوژی می‌باشد که با مسائل مختلف اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی گره خورده است. گرچه طبیعت در مقابل آلاینده‌های مختلف از قابلیت و توان خودپالایی معینی برخوردار است، اما کثرت آلاینده‌ها در اغلب حالات این خاصیت بهینه‌سازی را از آن سلب می‌کند و سبب تغییرات اساسی در اکوسیستم، نابودی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری مطلوب انسان‌ها و غیرقابل استفاده شدن آب، هوا و خاک می‌شود. آلاینده‌های آب، خاک و هوا غالباً در نهایت وارد محیط‌های مختلف آبی شده و از آنجا به دریاها و اقیانوس‌ها منتقل می‌شوند. از این‌رو آلودگی محیط‌های آبی و رسوبات دریاها در حال حاضر یکی از معضلات اصلی زیست محیطی است. از جمله مسیرهای ورودی آلاینده‌ها به محیط‌های آبی و رسوبات را می‌توان اتمسفر، از طریق تبادل گازی در سطح دریا، سقوط یا خروج ذرات از ستون هوا توسط بارندگی، رودخانه‌ها و فعالیت‌های انسانی از طرق مختلف (از قبیل تخلیه مستقیم فاضلاب صنایع و یا دفن لجن فاضلاب شهری و صنعتی در دریا، آلودگی نفتی ناشی از تصادم نفت‌کش‌ها و نشت نفت از کشتی‌ها) برشمرد.

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های پایدار در طبیعت هستند. این فلزات با ورود به زنجیره غذایی تأثیرات برگشت ناپذیری بر روی موجودات زنده می‌گذارند. در طول تاریخ تلفات انسانی شدیدی بر اثر مسمومیت با فلزات سنگین در نقاط مختلف دنیا اتفاق افتاده است. از جمله این فجایع می‌توان به حوادثی که در میناماتای ژاپن و بنگال غربی رخ داده است، اشاره کرد (Samanta et al. 1999, Wikipedia, 2007). بستر رسوبی محیط‌های آبی، محیط زیست بسیاری از جانداران کفزی واقع در ابتدای زنجیره غذایی محسوب می‌شوند. با توجه به نقش مهمی که رسوبات در چرخه حیات ایفا می‌کنند، بررسی آلودگی آنها به انواع آلاینده‌ها از قبیل فلزات سنگین، از مهمترین اولویت‌های زیست محیطی محسوب می‌شود.

خلیج فارس از نظر تجارت نفت و دریای عمان از نظر اقتصادی و عبور و مرور دریایی، از جمله مهمترین

مناطق دنیا هستند و همچنین تنگه هرمز به عنوان رابط این دو منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تنگه هرمز بین ایران و عمان واقع شده است و ایران را از شبه جزیره عربستان جدا می‌کند. در سال ۲۰۰۶ قسمت عمده نفت خلیج فارس (حدود ۹۳٪) از طریق تنگه هرمز به اکثر نقاط دنیا صادر گردید. تقریباً ۲/۵ درصد نفت خام جهان و فراورده‌های نفتی به صورت محموله‌های تانکری از تنگه هرمز عبور می‌کند و به‌طور متوسط روزانه ۱۷ میلیون بشکه نفت خام و محصولات ترانزیتی وابسته به آن از طریق تنگه هرمز به شرق آسیا (خصوصاً ژاپن، چین و هند) و به غرب (از طریق کانال سوئز) تا اروپای غربی و ایالت متحده منتقل می‌شوند. در مجموع بیش از ۳/۵ بیلیون فوت مکعب بر روز (Bcf/d) گاز طبیعی از طریق تانکرهای LNG به آسیا، اروپا و آمریکای شمالی صادر می‌شود (Energy Information Administration, 2008). همچنین شرایط ویژه رسوب‌شناسی و آب‌شناسی حاکم بر سواحل ایرانی خلیج فارس و تنگه هرمز منجر به تشکیل زیستگاه‌های متعددی برای موجودات زنده مختلف شده است که از جمله آنها می‌توان جنگل-های مانگرو، آبنگ‌های مرجانی، زیستگاه لاک پشتان دریایی و زیستگاه پرندگان دریایی اشاره کرد (دانه کار و پوروخسویی، ۱۳۷۴). بنابراین می‌توان گفت که این تنگه یکی از راه‌های آبی استراتژیک جهان و از اکوسیستم‌های زیستی مهم جهان محسوب می‌شود که بستر مناسبی برای رشد موجودات مختلف را فراهم آورده است. این تنگه در جنوب استان هرمزگان واقع است و از ارزش‌های خاص ارتباطی، اقتصادی، نظامی و ژئوپولیتیکی نیز برخوردار است. همچنین توسعه روزافزون استان هرمزگان، احداث و بهره‌برداری از پالایشگاه نفت، وجود کارخانجات مختلف، صنایع نظامی، نیروگاه و تأسیسات بندری موجود در این منطقه باعث شده که انواع آلاینده‌ها از قبیل هیدروکربن‌های نفتی، فلزات سنگین و ... در آب‌های این منطقه تجمع یابد که در نهایت در بستر رسوبی آن جای می‌گیرند.

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد رسوبات منطقه تنگه هرمز محیط زیست بسیاری از موجودات کفزی واقع در ابتدای زنجیره غذایی است. بنابراین در صورت آلودگی رسوبات این منطقه به آلاینده‌های مختلف،

اکوسیستم این منطقه با خطری بسیار جدی مواجه خواهد شد. با توجه به نقش استراتژیک تنگه هرمز در کشور و با در نظر گرفتن این مسأله که آلودگی رسوبات سطحی سواحل شمال شرق تنگه هرمز به فلزات سنگین کمتر مورد بررسی قرار گرفته است، ضرورت بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی و بررسی منشأ ایجاد آن (ژئوژنیک، بشرزاد) در این منطقه مشخص می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق به بررسی چگونگی توزیع و پراکندگی آلودگی عناصر سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرق تنگه هرمز (سیریک و جاسک) و منشأ احتمالی آنها می‌پردازد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تنگه هرمز، دریای عمان را به خلیج فارس متصل می‌کند و از شمال به ایران و از جنوب به سواحل عمان محدود می‌شود. در سواحل شمالی تنگه هرمز (ایران) سکونت‌گاه‌های متعدد شهری و روستایی وجود دارد که از جمله مناطق شهری آن می‌توان به جاسک، میناب، بندرعباس، خمیر و بندرلنگه اشاره کرد که از راس الکوّه تا بستانه ادامه دارد. سواحل جنوبی تنگه هرمز شامل خاک عمان و امارات متحده عربی است و قسمت انتهایی آن (راس‌المسندم) به صورت واحد برونگان*، جزو سرزمین عمان به حساب می‌آید که امارات متحده عربی آن را از سرزمین اصلی عمان جدا کرده است. عمق آب در نواحی جنوب تنگه هرمز بیشتر از قسمت‌های شمالی آن است. بیشترین عمق در نزدیکی جزیره لارک ۳۶ متر است، در حالیکه در نزدیک جزیره المسندم حداکثر عمق به ۱۴۴ متر می‌رسد. در جهت شرقی-غربی نیز عمق آب افزایش می‌یابد. در منابع مختلف طول تنگه هرمز متفاوت ذکر شده است. بر اساس محدوده تعیین شده قبلی، طول این تنگه ۱۸۷ کیلومتر در نظر گرفته شده بود، در حالیکه بر اساس طرح فعلی حدود ۳۱۰ کیلومتر است. تنگه هرمز در مناطق مختلف، عرض متفاوتی دارد. کوتاهترین فاصله، یعنی از جزیره قوئین کبیر تا جزیره لارک، حدود ۳۸ کیلومتر و همچنین در قسمت میانی تنگه، بین نخل ناخدا (در بندرعباس) تا

* به بخشی از یک کشور که خاک کشور یا کشورهای مجاور را از سرزمین اصلی جدا می‌کند در اصطلاح برونگان می‌گویند.

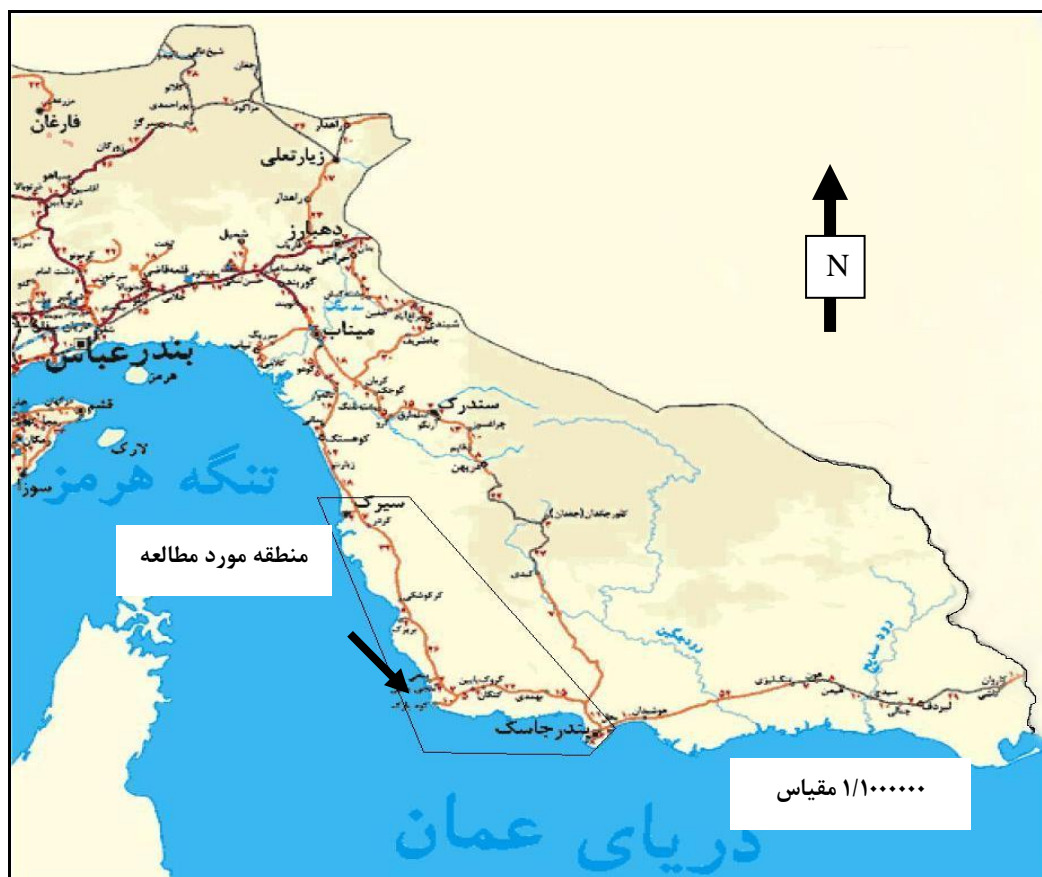
شمالی‌ترین نقطه شبه جزیره المسندم (در کشور عمان)، حدود ۹۰ کیلومتر است. در حالیکه بیشترین فاصله خط فرضی بستانه تا بندر دبی ۱۵۰ کیلومتر و در حد شرقی تنگه هرمز، فاصله سواحل ایران و کشور عمان ۹۶ کیلومتر است (زعیمی، ۱۳۸۱).

در این مطالعه سواحل شمال شرقی تنگه هرمز، بندر سیریک ($26^{\circ}31'N$ ، $57^{\circ}43'E$) و بندر جاسک ($25^{\circ}39'N$ ، $57^{\circ}46'E$) مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱-۱ نقشه راه‌های دسترسی به منطقه نشان داده شده است. سیریک و جاسک از شهرهای استان هرمزگان در جنوب ایران هستند. سیریک در بخش بیابانی شهرستان میناب در کرانه دریای عمان قرار دارد. این شهر در ۷۰ کیلومتری جنوب میناب و ۱۵۰ کیلومتری شمال غربی جاسک واقع شده است. جمعیت شهرستان سیریک طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۸۵، ۴۱۸۰ نفر بوده است. یکی از شهرهای جنوبی استان هرمزگان بندر جاسک است که در بخش مرکزی شهرستان جاسک قرار دارد. این بندر در ۳۶۰ کیلومتری جنوب شرق بندرعباس و ۲۶۰ کیلومتری جنوب شرق میناب قرار گرفته است. جمعیت شهری بندر جاسک طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۸۵، برابر با ۱۲۱۳۴ نفر بوده است (جعفری، ۱۳۸۷).

۱-۳- آب و هوا و اقلیم منطقه

بندر سیریک و جاسک در کمربند صحرایی خشکی قدیم قرار گرفته‌اند و مدار رأس السرطان از قسمت جنوبی آن‌ها می‌گذرد. متوسط گرمای سالانه در این منطقه به ۲۴ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و به دلیل نزدیکی با دریا، دارای آب و هوای گرم و مرطوب است (زعیمی، ۱۳۸۱).

عناصر عمده گردش جوی و توده‌های هوا (رودباد کنار حاره‌ای، پرفشار کنار حاره‌ای، بادهای غربی و بادهای موسمی) و نیز عوامل جغرافیایی (عرض جغرافیایی، مجاورت با دریای عمان و خلیج فارس، توپوگرافی و وضعیت پستی و بلندی منطقه) از جمله عوامل مؤثر در آب و هوای منطقه هستند (نوحه‌گر و



شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (پایگاه اینترنتی داده‌های علوم زمین، ۱۳۸۷)

یمانی، ۱۳۸۵). در زیر به پراکندگی مکانی و زمانی عناصر آب و هوایی از قبیل وضعیت بارندگی، دمای هوا و باد منطقه پرداخته شده است.

۱-۳-۱- وضعیت بارندگی

با توجه به تأثیر سیستم‌های عمومی هوا و موقعیت جغرافیایی منطقه، بارندگی‌های این منطقه به‌طور عمده از مراکز کم فشار سودانی، کم فشار مدیترانه‌ای و کم فشار تابستانه هند تأمین می‌شود. عمده‌ترین منبع تأمین‌کننده بارش منطقه، مرکز کم فشار سودان است که با شروع فصل پاییز و به سبب ریزش‌های هوای سرد به شمال آفریقا، تقویت می‌شود و پس از کسب رطوبت از دریای سرخ و خلیج فارس، استان‌های جنوبی کشور از جمله استان هرمزگان و منطقه مورد بررسی (بندر سیریک و جاسک) را تحت تأثیر

قرار می‌دهد. بارندگی‌های حاصل از فعالیت این سیستم کم فشار در مواقعی به صورت رگبارهای ناشی از فعالیت ابرهای جوششی می‌باشد که این بارندگی‌ها در شرایط ناپایدار جوی در سطح این استان فرو می‌ریزد. بارندگی‌های ناشی از این سیستم، عمدتاً به صورت بارش‌های تند و غیرمداوم است که منجر به بروز سیلاب‌های مخرب در این منطقه می‌گردد. پدیده فوق، عموماً در مواقعی که این سیستم کم فشار دارای فعالیت گسترده است، اتفاق می‌افتد. بارندگی‌های کم فشار مدیترانه‌ای نسبت به بارندگی‌های ناشی از سیستم کم فشار سودانی مداومت بیشتری دارند و همراه با جبهه‌های گرم و ابرهای پوششی سبب ریزش بارندگی‌های قابل ملاحظه و مفیدی در سطح استان می‌شوند. این بارندگی‌ها که بعد از بارش‌های ناشی از سیستم کم فشار سودان دومین منشأ بارندگی‌های استان به حساب می‌آیند، از اوایل فصل پاییز تا اواسط بهار تداوم دارند و فعالیت آنها با شروع فصل گرم خاتمه می‌یابد. علاوه بر موارد فوق در فصل گرم نیز از اواسط خرداد تا اواسط شهریور بارندگی‌هایی رخ می‌دهد که ناشی از فعالیت سیستم کم فشار هند یا موسمی است. این فعالیت ریزشی به مونسون یا موسمی مشهور است و به طور عمده در هند، بنگلادش و آسیای جنوب شرقی فعال می‌باشد. با این حال، فعالیت ریزشی مونسون، فقط بخش اندکی از ناحیه جنوب شرقی کشور ایران و استان هرمزگان را در برمی‌گیرد. ابری شدن آسمان، بارندگی‌های رگباری متناوب، وزش باد و ایجاد گرد و غبار در طول ماه‌های گرم تابستان ناشی از فعالیت بادهای موسمی در سطح منطقه است. در بخش‌های محدودی از حوضه، بارندگی‌های کوهستانی* منشأ بخشی از ریزش‌های جوی به‌شمار می‌رود. در این بین توده هوای غنی شده از رطوبت که از پهنه آب‌های خلیج فارس گذر می‌کند، پس از صعود از ارتفاعات زاگرس به اندازه کافی سرد شده و به حالت اشباع می‌رسد و منجر به ریزش‌های جوی در مقیاس محلی می‌شود (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵). میانگین بارندگی در طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ در منطقه سیریک ۲۳۶/۵ میلی‌متر و در منطقه جاسک ۱۴۹/۸ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین مقدار

* بارندگی‌های کوهستانی زمانی اتفاق می‌افتد که هوای گرم و مرطوب بر روی موانع توپوگرافی به سمت بالا رانده شوند. توزیع بارندگی در این قبیل باران‌ها معمولاً محلی است و شدت آن بیشتر در نوک قله‌هاست.

بارندگی در سیریک در ماه‌های ژانویه، مارس، نوامبر و دسامبر (پاییز و زمستان) و بیشترین مقدار بارندگی در جاسک در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر (پاییز و زمستان) رخ می‌دهد (پایگاه اینترنتی مرکز آب‌شناسی ایران، ۱۳۸۷).

۱-۳-۲- دمای هوا

با بررسی اطلاعات مربوط به دمای ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی واقع در محدوده مورد نظر مشخص شده است که ماه‌های ژوئن، ژولای و اوت حداکثر مقدار میانگین ماهانه دما را در بین سایر ماه‌های سال دارند، در حالیکه حداقل مقدار میانگین ماهانه دما به ژانویه تعلق دارد (پایگاه اینترنتی مرکز آب‌شناسی ایران، ۱۳۸۷).

۱-۳-۳- وضعیت باد

به طور کلی از ویژگی‌های سواحل دریای عمان می‌توان به فراوانی و شدت باد در این منطقه اشاره کرد، به‌گونه‌ای که ۹ ماه از سال این سواحل تحت تأثیر بادهای غربی و شمال غربی و سه ماه دیگر تحت تأثیر بادهای شرقی و جنوب شرقی قرار دارند. بررسی جداول باد ایستگاه جاسک نشان داده است که در ماه‌های مهر تا خرداد جهت باد غالب غربی، در تیر و مرداد جنوب شرقی و در شهریورماه جهت باد غالب جنوبی می‌باشد. بادهای شمال، کوش، بحری و سهیل بادهای عمده منطقه را تشکیل می‌دهند (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵).

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه

توپوگرافی منطقه متأثر از جنس واحدهای سنگی، ویژگی‌های ساختاری و اشکال دگرشکل یافته (ساختارهای چین‌خورده نظیر تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها) و عملکرد فرایندهای فرسایشی (به خصوص فرسایش‌های بادی و آبی) است. محدوده ساحلی که در جنوبی‌ترین منطقه کشور در مجاورت خلیج فارس

و دریای عمان واقع است، ماهیت توپوگرافی متنوعی دارد. از عمده‌ترین اشکال ناهمواری‌ها در این منطقه می‌توان به تناوب ساختمان‌های تاقدیسی و ناودیسی، دشت‌های نسبتاً باز میان‌کوهی، جلگه‌های گسترده ساحلی، تپه ماهورها و زمین‌های گسسته، اراضی هزار دره و بالاخره گسترده‌ترین اشکال فرسایش بادی به‌ویژه جلگه ساحلی اشاره کرد. گسل زندان (میناب) یکی از گسل‌های مهم کشور محسوب می‌شود که به عنوان یک عامل زمین‌ساختی در تعیین جهت ناهمواری‌ها و ساختار زمین‌شناسی در این منطقه عمل کرده است. به طوریکه در غرب این گسل، زون زاگرس چین‌خورده، در جنوب شرقی آن تنگه هرمز با جهت شمال غربی-جنوب شرقی و در شرق آن، کوه‌های بشاگرد در ادامه ناهمواری‌های زاگرس با جهت شرقی-غربی قرار گرفته‌اند. ساختار زمین‌شناسی و سازندهای چینه‌شناسی در دو سمت این گسل تقریباً یکنواخت و مشابه است. از این رو فرایندهای فرسایشی بر روی این ناهمواری‌ها تأثیر جداگانه‌ای نداشته است. بنابراین اشکال فرسایشی در تمامی منطقه ساحلی تشابه و یکنواختی زیادی را نشان می‌دهد و عمدتاً از جنس سنگ‌ها تبعیت می‌کند.

از سوی دیگر ساختمان‌های گسلی متعددی در نیمه شرقی این منطقه (در شرق گسل میناب) وجود دارد که باعث بالا آمدن یا فرو افتادن پهنه‌هایی شده‌اند که این عوارض تا لبه ساحل نیز پیش آمده‌اند. سواحل این منطقه از نظر تکتونیکی جزو فعالترین پهنه‌های ساحلی کشور محسوب می‌شوند. بالا آمدن تدریجی سواحل باعث انحراف جریان‌های رودخانه‌ای شده و هرزآب‌ها و مئاندرهایی در جلگه‌های ساحلی ایجاد شده‌اند و عموماً در مواقع بارندگی جریان‌های سطحی و رواناب در سطح دشت‌های منطقه جاری است. علاوه بر این تغییر مداوم سطح اساس رودخانه‌ها موجب تشکیل اراضی هزار دره گسترده‌ای در منطقه مذکور شده است. جهت ناهمواری‌ها در قسمت‌های شمالی جلگه ساحلی از شرق به غرب است و در نتیجه شیب عمومی زمین نیز به همین سمت است. در این منطقه جلگه ساحلی بسیار باریک و کشیده است و اراضی تپه ماهوری و کوه‌های کم ارتفاع تا کناره‌های ساحلی قابل مشاهده‌اند. مهمترین عارضه توپوگرافی

در این بخش راه، کوه بیابان که یک تاق‌دیس بسیار باریک و دراز است، تشکیل می‌دهد (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵).

۱-۵- ضرورت انجام تحقیق

وجود منابع عظیم ذخایر هیدروکربن‌های نفتی در خلیج فارس سبب شده پتانسیل آلودگی اکوسیستم آبی این منطقه و به خصوص بستر رسوبی آن به انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین بالا باشد. همچنین در طی مراحل مختلف حمل و نقل نفت، در نتیجه سوانح مختلف دریایی (تصادم و واژگونی کشتی‌ها و نفت کش‌ها)، نفت به داخل دریا نشت می‌کند. این عوامل سبب تخریب و انهدام زیستگاه‌های مختلف موجودات زنده در منطقه، کاهش تنوع زیستی مجموعه جانوری و گیاهی این ناحیه شده است. از سوی دیگر وجود مناطق وسیع کشاورزی در سواحل خلیج فارس و دریای عمان باعث ورود مقادیر قابل توجهی از آلودگی‌های حاصل از پساب‌های کشاورزی به داخل آب و در نهایت رسوبات منطقه می‌شود. از این‌رو بررسی مناطق آلوده رسوبات دریایی از جمله مهمترین اولویت‌های زیست محیطی محسوب می‌شود.

آلودگی رسوبات مناطق مختلف خلیج فارس به فلزات سنگین به طور محدود در چند دهه اخیر توسط سازمان‌ها و محققین مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله آنها می‌توان به مطالعاتی که عباسی (۱۳۷۵) بر روی جزایر قشم، هرمز، لارک و هنگام، نوان مقصودی (۱۳۷۶) بر روی بنادر شهید رجایی و باهنر و خراسانی و همکاران (۱۳۸۴) بر روی سواحل بندرعباس انجام داده‌اند، اشاره کرد.

نتایج حاصل از این مطالعات به تفصیل در بخش مروری بر تحقیقات گذشته مورد بحث قرار می‌گیرد. از سوی دیگر با توجه به اینکه نرخ رسوب‌گذاری در این منطقه برابر با ۷ سانتی‌متر در ۱۰۰۰ سال است (Ropme, 1999)، بررسی رسوبات سطحی تا عمق ۱۵ سانتی‌متر در واقع بیانگر تاریخچه ۲۰۰۰ ساله آلودگی در منطقه می‌باشد که می‌تواند برآورد مناسبی از آلودگی‌های معاصر باشد. بنابراین با توجه به پتانسیل بالای آلودگی رسوبات در این منطقه و تأثیرات سوء این آلودگی بر اکوسیستم آبی و عدم

وجود مطالعات و تحقیقات قبلی در ارتباط با غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (سیریک و جاسک)، انجام این تحقیق لازم و ضروری به نظر می‌رسید.

۱-۶- اهداف مطالعه

هدف کلی از این تحقیق ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (بنادر سیریک و جاسک) و بررسی منشأ احتمالی آن‌ها است. در این راستا اهداف جزئی زیر مد نظر می‌باشد:

۱- تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات منطقه با استفاده از تعیین پارامترهای مختلف مانند pH، چگالی، دانه‌بندی، مقدار ماده آلی، مقدار کربنات کلسیم و نظایر آن.

۲- تعیین غلظت عناصر مختلف شامل As, Hg, V, Ni, Pb, Cr, Mn, Fe و Al در رسوبات اعماق مختلف آب (۵ و ۱۰ متر).

۳- نمایش توزیع عناصر در رسوبات واقع در اعماق ۵ متر و ۱۰ متری آب.

۴- بررسی و تجزیه و تحلیل تأثیر عمق آب در تغییرات کیفیت فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در رسوبات.

۵- مقایسه میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده با مقادیر غلظت این فلزات در پوسته و شیل متوسط جهانی و تعیین پارامترهای فاکتور آلودگی و درجه آلودگی و اعلام وجود یا عدم وجود آلودگی در منطقه مورد بررسی.

۶- تعیین منشأ احتمالی ایجاد آلودگی (زمینی یا انسانی) با انجام بررسی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، کاربری اراضی و منابع آلاینده و در نهایت تجزیه و تحلیل آماری (آنالیز خوشه‌ای) داده‌های حاصل از آنالیزهای مختلف رسوبات منطقه.

۱-۷- روش مطالعه

روش مورد مطالعه در تحقیق حاضر عبارت از بررسی نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ جاسک و ۱/۲۵۰۰۰۰ طاهروئی، بررسی اطلاعات زمین شناسی، تجزیه و تحلیل مطالعات قبلی انجام شده در منطقه و دیگر نقاط جهان در ارتباط با موضوع تحقیق، تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، انجام نمونه‌برداری از رسوبات سطحی، انجام آزمایشات شیمیایی و رسوب‌شناسی مورد نیاز، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی، جمع بندی اطلاعات و داده‌های بدست آمده، بدست آوردن ضرایب زیست محیطی مختلف و نمایش توزیع فلزات سنگین در منطقه و تعیین منشأ انسانی و زمینی آلودگی رسوبات به فلزات می‌باشد.

۱-۸- ساختار پایان‌نامه

فعالیت‌ها، مطالعات، تحقیقات و نتایج بدست آمده در این تحقیق به ترتیب زیر در این پایان‌نامه آمده است:

فصل اول: کلیات

فصل دوم: زمین شناسی منطقه

فصل سوم: مروری بر مطالعات گذشته

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

فصل پنجم: خصوصیات رسوب‌شناختی سواحل سیریک و جاسک

فصل ششم: توزیع عناصر سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (سیریک و جاسک)

فصل هفتم: بررسی منشأ احتمالی عناصر سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک

فصل هشتم: نتیجه‌گیری

در قسمت انتهایی پایان‌نامه پیوست‌ها و منابع مورد استفاده آورده شده است.



فصل دوم

زمین شناسی منطقه

۲-۱- مقدمه

جنس واحدهای سنگی، نوع و خصوصیات حوضه آبرگیر، جهت غالب بادهای منطقه و همچنین الگوی چرخش آب در خلیج فارس و تنگه هرمز تأثیر بسزایی در توزیع رسوبات و پراکندگی آلودگی دارد. در این فصل به بررسی زمین‌شناسی، چینه‌شناسی عمومی، زمین‌شناسی ساختمانی، زمین‌شناسی اقتصادی منطقه‌ی مورد مطالعه، محیط رسوبی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز، پراکندگی منطقه‌ای و کانی‌شناسی رسوبات بستر خلیج فارس و تنگه هرمز و الگوی چرخش آب در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه در تقسیمات زمین‌شناسی ایران در زون مکران قرار دارد (شکل ۲-۱). زون مکران با روند عمومی شرقی-غربی در جنوب فرورفتگی جازموریان در جنوب شرق ایران قرار دارد. این زون از غرب به گسل میناب (زندان)، از جنوب به دریای عمان و خلیج فارس و از شرق تا داخل خاک پاکستان ادامه دارد. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی این زون شامل آمیزه‌های رنگین و افیولیت‌هایی است که در کرتاسه-پالئوسن بالازدگی دارند. نهشته‌های فلیش و مولاس ائوسن-لیگوسن و نهشته‌های جوانتر میوسن تا عهد حاضر بر روی این واحدهای قدیمی‌تر قرار دارند. زون مکران به دو واحد ساختاری مکران بیرونی (ساحلی) و مکران درونی قابل تقسیم است. منطقه مورد مطالعه در واحد مکران بیرونی یا ساحلی قرار دارد که از شدت چین‌خوردگی و گسلش کمتری برخوردار است. البته برخی از رودخانه‌هایی که به سواحل مورد مطالعه می‌ریزند، از واحد مکران درونی سرچشمه می‌گیرند و رسوباتی را از این واحد به سواحل مورد مطالعه می‌آورند. سن واحدهای سنگی به طور کلی از شمال به جنوب یا از شمال شرق به جنوب غرب در جهت کلی عمود بر روند گسل میناب (زندان) کاهش می‌یابد. در بخش شمال-شمال شرقی گسل مزبور (مکران داخلی)، واحدهای قدیمی‌تر از میوسن زیرین و در بخش جنوب-جنوب غربی این گسل (مکران ساحلی) رسوبات جوانتر از میوسن میانی رخنمون دارند (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).



شکل ۱-۲: واحدهای ساختاری-رسوبی ایران (نبوی، ۱۳۵۵)

۳-۲- چینه‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

بر اساس نقشه‌های زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طاهرویی و ۱/۱۰۰۰۰۰ جاسک-گتان که منطقه مورد مطالعه را تحت پوشش قرار می‌دهند، واحدهای سنگ چینه‌ای ذیل در سرچشمه و مسیر عبور رودخانه‌های وارده به سواحل مورد مطالعه وجود دارند.

۱-۳-۲- واحدهای کرتاسه فوقانی

مجموعه‌های افیولیتی ناقص و آمیزه‌های رنگین متشکل از سنگ‌های الترامافیک سرپانتینی شده، توده

های نفوذی بازیک، دایک‌های ورقه‌ای، گدازه‌های بالشی و سنگ‌های چرتی و آهکی به صورت ناپیوسته و با مرزهای غالباً گسلی در منطقه مورد مطالعه به صورت پراکنده در واحد مکران درونی دیده می‌شوند. حضور فسیل‌های متعلق به کرتاسه فوقانی (گلوبوترانکانا) در آهک‌های بخش بالایی مجموعه‌های افیولیتی، سن تشکیل آنها را در کرتاسه و بالازدگی آنها را در پالئوسن-ئوسن زیرین تأیید می‌نماید. این واحدهای سنگی تحت عناوین آمیزه‌های رنگین، مجموعه دورکان، مجموعه گنج و مجموعه مختارآباد معروفند (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).

۲-۳-۲- واحدهای الیگوسن

رسوبات الیگوسن در منطقه خیلی کم بوده و بخش اعظم این دوره به دلیل بالازدگی، فاقد رسوب است. تنها واحد موجود در منطقه تحت عنوان واحد انگوه‌ران متشکل از شیل سیلتی، ماسه سنگ، شیل، سیلتستون و کنگلومرا است که به صورت ریتمیک دیده می‌شوند. سن این واحد الیگوسن فوقانی-میوسن زیرین در نظر گرفته می‌شود (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).

۲-۳-۳- واحدهای میوسن

بیشترین واحدهای سنگی منطقه را نهشته‌های میوسن تشکیل می‌دهند. این نهشته‌ها به ترتیب از قدیم به جدید تحت عناوین واحدهای سنگی ذیل در نقشه‌های زمین شناسی منطقه توصیف شده اند (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱):

الف: واحد وزیری

این واحد از نظر سنی معادل دهیردان است و در واقع رخساره جانبی آن قلمداد می‌شود. شیل و ماسه سنگ به همراه لایه‌هایی از صدف، سنگ آهک، کنگلومرا و آهک ریفی و مرجانی-جلبکی سازندگان این واحد هستند.

ب: واحد دارخونیش

این واحد نیز رخساره جانبی بندچاکر و شهرپوم است و عمدتاً از ماسه سنگ، شیل و سیلتستون به صورت ریتمیک تشکیل شده است.

ج: واحد گوشه

این واحد در زون مکران بیرونی قرار دارد و از نظر سنی معادل واحد شهرپوم، بندچاکر و شیل دارخونیش است. واحد گوشه عمدتاً مارنی است ولی ماسه سنگ، مدستون گچی و سیلتستون نیز در آن دیده می-شود.

د: واحد دره پهن

در زون مکران داخلی است و رخساره جانبی واحد جگین محسوب می-شود. عمدتاً از ماسه سنگ، شیل آهکی، شیل گچدار، کنگلومرا، شیل و مدستون به طور متناوب تشکیل شده و به طور پیوسته بر روی واحد بندچاکر قرار دارد.

ه: واحدهای ماسه سنگی خیکو و تیاب

این واحدها که اساساً ماسه سنگی هستند، با مقادیر کمی شیل، سنگ آهک، مدستون، کنگلومرا و سیلتستون نیز همراهند و نهشته‌های میوسن فوقانی مکران ساحلی محسوب می-شوند.

۲-۳-۴- واحدهای پلیوسن

وقوع حادثه کوهزایی در پایان میوسن-اوایل پلیوسن سبب چین خوردگی، بسته شدن حوضه دریایی و عدم رسوبگذاری دریایی در پلیوسن زیرین شده است. به طوریکه در پلیوسن فوقانی رسوبات کنگلومرای پلی میکتیک تا ماسه سنگ انباشته شده است. البته به سمت جنوب و در نقشه جاسک-گتان حوضه دریایی دیرتر بسته شده و در پلیوسن زیرین-میانی، رسوبات مارنی، ماسه سنگی، سیلتستونی نیز دیده می-شوند و سپس واحدهای کنگلومرای و ماسه سنگی میوسن فوقانی ظاهر می-شوند (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).

۲-۳-۵- واحدهای کواترنری

این واحدها عمدتاً متشکل از رسوبات قاره‌ای ماسه سنگی، کنگلومرای، پادگانه‌های مرتفع، بادبزن‌های آبرفتی، تپه‌های ماسه‌ای بادی، نهشته‌های بستر رودخانه‌ها به همراه پادگانه‌های دریایی و نهشته‌های خطوط ساحلی هستند که با علائم مختلف ($Q_s, Q_{t2}, Q_{t1}, Q^{all}, Q^{al2}, Q^{tm}, Q^{sa}, Q^r, Q^{cs}$ و Q^m) در نقشه زمین شناسی منطقه (شکل‌های ۲-۲ و ۳-۲) آمده‌اند (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).

۲-۴- زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

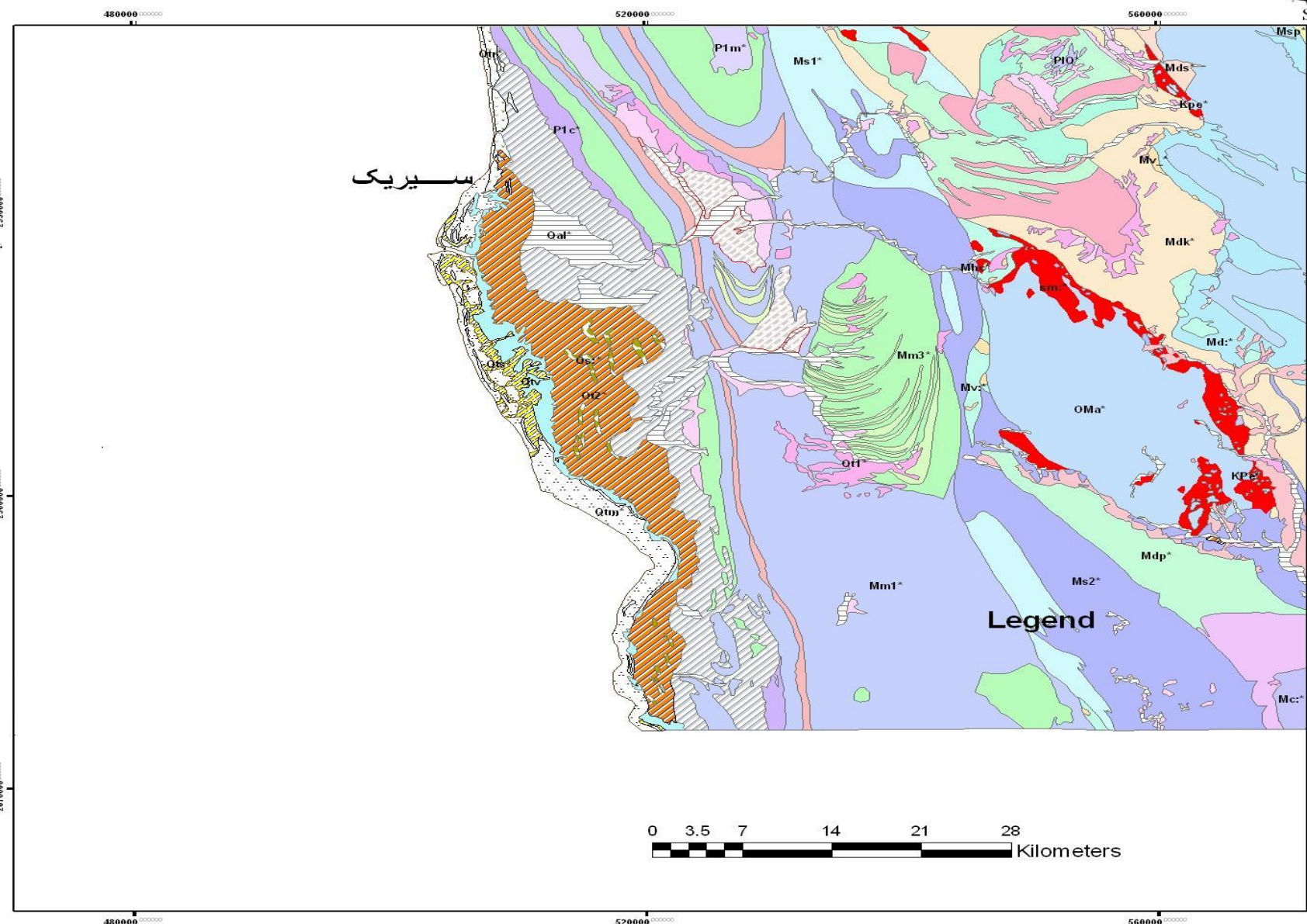
ناحیه جاسک در بخش غربی زون ساختاری مکران بیرونی (ساحلی) قرار گرفته است. از دیدگاه ساختاری، ورقه جاسک-گتان را می‌توان به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم کرد. این دو بخش توسط گسل غیر ممتدی که در ادامه جنوبی سیستم گسل زندان است، از هم جدا شده‌اند. قسمت اعظم بخش شرقی، از چین بزرگی به نام ناودیس بارشگان تشکیل شده است. گسلش و شکستگی‌ها در بخش غربی نسبتاً شدید است، با این وجود اغتشاش مهمی در توالی چین‌نگاری این بخش به وجود نیامده است. روندهای ساختاری به‌ویژه چین خوردگی در این قسمت، شمال غربی-جنوب شرقی (شکل ۲-۴) است. روندهای ساختاری این دو بخش کم و بیش به صورت تدریجی به یکدیگر تبدیل می‌شود. اشکال عمده‌ی ساختاری منطقه را چین‌ها و گسل‌ها تشکیل می‌دهند (نوحه گر و یمانی، ۱۳۸۵).

۲-۴-۱- چین‌های منطقه

الف: ناودیس سحر بار

در شمال ورقه جاسک و در بخش شرقی آن، ناودیس سحر بار با روند شمالی-جنوبی قرار دارد. این ناودیس در واحدهای PIQ تشکیل شده است و ساختاری بسیار ملایم و باز دارد. با وجودیکه بخشی از یال‌های شرقی و غربی آن در اثر فرسایش از بین رفته است، اما به طور کلی می‌توان آن را متقارن در نظر گرفت.

نقشه زمین شناسی سیریک



Legend

QUATERNARY

- Qat: آبرفت‌های کانال رودخانه‌ای
- Qal: رسوبات ماسه ای سطح نامده
- Qtm: کاتالفا و دشتهای جزر و مدی
- Qtr: دشتهای گتسی
- Qc2: دشتهای مسطح پایین
- Qc1: دشتهای مسطح بالا
- Qa2: مخروط افکنه های آبرفتی کوهپایه ای سطح پایین
- Qa1: مخروط افکنه های آبرفتی سطح بالا و سه نایبتهای رسوبی
- Qa: مخروط افکنه های آبرفتی سطح بالا
- PQc: کنگلومرای آبرفتی لایه دار و ماسه سنگ
- Plc: کنگلومرای بیس متکلیف و ماسه سنگی

PLIOCENE

- PIM5: کنگلومرای بیس متکلیف، لایه های بیل و دانه های برست، ماسه سنگ فرموفوره ای رخنساره ماسه سنگی
- Mm3: ماسه سنگ خنکیو، سلتستون سازک لایه و ماسه سنگ و مقدار گتسی بیل
- Sh: رخنساره سنگی
- Mm1: سازن کالک آژگور زمین دار با سن لایه های از مینستون و ماسه سنگی
- S: رخنساره ماسه سنگی
- Md: رخنساره گتسی

MIOCENE

- Ms2: واحد دارخونیش، نسل رسین از، نسل سنگی با مقدار گتسی ماسه سنگ و آهکی، سلتستون و ماسه سنگی، رخنساره ماسه سنگی
- S: نسل گتسی و ماسه سنگهای سازک لایه با مقدار گتسی از تزه های آهکی
- Ms1: واحد وژیوی، ماسه سنگی و بیل با لایه های صدفی، آهکی و کنگلومرا، آهکهای رنگی برجاسی و مائوسهای رنگی
- Mv: واحد انگوهرا، ماسه سنگ سازک لایه و نسل با مقدار گتسی سلتستون و کنگلومرا
- Oma2: نسل سنگی ماسه سنگی
- Oma1: ماسه سنگ لایه ای و نسل با مقدار گتسی سلتستون و کنگلومرا

OLIGOCENE

- Oma: ماسه سنگ سازک لایه و نسل با مقدار گتسی سلتستون و کنگلومرا

EOCENE

- Oma2: نسل سنگی ماسه سنگی
- Oma1: ماسه سنگ لایه ای و نسل با مقدار گتسی سلتستون و کنگلومرا

PALEOCENE

- Kpecm: کینکین مائوز رنگی، آهکی مخنوی گنوبوریکاسا، سنگهای آذرین مارک با حواسط، سنگهای نفوذی و دگرگونی
- CM1: ماسه، سنگ، نسل، سلتستون، جرت و ائولارسی، آهکی گنوبوریکاسا، فلتس و مینس
- CM2: مارشک، آندرت مارشک، بیلو لای، انواع سنگهای وکانسی، مائورفسک و نفوذی
- I: آهکی دوباره منطور و آهکهای بلزکی
- T: کالک آژگور رنگی و سلتستون
- b: بیلو لای مارک تا حد واسط
- rh: رپوداسنت
- h: هیسو کالسنسکی
- g: گرانیت دگرگون نمده، سز و گساری، بلزورانس
- g: گساری و انوس گساری
- Sr: سیرمانسنت و سنگهای انرازانسی سیرمانسنت نمده

MESOZOIC

CERTACEOUS

- I: آهکی دوباره منطور و آهکهای بلزکی
- T: کالک آژگور رنگی و سلتستون
- b: بیلو لای مارک تا حد واسط
- rh: رپوداسنت
- h: هیسو کالسنسکی
- g: گرانیت دگرگون نمده، سز و گساری، بلزورانس
- g: گساری و انوس گساری
- Sr: سیرمانسنت و سنگهای انرازانسی سیرمانسنت نمده

PERMIAN

- I: آهکی دوباره منطور و آهکهای بلزکی
- T: کالک آژگور رنگی و سلتستون
- b: بیلو لای مارک تا حد واسط
- rh: رپوداسنت
- h: هیسو کالسنسکی
- g: گرانیت دگرگون نمده، سز و گساری، بلزورانس
- g: گساری و انوس گساری
- Sr: سیرمانسنت و سنگهای انرازانسی سیرمانسنت نمده

PALEOZOIC

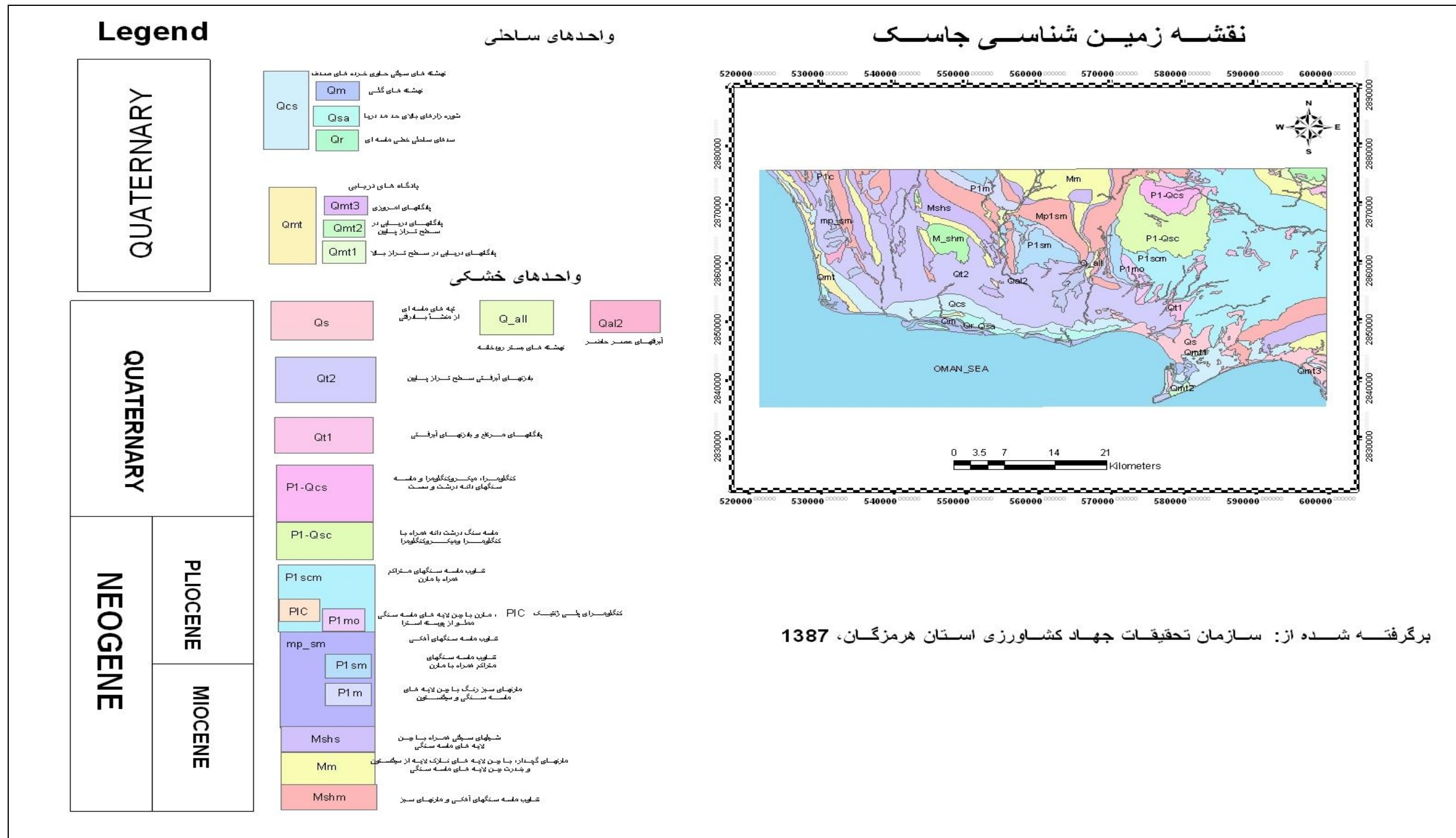
CARBONIFER

- I: آهکی دوباره منطور و آهکهای بلزکی
- T: کالک آژگور رنگی و سلتستون
- b: بیلو لای مارک تا حد واسط
- rh: رپوداسنت
- h: هیسو کالسنسکی
- g: گرانیت دگرگون نمده، سز و گساری، بلزورانس
- g: گساری و انوس گساری
- Sr: سیرمانسنت و سنگهای انرازانسی سیرمانسنت نمده

برگرفته شده از : سازمان تحقیقات جهاد کشاورزی استان هرمزگان، 1387

شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی سیریک

شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی سیریک



شکل ۲-۳: نقشه زمین شناسی جاسک

شیب کلی لایه‌های آن در دو سمت محور ۵ تا ۲۰ درجه می‌باشد. ناودیس فوق در ابتدای کواترنر تشکیل شده است (نوحه گر و یمانی، ۱۳۸۵).

ب: ناودیس گرازی

این ناودیس متقارن بوده و در بخش غربی ناحیه جاسک واقع شده است. روند تقریباً شمالی-جنوبی دارد و محور آن یک طرفه است. لایه‌های این ناودیس شیب ملایم و باز دارند. بخش‌هایی از این ناودیس یا توسط گسل بریده شده و یا توسط نهشته‌های کواترنر پوشیده شده است (نوحه گر و یمانی، ۱۳۸۵).

ج: تاقدیس گاوبندی

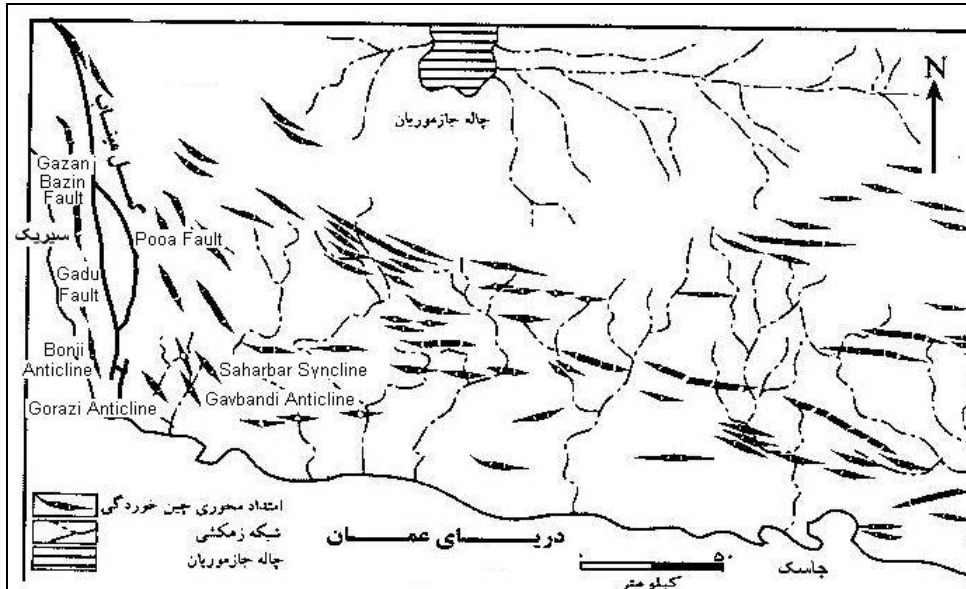
دنباله غربی ناودیس تبرکن به تاقدیس گاوبندی ختم می‌شود. تمایل این تاقدیس یک طرفه به سمت شمال غربی است و محوری خمیده با تحدب به سمت شرق دارد. این چین ظاهراً شکلی متقارن دارد ولی بخشی از دماغه شمال غربی و یال غربی آن بر اثر فعالیت گسل عادی (نرمال) گاوبندی بریده شده و توسط نهشته‌های کواترنر پوشیده شده است. به همین دلیل بخش زیادی از یال غربی این تاقدیس ناپیداست (نوحه گر و یمانی، ۱۳۸۵).

د: تاقدیس بونجی

این تاقدیس در منتهی‌الیه شمال غربی ورقه گتان قرار دارد. این تاقدیس، ساختاری بسیار پیچیده و مبهم دارد. تمایل محوری چین دوطرفه است و شیب لایه‌های آن مختلف است. اما در حول و حوش محور دارای تقارن است. بیشتر یال غربی این تاقدیس در آب‌های تنگه هرمز قرار دارد (نوحه گر و یمانی، ۱۳۸۵).

۲-۴-۲- سیستم گسلی شمال شرقی تنگه هرمز

گسل‌های مهم این منطقه به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بخش شرقی، روند گسل‌ها شرقی-غربی است ولی در بخش غربی ناحیه، این روند شمال غربی-جنوب شرقی است و در ادامه به سمت ساحل غربی، گسل‌ها روند شمالی-جنوبی پیدا می‌کنند (شکل ۲-۵). گسلش در بخش شرقی ناحیه اندک بوده و گسل‌ها جابه‌جایی‌های کمی را به وجود آورده‌اند. در حالیکه در نیمه غربی دارای



شکل ۲-۴: موقعیت گسل میناب و امتداد محوری تاقیدیس‌ها و ناودیس‌ها در غرب ارتفاعات مکران (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵)

شدت بیشتری است. اکثر گسل‌های ناحیه از نوع نرمال بوده و تنها گسل‌های معکوس ناحیه در ادامه جنوب غربی سیستم گسلی زندان و شاخه‌های مرتبط به این گسل قرار دارند (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).

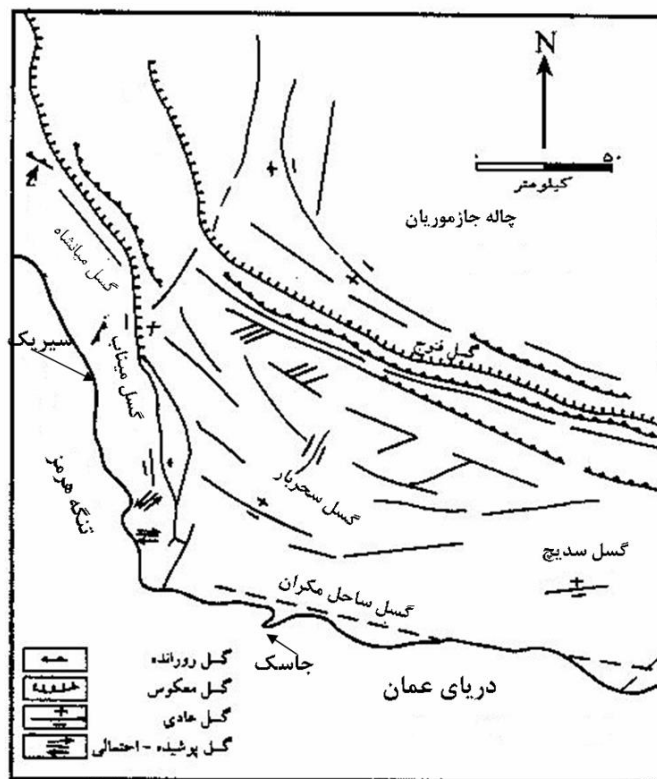
الف: سیستم گسلی زندان (میناب)

یکی از ساختارهای زمین‌شناسی مهم ایران، سیستم گسلی زندان است که جابه‌جایی کلی در امتداد آن از نوع معکوس با مولفه امتدادلغز راست‌بر می‌باشد. این سیستم گسلی در سمت غربی خود، زون مکران را از کمربند میناب-جاسک مربوط به زون ساختاری زاگرس جدا می‌سازد. در ناحیه جاسک، طول اندکی از ادامه جنوب-جنوب شرقی سیستم گسلی زندان دیده می‌شود و در منتهی‌الیه این سمت، آبرفت‌های کواترنر آن را می‌پوشاند. سیستم گسل زندان در این منطقه جابه‌جایی‌های مهمی که موجب اغتشاش توالی چین‌نگاری منطقه شده باشد، را ایجاد نکرده است. در ناحیه جاسک گسل زندان در مقیاس بیشتری در بهم خوردگی همبری لایه‌ها و به موازات لایه‌بندی مؤثر بوده است. ادامه شاخه‌های این گسل در این ناحیه بسیار خمیده بوده و شیب کمی دارد و به همین دلیل از نوع راندگی محسوب می‌شود. اما در منتهی‌الیه بخش جنوبی، شیب آن ۴۷ تا ۵۶ درجه به سمت غرب می‌باشد. از این رو به گسل معکوس تبدیل می‌شود. در منطقه جاسک-گتان، میزان جابه‌جایی قائم در

راستای شاخه‌های گسل زندان از ۳۰۰ متر بیشتر نمی‌شود. همچنین در این منطقه گسل زندان بر روی نهشته‌های کواترنری تاثیری نداشته است (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).

ب: گسل سحر بار

گسل سحر بار در سمت شمال غربی انتهای گسل سرانی قرار گرفته است. گسل فوق از نوع گسل نرمال می‌باشد و شیب آن ۸۵ درجه به سمت شمال است. در امتداد این گسل، میزان جابه‌جایی قائم گسل به طور میانگین حدود ۲۰ متر است (خان ناظر و همکاران، ۱۳۷۱).



شکل ۲-۵: موقعیت و امتداد گسل‌های اصلی منطقه (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵)

۲-۵- زمین‌شناسی اقتصادی منطقه

از جمله کانسارهای موجود در نواحی جنوب ایران می‌توان به کانسارهای آهن نواحی خلیج فارس و کرومیت (فاریاب) اشاره کرد.

الف: کانسارهای آهن

کانسار آهن جزیره هرمز از جمله کانسارهای نواحی خلیج فارس است که آهن در آن به صورت

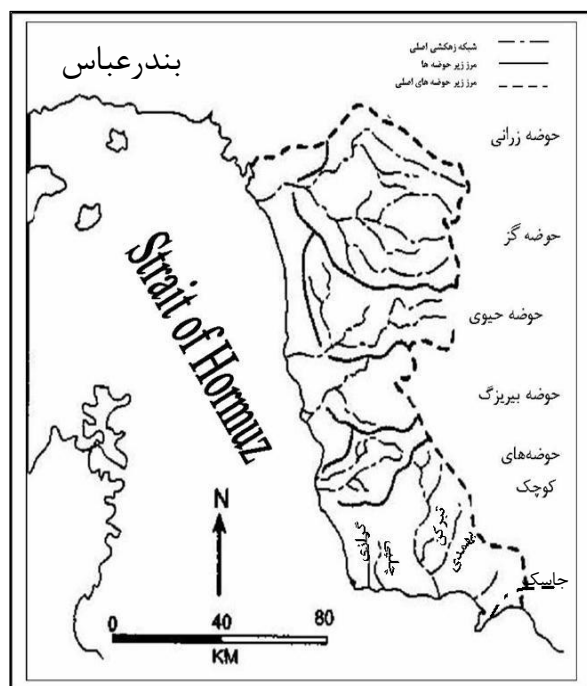
الیزبیت می باشد که بر اثر تجزیه به اکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) یا گل اخرا تبدیل شده است. این کانسنگ به صورت گل اخرا حاوی $70\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ است. در جزیره لارک و ابوموسی نیز رگه-های الیزبیت و هماتیت وجود دارد (آقابات، ۱۳۸۳).

ب: کانسارهای کرومیت

سنگ‌های آذرین منطقه فاریاب را سنگ‌های الترامافیک (پریدوتیت‌ها) تشکیل می‌دهند که توسط سنگ‌هایی از قبیل گابرو و دیوریت قطع شده‌اند. در این نواحی توده‌های کرومیت بزرگتر هستند و ذخیره بیشتری دارند. در ناحیه فاریاب معادن ابراهیم، امیر و شاهین در سنگ‌های پریدوتیتی قرار دارند و توده کرومیت در آنها به صورت لایه‌ای یا عدسی پهن در جهت شمال شرقی-جنوب غربی قرار دارد. عیار کانسار کرومیت در جنوب ایران نسبتاً بالاست و مقدار Cr_2O_3 آن از ۴۸ تا ۵۳٪ متغیر است (آقابات، ۱۳۸۳). کانسارهای عناصر گروه پلاتین بیشتر همراه با سنگ‌های مافیک و الترامافیک یافت می‌شوند. در این کانسارها عناصر گروه پلاتین همراه با کانی‌سازی سولفیدی نیکل و مس وجود دارند (شهاب پور، ۱۳۸۲). پازند و علی‌نیا (۱۳۸۶) در طی تحقیقی به بررسی کانی‌سازی عناصر گروه پلاتین در کرومیت‌های منطقه معدنی فاریاب پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در کانسار کرومیت فاریاب عناصر گروه پلاتین به صورت فازهای سولفیدی (پیروتیت، پنتلاندیت، میلریت و هیزولویت) وجود دارند.

۲-۶- حوضه آبگیر بندرعباس-میناب-جاسک

این حوضه از شرق به حوضه آبگیر بلوچستان غربی (زیرحوضه فنوچ-بنت و رایچ)، از غرب به حوضه آبگیر کل، از شمال به حوضه آبگیر غرب جازموریان (استان کرمان) و حوضه آبگیر کل و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان محدود می‌شود. در شکل ۲-۶ حوضه آبگیر در منطقه مورد مطالعه به صورت مجزا نشان داده شده است. حوضه آبگیر منطقه مورد مطالعه جزء واحد هیدرولوژیکی جاسک می‌باشد. در ادامه این قسمت رودخانه‌های مهم این حوضه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۲-۶: موقعیت حوضه‌های آبگیر بخش ساحلی منطقه (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵)

الف: رودخانه حیوی

رودخانه حیوی از دو شاخه قلعه موئی و گرو به وجود می‌آید که از سمت شرق به غرب جریان دارد و مستقیماً به تنگه هرمز تخلیه می‌شود. به موازات این رودخانه، رودخانه‌های کوچک دیگری نظیر گرازی، بیریزگ، تورکند، چلیپی و جاسک هر کدام به صورت مستقل نیز به تنگه هرمز وارد می‌شوند. قسمت عمده رودخانه حیوی از ۲ سازند مارن گوشی و ماسه سنگ خیکو عبور می‌کند. مارن گوشی از مارن حاوی ژیپس و کالک آرکوز با میان لایه‌هایی از سیلتستون، ماسه سنگ، گل ژیپس دار با مقدار کمی ماسه سنگ و سیلتستون تشکیل شده است. در حالیکه ماسه سنگ خیکو از سیلتستون نازک لایه و ماسه سنگ همراه با گل و آهک و مقدار کمی ریگ‌های کنگلومرایی تشکیل شده است. همچنین این رودخانه پس از عبور از دو سازند فوق، از دشت‌های ساحلی و رسوبات مخروط افکنه‌ای نیز عبور کرده و در نهایت به تنگه هرمز ختم می‌شود.

ب: رودخانه گز

رودخانه گز از شمال روستای گز و با جهت شرقی-غربی عبور می‌کند و به تنگه هرمز می‌ریزد. رود داوری سرشاخه اصلی آن است که از ارتفاعات شرق گز سرچشمه می‌گیرد و در مسیر خود به طرف پایین دست به نام‌های سرتنگ و کهوتکن خوانده می‌شود. سرشاخه‌های فرعی این رود در بالادست، نز

و ارنیز و در پایین دست دهرن و کردر است که به شاخه اصلی می پیوندند و به نام رودخانه گز به تنگه هرمز می ریزد. طول تقریبی این رودخانه به همراه سرشاخه های اصلی آن ۱۶۸ کیلومتر است. رودخانه گز در طی مسیر خود از سازندهای مختلفی عبور می کند. این سازندها از ابتدای مسیر به ترتیب عبارتند از: انگوهرا (فلیش با تناوبی از لایه های ضخیم شیل و ماسه سنگ)، دهیردان (تناوبی از لایه های مارنی شیلی و ماسه سنگ های آهکی)، دره پهن (ماسه سنگ و شیل با مقدار کمی مدستون)، وزیری (آهکی ریفی)، سبز (شیل ژیبس دار، شیل سیلتی با مقدار کمی ماسه سنگ و آهک)، مارن گوش (مارن حاوی ژیبس با میان لایه هایی از سیلتستون، ماسه سنگ، گل ژیبس دار با مقدار کمی ماسه سنگ و سیلتستون) و ماسه سنگ خیکو (سیلتستون نازک لایه و ماسه سنگ همراه با گل و آهک و مقدار کمی پیل های کنگلومرایبی). در قسمت های مختلف مسیر این رود همچنین نهشته های کواترنری نیز وجود دارد. در نهایت رودخانه گز پس از عبور از سازندهای سنگی فوق با گذشتن از نهشته های سیلتی، ماسه ای و کنگلومرایبی پلی میکتیک میوسن، دشت های ساحلی و کانال های ساحلی و جزر و مدی به تنگه هرمز می ریزد (برداشت آزاد از نقشه طاهروئی).

ج: رودخانه مغ کنار

رودخانه مغ کنار در جنوب رودخانه گز با روند شرقی-غربی قرار دارد. طول این رود نسبت به رودخانه گز بسیار کمتر است. این رود در مسیر خود از سازند مارن گوش (مارن حاوی ژیبس و کالک آرکوز با میان لایه هایی از سیلتستون، ماسه سنگ، گل ژیبس دار با مقدار کمی ماسه سنگ و سیلتستون) عبور می کند. رودخانه مغ کنار پس از عبور از این واحد با گذشتن از دشت های ساحلی، دشت ها و کانال های جزر و مدی در انتها به تنگه هرمز ختم می شود (برداشت آزاد از نقشه جاسک).

د: رودخانه بیریزگ

از دامنه های غربی کوه کک (به ارتفاع ۱۳۹۵ متر) رودخانه بیریزگ سرچشمه می گیرد. جهت عمومی آن نیز شرقی-غربی است و پس از طی مسافت کوتاهی (۳۰ کیلومتر) به تنگه هرمز می ریزد. تقریباً نیمی از بستر رودخانه بیریزگ را سازند مارن گوش (مارن حاوی ژیبس و کالک آرکوز با میان لایه-

هایی از سیلتستون، ماسه سنگ، گل ژپس دار با مقدار کمی ماسه سنگ و سیلتستون) تشکیل می-دهد. این رودخانه در طی مسیر خود به سمت تنگه هرمز از دشت‌های ساحلی ماسه‌ای و دشت‌های بین جزر و مدی گلی کواترنری نیز عبور می‌کند (برداشت آزاد از نقشه طاهروئی).

ه: رودخانه زنگلی

حوضه آبرگیر این رودخانه نیز وسعت کمی دارد و از اتصال شاخه‌های کوکورو و جنشود در روستای آگشک، رودخانه زنگلی تشکیل می‌شود که به سمت غرب جریان یافته و در نزدیکی روستای توجک وارد تنگه هرمز می‌شود (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۵). رودخانه بیریزگ و زنگلی به فاصله کمی از یکدیگر قرار گرفته‌اند. به طوریکه نزدیکترین فاصله آنها از همدیگر حدود ۵ کیلومتر است. بنابراین سازندهایی که بستر هر دو رود مزبور را تشکیل می‌دهد، یکسان است. تفاوت این دو رودخانه مسافت بیشتر رودخانه بیریزگ است. نیمی از بستر رودخانه را مارن گوشی تشکیل می‌دهد. این رود پس از عبور از این واحدها در طی مسیر خود به سوی تنگه هرمز، از دشت‌های ساحلی و جزر و مدی عبور می‌کند (برداشت آزاد از نقشه طاهروئی).

مهمترین رودخانه‌های اصلی منطقه جاسک را رودخانه‌های بهمدی و تبرکن تشکیل می‌دهند. این رودها روند شمالی-جنوبی دارند که رواناب‌های حاصل از بارندگی‌های فصلی را به دریای عمان منتقل می‌کنند. سرشاخه‌های این رودخانه‌ها در بیرون از محدوده جاسک قرار دارد. همچنین برخی از سرشاخه‌های این رودها (سرشاخه بهمدی) جریان آب دائمی دارند.

و: رودخانه بهمدی

قسمت ابتدایی رودخانه بهمدی در منطقه جاسک را ماسه سنگ‌های آهکی و مارن‌های سبز تشکیل می‌دهد. پس از آن با گذر از بادبزن‌های آبرفتی به نهشته‌های جزر و مدی گلی و ماسه‌ای می‌رسد. رودخانه در قسمت انتهایی مسیر خود از نهشته‌های جزر و مدی گلی و ماسه‌ای می‌گذرد و به تنگه هرمز تخلیه می‌شود (برداشت آزاد از نقشه جاسک).

ز: رودخانه تبرکن

در جاسک، قسمت ابتدایی بستر رودخانه تبرکن را مارن‌های گچ‌دار با میان لایه‌هایی از سیلتستون

تشکیل می‌دهد. این رود پس از گذشتن از واحد فوق از شیل‌های سیلتی با میان لایه‌های ماسه‌سنگی عبور می‌کند. مسیری که این رود از این پس طی می‌کند همانند رودخانه بهمدی است و پس از گذشتن از تناوب ماسه سنگ‌های آهکی و مارن‌های سبز به بادبزنی‌های آبرفتی و نهشته‌های جزر و مدی گلی ماسه‌ای می‌رسد و در نهایت وارد تنگه هرمز می‌شود (برداشت آزاد از نقشه جاسک).

ح: رودخانه چلپی

این رود در ابتدای مسیر خود از روی شیل‌های سیلتی با میان لایه‌های ماسه‌سنگی عبور می‌کند. پس از گذشتن از واحد فوق، حدود ۲۰ کیلومتر بستر رودخانه را بادبزنی‌های آبرفتی تشکیل می‌دهد (برداشت آزاد از نقشه جاسک).

ط: رودخانه گرازی

قسمت عمده مسیر این رودخانه از بادبزنی‌های آبرفتی می‌گذرد. همچنین این رود در طی مسیر خود از تناوب ماسه سنگ‌های آهکی و مارن‌های سبز، شیل‌های سیلتی با میان لایه‌های ماسه سنگی می‌گذرد. نهشته‌های سیلتی و گلی قسمت انتهایی مسیر این رود را تشکیل می‌دهند. همچنین خور کوچکی در محل اتصال آن به تنگه هرمز وجود دارد (برداشت آزاد از نقشه جاسک).

ی: رودخانه جاسک

این رودخانه با روند تقریبی شرقی غربی در ابتدای مسیر خود از روی ماسه سنگ‌های آهکی می‌گذرد. سپس در انتها با عبور از نهشته‌های سیلتی به تنگه هرمز می‌ریزد (برداشت آزاد از نقشه جاسک).

۲-۷- محیط رسوبی سواحل شمال شرق تنگه هرمز

محیط رسوبی سواحل شرق تنگه هرمز از نوع محیط‌های جزر و مدی است. موقعیت تمامی پهنه‌های محیط‌های جزر و مدی از قبیل باتلاق‌های نمک، قسمت بالای پهنه‌های جزر و مدی، قسمت پایین پهنه‌های جزر و مدی و کانال‌های جزر و مدی در نقشه‌های زمین‌شناسی طاهروئی و جاسک (شکل- های ۲-۲ و ۳-۲) با علامت Qts نشان داده شده است. در نقشه‌های زمین‌شناسی طاهروئی و جاسک، نشان دهنده باتلاق‌های نمکی و قسمت بالای پهنه‌های جزر و مدی (High Tidal Flat) است.

همچنین در این نقشه‌ها کانال‌های جزر و مدی (Tidal Channel) با علامت اختصاری Qtv مشخص شده است (برداشت آزاد از شرح نقشه زمین شناسی جاسک-گتان).

۲-۸- پراکندگی منطقه‌ای و کانی‌شناسی رسوبات بستر خلیج فارس و تنگه هرمز

محققین در طی تحقیقی خصوصیات بافتی و پراکندگی منطقه‌ای قطر ذرات رسوبات بستر محدوده دریایی ROPME را مورد بررسی قرار دادند (Al-Ghadban *et al.* 1996). نتایج نشان داد که رسوبات دانه‌ریز (گل و گل شنی) قسمت عمده رسوبات نواحی شرقی سواحل ایرانی خلیج فارس و تنگه هرمز را تشکیل می‌دهند. این مسأله ناشی از جریان پادساعتگردی است که از اقیانوس هند به تنگه هرمز و خلیج فارس وارد می‌شود. کربنات‌ها، کانی‌های رسی و مقدار اندکی کوارتز و فلدسپات، کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده رسوبات خلیج فارس و تنگه هرمز هستند. کلسیت‌هایی با مقدار کمی منیزیم، کلسیت-هایی با منیزیم بالا، دولومیت و آراگونیت عمده کربنات‌های رسوبات منطقه را تشکیل می‌دهند. بیش از ۷۰ درصد ذرات رسوبی دریایی خلیج فارس و تنگه هرمز در حد و اندازه رس، کانی‌های رسی هستند (Kukal and Saadallah, 1973, Al-Ghadban *et al.* 1998).

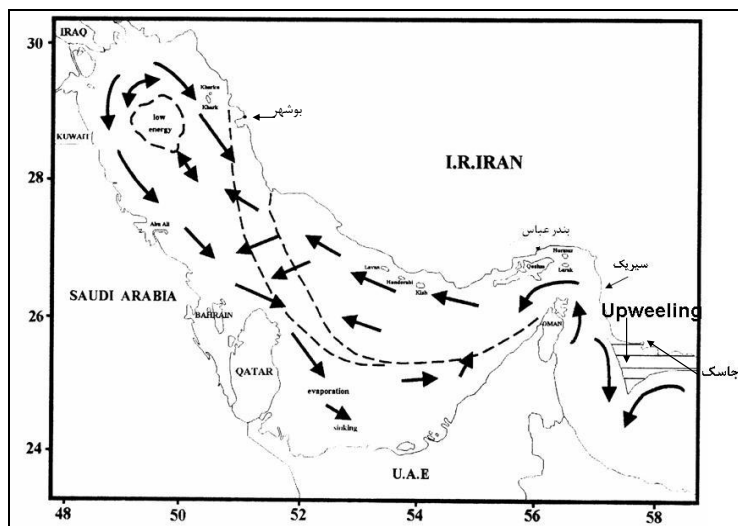
۲-۹- الگوی چرخش آب در خلیج فارس و تنگه هرمز

مدل کلی چرخش آب در خلیج فارس در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. بر اساس این مدل جریان آب در خلیج فارس را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد (Reynold, 1993):
 باد شمال، جریان ورودی آب از تنگه هرمز را در طول سواحل ایرانی در زمستان تضعیف می‌کند، در حالی که در تابستان این جریان ورودی به دلیل کم شدن شدت باد شمال، قویتر شده و تقریباً تا سواحل بالایی خلیج گسترش می‌یابد. ورود آبهای سطحی از طریق تنگه هرمز منجر به تولید یک چرخه‌ی سیکلونیک می‌شود که نواحی جنوبی خلیج را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جریانی شدید به سمت جنوب بین قسمت‌های فوقانی خلیج فارس و قطر وجود دارد و به سمت شرق قطر، تحت تأثیر عمل باد گسترش می‌یابد.

در مجاورت تنگه هرمز، جریان غالب ناشی از جریان‌های چگالی ناشی از ورود آب‌های سطحی در مجاورت سواحل ایرانی است. در تمام طول سواحل جنوبی خلیج فارس یک جریان ساحلی به سمت جنوب وجود دارد. تبخیر بسیار شدید در شرق قطر موجب افزایش چگالی شده که در نتیجه باعث فرورفتن آب و ایجاد یک جریان عمقی از آب‌های شور و سنگین و حرکت آن به سمت تنگه هرمز می‌شود که در نهایت از قسمت‌های عمیق خلیج فارس خارج می‌گردد.

خطوط منقطع در شکل ۲-۷ حدود تخمینی ورودی آب رودخانه‌ها در سواحل ایرانی در فصول تابستان و زمستان را نشان می‌دهد. خروج آب از رودخانه‌ی اروندرود جریانی در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به وجود می‌آورد که در جهت غرب به سمت سواحل کویت و عربستان سعودی گسترش پیدا می‌کند.

چرخش آب در خلیج عمان در جاسک تحت تأثیر یک چرخه در جهت عقربه‌های ساعت در غرب و یک چرخه در خلاف عقربه‌های ساعت در شرق می‌باشد. سطح تماس بین این دو چرخه با جهات مخالف یک ناحیه بالا آمدگی (Upwelling) در سواحل ایران را مشخص می‌نماید. در مجموع گرادیان‌های چگالی احتمالاً عمده‌ترین مکانیسم جریان آب در نزدیکی تنگه هرمز می‌باشد.



شکل ۲-۷: وضعیت شماتیک جریان‌های سطحی و فرایندهای چرخشی در آب (Reynold, 1993).

فصل سوم

مروری بر مطالعات پیشین

۳-۱- مقدمه

عناصر سنگین از قبیل آهن، مس، کادمیوم، روی، سرب، نیکل، وانادیوم، کروم، آرسنیک، جیوه و منگنز به طور طبیعی در اکوسیستم‌های زنده یافت می‌شوند. وزن مخصوص آنها از ۵/۵ گرم بر سانتی متر مکعب بیشتر است. موقعیت برخی از این عناصر در جدول تناوبی را می‌توان در شکل ۱-۳ مشاهده نمود. در این جدول این عناصر به صورت برجسته نشان داده شده است (Wikipedia, 2009). این فلزات به طور مستقیم یا غیرمستقیم در رشد، متابولیسم و تمایز جانداران مؤثرند. غلظت مشخصی از تعدادی از آنها مانند آهن، مس، روی، کبالت و نیکل برای رشد جانداران ضروری است، در حالیکه برخی دیگر مانند سزیم، روبیدیم، طلا، نقره، کادمیوم، جیوه، سرب در بدن موجود زنده اعمال خاصی انجام نمی‌دهند و حتی غلظت‌های کم از این عناصر باعث اختلال در فعالیت‌های طبیعی می‌شوند. این فلزات به طور طبیعی در زمین یافت می‌شوند و با دخالت‌های انسان غلظت آنها در مکان‌های خاص افزایش می‌یابد. فلزات جزء آلاینده‌های پایدار در طبیعت هستند و طی فرایندهای بیولوژیک تجزیه نمی‌شوند (امینی رنجبر، ۱۳۷۱)، لذا ورود آنها به محیط به صورت محلول در آب و خاک باعث آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک می‌شود. انسان و دیگر موجودات زنده با مصرف سبزیجات، گیاهان آبیاری شده با چنین آب‌هایی و یا برخاسته از خاک‌های آلوده و نیز مصرف جانوران و آبزبان آلوده، به انواع بیماری‌های شناخته و ناشناخته مبتلا می‌شوند. بنابراین لازم است نسبت به کنترل و کاهش آلودگی ناشی از فلزات سنگین در محیط زیست اقدامات لازم انجام شود. در این قسمت به بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی و چگونگی پراکندگی بعضی از عناصر سنگین از قبیل آرسنیک، جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم، منگنز، آهن، کروم، آلومینیوم در زمین، آلودگی خاک و رسوبات به عناصر سنگین، منشأ عناصر سنگین در خاک و رسوب، ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در رسوبات، عوامل مؤثر در تحرک عناصر سنگین در رسوبات، جذب عناصر سنگین توسط رسوبات و تاریخچه آلودگی رسوبات خلیج فارس و تنگه هرمز خواهیم پرداخت.

1																	18	
H			Symbol															He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

شکل ۳-۱: موقعیت برخی از عناصر سنگین در جدول تناوبی (Wikipedia, 2009)

۳-۲- آرسنیک

آرسنیک عنصری است به رنگ خاکستری، با چگالی ۵/۷ گرم بر سانتی متر مکعب. این عنصر کالکوفیل است و غالباً به صورت ترکیب با گوگرد در کانی‌هایی از قبیل آرسنوپیریت FeAsS، رآلگار و اورپیمان و وجود دارد. با توجه به اینکه این عنصر از نظر شیمیایی شبیه به فسفر است، می‌تواند در کانی‌های حاوی فسفر نیز جای گیرد. همانطور که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است، غلظت آرسنیک در بیشتر سنگ‌ها بین ۰/۵ ppm تا ۲/۶ ppm و در رسوبات آرژیلیتی معادل ۱۳ ppm می‌باشد (Kabata- Pendias , 2000).

جدول ۳-۱: غلظت معمول برخی عناصر در انواع سنگ‌ها (Kabata- Pendias , 2000)

فلزات	سنگ‌های الترامافیک (دونیت، پریدوتیت، پیروکسنیت)	سنگ‌های مافیک (بازالت، گابرو)	سنگ‌های حد واسط (دیوریت، سینیت)	سنگ‌های اسیدی (گرانیت، گنایس)	سنگ‌های اسیدی (آتشفشانی) (ریولیت، تراکیت و داسیت)	رسوبات آرژیلیتی	شیل‌ها	ماسه-سنگه	آهک، دولومیت
As(ppm)	۰/۵-۱/۰	۰/۶-۲/۰	۱/۰-۲/۵	۱/۰-۲/۶	۱/۵-۲/۵	۱۳	۵-۱۳	۱/۰-۱/۲	۱/۰-۲/۴
Hg(ppm)	نامشخص	نامشخص	نامشخص	۰/۰۸	نامشخص	۰/۲۰-۰/۴۰	۰/۱۸-۰/۴۰	-۰/۱۰-۰/۰۴	-۰/۰۵-۰/۰۴
Pb(ppm)	۰/۱-۱۰	۳-۸	۱۲-۱۵	۱۵-۲۴	۱۰-۲۰	۲۰-۴۰	۱۸-۲۵	۵-۱۰	۳-۱۰
Mn(ppm)	۸۵۰-۱۵۰۰	-۲۰۰۰-۱۲۰۰	-۱۲۰۰-۵۰۰	-۶۰۰-۳۵۰	۶۰۰-۱۲۰۰	۴۰۰-۸۰۰	۵۰۰-۸۵۰	-۵۰۰-۱۰۰	-۱۰۰۰-۲۰۰
Fe(%)	۹/۴-۱۰	۵/۶-۸/۷	۳/۷-۵/۹	۱/۴-۲/۷	۲/۶	۳/۳-۴/۷	۴/۳-۴/۸	۱-۳	۱-۴

آرسنیک به وفور در ترکیب با S, Se و Te وجود دارد. به دلیل اکسیداسیون رسوبات سولفیدی، کانی-های مختلفی از قبیل آرسنات‌ها و آرسنیدها در طبیعت وجود دارد. اگرچه کانی‌های آرسنیک به راحتی به حالت محلول درمی‌آیند، حرکت و مهاجرت آنها به دلیل جذب شدید As توسط رس‌ها، هیدروکسیدها و مواد آلی تا حد زیادی محدود می‌شود. حالت‌های اکسایش این فلز +۵، +۳، ۰ و -۳- است. آنیون‌های کمپلکس HAsO_4^{2-} , AsO_4^{3-} , AsO_2^- و H_2AsO_3^- معمولترین یون‌های متحرک آرسنیک هستند که در pH ۷ تا ۹ جذب می‌شوند. قدرت سمی بودن As^{3+} از As^{5+} بیشتر است. یون-های غالب این عنصر در محدوده pH و Eh معمولی خاک As^{5+} و As^{3+} هستند. As^{3+} مانند دیگر عناصر کالکوفیل با گروه‌های SH- موجود در آنزیم‌ها ترکیب شده و مانع از انجام اعمال طبیعی آنها می‌شود. As^{5+} موجود در H_2AsO_4^- از نظر شیمیایی شبیه فسفات است و امکان دارد که در سوخت و ساز فسفات مداخله کند. مسمومیت حاد آرسنیک باعث ایجاد ورم شدید معده و روده می‌شود. تأثیر درازمدت ناشی از تجمع مقادیر کم آرسنیک در بدن شامل ریزش مو و ایجاد زخم‌های پوستی است (مر و زائری، ۱۳۸۲). رفتار آرسنات AsO_4^{3-} شبیه فسفات و وانادات‌ها است. در بیشتر شرایط As^{5+} به صورت H_2AsO_4^- در محیط دیده می‌شود. در حالیکه As^{3+} در pH و Eh پایین به شکل H_2AsO_3^- در محیط حضور دارد (Creclius *et al.* 1986). واکنش‌های As در خاک به وضعیت اکسیداسیونی آن بستگی دارد. یون‌های آرسنات به آسانی توسط اجزاء خاک از قبیل رس‌ها، گل‌های فسفاتی، هوموس و کلسیم تثبیت می‌شوند. اکسیدهای آهن و آلومینیوم فعالترین جزء در تثبیت آرسنیک محسوب می‌شوند. هیدروکسید آلومینیوم موجود در سطوح خارجی کانی‌های میکادار در تثبیت آرسنیک نقش به-سزایی دارند (Huang, 1975). بین آرسنیک موجود در خاک و آهن (گوتیت) ارتباط شدیدی وجود دارد (Norrish, 1975). اکسیدهای آهن و Eh خاک مهمترین پارامترهای کنترل کننده سرعت جذب آرسنیدها هستند (Elkhabitet al, 1984). همچنین pH خاک بر روی غلظت ترکیبات آرسنیک که در سطح اکسیدها جذب می‌شوند، تأثیر می‌گذارد (Kabata Pendias, 2000). تجمع آرسنیک در آب‌های زیرزمینی، خطری جدی برای سلامت افرادی که از این آب استفاده می‌کنند، محسوب می‌شود. یکی

از فجیع‌ترین بلاای انسان ناشی از آلودگی آب به آرسنیک در بنگال غربی در هند رخ داده است (Samanta et al, 1999). در طی تحقیقی غلظت آرسنیک، آنتیموان، جیوه و تالیم در رودخانه زرشوران (تکاب) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت آرسنیک در رودخانه زرشوران بین ۰/۰۲۸ تا ۴۰ میکروگرم بر لیتر تغییر می‌کند. با توجه به غلظت بالای آرسنیک در رودخانه فوق، محققان اعلام کردند رودخانه زرشوران واقع در منطقه تکاب ایران یکی از آلوده‌ترین رودخانه‌ها از نظر غلظت آرسنیک می‌باشد (مدبری و مر، ۱۳۸۳). منشأ این آلودگی، حضور کانی‌های رآلگار و اورپیمان در معدن زرشوران است.

منابع عمده انسانی آرسنیک عبارت از فعالیت صنایع متالورژی، فعالیت‌های شیمیایی وابسته به فسفر و گوگرد، سوختن زغال‌سنگ، فعالیت نیروگاه‌های ژئوترمال، اسپری‌های حاوی آرسنیک مورد استفاده در باغ‌های میوه می‌باشند (Vangronsveld, 1998).

۳-۳- جیوه

جیوه فلزی است نادر، به رنگ سفید-نقره‌ای با وزن مخصوص ۱۳/۵۴ گرم بر سانتی متر مکعب. جیوه یک عنصر کالکوفیل قوی است، بنابراین در پوسته به صورت کانی‌های سولفیدی (سینابر) یافت می‌شود. جیوه نسبتاً فرار است. غلظت جیوه در همه سنگ‌های ماگمایی بسیار کم است و از چند ده میکروگرم بر کیلوگرم تجاوز نمی‌کند (جدول ۳-۱). همانگونه که در جدول ۳-۲ نشان داده شده است، غلظت جیوه به طور طبیعی در فازهای مختلف محیط زیست بسیار پایین است.

جدول ۳-۲: غلظت جیوه در محیط زیست (مر و زائری، ۱۳۸۲)

مکان	پوسته	آب دریا:		آبهای شیرین	آب آشامیدنی (حد مجاز)	خاک‌ها		غذا			بدن انسان
		عادی	ساحل‌های آلوده			عادی	آلوده	سبزیجات و غلات	گوشت	ماهی	
غلظت (ppb)	۵۰	<۰/۰۱	۰/۰۵-۲۰۰۰	۰/۰۲-۰/۱	۱	۰/۰۱-۰/۵	۰/۵-۵۰	۱-۵۰	۱-۵۰	۱۵۰۰-۳۰	۲-۰/۲

بیشترین غلظت این فلز در سنگ‌های رسوبی، آرژیلیتی و به خصوص در شیل‌های غنی از مواد آلی (از ۴۰ تا ۴۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم) وجود دارد (Kabata- Pendias, 2000). این فلز به صورت جیوه عنصری و یا به صورت کمپلکس‌های آنیونی و کاتیونی اتصال محکمی با ذرات خاک برقرار می‌کند.

یون Hg^+ معمولاً کمپلکس‌های ضعیف‌تری از یون Hg^{+2} تشکیل می‌دهد. جیوه در خاک به صورت کمپلکس‌هایی که تحرک کمتری دارند، باقی می‌ماند (Shcherbakov *et al.* 1970).

جذب جیوه به وسیله رس‌ها ظاهراً محدود است و تنها مقداری با pH تغییر می‌کند. تجمع جیوه در خاک عمدتاً از طریق تشکیل کمپلکس‌های آلی و رسوبگذاری کنترل می‌شود. بنابراین تحرک جیوه به فرایندهای انحلال و تجزیه بیولوژیکی و شیمیایی ترکیبات ارگانیکی جیوه بستگی دارد (Kabata-Pendias, 2000). کمتر از ۴٪ جیوه کل خاک می‌تواند از طریق واکنش‌های الکترواستاتیکی جذب شود و به همین دلیل این نیرو مهم‌ترین عامل جذب جیوه توسط ذرات خاک نیست (Yin *et al.* 1997). این مطالب به وضوح نشان‌دهنده اهمیت مواد آلی خاک در جذب و دفع Hg^{+2} است. افزایش اسیدیته خاک باعث افزایش جذب جیوه به مواد هیومیکی می‌شود و در نتیجه شستشوی جیوه از سطح خاک کاهش پیدا می‌کند (Kabata-Pendias, 2000).

میل ترکیبی زیاد اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن برای اتصال به جیوه سبب می‌شود که جیوه به مقدار زیاد در خاک‌های آهن‌دار (غنی از ندول‌های حاوی آهن) تجمع یابد. در اینگونه خاک‌ها توزیع جیوه بیش از مواد آلی به ترکیبات آهن‌دار وابسته است. به این دلیل در افق‌های غنی از اکسیدهای آهن در آمازون سطح جیوه خاک افزایش یافته است (Fostier *et al.* 1999).

منابع طبیعی مولد جیوه در محیط عبارتند از گازهای آتش فشان‌ی و تبخیر از سطح خاک‌ها و آب‌های محتوی جیوه. منابع مصنوعی مولد جیوه در محیط شامل صنایع متالورژی، احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج کانسارهای جیوه، استفاده از جیوه در صنایع شیمیایی جهت تولید کلر-آلکالی، تولید سیمان و سوزاندن زباله در محل‌های دفن آن می‌باشد (مر و همکاران، ۱۳۸۰). در یک منطقه استخراج جیوه در مرکز برزیل در طی دهه ۱۹۸۰ سالانه حدود ۸۰ تن جیوه وارد محیط شده است (Ribeiro *et al.* 1999).

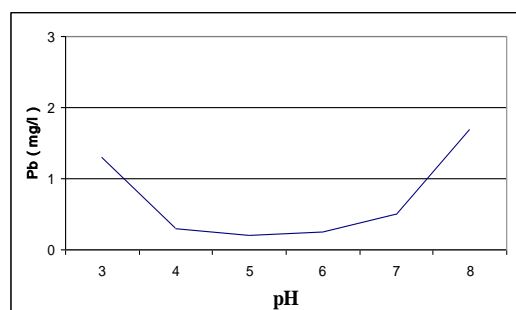
جیوه یک عنصر گوگرد دوست است، به همین دلیل به گروه‌های سولفیدریل موجود در پروتئین‌ها (از جمله آنزیم‌ها)، هموگلوبین و آلبومین سرم متصل می‌شود و کار آنها را مختل می‌کند. این عنصر با

اتصال به غشا از انتقال فعالانه قند جلوگیری کرده و باعث می شود تا غشا نسبت به پتاسیم نفوذپذیر شود که این امر سبب ایجاد مشکل در انتقال تکانه‌های عصبی در مغز می‌شود. این اثرات فیزیولوژیک باعث ایجاد ناهنجاری‌هایی از قبیل فلج مغزی، عقب ماندگی ذهنی، ایجاد اختلالات شنوایی، بی‌حسی عمومی و تشنج در نوزادانی می‌شود که مادران آنها با متیل جیوه مسموم شده‌اند (نوری و فردوسی، ۱۳۷۹). از اثرات قابل ملاحظه جیوه، رابطه مثبت بین سطح جیوه در خون و سطح هورمون استروئیدی و استرون خون افراد می‌باشد (Agusa et al. 2007) از بیماری‌های شناخته شده در جهان که بر اثر مسمومیت با جیوه ایجاد می‌شود، می‌توان به بیماری میناماتا (Minamata) اشاره کرد. این بیماری اولین بار در شهر میناماتا در ایالت کوماموتو ژاپن در سال ۱۹۵۶ دیده شد. در مارچ ۲۰۰۱ قربانیان این بیماری حدود ۲۲۶۵ نفر تشخیص داده شدند (Wikipedia, 2007). این بیماری ناشی از مصرف ماهی‌های آلوده به جیوه در این بندر بوده است.

۳-۴- سرب

سرب یکی از قدیمی‌ترین فلزات شناخته شده در جهان است. وزن مخصوص آن ۱۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد و ۲ حالت اکسایشی ۲+ و ۴+ دارد. این عنصر به عنوان فراوانترین عنصر سنگین شناخته شده است و در مقادیر اندک در کانی‌های سیلیکاته بسیاری از سنگ‌های آذرین اسیدی و به خصوص در کانی‌های موجود در گرانیت‌ها یافت می‌شود. غلظت سرب در سنگ‌های آذرین اسیدی و رسوبات آرژیلیتی (رسی) بین ۱۰ ppm تا ۴۰ ppm است. در حالی که این غلظت در سنگ‌های الترامافیک و رسوبات کربناته به ۰/۱ ppm تا ۱۰ ppm کاهش می‌یابد (جدول ۳-۱). غلظت سرب در خاک به سنگ بستر بستگی دارد. با این وجود آلودگی سرب در اکثر نواحی باعث افزایش غلظت آن در افق‌های خاک به ویژه در افق‌های بالایی شده است (Kabata- Pendias, 2000). سرب یک عنصر کالکوفیل قوی است که به طور عادی در سولفیدها یافت می‌شود و کانی رایج گالن را تشکیل می‌دهد. اکسایش کانسنگ‌های سولفیدی، منجر به آزاد شدن یون Pb^{+2} می‌شود. این یون کانی‌های اکسیدی انحلال ناپذیری مانند کربنات‌ها (سروزیت) و سولفات‌ها (آنگلیزیت) را به وجود می‌آورد و نیز به کانی-

های رسی، اکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی متصل می‌شود. یون Pb^{+2} این قابلیت را دارد که در کانی‌ها و محلول‌ها جانشین Ca و K, Ba, Sn شود. اگرچه ترکیبات سرب در خاک‌های مختلف متفاوت است، با این وجود نتایج حاصل از تحقیقات نشان داده است که در بعضی از انواع خاک‌ها غلظت بالایی از سرب در کربنات کلسیم و فسفات‌ها وجود دارد. به همین دلیل به خاک‌های آلوده به سرب، فسفات اضافه می‌کنند تا ترکیبات محلول سرب کاهش یافته و فسفات و اکسیدهای نامحلول سرب تشکیل شوند. در خاک‌های با pH بالا سرب به صورت هیدروکسید، فسفات یا کربنات ته‌نشین می‌شود. در حالیکه افزایش اسیدیته منجر به انحلال سرب می‌شود. (شکل ۳-۲) (Norrish, 1975).



شکل ۳-۲: حلالیت کروم در pHهای مختلف (Norrish, 1975)

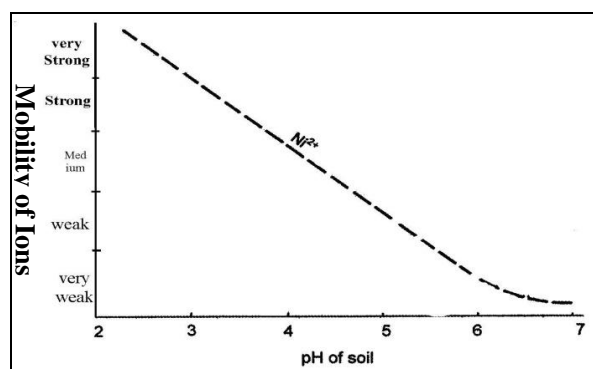
پساب‌های حاصل از معادن فعال و قدیمی سرب یکی از منشأهای عمده آلودگی خاک اطراف این معادن به این فلز محسوب می‌شوند. میزان سربی که به صورت طبیعی وارد محیط زیست می‌شود، در مقایسه با سربی که از طریق فعالیت‌های انسانی وارد محیط زیست می‌گردد، کمتر است. ته‌نشست گرد و غبارهای موجود در اتمسفر شهری نیز یکی دیگر از منشأهای سرب در محیط زیست محسوب می‌شود (Bell, 1998).

تمام ترکیبات سرب سمی هستند. علائم مسمومیت با سرب شامل کم‌شدن میزان استعداد، ایجاد اختلال در شنیدن و تکلم، کاهش حافظه و توانایی یادگیری، سوء تغذیه و کم‌خونی است. جذب سرب برای سیستم اعصاب مرکزی، دستگاه گوارش و کلیه‌ها زیان‌آور است. اعمال کلیوی در نتیجه توقف فرایندهای متابولیکی دچار اختلال می‌شود (نوری و فردوسی، ۱۳۷۹).

۳-۵- نیکل

نیکل هفتمین عنصر فراوان در ترکیب کل زمین است که نزدیک به ۱۰٪ کل هسته را تشکیل می‌دهد. از نظر ژئوشیمیایی، نیکل عنصری سیدروفیل است و به آهن فلزی متصل می‌شود و علاوه بر این، نیکل تمایل شدیدی به گوگرد دارد و در سنگ‌های زمینی نیکل همراه با سولفیدها، آرسنیدها و آنتیمونیت یافت می‌شود و همچنین در فرومنیزیمها، نیکل جانشین آهن می‌شود. کربنات‌ها، فسفات‌ها و سیلیکات‌ها نیز حاوی مقداری نیکل هستند. نیکل به راحتی بر اثر هوازدگی حرکت کرده و سپس با اکسیدهای آهن و منگنز رسوب می‌کند (Kabata-Pendias, 2000).

غلظت بالای نیکل در زغال سنگ و نفت به رسوب این عنصر به صورت سولفید در رسوبات غنی از مواد آلی و تحت شرایط احیا مرتبط می‌شود. اگرچه نیکل خاک در ارتباط با اکسیدهای آهن و منگنز است، با این وجود در بیشتر خاک‌ها کم‌تر از ۱۵ تا ۳۰ درصد نیکل کل، جذب اکسیدهای منگنز می‌شود. قابلیت انحلال و جذب نیکل بر روی اکسیدهای آهن و منگنز به خصوص به pH وابسته است (شکل ۳-۳) (Kabata-Pendias and Pendias, 1999).



شکل ۳-۳: طرح شماتیکی از تحرک نیکل تحت تأثیر pH خاک (Kabata-Pendias and Pendias, 1999)

تحرک مجدد نیکل از فاز جامد ظاهراً به دلیل حضور اسید فومیک و اسید هیومیک است. بنابراین، نیکل می‌تواند در خاک‌هایی با قابلیت کمپلکس‌کنندگی بالا از قبیل خاک‌های غنی از مواد آلی و یا خاک‌های آلوده کاملاً به حالت متحرک درآید. وضعیت نیکل در خاک به سنگ مادر وابسته است. حداکثر غلظت نیکل در خاک‌های رسی و آهکی دیده می‌شود. همچنین غلظت بالایی از نیکل در خاک‌های سرپانتینی زغالدار وجود دارد که به راحتی با کمپلکس‌های آلی به حالت محلول درمی‌آیند.

خاک‌های نواحی خشک و نیمه خشک مقدار قابل توجهی نیکل دارند (Kabata-Pendias, 2000). این عنصر اساساً به صورت جذب شده با ذرات رسی منتقل می‌شود، از این رو با افزایش مقدار رس در سری سنگی ماسه سنگ، سیلتستون و رس میزان آن افزایش می‌یابد و با کاهش رس در سری سنگی رس، مارن و آهک غلظت نیکل نیز کاهش می‌یابد (حسنی پاک، ۱۳۸۲).

آلودگی حاصل از نیکل در مناطق مختلف در حال تبدیل شدن به یک مسئله جدی زیست محیطی است. منابع بشرزادی نیکل (فعالیت صنایع فلزی، سوختن نفت و گاز و نیز افزایش استفاده از کودهای فسفاته) از دلایل عمده افزایش نیکل خاک می‌باشند. کلات‌های آلی نیکل موجود در گل و لای فاضلاب‌های مورد استفاده در آبیاری مزارع، به راحتی در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و حالت مسمومیت برای گیاه ایجاد می‌کنند. مدیریت خاک از قبیل افزایش آهک و فسفات به عنوان راهکارهایی شناخته شده اند که باعث می‌شود قابلیت دسترسی نیکل توسط گیاه کاهش یابد (Kabata-Pendias, 2000). بدن انسان مکانیزم‌هایی برای متابولیسم مقادیر جزئی نیکل دارد. تنفس، بلع و جذب پوستی سه روش ممکن برای ورود نیکل به بدن است. ترکیبات نیکل که به صورت گردوغبار از راه تنفس وارد بدن می‌شوند در شش‌ها تجمع می‌یابند و بسته به اینکه ترکیبات مذکور محلول یا غیرمحلول باشند دو مسیر جداگانه را طی می‌کنند. ترکیبات نامحلول در شش‌ها باقی مانده و موجب عوارضی از قبیل فیبروز ریوی، برونشیت و سرطان ریه می‌شود در حالیکه ترکیبات محلول نیکل از راه جریان خون به کلیه‌ها وارد شده و دفع می‌شود (زاهد و محمدی دشتکی، ۱۳۷۹).

۳-۶- وانادیم

متوسط غلظت وانادیوم در پوسته زمین برابر ppm ۱۳۵ است. این عنصر عمدتاً در سنگ‌های مافیک و شیل‌ها با غلظت ppm ۱۰۰ تا ppm ۲۵۰ متمرکز است. خصوصیات ژئوشیمیایی آن به حالت‌های اکسیداسیون آن (+۵، +۴، +۳ و +۲) وابسته است. این عنصر در اسیدپته متوسط، کمپلکس‌های مختلف اکسیدی و هیدروکسیدهای کاتیونی و آنیونی تشکیل می‌دهد. وانادیوم در شبکه کانی‌های دیگر جانشین فلزاتی از قبیل آهن، تیتانیوم و آلومینیوم می‌شود. تحرک وانادیوم در حین هوازدهی به

کانی میزبان وابسته است و در انتها این عنصر یا در قسمت برجای سنگ متمرکز می‌شود یا اینکه جذب کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن می‌شود. وانادیوم با محتوای Mn و K خاک ارتباط تنگاتنگی دارد و همچنین می‌تواند جذب مواد آلی خاک شود. بنابراین تجمع این عنصر در شیل‌های آلی و بیولیتیک معمول است. غلظت بالایی از وانادیوم در بعضی از زغال‌سنگ‌ها و نفت خام از جمله نفت خام ونزوئلا به صورت کمپلکس پورفیرین یون وانادیل $[VO]^{+2}$ وجود دارد (Kabata-Pendias, 2000). اگرچه گزارشاتی مبنی بر آلودگی خاک با وانادیوم وجود ندارد، با این وجود فعالیت‌هایی از قبیل ذوب فلزات، سیمان‌سازی، کارخانه‌های سنگ‌های فسفات و سوختن سوخت‌های فسیلی از قبیل نفت و زغال‌سنگ احتمالاً باعث افزایش رسوب وانادیوم در خاک‌ها می‌شود (Kabata-Pendias, 2000). وانادیوم یک جزء سازنده ضروری بیشتر آنزیم‌ها به خصوص نیتروگناز وانادیوم است. این آنزیم در میکروارگانیسم‌های تثبیت کننده نیتروژن وجود دارد. وانادیم به مقدار کمی جذب دستگاه گوارش می‌شود و به همین دلیل تأثیر سوئی بر روی آن ندارد، در حالیکه تنفس وانادیم باعث آسیب دیدگی شدید دستگاه تنفس، سیستم عصبی و سلول‌های خونی می‌شود (wikipedia, 2008).

۳-۷- منگنز

همانگونه که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است، غلظت معمولی منگنز در سنگ‌ها بین ۳۵۰ ppm تا ۲۰۰۰ ppm است. حداکثر غلظت منگنز در سنگ‌های مافیک دیده می‌شود. Mn^{+2} می‌تواند در اکسیدها و سیلیکات‌ها جانشین کاتیون‌های دو ظرفیتی از قبیل Fe^{+2} و Mg^{+2} شود. رفتار منگنز در ته‌نشست‌های سطحی بسیار پیچیده است و توسط فاکتورهای مختلفی از قبیل Eh-pH محیط کنترل می‌شود (Kabata-Pendias, 2000).

۲ بار منفی $Mn(OH)_4^{-2}$ و MnO_2^{-2} مسئول اصلی اتصالی است که بین Mn و فلزات سنگین به خصوص Co, Mo, W, Ti, Ba, Pb, Zn, Cu, Ni وجود دارد (Bartlett, 1986).

طی تحقیقات گسترده‌ای رفتار Mn در محلول‌ها، خاک و رسوب توسط دانشمندان متعددی مورد بررسی قرار گرفت. طبق اظهارنظر برخی از محققین احتمالاً منگنز به صورت اکسید و هیدروکسید بر

روی دیگر اجزاء خاک قرار می‌گیرد و یا به صورت ندول‌هایی با قطرهای متفاوت در خاک تشکیل می‌شوند (McKenzie, 1977, Bartlett, 1986).

با توجه به اینکه منگنز برای تغذیه گیاه و همچنین کنترل رفتار برخی عناصر غذایی دیگر در خاک بسیار ضروری است، از این رو این ماده به عنوان یکی از اجزاء تشکیل دهنده اصلی خاک محسوب می‌شود. همچنین این عنصر تأثیر به‌سزایی بر روی برخی خصوصیات خاک از جمله در موازنه سیستم Eh و pH آن دارد. در خاک‌های مختلف ترکیبات منگنز یا به‌سرعت اکسیده می‌شوند یا به حالت احیا درمی‌آیند (Bartlett, 1986).

به دلیل انحلال کم ترکیبات منگنز در شرایط اکسیدی در pH تقریباً خنثی، تغییر جزئی در شرایط Eh-pH محیط می‌تواند در غلظت منگنز در محلول‌های خاکی بسیار مؤثر باشد. منگنز محلول در محلول‌های خاک عمدتاً در کمپلکس‌های آلی وجود دارد (Hodgson et al, 1966).

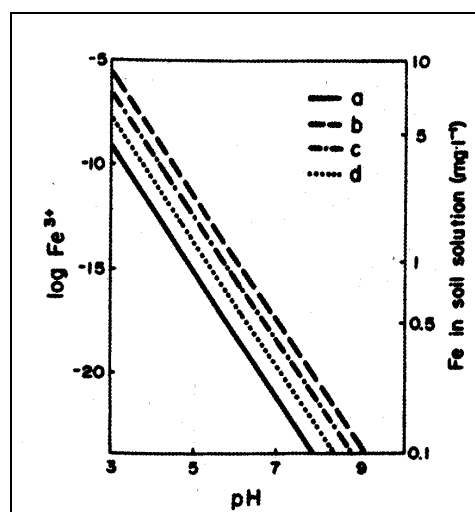
در خاکی که در اطراف ریشه گیاهان وجود دارد، احیاء کمپلکس‌های MnO_2^{2-} توسط ترشحات ریشه ظاهراً فاکتوری مهم در کنترل تحرک منگنز در خاک محسوب می‌شود. توانایی منگنز برای تشکیل کمپلکس‌های آنیونی و یا کمپلکس‌هایی با لیگاندهای آلی می‌تواند منجر به افزایش انحلال منگنز در pH قلیایی شود (Godo and Reisenauer, 1980).

در خاک‌هایی که بر روی سنگ‌های مافیک قرار دارند، خاک‌های غنی از مواد آلی یا آهن، خاک‌های واقع در مناطق خشک و نیمه خشک مقادیر زیادی از منگنز وجود دارد (Kabata-Pendias, 2000). در صورتیکه انسان در معرض منگنز اضافی قرار گیرد، امکان دارد به اختلالات عصبی و مشکلات تنفسی مبتلا شود. در برخی از معادن و به‌طور رایج‌تر در واحدهای فرومنگنز مشکلات مهم ناشی از تنفس منگنز در کارگران مشاهده شده است. احتمالاً منگنز از طریق تنفس وارد بدن انسان می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۸۲).

۳-۸- آهن

آهن از فراوانترین عناصر زمین بوده و ۳۰٪ از جرم کل زمین، بیش از ۸۰٪ کل جرم هسته و تقریباً ۵٪ پوسته را تشکیل می‌دهد. همان‌طوری که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است بیشترین غلظت این عنصر در سنگ‌های مافیک وجود دارد (Kabata-Pendias, 2000).

این عنصر ویژگی‌های مرزی لیتوفیل/کالکوفیل دارد و بر اثر تغییرات فیزیوشیمیایی حالت‌های آن به آسانی تغییر می‌کند و رفتار آن بر اثر اتصال محکمی که با کربن، اکسیژن و گوگرد ایجاد می‌کند، تعیین می‌شود. واکنش آهن در فرایندهای هوازدگی وابستگی خیلی زیادی به سیستم Eh- pH و اکسیداسیون ترکیبات آهن دارد. به طور کلی آهن در شرایط قلیایی و اکسیدی ته‌نشین می‌شود، در حالیکه در شرایط اسیدی و احیا ترکیبات آهن به حالت محلول درمی‌آیند. همان‌طور که در شکل ۳-۴ مشاهده می‌کنیم غلظت آهن در محلول با افزایش pH کاهش می‌یابد. آهن آزاد به راحتی می‌تواند به صورت اکسید و هیدروکسید رسوب کند یا جانشین آلومینیوم شود و همچنین قادر است کمپلکس‌هایی با مواد آلی تشکیل دهد (Lindsay, 1979, Kabata-Pendias and Wiacek, 1985).



شکل ۳-۴: تأثیر pH خاک بر فعالیت Fe^{3+} که به طور عمده در اکسیدهای Fe وجود دارند (Lindsay, 1979, Kabata-Pendias and Wiacek, 1985)

(غلظت آهن در محلول خاکی d= بلوری، c= $Fe(OH)_3$ ، آمورف، b= $Fe(OH)_3$ ، گوتیت، a= $\alpha FeOOH$)

کانی‌ها و ترکیبات آلی آهن به راحتی در خاک منتقل می‌شوند و مواد آلی ظاهراً در تشکیل اکسید آهن نقش مهمی ایفا می‌کنند. این اکسیدها حتی در شرایط مشابه ممکن است آمورف، بلورین یا نیمه

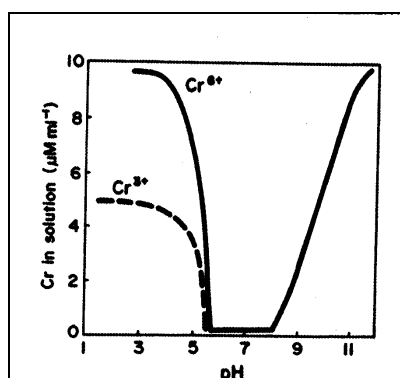
بلورین باشند. میکروارگانیزم‌ها تأثیر به‌سزایی در انتقال ترکیبات آهن دارند. پیریت به‌صورت شیمیایی و میکروبی اکسید می‌شود و در نتیجه محیط اسیدی می‌شود. اسیدی شدن محیط نیز سبب آزاد شدن فلزات دیگر می‌شود. تحقیقات نشان داده که تحرک آهن در خاک‌ها به وسیله انحلال هیدروکسید آمورف Fe^{+2} و Fe^{+3} ، کنترل می‌شود (Lindsay, 1979).

آهن به‌عنوان یک عنصر حیاتی در بدن بیشتر در اعمال آنزیمی دخالت دارد و برای تمامی موجودات زنده به‌استثنای تعداد کمی از باکتری‌ها ضروری است. هسته اصلی مولکول‌های هموگلوبین خون و میوگلوبین عضلات را آهن تشکیل می‌دهد و ناقل اکسیژن از خون به بافت‌ها است. همچنین در ترکیب آنزیم‌های موسوم به سیتوکروم نقش اصلی را بر عهده دارد و الکترون‌های مواد غذایی را می‌گیرد و اکسیژن مولکولی را که از راه تنفس به سلول‌ها رسیده است، با هیدروژن ترکیب می‌کند و حاصل عمل آن تبدیل نهایی مواد غذایی به آب و گاز کربنیک است. در این فعل و انفعالات آنزیمی، آهن مرتباً از حالت دو ظرفیتی به سه ظرفیتی و بالعکس تبدیل می‌شود (نوری و فردوسی، ۱۳۷۹). مطالعات اخیر نشان داده است که وجود آهن اضافی در خون باعث ایجاد رسوباتی می‌شود که رگ‌های خونی را مسدود می‌کند. بیماری‌هایی که در اثر قرارگیری در معرض غلظت زیاد آهن در انسان به وجود می‌آید، عبارت از سیدروز، سرطان‌های پوست، کیسه بیضه، حنجره و مثانه، هیپاتیت، توبرکولوز (بیماری شدید ریوی) و Hemochromatosis می‌باشند. کمبود آهن همچنین می‌تواند باعث بروز کم‌خونی شود (شهاب پور، ۱۳۸۲).

۳-۹- کروم

کروم عمدتاً در سنگ‌های سیلیکاته‌تراپازیک به آسانی جایگزین منیزیم می‌شود و ذخائر کرومیت را تشکیل می‌دهد. بر اثر هوازدگی سنگ‌های مزبور غلظت نسبتاً بالایی از کروم و نیکل در خاک‌های سرپانتینی دیده می‌شود. غلظت کروم در سنگ‌های اسیدی و رسوبی از ۵ ppm تا ۱۲۰ ppm متغیر است. بیشترین غلظت کروم در رسوبات شیلی است. کروم در پوسته زمین به شدت لیتوفیل است، اما اگر در محیطی قرار گیرد که کمبود اکسیژن وجود داشته باشد (مانند برخی از شکنه‌ها)، در این

صورت مشخصاً ماهیتی کالکوفیل پیدا می‌کند و تقریباً به طور کامل وارد دابریلیت (FeCr_2S_4) می‌شود (مر و زائری، ۱۳۸۲). کروم حالت‌های اکسایشی متفاوت (از $+۲$ تا $+۶$) دارد. Cr^{+6} و Cr^{+3} یون-های اصلی ترکیبات عادی کروم هستند که آثار سوء کروم مربوط به Cr^{+6} می‌باشد. در شکل ۳-۵ حلالیت کروم در pH های مختلف بررسی شده است (Kabata-Pendias, 2000).



شکل ۳-۵: حلالیت کروم در pH های مختلف (Kabata-Pendias, 2000)

مواد آلی در انتقال کروم نقش مثبتی ایفا نمی‌کنند. بنابراین، غنی‌شدگی رسوبات از مواد آلی تأثیر بسزایی در میزان غلظت کروم ندارد. این عنصر عمدتاً جذب ذرات رسی شده و همراه آنها منتقل می‌شود. به همین جهت با افزایش فاصله از ساحل در رسوبات دریایی غلظت کروم نیز افزایش می‌یابد. در سری سنگی ماسه‌سنگ-سیلت-رس غلظت کروم با افزایش غلظت رس افزایش می‌یابد. در حالیکه در سری سنگی رس-مارن-آهک با افزایش درصد کربنات، غلظت کروم نیز کاهش می‌یابد (حسنی‌پاک، ۱۳۸۲).

محتوای کروم سطح خاک به دلیل آلودگی ناشی از منابع مختلف (ورود فاضلاب‌های صنایع مختلف از قبیل صنایع الکترونیکی، رنگسازی، فاضلاب‌های دباغ‌خانه‌ها و کارخانه‌های چرم‌سازی و فاضلاب‌های شهری) افزایش می‌یابد. کروم اضافه شده به طور عمده در لایه نازک سطحی خاک تجمع می‌یابد. در بدن انسان کروم از عناصر اساسی برای سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها بوده و همچنین از طریق افزایش اتصال انسولین به سلول‌ها موجب افزایش حساسیت انسولین می‌شود. در نتیجه مصرف کم آن باعث افزایش خطر ابتلا به انواع دیابت و بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شود. از عوارض دیگر

مصرف کم کروم می‌توان به اختلال در سیستم دفاعی بدن اشاره کرد. مواد حاوی کروم ۳ ظرفیتی تنها برای چشم و پوست سوزش‌آور است که این اثر به ماهیت اسیدی آن مربوط می‌شود، در حالیکه استنشاق، بلعیدن و حتی تماس پوستی ترکیبات کروم ۶ ظرفیتی باعث آسیب دیدگی شدید ارگان‌های مختلف بدن (چشم، دستگاه تنفسی، کلیه‌ها و کبد) می‌شود (زاهد و محمدی دشتکی، ۱۳۷۹).

۳-۱۰- آلومینیوم

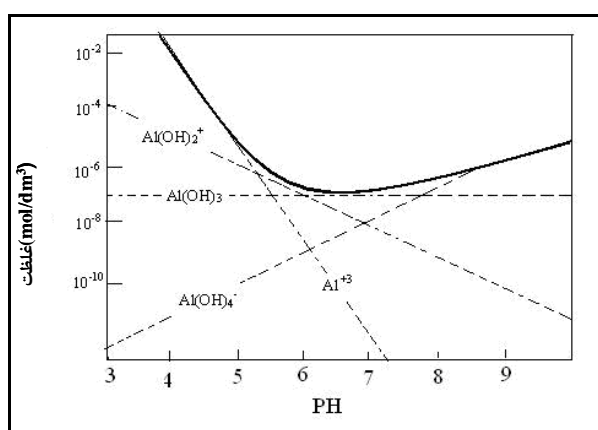
رایج‌ترین عنصر در پوسته زمین پس از اکسیژن و سیلیسیم، آلومینیوم است. این عنصر شدیداً الکتروپوزیتیو بوده و از لیتوفیل‌های قوی به حساب می‌آید. به همین دلیل Al^{3+} تنها در ترکیب با اکسیژن یافت می‌شود. فراوانترین کانی‌های پوسته زمین، فلدسپارها هستند که از هوازدهی فیزیکی و شیمیایی آنها کانی‌های رسی به وجود می‌آید. در شرایط استوایی، کانی‌های رسی در معرض هوازدهی شدیدتر قرار می‌گیرند، در این حالت عناصر بیشتری از کانی‌های رسی خارج می‌شود و در نتیجه کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی حاوی آلومینیوم که سازنده بوکسیت‌اند، تشکیل می‌شود. این عنصر تمایل شدیدی به واکنش با آب و اکسیژن دارد اما هنگام ترکیب با آنها پوسته پایداری از اکسید Al_2O_3 روی سطح تشکیل می‌شود که آن را از اکسایش بیشتر محافظت می‌کند. هیدروکسید آلومینیوم در آب و در pH خنثی بسیار نامحلول است و همانطور که در جدول ۳-۳ مشاهده می‌کنید غلظت Al^{3+} محلول در آبهای طبیعی در مقایسه با فراوانی پوسته‌ای آن بسیار پایین است (مر و زائری، ۱۳۸۲). قابلیت انحلال هیدروکسیدهای آلومینیوم به شدت به pH وابسته است و همانطوری که در شکل ۳-۶ مشاهده می‌کنید، انحلال‌پذیری این ترکیبات در شرایط اسیدی و بازی افزایش می‌یابد. به همین دلیل است که باران‌های اسیدی منجر به افزایش غلظت Al^{3+} در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شود (Lindsay, 1979).

به نظر نمی‌رسد که آلومینیوم در حیات انسان نقش اساسی ایفا کند. امروزه آلومینیوم به عنوان یک عنصر نسبتاً سمی محسوب می‌شود. استنشاق غبار آلومینیوم می‌تواند در جذب این عنصر توسط بدن

نقش مهمی داشته باشد. عوارض مسمومیت‌زای آلومینیوم شامل کم‌خونی، بیماری‌های استخوانی و مشکلات مربوط به عملکرد مغز است. در مغز افراد مبتلا به آلزایمر مقادیر قابل ملاحظه‌ای آلومینیوم تجمع می‌یابد. اهمیت مطلب فوق هنوز مورد بحث است، زیرا از طرفی ادعا می‌شود نوعی همبستگی بین میزان آلومینیوم در آب آشامیدنی و بیماری آلزایمر وجود دارد و از سوی دیگر گمان می‌رود که تجمع آلومینیوم در مغز این افراد نتیجه خود بیماری است و نه دلیل آن (مر و زائری، ۱۳۸۲). همچنین تنفس آلومینیوم به مدت طولانی باعث آسم و اگزما می‌شود (wikipedia, 2008).

جدول ۳-۳: غلظت آلومینیوم در محیط زیست (مر و زائری، ۱۳۸۲)

مکان		غلظت
پوسته		۸/۲٪
آب دریا	سطح	۰/۵ ppb
	عمق	۰/۲ ppb
آب‌های شیرین		۱ ppb
بدن انسان		۰/۹ ppm



شکل ۳-۶: انحلال پذیری گونه‌های مختلف هیدروکسید آلومینیوم به عنوان تابعی از pH. خط نقطه چین انحلال پذیری کمپلکس‌های مختلف و خط پیوسته انحلال‌پذیری کلی Al^{+3} را نشان می‌دهد (Lindsay, 1979)

۳-۱۱- آلودگی خاک و رسوبات به فلزات سنگین

خاک‌ها پوشش ناپیوسته‌ای در سطح زمین هستند که ممکن است از سنگ‌ها و رسوبات به طور درجا یا در اثر حمل و نقل مواد تشکیل شده باشد. خاک از کانی‌ها، مواد آلی، آب و هوا تشکیل شده است. خاک یکی از اجزاء ویژه بیوسفر محسوب می‌شود زیرا نه تنها به عنوان عاملی برای ته‌نشست ژئوشیمیایی آلاینده‌ها عمل می‌کند، بلکه همچنین انتقال شیمیایی عناصر و مواد مختلف به اتمسفر، هیدروسفر و موجودات زنده توسط خاک کنترل می‌شود. از آنجایی که اساس بقای انسان به حاصلخیزی خاک برمی‌گردد، از این‌رو خاک از نظر کشاورزی و اکولوژی برای انسان حائز اهمیت است (Kabata-Pendias, 2000).

محققین خاکی را به عنوان خاک آلوده در نظر گرفتند که ترکیب شیمیایی آن با ترکیب شیمیایی همان خاک در حالت عادی متفاوت باشد. در این تعریف تأثیری که این خاک می‌تواند بر روی ارگانیزم‌ها داشته باشد، لحاظ نشده است. آلودگی زمانی اتفاق می‌افتد که غلظت یک عنصر از یک حد معین بیشتر شود و تأثیر مشخصی بر روی محیط زیست داشته باشد. با توجه به مسئله ذکر شده در بالا محققین معتقدند در صورتی که غلظت فلزات در محیط زیست از حد آستانه فراتر رود و تأثیر زیادی بر روی فرایندهای بیولوژیکی داشته باشد، در این صورت می‌توان آب، خاک، حیوان و انسان را آلوده در نظر گرفت. خاک با رسوب تفاوت دارد زیرا خاک خشکی‌ها با اتمسفر در تماس است و هوازی است، در حالیکه محیط پیرامون رسوبات غیرهوازی است و در حالت احیایی قرار دارد. رسوبات به طور مداوم در معرض شسته شدن هستند ولی خاک خشکی‌ها چنین حالتی را ندارد. همچنین مقدار ماده آلی در رسوبات همواره بیش از خاک معمولی است (نوری و فردوسی، ۱۳۷۹).

رسوب به عنوان یکی از فازهای زیست محیطی منبع مهم مواد آلی و معدنی در رودخانه‌ها، ذخایر آب شیرین، خورها و اقیانوس‌ها هستند. رسوب به تمام موادی گفته می‌شود که از تخریب مواد جامد پوسته زمین و حمل و نقل آنها به وسیله آب، باد و یخ یا از اشباع شدن مواد شیمیایی محلول در آب و یا از ترشح موجودات زنده سرچشمه گرفته‌اند، که در نهایت به صورت لایه‌هایی در سطح پوسته جامد زمین رسوب کرده‌اند. به طور کلی رسوب ممکن است به طریقه فیزیکی، شیمیایی و یا بیوشیمیایی تشکیل شده باشد. رسوبات از کانی‌های مختلفی از جمله کانی‌های رسی، کوارتز، فلدسپار، کلسیت، دولومیت، گلوگونیت، لیمونیت، بوکسیت و گلوکوفان تشکیل شده‌اند (موسوی حرمی، ۱۳۸۰).

عناصر نادر از قبیل فلزات سنگین از طرق مختلف بشرزادی و زمینی به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد می‌شوند. از جمله فرایندهای طبیعی که منجر به ورود این عناصر به آب‌ها می‌شوند می‌توان به هوازدگی شیمیایی سنگ‌ها و شستشوی خاک‌ها اشاره کرد. این فرایندها توسط فاکتورهای بیولوژیکی و میکروبیولوژیکی کنترل می‌شوند. از فعالیت‌های بشرزادی نیز می‌توان به استخراج زغال سنگ و

کانی‌های فلزی و همچنین ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به آب‌ها اشاره کرد. به دلیل اینکه فلزات سنگین نمی‌توانند برای مدت زمان طولانی به صورت محلول باقی بمانند، توسط کلوئیدهای معلق و مواد آلی جذب شده و همراه آنها منتقل می‌شوند. از این رو تمرکز این عناصر در پلانکتون‌ها و رسوبات بستر دلالت بر آلودگی آب به فلزات سنگین دارد (Kabata-Pendias, 2000). تحقیقات نشان داده که فلزات سنگین موجود در محیط در نهایت وارد رسوبات می‌شوند و نقش آلاینده‌های بشرزادی در آلودگی حوضه‌های دریایی بسیار بالا است، به طوریکه ۹۰٪ کل Pb, Cd و Hg، ۸۰٪ کل Zn و Cu از منابع بشرزادی (رودخانه‌ها و ته‌نشست‌های اتمسفری) وارد دریای بالتیک شده‌اند (Matschullat, 1997).

رسوبات، محل تجمع نهایی فلزات سنگین در محیط‌های آبی محسوب می‌شوند، اما در شرایط معین می‌توانند به عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند. بنابراین رسوبات موجود در بستر محیط‌های آبی باید با دقت مورد بررسی قرار گیرند و میزان جذب آلاینده‌ها بر روی ذرات رسوب، یک فاکتور اولیه در تعیین انتقال، جابه‌جایی، فعالیت مجدد و میزان سمیت این مواد محسوب می‌شود. زنجیره غذایی و تجمع زیستی به میزان زیادی تحت تأثیر رسوبات آغشته به مواد آلاینده قرار می‌گیرد. لذا جانوران کفزی به‌ویژه آنهایی که در تماس مستقیم با رسوبات هستند، بیشتر تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴).

میزان عناصر سرب و کادمیوم در آب، رسوبات معلق و بافت ماهیچه‌ای ماهی در رودخانه قره‌چای در دو فصل کم‌آبی و پرآبی طی تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان داد که بیشترین میزان سرب و کادمیوم در مواد معلق (به ترتیب ۴۳/۳۶ppm و ۲/۹۴ppm) و کمترین میزان آنها در آب رودخانه (به ترتیب ۰/۰۳ppm و ۰/۰۰۱ppm) وجود دارد (محمدی و سمائی، ۱۳۸۴).

در مطالعه آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دلتای سفیدرود موارد متعددی از قبیل میزان دسترسی جانداران به فلزات سنگین و غلظت فلزات سنگین در نمونه تعیین شد. نتایج نشان داد که غلظت

بخش حل شده فلزات سنگین از صفر تا ۹۰٪ (برای کادمیوم) غلظت کل تغییر می‌کند. حلالیت کم فلزات سنگین بیان‌گر حضور این مواد در ساختمان کانی‌ها در منطقه می‌باشد. در نهایت محققین اعلام داشتند که رسوبات دلتای سفیدرود از نظر میزان حضور فلزات سنگین غیر آلوده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴).

در تحقیقی که طی ۲ سال صورت گرفت میزان فلزات سنگین در آب، رسوبات و بافت نرم دوکفه‌ای آنودونت تالاب انزلی اندازه‌گیری شد. غلظت دو فلز روی و مس در دوکفه‌ای (*Anodonia cygnea*) از غلظت سایر فلزات مورد بررسی بیشتر بود. میزان غلظت فلزات سنگین در آب نشان داد که عنصر روی در دو فصل پاییز و بهار به ترتیب به ترتیب $0/11 \text{ mg/L}$ و $0/005 \text{ mg/L}$ می‌باشد و غلظت فلزات دیگر در اکثر موارد از حد تشخیص کمتر بود. میزان تجمع فلزات سنگین در رسوب نشان داد که فلز روی در دو فصل پاییز و بهار به ترتیب با مقدار $82/5 \mu\text{g/g}$ و $87/5 \mu\text{g/g}$ وزن خشک، بیشترین مقدار و جیوه با میزان تجمع $0/05 \mu\text{g/g}$ و $0/04 \mu\text{g/g}$ وزن خشک، در دو فصل مذکور کمترین مقدار را دارد (اشجع اردلان و همکاران، ۱۳۸۵).

در تحقیقی غلظت عناصر سنگین (مس، کبالت، سرب، منگنز، نیکل و روی)، منشأ عناصر و شدت آلودگی آنها در رسوبات رودخانه سفارود مورد بررسی قرار گرفت (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۴). نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که غلظت عناصر سنگین در رسوبات این رودخانه توسط واحدهای زمین شناسی منطقه (در این میان واحدهای آهکی نقش بیشتر و مهمتری نسبت به دیگر واحدهای زمین شناسی منطقه دارند) و نیز مواد آلی طبیعی (این مواد در جذب عناصر و تولید پیوند آلی-فلزی مؤثر هستند)، کنترل می‌شوند. به علت تأثیری که مواد آهکی بر روی غلظت عناصر دارند، غلظت‌های بدست آمده در این منطقه نسبت به میانگین‌های جهانی کمتر است. نتایج نشان داد که همه عناصر مورد مطالعه مانند آهن و منگنز منشأ کاملاً زمینی دارند و غلظت آنها توسط مواد آلی و بیوژنیک طبیعی کنترل می‌شود. بدین ترتیب، مشخص شد که اثری از آلودگی فلزی در رودخانه سفارود وجود ندارد (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۴).

غلظت فلزات سنگین از جمله Cd, Ni, Hg, Cr, Co و Pb در آب، رسوب، بافت نوعی خرچنگ و علف دریایی در ۳ منطقه واقع در شمال غربی مدیترانه در یک مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. این مناطق عبارتند از Canari, Livorno و Porto-Torrer. نتایج نشان داد که Canari بیشتر با Cd, Co, Cr و Ni, Livorno بیشتر با Hg و Porto-Torrer بیشتر با Pb آلوده است (Lafabri et al. 2007).

توزیع فلزات در رسوبات تالاب ساحلی مایه پو واقع در هنگ کنگ در ضمن یک تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه ها از شش ایستگاه در طول تالاب در فوریه جمع آوری شدند و غلظت Ni, Zn, Cu و Cd و پارامترهای TP و TN در آنها اندازه گیری شد. با استفاده از آنالیز آماری داده ها از جمله آنالیز واریانس مشخص شد که در ابتدا و انتهای تالاب مقدار نیتروژن کل و مس رسوبات بیشتر از نواحی دیگر است. همچنین غلظت فسفر کل در انتهای تالاب (خروجی تالاب) و غلظت روی در ابتدای تالاب (ورودی تالاب) بیشترین مقدار را دارند (Lau and Chu, 2000).

تالاب انزلی یکی از اکوسیستم‌های مهم آبی ایران است که در جنوب غربی دریای خزر واقع است. در طی تحقیقی مشخص شد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین در رسوبات در ایستگاه‌ها و دوره‌های مختلف وجود دارد. حداقل غلظت فلزات در داخل تالاب و حداکثر غلظت فلزات در ورودی رودخانه پیربزار وجود داشت. غلظت کادمیوم در ۳ ایستگاه داخل تالاب به ترتیب ۹۰ ppm، ۱۰۰ ppm و ۸۰ ppm است، در حالیکه غلظت این عنصر در ایستگاه‌های واقع در ورودی رودخانه پیربزار ۴۶۰ ppm است. به این ترتیب با دور شدن از مصب رودهای ورودی غلظت فلزات در رسوبات تالاب کاهش پیدا می‌کند، که این امر ناشی از عملکرد اجزای تالاب در کاهش و ترسیب فلزات سنگین در مناطق ابتدای تالاب می‌باشد (سرتاج و همکاران، ۱۳۸۴).

۳-۱۲- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات

مهمترین شاخص‌های تعیین آلودگی رسوبات به مواد مختلف از قبیل فلزات سنگین عبارتند از: فاکتور غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی. در زیر هر کدام از این شاخص‌ها به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱۲-۱- فاکتور غنی‌شدگی

برای ارزیابی‌های ژئواکولوژیکی می‌توان از فاکتور غنی‌شدگی یا Enrichment Factor (E_f)، به صورت زیر (رابطه ۳-۱) استفاده کرد (Loska et al. 1995). بدین منظور بایستی غلظت فلز مورد نظر نسبت به یک عنصر مبنا نرمالیزه شود.

$$E_f = \frac{\left[\frac{C_{1Me^{+n}}}{C_{1n}} \right]}{\left[\frac{C_{2Me^{+n}}}{C_{2n}} \right]} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

در فرمول فوق C_{1n} ، $C_{1Me^{+n}}$ ، $C_{2Me^{+n}}$ ، C_{2n} عبارتند از:

$C_{1Me^{+n}}$ = غلظت فلز در محیط مورد بررسی

$C_{2Me^{+n}}$ = غلظت همان فلز در یک محیط مبنا (پوسته زمین)

C_{1n} = غلظت فلز مبنا در محیط مورد بررسی

C_{2n} = غلظت عنصر مبنا در محیط مبنا

عنصر مبنا عنصری است که علاوه بر آنکه نوسان کمی در محیط دارد، غلظت آن نیز در محیط کم است. آلومینیوم، آهن، منگنز، لیتیم، تیتانیوم و اسکاندیوم غالباً به عنوان عنصر مبنا در نظر گرفته می‌شوند. آلومینیوم، آهن، اسکاندیوم و لیتیم شاخص مناسبی برای حضور مواد زمینی می‌باشند. فاکتور غنی‌شدگی برای ارزیابی غنی‌شدگی فلزی یک محیط توسط محیط دیگر (مانند غنی‌شدگی رسوب توسط آب، غنی‌شدگی لایه‌های سطحی رسوب به وسیله لایه‌های عمقی رسوب، غنی‌شدگی رسوبات کف توسط سنگ و خاک بستر و غنی‌شدگی رسوبات بستر توسط رواناب) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Loska et al, 1995). لازم به ذکر است که غلظت As ، Hg ، Pb ، Ni ، V ، Mn ، Fe ، Cr و Al در پوسته زمین به ترتیب بر حسب ppm برابر است با $1/8$ ، $0/08$ ، 13 ، 75 ، 135 ، 950 ، 50000 ، 100 و 81300 (مر و شرفی، ۱۳۷۳). بر اساس این فاکتور، می‌توان شدت غنی‌شدگی رسوب به فلز را در ۶ دسته جای داد (جدول ۳-۴) (Chen et al. 2007).

جدول ۳-۴: بررسی شدت غنی‌شدگی رسوبات (Chen et al, 2007)

E_F	$E_F < 1$	$1 < E_F < 3$	$3 < E_F < 5$	$5 < E_F < 10$	$10 < E_F < 25$	$25 < E_F < 50$	$E_F > 50$
شدت غنی‌شدگی رسوب	بدون غنی‌شدگی	غنی‌شدگی اندک	غنی‌شدگی متوسط	غنی‌شدگی نسبتاً شدید	غنی‌شدگی شدید	غنی‌شدگی خیلی شدید	غنی‌شدگی بینهایت شدید

۳-۱۲-۲- فاکتور آلودگی و درجه آلودگی

فاکتور آلودگی یا Contamination Factor C_f () به طریقه زیر محاسبه می شود (رابطه ۳-۲). مقادیر

فاکتور آلودگی در جدول ۳-۵ توصیف شده است (Satyanarayana et al, 1994):

$$C_f = \frac{C_0}{C_n} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

در فرمول فوق

غلظت فلز در میانگین شیل جهانی = C_n میانگین غلظت فلز در رسوبات آلوده = C_0

جدول ۳-۵: توصیف مقادیر فاکتور آلودگی (Satyanarayana et al, 1994)

C_f	$C_f < 1$	$1 \leq C_f < 3$	$3 \leq C_f < 6$	$6 \leq C_f$
شدت آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی قابل توجه	آلودگی خیلی زیاد

شایان ذکر است که غلظت As, Hg, Pb, Ni, V, Mn, Fe, Cr و Al در شیل میانگین جهانی به

ترتیب بر حسب ppm معادل ۱۳، ۰/۴، ۲۰، ۶۸، ۱۳۰، ۸۵۰، ۴۷۲۰۰، ۹۰ و ۸۰۰۰۰ می باشد (مر و

شرفی، ۱۳۷۳).

این فاکتور برای ارزیابی آلودگی محیط به یک ماده مورد استفاده قرار می گیرد. از مجموع فاکتورهای

آلودگی تک تک فلزات (رابطه ۳-۳) می توان درجه آلودگی یا Contamination Degree C_d (ناشی

از تمام این عناصر را بدست آورد (Loska et al. 1995). در جدول ۳-۶ کیفیت محیط زیست از نظر

درجه آلودگی به فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفته است.

$$C_d = \sum C_f \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

جدول ۳-۶: بررسی کیفیت محیط زیست از نظر درجه آلودگی (Loska et al, 1995)

C_d	$C_d < 8$	$8 \leq C_d < 16$	$16 \leq C_d < 32$	$C_d > 32$
آلودگی خیلی شدید	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی شدید	آلودگی خیلی شدید

افراد مختلف جهت برآورد آلودگی رسوبات به فلزات سنگین از ضرایب فوق استفاده کردند. در طی

تحقیقی توزیع فلزات سنگین در رسوبات لاگون Sidi-Moussa مورد مطالعه قرار گرفت. در طی تحقیق

فاکتور غنی شدگی فلزات در رسوبات منطقه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که فلزاتی از قبیل کروم،

نیکل و روی در منطقه غنی شدگی نشان می دهند و فاکتور غنی شدگی آنها از ۱ بیشتر است. در

حالیکه مس و آهن از جمله عناصری هستند که هیچگونه غنی‌شدگی در منطقه نشان نمی‌دهند (Maanan *et al.* 2004).

مطالعه‌ای که در بندر Kaohsiung واقع در تایوان صورت گرفت، توزیع و تجمع فلزات سنگین Pb, Cd, Al و Hg, Cu, Cr, Zn را در رسوبات این بندر نشان داد. همه فلزات مورد مطالعه غیر از کروم غنی‌شدگی شدیدی را در رسوبات این منطقه نشان دادند (Chen *et al.* 2007). برای ارزیابی آلودگی آب و رسوب رودخانه شور در کرمان به فلزات سنگین، مطالعه‌ای بر روی این رودخانه صورت گرفت. با توجه به اینکه این رودخانه از معدن مس سرچشمه کرمان عبور می‌کند، غلظت فلزات در این رود از حد طبیعی بیشتر است. فاکتور غنی‌شدگی تمام فلزات مورد بررسی بالاتر از ۱۰ بود. این مسأله حاکی از غنی‌شدگی تمام عناصر مورد مطالعه در رودخانه شور می‌باشد. بررسی اندیس تجمع زمینی نشان داد این رودخانه به‌شدت با عناصر فوق به خصوص مس آلوده شده است (Karbassi *et al.* 2007).

۳-۱۳- منشأ عناصر سنگین در خاک و رسوب

فلزات سنگین در خاک و رسوب می‌توانند دارای دو منشأ زمینی و بشرزاد باشند. غلظت و پراکندگی فلزات سنگین موجود در خاک‌ها و رسوبات عمدتاً به نوع سنگ مادری تشکیل دهنده آنها و نیز به فرایندهای خاک‌زای مؤثر بر آنها از قبیل فرسایش و دیگر فرایندهای طبیعی از جمله سیلاب، چرخش آب اقیانوس و دریا وابسته است (Mitchell, 1974). مقایسه نتایج حاصل از تحقیق بر روی خاک‌های حاصل از آهک‌ها، خاک‌های آبرفتی و خاک‌های حاصل از شیل‌های میکادار نشان داد که خاک‌های حاصل از شیل‌های میکادار حاوی فلزات سنگین بیشتری هستند. تأثیر شدید فعالیت‌های انسان در تمرکز فلزات سنگین در محیط زیست از دهه ۱۹۷۰ رشد بیشتری داشته است. آلودگی ناحیه‌ای خاک‌ها عمدتاً در مناطق صنعتی که کارخانه‌ها، وسایل موتوری و فاضلاب‌های شهری متمرکزند، رخ می‌دهد. کودها، آفت‌کش‌ها، کارخانه‌های ذوب فلزات و فعالیت‌های معدنکاری از دیگر منابع بشرزادی ورود فلزات سنگین به خاک محسوب می‌شوند. در تحقیقاتی که توسط چند تن از محققین صورت گرفت مشخص شد که استفاده طولانی مدت از کودهای فسفاته معدنی باعث افزایش غلظت Cd و F

در سطح خاک می‌شود، در حالیکه غلظت Pb, Cr و As به مقدار قابل توجهی افزایش نمی‌یابد (Goodroad, 1979., Piotrowska and Wiacek, 1978).

برای تعیین تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روی تمرکز فلزات در خاک تحقیقی بر روی خاک‌های Xizang در تبت صورت گرفت. در ضمن این تحقیق مشخص شد که نقش لیتولوژی منطقه در تمرکز فلزات سنگین از فعالیت‌های انسانی بیشتر است. زیرا اول اینکه خاک‌ها جوانند و فعالیت‌های هوازدگی بر روی آنها زیاد مؤثر نبوده و دوم اینکه فعالیت‌های صنعتی در این منطقه زیاد توسعه پیدا نکرده است (Zhang *et al.* 2002).

غلظت فلزات سنگین رسوبات رودخانه Elizabeth در ویرجینیا در طی یک تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. با تشخیص فلزات مختلف در رسوبات رودخانه مزبور مشخص شد که غلظت فلزات سنگین در قسمت‌های سطحی رسوبات چندین برابر بیشتر از غلظت این فلزات در قسمت‌های عمیق می‌باشد که نشان دهنده افزایش آلودگی‌ها در رسوبات سطحی رودخانه و افزایش نقش انسان در ایجاد آلودگی محیط است (Conrad *et al.* 2007).

در تحقیقات مختلف برای تعیین منشأ فلزات در رسوبات از روش‌های مختلف زمین آماری از قبیل تعیین همبستگی بین غلظت فلزات و پارامترهای دیگر (مانند خصوصیات رسوب‌شناسی) و آنالیز خوشه‌ای استفاده می‌شود. در مطالعه‌ای که بر روی دلتای Kachsiung Harbor تایوان انجام گرفت، غلظت فلزات در رسوبات این دلتا اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها از ۶ مکان واقع در منطقه مذکور طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ برداشت شدند. در این تحقیق پس از تعیین غلظت Cu, Cr, Cd, Pb و Hg و خصوصیات رسوب‌شناسی (از قبیل دانه‌بندی رسوب، محتوای آب، درصد ماده آلی)، همبستگی بین این فاکتورها مشخص شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات از ۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم برای کادمیوم تا ۵۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم برای روی متغیر است. همچنین مشخص شد که غلظت فلزات در دهانه رودخانه‌های بزرگ از مکان‌های دیگر بیشتر است. از مقایسه همبستگی بین فلزات با خصوصیات رسوب‌شناسی مختلف معلوم شد که مقدار ماده آلی مهمترین فاکتور کنترل کننده توزیع

فلزات در رسوبات است. بنابراین فلزات موجود در رسوبات دلتا ناشی از تخلیه فاضلاب‌های صنعتی هستند که از مناطق مجاور دلتا وارد آن شده‌اند (Chen *et al.* 2007).

تأثیر فعالیت‌های معدنکاری و ذوب فلزات بر روی آلودگی رسوبات لاگون Oulidia در سواحل مراکش بررسی گردید و وجود دو دسته فلز با منشأهای متمایز تشخیص داده شد. کروم، آلومینیوم و آهن موجود در منطقه منبع لیتولوژی و طبیعی دارند در حالیکه غلظت جیوه، سرب، روی و مس از مقدار طبیعی در منطقه بیشتر است. این مسئله به خصوص در ایستگاه‌های واقع در مقابل شبکه‌های غیر-قانونی فاضلاب به داخل لاگون شدیدتر است. این فلزات حتی تا عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری رسوب غنی‌شدگی نشان می‌دهد که این مسئله به دلیل فعالیت‌های کشاورزی در محدوده زمانی ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ در اطراف لاگون می‌باشد. بررسی شدت آلودگی لاگون بر اساس فاکتور غنی‌شدگی، نشان داد که لاگون مذکور در محدوده غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد (Zourarah *et al.* 2007).

با استفاده از روش‌های زمین آماری پراکندگی فلزات سنگین در سوئیس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج معلوم ساخت که منشأ اصلی کبالت و نیکل از مواد سنگ مادر، سرب از کودهای شیمیایی و کادمیوم از فعالیت واحدهای صنعتی به خاک بوده است (Atteia and Dubois, 1994). همچنین در پی استفاده از این روش (زمین آمار) تحقیقات دیگری نشان داد که بین عناصر کروم، نیکل و کبالت در خاک همبستگی وجود دارد و در نتیجه آنها می‌توانند منشأ یکسان داشته باشند. همچنین ایشان با بررسی نقشه زمین شناسی پی‌بردند که توزیع مکانی این عناصر توسط سازندهای زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود (Facchineli *et al.* 2001).

در طی یک مطالعه منشأ فلزات سنگین از قبیل Cu, Zn, Ni, Pb و Cd در خاک‌های ساحلی Shanghai چین مورد بررسی قرار گرفت. برای نیل به این هدف محققین از روش‌های چند متغیره آماری از قبیل آنالیز خوشه‌ای و ضرایب همبستگی استفاده کردند. نتایج نشان داد که Cu, Ni, Pb و Cd منشأ آنتروپوژنیک (کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و فضولات

حیوانی) دارند. در حالیکه Zn و Cr از هوازدگی مواد مادری در محیط رها شده‌اند و در نتیجه منشأ زمینی دارند (Jinling et al, 2008).

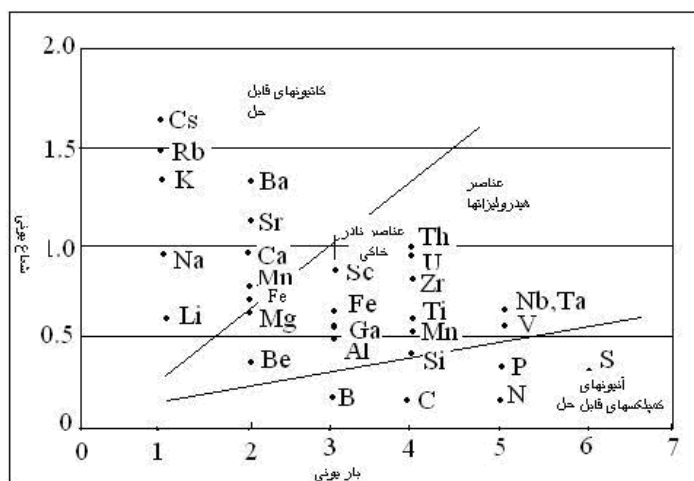
در طی یک تحقیق آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنایع عمده غرب بندرعباس مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق به منظور تعیین منشأ فلزات مورد بررسی از روش‌های آماری از قبیل آنالیز خوشه‌ای و ضریب همبستگی بین عناصر استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای نشان داد که روی و مس از یک منشأ هستند و آهن و نیکل و سرب نیز منشأ مشابهی دارند (مریدی، ۱۳۸۵).

در مطالعه دیگری که به بررسی فلزات نادر در رسوبات دلتای سواحل جنوب غربی اسپانیا پرداخته شد، محققین از روش‌های آماری از قبیل آنالیز چند متغیره و ماتریس همبستگی برای شناسایی منابع این فلزات استفاده کردند. بیشترین همبستگی بین Cu, Zn و Pb ($r > 0.65$) وجود داشت در صورتیکه ضریب همبستگی بین Cr و دیگر عناصر ($r \leq 0.45$) کمتر از این مقدار بود. نتایج این تحقیق نشان داد که منشأ فلزات روی، مس و سرب یکسان است در حالیکه منشأ کروم با فلزات فوق متفاوت است (Ruiz, 2001).

۳-۱۴- عوامل مؤثر بر تحرک عناصر در رسوب

پتانسیل یونی هر عنصر در تعیین محل رسوب کردن آن در حین رسوب‌گذاری نقش بسیار اساسی دارد و در تمام فرایندهای کانی‌سازی در محیط‌های آبگین نقش مهمی ایفا می‌کند. بر اساس شکل ۳-۷ فلزات سنگین عمدتاً پتانسیل یونی متوسط داشته و به وسیله فرایند هیدرولیز رسوب کرده و یون آنها با گروه‌های هیدروکسیل محلول‌های آبگین همجوار می‌شود (مر و شرفی، ۱۳۷۳). در بسیاری از منابع دیاگرام‌های متعددی وجود دارد که در آنها ثبات عناصر نادر را به عنوان تابعی از pH-Eh محیط در نظر گرفته‌اند (Davis, 1980, Lindsay, 1979). در شرایط طبیعی pH خاک بین ۵ تا ۷ و Eh خاک بین ۲۰۰ mV - و ۴۰۰ mV است. خصوصیات ترکیبات یونی هر عنصر متفاوت است و دامنه pH برای رسوب کردن هیدروکسیدهای آن قابل تغییر است (جدول ۳-۷). با این وجود به طور-

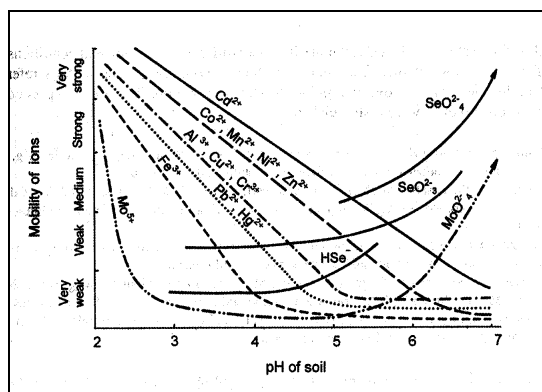
کلی می‌توان گفت که معمولاً یون‌ها در pH و Eh پایین بیشترین تحرک را دارند (شکل ۳-۸) و با افزایش pH قابلیت تحرک آنها و انحلال اکثر کاتیون‌های نادر کاهش می‌یابد (Kabata-Pendias, 2000). به این دلیل غلظت فلزات سنگین در محلول‌های خاک‌های قلیایی و خنثی کمتر از محلول‌های خاک‌های اسیدی است (Kabata-Pendias and Wiacek, 1985). تحرک فلزات سنگین به خصوص Zn و Cd, Cu, Cr در خاک‌هایی که پتانسیل اکسیداسیون پایینی دارند ($Eh < 100$ mV)، افزایش می‌یابد. با این وجود انحلال کادمیوم در $Eh > 100$ mV نیز مشاهده شده است در خاک‌های احیا و اسیدی فلزات سنگین به حالت محلول درمی‌آیند و pH نقش مؤثرتری در تحرک فلزات نسبت به Eh دارد (Kabata-pendias, 2000).



شکل ۳-۷: جدایش ژئوشیمیایی برخی عناصر مهم بر مبنای پتانسیل یونی (مر و شرفی، ۱۳۷۳)

جدول ۳-۷: خصوصیات ژئوشیمیایی عناصر نادر و دامنه pH مورد نیاز برای رسوب کردن هیدروکسیدهای آنها (Kabata-Pendias, 2000)

عناصر نادر	PH مورد نیاز برای رسوب اکسیدهای آبدار عناصر	شعاع یونی (\AA)	الکترون‌گاتیویته (Kcal/g atom)	پتانسیل یونی ($e/\text{\AA}^\circ$)	قطر یون هیدراته در محلول‌های آبی (\AA)
Pb^{2+}	۷/۲-۸/۷	۱/۶-۱/۴	۱/۸	۱/۹	۴/۵
Fe^{2+}	۵/۱-۵/۵	۰/۹-۰/۷	۱/۸	۲/۶	۶/۰
Fe^{3+}	۲/۲-۳/۲	۰/۷-۰/۶	۱/۹	۴/۴	۹/۰
Ni^{2+}	۶/۷-۸/۲	۰/۸	۱/۷	۲/۶	۶/۰
Cr^{3+}	۴/۶-۵/۶	۰/۷	۱/۶	۴/۳	۹/۰
V^{5+}	-	۰/۵	-	۱۱/۰	-
Al^{3+}	۳/۸-۴/۸	۰/۶-۰/۵	۱/۵	۵/۶	۹/۰
Cr^{6+}	-	۰/۴	-	۱۶/۰	-



شکل ۳-۸: طرح شماتیکی از تحرک فلزات تحت تأثیر pH خاک (اطلاعات بر اساس کانی‌های سبک خاک است) (Kabata-Pendias, 2000)

۳-۱۵- جذب فلزات سنگین توسط رسوبات

خاک‌ها و رسوبات به عنوان جاذب و تثبیت کننده فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شوند. این دو نقش مهمی در چرخه زیست محیطی عناصر ایفا می‌کنند. عوامل مختلفی از جمله نیروهای وان دروالسی، نیروهای یونی-دوقطبی، پیوند هیدروفوبیک و هیدروژنی، مبادله یونی، تغییر لیگاند، جذب شیمیایی، اتصال مغناطیسی و نظایر آن در جذب عناصر توسط رسوب مؤثرند. اجزاء مختلف خاک که در جذب عناصر مؤثرند عبارتند از اکسیدهای آبدار عمدتاً آهن و منگنز و به مقدار کمتری آلومینیوم و سیلیس، مواد آلی، کربنات‌ها، فسفات‌ها، سولفیدها و رس‌ها. از تمام اجزاء ذکر شده کانی‌های رسی، اکسیدهای آبدار فلزی و مواد آلی از نظر جذب فلزات سنگین اهمیت بیشتری دارند.

جذب توسط اکسیدها به شرایط اکسیداسیون محیط وابسته است و اگر به عللی محیط مذکور به حالت احیا تبدیل شود، امکان از بین رفتن اکسیدهای آهن و منگنز وجود دارد و در این حالت عناصر از رسوب آزاد می‌شوند. از این رو پایداری شرایط اکسیداسیون محیط از عوامل اساسی در جلوگیری از آزادسازی عناصر به شمار می‌رود (طالبی و همکاران، ۱۳۷۶).

خصوصیات سطحی ذرات خاک، مهمترین فاکتور در ظرفیت جذب کاتیون‌ها است. اجزاء خاکی که بیشترین سطح ویژه و بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) را دارند حداکثر جذب را در میان دیگر اجزاء و کانی‌های خاک نشان می‌دهند (Kabata-Pendias, 2000). در طی تحقیقی ظرفیت تبادل کاتیونی در pHهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در محیط‌های قلیایی مواد

آلی نسبت به کانی‌های رسی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نقش بیشتری ایفا می‌کند (Helling *et al.* 1984).

مطالعه دلتای رود Pear در چین نشان داد که ترکیب عناصر شیمیایی با مواد معلق در آب از قبیل کانی‌های رسی منجر به کاهش تعلیق این فلزات و ته‌نشست آنها در رسوبات کف حوضه می‌شود و به این ترتیب توزیع عمقی و مکانی این عناصر در آب کاهش می‌یابد (Zhou *et al.* 2004).

۳-۱۶- تاریخچه آلودگی فلزات سنگین در خلیج فارس و تنگه هرمز

با توجه به اهمیت استراتژیک خلیج فارس و تنگه هرمز برای جهانیان و بالا بودن احتمال آلودگی در آب و رسوبات منطقه و با عنایت به فراوانی عبور و مرور کشتی‌های نفتی و دیگر محموله‌های صادراتی ایران، مطالعات و بررسی‌های فلزات سنگین در رسوبات و پیکره‌های آبی اطراف ایران از چند دهه گذشته توسط کشورها و گروه‌های تحقیقاتی مختلف شروع شده است. با توجه به گسترده بودن منابع نفتی در این منطقه و با توجه به حضور فلزات سنگین در نفت خام، لذا می‌توان با اندازه‌گیری غلظت نیکل، وانادیم و منگنز در آب و رسوب منطقه میزان و شدت آلودگی نفتی منطقه را مشخص نمود. بررسی‌های پی‌درپی جهت تعیین غلظت فلزات در رسوبات کشورهای حوضه خلیج فارس در طی یک پروژه توسط (The Regional organization for the prtotection of marine environment) ROPME صورت گرفت. در این تحقیق بررسی غلظت فلزاتی از قبیل Pb, Cu, Hg, Zn و Cd در سال ۱۹۹۴ در دو منطقه Askar و Jaw در بحرین نشان داد که در هر دو منطقه غلظت فلزات تقریباً برابر است و هیچ گونه تفاوت بارزی بین آنها وجود ندارد (MNR-Bahrain, 2000).

همچنین غلظت میانگین عناصر Cr, Cd, Zn, Mn, V, Ni, Cu, Pb و Hg در رسوبات سطحی سواحل کویت به ترتیب برابر با ۵۹/۹، ۳/۹، ۳۲/۵، ۲۱۴/۵، ۶۴/۳، ۵۸/۵، ۱۷/۹، ۰/۰۲ میکروگرم بر گرم و غلظت آهن ۱۱/۲۳ میلی گرم بر گرم بود (MNR-Kuwait, 1999).

برای اندازه‌گیری غلظت Cr, V, Ni و Cu در عمان طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸، تعداد ۸ ایستگاه تعیین شد. میانگین غلظت این فلزات در ۸ ایستگاه به ترتیب برابر با ۹۵/۴، ۲۰/۷، ۳۲۹/۵ و ۸/۷

میکروگرم بر گرم بود. بالاترین غلظت فلزات ابتدا در Khaburah و سپس در Samadi Albustan مشاهده شد. در حالیکه پایین‌ترین غلظت فلزات در مناطق Kassab و Bukha وجود داشت (MNR-OMAN, 1999).

در طی یک گشت دریایی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ غلظت فلزات نادر در سواحل چهار کشور کویت، عربستان سعودی، قطر و امارات متحده عربی مورد مطالعه قرار گرفت. به طور کلی در نمونه‌هایی که از سواحل کشورهای فوق جمع‌آوری شد، بالاترین غلظت فلزات در نمونه‌های سواحل کویت مشاهده گردید. این مسئله به دلیل ورود اروند رود به خلیج فارس در نزدیکی کویت است. برای ارزیابی تأثیر ورود اروند رود به خلیج فارس در نزدیک کویت ایستگاه‌هایی در دهانه خروجی این رود زده شد. میانگین غلظت فلزات از جمله Mn در این منطقه نسبت به سایر مناطق بسیار بیشتر بود (IAEA, 1998, 1999). این مسئله با مطالعات دیگری که در همین منطقه انجام شده نیز تأیید گردیده است (Al-Majed, 2000). در عربستان سعودی بالاترین غلظت V , Fe , Co , Ni , Cu , As و Pb مربوط به منطقه Jubaiel است. این منطقه در نزدیکی یک شهرک صنعتی واقع شده است. در قطر بیشترین غلظت فلزات نادر در Mesaieed و Dukhan و Doha وجود دارد. در حالیکه پایین‌ترین غلظت فلزات در مناطق Al-Marfa و Al-Ruweis گزارش شده است. حداکثر غلظت Fe و Ni (به ترتیب $29600 \mu\text{g/g}$ و $1010 \mu\text{g/g}$) در Akhah Head Beach اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که غلظت جیوه در رسوبات بویژه در رسوبات امارات متحده عربی (0.6 ng/g تا 0.7 ng/g) بسیار پایین است. بالاترین غلظت در عربستان سعودی $5/4 \text{ ng/g}$ در نزدیکی منطقه Jubaiel وجود دارد (IAEA, 1998, 1999). در قطر غلظت جیوه از 0.7 gn/g تا $16/7 \text{ ng/g}$ متغیر است. بیشترین غلظت جیوه در کویت در منطقه Sulaibikhat وجود دارد. با توجه به اینکه منطقه فوق حوضه آبگیر محسوب می‌شود، آلودگی این منطقه بدیهی است (IAEA, 1998, 1999).

تحقیقات نشان دادند که در رسوبات چهار منطقه جنگل‌های حرا در طول خط ساحلی امارات متحده عربی، غلظت‌های فلزات بسیار متفاوت می‌باشد. این عامل به دلایل مختلفی از قبیل تفاوت در میزان

کربن آلی، حضور جنگل‌های توسعه یافته حرا، آلودگی‌های بشرزادی از قبیل دود ناشی از اتومبیل‌ها، حمل و نقل، باتری‌ها، لاستیک‌ها، نشت نفت خام، ریزش‌های جوی و دفن فاضلاب اتفاق می‌افتد. در این مناطق تمرکز Ni, Mn و Pb از دیگر فلزات بیشتر بود. منشأ Ni و Mn در منطقه طبیعی است. زیرا در این منطقه سازندهای زمین‌شناسی و کوه‌های آذرین حاوی این دو فلز به چشم می‌خورد. در حالیکه تمرکز Pb به دلیل نشت نفت خام در منطقه، مواد زائد جامد دورریختنی از قبیل اتومبیل‌ها، باتری‌ها و استفاده زیاد از ترکیبات سربی در بنزین در گذشته می‌باشد (Shriadab, 1999).

مطالعات و بررسی‌های دفتر محیط زیست دریایی سازمان حفاظت محیط زیست، در منطقه شمال شرق خلیج فارس در سال ۱۳۷۳ نشان داد که میزان غلظت کلسیم در رسوبات منطقه برابر ۱۳/۴۶ درصد است. میانگین غلظت نیکل، مس و سرب در رسوبات تنگه هرمز به ترتیب بر حسب ppm برابر است با ۱۴۰/۹، ۳۰/۳ و ۳۵/۱ (ستون ۴ از جدول ۳-۸). در این منطقه نیکل، مس، آهن و منگنز منشأ زمینی دارند در حالیکه منشأ سرب بیوژنی است (ماشینچیان مرادی، ۱۳۷۳).

دو بندر شهید رجایی و باهنر در استان هرمزگان با توجه به شرایط اقتصادی ویژه‌ای که دارند و با عنایت به این مسئله که دو بندر فوق به عنوان شاهراه ارتباطی ایران با اقیانوس هند محسوب می‌شوند، همواره پتانسیل آلودگی بالایی دارند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که غلظت هیدروکربن کل و هفت فلز سنگین در بندر شهید باهنر بسیار بیشتر از بندر شهید رجایی و در مجموع غلظت این آلاینده‌ها از حد نسبتاً بالایی برخوردار است (ستون های ۵ و ۶ جدول ۳-۸). ضرایب همبستگی محاسبه شده نیز نشان می‌دهد که جیوه در بندر شهید رجایی با سایر فلزات از نظر منشأ متفاوت و بیوژنی است و سایر فلزات به خصوص در بندر شهید باهنر با داشتن همبستگی بالا با یکدیگر، منشأ لیتوژنی دارند (نوان مقصودی، ۱۳۷۶).

رسوبات سواحل غرب بندرعباس بر اثر فعالیت صناعی از قبیل پالایشگاه، نیروگاه و اسکله فولاد آلوده است. بالاترین درصد سرب ابتدا در ایستگاه‌های جنب پالایشگاه و سپس در اسکله فولاد وجود دارد. میانگین غلظت سرب در دو منطقه فوق بیشتر از غلظت این فلز در نواحی دیگر خلیج فارس است.

مقدار کادمیوم نیز در سواحل غرب بندرعباس بیشتر از سواحل عربستان و کویت است ولی در مقایسه با بخش جنوبی و میانگین بخش‌های دیگر خلیج فارس مقدار کمتری دارد. غلظت آهن، روی و مس نیز در مقایسه با مقادیر بدست آمده از دیگر مناطق خلیج فارس بیشتر است. تنها غلظت نیکل در این منطقه از سایر قسمت‌های خلیج فارس کمتر است (ستون ۷ از جدول ۳-۸). همبستگی بین جفت فلزات روی و مس، نیکل و آهن، سرب و کادمیوم، نیکل و سرب و نیز آهن با سرب دیده شد. بیشترین ضریب همبستگی بین روی و مس وجود داشت، در نتیجه احتمالاً این دو منشأ یکسان دارند. همچنین منشأ آهن و نیکل و سرب نیز مشابه است (مریدی، ۱۳۸۵).

مطالعه میزان غلظت و پراکنش فلزات سنگین و سمی در رسوبات سطحی اطراف جزایر قشم، هرمز، لارک و هنگام نشان داد که منابع عمده ورود فلزات در منطقه عبارت از آلودگی نفتی منطقه بر اثر جنگ تحمیلی، ورود آب‌های سطح الارضی آلوده (فاضلاب‌های شهری، خانگی، صنعتی و کشاورزی منطقه) خصوصاً در نواحی ساحلی بندرعباس) و زمین شناسی منطقه است (عباسی، ۱۳۷۵).

جدول ۳-۸: مقایسه‌ای بین میانگین غلظت عناصر سنگین در پوسته زمین، رسوبات اقیانوس‌ها و چندین منطقه مطالعه شده در سواحل ایرانی خلیج فارس (فاضلی، ۱۳۷۹، مریدی، ۱۳۸۵، نوان مقصودی، ۱۳۷۶، ماشینیان مرادی، ۱۳۷۳)

عناصر (۱)	غلظت فلزات در پوسته زمین (۲)	غلظت فلزات در رسوبات اقیانوس‌ها (۳)	شمال شرق خلیج فارس (تنگه هرمز) (۴)	بندر شهید رجایی (۵)	بندر شهید باهنر (۶)	رسوبات ساحلی منطقه غرب بندرعباس (۷)
Cu(ppm)	۵۵	۳۳	۳۰/۳	-		۴۴/۵
Pb(ppm)	۱۳	۱۹	۳۵/۱	۹۸/۸	۲۳۲/۵	۱۲۲/۵۳
Cr(ppm)	۱۰۰	۷۰	-	۱۴۰/۹	۲۶۲/۱	۱۲۳/۵۹
Zn(ppm)	۷۰	۹۵	-	-	-	۱۰/۰۷۳
Ni (ppm)	۷۵	۵۲	۱۴۰/۱/۹	۳۰	۴۷/۱۵	۶/۵۶
Cd(ppm)	۰/۱	-	-	۰/۵۸	۱/۱۶	-
Fe(ppm)	۰/۵	۴/۱	-	-	-	۲/۵۷
Hg(ppm)	-	-	-	۲/۹۲	۳/۶۱	-
V(ppm)	-	-	-	۹۴/۴	۱۶۹/۲	-
Mn(ppm)	-	-	-	-	-	-
As(ppm)	-	-	-	۱/۱۵	۱/۹۹	-

(خط تیره نشان دهنده این است که فلز مربوطه در تحقیق مورد نظر بررسی نشده است).

مقایسه غلظت عناصر در رسوبات سطحی خلیج فارس (بندرعباس) با نمونه‌های شاهد منطقه مشخص کرد که منطقه بر اثر فعالیت‌های صنعتی و تجاری آلوده به مس، روی و کروم است. همچنین ضریب همبستگی بین عناصر نشان داد که منابع آلاینده مس، روی، کروم و سرب یکسان ولی آهن با توجه به پراکندگی آن در منطقه منشأ لیتوژنی دارد (خراسانی و همکاران، ۱۳۸۴).

خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب و غلظت فلزات در اعماق مختلف ۲ بندر سیریک و جاسک در طی تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت. غلظت عناصر مورد بررسی بجز کلسیم کمتر از ۱ ppm است و غلظت آنها در اعماق مختلف تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند. نتایج این تحقیق در جدول ۳-۹ نشان داده شده است (شارمد، ۱۳۸۷).

جدول ۳-۹: بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات در آب بندر سیریک و جاسک در اعماق ۵ و ۱۰ متر (شارمد، ۱۳۸۷)

شماره ایستگاه	j-21	j-22	Si-17	Si-18
عرض جغرافیایی	۲۵ ۴۱ ۰۴	۲۵ ۴۳ ۴۷	۲۶ ۱۵ ۲۲	۲۶ ۱۲ ۳۹
طول جغرافیایی	۵۷ ۴۱ ۵۲	۵۷ ۴۱ ۵۲	۵۷ ۰۴ ۱۶	۵۷ ۰۷ ۵۳
عمق آب (m)	۵	۱۰	۵	۱۰
TDS (mg/L)	۲۹/۷	۳۰/۲	۳۵/۳	۳۵/۹
EC (mS/cm)	۴۷	۴۸/۲	۵۵/۴	۵۶/۱
T (°c)	۲۲/۲	۲۰/۹	۲۷/۵	۲۹/۲
pH	۸/۱۶	۸/۲۱	۸/۲۳	۸/۲۲
As (ppm)	<۰/۰۱۲	<۰/۰۱۲	<۰/۰۱۲	<۰/۰۱۲
Hg (ppm)	<۰/۰۰۸۵	<۰/۰۰۸۵	<۰/۰۰۸۵	<۰/۰۰۸۵
Pb (ppm)	<۰/۰۱۴	<۰/۰۱۴	<۰/۰۱۴	<۰/۰۱۴
Ni (ppm)	<۰/۰۰۵۵	<۰/۰۰۵۵	<۰/۰۰۵۵	<۰/۰۰۵۵
V (ppm)	<۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۱۸
Mn (ppm)	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۰۰۳۳
Fe (ppm)	۰/۰۶۴۳	۰/۰۳۱	۰/۰۴۸۹	۰/۰۳۲۷
Cr (ppm)	<۰/۰۰۴	<۰/۰۰۴	<۰/۰۰۴	<۰/۰۰۴
Al (ppm)	---	---	---	---
Ca (ppm)	۳۸۳/۳۹	۳۷۷/۵۸	۴۳۵/۲۹	۴۴۴/۷۵

با وجود pHهای بالاتر از ۸ و کم بودن غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین در آب بندر سیریک و جاسک، احتمال حضور این عناصر در رسوبات افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده در ارتباط با آلودگی فلزات سنگین در رسوبات خلیج فارس و تنگه هرمز، احتمال آلودگی در سواحل شمال شرقی تنگه هرمز بالا بوده که در فصول آینده به آن خواهیم پرداخت.



فصل چهارم

مواد و روش‌ها

۴-۱- مقدمه

در این تحقیق جهت ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز با همکاری پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، نمونه برداری از رسوبات منطقه مورد نظر در دی ماه ۱۳۸۶ صورت گرفت. پس از انجام نمونه‌برداری از ایستگاه‌های مورد نظر، آزمایشات مختلفی جهت بدست آوردن پارامترهای فیزیکی و شیمیایی رسوب انجام گرفت. در این فصل پس از بیان توضیحات مختصر در مورد نحوه نمونه‌برداری و مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری، مراحل مختلف آزمایشات رسوب‌شناسی از قبیل آماده سازی نمونه‌ها، دانه‌سنجی، تعیین pH، تعیین چگالی، تعیین مقدار ماده آلی و کربنات کلسیم رسوب مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین روش‌هایی که برای تعیین نوع کانی‌های رسوبات (XRD و جداسازی کانی‌های سنگین) و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (ICP-MS)، نیز شرح داده خواهد شد.

۴-۲- نمونه‌برداری

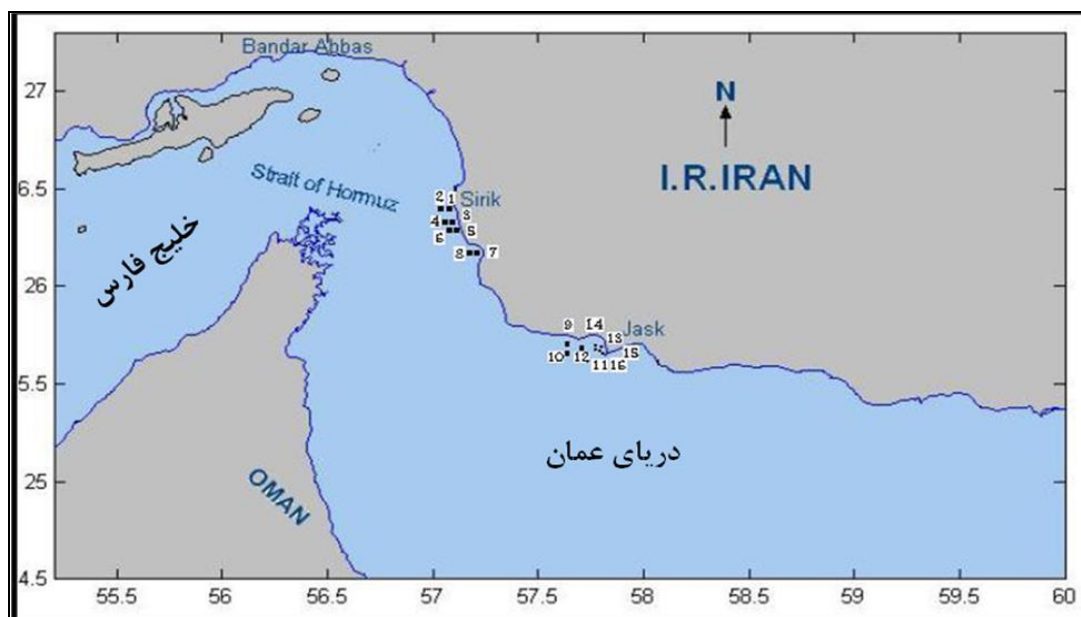
جهت نمونه‌برداری از منطقه، ۴ پیمایش عرضی در بندر سیریک و ۴ پیمایش عرضی در بندر جاسک در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که هر پیمایش از پیمایش بعدی حدود ۱ تا ۱/۵ میل فاصله دارد. بر روی هر پیمایش عرضی ۲ ایستگاه در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب، با فاصله حدوداً ۱ میل از یکدیگر، مشخص و از هر ایستگاه ۳ بار نمونه‌برداری صورت گرفت. در جدول ۴-۱ و شکل ۴-۱ موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است.

وسایل و تجهیزات نمونه‌برداری شامل گرب برای نمونه‌برداری رسوبات سطحی، یخدان برای نگهداری نمونه‌ها در قایق و ظروف پلاستیکی برای انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه بود. گرب‌ها جهت برداشت رسوبات سطحی (۱۰ تا ۱۵ سانتی متر سطح رسوب) و جانورانی که در میان این رسوبات زندگی می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ابزار به طور عمودی از عرشه یک شناور ثابت به عمق آب فرستاده شده و رسوبات سطحی را برداشت می‌نماید. معدودی از گرب‌ها جهت نفوذ در عمق بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر از بستر طراحی شده‌اند، اما در عمل اکثر آنها در بسترهای نسبتاً متراکم کمتر از ۱۰

سانتی متر نفوذ می‌نمایند. در مجموع گرب‌ها در اغلب بسترها ابزار مناسبی جهت نمونه‌برداری محسوب می‌شوند. نمونه‌ها در این تحقیق با همکاری پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان توسط گرب ون وین ۱۹۹۳ از سطح رسوبات واقع در دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب (هر نمونه تقریباً ۵۰۰ گرم) برداشت شدند.

جدول ۴-۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوب

محل ایستگاه	شماره ایستگاه	عمق آب (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سیریک	۱	۵	57° 5' 26" E	26° 19' 16" N
	۲	۱۰	57° 4' 9" E	26° 19' 16" N
	۳	۵	57° 5' 23" E	26° 18' 14" N
	۴	۱۰	57° 4' 4" E	26° 18' 14" N
	۵	۵	57° 5' 28" E	26° 17' 11" N
	۶	۱۰	57° 4' 5" E	26° 17' 12" N
	۷	۵	57° 8' 12" E	26° 14' 2" N
	۸	۱۰	57° 6' 46" E	26° 13' 56" N
جاسک	۹	۵	57° 40' 24" E	25° 42' 43" N
	۱۰	۱۰	57° 40' 22" E	25° 41' 32" N
	۱۱	۵	57° 44' 30" E	25° 40' 50" N
	۱۲	۱۰	57° 43' 36" E	25° 41' 19" N
	۱۳	۵	57° 45' 2" E	25° 40' 53" N
	۱۴	۱۰	57° 44' 23" E	25° 40' 37" N
	۱۵	۵	57° 45' 56" E	25° 39' 7" N
	۱۶	۱۰	57° 45' 17" E	25° 39' 45" N



شکل ۴-۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری به صورت شماتیک

۳-۴ - آماده سازی نمونه‌های رسوب

پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها در داخل ظروف پلاستیکی که از قبل با اسید شسته شده بودند، ریخته شد و به آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان انتقال داده شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شدند. برای اندازه‌گیری پارامترهای رسوب‌شناسی و شیمیایی لازم است که اجزای رسوب به طور کامل از یکدیگر جدا شوند. رسوبات مورد بررسی به صورت ضعیف به هم متصل بودند. به همین دلیل برای پراکنده کردن نمونه و از بین بردن تجمعات موجود در نمونه (کلوخه‌ها)، نمونه خشک شده را در داخل هاون ریخته و با استفاده از حرکت بالا و پایین دسته هاون کلوخه‌ها به آرامی کوبیده شدند، بگونه‌ای که فقط دانه‌های تشکیل دهنده آنها از یکدیگر جدا شوند، و قطر ذرات تشکیل دهنده رسوبات تغییر نکند. در این موقع نمونه برای انجام آزمایشات مختلف از قبیل تعیین پارامترهای رسوب‌شناسی و شیمیایی آماده است. مقدار معینی از رسوب با روش مخروطی و چهار قسمتی جدا گردید و باقی‌مانده نمونه در ظروف پلی اتیلنی ریخته شد و با برچسب شماره و موقعیت نمونه بر روی آن مشخص گردید (ROPME, 1999).

۴-۴ - دانه‌سنجی رسوبات (آنالیز اندازه دانه‌ها)

در جدول ۲-۴ اندازه ذرات تشکیل دهنده رسوب در مقیاس ϕ و ونتورث (mm) و همچنین الک مورد نیاز برای جداسازی آنها آورده شده است. همانگونه که در این جدول نشان داده شده است، برای جداسازی ذرات بزرگتر از 4ϕ (گراول و ماسه) از سری الک‌های فلزی و برای ذرات در حد سیلت و رس از روش‌های ته‌نشست رسوبی در یک محلول (پیت‌سنجی و یا هیدرومتری) استفاده می‌شود (ROPME, 1999).

جدول ۲-۴: اندازه ذرات رسوبی در مقیاس ϕ و ونتورث (mm) (ROPME, 1999)

	Gravel	Sand	Silt	Clay
قطر ذرات بر حسب (mm)	$2 < d$	$2 < d < 0.062$	$0.062 < d < 0.004$	$0.004 < d$
قطر ذرات بر حسب (ϕ)	$d < -1$	$-1 < d < 4$	$4 < d < 8$	$d < 8$
Teyler sieve mesh	$5 < d < 10$	$10 < d < 230$	Hydrometric and pipette Analysis	

در این تحقیق، دانه‌سنجی رسوبات با استفاده از روش ROPME, 1999 و ASTM D422-63 تعیین گردید. نمونه‌های مورد نظر به طور متوسط حاوی بیش از ۵۰٪ سیلت و رس هستند، به همین دلیل قبل از انجام مرحله اول دانه‌سنجی و الک کردن نمونه به روش مرطوب ابتدا باید آن را به طور کامل پخش کرد. برای پخش کردن نمونه به طریق زیر عمل شد:

با استفاده از روش تقسیم‌کردن مخروطی و چهارقسمتی، ۱۰۰ گرم از نمونه رسوب خشک شده در داخل یک بشر ۵۰۰ میلی لیتری ریخته شد. سپس ۲۰۰ ml از محلول پراکنده‌کننده (سدیم هگزا متافسفات ۰/۵٪) به آن اضافه گردید. پس از گذشتن یک شب، با استفاده از دستکش نمونه بهم زده شد تا تمامی کلوخه‌ها حتی کوچکترین آن‌ها خرد شوند. پس از این مرحله مواد معلق در داخل یک بطری ۵۰۰ میلی لیتری خالی شدند و درپوش آن گذاشته شد. بطری حدود ۲ تا ۳ دقیقه به شدت تکان داده شد. مواد معلق دوباره داخل بشر برگردانده و با تکان‌دهنده الکتریکی به مدت ۱۰ تا ۶۰ دقیقه تکان داده شد. در این مرحله نمونه به طور کامل پراکنده شده است. سپس برای دانه‌سنجی، مواد معلق بر روی الک ۲۳۰ mesh خالی شد. دست‌ها را به صورت دورانی بر روی رسوب حرکت داده و در این حین از جریان کم محلول جداکننده برای شستن گل در سرتاسر تور سیمی استفاده می‌شود. در فواصل معین با محلول جداکننده، کناره‌های زیرین تور سیمی به سمت پایین شستشو داده می‌شود. شستشو آنقدر ادامه می‌یابد تا اینکه دیگر هیچ سیلت و رسی در داخل نمونه باقی نماند. سپس ماسه‌های باقی مانده بر روی الک با استفاده از جریان آب به داخل یک ظرف تبخیر بزرگ که از قبل وزن شده است، ریخته و در داخل آن با دمای 105°C قرار داده می‌شود. پس از اینکه تمام آب موجود در ظرف تبخیر شد دوباره آن را وزن کرده و از تفاضل وزن ظرف از وزن ظرف و ماسه، وزن ماسه موجود در نمونه بدست می‌آید. حال ذراتی را که از الک ۲۳۰ mesh عبور کرده‌اند و حاوی سیلت و رس معلق پراکنده شده هستند، برای هیدرومتری استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا گلی را که در مرحله قبل با استفاده از روش الک مرطوب جدا شده است، در داخل آن با حرارت 65°C قرار داده می‌شود تا خشک شود. سپس آن را در هوای آزاد قرار داده و پس از گذشت حدود ۱ ساعت وزن

می‌شود. ۳۰ تا ۴۰ گرم از گل خشک شده با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شده و جدا می‌گردد. در این مرحله برای پراکنده کردن ذرات گل در یک بشر ۵۰۰ میلی لیتری، ۲۵۰ ml محلول هگزا متافسفات سدیم با غلظت ۰/۴٪ ریخته و نمونه به آن اضافه می‌گردد. سپس به مدت ۱۶ ساعت در یک مکان ساکن و آرام قرار داده می‌شود. پس از گذشت زمان فوق گل‌ها را با استفاده از آب مقطر به داخل سیلندری به حجم ۱ لیتر ریخته و سیلندر با آب مقطر به حجم رسانده می‌شود. استوانه دیگری با آب و مواد پراکنده کننده پر می‌گردد. استوانه مذکور بنام سیلندر حاوی محلول مقایسه نامیده می‌شود و برای کالیبره کردن هیدرومتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس مواد داخل سیلندر به طور کامل به مدت ۱ دقیقه با میله‌ای که در انتهای آن چندین حفره وجود دارد، بهم زده می‌شود. پس از خارج کردن میله همزن کرنومتر را روشن نموده و در فواصل زمانی ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ دقیقه پس از شروع رسوب‌گذاری، هیدرومتر قرائت می‌شود. لازم به ذکر است که ۲۰ تا ۳۰ ثانیه قبل از زمان قرائت باید هیدرومتر به داخل سیلندر حاوی مواد معلق فرو برده و آن را در زمان مناسب ثابت کرد، به گونه‌ای که در رأس زمان مورد نظر هیدرومتر هیچگونه حرکتی نداشته باشد. پس از انجام قرائت، هیدرومتر را به آرامی خارج کرده و با استفاده از آب شسته می‌شود. سپس هیدرومتر در ظرفی جداگانه حاوی آب تمیز نگهداری می‌شود. قرائت‌ها در فرم مخصوص ثبت اطلاعات هیدرومتری ثبت می‌گردد. پس از یادداشت نمودن کامل قرائت‌ها باید ۲ تصحیح حرارتی و کشش سطحی بر روی آنها اعمال شود. برای انجام تصحیح کشش سطحی از رابطه ۴-۱ استفاده می‌شود.

$$R_{c1} = R_a + C_m \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

قرائت‌های انجام شده در سیلندر حاوی آب و خاک $R_a =$ قرائت تصحیح شده هیدرومتر برای کشش سطحی $R_{c1} =$

قرائت بالای منیسک منهای قرائت پایین منیسک در استوانه مقایسه $C_m =$

همچنین قرائت‌های انجام شده باید از نظر درجه حرارت و غلظت ماده پراکنده کننده نیز تصحیح شود. با استفاده از رابطه ۴-۲ دو تصحیح فوق بر روی قرائت اولیه هیدرومتر اعمال می‌شود:

$$R_{c2} = R_a + C_T - C_d \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

R_{c2} = قرائت تصحیح شده هیدرومتر C_T = تصحیح حرارتی

C_d = ضریب تصحیح غلظت ماده پراکنده کننده (این ضریب به تصحیح صفر مشهور است)

در روش هیدرومتری برای تعیین قطر دانه‌های رسوب از قانون استوک استفاده می‌شود. این قانون به صورت خلاصه شده در زیر آورده شده است:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

در این فرمول K ضریب ثابتی است که به درجه حرارت، وزن مخصوص نسبی ذرات آب و خاک و ویسکوزیته آب η بستگی دارد. همچنین در این رابطه L/t سرعت سقوط دانه‌ها در آب و L طول فرورفتگی هیدرومتر در مخلوط آب و خاک در زمان t است. این طول به عنوان عمق مؤثر شناخته شده است. برای تعیین درصد ذرات معلق خاک، در صورتیکه چگالی خاک 2.65 g/cm^3 ، چگالی آب برابر 1 g/cm^3 و درجه حرارت حدود 20°C باشد، درصد ذرات معلق به وسیله هیدرومتر 152H خوانده می‌شود. در غیر این صورت با در نظر گرفتن نوع ماده پراکنده کننده و قرائت‌های تصحیح شده، درصد دانه‌های معلق خاک از رابطه بدست می‌آید.

$$\%P = \frac{R_{c2} * a}{W} \times 100 \quad \text{رابطه (۴-۴)}$$

در صورتیکه چگالی رسوب 2.65 نباشد، برای تعیین درصد ذرات معلق خاک، تصحیح چگالی (a) بکار می‌رود که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$a = \frac{2.65 - 1.00}{2.65} * \frac{Gs}{Gs - 1.00} \quad \text{رابطه (۵-۴)}$$

در رابطه فوق G_s چگالی ذرات خاک در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۳-۴ درصد ماسه، سیلت و رس در ایستگاه‌های سیریک و جاسک نشان داده شده است. نتایج با رسم گراف در فصل ۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۵-۴- تعیین pH رسوبات

pH رسوب بر اساس روش استاندارد EPA SW-846 METHOD 9045 و با استفاده از pH متر مدل

Jenway اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از تعیین pH نمونه‌ها در جدول ۴-۳ نشان داده شده است.

۴-۶- تعیین چگالی رسوبات

برای بدست آوردن چگالی رسوب، ۵۰ تا ۱۰۰ گرم از نمونه‌ای که در آن خشک شده است، را وزن کرده و در یک پیکنومتر (۵۰ ml) که تا نیمه با آب پر شده است ریخته می‌شود. در آن را قرار داده و تا هنگامی که نمونه به طور کامل پراکنده شود، پیکنومتر تکان داده می‌شود. پیکنومتر را با آب پر کرده و سپس آن را برای چندین دقیقه به حال خود رها کرده تا نمونه ته‌نشین شود. دیواره خارجی آن را خشک کرده و در این حالت پیکنومتر با دقت ۰/۰۱ گرم وزن می‌شود. پیکنومتر را خالی کرده و با آب شستشو داده می‌شود و سپس با آب به حجم رسانده می‌شود. در آن قرار داده شده و دوباره وزن می‌شود. چگالی رسوب با استفاده از رابطه ۴-۳ بدست می‌آید (Lewis and McConchie, 1994). نتایج چگالی نمونه‌های رسوب بدست آمده در جدول ۴-۳ آورده شده است.

$$\rho_s = \frac{\rho_w * W_t}{(W_{t1} + H_2O) + (W_t) - (W_{t1} + H_2O + W_t)} \quad \text{رابطه (۴-۶)}$$

$W_t =$ (g) وزن نمونه خشک

$W_{t1} =$ (g) وزن بطری

$\rho_w =$ (g/cm³) چگالی آب در دمای آزمایشگاه

$\rho_s =$ (g/cm³) چگالی نمونه

۴-۷- تعیین درصد مواد آلی

برای تعیین درصد مواد آلی نمونه‌های رسوب از روش APHA, 1995, Standard method 209f استفاده شد. بر طبق این روش نمونه‌ها در طول شب (۱۲ ساعت) در دمای ۵۵۰ °C در داخل کوره قرار داده می‌شوند. پس از سپری شدن این زمان از تفاضل دو وزن قبل و بعد از حرارت دادن محتوای ماده آلی رسوبات تعیین می‌شود. مقدار ماده آلی رسوبات این تحقیق در جدول ۴-۳ آورده شده است.

۴-۸- تعیین درصد کربنات کلسیم در رسوبات

درصد کربنات کلسیم با استفاده از روش پیشنهادی از سوی محققین رسوب شناس اندازه‌گیری شده است (Carver, 1971). در این روش جهت تعیین مقدار کربنات کلسیم در رسوب، نمونه‌ها تا دمای

در 900°C حرارت داده می‌شوند. ۱ gr از نمونه در یک بوتله چینی که از قبل وزن شده است، قرار داده می‌شود. سپس نمونه در کوره‌ای که تا 900°C گرم شده است، به مدت ۱ ساعت قرار داده می‌شود. پس از طی این مدت، بوتله را از کوره خارج کرده و در دمای اتاق سرد می‌شود. در این مرحله گاز CO_2 متصاعد شده و در نتیجه وزن نمونه کاهش یافته است. از روی کاهش وزن، درصد کربنات کلسیم تعیین می‌گردد. لازم به تذکر است که این کاهش وزن هم در اثر خروج CO_2 و هم در اثر از بین رفتن ماده آلی و رطوبت می‌باشد. لذا باید در محاسبات، مقدار ماده آلی و رطوبت از دست رفته نیز محاسبه گردد. در جدول ۳-۴ مقدار کربنات کلسیم موجود در رسوبات نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: برخی از خصوصیات رسوب شناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه

محل ایستگاه	ایستگاه	عمق ایستگاه	(%) ماسه	(%) سیلت	(%) رس	pH	چگالی (g/cm^3)	(%) ماده آلی	(%) کربنات کلسیم
سیریک	۱	۵	۵۷/۰۵	۳/۰۸	۳۹/۸۶	۹/۲	۲/۵۶	۴/۶۹	۲۲/۵۲
	۲	۱۰	۹/۵۰	۲۲/۲	۶۸/۲۸	۸/۸۱	۲/۶۳	۷/۰۶	۱۸/۴
	۳	۵	۴۱/۸۲	۲/۱۹	۵۵/۱۹	۸/۹۷	۲/۶۴	۵/۹۷	۱۸/۹۵
	۴	۱۰	۸/۶۴	۲۱/۶۹	۶۹/۶۵	۸/۶۰	۲/۴۷	۸/۱۴	۱۵/۳۵
	۵	۵	۱۸/۹۶	۱۲/۸۸	۶۸/۱۲	۸/۸۰	۲/۷۵	۸/۵۹	۱۴/۸
	۶	۱۰	۲/۵۸	۱۵/۰۹	۸۲/۳۱	۸/۶۸	۲/۸۵	۸/۰۳	۱۵/۵۸
	۷	۵	۷۱/۶۷	۲/۴۴	۲۵/۸۷	۹/۱۵	۲/۶۷	۳/۱۶	۲۳/۰۲
	۸	۱۰	۱/۱۴	۱۶/۴۸	۸۲/۳۶	۸/۹۷	۲/۵۵	۷/۹۶	۱۶/۱۵
جاسک	۹	۵	۴۴/۷۹	۹/۶۴	۴۵/۵۴	۸/۹۴	۲/۵۶	۴/۲۰	۱۷/۱۱
	۱۰	۱۰	۰/۲۹	۲۳/۳۰	۷۶/۳۹	۸/۴۷	۲/۴۸	۱۲/۸۵	۴/۸۴
	۱۱	۵	۰/۷۳	۲۱/۵۷	۷۷/۶۸	۸/۶۱	۲/۹۴	۱۲/۱۱	۴/۹۲
	۱۲	۱۰	۰/۰۹	۱۸/۲۳	۸۱/۶۴	۸/۴۱	۲/۵۷	۱۴/۳۹	۰/۵
	۱۳	۵	۳/۰۳	۱۵/۵۲	۸۱/۴۳	۸/۷۹	۲/۶۲	۱۱/۱۹	۶/۹۷
	۱۴	۱۰	۱/۱۸	۱۵/۹۷	۸۲/۸۳	۸/۶۰	۲/۶۰	۹/۸۵	۷/۹۳
	۱۵	۵	۴۹/۷۶	۶/۱۰	۴۴/۱۲	۹/۰۰	۲/۷۲	۵/۴۹	۱۴/۶۸
	۱۶	۱۰	۲۲/۴۹	۲۰/۳۴	۵۷/۱۴	۸/۷۵	۲/۴۹	۸/۳۷	۹/۰۰

۴-۹- کانی شناسی رسوبات (XRD و مطالعات میکروسکوپی)

در طی دو مرحله کانی‌های تشکیل دهنده رسوب مورد مطالعه قرار گرفتند. تعدادی از نمونه برای انجام آنالیز XRD به آزمایشگاه کانساران بینالود در مشهد منتقل گردید و تعداد دیگری از آنها برای جداسازی کانی‌های سنگین در نظر گرفته شدند.

۴-۹-۱- پراش پرتو اشعه ایکس (XRD)

در این مطالعه XRD رسوبات در آزمایشگاه کانساران بینالود مشهد و با استفاده از دستگاه PANanalytical's Pert صورت گرفت. نتایج حاصل از آنالیزها در فصل ۵ آورده شده است.

۴-۹-۲- مطالعات میکروسکپی و جداسازی کانی‌های سنگین

برای انجام مطالعات میکروسکپی در طی دو مرحله کانی‌های تشکیل دهنده رسوب مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا کانی‌ها به صورت کلی در زیر میکروسکپ بایناکولار مورد مطالعه قرار گرفتند و سپس کانی‌های سنگین با استفاده از روشی که در زیر بدان اشاره شده است، جدا گردیدند.

اصطلاح مجموعه کانی‌های سنگین در رسوبات به تمام کانی‌های تخریبی که وزن مخصوصشان از $2/9 \text{ g/cm}^3$ بیشتر باشد، اطلاق می‌شود. ترکیب کانی‌های سنگین رسوبات برای شناسایی منابع سنگی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. چندین روش برای جداسازی کانی‌های سنگین وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به جداسازی بر اساس وزن واحد حجم اشاره کرد. بدین منظور ابتدا ماسه ریز موجود در ۱۵۰ gr تا ۲۰۰ gr از نمونه با استفاده از الکی با اندازه منافذ ۱۰۰ mesh و روش آبشویی جدا می‌شود. سپس نمونه به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی از آن برای مطالعه کانی‌های فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از آنها مقاطع پولیش تهیه می‌شود. قسمتی دیگر را برای جداسازی کانی‌های سیلیکاته در نظر گرفته و با اسید هیدروکلریدریک ۱ نرمال تا زمانیکه به رنگ ثابت برسد، جوشانیده می‌شود. در این موقع دانه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و سپس به داخل قیف دکانتور محتوی بروموفورم تخلیه می‌شود. کانی‌ها بر اساس وزن مخصوصشان جدا شده و دانه‌های سنگین‌تر در انتهای محلول ته‌نشین می‌شوند. با باز کردن شیر قیف دکانتور می‌توان کانی‌های سنگین را جدا کرد. در نهایت کانی‌ها با استفاده از کانادابالزام بر روی لام ثابت شده و در زیر میکروسکپ مورد مطالعه کانی شناسی قرار می‌گیرد (Lewis and McConchie, 1994). در فصل‌های ۵ و ۷ نتایج مطالعات کانی‌شناسی (XRD و کانی‌های سنگین) آورده شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۴-۱۰- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین

همانگونه که قبلاً نیز ذکر شد از هر ایستگاه ۳ بار نمونه‌برداری صورت گرفت. برای انجام آنالیز شیمیایی و تعیین غلظت فلزات مورد نظر در رسوبات، ۳ نمونه هر ایستگاه به نسبت مساوی با هم ترکیب و نمونه متوسطی از آنها تهیه شد. ۱۶ نمونه بدست آمده به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال گردید تا در آنجا به روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گیرند. در زیر به اختصار روشی که در این آزمایشگاه برای آماده سازی، هضم و آنالیز استفاده شده است، بیان می‌شود، سپس خلاصه‌ای از روش ICP-MS شرح داده خواهد شد.

در آزمایشگاه ACME کانادا، ابتدا تمام نمونه‌ها در آون (60°C) خشک می‌شوند و سپس از الکی که اندازه منافذ آن $18\ \mu\text{m}$ است، عبور داده می‌شوند. مقدار مشخصی از محلول Aqua regia به هر نمونه اضافه می‌گردد و به مدت ۱ ساعت در حمام آب داغ ($T > 95^{\circ}\text{C}$) قرار داده می‌شوند و پس از سرد شدن محلول، با 5HCl به حجم رسانیده می‌شوند. در هر ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۱ گرم از نمونه رسوب وجود دارد. برای تهیه محلول Aqua regia حجم مساوی از اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ و آب دوبار تقطیر با هم مخلوط می‌شوند. غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌های هضم شده با دستگاه Perkin Elmer Elan 6000/9000 ICP mass spectrometer اندازه‌گیری می‌گردد.

۴-۱۰-۱- طیف سنجی جرمی گسیل پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)

ICP-MS روش تجزیه‌ای است که از توسعه طیف سنجی گسیل پلاسمای جفت شده القایی (ICP) بوجود آمده است (Date and Jarvis, 1989). استفاده از این روش به عنوان ابزاری مناسب جهت تجزیه عناصر کمیاب و ایزوتوپ‌ها به دلیل حد آشکارسازی بسیار پایین و صحت و دقت بالای آن، رو به افزایش است. از این روش برای تجزیه دامنه گسترده‌ای از عناصر کمیاب در یک محلول منفرد استفاده می‌کنند. یون‌هایی که در پلاσμα وجود دارد از طریق سوراخی که قطری معادل قطر سوزن دارد، به داخل یک سیستم خلاء کشیده شده و به وسیله یک عدسی یونی در درون طیف سنجی

جرمی متمرکز می‌شوند (Jenner et al, 1990). در این تحقیق نمونه‌ها با این روش برای ۳۲ عنصر مورد آنالیز قرار گرفتند. با توجه به اولویت‌های زیست محیطی و مقادیر عناصر، تعداد ۱۳ عنصر انتخاب و نتایج آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

در جدول ۴-۴ نتایج بدست آمده از آنالیز ICP-MS در مورد برخی از عناصر در نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۴-۴: غلظت عناصر در رسوبات با استفاده از ICP-MS

محل ایستگاه	ایستگاه	ppm							%					
		As	Hg	Pb	Ni	V	Mn	Cr	Fe	Al	K	P	Ca	S
بندر سیریک	۱	۶/۹	۰/۰۲	۱۱/۲	۹۸/۱	۳۳	۷۲۸	۷۷	۲/۴۱	۱/۳۷	۰/۱۷	۰/۰۶۲	۱۰/۱۴	۰/۰۹
	۲	۴/۲	۰/۰۲	۹/۸	۱۰۰/۹	۳۲	۶۴۸	۶۶	۲/۴	۱/۴۵	۰/۱۷	۰/۰۶۸	۹/۰۷	۰/۰۷
	۳	۶/۶	۰/۰۴	۱۱/۱	۹۶/۹	۳۹	۶۷۵	۷۲	۲/۴۵	۱/۵۴	۰/۱۸	۰/۰۶۴	۹/۹۳	۰/۰۸
	۴	۴/۷	۰/۰۵	۱۱/۴	۱۰۲	۴۰	۶۸۰	۷۳	۲/۵۵	۱/۶۵	۰/۲۲	۰/۰۷۱	۹/۵۴	۰/۰۷
	۵	۴/۵	۰/۰۱	۱۰/۱	۹۶	۳۳	۶۰۵	۶۵	۲/۴۵	۱/۵۷	۰/۲۲	۰/۰۶۸	۷/۹۲	۰/۰۶
	۶	۴/۴	۰/۰۱	۱۰/۳	۱۰۸/۳	۳۴	۶۷۱	۷۴	۲/۶۲	۱/۶	۰/۲۱	۰/۰۷۶	۹/۰۶	۰/۰۷
	۷	۷/۱	۰/۰۴	۹/۲	۷۲/۹	۲۸	۶۶۵	۶۰	۲/۰۱	۱/۰۸	۰/۱	۰/۰۶۷	۸/۹۴	۰/۰۵
	۸	۳/۹	۰/۰۳	۱۰/۴	۱۰۳/۵	۳۵	۶۵۳	۷۵	۲/۷۱	۱/۷۷	۰/۲۴	۰/۰۷۹	۸/۶۹	۰/۰۹
	میانگین	۵/۲۸	۱/۰۲	۱۰/۴۳	۹۷/۳۲	۳۴/۲۵	۶۶۵/۶۲	۷۰/۲۵	۲/۴۵	۱/۵۰	۰/۱۸	۰/۰۶	۹/۱۶	۰/۰۷
بندر جاسک	۹	۶/۲	۰/۰۶	۱۲/۷	۷۹/۴	۳۶	۷۲۸	۵۲	۲/۳۳	۱/۴۳	۰/۱۱	۰/۰۷۴	۷/۵۱	۰/۰۵
	۱۰	۳/۹	۰/۰۵	۱۳/۳	۱۲۲/۲	۴۹	۶۳۰	۸۰	۳/۳۸	۲/۴۱	۰/۳۱	۰/۰۷۳	۶/۳۵	۰/۱۱
	۱۱	۴/۴	۰/۰۳	۱۴/۱	۱۰۶	۳۹	۶۳۵	۷۵	۳/۲۲	۲/۱۱	۰/۲۷	۰/۰۸۲	۶/۴۶	۰/۱۳
	۱۲	۳/۹	۰/۰۲	۱۳/۱	۱۰۹/۲	۴۰	۵۴۳	۶۹	۳/۲۷	۲/۰۸	۰/۳۱	۰/۰۶۸	۵	۰/۱۳
	۱۳	۴/۶	۰/۰۶	۱۶/۳	۱۰۱/۸	۴۲	۶۲۶	۶۷	۲/۹۳	۱/۹۶	۰/۲۳	۰/۰۷۸	۶/۷۷	۰/۱۳
	۱۴	۴/۶	۰/۰۵	۱۳/۵	۱۰۵/۷	۴۳	۶۰۱	۶۸	۳/۰۱	۲/۱۱	۰/۲۷	۰/۰۷۴	۶/۵۴	۰/۱۷
	۱۵	۴/۱	۰/۰۳	۹/۹	۷۰/۲	۳۰	۶۸۳	۵۹	۲/۲۷	۱/۴۴	۰/۱۹	۰/۰۶۱	۷/۴۵	۰/۱۱
	۱۶	۴/۵	۰/۰۱	۱۱/۴	۸۴/۷	۳۴	۶۵۷	۶۴	۲/۶۹	۱/۶۸	۰/۲۲	۰/۰۷۳	۶/۸۴	۰/۱۱
	میانگین	۴/۵۲	۰/۰۳	۱۳/۰۳	۹۷/۴	۳۹/۱۲	۶۳۷/۸۷	۶۷/۵	۲/۸۸	۱/۹۰	۰/۲۳	۰/۰۷	۶/۶۱	۰/۱۱

فصل پنجم

خصوصیات رسوب شناختی سواحل

سیریک و جاسک

۵-۱- مقدمه

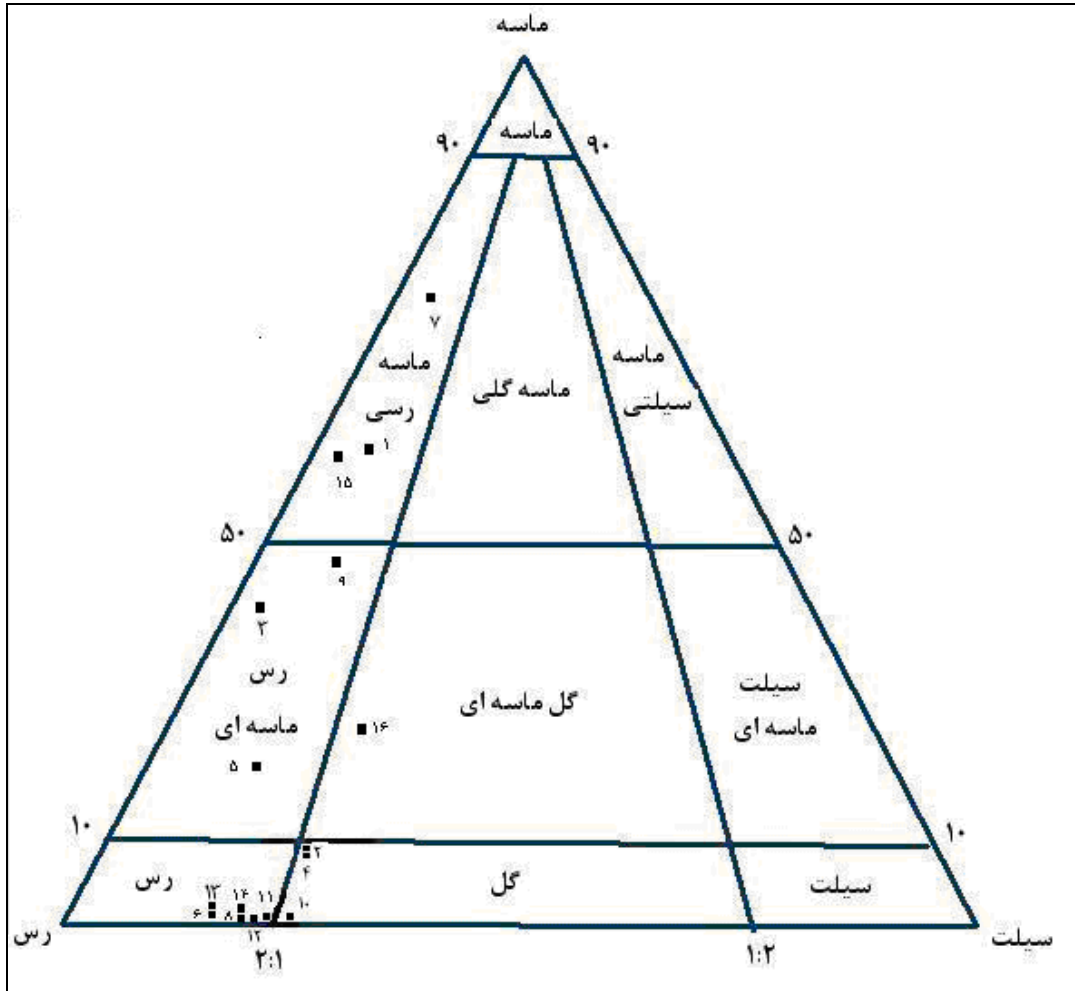
با توجه به اینکه در این تحقیق بررسی آلودگی رسوبات منطقه به فلزات سنگین مد نظر است، رسوبات به عنوان ماده اولیه این مطالعه به حساب می‌آیند. از جمله عوامل مؤثر در توزیع فلزات در رسوبات می‌توان به خصوصیات فیزیکی و ترکیب کانی‌شناسی آن اشاره کرد. از اینرو پس از انجام آزمایشات رسوب شناسی از قبیل دانه‌بندی، تعیین pH، چگالی، درصد ماده آلی، کربنات کلسیم و کانی‌شناسی (XRD و مطالعات میکروسکوپی)، در این فصل نتایج بدست آمده از هر یک از پارامترهای فوق به ترتیب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۵-۲- دانه‌بندی رسوبات

با استفاده از روش ذکر شده در بخش ۴-۳ دانه‌بندی رسوبات اندازه‌گیری شد. با استفاده از نتایج بدست آمده از دانه‌بندی رسوبات که در جدول ۴-۳ آورده شده است و مثلث طبقه‌بندی رسوبات و سنگ‌های آواری برای رسوبات ریزدانه (Folk, 1974)، نوع رسوب از نظر دانه‌بندی در هر ایستگاه تعیین گردید و نتایج در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۱ نشان داده شد.

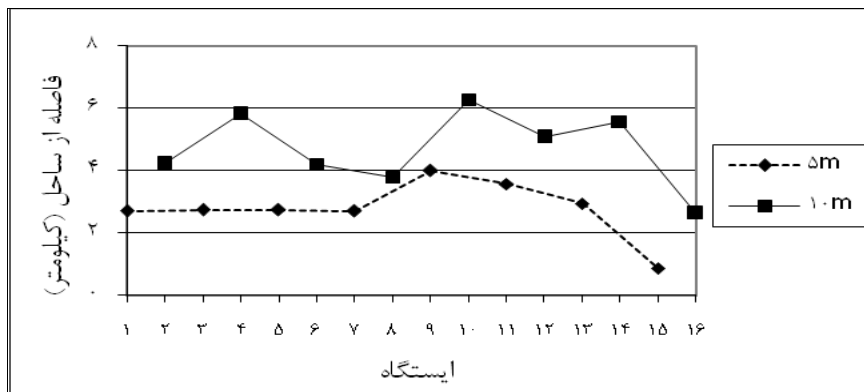
جدول ۵-۱: طبقه‌بندی رسوبات بر اساس اندازه ذرات

نام رسوب	ایستگاه	محل ایستگاه
ماسه رسی	۱	سیریک
گل	۲	
رس ماسه‌ای	۳	
گل	۴	
رس ماسه‌ای	۵	
رس	۶	
ماسه رسی	۷	
رس	۸	
رس ماسه‌ای	۹	جاسک
گل	۱۰	
رس	۱۱	
رس	۱۲	
رس	۱۳	
رس	۱۴	
ماسه رسی	۱۵	
گل ماسه‌ای	۱۶	

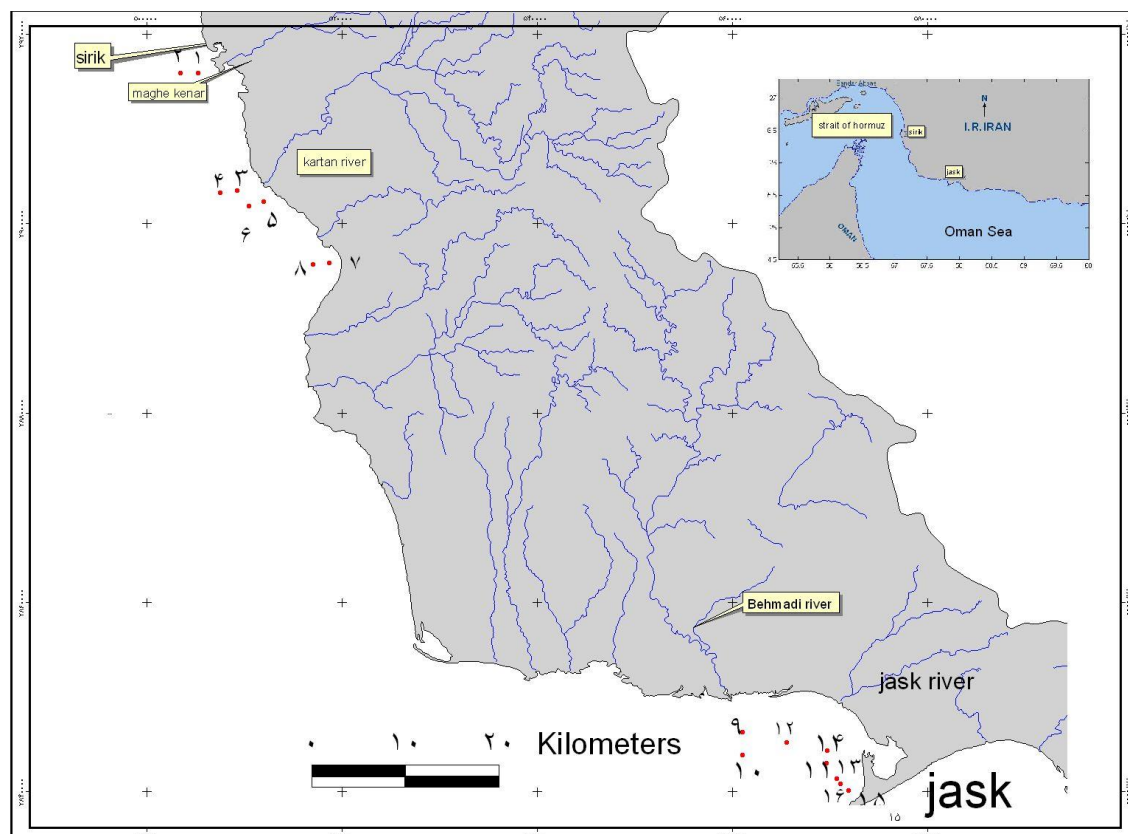


شکل ۵-۱: موقعیت رسوبات مناطق سیریک و جاسک در مثلث طبقه‌بندی رسوبات (Folk, 1974)

فاصله ایستگاه‌های نمونه‌برداری از ساحل و رودخانه‌های ورودی به دریا نقش مهمی در دانه‌بندی رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه دارند. شکل ۵-۲ فاصله ایستگاه‌ها تا ساحل و شکل ۵-۳ موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی را نسبت به رودخانه‌های ورودی به دریا در این منطقه نشان می‌دهند.



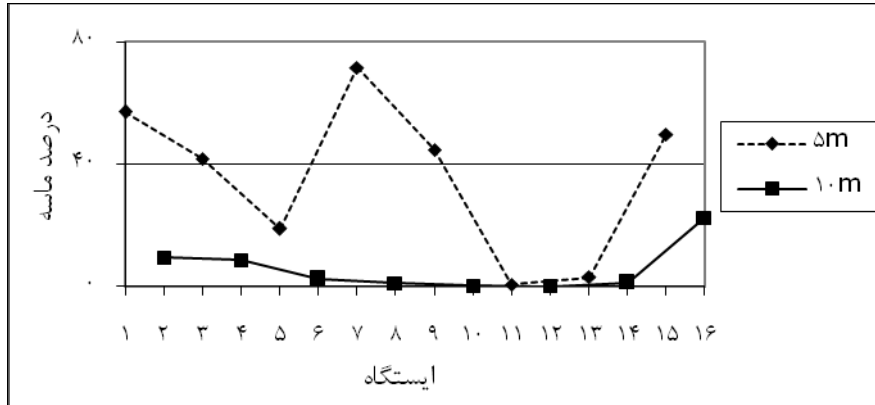
شکل ۵-۲: فاصله ایستگاه‌های مورد مطالعه تا ساحل



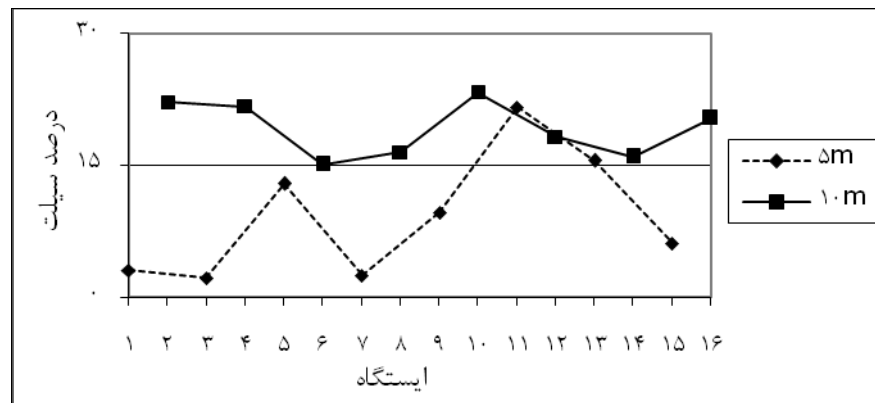
شکل ۳-۵: موقعیت رودخانه‌های منتهی به دریا نسبت به ایستگاه‌های مورد مطالعه

در اشکال ۴-۵، ۵-۵ و ۶-۵ روند تغییرات درصد ماسه، سیلت و رس در مناطق مختلف در دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب نشان داده شده است.

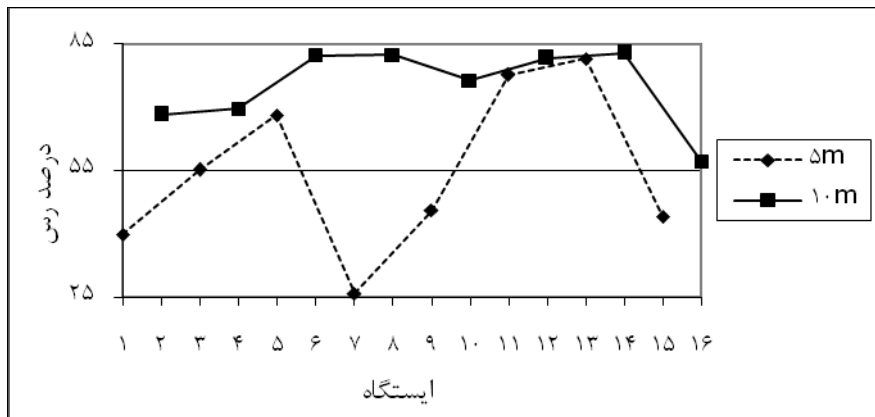
میانگین درصد ماسه در ایستگاه‌های سیریک و جاسک به ترتیب برابر است با ۲۶/۴۲ درصد و ۱۵/۲۹ درصد (جدول ۳-۴). در منطقه سیریک رودخانه‌های گز (با طول تقریبی ۱۶۸ Km) و شمیران وجود دارند که با عبور از دشت‌های جزر و مدی ماسه‌ای ساحلی به دریا می‌ریزند. در نتیجه حجم ماسه در این منطقه به خصوص در مدخل ورودی رودخانه‌های مذکور به دریا نسبت به منطقه جاسک بیشتر است (شکل ۴-۵). فاصله ایستگاه‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ که در منطقه سیریک در عمق ۵ متر واقع شده‌اند، تا ساحل برابر است با: ۲/۷ Km، ۲/۷۴ Km، ۲/۱ Km و ۱/۲۳ Km. بیشترین مقدار ماسه (۷۱/۶۷٪) در منطقه سیریک در ایستگاه شماره ۷ وجود دارد. این مسأله را می‌توان به فاصله کم این ایستگاه نسبت به ساحل ارتباط داد. با توجه به فاصله زیاد ایستگاه ۱ با ساحل حضور ۵۷/۰۵ درصد ماسه در آن قابل قبول نیست. این مسأله را می‌توان به قرار گرفتن این ایستگاه در مقابل مدخل ورودی رود



شکل ۴-۵: تغییرات ماسه در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک



شکل ۵-۵: تغییرات سیلت در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک



شکل ۶-۵: تغییرات رس در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک

مغ کنار مربوط دانست. در ایستگاه ۳ نیز ۴۱/۸۲ درصد ماسه وجود دارد. فاصله ایستگاه ۳ با ساحل نسبتاً بالا است، در نتیجه به طور معمول بایستی محتوی ماسه کمتری باشد، ولیکن همانند ایستگاه ۱ این محل نیز درمدخل ورود یک رود (رودخانه کرتان) واقع شده است که این رود نیز از دشت‌های جزر مدی ماسه‌ای ساحلی عبور می‌کند. بنابراین طبیعی است که مقدار ماسه در این محل نسبتاً بالا باشد. ایستگاه ۵ حدود ۲ کیلومتر از ساحل فاصله دارد، همچنین در مدخل ورودی رودخانه‌ای واقع

نشده است، بنابراین مقدار ماسه در این ایستگاه (۱۸/۹۶٪) نسبت به ایستگاه‌های ۵ متری دیگر در سیریک کمتر است. میانگین مقدار ماسه در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در منطقه سیریک به ترتیب برابر با ۴۷/۳۸ درصد و ۵/۴۷ درصد می‌باشد. با در نظر گرفتن این مسأله و با توجه به شکل ۴-۵ می‌توان اظهار داشت که در رسوبات واقع در عمق ۱۰ متری آب ماسه کمتری وجود دارد.

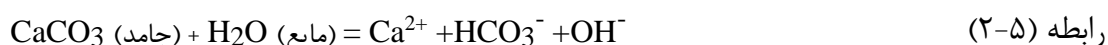
با توجه به این مسأله که در منطقه جاسک سیستم رودخانه‌ای توسعه چندانی ندارد، حجم بار رسوبی که از واحدهای ساحلی به دریا می‌ریزد، چندان بالا نیست. نقشه زمین شناسی منطقه نیز نشان می‌دهد که سواحل این منطقه را اکثراً ماسه‌های بادی تشکیل می‌دهند (شکل ۲-۳). از طرف دیگر سواحل موجود در منطقه جاسک را نهشته‌های سیلتی، شورزار و گل تشکیل داده‌اند. این نهشته‌ها نیز توسط جریانی که در جهت عقربه‌های ساعت در این منطقه جریان دارد، به سمت جاسک حرکت می‌کنند. بنابراین حجم بار دانه‌های ریز این منطقه از قبیل سیلت و رس بالا است. مقایسه مقادیر متوسط ماسه، سیلت و رس در سیریک (به ترتیب ۲۶/۴۲، ۱۲/۰۱ و ۶۱/۴۶ درصد) و جاسک (به ترتیب ۱۵/۲۹، ۱۶/۳۳ و ۶۸/۳۵ درصد) بازگوی همین مطلب است. حضور ۴۴/۷۹ درصد ماسه در ایستگاه ۹ و ۲۳/۳۰ درصد سیلت در ایستگاه ۱۰ را می‌توان به قرار گرفتن دو ایستگاه مذکور در مقابل مدخل ورودی رودخانه بهمدی به دریا ارتباط داد. رودخانه بهمدی در ابتدای مسیر خود از واحدهای ماسه‌سنگی عبور کرده و در انتهای مسیر خود با عبور از نهشته‌های سیلتی، شورزار و گل به دریا می‌ریزد. بنابراین حجم بار رسوبی این رودخانه بالا است. با کاهش انرژی جریان آب و با افزایش فاصله از ساحل و همچنین جریانی که در جهت عقربه‌های ساعت در این منطقه وجود دارد، حجم زیادی از ماسه و سیلت به ترتیب در ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ ته‌نشین می‌شود. بنابراین تیپ رسوبات این دو ایستگاه به ترتیب رس ماسه‌ای و گلی است. وجود حداکثر مقدار ماسه و حداقل مقدار سیلت و رس (به ترتیب ۴۹/۷۶، ۶/۱۰ و ۴۴/۱۲ درصد) در ایستگاه ۱۵ در منطقه جاسک، را می‌توان به فاصله بسیار کم این ایستگاه تا ساحل ۰/۸۶ km ارتباط داد. با افزایش فاصله کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه

از ساحل، افزایش عمق آب و کاهش انرژی جریان آب میانگین مقدار ماسه از ۳۵/۹۸ درصد در عمق ۵ متری آب به ۵/۷۴ درصد در عمق ۱۰ متری آب در جاسک کاهش می‌یابد. در حالیکه سیلت و رس به ترتیب از ۹/۱۸ و ۵۴/۷۳ درصد در عمق ۵ متری آب به ۱۹/۱۶ و ۷۵/۰۵ درصد در عمق ۱۰ متری آب افزایش پیدا می‌کند.

همانگونه که در شکل ۵-۵ مشاهده می‌کنیم روند تغییرات سیلت در هر دو عمق تقریباً مشابه یکدیگر است. در ایستگاه‌های ۱، ۷ و ۱۵ حداکثر مقدار ماسه و حداقل مقدار سیلت و رس وجود دارد (شکل-های ۴-۵، ۵-۵ و ۶-۵).

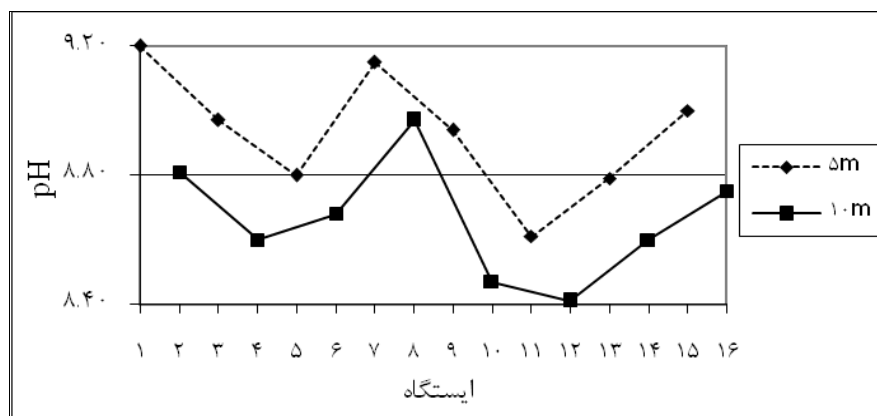
۵-۳- تغییرات pH در رسوبات

تغییرات pH رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در ایستگاه‌های مختلف بنا به اطلاعات جدول ۳-۴ در شکل ۵-۷ رسم شده است. از جمله واکنش‌هایی که موجب تغییرات pH محیط می‌شوند، می‌توان به واکنش‌های زیر اشاره کرد (رابطه ۱-۵ و ۲-۵):

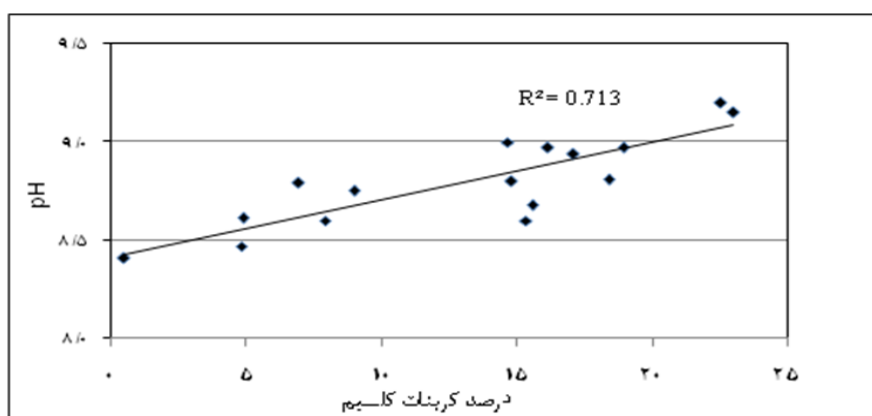


سطح آب دریاها نسبتاً قلیایی است و pH آن تقریباً در حدود ۸/۳ ثابت می‌باشد. کربنات کلسیم از جمله مهمترین اجزاء کنترل کننده pH محیط‌های آبی و رسوبات محسوب می‌شود. با توجه به مطلب فوق، می‌توان نتیجه گرفت که به طور طبیعی با افزایش یا کاهش کربنات کلسیم، افزایش یا کاهش pH محیط امری معقول خواهد بود. مطالعات کانی‌شناسی نمونه‌ها نشان داده است که کلسیت (شیمیایی و بیوشیمیایی) در تمامی ایستگاه‌ها یکی از اجزاء اصلی رسوب محسوب می‌شود و به طور میانگین مقدار آن در ایستگاه‌ها برابر با ۱۳/۱۷ درصد است (جدول ۳-۴). لازم به ذکر است که با افزایش عمق آب تراکم گاز کربنیک در آن بیشتر می‌شود و در نتیجه pH آب کاهش می‌یابد و این امر متقابلاً باعث انحلال کربنات کلسیم و افزایش pH آب می‌گردد (موسوی حرمی، ۱۳۸۰). pH رسوبات

در عمق ۱۰ متری (۸/۶۶) نسبت به عمق ۵ متری آب (۸/۹۳) از این قانون تبعیت می‌کند (شکل ۵-۷). واحدهای آهکی در مقابل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه سیریک تا ساحل، نسبت به منطقه جاسک فاصله کمتری دارند (شکل‌های ۲-۲ و ۲-۳)، در نتیجه رسوبات سطحی بندر سیریک نسبت به بندر جاسک محتوی مقدار بیشتری کربنات کلسیم (به ترتیب ۱۸/۱۰ و ۸/۲۴ درصد) می‌باشد. از این‌رو میانگین pH از ۸/۹ در سیریک به ۸/۷ در منطقه جاسک کاهش یافته است. روند تغییرات pH در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه یکسان است (شکل ۵-۷). بیشترین مقدار کربنات کلسیم و ماسه در ایستگاه‌های ۱، ۷، ۹ و ۱۵ وجود دارد (جدول ۳-۴)، لذا افزایش pH به ترتیب تا ۹/۲، ۹/۱۵، ۸/۹۴ و ۹/۰۰ در این ایستگاه‌ها طبیعی است (شکل ۵-۷). تابعیت pH از مقدار کربنات کلسیم در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه در شکل ۵-۸ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، بین این دو پارامتر یک روند تقریباً خطی ($R^2=0/71$) وجود دارد و با افزایش یا کاهش مقدار کربنات کلسیم، pH نمونه‌های رسوب نیز افزایش یا کاهش پیدا می‌کند.



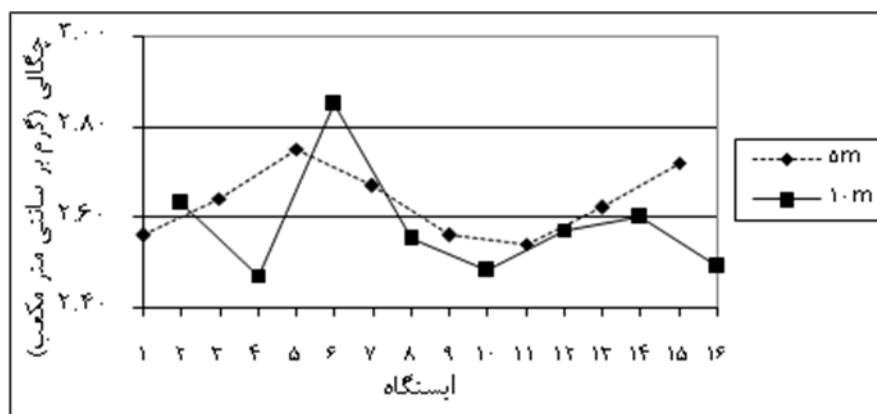
شکل ۵-۷: تغییرات pH در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک



شکل ۵-۸: تابعیت pH از مقدار کربنات کلسیم

۴-۵- تغییرات چگالی رسوبات

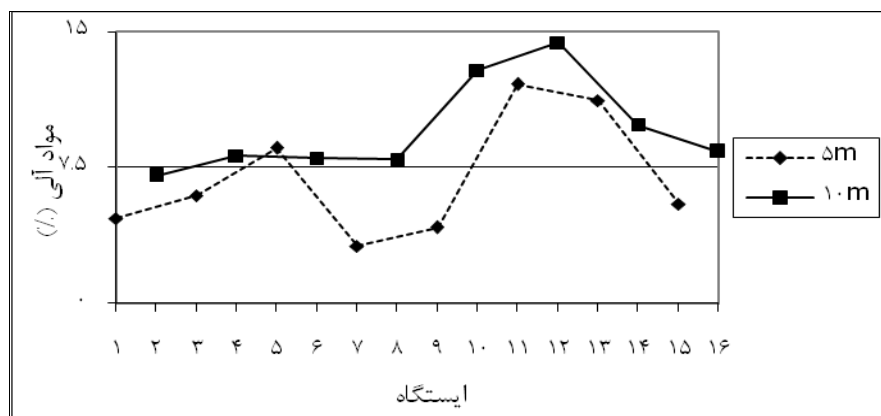
با کاهش انرژی جریان آب، ذرات سنگین تر در ابتدای مسیر و ذرات سبکتر در انتهای مسیر ته‌نشین می‌شوند. نتایج بدست آمده از جدول ۳-۴ و شکل ۹-۵ نشان می‌دهند که چنین روندی در مطالعه کنونی نیز مشاهده می‌شود و میانگین چگالی رسوب از $2/68 \text{ g/cm}^3$ در عمق ۵ متری آب به $2/94 \text{ g/cm}^3$ و $2/58$ در عمق ۱۰ متری آب کاهش می‌یابد. حداکثر و حداقل چگالی (به ترتیب $2/94 \text{ g/cm}^3$ و $2/47 \text{ g/cm}^3$) در ایستگاه‌های ۱۱ و ۴ وجود دارد.



شکل ۹-۵: تغییرات چگالی رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک

۵-۵- تغییرات مقدار ماده آلی رسوبات

تجزیه و تحلیل داده‌های موجود در جدول ۳-۴ نشان می‌دهد که میانگین ماده آلی در ایستگاه‌های سیریک و جاسک $8/25$ درصد است. حداکثر و حداقل این مقدار در منطقه جاسک وجود دارد (به



شکل ۵-۱۰: تغییرات مقدار ماده آلی رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک

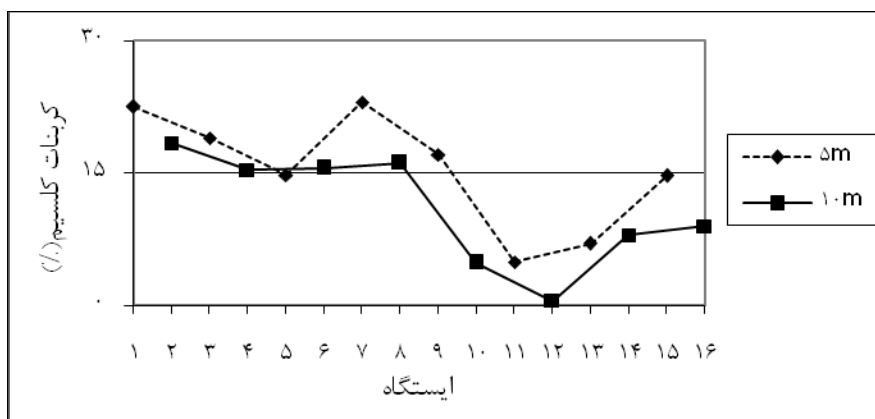
ترتیب ۱۴/۳۹ و ۴/۲۰ درصد). روند تغییرات مقدار ماده آلی در مناطق مختلف در ایستگاه‌های واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب تقریباً مشابه همدیگر است (شکل ۵-۱۰). به دلیل وجود جریان‌های شدیدتر دریایی و تلاطم آب در عمق ۵ متری آب اکسیژن محلول بیشتری در آب دریا وجود دارد. در نتیجه شرایط اکسیدی در این عمق بیشتر حاکم است و ماده آلی تجزیه می‌شود. درحالی‌که در عمق ۱۰ متری آب این شرایط کمتر وجود دارد. از طرف دیگر با افزایش عمق آب و افزایش درصد سیلت و رس به ترتیب از ۹/۱۸ و ۵۴/۷۳ درصد در عمق ۵ متری آب به ۱۹/۱۶ و ۷۵/۰۸ درصد در عمق ۱۰ متری آب، میانگین مقدار ماده آلی نیز از ۶/۹۳ به ۹/۵۸ درصد افزایش می‌یابد. باید به این نکته اشاره کرد که افزایش مواد ریزدانه باعث حفاظت بیشتر مواد آلی از تجزیه می‌گردد، در نتیجه در رسوبات ریزدانه مقدار بیشتری از مواد آلی وجود دارد. مقایسه درصد ماده آلی در ایستگاه‌های مختلف (شکل ۵-۱۰) نشان می‌دهد که میانگین درصد ماده آلی در ایستگاه‌های واقع در جاسک (۹/۸۱ درصد) نسبت به سیریک (۶/۷۰ درصد) بالاتر است. همانگونه که قبلاً در بخش ۲-۶ نیز اشاره گردید در خلیج عمان در جاسک چرخش آب تحت تأثیر یک چرخه در جهت عقربه‌های ساعت در غرب و یک چرخه در خلاف عقربه‌های ساعت در شرق است. سطح تماس این دو چرخه با جهات مخالف، یک جریان رو به بالای آب دریا (Upwelling) را در سواحل ایران را ایجاد می‌نماید (Reynolds, 1993). لازم به ذکر است که در حین بالا آمدگی آب، مقدار زیادی فسفات و ماده آلی از مناطق عمیق دریا به سمت مناطق کم عمق بالا می‌آیند و در ناحیه فلات قاره رسوب می‌نمایند. با توجه به دلایل فوق می‌توان

حضور مقدار بیشتر ماده آلی (۹/۸۱ درصد) در منطقه جاسک را ناشی از جریان رو به بالای آب دریا (upwelling) در این منطقه دانست.

۵-۶- تغییرات کربنات کلسیم در رسوبات

تغییرات درصد کربنات کلسیم در رسوبات با توجه به نتایج جدول ۴-۳ در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. همانگونه که در فصل دوم اشاره شد این منطقه از نظر چینه‌شناسی در زون مکران که اکثر واحدهای آن کربناته است، واقع شده است. انحلال و فرسایش واحدهای آهکی منطقه می‌تواند توجیهی بر غلظت بالای کلسیم در آب‌ها (به طور متوسط ۴۱۰/۲۵ppm) و رسوبات منطقه باشد. همچنین رسوب کربنات کلسیم به صورت بیوشیمیایی و وجود صدف‌های آهکی شکم‌پایان از قبیل *Oliva*, *Turritella*, *Umbonium* در رسوبات منطقه (شکل ۵-۱۲) نیز از دیگر عوامل مؤثر در افزایش غلظت کربنات کلسیم در رسوبات منطقه (۱۳/۱۷ درصد) محسوب می‌شود. بررسی تغییرات مقدار متوسط کربنات کلسیم در ایستگاه‌های مختلف (شکل ۵-۱۱) نشان‌دهنده این مطلب است که سیریک نسبت به جاسک (به ترتیب ۱۸/۱۰ درصد و ۸/۲۴ درصد) و رسوبات واقع در عمق ۵ متری آب نسبت به عمق ۱۰ متری آب (به ترتیب ۱۵/۳۷ درصد و ۱۰/۹۷ درصد) حاوی مقدار بیشتری کربنات کلسیم هستند. مطلب فوق می‌تواند ناشی از نزدیکی بیشتر واحدهای آهکی به ساحل در منطقه سیریک باشد که این موضوع باعث بیشتر بودن متوسط pH در منطقه سیریک نسبت به جاسک نیز شده است (شکل ۵-۷). همچنین همانگونه که در بخش ۳-۵ نیز اشاره گردید، با افزایش عمق آب تراکم گاز کربنیک بیشتر شده و محیط اسیدی‌تر می‌گردد. این عامل خود منجر به انحلال کربنات کلسیم موجود در رسوبات می‌گردد. بنابراین کاهش کربنات کلسیم در عمق ۱۰ متری آب در مطالعه کنونی با توجه به مطالب فوق قابل تفسیر می‌باشد. ضریب تغییرات کربنات کلسیم در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب (به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۵۸ درصد)، به وضوح نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر کربنات کلسیم در رسوبات واقع در عمق ۵ متری آب است. با توجه به حضور صدف‌های آهکی در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک (شکل ۵-۱۲) و با در نظر گرفتن مطالعات رسوب‌شناسی در این منطقه (شکیبا و

همکاران، ۱۳۸۶)، می‌توان اظهار داشت که کربنات‌های بیوژنی بخش عمده‌ای از کربنات‌های موجود در رسوبات مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.



شکل ۵-۱۱: تغییرات درصد کربنات کلسیم در رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک



شکل ۵-۱۲: تجمعی از صدف‌های آهکی (شکم پایان) در رسوبات سطحی سیریک و جاسک
A: Oliva, B: Turritella, C: Umbonium

۵-۷- کانی‌شناسی رسوبات

همانگونه که در بخش ۴-۹ نیز اشاره گردید، کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات منطقه با استفاده از پراش پرتو ایکس شناسایی شدند و سپس با استفاده از بروموفورم، کانی‌های سنگین رسوبات منطقه جدا گردید. با توجه به حضور غلظت بیشتر فلزات سنگین در جاسک سعی گردید، نمونه‌های بیشتری از این منطقه برای شناسایی کانی‌های تشکیل‌دهنده رسوبات مورد آنالیز XRD قرار گیرند. بنابراین

نمونه‌های رسوب ۲ ایستگاه ۳ و ۴ در بندر سیریک و ۴ ایستگاه ۹، ۱۰، ۱۳ و ۱۴ در بندر جاسک به آزمایشگاه کانساران بینالود در مشهد ارسال شد. نتایج بدست آمده از پراش پرتو ایکس (شکل‌های پ-۱ و پ-۲) نشان داد که در منطقه سیریک قسمت اعظم کانی‌های رسوب را کوارتز و کلسیت تشکیل داده است. همچنین هماتیت، آلبیت، کلینوکلر آهن‌دار، مسکوویت، شاموزیت و پلاژیوکلاز سدیم‌دار نیز از دیگر کانی‌های تشکیل‌دهنده رسوبات این منطقه هستند. مطالعات XRD بر روی نمونه‌های جاسک (شکل‌های پ-۳ و پ-۴) نیز معلوم ساخت که کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلینوکلر آهن‌دار، مسکوویت، پلاژیوکلاز سدیم‌دار و شاموزیت از جمله کانی‌های تشکیل‌دهنده رسوبات سطحی بندر جاسک محسوب می‌شوند. شایان ذکر است که در ترکیب این کانی‌ها عناصری از قبیل سدیم، کلسیم، آلومینیوم، سیلیسیوم، آهن و ... وجود دارد.

کانی‌های سنگین اصولاً در حد و اندازه ماسه‌های ریز در رسوبات وجود دارند. از این‌رو ایستگاه‌های ۱، ۳، ۵ و ۹ که در میان کلیه ایستگاه‌ها محتوی بیشترین مقدار ماسه بودند، برای بررسی کانی‌های سنگین در نظر گرفته شدند. از سوی دیگر با توجه به اینکه میانگین مقدار ماسه در رسوبات منطقه سیریک از جاسک بیشتر است (به ترتیب ۲۶/۴۲ و ۲۱/۱۸ درصد)، سعی گردید تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها در سیریک انتخاب گردد. مطالعه کانی‌های سنگین سیلیکاته و فلزی در سیریک و جاسک نشان داد که کرومیت، پیروکسن، هماتیت و مگنتیت (شکل‌های ۳-۷، ۵-۷ و ۶-۷) از جمله کانی‌های سنگین منطقه محسوب می‌شوند. حضور این کانی‌ها می‌تواند دلیلی بر حضور آهن، کروم، منگنز و نیکل در رسوبات منطقه باشد. با توجه به پراکندگی آمیزه‌های رنگین در زون مکران می‌توان اظهار داشت که کانی‌های کرومیت، پیروکسن، پلاژیوکلاز، زیرکن، آلبیت، پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، مسکوویت، پلاژیوکلاز سدیم‌دار و دیگر کانی‌های سیلیکاته موجود در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک از سنگ‌های الترابازیک (پریدوتیت و سرپانتین)، بازیک و دیگر سنگ‌های آذرین و دگرگونی موجود در منطقه منشأ گرفته‌اند.

فصل ششم

توزیع عناصر سنگین در رسوبات سطحی

سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (سیریک

و جاسک)

۶-۱- مقدمه

محور اصلی این تحقیق ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (سیریک و جاسک) و تعیین منشأ احتمالی آن است. در این فصل ابتدا همبستگی عناصر با یکدیگر و با خصوصیات رسوب‌شناختی رسوبات محاسبه گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. توزیع عناصر مورد بررسی (آرسنیک، جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم، منگنز، آهن، کروم و آلومینیوم) با استفاده از نمودارها و نرم‌افزار برای اعماق مختلف آب ترسیم شده و تأثیر عوامل مختلفی مانند ورود رودخانه‌ها، حوادث نفتی، کاربری اراضی و عمق آب بر چگونگی این توزیع مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در انتها با استفاده از شاخص‌های مختلف مانند تعیین درجه آلودگی و فاکتور آلودگی، میزان آلودگی منطقه به عناصر مورد بررسی معلوم می‌شود.

۶-۲- بررسی همبستگی عناصر با یکدیگر و با خصوصیات رسوب‌شناختی

همبستگی بین عناصر و همبستگی عناصر با خصوصیات رسوب‌شناختی از قبیل دانه‌بندی رسوب (مقدار ماسه، سیلت و رس)، کربنات کلسیم، pH، چگالی و ماده آلی محاسبه گردیده است (جدول ۶-۱). بالاترین همبستگی‌ها بین آهن-آلومینیوم ($r=0/978$)، آلومینیوم-پتاسیم ($r=0/965$)، آلومینیوم-ماده آلی ($r=0/924$)، آهن-منیزیوم ($r=0/931$)، آهن-ماده آلی ($r=0/921$) وجود دارد. دلیل این امر را می‌توان به حضور آهن و آلومینیوم به عنوان اجزاء اصلی در ترکیب خاک و رسوب، تمایل زیاد آهن و آلومینیوم در تشکیل کلات با ماده آلی و منشأ مشابه آهن و منیزیوم در نظر گرفت. همچنین در این جدول از بین همبستگی‌های مورد نیاز، کمترین میزان همبستگی به همبستگی نیکل-ماسه ($r=0/914$) تعلق دارد.

۶-۲-۱- آرسنیک

در مطالعه کنونی، آرسنیک با کربنات کلسیم، کلسیم، منگنز و ماسه همبستگی مثبت نشان می‌دهد ($r=0/603$ ، $0/534$ ، $0/466$ ، $0/698$) (جدول ۶-۱). این امر به جذب آرسنیک توسط کربنات

جدول ۶-۱: همبستگی عناصر با یکدیگر، خصوصیات رسوب شناختی و عناصر دیگر از قبیل گوگرد، فسفر، کلسیم و پتاسیم در نمونه‌های رسوبات سطحی بندر سیریک و جاسک

variable																						
Pb	1																					
Ni	.570(*)	1																				
Mn	-0.408	-.532(*)	1																			
Fe	.792(**)	.846(**)	-.690(**)	1																		
As	-0.072	-.519(*)	0.466	-.544(*)	1																	
V	.813(**)	.769(**)	-.567(*)	.886(**)	-0.279	1																
Ca	-.579(*)	-0.385	.679(**)	-.674(**)	.534(*)	-0.453	1															
P	.512(*)	.521(*)	-0.356	.565(*)	-0.272	0.406	-0.414	1														
Cr	0.423	.768(**)	-0.097	.601(*)	-0.246	.597(*)	0.052	0.272	1													
Mg	.704(**)	.914(**)	-.689(**)	.931(**)	-.538(*)	.869(**)	-.558(*)	.558(*)	.682(**)	1												
Al	.778(**)	.802(**)	-.718(**)	.978(**)	-.553(*)	.890(**)	-.696(**)	.602(*)	.528(*)	.921(**)	1											
K	.714(**)	.764(**)	-.735(**)	.957(**)	-.632(**)	.838(**)	-.738(**)	.499(*)	0.489	.903(**)	.965(**)	1										
Hg	0.436	0.193	-0.139	0.258	0.156	.564(*)	-0.162	0.119	0.207	0.343	0.334	0.268	1									
S	.755(**)	0.483	-.513(*)	.760(**)	-0.399	.690(**)	-.667(**)	0.28	0.313	.644(**)	.760(**)	.751(**)	0.341	1								
Sand	-.586(*)	-.915(**)	.706(**)	-.907(**)	.698(**)	-.763(**)	.612(*)	-.631(**)	-.558(*)	-.936(**)	-.904(**)	-.897(**)	-0.18	-.568(*)	1							
Silt	0.415	.618(*)	-0.459	.617(*)	-.608(*)	.505(*)	-0.424	0.464	0.346	.587(*)	.677(**)	.616(*)	0.097	0.339	-.712(**)	1						
Clay	0.495	.815(**)	-.650(**)	.783(**)	-.547(*)	.703(**)	-0.435	.718(**)	0.444	.818(**)	.802(**)	.769(**)	0.175	.523(*)	-.888(**)	.538(*)	1					
PH	-.642(**)	-.756(**)	.626(**)	-.794(**)	0.442	-.742(**)	.623(**)	-0.458	-0.301	-.754(**)	-.813(**)	-.784(**)	-0.148	-0.47	.817(**)	-.728(**)	-.685(**)	1				
density	-0.321	-0.147	-0.11	-0.218	0.025	-0.328	0.024	-0.051	-0.209	-0.059	-0.202	-0.202	-0.235	-0.077	0.127	-0.397	-0.056	0.217	1			
CaCO3	-.708(**)	-.562(*)	.674(**)	-.824(**)	.603(*)	-.676(**)	.888(**)	-0.409	-0.171	-.737(**)	-.845(**)	-.882(**)	-0.181	-.755(**)	.744(**)	-.579(*)	-.574(*)	.800(**)	0.081	1		
OM*	.728(**)	.741(**)	-.809(**)	.921(**)	-.547(*)	.807(**)	-.729(**)	0.462	0.39	.882(**)	.924(**)	.928(**)	0.169	.682(**)	-.859(**)	.659(**)	.703(**)	-.867(**)	-0.087	-.909(**)	1	
variable	Pb	Ni	Mn	Fe	As	V	Ca	P	Cr	Mg	Al	K	Hg	S	Sand	Silt	Clay	pH	Density	CaCO ₃	OM	

ماده آلی= OM*

کلسیم و اکسیدهای منگنز مربوط است. در تأیید مطلب فوق، باید به این نکته اشاره کرد که یون آرسنات به آسانی توسط اجزاء خاک از قبیل رس، گل‌های فسفاتی، هوموس و کلسیم تثبیت می‌شود. فعالترین جزء خاک در تثبیت آرسنیک، اکسیدهای آهن و آلومینیوم هستند (Huang, 1975). با این وجود در این مطالعه همبستگی مثبت آرسنیک، آهن و آلومینیوم مشاهده نگردید ($r = 0/553$ ، $-0/544$ - $r = 0/436$ به ترتیب) (جدول ۶-۱). بنابراین می‌توان اظهار داشت که در این منطقه احتمالاً اکسیدهای منگنز نسبت به اکسیدهای آهن و آلومینیوم در جذب آرسنیک در رسوبات نقش بیشتری داشته‌اند. در طی مطالعه دیگری در رسوبات این منطقه، محققین اظهار داشته‌اند که رسوبات در حد گراول و ماسه به طور عمده از صدف‌های کربناته و یا خرده‌های صدفی کربناته تشکیل شده‌اند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۶). در این مطالعه نیز خرده‌های صدفی در حد ماسه در رسوبات منطقه مشاهده گردید (شکل ۵-۱۲). با توجه به مطالب فوق، می‌توان بیان کرد که احتمالاً اکثر ماسه‌های موجود در رسوبات منطقه کربناته هستند. بنابراین می‌توان همبستگی مابین آرسنیک و ماسه ($r = 0/698$) (جدول ۶-۱) را به کربناته بودن ماسه‌های این منطقه ارتباط داد.

۶-۲-۲- جیوه

محققان در ضمن مطالعه رفتار عناصر در خاک و رسوب همبستگی مثبت جیوه، سرب، وانادیوم و آرسنیک را ناشی از ارتباط تنگاتنگ این عناصر و یا منشأ احتمالاً یکسان آنها دانستند (Stephenson, 1987, Reiman and Caritat, 1998). بنابراین همبستگی مثبت جیوه با سرب و وانادیوم ($r = 0/564$ ، $r = 0/436$ به ترتیب) (جدول ۶-۱)، را می‌توان نشان‌دهنده منشأ احتمالاً یکسان این عناصر در منطقه دانست. در مطالعه کنونی همبستگی درخور توجهی بین جیوه و آرسنیک مشاهده نشد ($r = 0/156$) (جدول ۶-۱). حضور یون اضافی کلر در خاک، جذب جیوه به داخل کانی‌هایی از قبیل اکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی را کاهش می‌دهد، زیرا کمپلکس پایدار Hg-Cl انحلال بسیار کمی دارد (Bodek et al, 1988). با توجه به نقش مؤثر کلر در ایجاد شوری آب در این منطقه (بخش ۳-

(۱۲) (۳۳/۹۷)، انتظار حضور کربن به صورت ترکیبات مختلف در رسوبات غیر معقول نیست. با استناد به نتایج تحقیقات فوق احتمالاً می‌توان یکی از دلایل همبستگی کم جیوه با مواد آلی، آهن و منگنز را تشکیل کمپلکس پایدار Hg-Cl در رسوبات منطقه دانست. حضور جیوه به صورت ترکیب با گوگرد در شرایط احیا، می‌تواند دلیلی بر همبستگی مثبت جیوه و گوگرد ($r=0/341$) (جدول ۶-۱) باشد.

۶-۲-۳- سرب

مواد آلی، اکسیدهای آهن، آلومینیوم و کانی‌های رسی تمایل زیادی برای جذب سرب دارند (Kabata-Pendias, 2000). همبستگی مثبت سرب با وانادیوم، آهن، آلومینیوم، ماده آلی و کانی‌های رسی ($r=0/495, 0/728, 0/778, 0/792, 0/813$ به ترتیب) (جدول ۶-۱) را می‌توان به جذب سرب توسط پارامترهای فوق ارتباط داد. همانگونه که در بخش ۳-۱۱-۳ نیز اشاره شد، در $pH=8$ سهم مواد آلی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از کانی‌های رسی بیشتر است (Helling et al, 1984). با توجه به میانگین pH ایستگاه‌ها ($pH = 8/79$)، می‌توان بالاتر بودن همبستگی سرب و مواد آلی ($r=0/728$) (جدول ۶-۱) نسبت به همبستگی سرب و کانی‌های رسی ($r=0/495$) (جدول ۶-۱) را به این امر ارتباط داد. سرب یک عنصر کالکوفیل است که به طور طبیعی در سولفیدها یافت می‌شود. از این رو همبستگی مشاهده شده بین سرب و گوگرد ($r=0/755$) (جدول ۶-۱)، احتمالاً می‌تواند ناشی از اتصال سرب به ترکیبات محتوی گوگرد در رسوب باشد. با توجه به اینکه در خاک‌هایی با pH بالا، سرب به صورت هیدروکسید، فسفات یا کربنات ته‌نشین می‌شود (Schnitzer and Krndorff, 1981)، و از سوی دیگر با توجه به همبستگی منفی سرب با کربنات کلسیم در این تحقیق ($r=-0/708$) و همبستگی مثبت سرب با فسفر ($r=0/512$) می‌توان نتیجه گرفت که بخش بیشتری از سرب به صورت فسفات و یا سولفید در رسوبات ته‌نشین شده است.

۶-۲-۴- نیکل

نیکل از نظر ژئوشیمیایی به گروه عناصر سیدروفیل تعلق دارد و به آهن فلزی متصل می‌شود. لذا

همبستگی مثبت بین نیکل و آهن به لحاظ ژئوشیمیایی کاملاً منطقی است. از سوی دیگر نیکل به راحتی بر اثر هوازدگی حرکت کرده و سپس با اکسیدهای آهن و منگنز رسوب می کند (Kabata-Pendias, 2000). بنابراین همبستگی نیکل و آهن ($r=0/846$) (جدول ۶-۱) را می توان به جذب نیکل بر روی اکسید آهن در رسوب و منشأ احتمالاً یکسان آنها ارتباط داد. شعاع یونی Ni^{2+} و Mg^{2+} (به ترتیب $0/83-0/63$ آنگستروم و $0/71-0/03$ آنگستروم) مشابه یکدیگر است. بنابراین نیکل می تواند در شبکه کانی های منیزیوم دار به صورت استتار شده قرار بگیرد. همبستگی بالای نیکل و منیزیوم در مطالعه کنونی ($r=0/914$) (جدول ۶-۱) و همچنین ضریب تغییرات Ni/Mg در این منطقه ($0/059$) (CV=) و نزدیکی نسبت Ni/Mg در تمام ایستگاه ها (جدول ۶-۲)، همگی نشان دهنده این مسأله است که احتمالاً نیکل از ذرات رسی آواری که از سنگ های منیزیوم دار مشتق شده اند، حاصل شده است و یا نیکل در طی هوازدگی در شبکه کانی های رسی حضور دارد. نتایج تحقیقات مختلف ژئوشیمیایی نیز مؤید مطلب فوق می باشد (Deva verna, 1993). علاوه بر همبستگی نیکل و منیزیوم، همبستگی مشاهده شده بین نیکل و کروم ($r=0/768$) (جدول ۶-۱) نیز می تواند نشان دهنده حضور نیکل در سنگ های الترامافیک منطقه باشد. نیکل و وانادیوم حدود $0/1$ درصد وزنی از ترکیب نفت خام را تشکیل می دهند. وانادیوم، نیکل و سرب از جمله عناصری هستند که در رسوبات محتوی نفت سنگین و قیر با هم یافت می شوند (Reimann and Caritat, 1998). لذا همبستگی نیکل و وانادیوم در این مطالعه ($r=0/769$) (جدول ۶-۱)، می تواند شاهدهی بر منشأ مشابه این عناصر در منطقه باشد. با توجه به توانایی زیاد مواد آلی در جذب نیکل، این عنصر با ماده آلی در افق های سطحی کلاته های آلی تشکیل می دهد (Norrish, 1975). لذا همبستگی مشاهده شده بین نیکل و ماده آلی ($r=0/741$) (جدول ۶-۱) احتمالاً ناشی از جذب نیکل توسط مواد آلی است. همانگونه که در بخش ۳-۵ نیز اشاره گردید، نیکل اصولاً به صورت جذب شده بر روی کانی های رسی منتقل می شود. از این رو غلظت آن در سری سنگی ماسه سنگ، سیلتستون و رس با افزایش رس، افزایش می یابد. در مطالعه کنونی نیز بیشتر بودن همبستگی مشاهده شده بین نیکل و رس از همبستگی بین نیکل و ماده آلی ($0/741$)

به ترتیب $r = 0/815$ (جدول ۶-۱) می‌تواند حاکی از انتقال بیشتر نیکل توسط کانی‌های رسی نسبت به ماده آلی در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه باشد. نیکل معمولاً در ترکیبات کربناته، فسفات‌ها یا سیلیکاته حضور دارد (Kabata-Pendias, 2000). همبستگی منفی نیکل با کربنات کلسیم و همبستگی مثبت این فلز با فسفر در مطالعه کنونی ($r = -0/562, 0/521$ به ترتیب) به حضور بخش بیشتری از نیکل در ترکیبات فسفات‌ها در رسوبات سطحی سواحل سیریک و جاسک اشاره دارد.

جدول ۶-۲: محاسبه نسبت Ni/Mg در نمونه‌های رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک

ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
Ni (ppm)	۹۸/۱	۱۰۰/۹	۹۶/۹	۱۰۲	۹۶	۱۰۸/۳	۷۲/۹	۱۰۳/۵	۷۹/۴	۱۲۲/۲	۱۰۶	۱۰۹/۲	۱۰۱/۸	۱۰۵/۷	۷۰/۲	۸۴/۷
Mg (ppm)	۱۹۷۰۰	۲۱۰۰۰	۲۱۴۰۰	۲۲۳۰۰	۲۲۰۰۰	۲۲۷۰۰	۱۴۹۰۰	۲۳۷۰۰	۱۶۳۰۰	۲۶۷۰۰	۲۴۷۰۰	۲۴۴۰۰	۲۳۸۰۰	۲۳۸۰۰	۱۵۹۰۰	۱۹۳۰۰
Ni/Mg	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴۳

۶-۲-۵- واندیوم

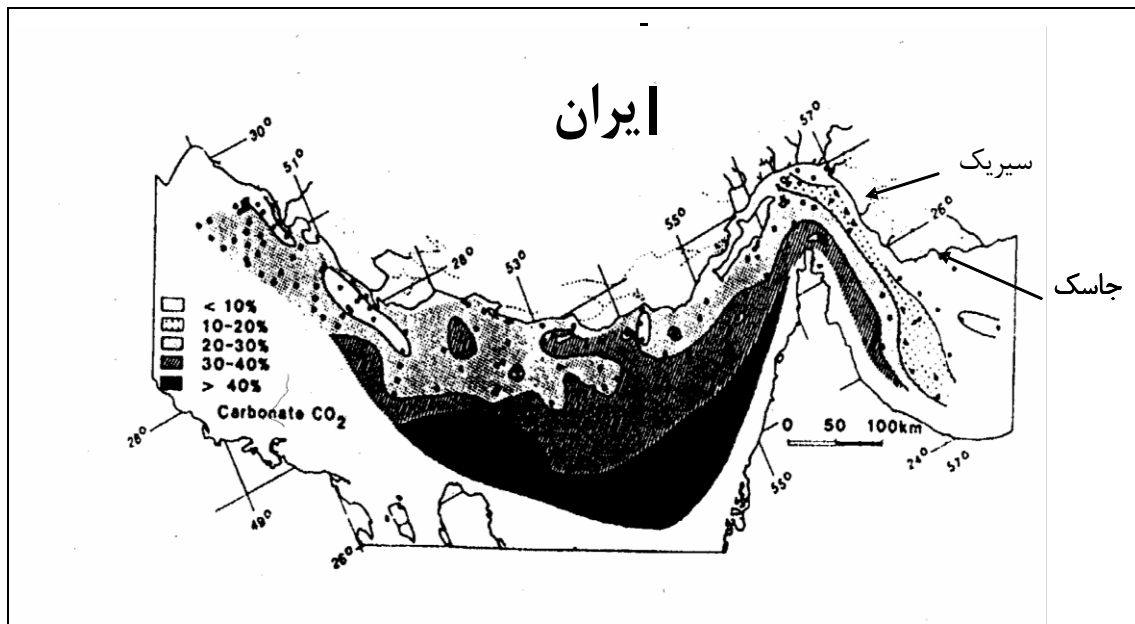
وانادیوم می‌تواند جایگزین آهن و آلومینیوم در شبکه کانی‌های دیگر شود. از طرف دیگر واندیوم توانایی این را دارد که جذب کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن شده و همراه آنها منتقل شود (Kabata-Pendias, 2000). از این رو همبستگی واندیوم با آهن و آلومینیوم ($r = 0/886, 0/890$ به ترتیب) (جدول ۶-۱)، را می‌توان به مسأله فوق ارتباط داد. مواد آلی نیز تمایل زیادی به جذب واندیوم دارند، به گونه‌ای که در شیل‌های آلی و بیولیتیک غلظت بالایی از این عنصر وجود دارد. همچنین با در نظر گرفتن این مسأله که در $pH=8$ سهم مواد آلی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بیشتر از کانی‌های رسی است، لذا همبستگی بیشتر واندیوم با ماده آلی ($r = 0/807$) (جدول ۶-۱) نسبت به همبستگی واندیوم با رس ($r = 0/703$) (جدول ۶-۱) قابل توجیه می‌باشد. محققان در ضمن مطالعه رفتار عناصر در خاک، به ارتباط تنگاتنگ بین واندیوم، پتاسیم و منگنز اشاره کرده‌اند (Kabata-Pendias, 2000). در مطالعه کنونی از بین عناصر فوق، تنها واندیوم با پتاسیم همبستگی نشان داده است ($r = 0/838$) (جدول ۶-۱).

۶-۲-۶- منگنز

در میان سنگ‌های رسوبی، منگنز در کربنات‌ها یافت می‌شود و تمرکز آن در آنها نسبتاً بالاست (ppm ۱۱۰۰) (مر و شرفی، ۱۳۷۳). میانگین مقدار کربنات کلسیم در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه (سیریک و جاسک) معادل ۱۳/۱۷ درصد اندازه‌گیری شده است. با در نظر گرفتن شرایط پایداری کانی‌های منگنز در pHهای مختلف، و با در نظر گرفتن میانگین pH رسوبات منطقه مورد مطالعه (۸/۸) و حضور غلظت بالای کربنات در آب و رسوبات سطحی خلیج فارس (شکل ۶-۱) (Siebold et al, 1973)، می‌توان اظهار داشت که کربنات منگنز ترکیب غالب این عنصر در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک نیز محسوب می‌شود. همبستگی مثبت کربنات کلسیم و منگنز ($r=0/674$) نیز حضور کربنات منگنز در رسوبات منطقه را تأیید می‌نماید. همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید اکثر ماسه‌های این منطقه کربناته است. با در نظر گرفتن این مطلب و نیز همبستگی بین منگنز و ماسه ($r=0/706$)، می‌توان احتمال داد که اکثر منگنز موجود در رسوبات در بخش ماسه‌ای قرار گرفته است. با توجه به همبستگی منفی که بین منگنز و دیگر فلزات وجود دارد (جدول ۶-۱) و همچنین روند متفاوت منگنز و دیگر فلزات در ایستگاه‌های مختلف، می‌توان اظهار داشت که احتمالاً منشأ منگنز با دیگر عناصر متفاوت می‌باشد.

۶-۲-۷- آهن

Al و Fe مهمترین عناصر تشکیل‌دهنده کانی‌های سیلیکاته هستند و در نتیجه هوازدگی، این عناصر در رسوبات سطح زمین رها می‌شوند. توزیع این عناصر تا حد زیادی توسط دانه‌بندی رسوب به خصوص ذرات ریزدانه از قبیل سیلت و رس کنترل می‌شود (Zhou et al, 2004). همبستگی آهن با آلومینیوم و رس (۷۸۳/، $r=0/978$ به ترتیب) به مطلب فوق برمی‌گردد. مواد آلی از دیگر اجزاء اصلی خاک است که در جذب و انتقال آهن نقش عمده‌ای ایفا می‌کند. آهن با ماده آلی ترکیب شده و تشکیل کلات می‌دهد. تمایل آهن برای تشکیل کلات با ماده آلی نسبت به تمایل نیکل و منگنز برای تشکیل کلات با ماده آلی بیشتر است. بیشتر بودن همبستگی ماده آلی-آهن از همبستگی ماده آلی با



شکل ۶-۱: نقشه توزیع کربنات در رسوبات سطحی خلیج فارس، (نقاط سیاه مکان‌های نمونه‌برداری هستند) (Siebold et al, 1973)

نیکل و منگنز ($r = 0.921, 0.741, -0.809$ به ترتیب) مطالب فوق را تأیید می‌کند. همبستگی مثبت آهن با پتاسیم، منیزیوم، وانادیوم، کروم و فسفر ($r = 0.957, 0.931, 0.886, 0.601$ به ترتیب) به ماهیت ژئوشیمیایی لیتوفیلی مشابه این عناصر اشاره دارد. از سوی دیگر فسفر و پتاسیم به عنوان یکی از عناصر تشکیل دهنده مواد آلی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین همبستگی مشاهده شده بین آهن، فسفر و پتاسیم را می‌توان به تشکیل کلات با این عناصر در خاک و رسوب ارتباط داد. همچنین ماهیت سیدروفیلی نیکل را می‌توان به عنوان دلیلی برای همبستگی مثبت آهن با نیکل در نظر گرفت ($r = 0.846$). با توجه به کالکوفیل بودن آهن و سرب، همبستگی مثبت این عناصر با یکدیگر ($r = 0.792$) و همچنین همبستگی آنها با گوگرد ($r = 0.760, 0.755$ به ترتیب) مشاهده شده است.

۶-۲-۸- کروم

همبستگی مثبت دو عنصر کروم و آهن ($r = 0.601$) (جدول ۶-۱) را می‌توان دلیلی بر تمایل اکسیدهای آهن در جذب کروم دانست. این مطلب توسط محققین دیگری نیز که بر روی رسوبات سواحل شرقی هند بررسی کرده‌اند و همبستگی مثبت بین این دو عنصر ($r = 0.45$) را بدست آورده‌اند

(Deva Verna, 1993)، بیان شده است. همچنین این همبستگی به منشأ مشابه این عناصر در منطقه اشاره دارد. در این مطالعه کروم با نیکل همبستگی مثبت نشان داده است ($r=0/768$) (جدول ۶-۱) که این مطلب با تحقیقی که نشان می‌دهد کروم، مس، کبالت، نیکل و عناصر گروه پلاتین با هم ارتباط مستقیم دارند، مطابقت دارد (Reiman and Caritat, 1998). با توجه به اینکه در انتقال کروم کانی‌های رسی از مواد آلی نقش مؤثرتری ایفا می‌کنند، در سری سنگی ماسه سنگ، سیلتستون و رس با افزایش مقدار رس، غلظت آن نیز افزایش می‌یابد (حسینی پاک، ۱۳۸۲). در مطالعه حاضر نیز همبستگی مشاهده شده بین کروم با ماده آلی از همبستگی کروم و رس کمتر است ($r=0/39, 0/444$) (به ترتیب) (جدول ۶-۱). با توجه به همبستگی کروم با رس و حضور آلومینیوم در ترکیب کانی‌های رسی، همبستگی این فلز با آلومینیوم ($r=0/528$) امری قابل پیش بینی است. همبستگی کروم با وانادیوم و آهن ($r=0/597, 0/601$) به ترتیب) (جدول ۶-۱)، می‌تواند دلیلی بر منشأ احتمالاً مشابه این عناصر در رسوبات باشد. کروم، منیزیوم و پتاسیم از لحاظ ژئوشیمیایی جزء عناصر لیتوفیل محسوب می‌شوند، لذا همبستگی مشاهده شده بین این عناصر ($r=0/682, 0/489$) به ترتیب) به رفتار مشابه آنها در رسوبات منطقه اشاره دارد. همبستگی کروم، نیکل، آهن، منیزیوم و وانادیوم حاکی از منشأ مشترک آنها (هوازگی سنگ‌های الترامافیک (افیولیتی)) در منطقه است.

۶-۲-۹- آلومینیوم

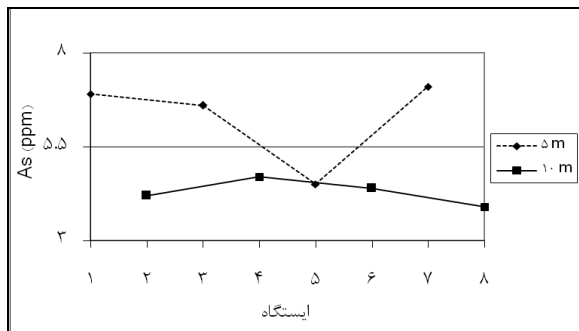
در میان همبستگی‌های مورد بررسی، بیشترین همبستگی به آهن و آلومینیوم تعلق دارد ($r=0/978$) (جدول ۶-۱). همبستگی آلومینیوم و ماده آلی ($r=0/924$) (جدول ۶-۱) را می‌توان به تشکیل کلات آلومینیوم و ماده آلی در خاک و رسوب ارتباط داد. آلومینیوم در ترکیب کانی‌های رسی یکی از عناصر اصلی محسوب می‌شود. بنابراین همبستگی بین آلومینیوم و رس امری بدیهی است ($r=0/802$) (جدول ۶-۱). همبستگی مثبت آلومینیوم با وانادیوم، نیکل، سرب و کروم ($r=0/778, 0/528, 0/802$)، ($r=0/890$) به ترتیب) (جدول ۶-۱) نقش مؤثر آلومینیوم و در واقع کانی‌های رسی را در تثبیت این فلزات در رسوبات منطقه معلوم می‌سازد.

۳-۶- گسترش عناصر سنگین و آلومینیوم در سیریک و جاسک

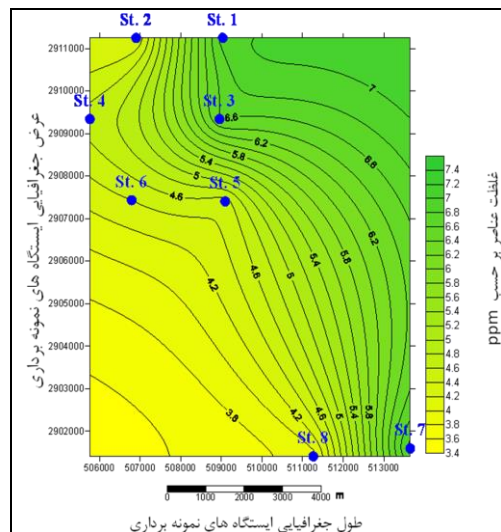
با استناد به نتایج بدست آمده از آنالیز ICP-MS (جدول ۴-۴) و با استفاده از نرم‌افزارهای Office, Surfer و 2003 (Excel) تغییرات غلظت و توزیع هر یک از عناصر (As, Hg, Pb, Ni, V, Mn, Fe, Cr, Al) در مناطق سیریک و جاسک مورد مطالعه قرار گرفت. در این قسمت گسترش و توزیع این فلزات مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۶-۱- آرسنیک

نحوه توزیع آرسنیک در رسوبات سطحی سیریک در شکل‌های ۲-۶ و ۳-۶ و در جاسک در شکل‌های ۴-۶ و ۵-۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲-۶ مشاهده می‌شود در میان ایستگاه‌های واقع در عمق ۵ متری آب در سیریک، حداقل غلظت آرسنیک در ایستگاه ۵ (۴/۵ppm) (شکل ۲-۶) وجود دارد. غلظت آرسنیک در ایستگاه ۱ و ۳ به ترتیب معادل ۶/۹ppm و ۶/۶ppm اندازه‌گیری شده است. این مسأله به قرار گرفتن این ایستگاه‌ها در مقابل مدخل ورودی رودخانه‌های مغ‌کنار و کرتان مرتبط می‌شود. از جمله اجزاء مختلف خاک که در تثبیت عناصر در خاک مؤثرند، می‌توان به کربنات‌ها و اکسیدها (از قبیل اکسید منگنز) اشاره کرد (Kabata-Pendias, 2000). همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید، اکثر ماسه‌های این منطقه کربناته است و اکسیدهای منگنز در بخش ماسه‌ای کربناته رسوبات تجمع پیدا کرده‌اند. با توجه به اینکه همبستگی آرسنیک با کربنات کلسیم از همبستگی آرسنیک با منگنز بیشتر است (۰/۴۶۶/۰۶۰۳۰ به ترتیب)، می‌توان اظهار داشت که احتمالاً کربنات کلسیم نقش مهمتری در تثبیت آرسنیک در رسوبات منطقه ایفا کرده است. با توجه به حضور بیشتر کربنات کلسیم و ماسه در عمق ۵ متری آب (به ترتیب ۱۹/۸۲ درصد و ۴۷/۳۸ درصد) نسبت به عمق ۱۰ متری آب (به ترتیب ۱۹/۸۲ درصد و ۵/۴۷ درصد) (جدول ۳-۴)، میانگین غلظت آرسنیک از ۶/۲۷ ppm در عمق ۵ متری آب به ۴/۳ ppm در عمق ۱۰ متری آب کاهش می‌یابد (شکل ۳-۶). حداکثر غلظت آرسنیک در جاسک (۶/۲ ppm) در ایستگاه ۹ (عمق ۵ متری آب) و حداقل غلظت آرسنیک (۳/۹ ppm) در ایستگاه‌های ۱۰ و ۱۲ (عمق ۱۰ متری آب) مشاهده شده است (شکل ۴-۶).



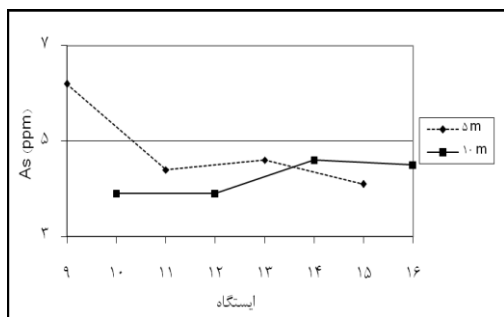
شکل ۶-۲: تغییرات غلظت آرسنیک در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



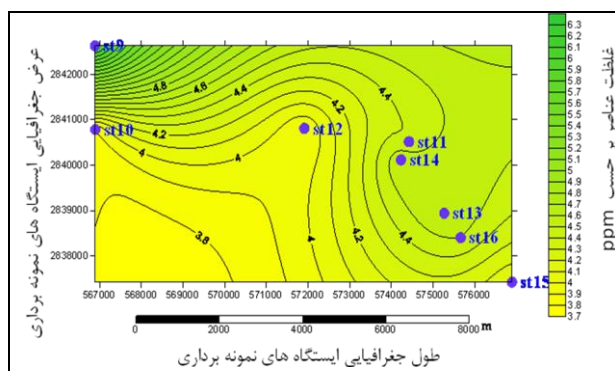
شکل ۶-۳: توزیع آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

دلیل این مسأله را می‌توان به حضور حداکثر مقدار کربنات کلسیم در ایستگاه ۹ (۱۷/۱۱ درصد) و حداقل مقدار کربنات کلسیم در ایستگاه‌های ۱۰ و ۱۲ (به ترتیب ۴/۸۴ درصد و ۰/۵ درصد) (جدول ۳-۴) ارتباط داد. لازم به ذکر است که ایستگاه ۹ در مقابل مدخل ورودی رودخانه بهمدی به دریا قرار گرفته است. با توجه به وجود ۱۴/۶۸ درصد کربنات کلسیم و ۴۹/۷۶ درصد ماسه در ایستگاه ۱۵ انتظار غلظت بیشتری از آرسنیک در این ایستگاه غیر معقول نیست. با این حال همانگونه که در شکل ۶-۴ مشاهده می‌شود، غلظت آرسنیک در این ایستگاه تا ۴/۱ ppm کاهش یافته است. این مسأله به کاهش منبع ورودی آرسنیک به دریا در این مناطق اشاره دارد. کاهش غلظت آرسنیک رسوبات از عمق ۵ متری آب به عمق ۱۰ متری آب در شکل ۶-۵ قابل مشاهده است. همچنین در این شکل می‌توان تمرکز غلظت آرسنیک در ایستگاه ۹ را به وضوح مشاهده نمود. با توجه به شرایط احیایی حاکم بر رسوبات منطقه مورد مطالعه و حضور حالت‌های اکسایش As^0 و As^{+3} در محیط‌های احیایی (Creclius *et al.* 1986)، می‌توان اظهار داشت که احتمالاً آرسنیک به صورت‌های فوق در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک حضور دارد. در pH ۷ تا ۹ آرسنیک به صورت آنیون‌های کمپلکس AsO_2^- و $H_2AsO_3^-$ در رسوبات جذب می‌شوند (Creclius *et al.* 1986). با در نظر گرفتن مطالب فوق و میانگین pH آب دریا (۸/۲) در ۴ ایستگاه نزدیک به مناطق نمونه‌برداری، غلظت کم آرسنیک

در آب این ایستگاه‌ها ($C_{As} < 0.012 \text{ ppm}$) (شارمد، ۱۳۸۷)، رسوبگذاری و تجمع بیشتر این عنصر در رسوبات مناطق مورد مطالعه (به طور میانگین $4/84 \text{ ppm}$) امری قابل توجه می‌باشد. رونق بیشتر فعالیت‌های کشاورزی در سیریک که در فصل ۷ به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت، را می‌توان دلیلی بر حضور غلظت بیشتر آرسنیک در رسوبات سطحی سیریک نسبت به جاسک (به ترتیب $5/28 \text{ ppm}$ و $4/4 \text{ ppm}$) در نظر گرفت.



شکل ۴-۶: تغییرات غلظت آرسنیک در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک

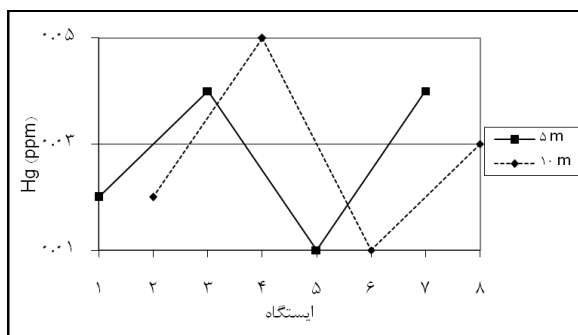


شکل ۵-۶: توزیع آرسنیک در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

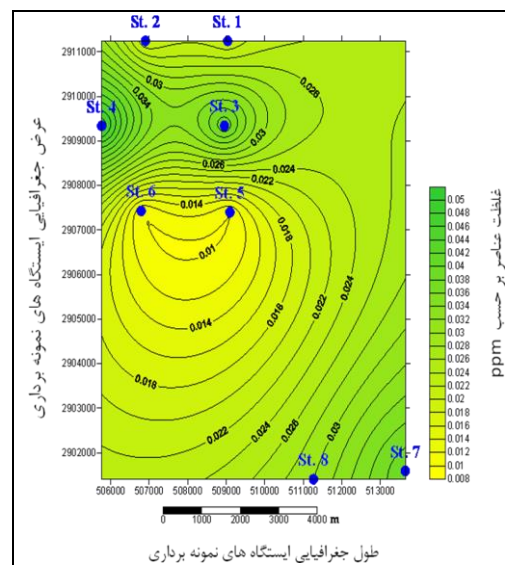
۶-۳-۲- جیوه

میانگین غلظت جیوه رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در منطقه سیریک 0.0275 ppm می‌باشد. همچنین ضریب تغییرات غلظت آن در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب تقریباً یکسان و به ترتیب معادل 0.53 و 0.54 است. بنابراین می‌توان اظهار داشت که تغییرات غلظت جیوه در سیریک به عمق آب بستگی ندارد (شکل ۶-۶). البته همبستگی کم جیوه با ماسه، سیلت و رس (0.118 ، 0.097 ، 0.175) - $I =$ به ترتیب) نیز این مطلب را تأیید می‌نماید. محققین در ضمن مطالعه‌ی غلظت عناصر سنگین در آب این مناطق (سیریک و جاسک) اعلام کرده‌اند که غلظت جیوه در اعماق مختلف آب با یکدیگر تفاوت معناداری ندارد. همچنین بر اساس این تحقیق غلظت جیوه آب در ۴ ایستگاه واقع در عمق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک کمتر از 0.0085 ppm اندازه‌گیری شده است (شارمد، ۱۳۸۷). یکسان بودن میانگین غلظت جیوه رسوبات واقع در هر دو عمق آب را می‌توان به یکسان بودن غلظت جیوه آب در هر دو عمق مورد بررسی ارتباط داد. فاضلاب‌های شهری، آفت‌کش‌های مورد استفاده در

مزارع و آلودگی‌های نفتی از جمله منابع ورود جیوه به محیط محسوب می‌شوند (Vangronsveld, 1998). ایستگاه‌های ۳ و ۴ در مقابل رودخانه کرتان واقع شده‌اند و همچنین تراکم جمعیت در مقابل این ایستگاه‌ها به نسبت بالا است. بنابراین غلظت جیوه در این ایستگاه‌ها به ترتیب تا 0.04 ppm و 0.05 ppm افزایش پیدا می‌کند (شکل ۶-۷). با وجودیکه ایستگاه‌های ۷ و ۸ در مقابل ورودی رودخانه‌ای قرار نگرفته است، غلظت جیوه در این دو ایستگاه تا 0.04 ppm و 0.03 ppm افزایش پیدا کرده است (شکل ۶-۷). این مسأله به کم بودن فاصله زمین‌های کشاورزی از ساحل در مقابل این ایستگاه‌ها مرتبط می‌شود.



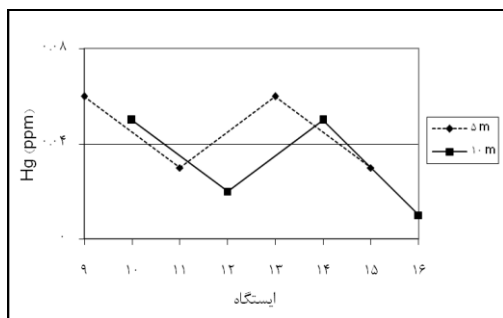
شکل ۶-۵: تغییرات غلظت جیوه در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



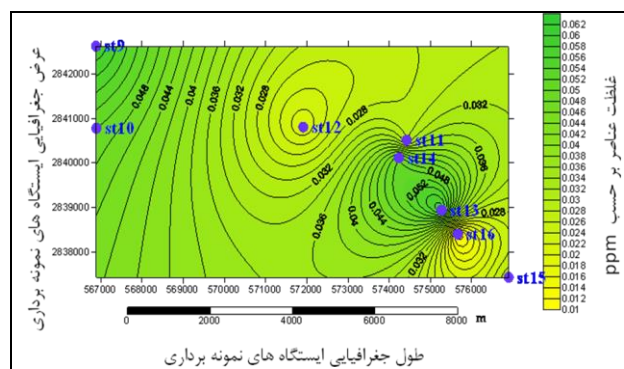
شکل ۶-۷: توزیع جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در سیریک

میانگین غلظت جیوه در منطقه جاسک (0.038 ppm) از میانگین غلظت جیوه در منطقه سیریک (0.027 ppm) بیشتر است. این مسأله به افزایش منابع ورود جیوه به محیط زیست در منطقه جاسک (نفت و آلودگی‌های نفتی) اشاره دارد. غلظت جیوه آب در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک نیز همانند سیریک تفاوت معناداری وجود ندارد (شارمد، ۱۳۸۷). با این حال بر خلاف سیریک میانگین غلظت جیوه رسوب در عمق ۵ متری آب در جاسک، $1/33$ برابر میانگین غلظت جیوه رسوب در عمق ۱۰ متری آب این منطقه است (به ترتیب 0.04 ppm و 0.03 ppm). با توجه به همبستگی اندک

جیوه با رس ($r=0/175$) حضور غلظت بیشتر جیوه در رسوبات واقع در عمق ۵ متری آب در جاسک نسبت به سیریک را می‌توان احتمالاً به وجود مقدار بیشتر رس در این ایستگاه‌ها ارتباط داد. به طوریکه میانگین غلظت رس در ایستگاه‌های ۵ متری آب در سیریک و جاسک به ترتیب معادل $47/26$ درصد و $62/19$ درصد محاسبه شده است. در این منطقه نیز همانند منطقه سیریک می‌توان روند یکسانی را در تغییرات غلظت این عنصر در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب مشاهده نمود (شکل ۶-۸). بنابراین می‌توان اظهار داشت هر جا که منشأ ورودی جیوه در ساحل وجود داشته باشد، مانند رودخانه بهمدی در مقابل ایستگاه ۹ و رودخانه جاسک در مقابل ایستگاه ۱۳، غلظت جیوه در هر دو عمق افزایش یافته ولی در مناطقی که منبع ورود آلاینده در ساحل وجود نداشته باشد، کاهش قابل ملاحظه‌ای در غلظت جیوه در هر دو عمق مشاهده می‌گردد. حضور حداکثر غلظت جیوه در رسوبات ایستگاه‌های ۹، ۱۰، ۱۳ و ۱۴ و همچنین حداقل غلظت جیوه در ایستگاه‌های ۱۲ و ۱۶ را می‌توان به وضوح در شکل ۶-۹ مشاهده نمود.



شکل ۶-۸: تغییرات غلظت جیوه در رسوبات اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک



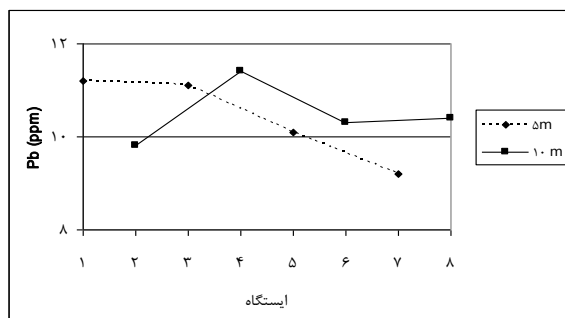
شکل ۶-۹: توزیع جیوه در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

۶-۳-۳- سرب

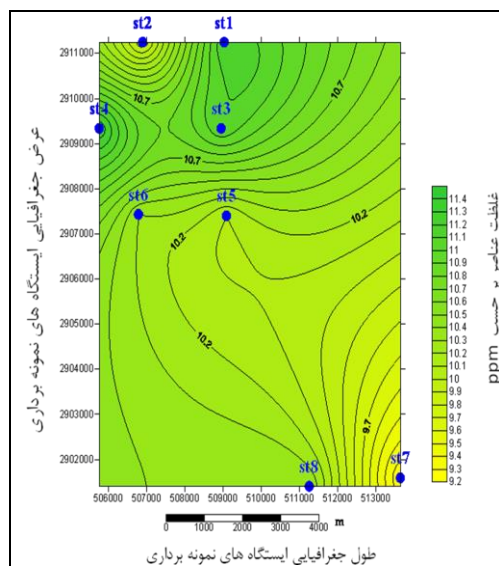
میانگین غلظت سرب در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک تقریباً برابر با یکدیگر و به ترتیب معادل $10/47$ ppm و $10/40$ ppm اندازه‌گیری شده است. همانگونه که در شکل ۶-۱۰ مشاهده می‌شود، در مقایسه با عمق ۵ متری آب، غلظت سرب در رسوبات واقع در عمق ۱۰ متری آب

تغییرات کمتری را نشان می‌دهد. محاسبه ضریب تغییرات غلظت سرب در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در کلیه ایستگاه‌های سیریک ($CV = 0/09, 0/05$ به ترتیب) نیز مطلب فوق را تأیید می‌نماید. با توجه به تراکم بیشتر جمعیت در مناطق مجاور ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ و ورود حجم بیشتر فاضلاب-های شهری به دریا (دمی‌زاده، ۱۳۸۷)، حضور غلظت بیشتر سرب (به طور میانگین $10/8 \text{ ppm}$) در ایستگاه‌های فوق امری طبیعی است. در میان ایستگاه‌های فوق بیشترین غلظت سرب در ایستگاه ۴ ($11/4 \text{ ppm}$) (شکل ۶-۱۱) که محتوی $8/14$ درصد ماده آلی و $69/65$ درصد رس (جدول ۴-۳) می‌باشد، وجود دارد. با وجود حضور بیشتر مقدار ماده آلی و رس در ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۸ نسبت به ایستگاه ۴ (جدول ۴-۳)، می‌توان کاهش غلظت سرب در این ایستگاه‌ها را به وضوح در شکل ۶-۱۰ و ۶-۱۱ مشاهده نمود. این امر را می‌توان به کاهش منشأ سرب در مقابل این ایستگاه‌ها (کاهش جمعیت) ارتباط داد (دمی‌زاده، ۱۳۸۷). حضور حداقل غلظت سرب در ایستگاه ۷ ($9/2 \text{ ppm}$) (شکل ۶-۱۱) را می‌توان به حضور حداقل ماده آلی و رس (به ترتیب $3/16$ درصد و $25/87$ درصد) (جدول ۴-۳) در این ایستگاه مربوط دانست.

در بندر جاسک در سال ۱۳۸۵، بیش از 33506 تن کالا منتقل شده است و حدود 435 فروند کشتی، لنج و غیره در این بندر تردد داشته است. در حالیکه در بندر سیریک صادرات و واردات کالا صورت نمی‌گیرد (امانی، ۱۳۸۶). لذا با توجه به تردد بیشتر وسایل حمل و نقل دریایی و حضور بیشتر ماده آلی، رس، آهن و آلومینیوم در منطقه جاسک میانگین غلظت سرب در رسوبات جاسک $1/2$ برابر میانگین غلظت سرب در رسوبات سیریک است (به ترتیب $13/03 \text{ ppm}$ و $10/43 \text{ ppm}$). لازم به ذکر است که میانگین مقدار آهن، آلومینیوم، ماده آلی و رس به ترتیب در جاسک معادل $9/1, 81/2, 90/88$ و $61/35$ درصد و در سیریک معادل $2/45, 1/50, 6/70$ و $61/46$ درصد محاسبه شده است (جدول ۴-۳ و ۴-۴). قرار گرفتن ایستگاه‌های ۹ تا ۱۴ را در مقابل مدخل ورودی رودخانه‌های بهمدی و جاسک به دریا را می‌توان دلیل اصلی افزایش غلظت سرب در این ایستگاه‌ها دانست (شکل ۶-۱۲).



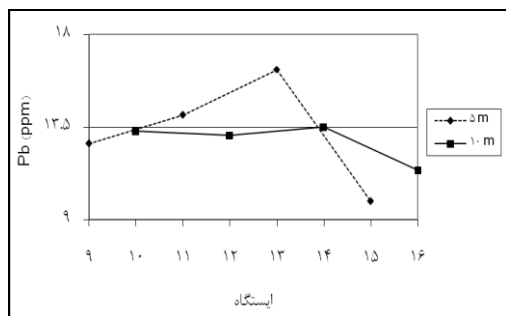
شکل ۶-۱۰: تغییرات غلظت سرب در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



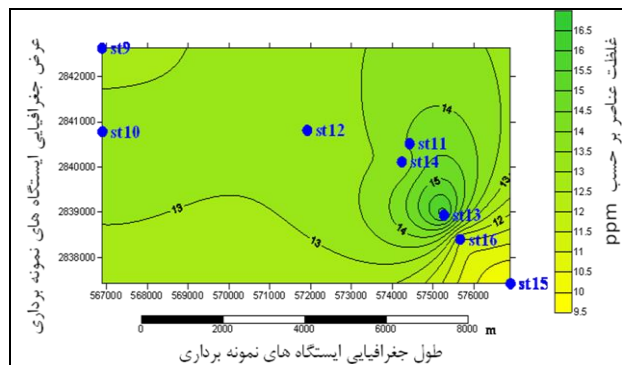
شکل ۶-۱۱: توزیع سرب در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

لازم به ذکر است که میانگین غلظت سرب در این ایستگاه‌ها ($13/56 \text{ ppm}$) از میانگین غلظت سرب در ایستگاه‌های ۱۵ و ۱۶ ($10/65 \text{ ppm}$) بیشتر است. از سوی دیگر مواد آلی، رس، آهن و آلومینیوم که در تثبیت عناصر از جمله سرب، در خاک و رسوب نقش مهمی را ایفا می‌کنند، در ایستگاه ۱۵ به حداقل مقدار خود می‌رسند (به ترتیب $5/49$ ، $44/12$ ، $2/27$ و $1/44$ درصد) (جدول ۳-۴ و ۴-۴). این امر حضور حداقل غلظت سرب در این ایستگاه ($9/9 \text{ ppm}$) را توجیه می‌کند. وجود حداکثر غلظت سرب ($16/3 \text{ ppm}$) در ایستگاه ۱۳ را می‌توان ناشی از نزدیکی بیشتر مناطق مسکونی به دریا (دمی-زاده، ۱۳۸۷) در مقابل این ایستگاه دانست. غلظت سرب در رسوبات عمق ۵ متری آب ابتدا به سمت ایستگاه ۱۳ یک روند صعودی و سپس تا ایستگاه ۱۵ یک روند نزولی را نشان می‌دهد. همین روند در عمق ۱۰ متری آب تکرار می‌شود (شکل ۶-۱۲). در شکل ۶-۱۳ می‌توان تجمع غلظت سرب در اطراف ایستگاه‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۴ و همچنین کاهش غلظت سرب به سمت ایستگاه ۱۵ را مشاهده نمود. اکسیدهای آبدار سرب در pH معادل $7/2$ تا $8/7$ رسوب می‌کند (جدول ۳-۷) (Kabata-Pendias, 2000). میانگین pH آب در ۴ ایستگاه نزدیک به مناطق مورد مطالعه $8/2$ اندازه‌گیری شده است (شارمد، ۱۳۸۷). بنابراین افزایش غلظت سرب از $0/014 \text{ ppm}$ در آب ایستگاه‌های نزدیک به

منطقه مورد مطالعه به $11/63 \text{ ppm}$ در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک، به رسوب اکسیدهای آبدار سرب در این pH و انتقال این عنصر از فاز مایع به فاز جامد مرتبط می‌شود.



شکل ۶-۱۲: تغییرات غلظت سرب در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک

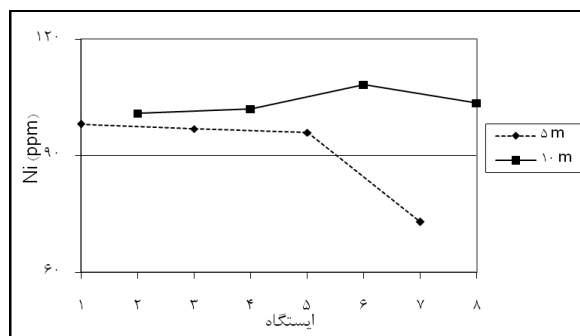


شکل ۶-۱۳: توزیع سرب در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

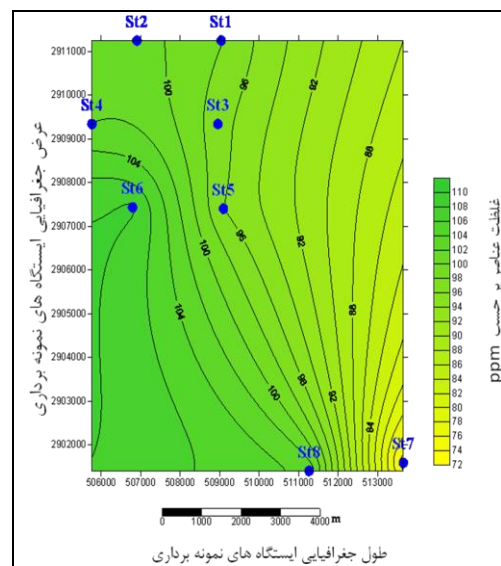
۶-۳-۴- نیکل

غلظت نیکل در رسوبات سیریک از $89/35 \text{ ppm}$ به $105/45 \text{ ppm}$ با افزایش عمق آب و متعاقب با افزایش مقدار رس از $62/19$ درصد در رسوبات عمق ۵ متری آب به $74/50$ درصد در رسوبات عمق ۱۰ متری آب (جدول ۳-۴) هماهنگی نشان می‌دهد (شکل ۶-۱۴). همانگونه که در شکل ۶-۱۴ مشاهده می‌شود غلظت نیکل رسوبات سیریک در عمق ۵ متری آب از ایستگاه ۱ تا ۷ روند رو به کاهش و در عمق ۱۰ متری آب از ایستگاه ۲ تا ۸ یک روند روبه افزایش را در منطقه نشان می‌دهد. در شکل ۶-۱۵ می‌توان روند رو به افزایش غلظت نیکل از رسوبات واقع در عمق ۵ متری آب به سمت رسوبات عمق ۱۰ متری آب را مشاهده نمود. افزایش مقدار رس در ایستگاه ۶ و ۸ به ترتیب تا $82/31$ درصد و $82/36$ درصد (جدول ۳-۴) می‌تواند یکی از دلایل افزایش غلظت نیکل تا $108/3 \text{ ppm}$ و $103/5 \text{ ppm}$ در این ایستگاه‌ها باشد. همچنین حضور حداقل غلظت نیکل در ایستگاه ۷ را می‌توان ناشی از حضور حداقل مقدار رس ($25/87$ درصد) (جدول ۳-۴) در این ایستگاه دانست. همبستگی نیکل با منیزیوم، آهن، آلومینیوم و کروم ($r=0/914, 0/846, 0/803, 0/768$ به ترتیب) را می‌توان به منشأ مشابه این عناصر ارتباط داد. افیولیت‌های موجود در زون مکران و آلودگی‌های نفتی

را می‌توان از جمله منشأهای عمده ورود نیکل در رسوبات منطقه دانست. از جمله حوادث نفتی اخیر در این منطقه می‌توان به برخورد تانکر Lupus با کشتی RO-RO در ساعت ۲۲ مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ اشاره کرد. در طی این حادثه ۴۰۰ تن نفت خام کویت در ۱۶ مایلی مقابل کوه مبارک به داخل دریا ریخته شد (جوکار، ۱۳۸۴). موقعیت این حادثه در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. جهت جریان آب در سمت غرب و شرق کوه مبارک مخالف یکدیگر است. در سمت غرب کوه مبارک آب به سمت سیریک و شمال تنگه هرمز در حرکت است. در حالیکه در سمت شرق کوه مبارک جریان آب غالب در جهت عقربه‌های ساعت به سمت دریای عمان می‌باشد (Reynolds, 1993). جریان آب در سمت غرب کوه مبارک منجر به حرکت نفت تخلیه شده به سمت سیریک می‌گردد. لذا هرچه ایستگاه‌های مورد مطالعه تا کوه مبارک فاصله کمتری داشته باشند، افزایش غلظت نیکل در آنها بیشتر مشاهده می‌شود. افزایش غلظت نیکل تا $10.8/3$ ppm و $10.3/5$ ppm به ترتیب در ایستگاه‌های ۶ و ۸ را می‌توان به مسأله فوق ارتباط داد.



شکل ۶-۱۴: تغییرات غلظت نیکل در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



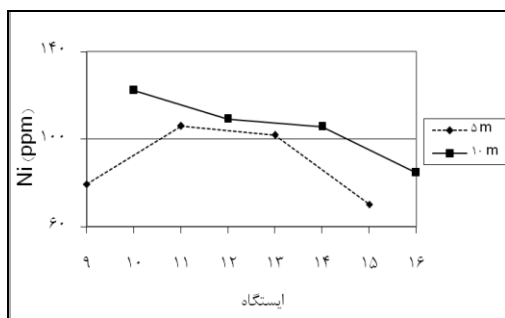
شکل ۶-۱۵: توزیع نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

با مقایسه نمودارهای تغییرات غلظت نیکل در شکل ۶-۱۶ و بررسی ضریب تغییرات غلظت نیکل در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب ($CV = 0.19, 0.14$ به ترتیب)، می‌توان اظهار داشت که در منطقه جاسک همانند منطقه سیریک در عمق ۱۰ متری آب یکنواختی بیشتری در غلظت نیکل

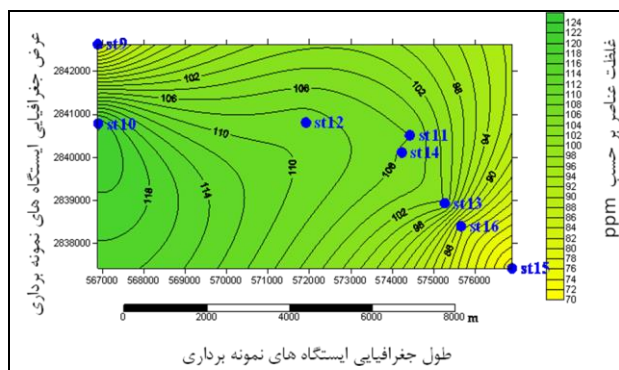
رسوبات وجود دارد. با توجه به میانگین pH آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سیریک و جاسک (۸/۲) و انحلال کم نیکل در این pH (Kabata-Pendias, 2000)، نتیجه می‌گیریم که احتمال حضور نیکل آزاد شده از واقعه نفتی در رسوبات این منطقه بسیار بیشتر از آب این محیط می‌باشد. مطالعه بر روی غلظت عناصر سنگین در آب این مناطق نیز حاکی از حضور ۰/۰۰۵۵ppm نیکل در آب بنادر مورد مطالعه می‌باشد (شارمد، ۱۳۸۷)، در حالیکه به طور میانگین در رسوبات سطحی سیریک و جاسک ۹۸/۳۳ppm نیکل وجود دارد. از میان ایستگاه‌های مورد مطالعه در جاسک، ایستگاه ۱۰ کمترین فاصله را تا محل حادثه نفتی دارد و افزایش غلظت نیکل تا ۱۲۲/۲ppm در این ایستگاه مشاهده می‌شود. روند رو به افزایش غلظت نیکل به سمت ایستگاه ۱۰ را می‌توان به وضوح در شکل ۶-۱۷ مشاهده نمود. با توجه به اینکه جریان در این منطقه در جهت عقربه‌های ساعت و به سمت دریای عمان است، سواحل کمتر تحت تأثیر نفت تخلیه شده قرار گرفته‌اند. ایستگاه ۱۵ در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها در فاصله بیشتری از محل حادثه نفتی (کوه مبارک) واقع شده است و همچنین به ترتیب محتوی ۴۴/۱۲ و ۵/۴۹ درصد رس و ماده آلی می‌باشد، از این رو حضور حداقل غلظت نیکل تا ۷۰/۲ ppm در این ایستگاه قابل پیش‌بینی می‌باشد.

۶-۳-۵- وانادیوم

مطالعه رفتار عناصر در رسوبات نشان داده است که غلظت نیکل و وانادیوم در آب‌های سطحی و عمیق به ترتیب کاهش و افزایش پیدا می‌کند. دلیل عمده، رقیق‌شدگی غلظت عناصر در آب‌های سطحی، جذب آنها توسط ذرات معلق در بخش‌های سطحی و موجودات زنده است. غلظت بالای کلسیم در آب‌های خلیج فارس، یکی از عوامل اصلی رقیق‌شدگی غلظت وانادیوم در رسوبات واقع در اعماق کمتر آب در این منطقه می‌باشد (Sadiq et al, 1991). لذا با تلفیق مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که یکی از دلایل افزایش میانگین غلظت وانادیوم از ۳۳/۲۲ppm به ۳۵/۰۲ppm در رسوبات عمق ۱۰ متری آب سیریک (شکل ۶-۱۸)، کاهش غلظت کلسیم آب از ۳۸۳/۳۹ppm در عمق ۵ متری آب به ۳۷۷/۵۸ppm در عمق ۱۰ متری آب (شارمد، ۱۳۸۷) است. همبستگی منفی وانادیوم-کربنات کلسیم

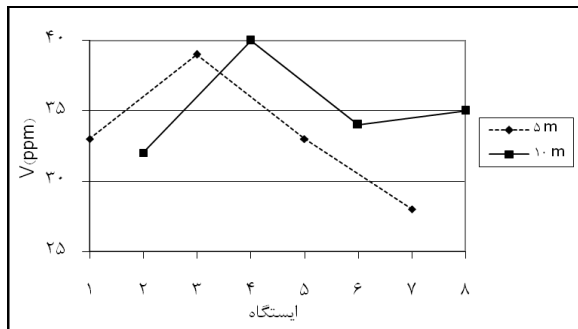


شکل ۶-۱۶: تغییرات غلظت نیکل در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک

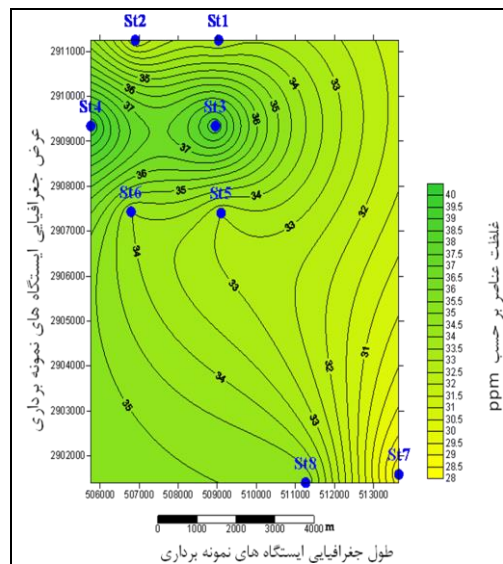


شکل ۶-۱۷: توزیع نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

کلسیم و کلسیم ($r = -0.453, -0.676$ به ترتیب) در مطالعه کنونی مطلب فوق را تأیید می‌نماید. وانادیوم با پتاسیم ($r = 0.838$) همبستگی مثبت نشان داده است (جدول ۶-۱). از این رو احتمالاً پتاسیم موجود در رسوب نیز یکی دیگر از عوامل کنترل کننده رفتار وانادیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در این منطقه می‌باشد. در شکل ۶-۱۹ می‌توان حضور حداکثر غلظت وانادیوم در ایستگاه‌های ۳ و ۴ و روند روبه افزایش غلظت وانادیوم رسوب از عمق ۵ متری آب به عمق ۱۰ متری آب را مشاهده نمود. همچنین در این شکل روند افزایشی غلظت وانادیوم رسوب به سمت ایستگاه ۸ مشاهده می‌شود. افزایش غلظت وانادیوم در این ایستگاه می‌تواند ناشی از حضور $2/71$ و $1/77$ درصد آهن و آلومینیوم در این ایستگاه باشد. حداکثر غلظت وانادیوم (40 ppm) در ایستگاه ۴ و حداقل غلظت آن (28 ppm) در ایستگاه ۷ وجود دارد. گفته شد که بین سرب و وانادیوم همبستگی مثبت وجود دارد ($r = 0.813$)، بنابراین افزایش غلظت این عناصر تا $11/4 \text{ ppm}$ و 40 ppm در ایستگاه ۴ را می‌توان به یک دلیل واحد ارتباط داد. این دلیل می‌تواند ورود رودخانه کرتان به دریا در مقابل ایستگاه ۳ و ۴ باشد. از طرف دیگر گفته شد که این عناصر در ذرات ریز دانه و اکسیدهای آهن و آلومینیوم تجمع می‌یابند. بنابراین با افزایش غلظت آهن و آلومینیوم به ترتیب تا $2/55$ درصد و $1/65$ درصد در ایستگاه ۴، دلیل وجود غلظت بیشتر این عناصر (وانادیوم و سرب) در ایستگاه فوق نسبت به ایستگاه ۳ مشخص می‌گردد.

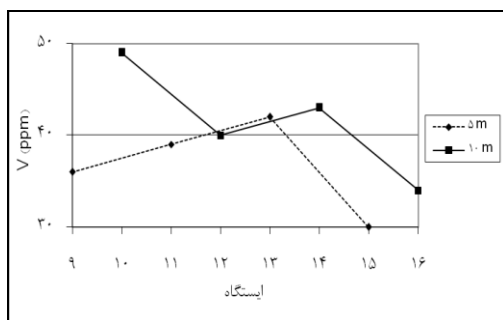


شکل ۶-۱۸: تغییرات غلظت وانادیوم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک

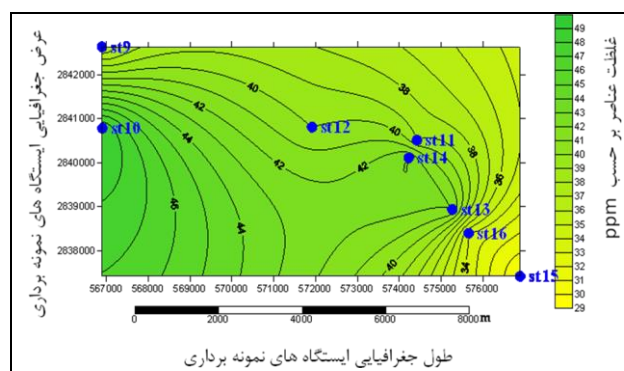


شکل ۶-۱۹: توزیع وانادیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

همانند منطقه سیریک همراه با افزایش عمق آب و افزایش مواد جاذب (از قبیل اکسید آهن و آلومینیوم، رس و ماده آلی) میانگین غلظت وانادیوم رسوبات جاسک نیز از ۳۶/۷۵ppm در عمق ۵ متری آب به ۴۱/۵ppm در رسوبات عمق ۱۰ متری آب افزایش پیدا می‌کند (شکل ۶-۲۰). بیشتر بودن میانگین غلظت وانادیوم در جاسک نسبت به سیریک (به ترتیب ۳۸/۹۵ppm و ۳۴/۲۵ppm) را می‌توان به فاصله کمتر ایستگاه‌های جاسک تا محل حادثه نفتی مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ و تردد بیشتر وسایل حمل و نقل دریایی در این منطقه ارتباط داد. روند رو به افزایش غلظت وانادیوم به سمت ایستگاه ۱۰ و از عمق ۵ متری به سمت عمق ۱۰ متری در شکل ۶-۲۱ به وضوح قابل مشاهده است.



شکل ۶-۲۰: تغییرات غلظت وانادیوم رسوبات در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک

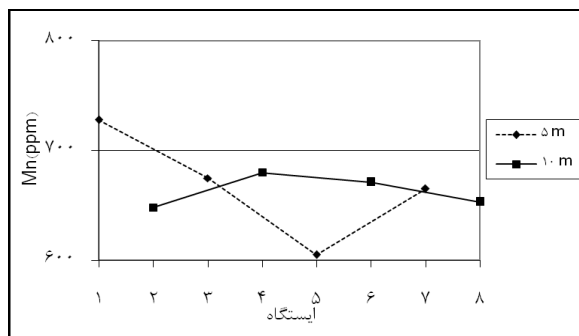


شکل ۶-۲۱: توزیع وانادیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

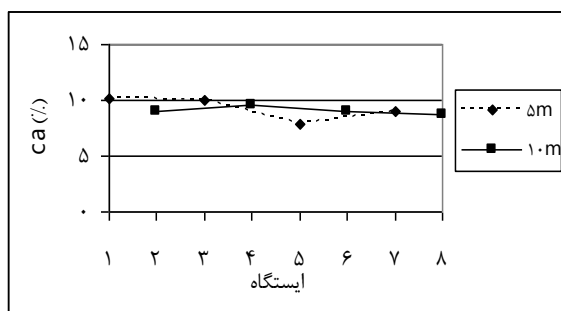
۶-۳-۶- منگنز

در رسوبات منطقه مورد مطالعه به نظر می‌رسد که منگنز در کربنات‌ها و در بخش ماسه‌ای رسوبات تجمع یافته است. در تأیید این مطلب می‌توان به روند یکسان منگنز، کلسیم و کربنات کلسیم در ایستگاه‌های مختلف سیریک اشاره کرد (شکل‌های ۶-۲۲، ۶-۲۳ و ۵-۱۱). توانایی منگنز برای تشکیل کمپلکس‌های آنیونی و یا کمپلکس‌هایی با لیگاندهای آلی می‌تواند منجر به افزایش انحلال منگنز در pH قلیایی شود (Godo and Reisenauer, 1980). در مطالعه کنونی نیز همبستگی منفی منگنز با مواد آلی به تشکیل ترکیبات محلول این عنصر در خاک اشاره دارد ($r = -0.809$) (جدول ۶-۱). با تلفیق مطالب فوق باید حداکثر غلظت منگنز با حداکثر مقدار کربنات کلسیم و حداقل مقدار مواد آلی در رسوب همراه باشد. در تأیید این مطلب می‌توان به عنوان نمونه به ایستگاه ۱ اشاره کرد که حداکثر غلظت منگنز، حداکثر مقدار کربنات کلسیم و حداقل مقدار ماده آلی (به ترتیب ۷۲۸ppm، ۲۲/۵۲ ppm و ۴/۶۹ درصد) در آن مشاهده شده است. با توجه به اینکه در انتهای مسیر حوضه آبریز سیریک اراضی شور و نم‌زار حاوی کربنات کلسیم و کانی‌های منگن‌دار وجود دارد (شکل ۷-۲)، حضور غلظت بیشتر منگنز در رسوبات سیریک نسبت به جاسک امری طبیعی است (به ترتیب ۶۶۵/۶۳ppm و ۶۳۷/۸۷ppm). کاهش غلظت منگنز در ایستگاه ۵ و همچنین افزایش غلظت منگنز از ایستگاه ۳ به سمت ایستگاه ۱ و از ایستگاه ۵ به سمت ایستگاه‌های ۷ و ۸ را می‌توان در شکل ۶-۲۴ مشاهده نمود.

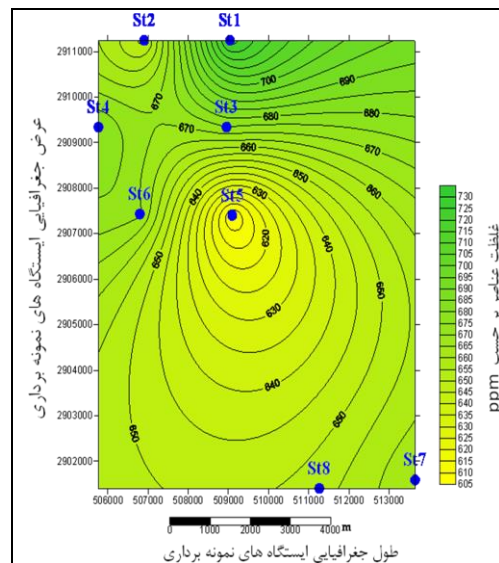
روند تغییرات غلظت منگنز در رسوبات واقع در دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک و جاسک با هم متفاوت است. در منطقه جاسک روندی که غلظت منگنز در رسوبات هر دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب نشان می‌دهد، مشابه یکدیگر است. غلظت منگنز در هر دو عمق ابتدا یک روند نزولی و سپس یک روند صعودی را به سمت ایستگاه‌های پایانی نشان می‌دهد. در منطقه جاسک همانند منطقه سیریک، روند تغییرات منگنز، کلسیم و کربنات کلسیم همانند یکدیگر است (شکل‌های ۶-۲۵، ۶-۲۶ و ۵-۹). از این‌رو با کاهش مقدار میانگین کربنات کلسیم از ۱۰/۹۲ درصد در رسوبات عمق ۵ متری آب به



شکل ۶-۲۲: تغییرات غلظت منگنز در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



شکل ۶-۲۳: تغییرات غلظت کلسیم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک

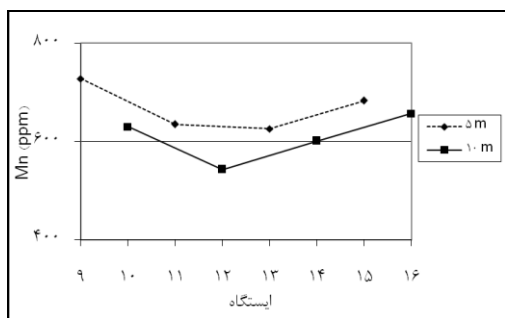


شکل ۶-۲۴: توزیع منگنز در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

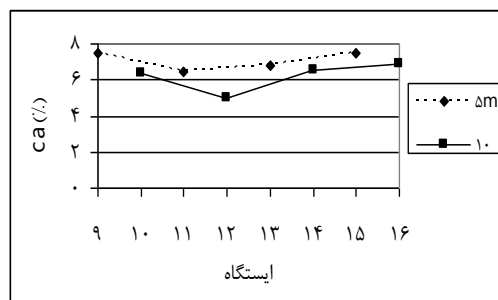
۵/۵۷ درصد در رسوبات عمق ۱۰ متری آب (جدول ۴-۳)، میانگین غلظت منگنز نیز از ۶۶۸ ppm به ۶۰۷ ppm در رسوبات عمق ۱۰ متری آب کاهش می‌یابد (شکل ۶-۲۵). همچنین حضور حداکثر و حداقل غلظت منگنز به ترتیب در ایستگاه ۹ و ۱۲ در جاسک (به ترتیب ۷۰۶ ppm و ۵۴۳ ppm) (شکل ۶-۲۷) به وجود حداکثر و حداقل مقدار کربنات کلسیم (به ترتیب ۱۷/۱۱ درصد و ۰/۵ درصد) و نیز حداقل و حداکثر ماده آلی (به ترتیب ۴/۲۰ درصد و ۱۴/۳۹ درصد) در این ایستگاه‌ها مرتبط می‌شود.

۶-۳-۷- آهن

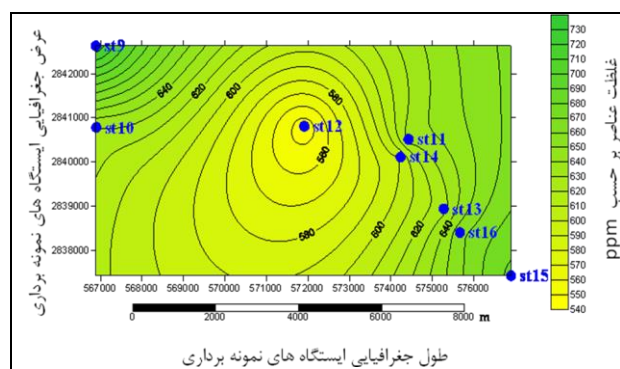
Fe^{+3} در pH معادل ۷/۵ از حالت محلول خارج شده و به جامد تغییر فاز می‌دهد. با توجه به میانگین pH آب در این منطقه (۸/۲) (شارمد، ۱۳۸۷)، می‌توان اظهار داشت که آهن به صورت ترکیبات Fe^{+2} در محیط آبی این منطقه حضور دارد. لازم به ذکر است که حلالیت Fe^{+2} در این pH تقریباً معادل



شکل ۶-۲۵: تغییرات غلظت منگنز در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک



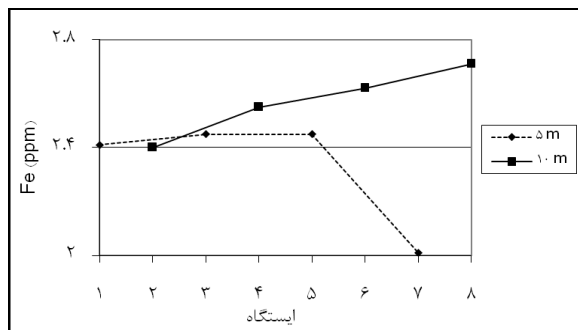
شکل ۶-۲۶: تغییرات غلظت کلسیم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک



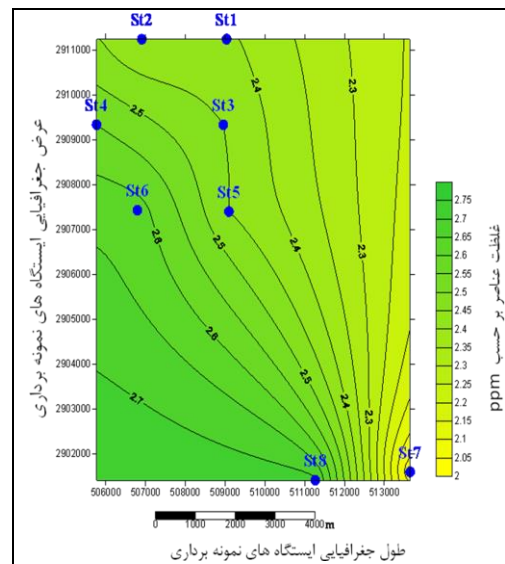
شکل ۶-۲۷: توزیع منگنز در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

۹۰ mg/L محاسبه شده است (Krishnan, 1993). میانگین pH رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک معادل ۸/۸ محاسبه شده است که در این pH حلالیت Fe^{2+} نسبتاً بالا می‌باشد، در نتیجه حضور ترکیبات Fe^{+3} در رسوبات منطقه امری بدیهی است. همچنین حضور هماتیت و مگنتیت می‌تواند تأییدی بر پایداری ترکیبات اکسیدی آهن در بستر رسوبی این منطقه باشد. آهن با ماده آلی و رس همبستگی مثبت و با کربنات کلسیم همبستگی منفی نشان داده است (۰/۹۲۱، ۰/۷۸۳، -۰/۸۲۴). لذا می‌توان اظهار داشت که رس و ماده آلی در جذب آهن در رسوب نقش عمده‌ای ایفا کرده‌اند. با توجه به این مسأله یکی از دلایل حضور حداقل غلظت آهن (۲/۰۱ ppm) در ایستگاه ۷ در سیریک (شکل ۶-۲۸) به حداقل مقدار ماده آلی و رس در این ایستگاه (به ترتیب ۳/۱۶ درصد و ۲۵/۸۷ درصد) مرتبط می‌شود. محاسبه ضریب تغییرات غلظت آهن در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب (به ترتیب $CV = ۰/۰۹$ ، $۰/۰۴$) حاکی از یکنواختی بیشتر غلظت آهن در ایستگاه‌های ۱۰ متری آب است (شکل ۶-۲۸). میانگین مقدار آهن در منطقه سیریک (۲/۴۴ درصد) تقریباً نصف میانگین مقدار

آهن در متوسط شیل جهانی (۵/۵ درصد) است (Reimann and Caritat, 1998). با توجه به افزایش مقدار رس و ماده آلی در رسوبات عمق ۱۰ متری آب در سیریک، غلظت آهن رسوبات در عمق ۱۰ متری آب نسبت به عمق ۵ متری آب افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند (شکل ۶-۲۹).



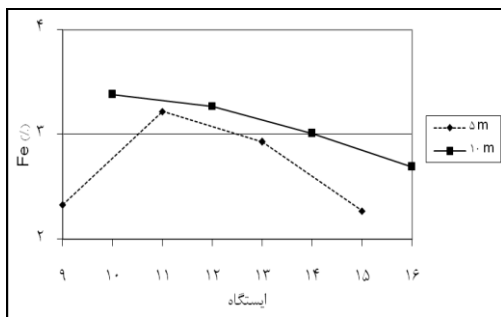
شکل ۶-۲۸: تغییرات غلظت آهن در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



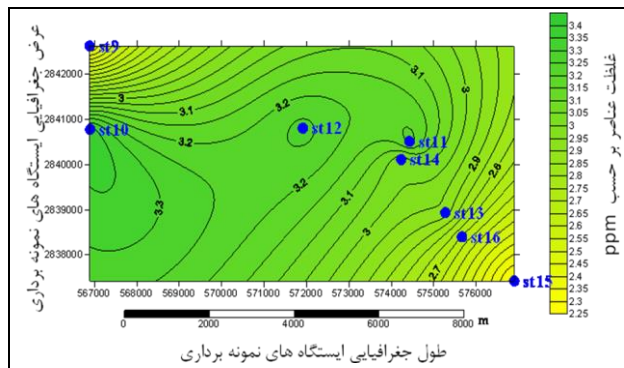
شکل ۶-۲۹: توزیع آهن در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

همانگونه که در بخش ۵-۵ نیز اشاره گردید، جریان روبه بالای آب دریا (upwelling) در منطقه جاسک باعث افزایش قابل توجه مقدار ماده آلی در رسوبات این منطقه شده است (به طور میانگین ۹/۸۱ درصد). از این رو غلظت فلزاتی که با ماده آلی همبستگی نشان می‌دهند، از جمله آهن، در رسوبات جاسک از غلظت این عناصر در رسوبات سیریک بیشتر می‌باشد (به ترتیب ۲/۸۷ و ۲/۴۵ درصد). میانگین غلظت آهن در جاسک از ۲/۶۸ درصد در عمق ۵ متری آب به ۳/۰۸ درصد در رسوبات عمق ۱۰ متری آب افزایش پیدا کرده است (شکل ۶-۳۰). در شکل ۶-۳۱ روند روبه افزایش غلظت آهن از ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۴ به سمت ایستگاه ۱۰ و روند روبه کاهش غلظت آهن از ایستگاه ۱۱ و ۱۴ به سمت ایستگاه ۱۵ و همچنین کاهش غلظت آهن از ایستگاه ۱۰ به سمت ایستگاه ۹ مشاهده می‌شود. کاهش ضریب تغییرات غلظت آهن رسوبات از ۰/۱۷ در عمق ۵ متری آب به ۰/۰۹ در عمق ۱۰ متری آب حاکی از تغییرات کمتر غلظت آهن رسوبات مورد مطالعه در عمق ۱۰ متری آب است (شکل ۶-۳۰). در مطالعه کنونی میانگین غلظت آهن در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک

۲/۶۷ درصد اندازه‌گیری شده است. میانگین غلظت این عنصر در آب این منطقه در طی تحقیقات دیگری، معادل ۰/۰۴۴ درصد محاسبه شده است (شارمد، ۱۳۸۷). تفاوت غلظت آهن در دو فاز مختلف آب و رسوب به انحلال کم Fe^{3+} در محیط‌های قلیایی آب با $pH=۸/۲$ برمی‌گردد.



شکل ۶-۳۰: تغییرات غلظت آهن در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک

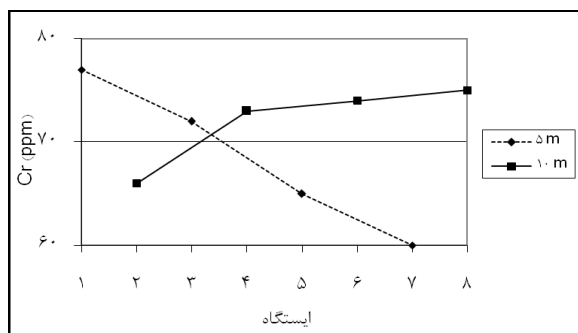


شکل ۶-۳۱: توزیع آهن رسوبات در ایستگاه‌های مختلف جاسک

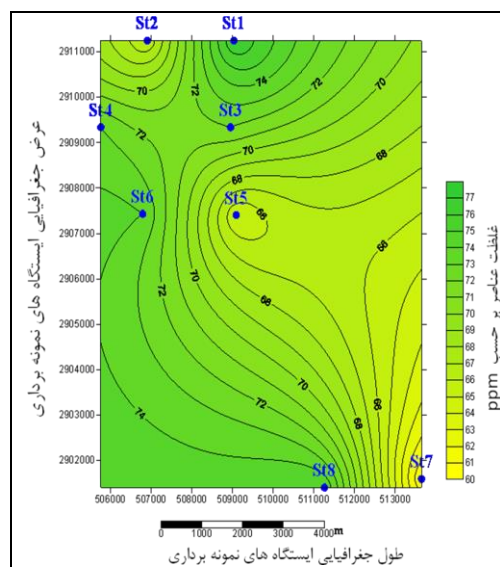
۶-۳-۸- کروم

افزایش مقدار رس از ۴۷/۲۶ درصد در عمق ۵ متری آب به ۷۵/۶۵ درصد در عمق ۱۰ متری آب (جدول ۴-۳)، باعث افزایش میانگین غلظت کروم در سیریک از ۶۸/۵ppm به ۷۲ppm شده است (شکل ۶-۳۲)، که این مطلب نقش مؤثرتر رس در انتقال کروم در خاک و رسوب را نسبت به ماده آلی نشان می‌دهد. میانگین غلظت کروم در منطقه سیریک (۷۰/۲۵ppm) از میانگین غلظت کروم در منطقه جاسک (۶۷/۵ppm) بیشتر است. نزدیکی بیشتر سنگ‌های الترابازیک به سواحل منطقه سیریک می‌تواند دلیل این موضوع باشد. بیشترین غلظت کروم (۷۷ppm) در ایستگاه ۱ وجود دارد (شکل ۶-۳۲). در ایستگاه ۱ رس قابل توجهی وجود ندارد (۳۹/۸۶ درصد)، لذا وجود حداکثر غلظت کروم در این ایستگاه می‌تواند به یک منشأ نقطه‌ای در ساحل (ورود رودخانه مغ کنار به دریا در مقابل این ایستگاه) اشاره داشته باشد. در ایستگاه‌های واقع در عمق ۵ متری آب در سیریک غلظت کروم از ایستگاه ۱ به سمت ایستگاه ۵ و ۷ کاهش پیدا می‌کند (شکل ۶-۳۲). این امر را می‌توان به کاهش تراکم جمعیت (دمی‌زاده، ۱۳۸۷) و در نتیجه کاهش منابع آلاینده ساحلی در مقابل این ایستگاه‌ها

ارتباط داد. همبستگی مثبت کروم و نیکل ($r=0.768$) را می‌توان دلیلی بر روند یکسان تغییرات این عناصر در ایستگاه‌های مختلف دانست (شکل‌های ۶-۱۵ و ۶-۳۳). با استناد به شکل ۳-۵ و میانگین pH آب منطقه (۸/۲) (شارمد، ۱۳۸۷)، می‌توان اظهار داشت که کروم در آب منطقه با غلظت کم (حدود $0.8 \mu\text{g/mL}$) به صورت Cr^{+6} وجود دارد. شایان ذکر است که Cr^{+3} در pH حدود ۵/۵ رسوب کرده و از مایع به جامد تغییر فاز می‌دهد. بنابراین محیط قلیایی آب دریا، یکی از دلایل کاهش غلظت کروم آب (کمتر از $0.04 \mu\text{g/L}$) (شارمد، ۱۳۸۷)، و تمرکز بیشتر این عنصر در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد ($68/88 \text{ppm}$). غلظت کروم در آب این مناطق از حد استاندارد غلظت این فلز در آب‌های سطحی و زیرزمینی (کمتر از 0.2ppm) (WHO, 2006).



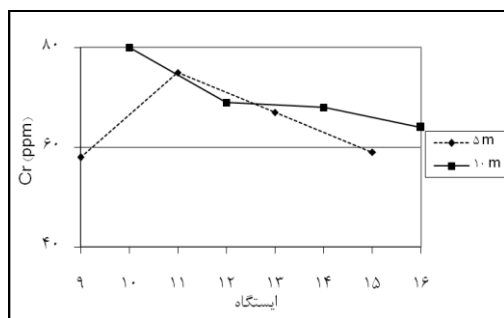
شکل ۶-۳۲: تغییرات غلظت کروم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



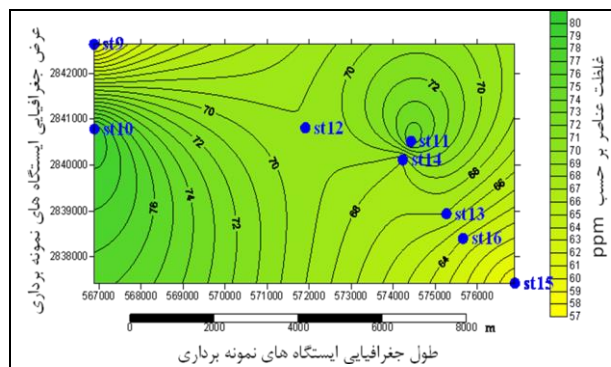
شکل ۶-۳۳: توزیع کروم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

با توجه به افزایش مقدار رس از $69/19$ درصد در عمق ۵ متری آب به $74/50$ درصد در ایستگاه‌های واقع در عمق ۱۰ متری آب (جدول ۴-۳)، می‌توان تمرکز غلظت بیشتر کروم در رسوبات عمق ۱۰ متری آب در منطقه جاسک را در شکل ۶-۳۴ مشاهده نمود. با توجه به افزایش رس تا $82/83$ درصد در ایستگاه ۱۴ (جدول ۴-۳) انتظار افزایش غلظت کروم در این ایستگاه معقول است. با این وجود حداکثر غلظت کروم در ایستگاه ۱۰ وجود دارد. این مسأله به همبستگی مثبت کروم با نیکل و وانادیوم برمی‌گردد. آلودگی‌های نفتی از جمله منشأهای دیگر ورود این عنصر به محیط‌های دریایی

محسوب می‌شود. حضور حداکثر غلظت کروم (80 ppm) در ایستگاه ۱۰ را می‌توان به وجود حداقل فاصله این ایستگاه تا محل حادثه نفتی مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ ارتباط داد (شکل ۷-۲). با توجه به اینکه جریان آب در این منطقه در جهت عقربه‌های ساعت به سمت دریای عمان است (بخش ۲-۹)، نفت تخلیه شده سواحل و ایستگاه‌های واقع در عمق ۵ متری آب (از جمله ایستگاه ۹) را کمتر تحت تأثیر قرار داده است. در شکل ۶-۳۵، دو منطقه با غلظت بالای کروم مشاهده می‌شود. منطقه اول بین ایستگاه ۱۵ و ۱۱ قرار دارد که در این منطقه حداکثر تجمع کروم در ایستگاه ۱۱ (75 ppm) وجود دارد، منطقه دوم بین ایستگاه ۹ و ۱۰ قرار دارد که در این منطقه نیز حداکثر غلظت کروم در ایستگاه ۱۰ مشاهده می‌گردد. Cr^{+3} تا pH حدود ۵/۵ به حالت محلول وجود دارد. با توجه به مطالب فوق و میانگین pH رسوبات (۸/۸)، می‌توان اظهار داشت که در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک به صورت Cr^{+6} حضور دارد.



شکل ۶-۳۴: تغییرات غلظت کروم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک

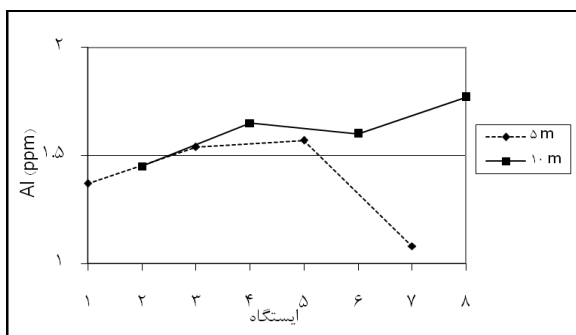


شکل ۶-۳۵: توزیع کروم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف جاسک

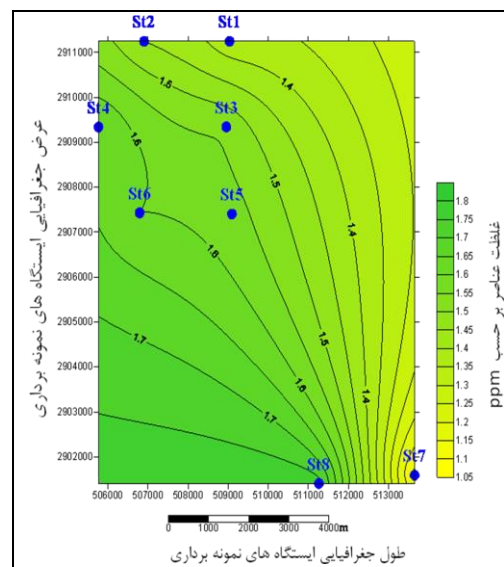
۶-۳-۹- آلومینیوم

نگاهی کلی به شکل ۶-۳۶ به یکنواختی بیشتر غلظت آلومینیوم در رسوبات عمق ۱۰ متری آب در سیریک اشاره دارد. ضریب تغییرات غلظت این عنصر که در دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب به ترتیب معادل ۰/۱۶ و ۰/۰۷ محاسبه شده است، نیز می‌تواند تأیید دیگری بر این مطلب باشد. همبستگی مثبت آلومینیوم و رس (r=۰/۸۰۲) به حضور این عنصر در ترکیب کانی‌های رسی اشاره دارد. از این رو روند تغییرات آنها در ایستگاه‌های مختلف یکسان می‌باشد (شکل‌های ۵-۵ و ۶-۳۶). در نتیجه با

افزایش مقدار رس همراه با افزایش عمق آب، میانگین غلظت آلومینیوم در رسوبات نیز از ۱/۳۹ درصد در عمق ۵ متری به ۱/۶۱ درصد در عمق ۱۰ متری آب افزایش یافته است (شکل ۶-۳۷). در شکل ۳-۸ انحلال پذیری گونه‌های مختلف هیدروکسید آلومینیوم به عنوان تابعی از pH مورد بررسی قرار گرفته است (Lindsay, 1979). با توجه به اینکه میانگین pH رسوبات منطقه ۸/۸ می‌باشد، می‌توان اظهار داشت که در صورت حضور $Al(OH)_2^+$ در محیط حلالیت آن از 10^{-4} mol/dm^3 در $pH=3$ به $10^{-10} \text{ mol/dm}^3$ در $pH=8/8$ کاهش پیدا کرده و به صورت فاز جامد رسوب کرده است. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که در این pH آلومینیوم بیش از همه به صورت $Al(OH)_3$ حضور داشته باشد.



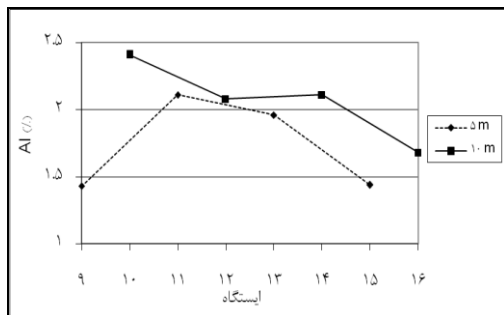
شکل ۶-۳۶: تغییرات غلظت آلومینیوم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در سیریک



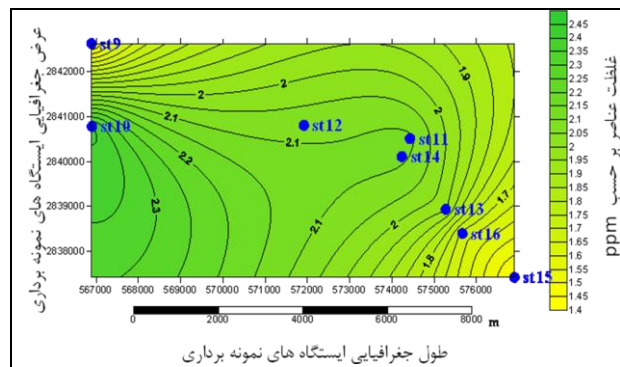
شکل ۶-۳۷: توزیع آلومینیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف سیریک

افزایش مقدار میانگین آلومینیوم در جاسک نسبت به سیریک (به ترتیب ۱/۹۰ درصد و ۱/۵۰ درصد) به افزایش مقدار رس در رسوبات جاسک مرتبط می‌شود. در منطقه جاسک همانند منطقه سیریک روند تغییرات غلظت آلومینیوم، آهن، نیکل و وانادیوم شبیه به یکدیگر است. لازم به ذکر است که وجود همبستگی مابین عناصر فوق می‌تواند ناشی از منشأ مشابه آنها در منطقه باشد. حضور حداکثر غلظت آلومینیوم در ایستگاه ۱۰ و حداقل میزان آن در ایستگاه ۹ و روند تقریباً یکسان تغییرات غلظت آلومینیوم در رسوبات دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک را می‌توان در شکل ۶-۳۸ مشاهده نمود.

همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، غلظت کروم از ایستگاه ۱۱ در عمق ۵ متری آب و از ایستگاه ۱۰ در عمق ۱۰ متری آب به سمت ایستگاه‌های پایانی، یک روند نزولی را نشان می‌دهد (شکل ۶-۳۹). مانند منطقه سیریک در جاسک نیز میانگین غلظت آلومینیوم از ۱/۷۳ درصد در عمق ۵ متری آب به ۲/۱۷ درصد در عمق ۱۰ متری آب افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۶-۳۸: تغییرات غلظت آلومینیوم در رسوبات واقع در اعماق ۵ و ۱۰ متری آب در جاسک



شکل ۶-۳۹: توزیع آلومینیوم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در جاسک

۴-۶- محاسبه آلودگی رسوبات

۴-۶-۱- فاکتور آلودگی (Contamination Factor)

برای ارزیابی آلودگی محیط به یک فلز از فاکتور آلودگی (C_f) استفاده می‌شود. این فاکتور را می‌توان با استفاده از رابطه ۲-۳ و غلظت عناصر در شیل متوسط جهانی (بخش ۳-۱۲-۲) محاسبه نمود (Satyanarayana et al, 1994). این فاکتور بر اساس رابطه فوق برای تمام نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های مختلف محاسبه گردید (جدول ۶-۳). میانگین فاکتور آلودگی آرسنیک، منگنز و کروم در سیریک (به ترتیب ۰/۴، ۰/۷۷ و ۰/۷۷) بیشتر از جاسک (به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۷۴ و ۰/۷۴) و میانگین فاکتور آلودگی جیوه، سرب، وانادیوم و آهن در جاسک (به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۶۵، ۰/۲۹ و ۰/۶) بیشتر از سیریک (به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۵۲، ۰/۲۵ و ۰/۵۱) است. میانگین فاکتور آلودگی نیکل در دو منطقه با هم برابر است (۱/۴۲). میانگین فاکتور آلودگی آرسنیک، جیوه، سرب، وانادیوم، منگنز، آهن و کروم در منطقه کمتر از ۱ می‌باشد. این مسأله حاکی از آلودگی کم محیط به این فلزات است. میانگین فاکتور آلودگی نیکل بالاتر از ۱ محاسبه گردید (۱/۴۲) که نشانه آلودگی متوسط بنادر سیریک و جاسک به

نیکل است. این مطلب وجود آلودگی نفتی در رسوبات را بیشتر روشن می‌سازد. با توجه به حضور نیکل، وانادیوم، آهن و کروم در ترکیب نفت خام، می‌توان آلودگی‌های نفتی را از جمله دلایل افزایش غلظت این عناصر در رسوبات منطقه در نظر گرفت. از سوی دیگر حداکثر غلظت آنها در ایستگاه ۱۰ در منطقه جاسک مشاهده شده است. با توجه به حادثه نفتی مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ در مقابل کوه مبارک و نزدیکی بیشتر این ایستگاه با محل وقوع این حادثه را می‌توان از جمله عوامل مؤثر در افزایش فاکتور آلودگی فلزات فوق به ترتیب تا ۱/۷۹، ۰/۳۷، ۰/۷۱، ۰/۸۸ در ایستگاه ۱۰ دانست. با توجه به نقشه پراکندگی آبدی‌های منطقه سیریک و جاسک و نزدیکی بیشتر این روستاها تا ساحل در منطقه جاسک (دمی‌زاده، ۱۳۸۷) و تأثیر مثبت فاضلاب‌های شهری در افزایش غلظت سرب در محیط زیست منطقه مورد مطالعه، می‌توان اظهار داشت که افزایش ورود فاضلاب‌های شهری در مقابل ایستگاه ۱۳ یکی از عمده‌ترین دلایل افزایش فاکتور آلودگی سرب در این ایستگاه ($C_f = 0/8$) محسوب می‌شود. حداکثر فاکتور آلودگی سرب در سیریک ($C_f = 0/57$) از حداکثر فاکتور آلودگی این فلز در جاسک ($C_f = 0/81$) کمتر است. این مسأله به بالا بودن منابع ورودی سرب در محیط زیست منطقه جاسک (فاضلاب‌های شهری و آلودگی نفتی) اشاره دارد. با توجه به نقش مثبت فعالیت‌های کشاورزی در تمرکز آرسنیک در رسوبات سطحی مناطق مورد بررسی و رونق بیشتر کشاورزی در منطقه سیریک نسبت به جاسک (که در فصل ۷ به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت)، حضور غلظت بیشتر آرسنیک در ایستگاه ۷ ($7/1 \text{ ppm}$) و در نتیجه فاکتور آلودگی بیشتر این عنصر در این ایستگاه ($0/54$) $C_f =$ به فاصله کمتر محل نمونه‌برداری تا مزارع کشاورزی مربوط می‌شود. همانگونه که در جدول ۳-۶ مشاهده می‌شود، بیشترین فاکتور آلودگی آرسنیک در جاسک در ایستگاه ۹ که در مقابل رودخانه بهمدی قرار گرفته است و از مزارع کشاورزی عبور می‌کند، وجود دارد. با توجه به تمرکز بیشتر منگنز در کربنات‌ها و افزایش کربنات کلسیم در ایستگاه ۱، بیشترین مقدار فاکتور آلودگی منگنز در سیریک در ایستگاه ۱ وجود دارد ($C_f = 0/85$). حداکثر فاکتور آلودگی جیوه در ایستگاه‌های ۹ و ۱۳ وجود دارد. این مسأله به قرار گرفتن این ایستگاه‌ها در مقابل مدخل ورودی رودخانه‌های بهمدی و جاسک به دریا و افزایش بار آلودگی رودخانه‌های مذکور برمی‌گردد.

جدول ۶-۳: محاسبه فاکتور آلودگی رسوبات بنادر سیریک و جاسک نسبت به عناصر مورد بررسی در ایستگاه‌های مختلف

عنصر	C															$\overline{C_f}$ سیریک	$\overline{C_f}$ جاسک		
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴			۱۵	۱۶
As	C	۶/۹	۴/۳	۶/۶	۴/۷	۴/۵	۴/۴	۷/۱	۳/۹	۶/۳	۳/۹	۴/۴	۳/۹	۴/۶	۴/۶	۴/۱	۴/۵	۰/۴	۰/۳۴
	C _f	۰/۵۳	۰/۳۲	۰/۵	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۳	۰/۴۷	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۴		
Hg	C	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۹
	C _f	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۱	۰/۰۷۵	۰/۱۵	۰/۱۲۵	۰/۰۷۵	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۲۵	۰/۰۷۵	۰/۰۲۵		
Pb	C	۱۱/۳	۹/۸	۱۱/۱	۱۱/۴	۱۰/۱	۱۰/۳	۹/۳	۱۰/۴	۱۳/۷	۱۳/۳	۱۴/۱	۱۳/۱	۱۶/۳	۱۳/۵	۹/۹	۱۱/۴	۰/۵۲	۰/۶۵
	C _f	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۶۷	۰/۴۹	۰/۵۷		
Ni	C	۹۸/۱	۱۰۰/۹	۹۶/۹	۱۰۲	۹۶	۱۰۸/۳	۷۳/۹	۱۰۳/۵	۷۹/۴	۱۲۳/۳	۱۰۶	۱۰۹/۳	۱۰۱/۸	۱۰۵/۷	۷۰/۳	۸۴/۷	۱/۴۲	۱/۴۲
	C _f	۱/۴۴	۱/۴۸	۱/۴۲	۱/۵	۱/۴۱	۱/۵۹	۱/۰۷	۱/۵۲	۱/۱۶	۱/۷۹	۱/۵۵	۱/۶	۱/۴۹	۱/۵۵	۱/۰۳	۱/۲۴		
V	C	۳۳	۳۲	۳۹	۴۰	۳۳	۳۴	۲۸	۳۵	۳۶	۴۹	۳۹	۴۰	۴۲	۴۳	۳۰	۳۴	۰/۲۵	۰/۲۹
	C _f	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۳	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۳	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۲۶		
Mn	C	۷۲۸	۶۴۸	۶۷۵	۶۸۰	۶۰۵	۶۷۱	۶۶۵	۶۵۳	۷۲۸	۶۳۰	۶۳۵	۵۴۳	۶۲۶	۶۰۱	۶۸۲	۶۵۷	۰/۷۷	۰/۷۴
	C _f	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۸	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۷۳	۰/۷	۰/۸	۰/۷۷		
Fe	C	۲/۴۱	۲/۴	۲/۴۵	۲/۵۵	۲/۴۵	۲/۶۲	۲/۰۱	۲/۷۱	۲/۳۳	۲/۲۸	۲/۲۲	۲/۲۷	۲/۹۳	۳/۰۱	۲/۲۷	۱/۶۹	۰/۵۱	۰/۶
	C _f	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۴۲	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۵۶		
Cr	C	۷۷	۶۶	۷۲	۷۳	۶۵	۷۴	۶۰	۷۵	۵۲	۸۰	۷۵	۶۹	۶۷	۶۸	۵۹	۶۴	۰/۷۷	۰/۷۴
	C _f	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۸	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۷۱		

میانگین فاکتور آلودگی = $\overline{C_f}$ ، فاکتور آلودگی = C_f ، غلظت عنصر (ppm) = C

۶-۴-۲- درجه آلودگی محیط (Contamination Degree):

درجه آلودگی (Cd) یکی دیگر از شاخص‌های تعیین مقدار آلودگی محیط زیست می‌باشد. درجه آلودگی را می‌توان از مجموع فاکتورهای آلودگی تمام فلزات مورد بررسی بدست آورد. درجه آلودگی هر ایستگاه در هر دو منطقه برای تمام فلزات مورد بررسی در جدول ۶-۴ محاسبه گردیده است. در صورتیکه درجه آلودگی ایستگاه‌های واقع در منطقه سیریک برای فلزات مورد بررسی (آرسنیک، جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم، منگنز، آهن و کروم) را با یکدیگر مقایسه کنیم، ایستگاه ۱ بیشترین آلودگی ($C_d=5/04$) و ایستگاه ۷ کمترین آلودگی ($C_d=4/24$) را دارند. همانگونه که در جدول ۴-۴ دیده می‌شود به غیر از آرسنیک، منگنز و جیوه، حداقل غلظت سایر عناصر مورد مطالعه در ایستگاه ۷ وجود دارد. بنابراین حضور حداقل درجه آلودگی در این ایستگاه امری بدیهی است. همچنین باید متذکر شد که با توجه به اینکه میانگین درجه آلودگی در رسوبات منطقه سیریک کمتر از ۸ است، بر طبق تقسیم‌بندی درجه آلودگی در جدول ۳-۶، سیریک به مقدار کمی آلوده به فلزات مورد بررسی است. در میان ایستگاه‌های واقع در منطقه جاسک، ایستگاه ۱۰ بیشترین مقدار عددی درجه آلودگی

($C_d=5/58$) و ایستگاه ۱۵ کمترین مقدار عددی درجه آلودگی ($C_d=4/07$) را دارند. این مطلب به کاهش منابع ورود فلزات سنگین به رسوبات این ایستگاهها اشاره دارد. بر طبق اطلاعات مندرج در جدول ۳-۶، میانگین درجه آلودگی جاسک ($4/91$)، حاکی از آلودگی کم رسوبات منطقه به عناصر سنگین مورد مطالعه است.

جدول ۴-۶: محاسبه درجه آلودگی رسوبات بنادر سیریک و جاسک

ایستگاه	سیریک								جاسک							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
C_d	۵/۰۴	۴/۵۷	۴/۹۷	۵/۰۰	۴/۴۷	۴/۸۷	۴/۲۴	۴/۸۲	۴/۶۶	۵/۵۸	۵/۲۱	۴/۹۸	۵/۲۱	۵/۱۱	۴/۰۷	۴/۴۷

فصل هفتم

بررسی منشأ احتمالی عناصر سنگین

در رسوبات سطحی بنادر سیریک و

جاسک

۷-۱- مقدمه

فلزات در اثر هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها و نقل و انتقال به وسیله باد و آب و یا در اثر آلودگی‌های ناشی از فعالیت انسانی در بستر رسوبی محیط‌های آبی قرار می‌گیرند. تشخیص منشأ فلزات در رسوبات گامی مؤثر در جهت کاهش یا حذف ورود این فلزات به رسوبات و در نتیجه کاهش یا حذف بار آلودگی رسوبات به این آلاینده‌ها محسوب می‌شود. از این رو تمایز منشأ زمینی و بشرزادی فلزات از جمله اولویت‌های زیست محیطی است که محققین در بررسی آلودگی رسوبات به فلزات سنگین مد نظر قرار می‌دهند. در این فصل با استفاده از روش‌های مختلف از جمله بررسی فاکتور غنی‌شدگی، بررسی نقشه کاربری اراضی و حوضه آبرگیر، آنالیز خوشه‌ای و منشأ کانی‌های تشکیل‌دهنده رسوبات منطقه به مطالعه منشأ فلزات سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک خواهیم پرداخت.

۷-۲- فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

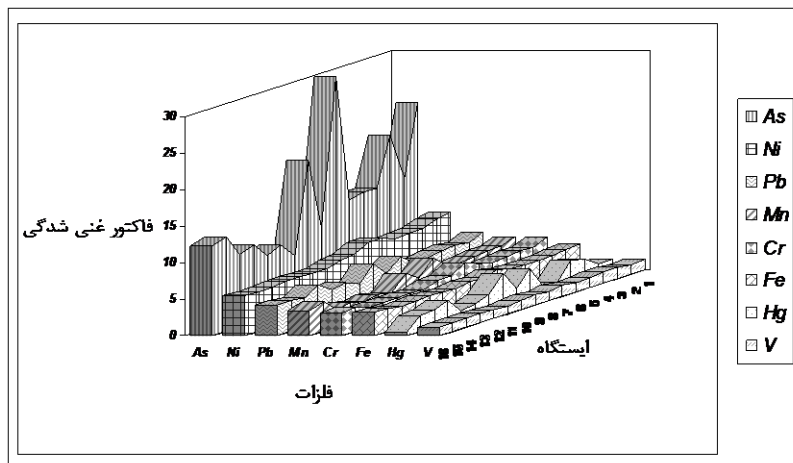
فلزات در اثر فرایندهای طبیعی (فرسایش و هوازدگی سنگ‌ها) و انسانی وارد محیط زیست شده و در نهایت در رسوبات جای می‌گیرند. در مطالعات مختلف از فاکتور غنی‌شدگی برای تمایز منشأ طبیعی از منشأ انسانی استفاده می‌شود (Chen et al, 2007, Selvaraj et al, 2004, Zourarah et al, 2007). بر طبق این روش باید غلظت فلزات با خصوصیات بافتی رسوبات نرمالیزه شود. آلومینوسیلیکات‌ها ترکیب غالب رسوبات هستند. از این رو آلومینیوم به عنوان عنصر شاخص این ترکیبات، برای نرمالیزه کردن غلظت فلزات استفاده می‌شود. در صورتیکه فاکتور غنی‌شدگی مقادیری نزدیک به ۱ داشته باشد، عنصر مورد نظر از منابع زمینی وارد رسوب شده است. در حالیکه مقادیر بزرگتر از ۱ به منشأهای مختلف فلز در رسوب اشاره دارد. مقادیر بزرگتر از ۱۰ به طور قطع حاکی از تأثیر فعالیت‌های انسانی در تجمع فلزات مورد نظر در رسوب و منشأ غیر پوسته‌ای این فلزات می‌باشد (Rey et al, 2009). با توجه به رابطه ۳-۱ و غلظت فلزات مورد بررسی در پوسته زمین (بخش ۳-۱۲-۱)، فاکتور غنی‌شدگی نمونه‌های رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه گردیده است (جدول ۷-۱). میانگین غلظت تمام فلزات غیر از آرسنیک در جاسک بیشتر از سیریک است (جدول ۴-۴). با این وجود میانگین

جدول ۷-۱: فاکتور غنی‌شدگی فلزات در ایستگاه‌های مورد مطالعه در بنادر سیریک و جاسک

محل	ایستگاه	As	Hg	Pb	Ni	V	Mn	Fe	Cr
سیریک	۱	۲۲/۹۴	۱/۴۹	۵/۱۵	۷/۸۲	۱/۴۶	۴/۵۸	۳/۵۱	۴/۶۰
	۲	۱۳/۱۹	۱/۴۱	۴/۲۶	۷/۶۰	۱/۳۴	۳/۸۵	۳/۳۱	۳/۷۳
	۳	۱۹/۵۲	۲/۶۶	۴/۵۴	۶/۸۷	۱/۵۳	۳/۷۸	۳/۱۸	۳/۸۳
	۴	۱۲/۹۷	۳/۱۰	۴/۳۵	۶/۷۵	۱/۴۷	۳/۵۵	۳/۰۹	۳/۶۲
	۵	۱۳/۰۵	۰/۶۵	۴/۰۵	۶/۶۸	۱/۲۷	۳/۳۲	۳/۱۲	۳/۳۹
	۶	۱۲/۵۲	۰/۶۴	۴/۰۶	۷/۴۰	۱/۲۹	۳/۶۱	۳/۲۷	۳/۷۹
	۷	۲۹/۹۴	۳/۷۹	۵/۳۷	۷/۳۸	۱/۵۷	۵/۳۱	۳/۷۲	۴/۵۵
	۸	۱۰/۰۳	۱/۷۳	۳/۷۰	۶/۳۹	۱/۲۰	۳/۱۸	۳/۰۶	۳/۴۷
	میانگین	۱۶/۷۷	۱/۹۳	۴/۴۴	۷/۱۱	۱/۳۹	۳/۹۰	۳/۲۸	۳/۸۷
جاسک	۹	۱۹/۷۵	۴/۳۰	۵/۶۰	۶/۰۷	۱/۵۲	۴/۳۹	۳/۲۵	۳/۳۲
	۱۰	۷/۳۷	۲/۱۲	۳/۴۸	۵/۵۴	۱/۲۳	۲/۲۵	۲/۸۰	۲/۷۲
	۱۱	۹/۴۹	۱/۴۵	۴/۲۱	۵/۴۹	۱/۱۲	۲/۵۹	۳/۰۵	۲/۹۱
	۱۲	۸/۵۴	۰/۹۸	۳/۹۷	۵/۷۴	۱/۱۶	۲/۲۵	۳/۱۴	۲/۷۲
	۱۳	۱۰/۶۹	۳/۱۳	۵/۲۴	۵/۶۷	۱/۳۰	۲/۷۵	۲/۹۸	۲/۸۰
	۱۴	۹/۹۳	۲/۴۲	۴/۰۳	۵/۴۷	۱/۲۳	۲/۴۵	۲/۸۵	۲/۶۴
	۱۵	۱۲/۹۷	۲/۱۳	۴/۳۳	۵/۳۳	۱/۲۶	۴/۰۹	۳/۱۵	۳/۳۵
	۱۶	۱۲/۲۰	۰/۶۱	۴/۲۸	۵/۵۱	۱/۲۲	۳/۳۷	۳/۲۰	۳/۱۲
	میانگین	۱۱/۳۷	۲/۱۴	۴/۳۹	۵/۶۰	۱/۲۶	۳/۰۲	۳/۰۹	۲/۹۵

فاکتور غنی‌شدگی جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم، منگنز، آهن و کروم در سیریک که به ترتیب معادل ۱/۹۳، ۴/۴۴، ۷/۱۱، ۱/۳۹، ۳/۹۰، ۳/۲۸ و ۳/۸۷ محاسبه شده است (ردیف ۱۰ از جدول ۷-۱)، از میانگین فاکتور غنی‌شدگی این فلزات در جاسک (به ترتیب معادل ۲/۱۴، ۴/۳۹، ۵/۶۰، ۱/۲۶، ۳/۰۲، ۳/۰۵ و ۲/۹۵) بیشتر است (ردیف ۱۹ از جدول ۷-۱). این مسأله به ریزدانه‌تر بودن رسوبات منطقه جاسک نسبت به سیریک و افزایش غلظت آلومینیوم در رسوبات این منطقه برمی‌گردد. حداکثر فاکتور غنی‌شدگی در سیریک و جاسک به ترتیب به آرسنیک (۲۹/۹۴ و ۱۹/۷۵) و حداقل آن به جیوه (۰/۶۴ و ۰/۶۱) تعلق دارد (شکل ۷-۱). میانگین فاکتور غنی‌شدگی جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم، منگنز، آهن و کروم در رسوبات منطقه سیریک و جاسک به ترتیب ۲/۰۴، ۴/۴۱، ۶/۳۶، ۱/۳۲، ۳/۴۶، ۳/۱۷ و ۳/۴۱ محاسبه شده است. از این‌رو به طور کلی می‌توان اظهار داشت که این فلزات از منابع مختلف در رسوبات قرار گرفته‌اند. همچنین میانگین فاکتور غنی‌شدگی آرسنیک در رسوبات مورد مطالعه معادل ۱۴/۰۷ بیانگر منشأ غیر پوسته‌ای این عنصر در منطقه مورد مطالعه است. در مجموع در بنادر سیریک و جاسک فاکتور غنی‌شدگی فلزات در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب زیر کاهش می‌یابد (شکل ۷-۱):

As>Ni>Pb>Mn>Cr>Fe>Hg>V



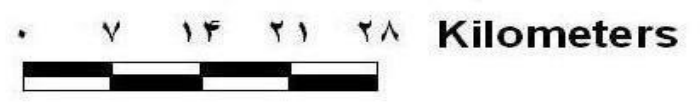
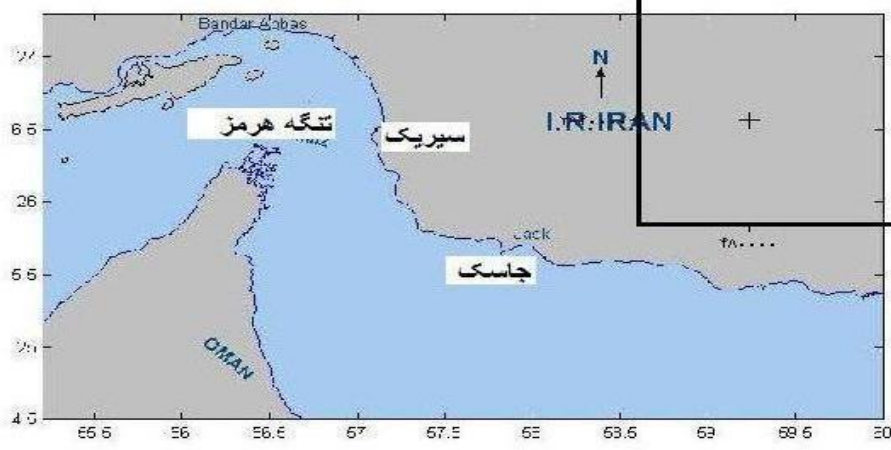
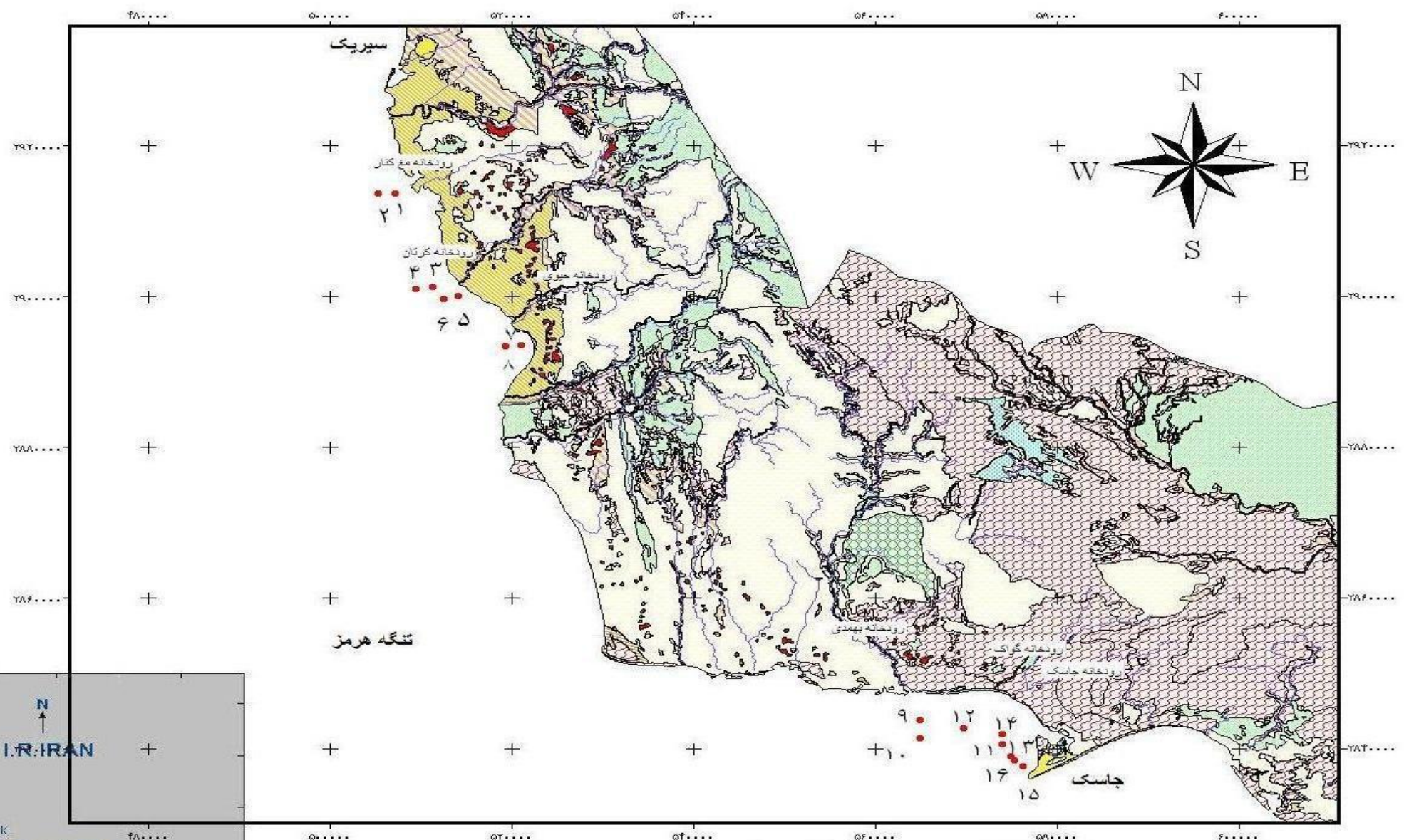
شکل ۷-۱: تغییرات فاکتور غنی شدگی فلزات مورد بررسی در رسوبات سطحی سیریک و جاسک

۷-۳- بررسی نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

شکل ۷-۲ با روی هم قرار دادن نقشه کاربری اراضی (سالار زاده، ۱۳۸۷) و نقشه حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه (دمی زاده، ۱۳۸۷) رسم گردیده است. با نگاه کلی به این شکل درمی یابیم که زمین های کشاورزی (باغات آبی) در زمین های نزدیک به ساحل دریا متمرکز شده است. توتون، تنباکو، لیمو، پرتغال، نارنگی، گیاهان علوفه ای، جو، گندم و خرما از جمله محصولات کشاورزی این منطقه محسوب می شوند. در محدوده مقابل ایستگاه های نمونه برداری در منطقه سیریک، ۳ رودخانه بنام های مغ کنار، کرتان و حیوی قرار گرفته است که در حوضه آبریز هر ۳ رودخانه مذکور مزارع کشاورزی وجود دارد. در حالیکه در محدوده مقابل ایستگاه های نمونه برداری در جاسک، ۳ رودخانه بهمدی، گواک و جاسک وجود دارد که تنها در حوضه آبریز رودخانه بهمدی مزارع کشاورزی قرار گرفته است. همانگونه که در این شکل مشاهده می کنیم از سیریک به سمت جاسک مساحت مزارع کشاورزی کاهش قابل ملاحظه ای پیدا می کند. به طوریکه در سیریک ۱۵۹۰/۷۶ هکتار زمین کشاورزی و در جاسک ۲۱۴/۸۶ هکتار زمین کشاورزی وجود دارد. این مسأله به کاهش منابع آب در جاسک نسبت به سیریک مرتبط می شود.

نقشه کاربری اراضی منطقه سیریک و جاسک

- حوضه آبریز
- آبرفت
 - مناطق مسکونی
 - جنگل تنبوه
 - جنگل نیمه تنبوه
 - جنگل تنگ
 - بیشه زار و درختچه زار
 - جنگلهای دست کاشت
 - مراغ متراکم
 - مراغ نیمه متراکم
 - مراغ کم تراکم
 - پادخت آبی
 - پهنه های مانده ای
 - اراضی شور و نمکزار
 - اراضی بدون پوشش و بیرون زندگی زندگی
 - سطوح آبی
 - بستر رودخانه
 - جنگلهای حرا
 - نقاط نمونه برداری



برگرفته شده از: سازمان منابع طبیعی استان هرمزگان، ۱۳۸۷

شکل ۷-۲: نقشه کاربری اراضی منطقه سیریک و جاسک
۱۲۸

شکل ۷-۲: نقشه کاربری اراضی منطقه سیریک و جاسک

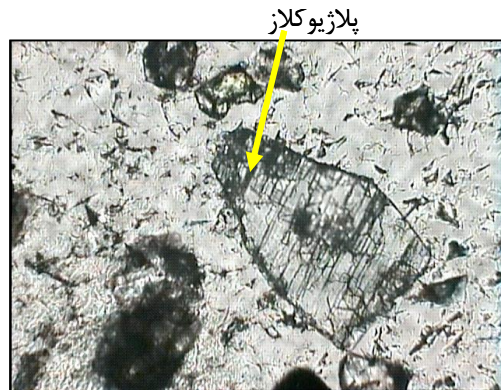
۴-۷- منشأ کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات منطقه

همانگونه که در بخش ۴-۹-۲ اشاره گردید، کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک با استفاده از آنالیز XRD شناسایی گردیدند و سپس کانی‌های سنگین موجود در رسوبات منطقه جدا شده و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج XRD نشان داد که عمده‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات منطقه عبارتند از: کوارتز، کلسیت، کلینوکلر آهن‌دار، مسکوویت، شاموزیت، پلاژیوکلاز سدیم‌دار (شکل پ-۱). همچنین مطالعه کانی‌های سنگین حاکی از حضور کرومیت، پیروکسن، پلاژیوکلاز، زیرکن و کانی‌های اوپاک از قبیل هماتیت و مگنتیت در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک می‌باشد (شکل‌های ۳-۷، ۴-۷، ۵-۷ و ۶-۷). در شکل‌های ۳-۷ و ۴-۷ تصاویری از مقاطع نازک مورد بررسی و در شکل‌های ۵-۷ و ۶-۷ تصاویری از مقاطع صیقلی تهیه شده از رسوبات مورد بررسی نشان داده شده است. در شکل‌های فوق می‌توان کرومیت، پیروکسن، پلاژیوکلاز، هماتیت و مگنتیت را مشاهده نمود. حضور کانی‌های سیلیکاته و فلزی از قبیل کوارتز، کلینوکلر آهن‌دار، مسکوویت، شاموزیت، پلاژیوکلاز سدیم‌دار، کرومیت، پیروکسن، زیرکن، هماتیت و مگنتیت ناشی از سنگ منشأهای آذرین و دگرگونی (واحد ملانژ رسوبی) رسوبات منطقه است که بیشتر بستر حوضه آبرگیر منطقه سیریک را تشکیل می‌دهند (شکل ۷-۷). سرشاخه‌های اصلی رودخانه مغ کنار و کرتان (در مقابل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه سیریک) در ابتدای مسیر خود از واحد تکتونیزه ملانژ رسوبی عبور می‌کنند. این واحد مجموعه‌ای از کمپلکس دورکان، کمپلکس آمیزه‌های رنگی و واحدهای رسوبی است که از گدازه‌های بازیک تا حدواسط، پیلولاوا، بازالت، آندزیت بازالت، سرپانتین و دیگر سنگ‌های آذرین و دگرگونی تشکیل شده است. کلسیت عمدتاً از واحدهای مارنی و آهکی (از قبیل واحد دهیردان، وزیری، آب شهر و ...) در رسوبات تجمع یافته است. همچنین حضور صدف‌های آهکی شکم‌پایان (شکل ۵-۱۲) در این رسوبات حاکی از منشأ بیوژنی کلسیت در بستر رسوبی است. همچنین واحدهای ماسه‌سنگی خیکو و تیاب و دیگر واحدهای این منطقه که ماسه سنگ از جمله سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی آنهاست (از قبیل واحدهای میوسن و الیگوسن) (بخش ۲-۳) را می‌توان به

عنوان منشأ کوارتز در رسوبات منطقه محسوب نمود. عبور حوضه آبخیز از واحد ملانژ رسوبی، واحدهای کربناته و ماسه‌سنگی این منطقه در شکل ۷-۷ قابل مشاهده است. با در نظر گرفتن مجموع مطالب فوق، پراکندگی سنگ‌های آذرین و رسوبی در این منطقه می‌تواند دلیلی موجه بر حضور کانی-های آذرین و کربناته در رسوبات مورد مطالعه باشد.



شکل ۷-۳: کرومیت و پیروکسن در نمونه ایستگاه ۱۵ در جاسک (مقطع نازک) (تصویر ۴۰۰ برابر بزرگ شده است)



شکل ۷-۴: پلاژیوکلاز در نمونه ایستگاه ۱۵ در جاسک (مقطع نازک) (تصویر ۴۰۰ برابر بزرگ شده است)



شکل ۷-۵: هماتیت گوتیتی شده در نمونه رسوبات ایستگاه ۳ در سیریک (مقطع صیقلی) (تصویر ۴۰۰ برابر بزرگ شده است)



شکل ۷-۶: تجمعی از هماتیت و مگنتیت در نمونه رسوب ایستگاه ۱ در بندر سیریک (مقطع صیقلی) (تصویر ۲۰۰ برابر بزرگ شده است)

۷-۵- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده برای تعیین منشأ فلزات در رسوبات، روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای بین متغیرها است. در مطالعات روش‌های آماری چند متغیره، معیارهای فاصله همبستگی و قدر مطلق همبستگی، برای تعیین فاصله متغیرها در نظر گرفته می‌شود. برای اندازه‌گیری فاصله دو

گروه از متغیرها معیارهای نزدیکترین، دورترین و متوسط همسایگی پیشنهاد شده است (خردمندیا و بهرامی، ۱۳۸۸). در طی مطالعات ژئوشیمی، از معیار فاصله همبستگی برای تعیین فاصله متغیرها و معیار متوسط همبستگی برای اندازه‌گیری فاصله دو گروه از متغیرها استفاده می‌شود (Dragovic et al, 2008, Praveena et al, 2007). با استناد به مطالعات فوق، در تحقیق کنونی از معیار فاصله همبستگی برای تعیین فاصله متغیرها و از معیار متوسط همبستگی برای اندازه‌گیری فاصله دو گروه از متغیرها استفاده شده است. دندوگرام آنالیز خوشه‌ای متغیرهای مورد بررسی در رسوب (فلزات سنگین، ماده آلی، دانه‌بندی و کربنات کلسیم) در شکل ۷-۸ نشان داده شده است. آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های سیریک و جاسک، متغیرهای مورد بررسی را به دو گروه مجزا تفکیک نموده است. با توجه به تحقیقات مختلف ژئوشیمیایی فاصله ۱۵ برای تفسیر داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (حاج ملاعلی و همکاران، ۱۳۸۵).

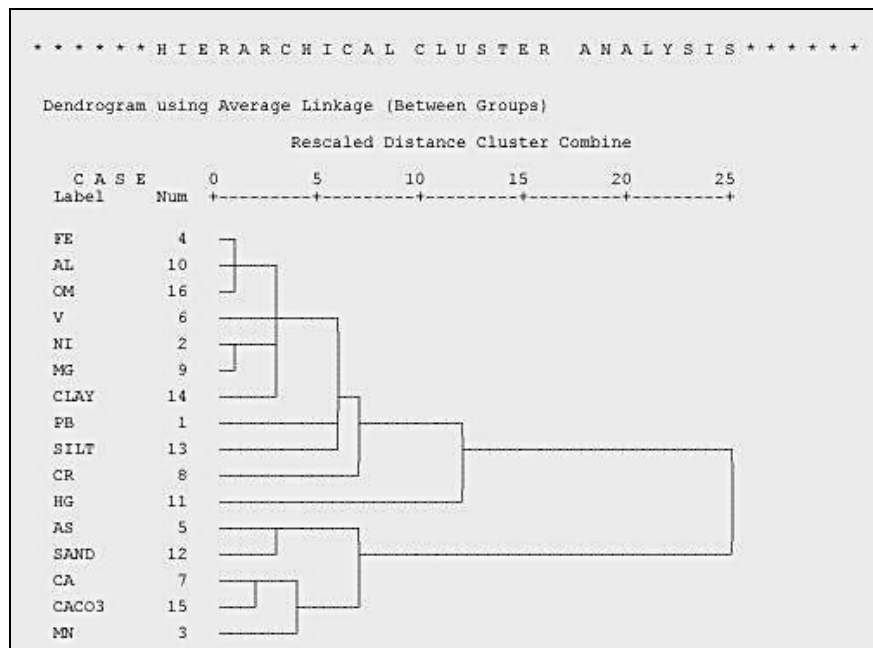
نمودار دندوگرام آنالیز خوشه‌ای رسوبات در سیریک و جاسک را می‌توان به صورت زیر تفسیر نمود: گروه اول: این گروه از ۴ زیر شاخه مجزا تشکیل شده است. در زیرشاخه اول متغیرهای آهن، آلومینیوم، ماده آلی، نیکل، وانادیوم، منیزیوم و رس در فاصله حدود ۳ قرار گرفته‌اند. در این گروه دو متغیر سرب و سیلت زیر شاخه دوم را تشکیل داده‌اند که در فاصله ۶ به زیر گروه اول متصل شده‌اند. کروم زیر شاخه سوم از گروه اول است که در فاصله ۷ به دو زیر شاخه اول متصل شده است. جیوه در فاصله ۱۲ به ۳ زیر شاخه قبلی متصل شده و زیر شاخه چهارم از گروه اول را تشکیل می‌دهد. گروه دوم: آرسنیک-ماسه و کلسیم-کربنات کلسیم-منگنز دو زیر شاخه این گروه را تشکیل داده‌اند. مطالعات آماری نشان می‌دهد که شباهت‌هایی میان واکنش‌های تبادل یونی، ته‌نشینی و یا منابع ورودی عناصری که در یک گروه قرار گرفته‌اند، وجود دارد (سرتاج و همکاران، ۱۳۸۴). از این‌رو می‌توان اظهار داشت که رفتار و منشأ آهن، آلومینیوم، وانادیوم، نیکل، منیزیوم، سرب، کروم و جیوه در رسوبات منطقه شباهت‌هایی زیادی با یکدیگر دارند. از سوی دیگر آرسنیک و منگنز که در گروه دوم جای گرفته‌اند، منشأ مشابهی دارند. عناصر لیتولوژیکی (آهن و آلومینیوم) مهمترین ترکیبات کانی‌های

سیلیکاته هستند که در نتیجه هوازدگی سنگ‌ها مهم‌ترین ترکیبات خاک را تشکیل می‌دهند. از این رو این عناصر به عنوان شاخص مواد زمینی و آواری در نظر گرفته می‌شوند (Zhou et al, 2004). در منشأیابی عناصر سنگین در روش آماری، عناصری از قبیل کلسیم، وانادیوم-نیکل و مواد آلی به ترتیب به عنوان شاخص‌های بیولوژیکی، نفتی و آلی در نظر گرفته می‌شود. همبستگی مثبت با مواد آلی، نشانه تثبیت پیوند آلی-فلزی در فاز زمینی و کنترل زمین شناسی از طریق کلوئیدهای هوموسی و رسی موجود در خاک منطقه، به خصوص ذرات معلق می‌باشد، یعنی غلظت عناصر توسط زمین شناسی منطقه تحت کنترل است (کرباسی و بیات، ۱۳۸۴).

با توجه به اینکه در گروه اول مواد آلی، رس، آهن و آلومینیوم حضور دارند، می‌توان اظهار داشت که کلیه عناصر در گروه اول تحت کنترل زمین شناسی منطقه هستند و می‌توانند منشأ زمینی داشته باشند. سنگ‌های آذرین که به صورت پراکنده در زون مکران قرار گرفته‌اند (افیولیت‌های بشاگرد و فاریاب) را می‌توان به عنوان سنگ منشأ آهن، آلومینیوم، منیزیم، نیکل، وانادیوم و کروم در رسوبات منطقه در نظر گرفت. سنگ‌های آذرین اسیدی موجود در منطقه را نیز می‌توان به عنوان منشأ زمینی جیوه در نظر گرفت. از سوی دیگر در این گروه نیکل و وانادیوم قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه این دو فلز شاخص آلودگی نفتی در محیط‌های دریایی نیز محسوب می‌شوند، می‌توان گفت آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (آلودگی‌های نفتی) از دیگر منشأهای عناصر گروه اول محسوب می‌شوند. رسوبات بیژنیک را می‌توان از جمله منشأهای کربنات کلسیم و کلسیم در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت (شکل ۵-۱۲). با توجه به قرار گرفتن آرسنیک و منگنز همراه با کلسیم و کربنات کلسیم در گروه دوم، می‌توان فعالیت‌های بیولوژیکی را به عنوان یکی از منشأهای عمده تجمع منگنز و آرسنیک در رسوبات این منطقه محسوب نمود.

۷-۶- بررسی منشأ عناصر سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه

با توجه به تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود از روش‌های مختلف مانند بررسی نقشه کاربری اراضی، نقشه زمین‌شناسی، نقشه حوضه آبرگیر، بررسی رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی و آنالیز خوشه‌ای نتایج



شکل ۷-۸: دندوگرام آنالیز خوشه‌ای پارامترهای مورد بررسی در رسوبات بنادر سیریک و جاسک

بدست آمده از غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف و محاسبه فاکتور غنی‌شدگی می‌توان به منشأ احتمالی فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات منطقه دست یافت که در ادامه به آن پرداخته شده است.

۷-۶-۱- آرسنیک

میانگین فاکتور غنی‌شدگی آرسنیک در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک ۱۴/۰۷ محاسبه شده است (جدول ۷-۱). بر اساس تقسیم‌بندی فاکتور غنی‌شدگی در بخش ۷-۲، فلزاتی با فاکتور غنی‌شدگی بالاتر از ۱۰ منشأ غیر پوسته‌ای دارند (Rey et al. 2009). آفت‌کش‌ها و سموم مورد استفاده در مزارع کشاورزی از جمله مهمترین منابع ورود آرسنیک به محیط زیست محسوب می‌شوند. بررسی نقشه کاربری اراضی منطقه (شکل ۷-۲) نشان می‌دهد که حدود ۱۵۹۰/۷۶ هکتار از اراضی مقابل سواحل سیریک را زمین‌های کشاورزی تشکیل داده است. با توجه به کمبود آب در منطقه جاسک، فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه محدود می‌باشد و مساحت زمین‌های کشاورزی در این منطقه ۲۱۴/۸۶ هکتار است. در حوضه آبریز رودخانه مغ‌کنار و کرتان که در مقابل ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۹ قرار

گرفته‌اند، مزارع کشاورزی وجود دارند. بنابراین افزایش فاکتور غنی‌شدگی در این ایستگاه‌ها امری بدیهی است (شکل ۷-۱). از سوی دیگر با وجود آنکه ایستگاه ۷ در سیریک در مقابل مدخل ورودی رودخانه‌ای قرار نگرفته است، وجود ۴۰۹/۸۱ هکتار زمین کشاورزی و نزدیکی این مزارع تا ساحل را می‌توان دلیل اصلی حضور حداکثر فاکتور غنی‌شدگی آرسنیک (۲۹/۹۴) در رسوبات سطحی این ایستگاه دانست. با توجه به همبستگی مثبت آرسنیک با منگنز، کربنات کلسیم، کلسیم و ماسه (جدول ۶-۱)، از این‌رو متغیرهای فوق در دندوگرام آنالیز خوشه‌ای در یک گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۷-۸). همانگونه که در بخش ۷-۴ نیز اشاره شد عناصری که در این دندوگرام در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر واکنش‌های تبادل یونی، ته‌نشینی و یا منابع ورودی با یکدیگر شباهت‌هایی دارند. با توجه به عدم همگرایی آرسنیک با آهن و آلومینیوم و نبود کانی محتوی آرسنیک در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک و همچنین همگرایی آرسنیک با کربنات کلسیم و کلسیم و نیز با در نظر گرفتن منشأ بیوژنی کلسیم در این منطقه، می‌توان اظهار داشت که احتمالاً بخشی از آرسنیک موجود در رسوبات منطقه منشأ بیوژنی دارد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که آرسنیک در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک می‌تواند منشأ بیوژنی و فعالیت‌های انسانی (فعالیت‌های کشاورزی) داشته باشد. باید به این نکته نیز اشاره کرد که با توجه به حضور آرسنیک در ترکیب نفت خام (Stephenson, 1987)، آلودگی‌های نفتی از دیگر عوامل مؤثر در افزایش غلظت آرسنیک در منطقه محسوب می‌شوند.

۷-۶-۲- جیوه

میانگین فاکتور غنی‌شدگی جیوه (۲/۰۴)، به غنی‌شدگی اندک آن و منشأهای مختلف آن در منطقه اشاره دارد. افزایش میانگین فاکتور غنی‌شدگی جیوه از ۱/۹۳ در رسوبات سطحی سیریک به ۲/۱۴ در رسوبات سطحی جاسک به افزایش منشأهای جیوه در جاسک اشاره دارد. با توجه به حضور جیوه در خاکستر بر جای مانده از نفت خام و همگرایی آن با نیکل و وانادیوم، می‌توان آلودگی‌های نفتی را از جمله منشأهای جیوه در این منطقه محسوب نمود. از سوی دیگر با توجه به فاکتور غنی‌شدگی جیوه

در ۴ ایستگاه ۵، ۶، ۱۲ و ۱۶ که به ترتیب معادل ۰/۶۵، ۰/۶۴، ۰/۹۸ و ۰/۶۱ محاسبه شده است و همچنین با در نظر گرفتن همگرایی این عنصر با آهن و آلومینیوم، می‌توان اظهار داشت که جیوه در این منطقه منشأ پوسته‌ای و زمینی (سنگ‌های آذرین اسیدی تا حدواسط از قبیل گرانیت و آندزیت موجود در حوضه آبگیر منطقه سیریک) نیز دارد. جیوه موجود در رسوبات توسط میکروارگانیزم‌ها به متیل جیوه تبدیل شده و به راحتی به حالت محلول درمی‌آید و جذب بدن موجودات دریایی می‌گردد. با توجه به حضور کارخانه‌های کنسرو ماهی در این منطقه می‌توان اظهار داشت که احتمالاً تجمع بیولوژیکی جیوه در بدن موجودات دریایی یکی دیگر از عوامل مؤثر در حضور این فلز در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک محسوب می‌شود. در مطالعه‌ای که بر روی رسوبات سطحی بنادر شهید رجایی و باهنر بندرعباس صورت گرفت، محققین به منشأ بیولوژیکی این عنصر در منطقه اشاره کرده‌اند (نون مقصودی و همکاران، ۱۳۸۶). همانگونه که در بخش ۶-۳-۲ نیز اشاره گردید، حداکثر غلظت جیوه در ایستگاه‌های واقع در مقابل مدخل رودخانه‌ها به دریا (ایستگاه‌های ۳، ۹ و ۱۳) وجود دارد. لذا افزایش غلظت جیوه در این ایستگاه‌ها را می‌توان به افزایش بار آلودگی این رودخانه‌ها (به ترتیب کرتان، بهمدی و جاسک) ارتباط داد. لازم به تذکر است که تخلیه پساب‌های صنعتی (پرورش ماهی، میگو، کارخانجات تن ماهی و کنسروسازی) و فاضلاب‌های کشاورزی از جمله عوامل افزایش غلظت فلزات سنگین از جمله جیوه در این رودخانه‌ها می‌باشد. با توجه به مطالب فوق، جیوه از منابع زمینی و طبیعی، آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی (از قبیل فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی) و همچنین تجمع بیولوژیکی جیوه در بدن موجودات دریایی در رسوبات منطقه جای گرفته است.

۷-۶-۳- سرب

مقایسه نمودار فاکتور غنی‌شدگی سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۷-۱) نشان می‌دهد که سرب پس از آرسنیک و نیکل بیشترین مقدار غنی‌شدگی را در میان دیگر فلزات مورد بررسی در رسوبات دارد. افزایش تردد وسایل حمل و نقل دریایی در بندر جاسک را می‌توان به‌عنوان دلیل افزایش غلظت سرب در رسوبات سطحی این بندر نسبت به بندر سیریک در نظر گرفت. با این وجود با

توجه به حضور بیشتر رس و آلومینیوم در منطقه جاسک، میانگین فاکتور غنی‌شدگی سرب در ایستگاه‌های هر دو منطقه تقریباً برابر و به ترتیب معادل ۴/۳۹ و ۴/۴۳ محاسبه شده است. با توجه به تقسیم‌بندی فاکتور غنی‌شدگی در بخش ۷-۲ می‌توان گفت منابع مختلفی در تجمع سرب در رسوبات منطقه نقش داشته است. همگروهی سرب با آهن، آلومینیوم (شاخص‌های زمینی) و نیکل و وانادیوم (شاخص‌های نفتی) به منشأ زمینی و نفتی این عنصر در منطقه اشاره دارد. لازم به ذکر است که پیلو لاوا، آندزیت و گرانیت موجود در حوضه آبگیر منطقه سیریک (شکل ۷-۷) را می‌توان از جمله منشأهای زمینی سرب در منطقه در نظر گرفت. فاضلاب‌های شهری، تردد وسایل حمل و نقل دریایی از دیگر منشأهای انسانی ورود سرب به رسوبات منطقه می‌باشند. حضور حداکثر غلظت سرب در ایستگاه‌های ۳ و ۴ در سیریک و ایستگاه ۱۳ در جاسک به ورود رودخانه‌های کرتان و جاسک به دریا در مقابل این ایستگاه‌ها برمی‌گردد. لازم به تذکر است که بیشترین جمعیت در این مناطق در اطراف رودخانه‌های مذکور متمرکز شده‌اند. در طی تحقیقی که بر روی رسوبات سطحی بندرعباس صورت گرفت، محققان فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و ترکیبات نفتی را به عنوان منشأ سرب در نظر گرفته‌اند (خراسانی و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به حضور سرب در ترکیب رنگ، عملیات رنگ‌آمیزی لنج و قایق در کارگاه‌های تولیدی آنها و یا در اسکله‌ها را می‌توان از دیگر عوامل مؤثر در افزایش غلظت سرب در رسوبات منطقه محسوب نمود. در مجموع می‌توان اظهار داشت که فعالیت‌های طبیعی و انسانی هر دو در حضور سرب در رسوبات منطقه نقش داشته‌اند. با این وجود همانگونه که در بالا اشاره گردید، فعالیت‌های انسانی (آلودگی‌های نفتی، رنگ‌آمیزی لنج‌ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی) در حضور سرب در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک نقش مؤثرتری داشته است.

۷-۶-۴ - نیکل

در رسوبات سطحی مناطق مورد مطالعه فاکتور غنی‌شدگی نیکل پس از آرسنیک در جایگاه دوم قرار دارد و به طور متوسط معادل ۶/۳۶ محاسبه شده است. بنابراین غنی‌شدگی نسبتاً شدید این فلز، حاکی از منشأهای مختلف آن در رسوبات منطقه است. نیکل به صورت پارازنز در کانسارهای کرومیت

موجود در منطقه حضور دارد. در حوضه آبخیز منطقه سیریک سنگ‌های الترابازیک، بازیک و حدواسط منطقه بشاگرد وجود دارند (شکل ۷-۷) که عمدتاً از کروم، منیزیوم، آهن، نیکل و منگنز تشکیل شده‌اند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که بخش عمده‌ای از نیکل در رسوبات منطقه منشأ زمینی دارد. بررسی‌های زمین‌شناسی ساحلی این منطقه، حاکی از حضور پلاسرهایی با نیکل، کروم و آهن بالا در رسوبات این منطقه می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶). همانگونه که در بخش ۶-۴-۴- نیز اشاره گردید تغییرات اندک نسبت Ni/Mg در رسوبات تمام ایستگاه‌ها حاکی از حضور نیکل در کانی‌های رسی است که از سنگ‌های منیزیوم‌دار مشتق شده‌اند. همگروهی نیکل و منیزیوم با آهن و آلومینیوم (شکل ۷-۸)، خود می‌تواند تأیید دیگری بر منشأ زمینی این فلز در منطقه باشد.

در بررسی غلظت فلزات سنگین در سواحل کشور عمان، غلظت نسبتاً بالای نیکل، وانادیوم و کبالت، به حضور غلظت بالای آهن و منگنز در این رسوبات ارتباط داده شده است. با توجه به عدم تراکم جمعیت و صنایع عمده در این منطقه، افزایش غلظت فلزات فوق تا حد زیادی منشأ طبیعی دارد و به کانی‌شناسی منطقه برمی‌گردد. منشأ اصلی کروم، نیکل، وانادیوم و کبالت در رسوبات این منطقه را افیولیت‌های موجود در کشور عمان در نظر گرفته شد (De Mora et al, 2004). بنابراین می‌توان غلظت بالای کروم، نیکل، آهن و منگنز در این منطقه را به افیولیت‌های موجود در زون مکران ارتباط داد. در طی یک بررسی غلظت فلزاتی از قبیل نیکل، منگنز، آهن، مس، روی، سرب، کروم و کبالت در رسوبات مغزی تنگه هرمز مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه مشخص شد که غلظت فلزات مورد بررسی در لایه‌های سطحی بیشتر از لایه‌های عمقی است. نیکل و کروم در این مطالعه بیشترین شدت غنی‌شدگی را در لایه‌های سطحی رسوبات نشان دادند. با توجه به نرخ رسوب‌گذاری در این منطقه محققین ازدیاد فعالیت‌های انسانی و هیدروکربورهای نفتی را از جمله عوامل مؤثر در افزایش غلظت فلزات فوق در لایه‌های سطحی رسوبات در نظر گرفته‌اند (فاضلی و خسروان، ۱۳۷۹). با توجه به حضور نیکل و وانادیوم در ترکیب نفت خام، این عناصر در محیط‌های دریایی به عنوان شاخص مواد نفتی در نظر گرفته می‌شوند. لذا غلظت نیکل، وانادیوم و دیگر عناصر همگروه با این عناصر به سمت

ایستگاه ۸ و ۱۰ که کمترین فاصله را با محل حادثه نفتی مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ (کوه مبارک) دارند، افزایش پیدا می‌کند. در مجموع می‌توان گفت بخشی از غلظت نیکل منشأ زمینی و بخش دیگری از غلظت این عنصر ناشی از آلودگی‌های نفتی این منطقه است.

۷-۶-۵- وانادیوم

محاسبه ضریب تغییرات فاکتور غنی‌شدگی این عنصر در منطقه ($CV=0/1$) حاکی از روند یکسان این فاکتور در ایستگاه‌های مختلف است. همچنین میانگین فاکتور غنی‌شدگی این فلز ($1/33$) به غنی‌شدگی اندک و منشأهای مختلف آن در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک اشاره دارد. همگروهی وانادیوم با آهن، آلومینیوم، نیکل، منیزیوم، سرب، کروم و جیوه حاکی از منشأ مشابه (زمینی و آلودگی‌های نفتی) آنها در منطقه می‌باشد. از جمله منشأهای زمینی این عنصر می‌توان به سنگ‌های بازیک و الترابازیک افیولیتی موجود در بستر حوضه آبگیر منطقه سیریک اشاره کرد. با وجود غلظت بیشتر وانادیوم در رسوبات منطقه جاسک، به دلیل ریزدانه‌تر بودن رسوبات این بندر فاکتور غنی‌شدگی این عنصر در سیریک و جاسک تقریباً معادل یکدیگر است (به ترتیب $1/39$ و $1/25$). افزایش غلظت این عنصر در رسوبات سطحی جاسک به تردد بیشتر وسایل حمل و نقل دریایی و وجود مقدار بیشتر نفت در محیط و فاصله کمتر این ایستگاه‌ها تا کوه مبارک مرتبط می‌شود. با در نظر گرفتن مجموع مطالب فوق می‌توان گفت که وانادیوم هم منشأ زمینی دارد و هم در اثر آلودگی‌های نفتی در رسوبات منطقه جای گرفته است.

۷-۶-۶- منگنز

همانگونه که در شکل ۷-۱ مشاهده می‌شود، میانگین فاکتور غنی‌شدگی منگنز و کروم تقریباً هم‌ردیف با یکدیگر است و به ترتیب معادل $3/46$ و $3/41$ (غنی‌شدگی اندک) محاسبه شده است. در دندوگرام آنالیز خوشه‌ای منگنز، کربنات کلسیم و کلسیم، زیر شاخه دوم از گروه دوم را تشکیل می‌دهند (شکل ۷-۸). با توجه به تجمع منگنز در کربنات‌ها، همگروهی این متغیرها به منشأ مشابه آنها یعنی بیوزنی و

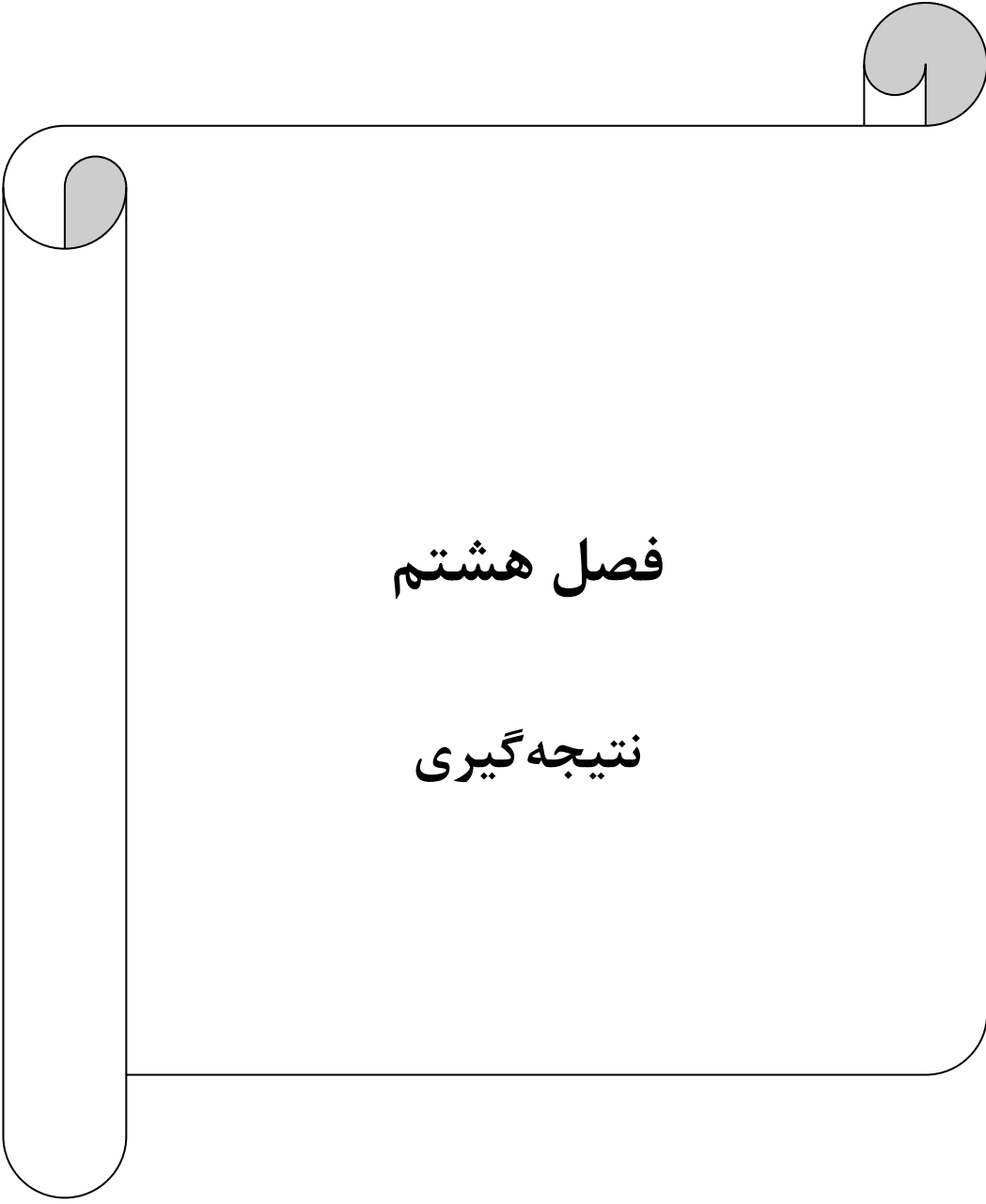
آواری در منطقه اشاره دارد. حوضه آبخیز سیریک در انتهای مسیر خود از اراضی شور و نمکزار (محتوی کانی‌های کربناته منگن‌دار) عبور می‌کند (شکل ۷-۲)، بنابراین وجود غلظت بیشتر منگنز در رسوبات سطحی سیریک نسبت به جاسک قابل انتظار است (به ترتیب ۶۶۵/۶۳ppm و ۶۳۷/۸۷ppm). با استناد به مطالب ذکر شده، منگنز هم منشأ زمینی و آواری دارد و هم فعالیت‌های بیولوژیکی در تجمع این عنصر در رسوبات منطقه نقش مؤثری ایفا کرده است.

۷-۶-۷- آهن

متوسط فاکتور غنی‌شدگی آهن در منطقه (۳/۱۷) نشان‌دهنده تجمع این عنصر از منشأهای مختلف در رسوبات است. در سری تبلور ماگمایی آهن از جمله عناصری است که در ترکیب کانی‌های سنگ-های آذرین بازیک و الترابازیک قرار می‌گیرد. پراکندگی سنگ‌های آذرین بازیک و الترابازیک در محدوده حوضه آبخیز منطقه مورد مطالعه (شکل ۷-۷) و حضور هماتیت و مگنتیت در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک (شکل ۷-۵ و ۷-۶)، حاکی از منشأ زمینی آهن و دیگر عناصر همگروه با آن در دندوگرام آنالیز خوشه‌ای (شکل ۷-۸) است. محققین نیز در بررسی‌های دیگر در این منطقه به منشأ زمینی آهن اشاره کرده‌اند (خراسانی و همکاران، ۱۳۸۴). گفته شد که یکی دیگر از منشأهای عمده عناصر موجود در گروه اول آلودگی‌های نفتی است. با توجه به حضور آهن در ترکیب نفت خام (Stephenson, 1987) و حضور این عنصر در گروه اول، می‌توان اظهار داشت که آلودگی‌های نفتی یکی دیگر از منشأهای آهن در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک محسوب می‌شود. از این رو غلظت آهن در ایستگاه‌هایی که در سیریک و جاسک کمترین فاصله را با محل حادثه نفتی (کوه مبارک) دارند (ایستگاه ۸ و ۱۰)، افزایش پیدا می‌کند. بنابراین فعالیت‌های زمینی و طبیعی و همچنین آلودگی‌های نفتی از جمله عمده‌ترین منشأهای آهن در رسوبات سطحی مناطق مورد مطالعه محسوب می‌شوند.

۷-۶-۸- کروم

با توجه به حضور کروم در سنگ‌های الترابازیک در ابتدای حوضه آبگیر منطقه سیریک (شکل ۷-۷) و وجود کانی کرومیت در رسوبات مورد مطالعه (شکل ۷-۳) می‌توان اظهار داشت که بخش عمده‌ای از کروم در منطقه مورد مطالعه منشأ زمینی دارد. همچنین همگروهی این عنصر با آهن و آلومینیوم (شکل ۷-۸) و وجود معادن فعال کرومیت در منطقه بشاگرد (برخورداری، ۱۳۸۸) نیز می‌تواند تأیید دیگری بر منشأ زمینی این عنصر در منطقه باشد. با توجه به حضور کروم در ترکیب نفت خام و مشتقات آن از جمله رنگ، می‌توان آلودگی‌های نفتی و عملیات رنگ‌آمیزی کشتی، لنج و نظایر آن در اسکله‌ها و سواحل این منطقه را به عنوان یکی دیگر از منشأهای کروم در رسوبات منطقه محسوب نمود. محققین نیز در طی بررسی غلظت عناصر سنگین در رسوبات سطحی بندرعباس، عملیات رنگ-آمیزی موجود در اسکله‌ها و مجتمع‌های کشتی‌سازی را دلیل اصلی آلودگی رسوبات این منطقه به کروم دانسته‌اند (خراسانی و همکاران، ۱۳۸۴). میانگین فاکتور غنی‌شدگی این فلز (۳/۴۱) که از ۱ بیشتر است نیز به منابع مختلف کروم در رسوبات سطحی این بنادر اشاره دارد. مطالب فوق نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از کروم موجود در رسوبات منطقه منشأ طبیعی دارد. همچنین آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی از قبیل آلودگی‌های نفتی و رنگ‌آمیزی لنج و قایق و ... در اسکله‌های بنادر مذکور از عوامل دیگر حضور کروم در رسوبات سطحی این بنادر محسوب می‌شوند.



فصل هشتم

نتیجه گیری

۸-۱- مقدمه

هدف از این تحقیق بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک و تعیین منشأ احتمالی آنها بوده است. جهت نیل به این هدف، مطالعات جامعی در زمینه تحقیقات انجام شده درباره آلودگی فلزات سنگین در رسوبات مناطق مختلف جهان و مناطق نزدیک به منطقه مورد مطالعه انجام پذیرفت (فصل ۳). خصوصیات زمین شناسی منطقه با استفاده از اطلاعات موجود مورد بحث و بررسی قرار گرفت (فصل ۲). نمونه برداری از رسوبات منطقه سیریک (نمونه‌های ۱ تا ۸) و جاسک (نمونه‌های ۹ تا ۱۶) از دو عمق ۵ و ۱۰ متری آب صورت گرفت. نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد مورد آنالیز قرار گرفتند (فصل ۴). با استفاده از نتایج بدست آمده خصوصیات رسوب شناسی از قبیل دانه بندی، pH، چگالی و غیره (فصل ۵)، نحوه توزیع عناصر و فلزات سنگین در هر دو منطقه (فصل ۶) و منشأ احتمالی آنها (فصل ۷) تعیین گردید. در این بخش نتیجه‌گیری بدست آمده از بخش‌های مختلف این تحقیق به طور خلاصه آمده است. در نهایت پیشنهادهای جهت انجام مطالعات تکمیلی بر روی رسوبات این مناطق مطرح شده است.

۸-۲- خصوصیات رسوب‌شناختی

خصوصیات رسوب‌شناسی نمونه‌های رسوب مورد مطالعه با استفاده از روش‌های استاندارد (فصل ۴) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که غالب رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه ریزدانه است و ماسه، سیلت و رس ذرات اصلی تشکیل‌دهنده آنها محسوب می‌شوند. نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های بندر جاسک و همچنین رسوبات ایستگاه‌های واقع در عمق ۱۰ متری آب دانه‌ریزتر هستند (بخش ۵-۲). میانگین pH رسوبات (۸/۸) حاکی از قلیایی بودن محیط رسوبی مورد مطالعه است و کربنات کلسیم نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد شرایط قلیایی در رسوبات مورد مطالعه ایفا می‌کند. مقدار pH و کربنات کلسیم در رسوبات واقع در عمق ۵ متری آب از عمق ۱۰ متری بیشتر است. میانگین مقدار ماده آلی در بندر جاسک (۹/۸۱ درصد) نسبت به بندر سیریک (۶/۷ درصد) بیشتر است. بعلاوه میانگین مقدار ماده آلی رسوبات از ۶/۹۳ درصد در عمق ۵ متری آب به ۹/۵۸ درصد در عمق ۱۰

متری آب افزایش می‌یابد (شکل ۵-۱۰) (بخش ۵-۵). عمده کانی‌های منطقه را کوارتز، کلسیت، آلپیت، کلینوکلر آهن‌دار، مسکوویت، شاموزیت، پلاژیوکلاز سدیم‌دار تشکیل می‌دهند (شکل‌های پ-۱، پ-۲، پ-۳ و پ-۴). همچنین کرومیت، پیروکسن، هماتیت و مگنتیت از جمله کانی‌های سنگین رسوبات این مناطق محسوب می‌شوند (بخش ۵-۶).

۸-۳- همبستگی عناصر با یکدیگر و با خصوصیات رسوب‌شناختی

همبستگی بین متغیرهای مختلف از قبیل فلزات سنگین، خصوصیات رسوب‌شناسی و عناصر دیگری از قبیل پتاسیم، فسفر و گوگرد در بخش ۶-۲ محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی مابین آهن- آلومینیوم ($r=0/978$)، آلومینیوم- ماده آلی ($r=0/924$) و آهن- ماده آلی ($r=0/921$) وجود دارد. با توجه به نقش مؤثر اکسیدهای آهن و آلومینیوم، کانی‌های رسی و مواد آلی در تثبیت V, Ni, Pb, Cr، متغیرهای فوق همبستگی مثبت با یکدیگر نشان دادند. اکسیدهای منگنز و کربنات کلسیم نیز در تثبیت As در رسوبات نقش عمده‌ای بر عهده داشته است، لذا این متغیرها نیز همبستگی مثبت با یکدیگر نشان دادند ($r=0/466$ ، $0/603$ به ترتیب) (جدول ۶-۱).

۸-۴- گسترش عناصر سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک

با استناد به نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین، تغییرات غلظت هر یک از عناصر سنگین و گسترش آنها به طور جداگانه در بنادر سیریک و جاسک مورد مطالعه قرار گرفت و توزیع هر کدام از فلزات با استفاده از نرم‌افزارهای Office (Excel) و Surfer در هر دو منطقه مورد مطالعه در بخش ۶-۳ نمایش داده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، جیوه، سرب، وانادیوم، منگنز و کروم) در ایستگاه‌های مقابل مدخل ورودی رودخانه‌های مختلف به دریا (از قبیل مغ کنار، کرتان، بهمدی و جاسک) بیشتر می‌باشد. غلظت آرسنیک، منگنز و کروم در رسوبات سطحی سیریک و غلظت جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم، آهن و کروم در منطقه جاسک بیشتر می‌باشد. روند تغییرات غلظت هر یک از عناصر در اعماق مختلف با یکدیگر متفاوت است. میانگین غلظت تمامی فلزات مورد

مطالعه (غیر از نیکل) کمتر از غلظت این عناصر در میانگین شیل جهانی است. غلظت آرسنیک در رسوبات واقع در عمق ۵ متری آب (۵/۵۵ppm) از عمق ۱۰ متری (۴/۲۶ppm) بیشتر است (شکل-های ۳-۶ و ۵-۶). غلظت جیوه در رسوبات هر دو عمق آب روند یکسانی را نشان می‌دهند (بخش ۶-۲-۳). بیشترین غلظت نیکل (۱۲۲/۲ppm) در ایستگاه ۱۰ وجود دارد (شکل ۶-۱۶) که این مسأله به نزدیکی بیشتر ایستگاه ۱۰ تا محل حادثه نفتی مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ مرتبط می‌شود.

۸-۵- بررسی آلودگی رسوبات منطقه به عناصر سنگین مورد مطالعه

برای ارزیابی آلودگی رسوبات سطحی بنادر سیریک و جاسک به عناصر سنگین، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی این عناصر محاسبه گردید (بخش ۶-۴). فاکتور آلودگی Cr, Fe, Mn, V, Pb, Hg, As (کمتر از ۱) و بیانگر آلودگی کم رسوبات به این فلزات می‌باشد. در حالیکه فاکتور آلودگی نیکل (۱/۴۲) (جدول ۶-۳) به آلودگی متوسط آن در رسوبات منطقه و احتمال وجود آلودگی نفتی در این منطقه اشاره دارد. فاکتور آلودگی As, Mn و Cr در سیریک و فاکتور آلودگی Hg, Pb, Ni, V, Fe در جاسک بیشتر است. با توجه به اینکه ایستگاه ۱۰ کمترین و ایستگاه ۱۵ بیشترین فاصله را تا محل حادثه نفتی مورخ ۱۳۸۴/۳/۲ دارند و با در نظر گرفتن این مسأله که آلودگی نفتی یکی از منشأهای عمده فلزات سنگین در رسوبات این منطقه است، ایستگاه ۱۰ و ۱۵ در جاسک به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار آلودگی را نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند (جدول ۶-۴). درجه آلودگی عناصر در ایستگاه‌های سیریک و جاسک به آلودگی کم رسوبات این بنادر به As, Hg, Pb, Ni, V, Mn, Fe, Cr اشاره دارد.

۸-۶- بررسی منشأ عناصر سنگین در رسوبات سطحی بنادر سیریک و

جاسک

با بررسی پارامترهای مختلف از قبیل فاکتور غنی‌شدگی، نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، منشأ کانی‌های تشکیل‌دهنده رسوبات منطقه و آنالیز خوشه‌ای به بررسی منشأ As, Hg, Pb, Ni, V,

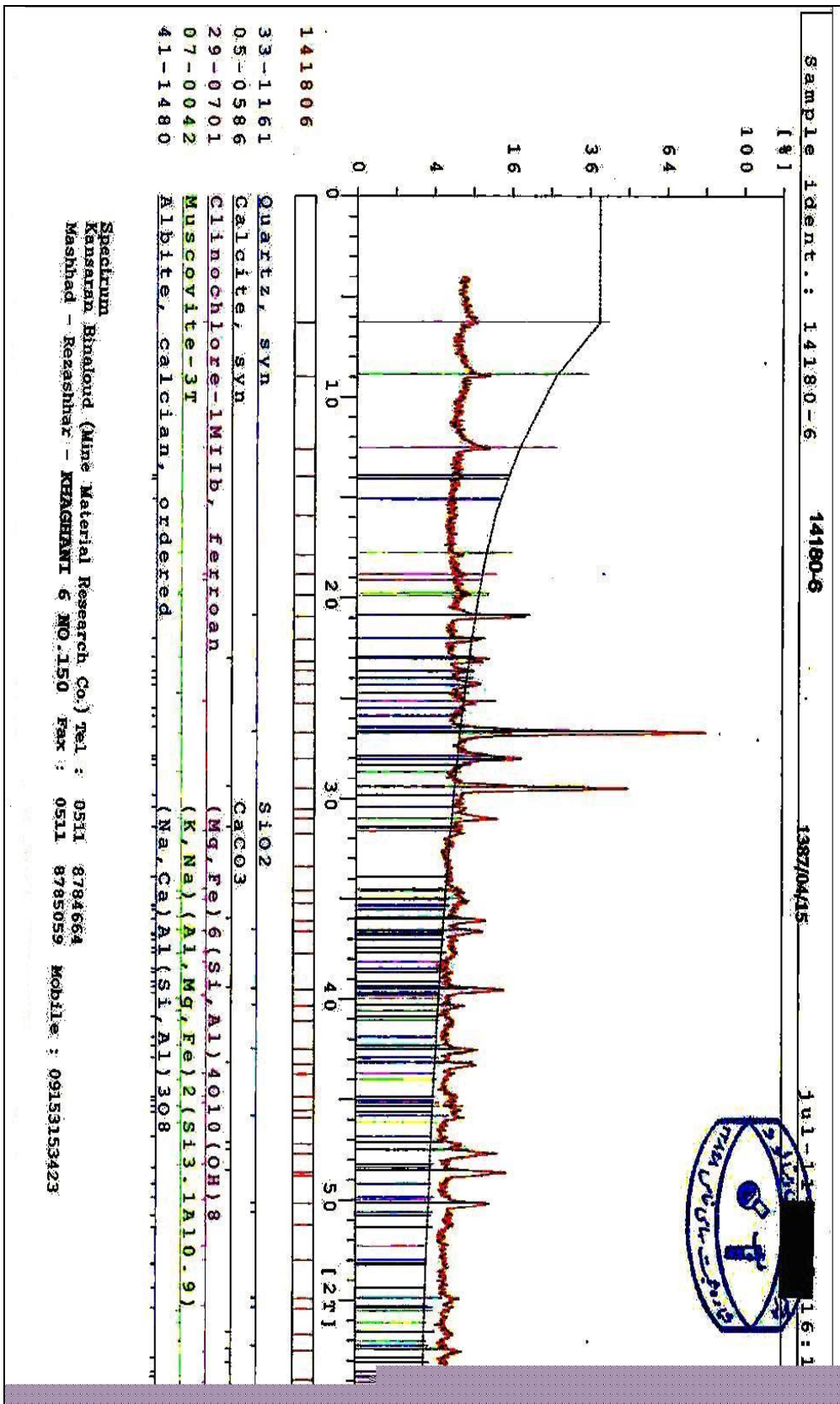
Mn, Fe, Cr در رسوبات منطقه مورد مطالعه قرار گرفت (فصل ۷). نتایج نشان داد که فلزات عمدتاً از دو منشأ زمینی و فعالیتهای انسانی در رسوبات منطقه جای گرفته اند. آلودگیهای ناشی از فعالیت-های انسانی خود به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول به فعالیتهای کشاورزی و فاضلابهای شهری و صنعتی اشاره دارد. آلودگیهای نفتی از دیگر منشأهای فلزات در رسوبات منطقه است که گروه دوم آلودگیهای انسانی را تشکیل می‌دهند. فعالیتهای بیولوژیکی و فعالیتهای انسانی (فاضلابهای کشاورزی و آلودگیهای نفتی) از جمله منشأهای آرسنیک در رسوبات منطقه هستند (بخش ۷-۵-۱). جیوه از منابع مختلف زمینی، انسانی و بیولوژیکی در رسوبات جای گرفته است. آلودگیهای نفتی، رنگ آمیزی لجنها، فاضلابهای شهری و صنعتی در حضور سرب در رسوبات مورد مطالعه نسبت به فعالیتهای طبیعی نقش مؤثرتری داشته‌اند. آلودگیهای نفتی و سنگهای آذرین موجود در منطقه را می‌توان یکی از دلایل اصلی حضور نیکل، وانادیوم، کروم و آهن در رسوبات مورد مطالعه دانست. منگنز هم منشأ زمینی و آواری دارد و هم فعالیتهای طبیعی و بیولوژیکی را می‌توان از جمله منشأهای دیگر منگنز در رسوبات منطقه محسوب نمود (بخش ۷-۵-۶).

۷-۸- پیشنهادها

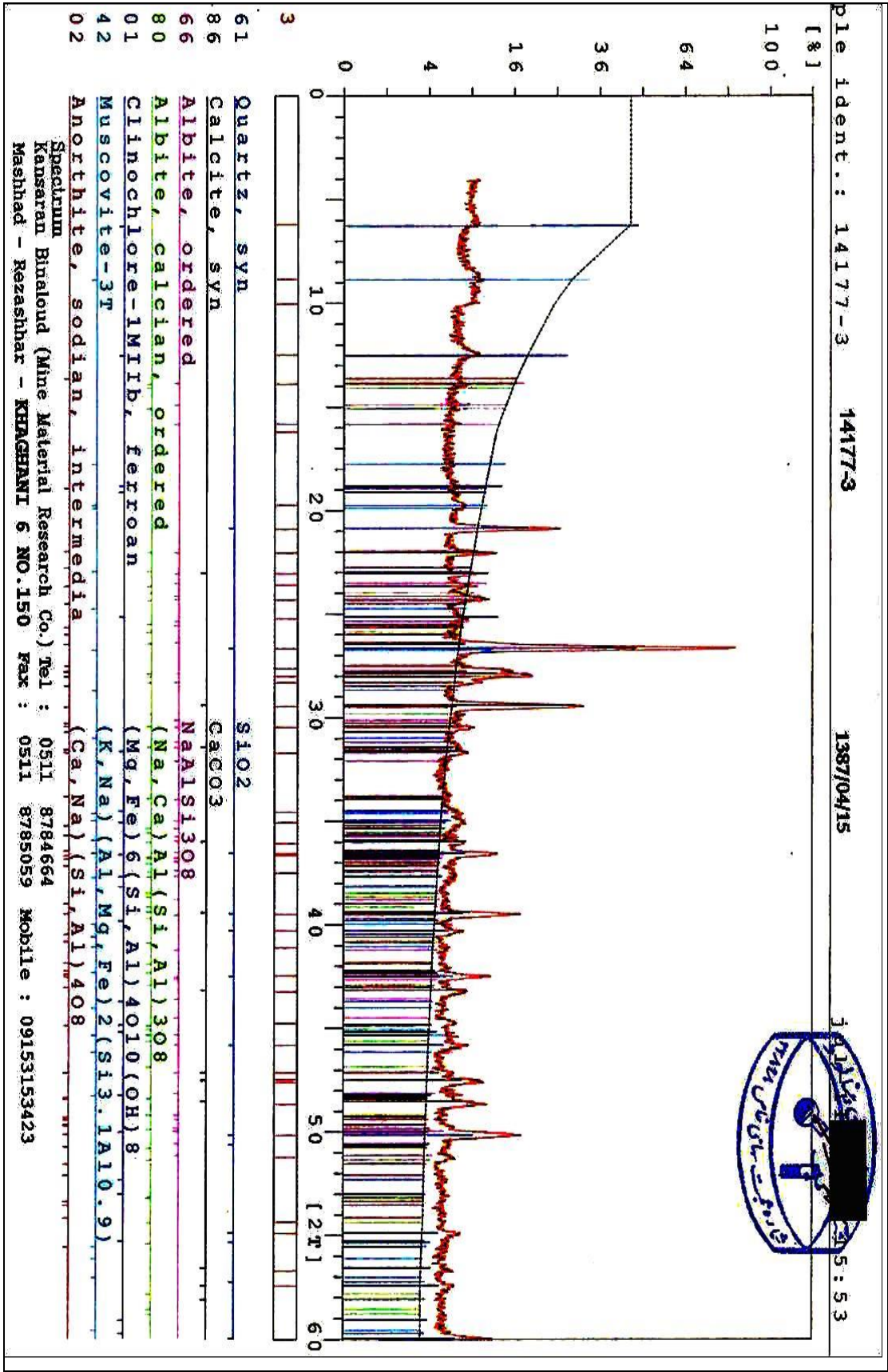
در راستای تکمیل مطالعات صورت گرفته و همچنین ارائه راهکارهایی مناسب جهت حذف و زدودن فلزات سنگین از رسوبات سطحی این مناطق پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- بررسی رسوبات مغزی و عمقی جهت مطالعه تاریخچه‌ی رسوب‌گذاری و آلودگی و نیز بررسی منشأ آلودگی در لایه‌های مختلف رسوبات در منطقه.
- ۲- نمونه‌برداری از موجودات زنده کفزی و دیگر موجودات دریایی در این مناطق جهت بررسی تأثیر آلودگی آب و رسوبات بر اکوسیستم آبی منطقه.
- ۳- تعیین نحوه حضور و غلظت فلزات سنگین در بخش‌های مختلف (محلول، هیدروکسید، اکسید، آلی، قابل تبادل) در رسوبات منطقه.
- ۴- بررسی کارایی روش‌های موجود در حذف فلزات سنگین بر روی رسوبات سطحی منطقه.
- ۵- استفاده از روش‌های جدید بیولوژیک در جهت زدودن فلزات سنگین در رسوبات منطقه.

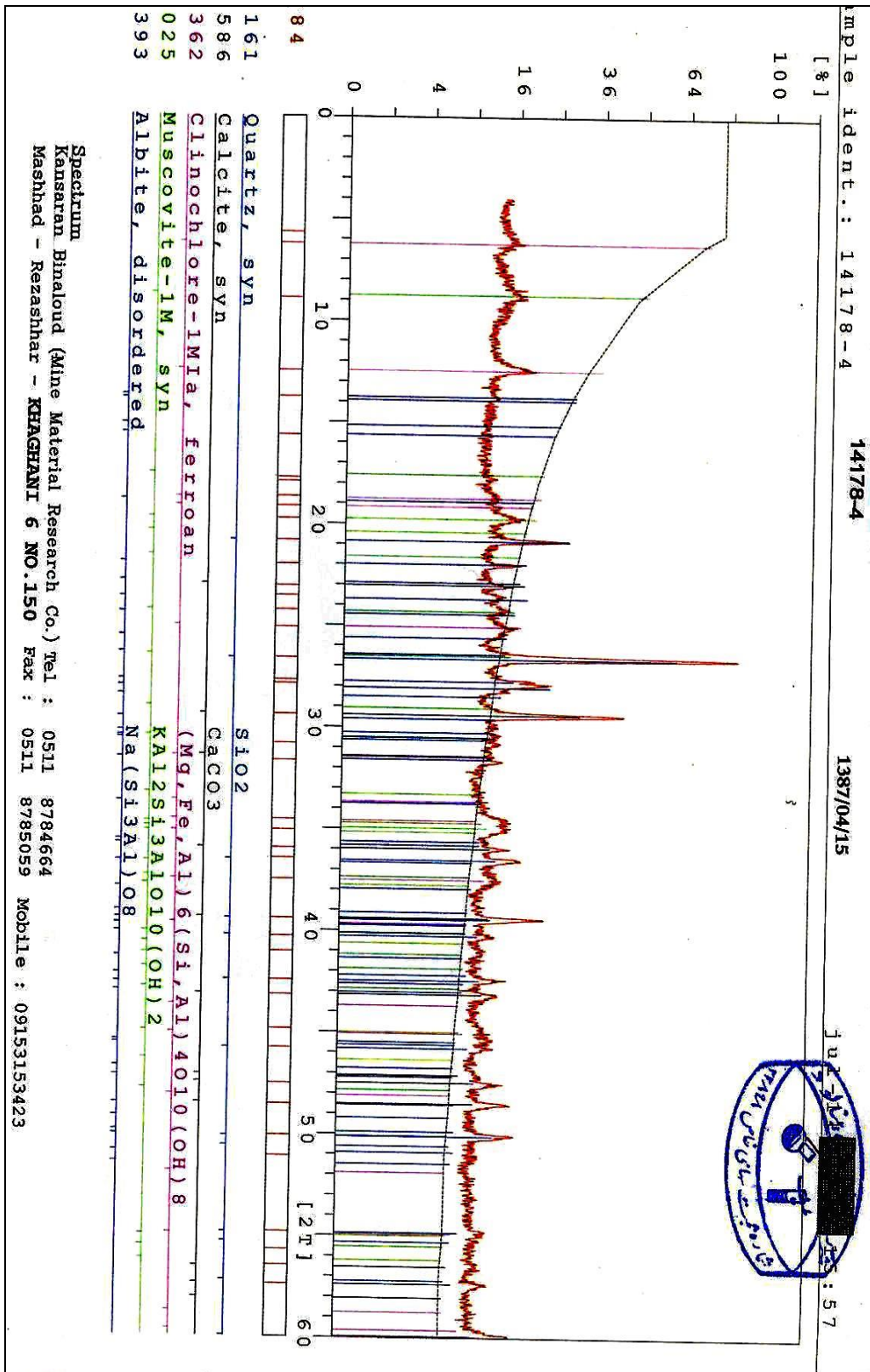




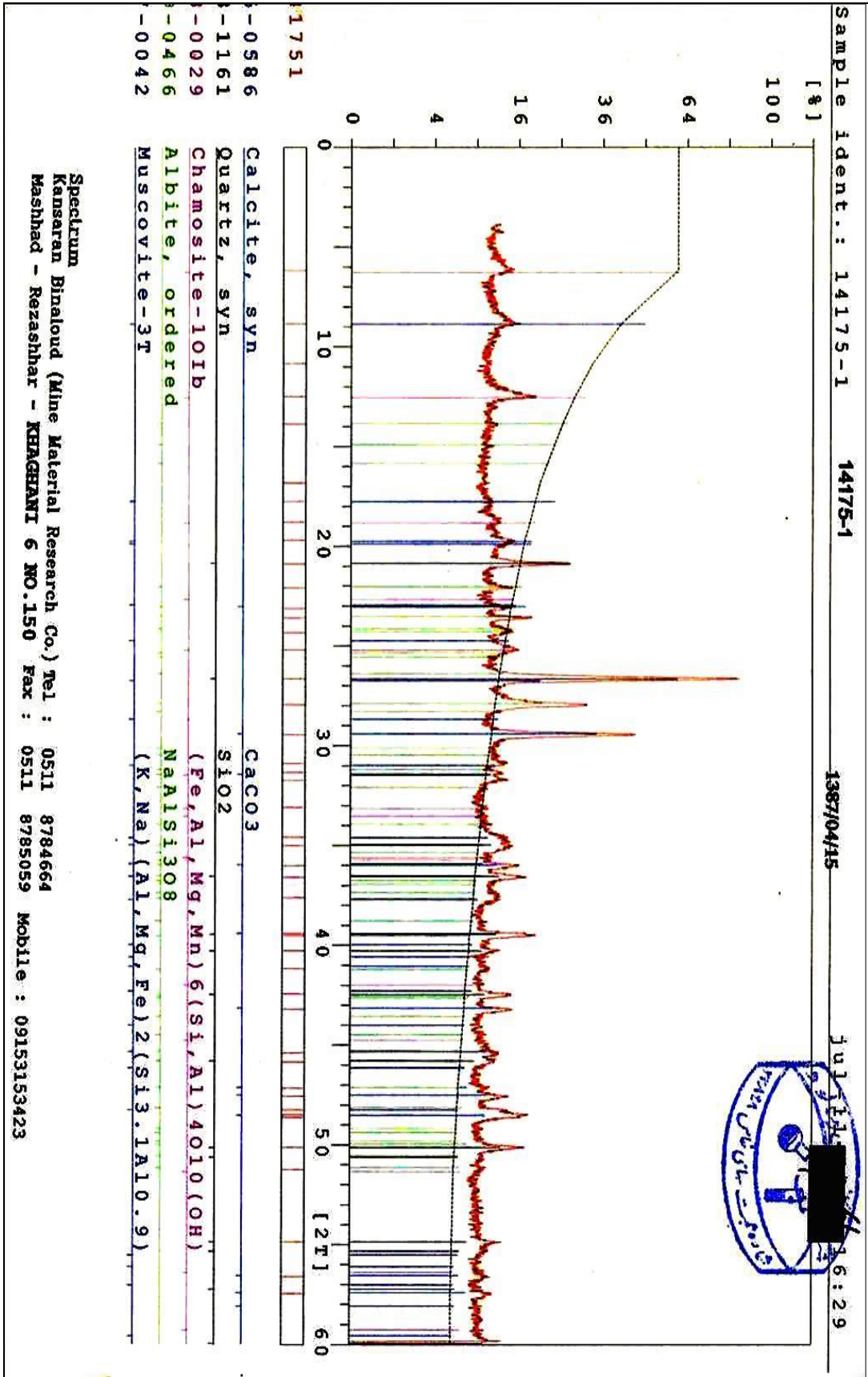
شکل پ-۱: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۴



شکل پ-۲: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۴



شکل پ-۳: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۹



شکل پ-۴: نتایج XRD نمونه رسوب ایستگاه ۱۰

منابع

منابع فارسی

اشجع اردلان، آ، خوش خو ژ، ربانی م، معینی م، (۱۳۸۵)، "مقایسه میزان فلزات سنگین در آب، رسوبات و بافت نرم دوکفه‌ای آنودونت تالاب انزلی در دو فصل پاییز و بهار (۱۳۸۳-۱۳۸۴)" پژوهش و سازندگی در امور دام و آبزیان، شماره ۷۳، ۱۰۳-۱۱۷.

آقاباتی، ع، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

امانی، الف، (۱۳۸۶) "گزارش فعالیت کلی بنادر قشم، درگاهان و جاسک در سال ۱۳۸۵"، بخش آمار و انفورماتیک اداره کل بنادر و کشتیرانی استان هرمزگان.

امینی رنجبر، غ، (۱۳۷۱)، "بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) در رسوبات سطحی تالاب انزلی" مجله علمی شیلات، سال سوم (۳)، ص ۵-۲۶.

برخورداری، م، (۱۳۸۸)، "اطلاعات آماری فعالیت‌های صنعتی و معدنی مناطق سیریک و جاسک" بخش آمار سازمان صنایع و معادن استان هرمزگان.

پازند، ک، علی نیا، ف، (۱۳۸۶)، "کاربرد روش نسبت‌های فلزی در اکتشاف عناصر گروه پلاتین در منطقه فاریاب"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، بهمن ماه ۱۳۸۶.

جعفری، ع، (۱۳۸۷)، "اطلس گیاتاشناسی استان‌های ایران"، انتشارات سازمان جغرافیایی و کارتوگرافی کشور.

جوکار، ک، (۱۳۸۴)، "سند شماره ۴۲۹۳"، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، بخش اکولوژی.

حاج ملا علی، الف، (۱۳۸۵) پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "اکتشافات ژئوشیمیایی ورقه سرگردار در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، دانشگاه آزاد تهران جنوب.

حسینی پاک، الف، (۱۳۸۲)، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران.

خان ناظر، ن، مصوری ف، (۱۳۷۱)، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ جاسک-گتان"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

خراسانی، ن، شایگان ج، کریمی شهری ن، (۱۳۸۴)، "بررسی غلظت فلزات سنگین (روی، مس، آهن، کروم و سرب) در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۸۵، شماره ۴، ۸۶۱-۸۶۹.

خردمندنی، ک، بهرامی ز، (۱۳۸۸)، "تحلیل آماری داده‌های چند متغیره"، کتاب در دست انتشار.

دانه‌کار، الف، پوروشوئی، (۱۳۷۴)، "پیامد ریزش‌های نفتی چنگ خلیج فارس بر تالاب‌ها و پرندگین مهاجر آبری"، ماهنامه آبزیان، سال ششم، شماره ۹ (آذر)، ۱۶-۲۰.

دمی‌زاده، م، (۱۳۸۷)، "گزارش داده‌های رقومی اطلاعات منطقه سیریک و جاسک"، بخش آب‌خیزداری تحقیقات جهاد کشاورزی استان هرمزگان.

زعیمی، غ، (۱۳۸۱)، "تنگه هرمز"، انتشارات پژوهش‌های فرهنگی.

زاهد، م، محمدی دشتکی، ز، (۱۳۷۹)، "آلودگی دریا"، انتشارات نسق، انتشارات نقش مهر.

- سالرزاده، الف، (۱۳۸۷)، "داده رقومی کاربری اراضی منطقه سیریک و جاسک"، واحد GIS منابع طبیعی استان هرمزگان.
- سرتاج، م، فتح اللهی دهکردی، ف، فیلی زاده، ی، (۱۳۸۴)، "بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۳، ۶۲۳-۶۳۳.
- شارمد، ت، (۱۳۸۷)، "بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر در آب‌های وره ۱/۱۰۰۰۰۰ سیریک و جاسک"، اطلاعات انتشار نیافته، سازمان زمین شناسی دریایی، بخش آب‌شناسی.
- شکیبا، ع، جهانی، د، لک، ر، (۱۳۸۶)، "رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبات فلات قاره دریای عمان در منطقه گتان (غرب جاسک)"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، بهمن ماه ۱۳۸۶.
- شهاب پور، ج، (۱۳۸۲)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- طالبی، ا، کرباسی، ع، عبدلی، م، (۱۳۷۶)، "نقش بافت خاک در پاکسازی فلزات سنگین و سمی"، فصلنامه علمی محیط زیست، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۷۶-۷۹.
- عباسی، ف، (۱۳۷۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی ژئوشیمیایی و تعیین میزان و پراکنش فلزات سنگین و سمی در رسوبات سطحی اطراف جزایر قشم، هرمز، لارک و هنگام (اعماق ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری)"، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه علوم دریایی غیر زیستی.
- علیزاده، ح، کامرانپوری، ع، امینی، ع، (۱۳۸۴)، "آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دلتای سفیدرود"، مجله علوم دریایی ایران، دوره ۴، شماره ۳ و ۴، ۴۴۳-۵۲.
- فاضلی، م، خسروان، ف، (۱۳۷۹)، "اندازه‌گیری عناصر سنگین در رسوبات مغزی تنگه هرمز-خلیج فارس"، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۴۸، ۲۶-۲۹.
- فاضلی، م، (۱۳۷۹)، "ژئوشیمی فلزات سنگین Cu, Cd, Hg, Pb, V در رسوبات سطحی و زیرسطحی خلیج فارس"، فصلنامه علمی محیط زیست، شماره ۳۳، ۴۴-۵۰.
- کرباسی، ع، بیات، الف، نبی بیدهندی، غ، (۱۳۸۴)، "بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود"، مجله محیط شناسی، شماره ۳۹، صفحه ۴۸-۴۱.
- کریم‌زاده ثمرین، ع، (۱۳۸۱)، "کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی، ارزیابی، نمایش و تفسیر"، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه تبریز.
- ماشینچیان مرادی، ع، (۱۳۷۳)، "فلزات سنگین در خلیج فارس"، دفتر محیط زیست دریایی سازمان حفاظت محیط زیست.
- محمدی، ع، لک، ر، شیدنی، ش، رحیم زاده، ن، دهقان چناری، الف، (۱۳۸۶)، "اطلس رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبی خلیج چابهار مقیاس ۱/۵۰۰۰۰"، طرح اکتشافات مواد معدنی به روش ژئوفیزیک هوایی، ژئوشیمیایی و شناسایی منابع غیر زنده دریایی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت زمین شناسی دریایی.
- محمدی، م، سمائی، م، (۱۳۸۴)، "بررسی میزان عناصر سرب و کادمیوم در آب، رسوبات معلق و بافت ماهیچه‌های ماهی در رودخانه قره‌چای"، مجله علوم دریایی، دوره ۴، شماره ۳ و ۴، ۵۳-۵۸.

- مدبری، س، مر، ف، (۱۳۸۳)، "زمین شیمی زیست محیطی و نقش کانسار زرشوران در آلودگی منابع آب منطقه تکاب"، مجموعه مقالات هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۵۵۱-۵۶۱.
- مر، ف، زائری، خ، (۱۳۸۲)، "عناصر زمین"، انتشارات دانشگاه شیراز.
- مر، ف، شرفی، ع، (۱۳۷۳)، ترجمه، اصول ژئوشیمی، چاپخانه مرکز نشر دانشگاه شیراز.
- مر، ف، هرمزی، الف، یعقوب پور، ع، (۱۳۸۰)، ترجمه، منابع معدنی از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی، انتشارات ویژه نشر.
- مریدی، م، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی آلودگی ناشی از فعالیتهای صنایع عمده غرب بندرعباس (پالایشگاه، توانیر و اسکله فولاد) با تاکید بر اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس.
- موسوی حرمی، ر، (۱۳۸۰)، "رسوب شناسی"، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
- نبوی، م، (۱۳۵۵)، "دیبچه‌ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- نوان مقصودی، م، (۱۳۷۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی مقادیر آلودگی ناشی از هفت فلز سنگین (V, As, Cr, Ni, Pb, Hg, Cd) و هیدروکربن کل در بندرهای شهید رجایی و شهید باهنر، بندرعباس"، دانشگاه تربیت مدرس دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور.
- نوری، ج، فردوسی، س، (۱۳۷۹)، "شیمی محیط زیست"، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.
- نوحه گر، الف، یمانی، م، (۱۳۸۵)، "ژئومورفولوژی ساحل شرقی تنگه هرمز (با تاکید بر فرسایش بادی)"، انتشارات دانشگاه هرمزگان.

منابع لاتین

- Agusa, T., Kunito, T., Iwata, H., Monirith, I., Chamnan, C., Seang Tana, T., Subramanian, A., Tanabe, S. (2007), "Mercury in hair and blood residents of Phnom Penh (Cambodia) and possible effect on serum hormone levels", *Chemosphere*, 68, 590-596.
- Al-Ghadban, A., Al-Dousari, A., Al-Kadi, A., Behbahani, M., Caceres, P. (1998), "Mineralogy, Genesis and sources of surficial sediments in the ROPME sea area" *Offshore Environment of the ROPME sea area after the war. Related oil spill. EDS, ISBN:4-88704-123-3.*
- Al-Ghadban, A., Massoud, M., Abdali, F. (1996) "Bottom sediments of the Arabian GULF: I. Sedimentological characteristics" *Kuwait journal of science and engineering.*, 23, 71-88.
- Al-Majed, N, (2000) "An evaluation of mercury pollution of the marine and atmospheric environment in Kuwait" *PH.D. Thesis, university of Liverpool.*
- APHA, (1995), *standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed.* American Publish Health Association, Washington, D.C.
- ASTM D422-63 (2007) "Standard Test method for particle -size Analysis of soil" *Book of standard, American standard method, vol 04.08.*
- Atteia, O., Duois, J. P. (1994), "Geostatistical Analysis of soil contamination in the swiss Jurna" *Environmental Pollution*, 86, issue 3, 315-327.
- Bartlett, R.J., (1986) "Soil redox behavior, in *Soil Physical Chemistry*", Sparks, D.J., *Ed., CRC Press, Boca Raton, FL.*
- Bell, F, G, (1998) "Environmental Geology (Principles and practices) " *Osney mead, Oxford ox20EL.*

- Bodek, I, Lyman, W., Reehl, W, F., Rosenblatt, D, H., Eds, (1988) "Environmental Inorganic Chemistry" Pergamon Press, New York.
- Carver, R, E, (1971) "Procedures in sedimentary Petrology" Wiley-Interscience, a division of John, Wiley&Sons Inc.
- Chen, C, W., Kao, C, M., Chen, C, F., Dong, C, D., (2007) "Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan" *Chemosphere*, 66, 1431-1440.
- Conrad, C. F., Fugate. D., Daus. J., C J. Chisholm-Brause. C J., Kuehl, S. A, (2007) "Assessment of the historical trace metal contamination of sediments in the Elizabet River ,Virginia" *Marine Pollution Bulletin*, vol 54. Pp 385-395.
- Crecelius, E.A., Bloom, N.S., Cowan, C.E., and Jenne, E.A., (1986) "Speciation of Selenium and Arsenic in Natural Waters and sediments" *Arsenic Speciation*, EPRI Project 2020-2, Battelle *Pacific North Lab. Sequim, WA*, 32.
- Date, A, R., and Jarvis, K, E., (1989) "The application of ICP- MS in the earth science" *The application of inductivity coupled plasma mass spectrometry*. Blackie, *Glasgow*, 43-70.
- Davis, B.E, (1980) "Applied soil Trace Elements" *John Wiley & Sons, New York*.
- De Mora, S, Fowler, S, w., Wyes, E., Azemard, S, (2004) "Distribution of heavy metals in marine bivalves, Fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman" *Marine Pollution Bulletin*, 49, 410-424.
- Deva Verna, D., (1993) "Trace element geochemistry of clay fraction and bulk sediments from Vamsadhara river basin, east coast of India" *Indian journal of Marine Sciences*, 22, 247-251.
- Dragovic, S., Mihailovic, V, Gajic, B., (2008) "Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclide and multivariate assessment of contamination source" *Chemosphere*, 72, issue 3, 491-495.
- Elkhabit, A.E., Bennett, L.O., Wright, J, R, (1984) "Kinetics of arsenic sorption in soils", *soil sci*, 48, 758-763.
- Energy information Adminstaration, (2008) " Report of World oil Transit Chokepoints Energy Data, Statistics and Analysis –oil".
- EPA, SW-846 METHOD 99045 (Soil), [www. EPA.gov](http://www.EPA.gov).
- Facchineli, A., Sachi, E., and Mallen, I, (2001) "Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy meyal sources in soils" *Environmental Pollution*, 114, 313-324.
- Folk, R, L, (1974) "Petrology of sedimentology Rocks" Hemphill publishing co, Austin, Texas.
- Fostier, A.H., Oliveira, S.M.B., Guimaraes, J.G.D., Forti, M.C., Melfi, A.J., Boulet, R., Favaro, D.I.T., and Krug, F.J, (1999) "Mercury accumulation in natural forest Amazonian soil" *Proc.5TH Int.Conf. Mercury as a Global Pollutant, Rio de Janeiro*, 557.
- Godó, G.H., Reisenauer, H.M, (1980) "Plant effects on soil manganese availability" *Soil Sci*, 44, 993-1000.
- Goodroad, L, (1979) "Effects of P fertilizers and lime on the As, Cr, Pb and V content of soil and plants" *J, Environ. Qual.*, 8, 493-500.
- Helling, C, S., Chester, G, Corey, R, B, (1984) "Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturation solution" *Soil SCI*, 28, 517-520.
- Hodgson, J.F., Geering, H.r., and Norvell, W.A., (1966) "Micronutrient cation complexes in soil solution" *Soil Sci., Soc. Am.Proc.*, I, 29, 665, 1965: II, 30, 723.
- Huang, P.M. (1975) "Retention of Arsenic by hydroxy-aluminium on surface of micaceous mineral colloids" *Soil Sci*. 39, 271-277.

IAEA 1998, ROPME (1997) "Contaminant Screening Project" Second Mission and Final Report, IAEA Marine Environment Laboratory, Monaco.

IAEA, 1999, IAEA/ROPME (1998) "Contaminant Screening Project" (Unpublished) First Mission Report, October 1999.

Jenner, G. J., Longrich, H. P., Jackson, S. E., and Freger B. J. (1990) "ICP-MS a powerful tool for high precision trace – element analysis in earth science from analysis of selected U.S.G.S reference samples" *Chem, Geol*, 133-148.

Jinling, L., Ming, H., Wei, H., Yifan, G. (2008) "Analysis and Assessment on heavy metal Sources in the coastal soils developed from Alluvial Deposits Using Multivariate Statistical Methods" *Journal of Hazardous Material*, 164, issue 2-3, 976-981.

Kabata-Pendias, A. (2000) "Trace Elements in Soils and Plants" Washington, Boca Raton.

Kabata-Pendias, A., Wiacek, K. (1985) "Excessive uptake of heavy metals by plants from contaminated soil" *Soil Sci.*, 4, 33-36.

Kabata-Pendias, A. Pendias, H. (1999) "Biochemistry of Trace Element" 2nd ed., Wyd. Nauk PWN. Warsaw, 400

Karbassi, A.R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, Gh. R., Nouri, J., Nematpour, K. (2007) "Metal Pollution assessment of sediment and water in the Shur River" *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/S10661-007-0102-8.

Krishnan, R. E. (1993) "Recovery of metals from sludge and waste water" Noyes Data corp, Park Ridge, Nj.

Kukal, Z., Sadallah, A. (1973) "Aeolian admixtures in the sediments of the northern Persian Gulf, Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea" ED. Purser, B, Berlin Springer verlag, 114-121.

Lafabrie, C., Pergent, G., Kantin, R., Pergent-Martini, C., Gonzalez J.-L. (2007) "Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species – Validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor" *Chemosphere* 68, 2033–2039.

Lau, S.S., Chu, L.M. (2000) "The Significance of Sediment Contamination in a Coastal Wetland, Hong Kong, China" *Wat. Res.*, 34(2): 379-386.

Lewis, D. W., Mcconchie, D. (1994) "Analytical sedimentology" Published in Great Britain by Chapman & Hall.

Lindsay, W. L. (1979) "Chemical Equilibria in soils" *Wiley-Interscience*, New York, 449.

Loska, K., Chebual, J., Pelczar, J., Wiechla, D., and Kwapulinski, J. (1995) "Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland" *Water, Air and Soil pollution*, 93, 347-365.

Maanan, M., Zourarah, B., Carruesco, C., Aajjane, A., Naud, J. (2004) "The distribution of heavy metals in Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast)" *Journal of African Earth Sciences*, 39, 473-483.

Matschullat, J. (1997) "Trace elements fluxes to the Baltic Sea: problems of input budgets" *Ambio*, 26, 363.

McKenzie, R. M. (1977) "Manganese oxides and hydroxides, in Minerals in Soil Environment" Dixon, J.B. and Weed, S.B., Eds., Soil Science Society of America, Madison, WI, 181.

Mitchell, R. L. (1974) "Trace elements in some constituent species of moorland grazing", *J.Br. Grass. Soc.*, 9, 301.

- MNR-OMAN, (1999) "Marine National Report- State of the Marine Environment in the Sultante of Oman" Ministry of Regional Municipalities and Environment, co-ordination and follow-up Department-Sultanate of Oman.
- MNR-Bahrain, (2000) "Marine National Report – State of the Marine Environment" Ministry of Housing, Municipalities and Environment, Environmental Affairs, Directorate of Environmental Assessment and Planning- Bahrain.
- MNR-Kuwait, (1999) "Marine National Report – *National Report on the state of the Marine Environment in Kuwait*" Environment Public Authority – Kuwait.
- Norrish, k, (1975) "The geochemistry and mineralogy of trace elements, in Trace elements in Soil-Plant-Animal System" Academic Press, New York, 55.
- Piotrowska, M., and Wiacek, K., (1978) "Effect of long-term phosphorus fertilization on the content of the some minor elements in soil and plants" *Rocz. Nauk Roln.*, 103a, 7.
- Praveena, S, M., Ahmed, A., Radojevic, M, Abdullah, M, H., Aris, A, Z, (2007) "Factor-Cluster Analysis and enrichment study of Mangrove sediments, An example from Mengkabong, Sabah" *The Malaysian journal of Analytical sciences*, 11, 421-430.
- ROPME (The Regional organization for the prtotection of marine environment), (1999), "manual of oceanographic observation and pollutant analysis methods", ROPME, Kuwait.
- Reiman, C, Caritat, R, (1998) "Chemical elements in the Environment" Springer-Verlag Berlin Hider berg New York, 398.
- Rey, R, D., Fierros, F, D, Barral, M, T, (2009) "Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach" *Micro chemical journal*, 91, 253-263.
- Reynolds, R, M, (1993) "Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hurmuz and the Gulf of Oman, Result from Mt Mitchell Expeditio" *Mar. Pollt .Bul.* 27: 35-59. 1
- Ribeiro, Jr., M.G., Silva Filho, E.v., Souza M., and Lacerda.L.D, (1999) "Mercury in soils from central Amazon" *Proc.5TH Int.Conf. Mercury as a Global Pollutant, Rio de Janeiro*, 558-560.
- Ruiz, F, (2001) "Trace metals in Estuarine Sediments from the Southwestern Spanish Coast" *Marine pollution Bullentin*, 42, 482-490.
- Sadiq, M, Alam, I, A., Zaidi, T, H, (1991) "Cadmium bioaccumulation by clam dwelling in different salinity regimes along the Soudi coast of Arabian Gulf" *Water, Air and soil pollution.* 181-190.
- Samanta, G., Mangal, B.K., Roy Chowdhury, T., Biswr, B.K., Chowdhury, U.K., Basu, G.K., Chana, C.R., Lodh, D., Saha, K, C., and Chakraborti, D, (1999) "Arsenic in groundwater and suffering of people in eight districts of West Bengal, India", july 11-15, *Proc. 5Th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elements, Vienna*, 256.
- Satyanarayana, D., Panigrahy, P.K., Sahu, S.D, (1994) "Metal pollution in Harborand coastal sediments of visakhpatnam, east coast of India" *Indian journal of marine science*, 23, 52-54.
- Schnitzer, M. Krndorff, H, (1981) "Reactions of fluvic acid with metal ions" *Water Air Soil Pollut.*, 15, 97-100.
- Selvaraj, k., Mohan, R, V., Szefer, P, (2004) "Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the bay of Bengal, IndiaGeochemical and statistical approaches" *Marine pollution bulletin*, 49, 174-185.
- Shcherbakov, V.P., Dvornikov, A. T., and Zakrenichnya, G, I., (1970) "New data on occurrence and forms of mercury in Donbas coal" *Dopov. ANUR.*
- Shriadab M, (1999) "Heavy metals in mangrove sediments of the United Arab Emirates Shoreline (Arabian Gulf) " *Waters Air and Soil Pollution*, 116, 523-534.

Siebold, E., Dister, L., Euterer, D., Lang, H., Muller, D., Warner, F, (1973) "Holocene sediments and sedimentary processes in the Iranian part of the Persian gulf" In purser, H, b, (ed), *The Persian GULF*, Springer-Verlag.

Stephenson, T, (1987) "Heavy metal in waste water and sludge Treatment processes", 1, *CRC press. Boca Roton, FL*, 51.

Vangronsveld, J, (1998) "Case studies in the field-arsenic contaminated kitchen gardens, in *Metal – Contaminated Soils: In Situ Inactivation and phytorestoration*", Eds., Springer-Verlag, Berling.

WHO, (2006), "dirnking water quality", www. WHO. Int.

Yin, y., Allen, HE., Huang, C.P., and Sanders, P.F, (1997) "Adsorption/desorption isotherms of Hg (II) " *Soil Sci*, 162, 35 .

Zhang, X.P., Deng, W., Yang, X.M, (2002) "The background concentration of 13 soil trace elements and their relationship to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China" *Journal of Asian Earth sciences*, vol 21. pp 167-174.

Zhou, H.Y., Peng, X.T., Pan, J, M., (2004) "Distribution, Source and enrichment of some chemical elements in sediments of Pear River Estuary, China" *Continental shelf research*, 24, 1857-1875.

Zourarah , B ., Maanan , M ., Carruesco , C ., Aajjane , A ., Mehdi , K., ConceiÇão Freitas, M, (2007), "Fifty year sedimentary of heavy metal pollution in the lagoon of Oulidia (Moroccan Atlantic coast) " *Estuarine Costal and Shelf Science*, 72, 359-369

پایگاه‌های اینترنتی مورد استفاده:

<http://www.amar.org.ir>

پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران

<http://www.iranhydrology.com>

پایگاه اینترنتی آشناسی ایران

www.NGDIR.COM

پایگاه اینترنتی مرکز علوم داده‌های زمین

Wikipedia, 2007, <http://en.wikipedia.org>

ویکیپدیا

Wikipedia, 2008, <http://en.wikipedia.org>

Wikipedia, 2009, <http://en.wikipedia.org>

Abstract

Environmental pollution is of major problems in the modern and developing societies. Entrainment of heavy metals into the food chain is an environmental issue whose hazards have attracted many attentions from researchers. Strait of Hormoz is a major waterway for oil cargo where pollution by wide variety of contaminants including heavy metals is expected. The present research dealt with the evaluation of pollution in superficial sediments by heavy metals in Jask and Sirik, two ports located in the east coast of Strait of Hormoz. Sediment samples were taken from 16 stations where the water depth was 5 and 10 m along the coastline of Jask and Sirik. Sedimentological characteristics of the samples including size, pH, and density were determined using standard methods. ICP-MS was employed to measure the concentration of heavy metals. The collected data was statistically analyzed and interpreted and the variation of concentrations was drawn by MS-Excel 2003 for different stations in Jask and Sirik. Also, to show a better presentation of heavy metals distribution in 5 and 10 m of water depths, iso-concentration lines were plotted using Surfer 8.0. Having geological and mineralogical information and the land use in the study area, geo-statistical methods were employed in order to identify the sources of heavy metals in the sediments. The average values for the concentration of Cr, Fe, Mn, V, Ni, Pb, Hg, and As were 70.25, 2.45, 665.63, 34.25, 97.33, 10.44, 0.03, and 5.29 (all in ppm) in Sirik and 67.5, 2.88, 637.87, 39.12, 97.4, 13.03, 0.03, and 4.52 (all in ppm) in Jask respectively. A comparison between the concentration of elements in the two ports showed that the average concentration of As, Mn, and Cr in Sirik were higher while the concentration of Hg, Pb, Ni, V, and Fe in Jask were more than in Sirik sediments. Contamination factor showed a low contamination level for all elements (except for Ni) in both regions in superficial sediments in Jask and Sirik. Nickel contamination factor (1.42) indicated a medium contamination in both ports which implies more probable oil pollution in these areas. Contamination degrees in the stations were determined which indicate a low contamination in the stations. The sources of heavy metals were studied and the results showed that different anthropogenic and geogenic sources were responsible for the presence of heavy metal in the superficial sediments.

Keywords: Pollution, heavy metals, sediments, Sirik Port, Jask Port.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
M.Sc Thesis

**Evaluation of heavy metals pollution in surface sediments of coast line
of north-east of Strait of Hormoz and its origin**

Zahra Pourrahim Najafabadi

Supervisors:
Dr. B. Dahrazma
Dr. H. Ghasemi

Advisors:
Dr. M. S. Mortazavi
Dr. B. Taghipoor

July 2009