

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

عنوان

ارزیابی غلظت عناصر سنگین و تعیین منشاء احتمالی آنها با توجه به جنس  
سازندهای زمین شناسی در رسوبات بستر رودخانه هراز (نوررود)

رضا نعیمی

استاد راهنما

دکتر فرج اله فردوست

استاد مشاور

دکتر هادی قربانی

تابستان ۸۹

تقدیم بہ:

حامیان زندگی ام

پدر و مادر دلسوز و مہربانم

## تشکر و قدردانی

«ن، وَالْقَلَمَ وَمَا يَسْطُرُونَ»

بعد از حمد و سپاس از یگانه ایزد متعال که بر من منت نهاد و این قدرت و توان را به من عنایت نمود تا این کار را به سرانجام رسانم، بر خود لازم می‌دانم تا از کمک‌ها و راهنمایی‌های اساتید و دوستان بزرگووارم که با آموختن درس‌های علم و زندگی مرا بنده خود نموده‌اند، قدردانی نمایم.

در ابتدا از زحمات و هم‌فکری استادانهٔ استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر فردوست که به عنوان راهنمای این پایان‌نامه مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم. زحمات و راهنمایی‌های راهگشای جناب آقای دکتر قربانی در خور تقدیر و تشکر می‌باشد؛ لذا بر خود لازم می‌دانم تشکر ویژه و صمیمانه‌ای از این استاد گرامی داشته باشم.

بر هیچکس پوشیده نیست که تمامی اساتید و کارکنان دانشکده، مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داده‌اند؛ پس لازم می‌دانم از تمامی اساتید و کارکنان خصوصاً جناب آقای دکتر صادقیان، دکتر قشلاقی، آقای شاه‌حسینی، سرکار خانم مهندس سعیدی و مهندس فارسی، جناب آقای مهندس میرباقری، مهندس خانعلی‌زاده و مهندس مسکنی، تقدیر و تشکر نمایم. از یاران قدیمی دوران تحصیلی‌ام؛ آقایان زارع، رخشانی و رحیمی و به ویژه آقای نورافکن که سالهاست در کنار ایشان زندگی و تحصیل کرده‌ام و مرا صمیمانه یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. زحمات آقایان عرفانی، شریفی، ثوابی و خانم دم‌شناس نیز قابل تقدیر و تشکر می‌باشد.

## چکیده

در این تحقیق غلظت عناصر سنگین (Zn و V, Pb, Ni, Mn, Cu, Cr, Co, Cd, As) رسوبات حوضه آبخیز نوررود و تعیین منشأ احتمالی آنها، با توجه به جنس سازندهای زمین شناسی منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است. حوضه آبخیز نوررود با مساحتی در حدود ۱۳۰۰۲۵ هکتار، در جنوب شهرستان نور و جنوب غرب شهرستان آمل قرار گرفته است. در این رساله پس از مطالعه تحقیقات انجام شده پیرامون موضوع مورد بررسی، در ایران و سایر نقاط جهان، با استفاده از نقشه‌ها و گزارشات، مشاهدات صحرایی، مطالعه مقاطع نازک سنگی و تعیین کانی‌های سنگین رسوبات محدوده، به بررسی ویژگی‌های زمین شناسی منطقه پرداخته شد. جهت بررسی ارتباط غلظت عناصر سنگین با واحدهای زمین شناسی منطقه، علاوه بر آنالیز شیمیایی رسوبات به روش ICP-MS، نمونه‌ها مورد آزمایشات دانه سنجی، تعیین pH و تعیین درصد ماده آلی نیز قرار گرفتند. ضریب همبستگی، فاکتور غنی شدگی (EF)، شاخص زمین انباشت (I<sub>geo</sub>)، فاکتور آلودگی (CF) و درجه آلودگی (C<sub>d</sub>) از جمله فاکتورهای ژئوشیمیایی و آنالیز خوشه‌ای (CA) و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) از روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق می‌باشند. دانه سنجی رسوبات این حوضه نشان داد ماسه، بیشترین جزء رسوبات را تشکیل داده و بعد از آن گراول و گل (مجموع ذرات ریزدانه) قرار گرفته‌اند. مواد آلی رسوبات دامنه‌ای، بین ۲/۶٪ (در نمونه B<sub>5</sub>) تا ۱۱/۴٪ (در نمونه N<sub>7</sub>) را شامل شده در صورتی که pH تمامی نمونه‌ها که قلیایی می‌باشند تنها ۰/۷۵ واحد تغییر را نشان می‌دهند. مطالعه آنالیز نمونه‌ها نشان داد آرسنیک، کادمیوم، کبالت، منگنز، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب با دارا بودن غلظت‌های ۱۳/۲۳ ppm، ۰/۶۱ ppm، ۱۵/۳۹ ppm، ۷۸۲/۶ ppm، ۲۲/۹۴ ppm و ۱۰۷ ppm و ۱۲۱ ppm، مقادیری بیش از میانگین رسوب جهانی را نشان می‌دهند. کادمیوم و آرسنیک با ۳/۵۸ و ۱/۷ برابر، بیشترین افزایش‌ها را در بین عناصر مورد مطالعه نشان می‌دهند. فاکتور غنی شدگی عناصر نشان داد تمامی عناصر بجز کادمیوم (EF = ۲/۲۵)، دارای غنی شدگی اندک تا عدم غنی شدگی می‌باشند. شاخص زمین انباشت نیز برای تمامی عناصر، بجز کادمیوم (I<sub>geo</sub> = ۱/۰۷) و آرسنیک (I<sub>geo</sub> = ۰/۱۷) مقادیر منفی که بیان کننده عدم آلودگی آنها می‌باشد. فاکتور آلودگی عناصر و درجه آلودگی رسوبات نیز به ترتیب با دارا بودن میانگین مقادیر ۱ < CF < ۰ و C<sub>d</sub> < ۶، مقادیر آلودگی اندک تا عدم آلودگی رسوبات را نشان می‌دهند. براساس نتایج حاصله از این تحقیق، تمامی غلظت‌های عناصر مورد بررسی، به عوارض طبیعی و واحدهای زمین شناسی منطقه نسبت داده شد. فراوانی‌های مشاهده شده در As و Cd نیز به توانایی رسوبات شیل و ماسه سنگی سازند شمشک در تجمع اولیه این مواد مرتبط دانسته شد.

**کلید واژه :** عناصر سنگین، آلودگی، فاکتور غنی شدگی، روش‌های آماری، رسوب، رودخانه نوررود

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- بررسی خطرات آلودگی رسوبات سطحی رودخانه هراز به عناصر سنگین و اثرات سوء آن بر اکوسیستم دریای

خزر

اولین همایش ملی - منطقه ای اکولوژی دریای خزر ۱۳۸۹

- بررسی عناصر سنگین در بار رسوبی رودخانه هراز

اولین همایش ملی - منطقه ای اکولوژی دریای خزر، ۱۳۸۹

- بررسی نقش عوامل طبیعی بر آلودگی منابع آب سطحی رودخانه هراز

اولین همایش ملی - منطقه ای اکولوژی دریای خزر، ۱۳۸۹

- بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر ( Ba, Ni, V ) در رسوبات سطحی رودخانه هراز (نورود)

چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، آبان ۱۳۸۹، دانشگاه تهران

## فهرست مطالب

### فصل اول: کلیات

۱	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- بیان مسئله.....
۲	۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....
۳	۴-۱- اهداف تحقیق.....
۴	۵-۱- روش انجام تحقیق.....
۵	۶-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۷	۷-۱- شرایط آب و هوایی منطقه.....
۸	۸-۱- پوشش گیاهی منطقه.....
۱۰	۹-۱- زمین ریخت شناسی منطقه.....
۱۱	۱۰-۱- خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز نوررود.....
۱۳	۱۱-۱- منابع آب و آبیاری.....
۱۵	۱۲-۱- پیشینه تحقیق.....
۱۸	۱۳-۱- ساختار پایان نامه.....

### فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

۱۹	۱-۲- مقدمه.....
۱۹	۲-۲- اهمیت مطالعات رسوب شناسی و مطالعات زیست محیطی.....
۲۰	۳-۲- انواع آلاینده‌ها در رسوبات.....
۲۱	۱-۳-۲- فعالیت‌های انسان ساخت.....
۲۴	۲-۳-۲- آلودگی های طبیعی.....

۲۷	.....۴-۲- فلزات سنگین در رسوبات.....
۲۹	.....۵-۲- عوامل ژئوشیمیایی مؤثر در رسوبگذاری عناصر در محیط‌های آبگین.....
۳۱	.....۶-۲- ژئوشیمی فلزات سنگین.....
۳۲	.....۱-۶-۲- آرسنیک.....
۳۳	.....۲-۶-۲- کادمیوم.....
۳۴	.....۳-۶-۲- کبالت.....
۳۵	.....۴-۶-۲- کروم.....
۳۶	.....۵-۶-۲- مس.....
۳۷	.....۶-۶-۲- منگنز.....
۳۸	.....۷-۶-۲- نیکل.....
۳۹	.....۸-۶-۲- سرب.....
۴۰	.....۹-۶-۲- وانادیوم.....
۴۱	.....۱۰-۶-۲- روی.....

### فصل سوم: مواد و روش ها

۴۲	.....۱-۳- مقدمه.....
۴۲	.....۲-۳- نمونه برداری.....
۴۵	.....۳-۳- خصوصیات رسوب شناختی نمونه ها.....
۴۵	.....۱-۳-۳- دانه بندی رسوبات.....
۴۶	.....۲-۳-۳- تعیین pH رسوبات.....
۴۷	.....۳-۳-۳- تعیین درصد مواد آلی.....
۴۷	.....۴-۳-۳- جداسازی کانی های سنگین.....
۴۸	.....۴-۳- تعیین غلظت عناصر سنگین.....



۴۸	..... ۱-۴-۳- آنالیز به روش پلاسماي جفت شده القائي (ICP)
۴۹	..... ۵-۳- تهیه مقطع نازک سنگي
۴۹	..... ۶-۳- روش های بررسی معیارهای ژئوشیمیایی
۴۹	..... ۱-۶-۳- فاکتور غنی شدگی (Enrichment Factor)
۵۱	..... ۲-۶-۳- شاخص زمین انباشت (Geo accumulation Index)
۵۲	..... ۳-۶-۳- فاکتور آلودگی (Contamination Factor) و درجه آلودگی (Contamination Degree)
۵۳	..... ۴-۶-۳- روش های آماری تحلیل داده ها
۵۴	..... ۱-۴-۶-۳- ضریب همبستگی (Correlation Coefficient)
۵۴	..... ۲-۴-۶-۳- تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis)
۵۵	..... ۳-۴-۶-۳- آنالیز خوشه ای (Cluster Analysis)

### فصل چهارم: زمین شناسی منطقه

۵۶	..... ۱-۴- مقدمه
۵۶	..... ۲-۴- توالی چینه شناسی عمومی منطقه
۵۸	..... ۳-۴- پالئوژئوئیک
۵۸	..... ۱-۳-۴- سازند دورود (پرمین زیرین)
۵۹	..... ۲-۳-۴- سازند روته (پرمین میانی - بالایی)
۵۹	..... ۳-۳-۴- سازند نسن (پرمین بالایی)
۶۰	..... ۴-۴- مزوزوئیک
۶۱	..... ۱-۴-۴- تریاس
۶۱	..... ۲-۴-۴- ژوراسیک
۶۱	..... ۱-۲-۴-۴- سازند شمشک
۶۵	..... ۲-۲-۴-۴- سازند دلیچای

۶۵	..... سازند لار ۳-۲-۴-۴
۶۶	..... کرتاسه ۳-۴-۴
۶۹	..... سنوزوئیک در البرز ۵-۴
۶۹	..... سازند فجین ۱-۵-۴
۷۰	..... سازند زیارت ۲-۵-۴
۷۰	..... سازند کرج ۳-۵-۴
۷۷	..... زمین ساخت منطقه ۷-۴
۷۷	..... نوار کوهزایی البرز ۱-۷-۴
۷۸	..... زمین ساخت و عناصر ساختاری حوضه نوررود ۲-۷-۴
۷۸	..... چین‌ها ۱-۲-۷-۴
۷۹	..... گسل‌ها ۲-۲-۷-۴
۷۹	..... زمین شناسی اقتصادی ۸-۴

### فصل پنجم: بحث و بررسی

۸۲	..... مقدمه ۱-۵
۸۲	..... زیر حوضه آزادکوه - نسن ۲-۵
۸۳	..... خصوصیات رسوب شناختی زیر حوضه آزادکوه - نسن ۱-۲-۵
۸۳	..... غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه آزادکوه - نسن ۲-۲-۵
۸۴	..... پارامترهای ژئوشیمیایی زیر حوضه آزادکوه - نسن ۳-۲-۵
۸۵	..... زیرحوضه کلاک ۳-۵
۸۵	..... خصوصیات رسوب شناختی در زیر حوضه کلاک ۱-۳-۵
۸۶	..... غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه کلاک ۲-۳-۵
۸۷	..... پارامترهای ژئوشیمیایی زیر حوضه کلاک ۳-۳-۵

۸۸	..... ۴-۵- زیرحوضه یاسل
۸۸	..... ۱-۴-۵- بررسی خصوصیات رسوب شناختی زیر حوضه یاسل
۸۹	..... ۲-۴-۵- غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه یاسل
۹۰	..... ۳-۴-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی زیر حوضه یاسل
۹۰	..... ۵-۵- مجموعه زیرحوضه های شرقی
۹۱	..... ۱-۵-۵- خصوصیات رسوب شناختی زیر حوضه های شرقی
۹۲	..... ۲-۵-۵- غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه های شرقی
۹۳	..... ۳-۵-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی زیر حوضه های شرقی
۹۴	..... ۶-۵- زیرحوضه اوزرود
۹۵	..... ۱-۶-۵- خصوصیات رسوب شناختی زیر حوضه اوزرود
۹۶	..... ۲-۶-۵- غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه اوزرود
۹۷	..... ۳-۶-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه اوزرود
۱۰۰	..... ۷-۵- زیرحوضه کلیک
۱۰۰	..... ۱-۷-۵- خصوصیات رسوب شناختی زیر حوضه کلیک
۱۰۲	..... ۲-۷-۵- بررسی میزان عناصر سنگین در زیر حوضه کلیک
۱۰۳	..... ۳-۷-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی زیر حوضه کلیک
۱۰۷	..... ۸-۵- رودخانه نوررود
۱۰۷	..... ۱-۸-۵- خصوصیات رسوب شناختی رودخانه نوررود
۱۰۹	..... ۲-۸-۵- غلظت عناصر سنگین در رودخانه نوررود
۱۱۴	..... ۳-۸-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی در رودخانه نوررود
۱۲۰	..... ۴-۸-۵- بررسی همبستگی عناصر در حوضه آبریز نوررود
۱۲۲	..... ۹-۵- آنالیز خوشه ای (CA)
۱۲۳	..... ۱۰-۵- تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

۱۲۵ ..... ۱۱-۵- کانی های سنگین

### فصل ششم: جمع بندی، نتیجه گیری، و پیشنهادات

۱۲۶ ..... ۱-۶- مقدمه

۱۲۶ ..... ۲-۶- ارزیابی مطالعات انجام شده و پارامترهای اندازه گیری در حوضه آبریز نوررود

۱۲۷ ..... ۱-۲-۶- تعیین غلظت عناصر سنگین رسوبات

۱۲۷ ..... ۲-۲-۶- تعیین خصوصیات رسوب شناختی

۱۲۷ ..... ۱-۲-۲-۶- دانه سنجی

۱۲۸ ..... ۲-۲-۲-۶- تعیین pH

۱۲۸ ..... ۳-۲-۲-۶- درصد مواد آلی

۱۲۸ ..... ۳-۲-۶- سنگ شناسی و کانی شناسی

۱۲۸ ..... ۲-۳-۲-۶- تعیین کانی سنگین

۱۲۹ ..... ۴-۲-۶- ضریب همبستگی

۱۲۹ ..... ۵-۲-۶- آنالیز خوشه‌ای

۱۳۰ ..... ۶-۲-۶- فاکتور غنی شدگی

۱۳۰ ..... ۷-۲-۶- شاخص زمین انباشت

۱۳۰ ..... ۸-۲-۶- فاکتور آلودگی

۱۳۱ ..... ۹-۲-۶- درجه آلودگی

۱۳۲ ..... ۳-۶- پیشنهادات

۱۳۳ ..... منابع

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه ..... ۶
- شکل (۲-۱): راه های ارتباطی منطقه مورد مطالعه ..... ۷
- شکل (۳-۱): دره های عمیق موجود در منطقه ..... ۱۱
- شکل (۱-۳): موقعیت نمونه ها بر روی نقشه حوضه نوررود ..... ۴۳
- شکل (۱-۴): نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۵۷
- شکل (۲-۴): مقاطع سنگی از ماسه سنگ های سازند شمشک ..... ۶۴
- شکل (۳-۴): نمایی از رخنمون صحرایی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه ..... ۶۴
- شکل (۴-۴): رخنمون صحرایی از سنگ های آتشفشانی کرتاسه  $K_2^v$  ..... ۶۷
- شکل (۵-۴): مقطع سنگی از سنگ های آتشفشانی کرتاسه  $K_2^v$  ..... ۶۷
- شکل (۶-۴): دامنه های پرشیب و توپوگرافی مرتفع آهک های کرتاسه ..... ۶۸
- شکل (۷-۴): نمایی از گستردگی رخنمون سازند کرج در محدوده مورد مطالعه ..... ۷۲
- شکل (۸-۴): تصویری از توالی لایه بندی سازند کرج در منطقه مورد مطالعه ..... ۷۲
- شکل (۹-۴): مقاطع سنگی از سازند کرج ..... ۷۳
- شکل (۱۰-۴): رخنمون صحرایی از واحدهای ولکانیکی حوضه کلیک ..... ۷۵
- شکل (۱۱-۴): مقطع سنگی از سنگ های ولکانیکی حوضه کلیک ..... ۷۵
- شکل (۱۲-۴): رخنمون صحرایی از بازالت ناحیه (حوضه اوزرود) ..... ۷۶
- شکل (۱۳-۴): مقطع سنگی از بازالت ناحیه - حوضه اوزرود ..... ۷۶
- شکل (۱۴-۴): نمایی از رخنمون های واحدهای گچی زیر حوضه کلیک ..... ۷۷
- شکل (۱۵-۴): نقشه گسل های منطقه مورد مطالعه ..... ۸۱
- شکل (۱-۵): مقایسه غلظت عناصر در میانگین نمونه های زیر حوضه اوزرود با نمونه خروجی حوضه (O<sub>۱</sub>)... ۹۸
- شکل (۲-۵): مقایسه غلظت عناصر در میانگین نمونه های زیر حوضه کلیک با نمونه خروجی زیر حوضه (KO) ..... ۱۰۵

- شکل (۳-۵): مقایسه میانگین غلظت عناصر نمونه های رودخانه نررود با میانگین رسوب جهانی ..... ۱۱۲
- شکل (۴-۵) نمودار میانگین فاکتور غنی شدگی عناصر در رودخانه نررود ..... ۱۱۳
- شکل (۵-۵) مقادیر میانگین شاخص زمین انباشت عناصر در رودخانه نررود ..... ۱۱۵
- شکل (۶-۵) نمودار میانگین فاکتور آلودگی عناصر در رودخانه نررود ..... ۱۱۷
- شکل (۷-۵) نمودار روند کاهشی میانگین فاکتور آلودگی نمونه های رودخانه نررود ..... ۱۱۸
- شکل (۸-۵): شکل آنالیز خوشه ای عناصر در کل حوضه آبرگیر نررود ..... ۱۲۱
- شکل (۹-۵) نمودار سه بعدی PCA برای عناصر حوضه آبرگیر نررود ..... ۱۲۳
- شکل (۱۰-۵): بلورهای پیریت، بیوتیت و تورمالین در رسوب برداشت شده از رودخانه نررود ..... ۱۲۴
- شکل (۱۱-۵): بلور اکسید آهن در رسوبات برداشت شده از حوضه کلیک ..... ۱۲۴

## فهرست جداول

- جدول (۱-۱): میانگین بلند مدت ماهانه، سالانه و فصلی دما، رطوبت و بارندگی ایستگاه هواشناسی بلده .. ۹
- جدول (۲-۱): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز نوررود ..... ۱۲
- جدول (۳-۱): تفکیک متوسط آبدهی ماهیانه ایستگاه بلده و رزن ..... ۱۳
- جدول (۴-۱): مشخصات رودخانه‌های مهم حوضه نوررود ..... ۱۴
- جدول (۱-۲): غلظت برخی از فلزات سنگین رایج در کودها و منابع مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی ۲۳
- جدول (۲-۲): ترکیبات متداول ژئوشیمیایی ..... ۲۶
- جدول (۱-۳): محل و موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری ..... ۴۴
- جدول (۲-۳): نامگذاری ذرات رسوبی بر اساس اندازه آنها و روش اندازه‌گیری آنها ..... ۴۶
- جدول (۳-۳): رده بندی مقادیر فاکتور غنی شدگی ..... ۵۰
- جدول (۴-۳): رده بندی مولر بر مبنای مقدار شاخص زمین انباشت ..... ۵۱
- جدول (۵-۳): رده بندی هاکنسون (Hakanson 1980) بر مبنای ضریب آلودگی و درجه آلودگی ..... ۵۳
- جدول (۱-۴): ویژگی‌های صحرایی - میکروسکوپی رسوبات شمشک در البرز مرکزی ..... ۶۳
- جدول (۲-۴): اسامی و نوع معادن موجود در منطقه ..... ۸۰
- جدول (۱-۵): خصوصیات دانه سنجی رسوب و مقادیر pH و مواد آلی زیر حوضه آزادکوه- نسن ..... ۸۲
- جدول (۲-۵): میزان غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه آزاد کوه- نسن ..... ۸۳
- جدول (۳-۵): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه گیری شده در زیر حوضه آزاد کوه - نسن ..... ۸۳
- جدول (۴-۵): خصوصیات دانه سنجی رسوب و مقادیر pH و ماده آلی در زیر حوضه کلاک ..... ۸۴
- جدول (۵-۵): میزان غلظت عناصر زیر حوضه کلاک ..... ۸۵
- جدول (۶-۵): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه گیری شده در زیر حوضه کلاک ..... ۸۶
- جدول (۷-۵): خصوصیات دانه سنجی رسوب و مقادیر pH و ماده آلی در زیر حوضه یاسل ..... ۸۷

- جدول (۵-۸): میزان غلظت عناصر سنگین زیر حوضه یاسل ..... ۸۸
- جدول (۵-۹): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه گیری شده در زیر حوضه یاسل ..... ۸۹
- جدول (۵-۱۰): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی در زیر حوضه‌های شرقی ..... ۹۰
- جدول (۵-۱۱): میزان غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه‌های شرقی ..... ۹۱
- جدول (۵-۱۲): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه گیری شده در زیر حوضه‌های شرقی ..... ۹۲
- جدول (۵-۱۳): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی نمونه‌ها در زیر حوضه اوزرود .... ۹۴
- جدول (۵-۱۴): غلظت عناصر سنگین نمونه‌های زیر حوضه اوزرود ..... ۹۵
- جدول (۵-۱۵): غلظت نمونه بازالت برداشت شده از زیرحوضه اوزرود (نمونه طبیعی) ..... ۹۶
- جدول (۵-۱۶): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه گیری شده در زیر حوضه اوزرود ..... ۹۷
- جدول (۵-۱۷): میزان درجه آلودگی در رسوبات زیر حوضه اوزرود ..... ۹۷
- جدول (۵-۱۸): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی نمونه‌ها در زیر حوضه کلیک .... ۱۰۰
- جدول (۵-۱۹): میزان غلظت عناصر سنگین در زیر حوضه کلیک ..... ۱۰۱
- جدول (۵-۲۰): غلظت عناصر در نمونه خاک برجای برداشت شده از حوضه کلیک ..... ۱۰۲
- جدول (۵-۲۱): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه گیری شده در زیر حوضه کلیک ..... ۱۰۴
- جدول (۵-۲۲): درجه آلودگی در زیر حوضه کلیک ..... ۱۰۵
- جدول (۵-۲۳): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی در نمونه‌های رودخانه نوررود .... ۱۰۷
- جدول (۵-۲۴): غلظت عناصر مورد مطالعه در ایستگاه‌های نمونه برداری رودخانه نوررود ..... ۱۰۹
- جدول (۵-۲۵): غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های برجا (شیل و ذغال سنگ) برداشت شده از سازند شمشک ..... ۱۱۱
- جدول (۵-۲۶): مقادیر فاکتور غنی شدگی (EF) رودخانه نوررود ..... ۱۱۳
- جدول (۵-۲۷): مقادیر شاخص زمین انباشت عناصر رودخانه نوررود ..... ۱۱۵
- جدول (۵-۲۸): مقادیر فاکتور و درجه آلودگی نمونه‌های رودخانه نوررود ..... ۱۱۷
- جدول (۵-۲۹): مقادیر میانگین درجه آلودگی نمونه‌های برداشت شده از رودخانه نوررود ..... ۱۱۸



- جدول (۳۰-۵): همبستگی عناصر مورد مطالعه در حوضه آبریز نوررود..... ۱۲۰
- جدول (۳۱-۵): نتایج حاصل از آنالیز مولفه اصلی نمونه‌های حوضه آبریز نوررود..... ۱۲۲

## فصل اول: کلیات

### ۱-۱- مقدمه

هرگونه تغییر در ویژگی‌های آب، خاک و مواد غذایی که تأثیر نامطلوب بر روی سلامت محیط زیست، فعالیت‌های بشر و سایر جانداران داشته باشد، آلودگی محسوب می‌شود. بسیاری از آلودگی‌های تولید شده و پراکنده در محیط زیست، وارد رودخانه‌ها شده و در نهایت (بسیاری از آنها) با انتقال به دریا، آلودگی این محیط را به دنبال خواهند داشت. شستشوی اراضی آلوده صنعتی و کشاورزی، معمولاً حجم گسترده‌ای از مواد آلاینده را با خود منتقل می‌نماید. به دلیل توانایی اندک آب‌های طبیعی (دارای pH خنثی تا قلیایی) در نگه داشتن و انتقال مواد آلاینده، معمولاً جهت بررسی آلودگی بلند مدت یک رودخانه، مطالعه کیفی و کمی رسوبات و کمک گرفتن از مطالب ذخیره شده و تاریخ ثبت شده در این مواد استفاده می‌گردد. در واقع آنالیز و مطالعه رسوبات، علاوه بر نوع و میزان آلودگی، منشأ تولید کننده آلودگی را نیز تا حد قابل قبولی مشخص می‌نماید. فلزات سنگین موجود در رسوبات که می‌تواند در ابتدا از فرسایش و شستشوی عوارض طبیعی پوسته زمین ناشی شده و سپس توسط فعالیت‌های انسان‌زاد (شهرسازی، صنعت، معدن، کشاورزی) تشدید شده باشند، از مهمترین آلاینده‌های رودخانه‌ها و محیط‌های آبی محسوب می‌شوند. عدم تجزیه‌پذیری و ماندگاری طولانی مدت، انتقال از فاز جامد به فاز مایع، توانایی تجمع در زنجیره غذایی موجودات زنده و انتقال به انسان - ها، از جمله موارد اهمیت آلاینده‌گی فلزات سنگین محسوب شده و ضرورت مطالعه آنها را شدت می‌بخشد.

در این مطالعه غلظت عناصر سنگین  $\text{Mn}$  و  $\text{Cu}$ ،  $\text{Pb}$ ،  $\text{Cd}$ ،  $\text{As}$ ،  $\text{Zn}$ ،  $\text{V}$ ،  $\text{Ni}$ ،  $\text{Cr}$ ،  $\text{Co}$  در این رسوبات حوضه آبرگیر نوررود که از بزرگترین زیرحوضه‌های رودخانه هراز (به عنوان یکی از سه رودخانه اصلی حاشیه جنوبی دریای خزر می‌باشد) با تمرکز بر روی اثرات آلاینده‌گی واحدهای زمین شناسی و عوارض

طبیعی منطقه بر بروز آلودگی رسوبات مورد بررسی قرار گرفته است. فقدان فعالیت‌های صنعتی و نبود مراکز جمعیتی قابل توجه، ارتباط آلودگی‌های رودخانه به عوارض طبیعی را محتمل‌تر می‌نماید.

## ۱-۲- بیان مسئله

رودخانه‌ها یکی از اجزاء اکوسیستم‌های آبی بوده که به دلیل تأمین آب و منابع غذایی انسان‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند. مطالعه کیفیت فاز جامد و مایع رودخانه‌ها، کلیاتی از ویژگی‌های کیفی و اثرات آلاینده‌ها را اراضی اطراف را ارائه می‌نماید. به دلیل اثرات شدید تغییرات فصلی در کیفیت و کمیت فاز مایع رودخانه‌ها، معمولاً جهت انجام مطالعات زیست محیطی از رسوبات که دارای ثبات بیشتری نسبت به فاز مایع بوده و قابلیت ذخیره‌سازی اطلاعات را دارند، استفاده می‌گردد. فعالیت‌های صنعتی و معدنی به همراه عوارض طبیعی و واحدهای زمین شناسی هر منطقه می‌توانند یکی یا مجموعه‌ای از منابع آلاینده رودخانه‌ها محسوب شوند.

گسترده‌گی حوضه آبرگیر و تنوع واحدهای زمین شناسی (بویژه حضور سازندهای آلاینده و زودفرسایی مانند سازند شمشک) منطقه، احتمال ایجاد آلودگی طبیعی رودخانه نوررود را قوت می‌بخشد. در این مطالعه پس از ارائه اهمیت مطالعات رسوب شناسی و نقش فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها در آلودگی رودخانه‌ها، به بررسی ویژگی‌های طبیعی و زمین شناسی منطقه پرداخته شده و غلظت و تغییرات عناصر سنگین موجود در حوضه آبرگیر رودخانه نوررود، با برداشت و آنالیز ۳۶ نمونه رسوب از کل حوضه، و ۴ نمونه خاک برجا (از واحدهای سنگی) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

## ۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

از دیرباز رودخانه‌ها نقش مهمی در جوامع، بویژه برای افرادی که در مجاور آن ساکن هستند، ایفا می‌کند. رودخانه‌ها به عنوان بخشی از آب‌های شیرین و سطحی کره زمین، پتانسیل بالایی برای آلوده

شدن دارند. آلودگی رودخانه‌ها هم بطور مستقیم و هم بطور غیرمستقیم بر انسان تأثیر خواهد گذاشت.

علاوه بر تأثیر انسان بر روی محیط زیست و آلودگی آن، گاهی تنها عوامل طبیعی سبب آلودگی آب و خاک و رسوب می‌شوند و انسان مداخله‌ای در آن ندارد. حوضه آبرگیر رودخانه نوررود از دیدگاه زمین-شناسی دارای ویژگی‌های خاص و تنوع سنگ شناسی می‌باشد، که می‌تواند بر روی محیط رودخانه تأثیرگذار باشد. از جمله ویژگی‌های این حوضه می‌توان به تنوع سازندهای زمین شناسی از قبیل رسوبات شیلی و ذغالی سازند شمشک، واحدهای آتشفشانی شامل آندزیت و بازالت، توف‌های کرج، گچ‌های ائوسن، نفوذی‌های مختلف و سازندهای آهکی و دولومیتی اشاره کرد.

از آنجائی که تاکنون هیچ گونه کار زیست محیطی در منطقه بر روی رسوبات رودخانه‌ای انجام نشده است، برآورد و ارزیابی اثرات زیست محیطی سازندهای مختلف زمین شناسی و تعیین غلظت عناصر موجود در رسوبات و تعیین شدت آلودگی آن و ارتباط آن با واحدهای سنگی منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

#### ۴-۱- اهداف تحقیق

در این تحقیق سعی شده است تا آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه نوررود و منشأ احتمالی آنها بررسی شود. در این راستا اهداف زیر مد نظر بوده است:

- شناسایی عوامل زمین شناختی اثرگذار بر آلودگی رودخانه نوررود
- ارزیابی میزان آلاینده‌های زمین شناختی اثرگذار بر آلودگی رودخانه نوررود
- تعیین میزان عناصر سنگین شامل (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn) در رسوبات رودخانه‌ای

- تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی رسوبات رودخانه‌های منطقه مانند: pH، دانه بندی و مقدار ماده آلی
- مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین با مقادیر این عناصر در میانگین رسوبات جهانی
- تعیین بار آلودگی عناصر سنگین در رسوبات سطحی رودخانه‌های حوضه نوررود
- تعیین پارامترهایی همچون فاکتور غنی شدگی (EF)، شاخص زمین انباشت (Igeo)، ضریب همبستگی، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی به منظور شناسایی وجود یا عدم وجود آلودگی
- تعیین منشأ احتمالی عناصر سنگین در رسوبات با استفاده از بررسی‌های زمین شناسی و ژئوشیمی و تجزیه و تحلیل آماری

## ۱-۵- روش انجام تحقیق

در این تحقیق روش کار شامل:

- ۱- بررسی نقشه‌های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده، آمل، مرزن آباد و نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل
- ۲- مطالعات کتابخانه‌ای شامل مطالعات انجام شده قبلی در ارتباط با موضوع تحقیق در سطح ایران و جهان
- ۳- تعیین ایستگاه‌های نمونه برداری
- ۴- انجام نمونه برداری از رسوبات سطحی رودخانه‌های منطقه از مکان‌های تعریف شده
- ۵- انجام آزمایشات شیمیایی و رسوب شناسی مورد نیاز و تجزیه و تحلیل داده‌ها

۶- تعیین منشأ احتمالی آلودگی رسوبات

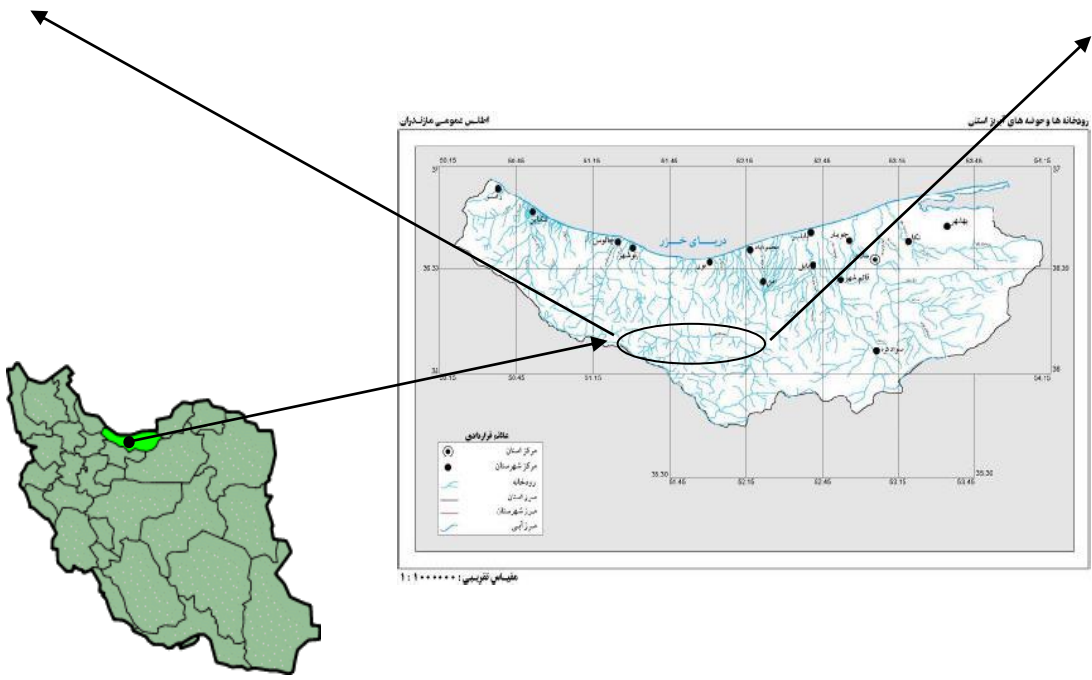
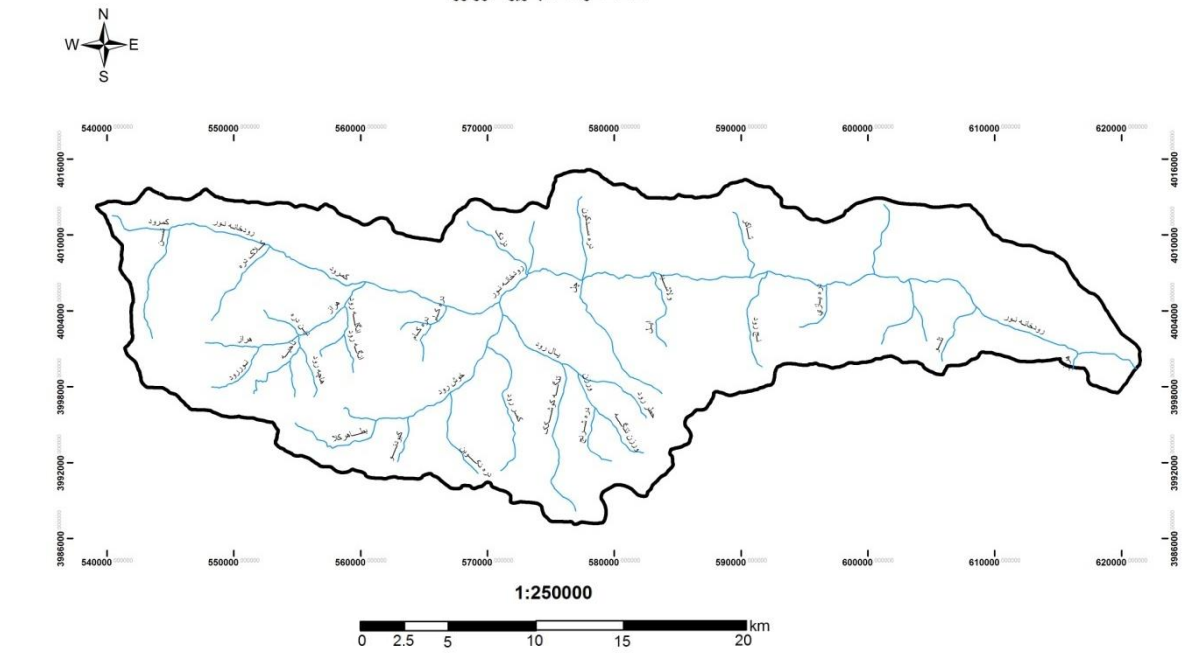
۷- تعیین ارتباط بین واحدهای سنگی منطقه و میزان غلظت عناصر

۸- استخراج و ارائه نتایج در چهارچوب پایان نامه

### ۱-۶- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه نوررود از نظر تقسیمات کشوری، به شهرستان نور از استان مازندران تعلق داشته و در جنوب شهرستان نور و جنوب غرب شهرستان آمل واقع شده است. موقعیت جغرافیایی آن  $21^{\circ} 18' 13''$  الی  $51^{\circ} 18' 13''$  طول شرقی و  $36^{\circ} 00' 58''$  الی  $36^{\circ} 38' 16''$  عرض شمالی می‌باشد. این حوضه با مساحت  $130025$  هکتار بزرگترین زیرحوضه رودخانه هراز بوده و از شمال به حوضه آبریز اوزرود، گلندرود و چالوس، از شرق به حوضه آبریز رودخانه هراز، از غرب به حوضه رودخانه چالوس و از جنوب به حوضه رودخانه هراز و کرج محدود می‌گردد. رودخانه نوررود از کوهی به نام لایشم در بالادست روستای نسن سرچشمه گرفته و از غرب به شرق جریان دارد. این رود پس از طی مسافتی در حدود  $95$  کیلومتر و دریافت چندین شاخه کوچک و بزرگ از مناطق مختلف، در هردوآب (هردورود) به رودخانه هراز ریخته و سپس وارد دریای خزر می‌شود (مطالعات حوضه آبریز نوررود،  $1375$ ) (شکل ۱-۱).

نقشه حوضه آبریز نور رود



شکل (۱-۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

در تقسیمات جدید این بخش به سه حوضه یا دهستان به نام‌های مرکزی، تتراستاق و اوزرود تقسیم می‌شود و دارای ۴۵ روستا و یک شهر می‌باشد. بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ کل جمعیت منطقه ۵۴۹۵ نفر بوده که در قالب ۱۷۹۸ خانوار می‌باشند (سازمان مدیریت و برنامه ریزی مازندران، ۱۳۸۸). با وجود تعدد راه‌های دسترسی به منطقه، جاده هراز (آمل - تهران)، مهمترین راه دسترسی به منطقه محسوب می‌شود. شکل ۱-۲ راه‌های ارتباطی و شهرهای اطراف منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲) راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه (www.gitashenasi.ir)

## ۱-۷- شرایط آب و هوایی منطقه

جهت بررسی ویژگی‌های آب و هوایی و اقلیمی حوضه مورد مطالعه، از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک بلده که تقریباً در وسط حوضه قرار گرفته، استفاده شده است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه، ۳۳۵/۴۵ میلیمتر است که خرداد ماه با میانگین ۵۷/۱ و دی ماه با میانگین ۸/۳ میلیمتر به ترتیب



بیشترین و کمترین بارش را در طی سال دارا می‌باشند. شرایط اقلیمی منطقه به گونه‌ای است که طول دوره یخبندان به ۳ تا ۴ ماه در سال می‌رسد؛ به طوری که ادامه سرما تا اوایل فصل بهار و وجود سرمای زودرس پاییزه موجب محدودیت فصل زراعی در منطقه شده است. جهت غالب وزش باد نیز شمال غربی - جنوب شرقی بوده و با حرکت از غرب به شرق منطقه، از میزان برودت هوا کاسته می‌شود (سازمان هواشناسی مازندران، ۱۳۸۸). میانگین بلند مدت درجه حرارت در فصول و ماه‌های مختلف ایستگاه بلده در جدول (۱-۱) آورده شده است.

### ۱-۸- پوشش گیاهی منطقه

پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه را می‌توان به بخش‌های کشاورزی، مرتعی و جنگلی تقسیم نمود. به علت کوهستانی بودن منطقه، اراضی کشاورزی بخش کوچکی (حدود ۲۹۷۵ هکتار) از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند که نباتات علوفه‌ای، غلات، باغات میوه و حبوبات بیشترین سطح کشت را نسبت به سایر محصولات به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که بیشترین مساحت حوضه را مراتع با تنوع فراوان گونه‌های گیاهی (۲۳۶ گونه، ۵۱ خانواده و ۴۷ تیپ) به خود اختصاص داده‌اند، به طوری که از مجموع ۱۳۰۰۲۵ هکتار مساحت حوضه، ۱۰۸۴۳۳ هکتار اراضی مرتعی است؛ در نتیجه دامداری گسترده‌ترین فعالیت اقتصادی بین ساکنان حوضه است و عامل اصلی در محافظت و تثبیت زندگی روستائیان موجود در منطقه محسوب می‌شود. پوشش جنگلی هم بخش کوچکی از حوضه را در قسمت‌های انتهایی حوضه در اطراف روستای تیرستاق (۱۱ کیلومتری جاده اصلی آمل - تهران) در بر گرفته است. از گونه‌های غالب درختی محدوده مورد بررسی می‌توان از راش، ملج، توسکا، بلوط، ممرز، آزاد نام برد.

جدول (۱-۱): میانگین بلند مدت ماهانه، سالانه و فصلی دما، رطوبت و بارندگی ایستگاه هواشناسی یلده (اداره هواشناسی مازندران، ۱۳۸۸)

(دما، سانتیگراد- بارندگی، میلیمتر - رطوبت، درصد)

سال	بارندگی	رطوبت نسبی	سرعت باد	تابش خورشیدی	تغییرات دما	تغییرات رطوبت	تغییرات بارندگی	تغییرات دما	تغییرات رطوبت	تغییرات بارندگی	میانگین بلند مدت ماهانه		
											میانگین دما	میانگین رطوبت	میانگین بارندگی
۱۳۸۱	۸۵۰	۱۳۱۰	۱۶۱۰	۲۰۷۰	۲۰۷۰	۱۳۰۰	۱۸۰۰	۲۰۷۰	۲۰۷۰	۱۶۱۰	۱۳۱۰	میانگین دما	
	۶۰/۰۰	۵۶/۰۰	۵۵/۰۰	۵۱/۰۰	۵۱/۰۰	۵۴/۰۰	۵۷/۰۰	۵۱/۰۰	۵۴/۰۰	۵۶/۰۰	۵۶/۰۰	میانگین رطوبت	
	۳۰۳۳۰	۳۷۹۰	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۳۷۹۰	بارندگی	
۱۳۸۲	۸۷۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۹۳۰	۱۸۳۰	۱۳۸۰	۱۸۰۰	۱۹۳۰	۱۸۳۰	۱۷۰۰	۱۲۰۰	میانگین دما	
	۵۹/۰۰	۵۷/۰۰	۶۴/۰۰	۶۱/۰۰	۶۱/۰۰	۶۱/۰۰	۵۵/۰۰	۶۴/۰۰	۶۳/۰۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۰	میانگین رطوبت	
	۳۴۱۳۰	۲۱۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۱۰۰	بارندگی	
۱۳۸۳	۹۱۰	۱۲۸۰	۱۶۵۰	۱۹۷۰	۱۸۶۰	۱۳۷۰	۱۷۹۰	۱۹۷۰	۱۸۶۰	۱۶۵۰	۱۲۸۰	میانگین دما	
	۵۶/۰۰	۵۷/۰۰	۶۱/۰۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۰	۵۶/۰۰	۶۱/۰۰	۶۱/۰۰	۶۱/۰۰	۵۷/۰۰	میانگین رطوبت	
	۲۰۵۲۰	۱۶۷۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۱۶۷۰	بارندگی	
۱۳۸۴	۹۱۰	۱۳۱۰	۱۶۱۰	۱۹۶۰	۱۸۸۰	۱۳۰۰	۱۶۶۰	۱۹۶۰	۱۸۸۰	۱۶۳۰	۱۳۱۰	میانگین دما	
	۶۰/۰۰	۵۵/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۶۷/۰۰	۵۷/۰۰	میانگین رطوبت	
	۳۹۳۳۰	۲۰۹۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	۲۱۳۰	بارندگی	
۱۳۸۵	۹۳۰	۱۲۷۰	۱۵۳۰	۱۹۳۰	۱۸۹۰	۱۳۱۰	۱۶۵۰	۱۹۳۰	۱۸۹۰	۱۴۳۰	۱۲۷۰	میانگین دما	
	۵۹/۰۰	۵۵/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۶۶/۰۰	۵۵/۰۰	میانگین رطوبت	
	۳۳۵۳۵	۲۰۱۵۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	۲۱۶۰	بارندگی	

## ۱-۹- زمین ریخت شناسی منطقه

تنوع لیتولوژیکی، اختلاف زیاد سن واحدها، فعالیت فرآیندهای تکتونیکی و فرسایش شدید آبی حاکم بر منطقه، سبب شده است تا توپوگرافی حوضه آبریز مورد مطالعه خشن و ناملایم به نظر آید. چند عامل، ریخت منطقه را شکل داده است که از آن جمله تکتونیک، فرسایش و جنس سنگ‌های موجود در منطقه است. سیستم تکتونیکی فشاری حاکم بر البرز باعث چین دادن و رانده شدن سنگ‌ها و واحدهای گوناگون بر روی یکدیگر شده و بالآمدگی زیادی را پدید آورده است. بالآمدگی البرز همراه با فرسایش و جریان شدید آب‌ها در منطقه سبب پیدایش مسیرهای عمیق به صورت دره‌های V شکل شده، آنچنان که اختلاف ارتفاع کف رودخانه‌ها تا نوک کوه‌ها بسیار زیاد است (شکل ۱-۳). سنگ آهک‌های پرمین، دولومیت‌های تریاس، سنگ آهک‌های مزوزوئیک به ویژه ژوراسیک، صخره‌ها و پرتگاه‌های پرشمار و فراوانی را در سطح منطقه پدید آورده‌اند. بلندترین صخره‌ها مربوط به دیواره شمالی آزادکوه به ارتفاع نزدیک به ۵۰۰ متر است که از سنگ آهک‌های ژوراسیک میانی و پسین ساخته شده است (نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ آمل و بلده). سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نیز شکل‌های ناهموار و خشن را در بخش‌های مرکزی منطقه به نمایش گذاشته‌اند. سازند شمشک که در حوضه گسترش زیادی دارد، به طور غالب سیمای فرسوده و رنگ تیره داشته و به خاطر مقاومت پایین در مقابل فرسایش نسبت به سایر واحدها از مورفولوژی پست تر و دامنه‌های با شیب ملایم تری برخوردارند؛ لذا میزان خاک‌زایی آن بالا می‌باشد. رخساره‌های گچی منطقه نیز میزان هوازدگی بالایی داشته و در مقابل فرسایش بسیار حساس می‌باشد و فرسایش و تخریب شدیدی دارد.

آزاد کوه با ارتفاع ۴۳۹۰ متر از سطح دریا بلندترین و خروجی رودخانه نوررود که جهت جریان شاخه اصلی آن غربی - شرقی می‌باشد، با ارتفاع حدود ۸۰۰ متر از سطح دریا، پست ترین بخش محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شوند.



شکل (۱-۳): دره‌های عمیق موجود در منطقه

### ۱-۱۰- خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز نوررود

این حوضه با مساحت بیش از ۱۳۰۰ کیلومتر مربع بصورت شرقی - غربی گسترش دارد. رودخانه اصلی آن نوررود است که به طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر از غرب به شرق جریان می‌یابد. انشعابات متعددی در طول مسیر، که مهمترین آنها عبارتند از کلاک، اوزرود، خوشرود، یالرود و نُج رود، به آن می‌پیوندند. به دلیل بارش فراوان برف و باران، در طول سال آب دائماً جریان دارد و به علت عرض کم بستر و شیب زیاد، سرعت جریان نسبتاً تند است. در فصل بهار و پائیز که بارندگی بیشتر است، جریان آب شدیدتر می‌باشد. رودخانه‌های فرعی بیشتر دارای امتداد شمالی - جنوبی هستند و به شکل تقریباً موازی با یکدیگر می‌باشند. رودخانه نوررود که از غرب محدوده روستای نسن به سمت شرق جریان دارد، از ارتفاعات جنوبی حوضه از جمله آزادکوه، کوه پی کنار سرچشمه می‌گیرد و تقریباً در مرکز حوضه قرار می‌گیرد.

از دیگر رودخانه‌های حوضه می‌توان به رودخانه‌های نسن، ناحیه، بطاهرکلا، سراسب و حطررود اشاره کرد که همگی دارای امتداد کلی شمالی - جنوبی هستند.

شیب متوسط رودخانه ۳/۷ درصد و رتبه رودخانه اصلی حوضه نوررود در محل خروجی ۷ می‌باشد. دبی متوسط آن در ایستگاه رزن ۵/۵ متر مکعب در ثانیه است و حداکثر آبدهی رودخانه در فصل بهار و حداقل آن در اواخر تابستان می‌باشد. متوسط آبدهی ماهیانه در ماه‌های اردیبهشت و خرداد، بیشتر از سایر ماه‌های سال است؛ این امر نشان دهنده رژیم برف و یخچالی بودن حوضه بوده که به واسطه افزایش درجه حرارت و ذوب شدن پشته‌های برف در ماه‌های فوق الذکر، افزایش جریان رودخانه‌ای را در پی دارد. با ادامه افزایش دما در ماه‌های تیر و مرداد، روند نزولی مقدار آبدهی مشاهده می‌گردد که بیانگر اتمام منابع آبی ناشی از ذوب برف، به مقدار قابل توجه در سطح حوضه است. در سایر ماه‌های سال نوسانات قابل توجهی در رژیم آبدهی رودخانه مشاهده نمی‌شود (مطالعات حوضه آبریز نوررود، ۱۳۷۵ و سازمان آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۸۸). مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز نوررود به همراه متوسط آبدهی ماهانه آن ایستگاه‌ها به ترتیب در جداول (۱-۲) و (۱-۳) آورده شده است. در جدول (۱-۴) نیز مشخصات رودخانه‌های مهم حوضه آبریز نوررود آورده شده است.

جدول (۱-۲): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز نوررود

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	وسعت حوضه بالا دست (Km <sup>2</sup> )
بلده	۵۱° ۴۹'	۳۶° ۱۳'	۲۰۰۰	۷۵۴
رزن	۵۳° ۱۱'	۳۶° ۱۲'	۱۳۰۰	۱۲۳۰

جدول (۱-۳): تفکیک متوسط آبدهی ماهیانه ایستگاه بلده و رزن به متر مکعب در ثانیه (سازمان آب منطقه‌ای مازندران ۱۳۸۸)

حجم به متر مکعب	حداکثر لحظه‌ای	میانگین سالانه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ایستگاه	رودخانه
۱۴۷/۶۸	۲۴/۲۸	۴/۶۸	۲/۰۴	۱/۴۷	۱/۵۳	۱/۷۳	۲/۱۱	۲/۰۸	۲/۲۲	۳/۱۳	۷/۴۵	۱۲/۹۷	۱۲/۲۴	۵/۴۲	بلده	نور
۱۹۸/۲۰	۳۲/۴۷	۶/۲۸	۳/۱۲	۲/۵۵	۲/۶۱	۲/۸۰	۳/۱۴	۲/۹۱	۳/۰۳	۴/۵۲	۸/۷۸	۱۷/۷۶	۱۷/۰۹	۷/۰۹	رزن	نور

### ۱۱-۱- منابع آب و آبیاری

منابع آب موجود در منطقه شامل منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی موجود در سطح حوضه شامل چشمه سارهای فراوان است که دارای حداقل آبدهی کمتر از ۱ تا حداکثر ۹۵ لیتر در ثانیه می‌باشد. در سطح حوضه حدود ۳۳۰ دهنه چشمه با مجموع ۱۷۰۰ لیتر در ثانیه، موجود می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۸۸). رودخانه‌ها و نهرهای پر آب با جریان آب دائمی در طول سال به فراوانی در منطقه دیده می‌شوند که تقریباً تمامی آن‌ها در نهایت به سمت شمال و دریای خزر جریان دارد.

جدول (۱-۴): مشخصات رودخانه‌های مهم حوضه نررود (اقتباس از افشین، ۱۳۷۳)

نام رود	منشأ	موقعیت	روند	طول (Km)
اوزکلا	کوه پالون گردن و آزادکوه	دهکده اوزکلا	NE-SW	۱۷
انگه رود	کوه چنگون	روستای انگه‌رود	N-S	۱۲
بطاهرکلا	کوه پالون گردن	روستاهای بطاهرکلا، بردون و کمررود	NE-SW	۲۴
سراب	کوه سرخک	روستای لور	N-S	۱۱
تنگه سوار	کوه گرگ	دره سوکار	N-S	۸
چل	کوه شکرلقاس	روستای چل	NW-SE	۱۵
خیمرکلا	کوه چنگون	روستای یاسل	NW-SE	۸
دزدک	کوه اسبی کوهک	دره دزدک	NW-SE	۱۰
کلارود	کوه گل فراخ	روستای ایل و کلا	N-S	۱۲
کلاک	آزادکوه	روستاهای کلاک علیا و سفلی	NE-SW	۱۰
گاوی دره	کوه گوچال	دره گوچال	N-S	۸
نسن	آزادکوه	روستای نسن	N-S	۱۲
نُج	کوه نمارستاق	روستای نُج	N-S	۱۰
یالرود	کوه کبود	روستای یالرود	N-S	۲۴
هنررود	کوه شکرلقاس	روستای هنر و حطر	NW-SE	۱۰

## ۱-۱۲- پیشینه تحقیق

به دلیل اهمیت بررسی آلودگی رسوبات، مطالعات گسترده‌ای پیرامون موضوع مورد بررسی در ایران و سایر نقاط جهان بر روی رسوبات رودخانه‌ای انجام شده است که به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌گردد. در تحقیقی که کرباسی و همکاران در سال ۱۳۸۶ بر روی غلظت و منشأ عناصر سنگین (Ni، Co، Cd، Pb، Cr، Fe، Mn، Al، Ca، Cu و Zn) رسوبات رودخانه شهرچای ارومیه با هدف کمی سازی شدت آلودگی و مدل سازی آن در رسوبات با استفاده از شاخص‌های آلودگی EF و I<sub>geo</sub> انجام دادند، نشان دادند که عناصر Co، Mn و Pb این رودخانه عموماً از منشأ انسان‌زاد برخوردار بوده و عناصر Fe، Zn و Cu دارای منشأ طبیعی می‌باشند. این در حالی بود که V، Cd و Cr سهم یکسانی از غلظت انسان‌زاد و طبیعی را در این رودخانه دارا بودند.

کوثری و ونائی (۱۳۸۶) در تحقیقی به بررسی منشأ و میزان تمرکز آلاینده‌های فلزات سنگین در رودخانه‌های تمبی و بهلول پرداخته و پس از برداشت حدود ۴۰ نمونه و آنالیز و تجزیه و تحلیل آنها بیان نمودند که فراوانی عناصر سنگین و آلودگی رسوبات این رودخانه‌ها منشأی غیر طبیعی داشته و دفن نامناسب زباله‌های مسجد سلیمان، عامل افزایش غلظت عناصر سنگین در رسوبات این رودخانه شده است. کوثری و ونائی، تمرکز یافتن آلاینده‌ها در رسوبات را ناشی از شرایط نامناسب فیزیکوشیمیایی آب رودخانه جهت حمل و انتقال این آلاینده‌ها اعلام نمودند.

بابائی و خداپرست (۱۳۸۸) با بررسی آلودگی فلزات سنگین (Pb، Fe، Zn، Cr، Cd و Cu) نمونه‌های رسوب برداشت شده از اعماق ۵ و ۱۰ متری سواحل دریای خزر (اراضی مجاور استان گیلان) و آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی، بیان نمودند که آلودگی اکثر عناصر در اعماق ۵ متری، به مراتب بیشتر از عمق ۱۰ متری می‌باشد. آنها پساب‌های شهری و روستایی و مواد معلق و رسوبات ناشی از سازندها و واحدهای زمین شناسی را دلیل این آلودگی‌ها اعلام نمودند. بابائی و خداپرست با استفاده از



فاکتور EF، برای فلزات سرب و روی، منشأ انسان‌زاد و برای سایر عناصر، منشأ طبیعی را در نظر گرفتند.

در مطالعه‌ای که توسط (Goorzadi et al 2009) بر روی رودخانه تيله بن مازندران انجام گرفت، نمونه‌های رسوب جهت تعیین غلظت و منشأ فلزات سنگین (Pb، Cr، Mn، Ni، Cd، Cu، Zn و Fe)، مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن با میانگین غلظت این عناصر در پوسته زمین و رسوبات جهانی مقایسه شدند. با اینکه بر مبنای شاخص ژئوشیمیایی مولر، رسوبات در رودخانه تيله بن آلوده نیستند، ولی بررسی‌ها نشان دادند که واحدهای زمین‌شناختی نقش مهمی را در غلظت عناصر رسوبات این رودخانه بازی می‌کنند.

علیزاده و همکاران (۱۳۸۴) پس از بررسی غلظت عناصر Pb، Cu، Ni، Cr و Zn رسوبات دلتایی رودخانه سفیدرود، جهت تفکیک اثر عوامل انسان‌ساخت و طبیعی، در منشأیابی آلودگی‌های این رودخانه بیان نمودند که با توجه به مقادیر اندک ضریب زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ ) بدست آمده از مطالعات انجام شده، فعالیت‌های انسانی نقش اندکی در غلظت عناصر سنگین این دلتا داشته و واحدهای زمین‌شناسی و عوامل طبیعی حوضه، عامل اصلی تجمع عناصر در دلتای رودخانه سفید رود می‌باشند.

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ بر روی رودخانه سیاه رود به منظور ارزیابی توزیع آلودگی فلزات در رسوبات سطحی این رودخانه انجام شد، فلزات Cd، Cr، Cu، Zn، Pb و Mn مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی نشان داد که مس و سرب، مرتبط با اکسیدهای آبدار آهن هستند. همچنین میزان Cu، Cd، Zn و Mn بدست آمده به زمین‌های کشاورزی نسبت داده شده‌اند و مکان‌های صنعتی شهر رشت فاکتور اصلی و تأثیر گذار در افزایش سطح کروم در منطقه است (Charkhabi et al 2008).

در تحقیقی که توسط کرباسی و همکاران (۱۳۸۴) بر روی رسوبات رودخانه سفارود در استان مازندران انجام گرفت، غلظت عناصر سنگین (مس، کبالت، سرب، منگنز، نیکل و روی)، منشأ آلودگی و شدت آلودگی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت عناصر سنگین در

رسوبات این رودخانه توسط واحدهای زمین شناسی به ویژه واحدهای آهکی و نیز مواد آلی طبیعی کنترل می‌شود. نتایج نشان داد که همه عناصر مورد مطالعه منشأ کاملاً زمینی دارند و غلظت آنها توسط مواد آلی و بیوژنیک طبیعی کنترل می‌شود. با توجه به نتایج بالا، رودخانه شفارود فاقد آلودگی فلزی می‌باشد.

در طی مطالعاتی که بر روی رسوبات و آب رودخانه بویاک مندرس (Buyak Menders) و گدیز (Gediz) در ترکیه توسط (Akçay et al 2003) انجام گرفت، مشخص گردید که منشأ غلظت‌های بالای آهن این رودخانه، به فرآیندهای ژئوشیمیایی و فرسایش کوه‌های اطراف حوضه که از سنگ‌های متامورفیک غنی از آهن تشکیل شده است، مرتبط می‌باشد.

مطالعه‌ای که بر روی رودخانه گمتی (Gomti) توسط سینگ و همکاران (Singh et al 2005) انجام گرفت، نشان دهنده این است که غلظت فلزات سنگین در رسوبات بیشتر از مقادیر بدست آمده در آب رودخانه می‌باشد و اغلب فلزات سنگین به صورت رسوبات کربناته، اکسیدی و هیدروکسیدی، ته‌نشین شده‌اند. ایشان همچنین بیان داشتند که وجود فلزات سنگین در منطقه به دلیل تخلیه فاضلاب و رواناب شهری می‌باشد.

براساس مطالعه‌ای که بر روی رودخانه لورو (Louro) در اسپانیا توسط فیلگوراس و همکاران (Filgueiras et al 2004) انجام شد، مشخص گردید که در میان غلظت کل فلزات سنگین بررسی شده، کادمیوم بالاترین تحرک را در رسوب و مس بیشترین همبستگی را با مواد آلی نشان دادند.

رافو و همکاران (Rufo et al 2007) غلظت عناصر سنگین را در آب و رسوبات رودخانه تینتو (Tinto) در اسپانیا مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها بیان داشتند که آهن و گوگرد جدا شده از سنگ‌های منطقه باعث کاهش pH و اسیدی شدن آب این رودخانه و انتشار فلزات سنگین شده است. عناصر کم تحرک مانند آهن، آرسنیک، سرب و نقره بیشتر در قسمت‌های میانه رودخانه و عناصر با تحرک زیاد مانند کادمیوم، روی و مس در رسوبات مصب رودخانه انباشته شده‌اند.

## ۱-۱۳- ساختار پایان نامه

مراحل و نتایج این تحقیق به ترتیب زیر در این پایان نامه سازمان بندی شده است:

فصل اول؛ کلیات

فصل دوم؛ مروری بر مطالعات گذشته

فصل سوم؛ مواد و روش ها

فصل چهارم؛ زمین شناسی منطقه

فصل پنجم؛ ارزیابی توزیع عناصر سنگین و منشأ احتمالی آن در رسوبات سطحی حوضه رودخانه

نوررود

فصل ششم؛ نتیجه گیری و پیشنهادات

در انتها نیز منابع مورد استفاده آورده شده است.

## فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

### ۲-۱- مقدمه

رودخانه‌ها مهمترین منابع انتقال دهنده مواد حاصل از فرسایش عوارض طبیعی (خاک‌ها، واحدهای زمین شناسی و غیره) و مواد و آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده که در نهایت به دریاچه‌ها و دریاها منتهی می‌شوند.

از آنجایی که جوامع انسانی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم (از طریق انتقال مواد بوسیله زنجیره غذایی) متأثر از این سیستم‌های آبی می‌باشند، مطالعه ویژگی‌های کیفی و کمی بخش مایع و جامد (مواد معلق و بار رسوبی بستر) آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است. به دلیل ظرفیت بالای رسوبات در تجمع و نگهداری طولانی مدت انواع آلاینده‌ها از قبیل فلزات سنگین، کودها و سموم کشاورزی، فاضلاب‌های انسانی و صنعتی نسبت به بخش مایع رودخانه‌ها، این بخش از رودخانه‌ها (رسوبات) به عنوان مهمترین بخش سنگ‌کره جهت مطالعات ژئوشیمی زیست محیطی محسوب می‌شوند. در این بخش پس از بیان اهمیت مطالعات زیست محیطی رسوبات و مطالعه و عوامل (طبیعی و انسان ساخت) مؤثر بر کیفیت این بخش از رودخانه‌ها، به بررسی برخی از فرآیندهای ژئوشیمیایی غالب در محیط‌های آبی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی تعدادی از عناصر سنگین پرداخته شده است.

### ۲-۲- اهمیت مطالعات رسوب شناسی و مطالعات زیست محیطی

ذرات حاصل از فرسایش واحدهای زمین شناسی، اراضی کشاورزی، محدوده‌های معدنی و صنعتی به همراه محلول‌های ناشی از نشت و انحلال شیمیایی ترکیبات و آلاینده‌های بخش‌های مختلف سطح زمین (آلی و معدنی)، در نهایت وارد رودخانه‌ها شده و بار رسوبی معلق و محلول این جریان‌ات آبی را تشکیل می‌دهد (سعیدی، ۱۳۸۲).

بسته به نوع شرایط فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌ها، حجم بار رسوبی ورودی، اندازه ذرات رسوبات، میزان مواد کلوئیدی موجود در فاز مایع و جامد و نوع و میزان مواد آلاینده، آلودگی‌ها می‌توانند از فاز مایع جدا شده و جذب رسوبات شوند و یا عکس این حالت اتفاق افتد. از این رو رسوبات می‌توانند نقش قابل توجهی در حمل برخی از آلاینده‌ها و یا کاهش غلظت آنها (در محیط‌های آبی) ایفا نموده و به عنوان جاذب‌های طبیعی پالاینده رودخانه‌ها محسوب شوند. این در حالی است که اگر غلظت مواد آلاینده از جمله فلزات سنگین در رسوبات بالا رود، رسوبات توانایی نگهداری آنها را از دست داده و این مواد وارد محیط‌های آبی می‌گردند و آلودگی اکوسیستم آبی را ایجاد می‌کنند (رجب زاده و سعیدی ۱۳۸۷ و Yu et al. 2001، Dojlido & Best 1993). اجزاء ریزدانه رسوبات (در حد سیلت و رس) علیرغم حجم کم نسبت به کل بار رسوبی رودخانه‌ها، به دلیل فعالیت شیمیایی (تبادل یونی) و تحرک زیاد در فاز مایع، در نگهداری و انتقال آلاینده‌ها بسیار مؤثر بوده و از اهمیت بالایی برخوردارند (Farkas et al 2007). ویژگی‌های منحصر به فرد رسوبات در جذب و نگهداری آلاینده‌ها و بویژه فلزات سنگین باعث شده تا از آنها به عنوان مهمترین بخش سنگ‌کره در انجام مطالعات ژئوشیمی زیست محیطی یاد شده و جهت بررسی روند تغییرات آلاینده (بویژه فلزات سنگین) در طول زمان از آنها استفاده گردد (رجب زاده و سعیدی، ۱۳۸۷ و مدبری و همکاران ۱۳۸۷). هر چند آنالیز رسوبات به تنهایی جهت ارزیابی دقیق سمیت و آلاینده‌گی یک سیستم آبی کافی نیست، به دلیل ثبت ویژگی‌های آلاینده‌ها از یک سو و تغییرات اندک فصلی در غلظت مواد درگیر با آنها، از سوی دیگر، باعث شده تا رسوبات به موفق‌ترین و مطمئن‌ترین مواد در علوم زیست محیطی تبدیل شده و جهت شناسایی مناطق در معرض آلودگی؛ ردیابی و تعیین منشأ آلاینده‌ها و ارائه الگوی پراکنش عناصر مورد استفاده قرار گیرند (خراط صادقی و کرباسی، ۱۳۸۵ و مدبری و همکاران، ۱۳۸۷ و Murray 1996).

## ۲-۳- انواع آلاینده‌ها در رسوبات

از آنجایی که رسوبات، حاصل شستشوی تمامی عوارض سطح الارضی می‌باشند، پارامترها و منابع متعددی در آلودگی آنها مؤثر می‌باشد. این عوامل تحت دو گروه عمده عوارض طبیعی (خاک‌ها و واحدهای زمین شناسی) و فعالیت‌های انسان‌ساخت دسته بندی می‌گردد.

## ۲-۳-۱- فعالیت‌های انسان‌زاد

قبل از گسترش فعالیت‌های انسانی؛ ژئوشیمی محیط‌های رسوبی، مستقیماً به عوارض طبیعی و واحدهای زمین شناسی هر منطقه مرتبط بوده است. همزمان با افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی و صنعتی شدن، عوامل غیرطبیعی و انسان‌ساخت نیز در کنترل کیفیت محیط زیست و حوضه‌های رسوبی نقش ایفا نموده و چه بسا در بسیاری از مناطق، آلودگی‌های گسترده‌ای را نیز باعث شده‌اند (Fyfe 1998).

استخراج معادن و فرآوری کانه‌ها، ذوب و پالایش مواد، مصرف انواع سوخت‌ها (فسیلی و هسته‌ای) جهت تولید نیرو، دفع پسماندها، فعالیت‌های کشاورزی و مصرف کود و سموم، حمل و نقل، تصفیه و انتقال آب آشامیدنی، به همراه شهرنشینی و آلودگی‌های ناشی از آن (تخلیه فاضلاب‌ها) از جمله فعالیت‌های انسانی بوده که حجم گسترده‌ای از مواد آلاینده، بویژه فلزات سنگین را وارد محیط نموده و آلودگی آن را باعث می‌شود (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶ و Sun et al 2007).

عناصر سبک (Li، Be و غیره)، عناصر غیرفلزی (مانند Se، As، Bi)، فلزات سنگین (همچون Cr، Cu، Fe، Zn، Pb) و عناصر نادر خاکی (La، Ce، Eu و ...) از جمله عناصری هستند که طی فعالیت‌های معدنکاری، فرآوری و سوخت ذغال سنگ‌ها خارج شده و وارد محیط می‌گردد (Yiwei et al 2007، Finkelman et al 2002). غلظت‌های بالای گوگرد و عناصر نادر خاکی (REE) نیز در زهاب‌های خروجی از معادن ذغال سنگ Siti در استان Shanxi چین نیز گزارش شده است (Zhao et al 2007). آنتیموان، آرسنیک، بیسموت، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، سرب، جیوه، نیکل، آلومینیوم، سلنیوم و روی، از جمله عناصری هستند که در اطراف کوره‌های ذوب، تا شعاع چند صد متری گسترده شده و

آلودگی خاک و آب محدوده‌های اطراف را ایجاد نموده‌اند. پایداری این عناصر در خاک و انتقال یافتن آنها به چرخه زندگی حیوانات منطقه، بر مشکلات زیست محیطی ایجاد شده در این مناطق اضافه می‌نماید (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶)

وانادیوم خارج شده از چرخه‌های مختلف کارخانه فولادسازی Pumalanga در جنوب آفریقا، پس از ته‌نشست اتمسفری، مسمومیت مزمن دام‌های منطقه را ایجاد نموده است (Gommow et al 1994). در مطالعه‌ای که بر روی رودخانه لورو در اسپانیا انجام گرفت نیز غلظت بالای کروم و نیکل ثبت شده در این رودخانه را به آبکاری و گالوانیزاسیون صنعتی و فراوانی سرب و مس رسوبات این رودخانه را به پسماندهای شهری نشت کرده و یا تخلیه شده در آب مرتبط دانستند (Filgueiras et al 2004). بررسی‌های انجام شده در مخازن و منابع آب آشامیدنی و همچنین رسوبات رودخانه‌ای در پایین دست مناطق استخراج معدن در ایتالیا، حاکی از وجود مقادیر بسیار زیاد Cu، Pb، Cd در شاخه‌های مختلف رودخانه‌ای منطقه بر اثر ورود زهکش معدن است (Rauret, 1998).

کرباسی و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی به بررسی و تعیین میزان غلظت عناصر سنگین (V، Mn، Co، Cd، Pb، Zn و Cu) در رسوبات سطحی رودخانه جاجرود پرداختند. نتایج نشان داد که Co، Cd و Pb به مراتب از میزان پوسته زمین و رسوبات جهانی بیشتر است. بررسی بیانگر آن بود که Pb و Mn منشأ انسان‌ساختی داشتند (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۷).

پیشرفت فعالیت‌های کشاورزی و افزایش روز افزون مصرف کود و سموم، آفت کش‌ها، حشره کش‌ها و قارچ کش‌ها، زهاب خروجی از برخی مزارع کشاورزی را به یکی از منابع آلاینده محیط زیست تبدیل نموده است (بهمنی و همکاران، ۱۳۸۷).

در تحقیقی که دهرآزما و همکاران (۱۳۸۷) بر روی کیفیت آب رودخانه کارون انجام دادند، مشخص گردید که پسماندهای کشاورزی مزارع نیشکر هفت تپه، افزایش غلظت عناصر Cr، Ba، Se، Na، Br و Cl را در آب این رودخانه باعث شده‌اند.

کودهای فسفاتی که از سنگ‌های غنی از آپاتیت تولید می‌شوند، با دارا بودن غلظت‌های بالای کادمیوم و اورانیوم، آلودگی‌های گسترده‌ی مرداب‌های اورگلندز فلوریدای آمریکا را باعث شده‌اند (Zielinski et al 2000).

با اینکه بسیاری از محققان کودهای شیمیایی را عامل آزادسازی فلزات سنگین می‌دانند اما در مطالعه‌ای که نیکلسون (Nicholson) و همکاران در سال ۲۰۰۳ در انگلستان انجام دادند، منشأ اصلی روی و مس موجود در اراضی کشاورزی را به کودهای حیوانی نسبت دادند. البته آنها لجن‌های فاضلاب را مهمترین منبع سرب و جیوه تجمع یافته در اراضی در نظر گرفتند (Nicholson et al 2003). جدول (۱-۲) غلظت برخی از فلزات سنگین رایج در کودها و منابع مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

جدول ۱-۲: غلظت برخی از فلزات سنگین رایج در کودها و منابع مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی (Kabata-Pendias & Pendias 2001)

عناصر	لجن فاضلاب	کودهای فسفاته	آهک	کودهای نیتروژنی	فضولات حیوانی
As	۲-۲۶	۲-۱۲۰۰	۰/۱-۲۴	۲-۱۲۰	۳-۲۵
Cd	۲-۱۵۰۰	۰/۱-۱۷۰	۰/۰۴-۰/۱	۰/۰۵-۸/۵	۰/۳-۰/۸
Co	۲-۲۶۰	۱-۱۲	۰/۴-۳	۵-۱۲	۰/۳-۲۴
Cr	۲۰-۴۰۶۰۰	۶۶-۲۴۵	۱۰-۱۵	۳-۱۹	۵/۲-۵۵
Cu	۵۰-۳۳۰۰	۱-۳۰۰	۲-۱۲۵	۱-۱۵	۲-۶۰
Mn	۶۰-۳۹۰۰	۴۰-۲۰۰۰	۴۰-۱۲۰۰	----	۳۰-۵۵۰
Ni	۱۶-۵۳۰۰	۷-۳۸	۱۰-۲۰	۷-۳۸	۷/۸-۳۰
Pb	۵۰-۳۰۰۰	۷-۲۲۵	۲۰-۱۲۵۰	۲-۱۴۵۰	۶/۶-۱۵
V	۲۰-۴۰۰	۲-۱۶۰۰	۲۰	----	----
Zn	۷۰۰-۴۹۰۰۰	۵۰-۱۴۵۰	۱۰-۴۵۰	۴۲۱	۱۵-۲۵۰



## ۲-۳-۲- آلودگی‌های طبیعی

رسوبات فرسایش یافته از واحدهای زمین شناسی، ترکیبات گوناگون از انواع کانی‌ها (مواد معدنی) و ذرات آلی می‌باشند که نقش مهمی در ایجاد آلودگی محیط‌های آبی و اکوسیستم وابسته ایفا می‌کنند (Alkarkhi 2008, Cevik. 2009).

فلزات سنگین مهمترین عامل آلاینده‌گی ناشی از واحدهای زمین شناسی در نظر گرفته شده و به دلیل ثبات بالا در رسوبات، قابلیت انتقال به محیط‌های آبی، دارا بودن خاصیت تجمعی در اندام موجودات زنده از اهمیت بالایی جهت مطالعه برخوردارند (حیدریان، ۱۳۸۸).

با توجه به نوع واحد زمین شناسی (آذرین، دگرگونی و رسوبی) فرسایش یافته و نوع هوازدگی اعمال شده که می‌تواند فیزیکی و یا شیمیایی (انحلال، اکسایش، احیا، تبادل یونی، کربناتی شدن، هیدرولیز و هیدراسیون) باشد، غلظت و نوع آلاینده‌ها و فلزات سنگین منتشر شده، تفاوت می‌نماید (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

شیل‌ها و رسوباتی که تحت شرایط احیایی ته نشست یافته‌اند، مهمترین مراکز تمرکز و انتشار در واحدهای رسوبی محسوب می‌شوند. عناصر سنگینی از قبیل Ni، Hg، U، Sb، V، Se، Fe، Zn، Pb، عناصر نادر خاکی (REE) و غلظت‌های بالای عناصری مانند آرسنیک، کادمیوم و گوگرد، از جمله این آلودگی‌ها محسوب می‌شوند (Zhang et al 2002 و Zhao et al 2007).

کربن موجود در شیل‌های سیاه، علاوه بر تجمع این که در محیط رسوبی از عناصر سنگینی از قبیل Ge، Be، As، Mn، Co، B، Sb، U، Th، Mo و La غنی می‌شود، می‌تواند این مواد را در اثر هوازدگی مکانیکی در محیط رسوبی منتقل نموده و یا تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی، آزادسازی آنها در محیط آبی را باعث گردد (Eskenazy and Stefanova 2007).

ذغال سنگ‌ها که معمولاً از عناصری از قبیل Cr، Co، Ni، Ga، Zn، Mn، Cu، Pb، Se، Bi، V، B، Ge، Ag و As غنی هستند، در هنگام فرسایش، هوازدگی و اکسایش انجام شده در طی زمان، این عناصر را آزاد کرده و وارد محیط می‌نمایند (ناوی و همکاران، ۱۳۸۸).

در تحقیقی که رحیمی (۱۳۸۸) بر روی ذغال سنگ‌ها و باطله‌های مجموعه معدنی ذغال سنگ طزره انجام داد، مشخص نمود که ذغال سنگ‌های این منطقه که متعلق به سازند شمشک می‌باشند در عناصری همچون مس، روی، سلنیوم، جیوه، باریوم و سرب غنی شدگی یافته‌اند. این در حالی است که آرسنیک، آنتیموان و گوگرد در باطله‌های همراه این ذغال سنگ‌ها که معمولاً از جنس شیل و سیلت استون می‌باشند، غنی شده‌اند (رحیمی، ۱۳۸۸).

از آنجایی که عناصر سنگین در بیشتر اوقات همراه با کانی‌های سولفیدی و یا کانی‌های فلزی همراه هستند و این مواد به دلیل وزن مخصوص بالا معمولاً در بخش‌های دانه درشت محیط‌های رسوبی قدیمی (ماسه سنگ‌ها) ته نشست یافته‌اند، ماسه سنگ‌ها نیز در پاره‌ای از اوقات می‌توانند در عناصری مانند کروم، نیکل، سرب و حتی طلا غنی شدگی نشان دهند. سنگ‌های آذرین نیز با توجه به ژنز، عمق تشکیل، محل قرارگیری در توالی ماگمایی (براساس سری واکنشی باون) مقدار مواد سیال موجود در ماگما می‌توانند در عناصر خاصی غنی شدگی نشان دهند (کریم پور، ۱۳۸۱).

Mg، Fe، Cr، Co، Cu و V (به همراه Si و Al تشکیل دهنده بنیان سیلیکاتی)، از جمله عناصری هستند که معمولاً در سنگ‌های اولترامافیک تا مافیک، دارای غلظت‌هایی بیش از سایر سنگ‌ها می‌باشند. Mn نیز بیشترین غلظت خود را در سنگ‌های مافیک نشان می‌دهد (مُر و شرفی، ۱۳۸۳).

عناصری که دارای شعاع‌های یونی بزرگ می‌باشند، در سنگ‌های آذرین اسیدی تجمع می‌یابند. Na، Ca و K به همراه Al و Si اصلی و سنگ ساز و عناصری مانند W، Nb، Rb، U، Sn، Ta، Ti، Li، Cs، عناصر فرعی و جزئی موجود در سنگ‌های آذرین اسیدی و بویژه سنگ‌های آلکان می‌باشند (کریم پور، ۱۳۸۱).

کمپلکس‌های گوگردی، مسئول نگهداری و جابجایی بسیاری از عناصر از قبیل Cu، Pb، Zn، As، Ag و Fe در نظر گرفته می‌شوند. این کمپلکس‌ها که از ماگماهای آبدار غنی از گوگرد و یون فلز ناشی شده‌اند، در درزه‌ها و شکستگی‌های انواع سنگ‌ها (آذرین، دگرگونی و رسوبی) توانایی نفوذ و ته نشست داشته و سنگ میزبان خود را در این عنصر غنی می‌سازند (کریم پور، ۱۳۸۱). فرسایش و هوازدگی این سنگ‌ها، آزادسازی عناصر ذکر شده را به دنبال خواهد داشت.

با توجه به اینکه سنگ‌های دگرگونی از تغییرات فشارشی و حرارتی اعمال شده بر انواع سنگ‌ها (آذرین، دگرگونی و رسوبی) ناشی می‌شوند، طیف گسترده‌ای از عناصر را در خود جای داده و با توجه به ماهیت سنگ اولیه، نوع و شدت درجه دگرگونی، تأثیر سیالات در انجام فرآیند دگرسانی و دگرگونی عناصر آزاد شده از هوازدگی و فرسایش سنگ‌های دگرگونی متفاوت خواهد بود (مُر و شرفی ۱۳۸۳).

جدول (۲-۲): ترکیبات متداول ژئوشیمیایی (Hawkes & Webb, 1979)

ترکیبات	گروه
Si-Al-Fe-Mg-Ca-Na-K-Ti-Mn-Cr-V Zr-Hf-REEs-Th-U-Sr-Ba-P هالیدها-B-Be-Li-Sn-Ga-Nb-Ta-W	سنگ‌های پلوتونیک
Si-K-Na	سنگ‌های آذرین فلسیک
Al-Na-Zr-Ti-Nb-Ta-F-P-Ba-Sr-REEs	سنگ‌های آذرین قلیایی
Fe-Mg-Ti-V	سنگ‌های آذرین مافیک
Mg-Fe-Cr-Ni-Co	سنگ‌های آذرین اولترامافیک
Li-Be-B-Rb-Cs-REEs-Nb-Ta-U-Th	برخی از پگماتیت‌ها
Mo-W-Sn	برخی از رسوبات متاسوماتیک
K-Rb-Ba-Pb	فلوسپارهای پتاسیم
K-Na-Rb-Cs-Ti	سایر کانی‌های غنی از پتاسیم
Fe-Mg-Mn-Ni-Co-Cu-Zn	کانی‌های فرومنگیزی
Fe-As-Co-Ni-Se	اکسید غنی شده آهن
Mn-As-Ba-Co-Mo-Ni-V-Zn	اکسید غنی شده منگنز
P-F-U-Cd-Ag-Pb-Mo	سنگ آهک فسفاتی
Al-As-Sb-Se-Mo-Zn-Cd-Ag-U-Au-Ni-V	شیل سیاه

## ۲-۴- فلزات سنگین در رسوبات

در میان آلاینده‌های محیط زیست، عناصر سنگین (عنصری که دارای وزن مخصوص بیش از  $5 \text{ g/cm}^3$  هستند) به دلیل اثرات سمی که برای موجودات زنده دارا می‌باشند، از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند (Theodore 2003).

از آنجایی که این عناصر توسط فرآیندهای طبیعی تجزیه و حذف نمی‌شوند، به مرور زمان در رسوبات غنی شده و با ورود مجدد به محیط‌های آبی، به دلیل خواص سمی و تجمعی در اندام‌های موجودات زنده، اثرات مخرب و جبران ناپذیری را ایجاد می‌نماید (حیدریان، ۱۳۸۸ و Desya & Amyota 2002 ، Kunwar 2005 و Aprile & Bouvy 2008).

عناصر سنگین که می‌توانند منشأی طبیعی (ته نشست اتمسفری و فرسایش خاک‌ها و سنگ‌ها) و یا انسان‌ساخت (فعالیت‌های صنعتی، فرآوری، کشاورزی) داشته باشند، معمولاً تحت سه سازوکار احتمالی جذب فیزیکوشیمیایی عناصر توسط رسوبات، جذب و ته نشست از طریق ذرات معلق (کلوئیدها و کمپلکس‌ها) در ستون آب و جذب بیولوژیکی به ویژه توسط باکتری‌ها و جلبک‌ها در محیط‌های آبی و رسوبات قرار گرفته و با توجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رسوبات، در فاز جامد تثبیت می‌شوند (Mundra et al 2003).

در واقع با توجه به نحوه حضور فلزات سنگین در رسوبات که ممکن است به صورت ترکیب با مواد معدنی جامد مانند آلومینوسیلیکات‌ها و کربنات‌ها بوده یا به صورت جذب سطحی شده توسط دانه‌های رسی و سایر مواد معدنی از قبیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهنی و منگنز باشد و یا به صورت ترکیب با مواد آلی قرار گرفته باشد، می‌تواند ویژگی‌های آلاینده‌گی و خطرات متفاوتی را دارا باشد (مدبری، ۱۳۸۷).

از آنجایی که عناصر جذب شده توسط مواد آلی، ذرات رس و هیدروکسیدها و اکسیدها با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محیط آبی، توانایی جذب و یا واجذب از این مواد را دارا می‌باشند، از نقطه نظر

زیست محیطی از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند (رمضان خانی، ۱۳۸۶ و Farkas et al 2007). البته در صورتی که بخش معدنی و سیلیکاتی رسوبات از مواد و سنگ‌هایی با غلظت بالای عناصر سنگین، کانه‌های سولفیدی و اکسیدی معدنی (مانند گالن، پیریت، هماتیت، مگنتیت و ...) و سیلیکات‌های اولترامافیکی، تشکیل شده باشد، می‌تواند در طولانی مدت خطرات جدی برای محیط آبی به دنبال داشته باشد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

با اینکه آلویی (Alloway 1995) بیان می‌کند As, Cd, Cr, Pb و Zn به دلیل داشتن خطرات بالقوه و فراوانی رخداد در خاک‌های آلوده، مهمترین عناصر سنگین محسوب می‌گردند اما معتقد است Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Se, Ag, Ba, Cd, Hg, Sb و Th نیز در صورت تجمع با غلظت‌های بالا، می‌توانند سمی بوده و مشکلات اساسی برای موجودات زنده ایجاد نمایند (Victor. et al 2006, Alloway 1995).

البته برخی از دانشمندان تغییر پذیری، فراوانی (با توجه به تغییرات فیزیکوشیمیایی محیط از قبیل pH) و در دسترس پذیری (ابتدا توسط جذب توسط گیاهان و سپس انتقال به جانداران و سپس انسان) عناصر را عاملی مهمتر از سمیت آنها در مطالعات زیست محیطی در نظر می‌گیرند. بر این اساس S, Se, Mo, Te و Br که در گستره pH بین ۵-۸ دارای تحرک بالا هستند، از عناصری مانند Mn, Fe, Cr, Ta, Al و Ni که قابلیت تحرک آنها تنها در pH خاصی (معمولاً اسیدی) امکان پذیر می‌باشد، خطرناکتر محسوب می‌شوند (اوستان، ۱۳۸۳).

با این حال عناصری مانند جیوه که قابلیت جمعی در اندام‌های موجودات زنده (نظیر ماهی‌ها و سپس انسان‌ها) را دارا می‌باشند و می‌توانند افزایش فشار خون و مسمومیت‌های حاد ایجاد نموده و حتی به مرگ انسان‌ها بیانجامند، در کنار عناصر سنگینی نظیر کادمیوم و آرسنیک که علاوه بر به اشکال و ظرفیت‌های مختلف مشاهده شده و در بسیاری از مواد معدنی و کودهای کشاورزی وجود داشته و در خروجی بسیاری از صنایع نیز یافت می‌شوند، از اهمیت بالاتری برخوردارند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

## ۲-۵- عوامل ژئوشیمیایی مؤثر در رسوبگذاری عناصر در محیط‌های آبگین

آلاینده‌ها و عناصر وارد شده به محیط‌های آبگین، با توجه به ماهیت اولیه خود و شرایط فیزیکوشیمیایی و ویژگی ذرات جامد (مواد معلق و یا بار رسوبی وارد به رودخانه) محیط آبی، می‌توانند ته نشست شده و یا به صورت محلول حمل گردند (Singh et al, Marthin & Whitfield 1983). (al 2005).

بورگ (Bourg 1995) بیان نمود که تحرک عناصر سنگین در محیط‌های آبی وابسته به شبکه‌ای از برهم کنش‌های پیچیده در محیط آبی، واکنش‌های شیمیایی غیرهمگن و پدیده‌هایی مانند لخته سازی و فولوکولاسیون ذرات می‌باشد.

براساس مطالعات ایشان، قابلیت انحلال، تحرک و دسترسی زیستی فلزات طی ۴ فاکتور اصلی در محیط‌های آبگین افزایش می‌یابد که شامل:

۱- pH: به طور کلی با کاهش pH و ایجاد شرایط اسیدی، انحلال و تحرک عناصر در آب افزایش می‌یابد (البته برخی از عناصر مانند Mo از این قاعده مستثنی هستند).

۲- عوامل کمپلکس ساز: افزایش عوامل کمپلکس ساز در آب (کمپلکس‌های گوگردی، فسفوری و غیره) می‌تواند باعث تشکیل کمپلکس‌های متعدد فلزات شده و مانع ته نشست آنها گردد.

۳- افزایش غلظت نمک: ضمن تشکیل کمپلکس‌های کلریدی محلول، با افزایش رقابت جهت جذب در سطح ذرات جامد جاذب (مانند رس‌ها، سطح رسوبات) مانع جذب فلزات سنگین شده و حلالیت بیشتر آنها را باعث می‌شود.

۴- تغییر شرایط اکسایش و کاهش: ترکیباتی مانند اکسیدهای آبدار آلومینیوم، منگنز و آهن، با قرار گرفتن در محیط‌های کاهش‌ی، محلول شده و فلزات مستقر در سطح آنها آزاد می‌گردند (Bourg 1995, Alloway 1995).

البته افزایش مقدار رس، مواد آلی، اکسیدهای فلزی آبدار (مانند Al، Fe و Mn) با ایجاد فرآیندهای لخته سازی و ترسیب فلزات سنگین کاهش غلظت آنها را در محیط‌های آبی به دنبال خواهند داشت (رمضان‌خانی، ۱۳۸۶).

ژو و کات (Zhou & Kot 1995) در تحقیقی که در سال ۱۹۹۵ بر روی رسوبات رودخانه ویهو و هنجینگ چین انجام دادند، پارامترهای مؤثر بر فرآیند جذب سطحی را بررسی کرده و بیان نمودند که عواملی از قبیل درجه حرارت، پتانسیل یونی عناصر، جنس رسوبات، اندازه ذرات رسوبات، میزان pH و تراکم و تنوع فلزات سنگین در محیط آبی، بر میزان جذب فلزات سنگین بر روی رسوبات مؤثر می‌باشد.

لین و چن (Lin & Chen 1998)، طی انجام تحقیقی رابطه بین جذب سطحی فلزات سنگین توسط رسوبات و خواص فیزیکی و شیمیایی رسوبات مانند میزان مواد آلی و ظرفیت تبادل یونی ذرات را بررسی کرده و بیان نمودند ترکیبات مختلف رسوبات منجر به عکس‌العمل‌های متفاوت آنها می‌شود. آنها همچنین اظهار داشتند که مواد آلی معلق و محلول در آب رودخانه‌ها به همراه رسوبات به عنوان جاذب فلزات سنگین عمل می‌کنند.

با وجود شباهت بین فرآیند جذب سطحی در رسوبات و مواد معلق، سعیدی و همکاران (Saeedi et al 2004) بیان نمودند رسوبات رودخانه‌ای توانایی بیشتری در جذب و نگهداری فلزات سنگین نسبت به مواد معلق را دارند.

البته ویژگی ژئوشیمیایی عناصر نیز در نحوه جذب شدن توسط بخش‌های مختلف فاز جامد مؤثر می‌باشد. به عنوان مثال عناصری مانند کبالت، مس، نیکل و سرب میل ترکیبی بالایی با مواد آلی دارا می‌باشند، در حالی که آرسنیک بیشتر توسط اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم آبدار و رس‌ها جذب شده و Co تمایل شدیدی به اکسیدهای Mn آبدار نشان می‌دهد (Alloway 1995، Mc Bride 1994، کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

هم‌رسوبی فرآیند دیگری است که در بسیاری از شرایط باعث خروج فلزات سنگین از فاز مایع و انتقال به فاز جامد (رسوب) می‌گردد. در این نوع ترسیب، تمامی مواد جامد شامل کانی‌های رسی، اکسیدهای Fe و Mn و حتی کلسیت حضور دارند. بر این اساس V، Mn، Ni، Cu، Zn و Mo همزمان با اکسیدهای آهن رسوب می‌کنند. Fe، Co، Ni، Zn و Pb به همراه اکسیدهای منگنز ته نشست می‌یابند. کلسیت می‌تواند عامل جذب و رسوب Cd، Co، Fe، Mn و V باشد. کانی‌های رسی نیز می‌توانند عامل جذب Pb، Cu، Zn، Cr، Co، Ni و V شده و با انتقال آنها به فاز جامد، خروج این عناصر از فاز مایع را باعث شوند (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

## ۲-۶- ژئوشیمی فلزات سنگین

عناصر سنگین با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی خود از قبیل شعاع و بار یونی، ویژگی‌های کالکوفیلی، سیدروفیلی و یا لیتوفیلی، انحلال پذیری و تحرک در شرایط احیایی یا اکسیدان، حلالیت در pH های مختلف، همبستگی با کانی‌های رسی یا مواد آلی به صورت اولیه در سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی جای گرفته و در مواد طبیعی استقرار یافتند.

پس از هوازدگی، شرایط pH و Eh محیط انتقال، پتانسیل یونی، شعاع آب‌پوشی، میزان تمایل و جذب سطحی شدن از جمله پارامترهایی هستند که تحرک و جابجایی عناصر را کنترل می‌نمایند. در این بخش ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر سنگین مورد بررسی و به اختصار توضیح داده شده است.



## ۲-۶-۱- آرسنیک

آرسنیک عنصری شدیداً کالکوفیل است که از میانگین پوسته‌ای نسبتاً پایینی برخوردار بوده (ppm) ۱/۸ و با وجود جانشینی‌هایی که آرسنیک با ظرفیت ۳ ( $As^{+3}$ ) با عناصری همچون  $Fe^{+3}$  و  $Al^{+3}$  در سیلیکات‌ها انجام می‌دهد، تمایلی به غنی شدن در سنگ‌های مافیک تا فلسیک را ندارد. البته فرآیندهای گرمایی و وجود کمپلکس‌های گوگردی (سولفیدی یا سولفیتی) می‌توانند غنی‌شدگی و تمرکز آن را به همراه داشته باشند (Mc Lennan & Taylor 1999).

آرسنیک بیشترین تمرکز معمول خود را در سنگ‌های رسوبی، به ویژه رسوبات فسفاتی (۲۰ ppm) و شیل‌ها (۱۳ ppm) نشان می‌دهد. لایه‌های ذغالی و تمرکزهای معدنی آهن (به ویژه در محیط‌های با فراوانی کانی پیریت) نیز از جمله مناطق غنی‌شدگی آرسنیک محسوب می‌شود (Davies et al 1994).

شکل سه ظرفیتی  $As^{+3}$  از انحلال پذیری بالایی برخوردار بوده و در صورتی که pH و Eh محیط پایین باشد، می‌تواند به صورت محلول باقی بماند، در غیر این صورت به  $As^{+5}$  اکسیده شده و با جذب شدن بر روی هیدروکسیدهای آهن و منگنز از محیط خارج شده و رسوب می‌نماید (Webster 1999). با اینکه اکسیدهای آبدار عناصر Al، Mn، Fe، هوموس، کلسیم و فسفات تمایل زیادی به جذب و نگهداری آرسنیک نشان می‌دهند، آرسنیک بیشترین تمایل را به جذب سطحی شدن در رس‌ها نشان می‌دهد، به طوریکه با اندکی تغییر در pH و ایجاد شرایط انحلال، آرسنیک از سطح کلوئیدهای هیدروکسیدی، فسفاتی و حتی مواد آلی جدا شده و وارد فاز مایع می‌شود، در حالی که در چنین شرایطی در صورت فراوانی رس، آرسنیک همچنان در فاز جامد باقی مانده و به محیط آبی منتقل نمی‌شود (Alloway 1995, Kabata-Pendias & Pendias 2001, Reimann & Melezhik 2001).

## ۲-۶-۲- کادمیوم

کادمیوم با میانگین پوسته‌ای  $0/۲$  ppm یکی از عناصر کالکوفیل و کم مقدار پوسته زمین است که به دلیل شباهت‌های ژئوشیمیایی با روی، در بسیاری از کانی‌ها (به ویژه اسفالریت) جایگزین آن شده و همراه با این عنصر مشاهده می‌گردد (Reimann & de Caritat 1998, Smith 1999).

با اینکه بسیاری از کانی‌های سیلیکاتی و سنگ‌های آذرین غلظت‌های بسیار کمی از کادمیوم را در خود جای داده‌اند (به عنوان مثال گرانیت  $0/۰۹$  ppm و بازالت  $0/۱۳$  ppm)، رسوبات غنی از مواد آلی، گرگ‌های منگنز و شیل‌ها (به طور میانگین  $0/۸$  ppm) مقادیر بیشتری از این عنصر را در خود جای داده‌اند (Forgusson 1990).

مک لنان و موری (Mc Lennan & Murray) معتقدند غلظت کادمیوم در رسوبات به دلیل انجم فرآیندهای تجمعی می‌تواند افزایش یافته و به  $۱$  ppm برسد (Mc Lennan & Murry 1999).

از آنجایی که در محیط‌های سطحی و تحت شرایط اکسیداسیون، کادمیوم در  $pH < ۸$  متحرک می‌باشد، می‌توان انتظار داشت محدوده تحرک این عنصر بالا بوده و به راحتی از کانی‌ها شسته شده و وارد محیط‌های آبی شود. فراوانی یون‌های کربنات، فراوانی مواد آلی، وجود کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن و منگنز آبدار، از جمله عوامل کاهش تحرک و ترسیب یون‌های  $Cd^{+2}$  محسوب می‌شوند (Fergusson 1990, Singh et al 2005). با این حال سون و همکاران (Sun et al 2007) معتقدند، افزایش pH، تمایل جذب سطحی شدن کادمیوم بر روی رسوبات و خاک‌ها را افزایش داده و رسوب این یون را باعث می‌شوند (Sun et al 2007).

کاباتا- پندیاس و پندیاس (Kabata- Pendias & Pendias 2001) بیان نمودند با توجه به میانگین جهانی مقدار کادمیوم در خاک که برابر  $0/۵۳$  ppm می‌باشد، مقادیر بیشتر اندازه‌گیری شده در خاک‌ها، که می‌تواند به بیش از  $۱$  ppm نیز برسد، را می‌توان به فعالیت‌های انسان‌زاد مرتبط دانست.

## ۲-۶-۳- کبالت

کبالت از جمله عناصری است که با دارا بودن خاصیت کالکوفیلی، خصوصیات سیدروفیلی هم از خود نشان می‌دهد. با توجه به اینکه این عنصر با ظرفیت ۳ ( $\text{Co}^{+3}$ ) در واکنش‌ها شرکت می‌کند و از اندازه یونی کوچکی برخوردار می‌باشد، در کانی‌های سنگ‌های اولترامافیک مانند آلیوین و پیروکسن جایگزین  $\text{Fe}^{+3}$  شده و بیشترین غلظت خود (۱۵۰ ppm) را در این سنگ‌ها نشان می‌دهد. با ادامه روند تفریق ماگما، غلظت این عنصر در سنگ‌ها کاهش یافته به طوری که بازالت‌ها (۴۸ ppm) و گرانیت‌ها به طور متوسط بین (۱-۷ ppm) از این عنصر را در خود جای داده‌اند؛ این در حالی است که میانگین پوسته‌ای کبالت ۲۹ ppm ذکر شده است (Mc Lennan & Taylor 1999).

میلکله (Mielkle 1979) بیان نمود شیل، ماسه سنگ و کربنات‌ها به ترتیب (و به طور میانگین) ppm ۱۹، ۰/۳ و ۰/۱ کبالت را در خود جای داده‌اند. مک لنان و مورای (Mc Lennan & Murray 1999) نیز میانگین غلظت کبالت در ذرات ریز رودخانه‌ای را ۲۰ ppm اعلام نمودند.

فعالیت و تحرک کبالت در محیط‌های سطحی و رسوبی به شدت تحت تأثیر pH و Eh می‌باشد به طوری‌که کاهش مقدار ناچیزی pH، انحلال پذیری قابل توجهی از این عنصر را به دنبال خواهد داشت (مر و زائری، ۱۳۸۲).

با اینکه کبالت شدیداً بر روی اکسیدهای منگنز جذب می‌شود، تمایل چندانی به جذب توسط ماده آلی از خود نشان نمی‌دهد (Alloway 1995, Mc Bride 1994).

## ۲-۶-۴- کروم

کروم که معمولاً با ظرفیت ۳ ( $Cr^{+3}$ ) در واکنش‌ها شرکت می‌کند، عنصری لیتوفیل بوده و علاوه بر کانی‌سازی (کرومیت)، به دلیل مشابهت یونی با  $Fe^{+3}$  در کانی‌هایی از قبیل آمفیبول، پیروکسن، گارنت و بیوتیت، جانشین این یون شده و از غلظت قابل توجهی تا ۳۰۰۰ ppm برخوردار می‌شود (Ure & Berrow 1982).

میلکله (Mielkle 1994) غلظت کروم را در سنگ‌های مختلف مورد بررسی قرار داده و بیان نمود سنگ‌های آذرین اولترامافیک به طور میانگین ۱۶۰۰ ppm، بازالت ۱۷۰ ppm و گرانیت ۲۲-۴ ppm کروم را در خود جای داده‌اند. در نتیجه فرسایش و هوازدگی سنگ‌های اولترامافیک باعث آزادسازی مقدار زیادی کروم (به همراه Co و Ni) شده و خاک‌های سرپانتینی غنی از کروم و نیکل را تشکیل می‌دهند (مر و زائری ۱۳۸۲، Kabata-Pendias & Pendias 2001).

مک لنان و مورای (Mc Lennan & Murray 1999) میانگین کروم ذرات ریزدانه رسوبات رودخانه‌ای را ۱۰۰ ppm گزارش نموده و بیان کردند کروم به صورت کلی عنصری با تحرک کم می‌باشد که این تحرک در شرایط احیایی تا اکسیداسیون متوسط و مقادیر pH نزدیک به خنثی به حداقل خود می‌رسند.

با اینکه کاباتا و پندیاس (Kabata & Pendias 2001) معتقدند رفتار کروم در خاک توسط pH و Eh و مواد آلی کنترل می‌شود، حسنی پاک (۱۳۸۲) بیان می‌کند مواد آلی در انتقال کروم نقش مثبتی ایفا نمی‌کنند. در نتیجه غنی‌شدگی رسوبات از مواد آلی، تأثیر چندانی در میزان غلظت کروم ندارد و این عنصر عمدتاً توسط ذرات رسی جذب شده و همراه آنها منتقل می‌شود. وی همچنین اعلام نمود در سری سنگی ماسه سنگ، سیلت سنگ و شیل (رس)، غلظت کروم با افزایش غلظت رس افزایش یافته و در سری سنگی شیل (رس)، مارن و آهک با افزایش مقدار کربنات، مقدار کروم کاهش می‌یابد.

## ۲-۶-۵- مس

مس عنصر کالکوفیل است که به طور پراکنده (اما به مقدار جزئی) در کانی‌های سنگ‌های مافیک (از قبیل میکا و پیروکسن) تجمع یافته و غلظت کمتری در سنگ‌های اسیدی نشان می‌دهد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶).

میانگین مس در کانی‌های سیلیکاتی توسط (Ure & Berrow 1982) منتشر گردید. ایشان ۱۱۵ ppm برای آلیوین، ۱۲۰ ppm برای پیروکسن، ۷۸ ppm برای آمفیبول، ۸۶ ppm برای بیوتیت و ۶۲ ppm برای پلاژیوکلاز در نظر گرفتند.

ودپل (Wedepohl 1972) نیز غلظت این عنصر را در سنگ‌های اولترامافیک ۴۰ ppm، بازالت و گابرو ۴۰-۶۰ ppm، سنگ‌های حدواسط ۲۰ ppm و در گرانیت‌ها ۱۲ ppm اعلام نمود. میانگین پوسته‌ای مس نیز ۶۸ ppm بیان شده است (Mielkle 1979).

در میان سنگ‌های رسوبی، شیل سیاه (۵۰ ppm) بیشترین میانگین مس را در خود جای داده است و سنگ‌های کربناتی، کوارتز و فلدسپات‌ها، مقادیری به مراتب پایین تر از این مقدار (۱۵-۵ ppm) را دارا می‌باشند. این در حالی است که مقدار مس برای رسوبات رودخانه‌ای ۱۰۰ ppm برآورد شده است (Mc Lennan & Murray 1999).

با اینکه ترکیبات رسی، اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم در تحرک مس مؤثرند، اما انحلال‌پذیری مس به شدت تحت تأثیر pH می‌باشد. شرایط اسیدی، شرایط مناسبی جهت تحرک و جابجایی مس بوده و در pH حدود ۵-۶ این عنصر همراه با روی (به صورت هم رسوبی) جذب ماده‌آلی و سایر ذرات می‌گردد. (Kabata-Pendias 1992, Bird et al 2005) در نتیجه در pH های قلیایی و حضور اندک ماده‌آلی، نمی‌توان غلظت‌های بالای مس در رسوبات را انتظار داشت.

## ۲-۶-۶- منگنز

منگنز از جمله فلزات سنگین لیتوفیل محسوب شده که با میانگین فراوانی ppm ۱۴۰۰ در پوسته قاره‌ای، از غلظت نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد (Mc Lennan & Taylor 1999).

به دلیل مشابهت بار و شعاع یونی این عنصر با  $Fe^{+2}$ ، جانشینی‌های گسترده‌ای بین این دو عنصر انجام شده که پراکندگی  $Mn^{+2}$  در کانی‌های گارنت، آلیوین، پیروکسن و آمفیبول را باعث شده است. این جانشینی‌ها در سنگ‌های اولترامافیک بیشتر از سایر سنگ‌ها گزارش شده است، به طوری که غلظت این عنصر در سنگ‌های اولترامافیک ppm ۱۶۰۰، در بازالت‌ها ppm ۱۵۰۰ و در گرانیت‌ها ppm ۵۹۰-۵۴۰ اعلام شده است (Mielkle 1979, Ure & Berrow 1982).

با اینکه غلظت منگنز در سنگ‌های رسوبی، به غلظت این عنصر در سنگ منشأ و شرایط اکسیداسیون و احیای محیط ته نشست مرتبط می‌باشد ولی به طور کل در شیل‌ها و گری وک‌ها، بیشترین مقدار Mn (در حدود ppm ۷۰۰) گزارش شده است. این در حالی است که ماسه سنگ‌های کوارتزی (ppm ۱۷۰) و سنگ‌های کربناتی (به ویژه دولومیت‌ها) با میانگین ppm ۵۵۰، مقداری کمتر از شیل‌ها را در خود جای داده‌اند (Wedepohl 1972). مک لنان و تیلور (Mc Lennan & Taylor 1999) نیز میانگین غلظت منگنز در رسوبات رودخانه‌ای را ppm ۱۰۵۰ اعلام نمودند.

یون  $Mn^{+2}$  در شرایط اسیدی انحلال‌پذیری قابل توجهی از خود نشان داده و می‌تواند از زون‌های هوازده و خاک شسته و به صورت کربنات‌ها، کمپلکس‌های اسیده‌ای آلی و حتی یون  $Mn^{+2}$  حل و جابجا گردد. البته در مقابل یون محلول  $Mn^{+2}$ ، یون‌های  $Mn^{+3}$  و  $Mn^{+4}$  تحت شرایط اکسیداسیون، تشکیل ترکیبات غیر محلول را داده و رسوب می‌نمایند. البته فراوانی ماده آلی در تحرک یون  $Mn^{+2}$  مؤثر بوده و با جذب سطحی، حذف این یون از محیط آبی را باعث می‌شود (Hylander et al 2000, Eskenazy & Stefanoa 2007).

## ۲-۶-۷- نیکل

نیکل عنصری سیدروفیل بوده و به آهن فلزی متصل می‌شود؛ با این حال تمایل زیادی به گوگرد نشان داده و همراه با سولفیدها و آرسنیدها یافت می‌شود. نزدیکی شعاع یونی نیکل ( $\text{Ni}^{+3}$ ) به  $\text{Fe}^{+3}$  و تمایل لیتوفیلی آن باعث شده تا در کانی‌های فرومنیزیم مانند آلیوین، ارتوپیروکسن و اسپینل، جانشین Fe و حتی Mn شده و فراوانی قابل توجهی را در سنگ‌های اولترامافیک داشته باشد (Mielkle 1979 و Kabata- Pendias 2000).

میلکله (Mielkle 1979) غلظت نیکل در سنگ‌های اولترامافیک، مافیک (بازالتی) و گرانیتی را به ترتیب ppm ۲۰۰۰، ppm ۱۳۰ و ppm ۴/۵-۱۵ گزارش نموده و ppm ۹۹ را به عنوان میانگین پوسته‌ای این عنصر در نظر گرفته است. وی همچنین مقدار متوسط نیکل شیل‌ها را ppm ۶۸، ماسه سنگ‌ها ppm ۲ و سنگ‌های کربناته را ppm ۲۰ اعلام کرد.

البته غلظت بالای نیکل در ذغال سنگ‌ها و نفت و سولفیدهای موجود در رسوبات ته نشست شده در شرایط احیایی نیز گزارش شده و همبستگی این عنصر با مس، در کانی‌هایی مانند پیریت و کالکوپیریت به ثبت رسیده است (Wedepohl 1972، پوررحیم ۱۳۸۸).

یون نیکل در pH های اسیدی از فعالیت و تحرک بالایی برخوردار است. افزایش pH، فراوانی مواد آلی، وجود هیدروکسیدهای آهن و منگنز، فعالیت این یون را کم کرده و ترسیب آن را باعث می‌شوند (Kabata-Pendias & Pendias 2001). این در حالی است که حسنی پاک (۱۳۸۲) معتقد است، یون نیکل توانایی بالایی به جذب شدن بر روی ذرات رسی داشته و در محیط‌های آبی، با اتصال به این ذرات منتقل می‌گردد (حسنی پاک، ۱۳۸۲).

## ۲-۶-۸- سرب

سرب عنصری کالکوفیل بوده که با وجود فراوانی نه چندان زیاد (میانگین ۱۳ ppm) چندین کانی مهم از قبیل گالن، سرروزیت و انگلزیت را تشکیل می‌دهد. از آنجایی که شعاع یونی  $Pb^{+2}$  بین شعاع یون-های  $K^{+}$  و  $Ca^{+2}$  قرار دارد، در کانی‌هایی از قبیل فلدسپات پتاسیم دار، پلاژیوکلاز و میکا به مقدار قابل توجهی یافت می‌گردد. میلکله (Meikle 1979) غلظت متوسط این عنصر را در سنگ‌های اولترامافیک، بازالت و گرانیت، به ترتیب ۱ ppm، ۶ ppm و ۱۹-۱۵ ppm اعلام نمود. غلظت سرب در سنگ‌های آذرین اسیدی و رسوبات آرژیلیتی بین ۱۰ تا ۴۰ ppm است در حالی که این غلظت در سنگ‌های اولترامافیک و رسوبات کربناتی به ۰/۱ تا ۱۰ ppm کاهش می‌یابد (Kabata-Pendias 2000).

در میان سنگ‌های رسوبی، شیل‌های سیاه به دلیل دارا بودن کانی‌های رسی و مواد آلی، بیشترین غلظت (۲۳ ppm) سرب را دارا می‌باشند (Song et al 2007). در تحقیقی که رحیمی (۱۳۸۸) بر روی غلظت فلزات سنگین ذغال‌سنگ و باطله‌های معدنی مجموعه طزره انجام داد، غنی‌شدگی سرب در ذغال‌سنگ، باطله‌های ذغال و باطله‌های سینه‌کار این معدن را به ترتیب ۷۷/۰۱ (غنی‌شدگی بی-نهایت)، ۱۷/۲۱ (غنی‌شدگی شدید) و ۱۴/۶۹ (غنی‌شدگی شدید) اعلام نمود (رحیمی، ۱۳۸۸).  $Pb^{+2}$  در pH های اسیدی محلول می‌باشد. در کانه‌زایی‌های سولفیدی که معمولاً به دلیل وجود گوگرد زهاب‌های اسیدی تشکیل می‌گردد، سرب به راحتی از سنگ اولیه خود جدا شده و وارد محیط می‌گردد؛ کاهش pH در اثر رقیق‌شدگی محلول با سایر منابع آبی، وجود کانی‌های رسی، کمپلکس‌های مواد آلی و هیدروکسیدها و اکسیدهای Fe، Mn (در محیط‌های آبگین)، تحرک این یون را محدود کرده و ترسیب و تثبیت آن را باعث می‌شوند (Song et al 1999).



## ۲-۶-۹- وانادیوم

وانادیوم عنصری لیتوفیل است که در فشارهای بالا می‌تواند خواص سیدروفیلی نشان دهد. با اینکه این عنصر تمایلی به شرکت در ترکیب کانی‌های سیلیکاتی ندارد، به دلیل مشابهت یونی و شعاعی با آهن ( $Fe^{+2}$ )، در برخی از پیروکسن‌ها و کانی‌های سنگ‌های اولترامافیک مشاهده شده و در کانی‌هایی مانند مگنتیت و آپاتیت مقادیر قابل توجهی را نشان می‌دهد (Synder 1999).

میلکله (Mielkle 1979) مقادیر این عنصر را در سنگ‌های اولترامافیک، بازالت و گرانیت، به ترتیب ۴۰ ppm، ۲۵۰ ppm و ۴۴-۸۸ ppm اعلام نموده و غلظت ۱۳۸ ppm را به عنوان میانگین پوسته‌ای این عنصر، در نظر گرفته است.

غلظت‌های بالای وانادیوم سنگ‌های اولترامافیک، منعکس کننده فراوانی کانی‌هایی مانند کرومیت، مگنتیت، اکسیدهای آبدار آهن و منگنز و مواد آلی می‌باشد. بر این اساس شیل‌های سیاه (۲۶۰ ppm-۹۰) و رس‌ها (به طور میانگین ۲۰۰ ppm) و لایه‌های ذغالی بیشترین مقدار وانادیوم را دارا می‌باشند (Brookins 1988).

مک لنان و مورای (Mc Lennan & Murray 1999)، غلظت وانادیوم در رسوبات رودخانه‌ای را ۱۷۰ ppm اعلام نموده و مواد آلی را مهمترین جاذب‌های وانادیوم در نظر گرفتند. کاباتا و پندیاس (Kabata- pendias & pendias 2001) گزارش کردند، با اینکه اکسیدهای آهن مقادیر قابل ملاحظه- ای از وانادیوم را در خود نگه می‌دارند، وجود کانی‌های رسی و کمپلکس‌های آلی، نقش بیشتری در جذب و نگهداری وانادیوم ایفا می‌نمایند.

## ۲-۶-۱۰- روی

روی عنصری کالکوفیل بوده و از لحاظ شیمیایی مشابه کادمیوم می‌باشد. اسفالریت (با فرمول ZnS) و اسمیت زونیت (با فرمول ZnCO<sub>3</sub>) از متداولترین کانی‌های این عنصر محسوب می‌شوند. با این حال این عنصر به طور جزئی در کانی‌های پیروکسن، آمفیبول، میکا، گارنت و مگنتیت مشاهده می‌گردد (Ure & Berrow 1982).

میلکله (Mielkle 1972) غلظت روی را در سنگ‌های اولترامافیک ۵۰ ppm، در سنگ‌های بازیک ۱۰۵ ppm و در گرانیت‌ها ۳۹-۶۰ ppm اعلام نموده و غلظت ۷۶ ppm را برای میانگین پوسته‌ای آن ذکر نمود. البته کاباتا و پندیاس (Kabata & Pendias) میانگین جهانی این عنصر را ۶۴ ppm اعلام داشته‌اند (Kabata- Pendias & Pendias 2001).

با اینکه شیل‌های سیاه و شیل‌های نفتی بیشترین مقدار روی را در خود جای داده‌اند، سنگ‌های کربناتی (۵۰ ppm)، ماسه سنگ‌های کوارتزی و فلدسپات (۳۰-۵۰ ppm) و گری وک‌ها (۷۰-۱۰۰ ppm) نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از روی هستند (Wedepohl 1972).

در شرایط اسیدی که روی به صورت یون Zn<sup>2+</sup> و در شرایط قلیایی که به صورت کمپلکس‌های هیدروکسیدی و کربناتی حضور دارد، در این حالت‌ها تحرک و فعالیت آن قابل ملاحظه می‌باشد. در محلول‌های شسته شده از سنگ‌های هوازده، غلظت‌های روی توسط جذب مواد آلی، هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم کنترل می‌شود (Brookins 1988).

## فصل سوم مواد و روش ها

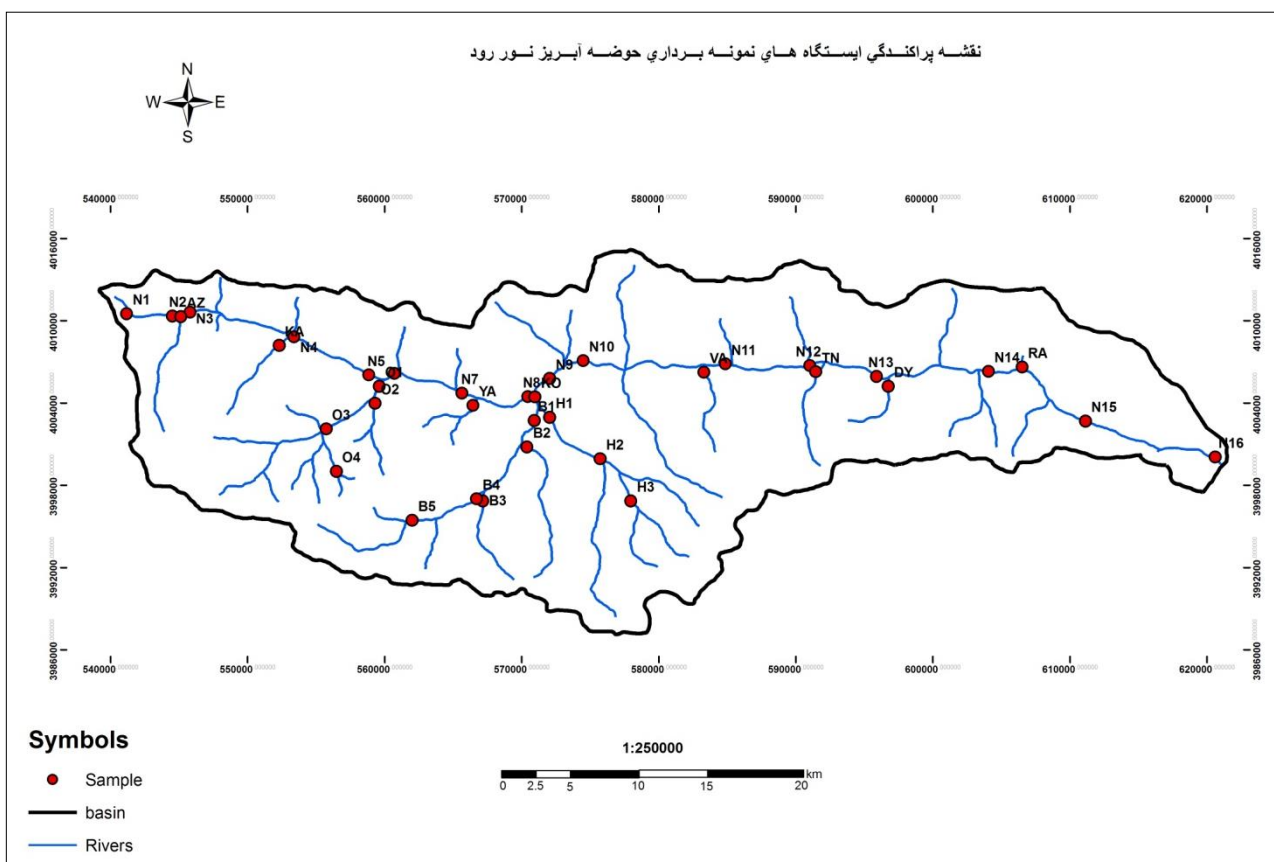
### ۳-۱- مقدمه

در این پژوهش جهت بررسی تغییرات میزان عناصر سنگین رسوبات سطحی (حوضه آبریز) رودخانه نوررود، پس از انجام مطالعات دفتری (مطالعه نقشه‌ها، بررسی تصاویر ماهواره‌ای)، نمونه برداری از رسوبات منطقه مورد مطالعه در تابستان سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. پس از نمونه برداری از کانال اصلی رودخانه نوررود و شاخه‌های فرعی آن، آزمایشات مختلفی جهت تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مانند دانه سنجی، تعیین مقدار ماده آلی، جداسازی و تعیین کانی‌های سنگین و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (از طریق آنالیز ICP-MS) بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. در این فصل به بیان نحوه نمونه برداری، مشخصات ایستگاه‌های نمونه برداری، مختصری در مورد مراحل انجام آزمایشات صورت گرفته و همچنین معیارهای ژئوشیمیایی مورد استفاده برای تعیین منشأ و میزان آلودگی عناصر پرداخته می‌شود.

### ۳-۲- نمونه برداری

به منظور بررسی وضعیت میزان غلظت عناصر سنگین رودخانه هراز (نوررود) و شناخت اثر سازندهای مختلف زمین شناسی (منابع احتمالی آلودگی) بر آن، پس از تهیه و مطالعه نقشه‌های زمین شناسی، توپوگرافی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه، جهت تسلط بیشتر بر منطقه و تعیین محل‌های نمونه برداری، از نرم افزار Google Earth نیز استفاده گردید. بعد از انجام بازدیدهای صحرائی (کل حوضه آبریز رودخانه نوررود)، با توجه به عوارض طبیعی، امکان دسترسی به بخش‌های مختلف رودخانه، در نظر گرفتن شاخه‌های فرعی و تغییر ساختارهای زمین شناسی (منابع احتمالی آلودگی)، ایستگاه‌های نمونه برداری مشخص و نمونه برداری با توجه به استانداردهای موجود، انجام پذیرفت

(جدول ۳-۱ و شکل ۳-۱). پس از انجام نمونه برداری، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی که مشخصات نمونه بر روی آن درج شده، ریخته و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. نمونه‌های رسوب در هوای آزاد آزمایشگاه خشک شده و بجز مقداری از هر نمونه که جهت انجام آزمایشات رسوب شناسی و کانی شناسی در نظر گرفته شد، مابقی حجم نمونه نیز جهت تعیین غلظت عناصر (به روش ICP-MS) از آلك با مش ۶۰ عبور داده شدند.



شکل (۳-۱): موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه حوضه نور رود

جدول (۳-۱): محل و موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

نمونه	محل نمونه برداری	طول	عرض
N1	رودخانه نوررود - ابتدای مسیر	51° 27' 29"	36° 14' 19"
N2	رودخانه نوررود - قبل از رودخانه نسن - آزاد کوه	51° 29' 34"	36° 14' 16"
N3	رودخانه نوررود - بعد از رودخانه نسن - آزاد کوه	51° 30' 38"	36° 14' 22"
N4	رودخانه نوررود - بعد از رودخانه کلاک	51° 35' 36"	36° 13' 20"
N5	رودخانه نوررود - قبل از رودخانه اوزرود (هراز)	51° 39' 15"	36° 11' 50"
N6	رودخانه نوررود - بعد از رودخانه اوزرود (هراز)	51° 40' 29"	36° 11' 56"
N7	رودخانه نوررود - قبل از رودخانه یاسل (دره کام)	51° 43' 47"	36° 11' 06"
N8	رودخانه نوررود - قبل از زیرحوضه کلیک	51° 47' 09"	36° 10' 56"
N9	رودخانه نوررود - بعد از زیرحوضه کلیک - قبل از بلده	51° 48' 08"	36° 11' 41"
N10	رودخانه نوررود - بعد از بلده	51° 49' 44"	36° 12' 20"
N11	رودخانه نوررود - بعد از زیرحوضه ولاشید	51° 56' 40"	36° 12' 09"
N12	رودخانه نوررود - قبل از زیرحوضه نُج رود - تاکر	52° 00' 44"	36° 12' 04"
N13	رودخانه نوررود - قبل از زیرحوضه دره یازی	52° 04' 02"	36° 11' 37"
N14	رودخانه نوررود - قبل از رزن	52° 09' 25"	36° 11' 47"
N15	رودخانه نوررود - بعد از تلو	52° 12' 48"	36° 10' 17"
N16	رودخانه نوررود - انتهای حوضه	52° 20' 25"	36° 08' 21"
O1	زیرحوضه اوزرود - اوزکلا	51° 39' 49"	36° 11' 23"
O2	زیرحوضه اوزرود - انگه رود	51° 39' 46"	36° 10' 43"
O3	زیرحوضه اوزرود - دین دره	51° 37' 10"	36° 09' 45"
O4	زیرحوضه اوزرود - ناحیه	51° 37' 41"	36° 08' 03"
B1	زیرحوضه کلیک - بردون	51° 47' 21"	36° 10' 00"
B2	زیرحوضه کلیک - کمررود	51° 46' 55"	36° 08' 59"
B3	زیرحوضه کلیک - خوشرود	51° 44' 47"	36° 06' 50"
B4	زیرحوضه کلیک - خوشرود	51° 44' 29"	36° 06' 56"
B5	زیرحوضه کلیک - بطاهرکلا	51° 44' 22"	36° 06' 08"
H1	زیرحوضه کلیک - یالرود	51° 48' 04"	36° 10' 08"
H2	زیرحوضه کلیک - یالرود	51° 50' 29"	36° 08' 28"
H3	زیرحوضه کلیک - ورزن دره	51° 51' 57"	36° 06' 48"
KO	زیرحوضه کلیک - انتهای حوضه	51° 47' 21"	36° 10' 58"
AZ	زیرحوضه رودخانه نسن - آزادکوه	51° 30' 02"	36° 14' 13"
KA	زیرحوضه کلاک	51° 34' 57"	36° 13' 01"
YA	زیرحوضه یاسل - دره کام	51° 44' 18"	36° 10' 39"
VA	زیرحوضه ولاشید	51° 55' 35"	36° 11' 51"
TN	زیرحوضه نُج رود - تاکر	52° 00' 58"	36° 11' 49"
DY	زیرحوضه دره یازی	52° 04' 35"	36° 11' 10"
RA	زیرحوضه رزن	52° 11' 05"	36° 11' 54"

### ۳-۳-۳- خصوصیات رسوب شناختی نمونه‌ها

به منظور بررسی و تعیین برخی از ویژگی‌های رسوبات منطقه، پارامترهایی از قبیل pH، مقدار ماده آلی، کانی سنگین و آنالیز دانه بندی، بر روی نمونه‌ها انجام گرفت که به اختصار بیان می‌گردد.

#### ۳-۳-۱- دانه بندی رسوبات

جهت اندازه‌گیری ذرات معمولاً از دو مقیاس میلیمتری اُدن و ونت ورث (Udden & Wentworth) و یا مقیاس لگاریتمی  $\phi$  به نام مقیاس کرومبین (Krumbein) استفاده می‌شود (جدول ۴-۲). برای جدا کردن گراول از ماسه، از الک مش ۵ و جهت تفکیک انواع ذرات ماسه (خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز) به ترتیب از الک‌های مش ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ استفاده می‌شود. الک مش ۲۳۰ که به الک ۴ فی نیز معروف است، الکی است که ذرات ماسه را از گِل (سیلت تا رس) جدا می‌کند و ذرات عبوری از این الک در ظرفی ته بسته به نام Pan جمع می‌شود. جهت تفکیک انواع ذرات ابتدا مقدار مشخصی از رسوب (در حدود ۵۰۰ گرم) با ترازوی دقیق وزن شده و به منظور جدا شدن اجزاء به هم پیوسته آن، پس از ریختن نمونه در داخل هاون، با حرکات بالا و پایین دسته هاون، به آرامی تکان داده شدند (قدرت ضربات نباید به قدری باشد که در شکل و اندازه اولیه ذرات تغییری حاصل نماید). در مرحله بعد سری‌های الک بر روی دستگاه الک کننده (Shaker) قرار داده شد و به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه نمونه‌ها توسط دستگاه الک کننده تکان داده شدند. بعد از گذشت این زمان الک‌ها خارج شده و ذرات ماسه‌ای روی هر الک وزن گردیدند. به این ترتیب انواع ذرات ماسه‌ای تفکیک و وزن هر نوع ذره مشخص می‌شود. برای نامگذاری رسوبات از مثلث فولک استفاده شد و از آنجایی که بیشترین حجم رسوبات را ذرات ماسه‌ای تشکیل دادند، برای نامگذاری دقیق این ذرات (ماسه خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز) از میانه قطر ذرات به روش لحظه‌ای استفاده شد (اهری‌پور و مصدق، ۱۳۸۵).

جدول (۲-۳): نامگذاری ذرات رسوبی بر اساس اندازه و روش اندازه‌گیری آنها (اهری پور و مصدق، ۱۳۸۵)

شماره‌ی الک ( Mesh )	اندازه‌ی ذرات		نام ذرات
	بر حسب ( Ø )	بر حسب ( mm )	
اندازه‌گیری	۸-	۲۵۶	تخته سنگ ( Boulder )
توسط	۷-	۱۲۸	قلوه سنگ ( Cobble )
متر	۶-	۶۴	
یا	۵-	۳۲	ریگ ( Pebble )
کولیس	۴-	۱۶	
	۳-	۸	شن ( Granule )
۵	۲-	۴	
۱۰	۱-	۲	
اندازه‌گیری	۰	۱	ماسه‌ی خیلی درشت ( Very coarse sand )
۱۸			ماسه‌ی درشت ( Coarse sand )
توسط	۱	۰/۵	ماسه‌ی متوسط ( Medium sand )
۳۵	الک		
۶۰	۲	۰/۲۵	ماسه‌ی ریز ( Fine sand )
یا			ماسه‌ی خیلی ریز ( Very fine sand )
۱۲۰	۳	۰/۱۲۵	
غریبال			سیلت درشت ( Coarse silt )
۲۳۰	۴	۰/۰۶۲۵	سیلت متوسط ( Medium silt )
اندازه‌گیری	۵	۰/۰۳۱	سیلت ریز ( Fine silt )
توسط	۶	۰/۰۱۵۶	سیلت خیلی ریز ( Very fine silt )
پیپت یا	۷	۰/۰۰۷۸	رس ( Clay )
هیدرومتری	۸	۰/۰۰۳۹	

### ۲-۳-۳- تعیین pH رسوبات

جهت اندازه‌گیری pH رسوبات برداشت شده از روش ( EPA Test Method, 1998, Method 9045 )  
 (DUS) سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا استفاده گردید. بر این اساس، ۲۰ گرم از نمونه رسوب  
 توسط ترازوی دقیق وزن شده و به بشر ۵۰ CC منتقل گشته، ۲۰ CC آب مقطر نیز به رسوب اضافه

شده و مخلوط به مدت ۵ دقیقه بر روی همزن (مدل IKA. RH. Basic 2) قرار داده شد. مخلوط حاصل به مدت یک ساعت به حالت سکون قرار گرفت و سپس pH آن توسط pH سنج (مدل 3510) jenway اندازه‌گیری گردید.

### ۳-۳-۳- تعیین درصد مواد آلی

برای بدست آوردن مواد آلی موجود در رسوبات از روش استاندارد (Estandard Methods 209f, APHA, 1995) استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها وزن شده را در دمای  $105^{\circ}\text{C}$  قرار داده تا رطوبت آن خارج شود (در این مرحله درصد رطوبت رسوب به دست می‌آید). پس از این مرحله نمونه‌ها مجدداً وزن گردیده و سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  در داخل کوره قرار داده شدند. بعد از گذشت این زمان، نمونه‌ها از کوره خارج شده و دوباره وزن شدند. از تفاضل وزن قبل و بعد از حرارت دادن در دمای  $550^{\circ}\text{C}$ ، مقدار ماده آلی رسوبات تعیین گردید.

### ۳-۳-۴- جداسازی کانی‌های سنگین

سنگ‌های آذرین و دگرگونی حاوی یک سری کانی‌های سنگین با وزن مخصوص بیشتر از  $2/9 \text{ g/cm}^3$  می‌باشند که در برابر تجزیه شیمیایی مقاوم هستند. این کانی‌ها به دو دسته کدر یا آپک (Opaque) و شفاف تقسیم می‌شوند. کانی‌های کدر شامل اکسیدها، سولفیدها و کانه‌های فلزی هستند و کانی‌های شفاف بیشتر از سیلیکات‌ها می‌باشند. مطالعه کانی‌های سنگین برای پی بردن به سنگ منشأ رسوبات از اهمیت خاصی برخوردار است (موسوی حرمی، ۱۳۸۰).

جهت جداسازی کانی‌های سنگین ابتدا مقداری از نمونه رد شده از الک با مش ۱۰۰، جدا و آبشویی شده و پس از جدا شدن ذرات سبک، مواد آلی و رس از آن، در دمای معمولی آزمایشگاه خشک شد. به منظور از بین بردن غشای آهنی موجود در روی ذرات نیز، نمونه‌ها با اسید هیدروکلریک جوشانده شدند تا به رنگ ثابت برسند. آنگاه نمونه‌ها از روی کاغذ صافی عبور داده و با آب مقطر به خوبی شسته شدند. سپس مایع بروموفرم (مایعی که چگالی آن  $2/9 \text{ g/cm}^3$  است) را در داخل قیف دکانتور



ریخته و رسوب بدست آمده از مراحل گذشته به آرامی به آن اضافه گردید. در این حالت کانی‌های سنگین که دارای چگالی بیش از بروموفرم ( $2/9 \text{ g/cm}^3$ ) بودند، در انتهای قیف تجمع یافته و جدا شدند. کانی‌های بدست آمده کاملاً شسته و پس از خشک شدن، از آنها مقطع تهیه گردید و در زیر میکروسکوپ مورد مطالعه قرار گرفت (انصاری و علوی، ۱۳۸۶).

### ۳-۴- تعیین غلظت عناصر سنگین

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر و فلزات سنگین، نمونه‌های رسوب برداشت شده از منطقه، پس از عبور از الک با مش ۶۰، به آزمایشگاه ALS کانادا ارسال گردیده و به روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند. در این تحقیق نمونه‌ها برای ۵۴ عنصر مورد آنالیز قرار گرفته و با توجه به اولویت‌های زیست محیطی تعداد ۱۰ عنصر برای تجزیه و تحلیل انتخاب گردیدند.

### ۳-۴-۱- آنالیز به روش پلاسمای جفت شده القائی (ICP)

ICP یا پلاسمای جفت شده القائی، یک سیستم آنالیز عنصری است که نوع طیف بینی آن نشری و روش اتم سازی آن از طریق پلازما صورت می‌گیرد. در این روش مقداری از نمونه پودر شده در درون یک پلاسمای آرگونی القا شده با فرکانس بالا و درجه حرارت ۱۰۰۰۰ درجه کلوین از طریق سوراخی که قطری معادل قطر سوزن دارد، به صورت آبر وارد می‌شود. نمونه‌ها تحت تأثیر این درجه حرارت تحریک شده و از خود نور ساطع می‌کنند. هر عنصر طیف مشخصی را از خود تولید می‌کند که با شدت نور ساطع شده و مقدار عنصر موجود در نمونه متناسب است. در روش ICP به غیر از گازها، تمامی عناصر پایدار جدول تناوبی قابل شناسایی هستند (محمدی و لک، ۱۳۸۸).

### ۳-۵- تهیه مقطع نازک سنگی

جهت مطالعه کانی‌ها، ساخت و بافت موجود در سنگ‌های سازندها و واحدهای زمین‌شناسی مختلف رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۳۰ مقطع نازک در کارگاه تهیه مقطع دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه و در آزمایشگاه اپتیک این دانشگاه مورد مطالعه قرار گرفت.

### ۳-۶- روش‌های بررسی معیارهای ژئوشیمیایی

در مطالعات زیست محیطی، زمانی که تعیین منشأ و توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط مد نظر باشد، باید روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های آلودگی و روش‌های آماری مورد ارزیابی قرار گیرد. فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشت (I<sub>geo</sub>)، فاکتور آلودگی (CF)، درجه آلودگی (Cd) و روش‌های آماری تحلیل داده‌ها (تعیین همبستگی بین عناصر، آنالیز خوشه‌ای (CA)، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)) از معیارهایی هستند که می‌توان در نظر گرفته شوند. در تحقیق حاضر این معیارها برای تعیین روند ژئوشیمیایی و آلودگی عناصر (As و Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn) در رسوبات رودخانه‌ای حوضه نوررود مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳-۶-۱- فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

فاکتور غنی‌شدگی روش مناسبی جهت تعیین منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی می‌باشد (Selvarej et al 2005, Adamo et al 2004). فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین به صورت نسبت غلظت عنصر مورد نظر در رسوب مورد مطالعه به غلظت عنصر در ماده مرجع است. غلظت عنصر مورد نظر را باید با یک عنصر مرجع که کمتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد قرار می‌گیرد، بهنجار کرد. فاکتور غنی‌شدگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۳-۱):

$$EF = [(M/Al)_{\text{sampel}} / (M'/Al)_{\text{background}}] \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

در رابطه فوق EF، فاکتور غنی شدگی، M غلظت عنصر مورد بررسی به مقدار Al در نمونه رسوب و M' غلظت همان عنصر به Al در نمونه مرجع می‌باشد (Weiguo Zhang et al 2009).

جهت بهنجار کردن آلودگی فلزات سنگین از عناصری چون Ti، Sc، Mn، Fe، Al استفاده می‌شود (Han Yangming et al 2005). Al یک عنصر پایدار است که رفتار آن در محیط کمتر تحت ویژگی‌های آب و رسوب از قبیل pH، Eh، EC و دیگر عوامل قرار می‌گیرد. از آنجائی که محققان بسیاری از عنصر Al جهت نرمال کردن استفاده کرده‌اند (Kuo Ming 2003، Nyang Ababo 2005، Kamaruzzaman et al 2008، Ying Hong Fan 2009، Xuelu Gao et al 2010)، در این تحقیق نیز عنصر Al (به دلیل ماهیت ژئوشیمیایی و تغییرات بسیار ناچیزی که در محیط ژئوشیمیایی از خود نشان می‌دهد (مدبری و همکاران، ۱۳۸۷)) به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شده است. مقادیر EF و میزان شدت آلودگی رسوبات در جدول ۳-۳ آورده شده است.

جدول (۳-۳): رده بندی مقادیر فاکتور غنی شدگی (Sutherland 2000)

EF	شدت غنی شدگی
$EF < 2$	بدون غنی شدگی تا غنی شدگی اندک
$EF = 2 - 5$	غنی شدگی متوسط
$EF = 5 - 20$	غنی شدگی قابل توجه
$EF = 20 - 40$	غنی شدگی بسیار بالا
$EF > 40$	غنی شدگی بی‌نهایت بالا

مقادیر EF کمتر از ۱، نشان دهنده این موضوع است که رسوب نسبت به عنصر مورد نظر فاقد آلودگی می‌باشد و EF بالاتر از ۱، نمایانگر آلودگی است.  $1 < EF < 10$  نشانگر آلودگی طبیعی و  $EF > 10$  حاکی از تأثیر فعالیت‌های انسانی در تجمع فلزات مورد نظر در رسوب می‌باشد (Nolting et al 1999, Selvarej et al 2004, Oliveres-Rieumont et al 2005, Yangming et al 2006, Rey et al 2009).

### ۳-۶-۲- شاخص زمین انباشت ( Geo Accumulation Index )

شاخص زمین انباشت ( $I_{geo}$ ) توسط مولر (Muller) در سال ۱۹۷۹ برای تعیین و توصیف غلظت فلزات در رسوبات معرفی شد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۳-۲):

$$I_{geo} = \log_2 Cn / 1.5 \times Bn \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

در این رابطه،  $Cn$  غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه رسوب،  $Bn$  غلظت عنصر مورد مطالعه در مقدار زمینه و عامل  $1/5$  نیز فاکتور تصحیح تأثیر لیتولوژی است که ناشی از تغییرات سنگ شناختی در رسوبات می‌باشد (Luoping et al 2007 , Seshan 2010).

شاخص زمین انباشت به هفت رده تقسیم می‌شود (جدول ۳-۴) که بالاترین عدد آن ۶ است که حدوداً ۱۰۰ برابر غنی شدگی نسبت به زمینه را نشان می‌دهد (Habes 2006 , Luoping et al 2007). مقادیر ضریب زمین انباشت ( $I_{geo}$ ) منفی و نزدیک به ۱، بیانگر اثر حوضه آبریز در تمرکز فلزات سنگین موجود در رسوبات می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۴).

جدول (۳-۴): رده بندی مولر بر مبنای مقدار شاخص زمین انباشت (Luoping et al 2007)

درجه آلودگی	محدوده $I_{geo}$	شدت آلودگی
۰	$I_{geo} \leq 0$	بدون آلودگی
۱	$0 < I_{geo} < 1$	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	$1 < I_{geo} < 2$	آلودگی متوسط
۳	$2 < I_{geo} < 3$	آلودگی متوسط تا شدید
۴	$3 < I_{geo} < 4$	آلودگی شدید
۵	$4 < I_{geo} < 5$	آلودگی شدید تا بی‌نهایت
۶	$I_{geo} > 5$	آلودگی بی‌نهایت

### ۳-۶-۳- فاکتور آلودگی (Contamination Factor) و درجه آلودگی

#### (Contamination Degree)

برای محاسبه فاکتور آلودگی از روش هاکنسون (Hakanson, 1980) استفاده شده و مقادیر آن در جدول ۳-۵ آورده شده است. فاکتور آلودگی هاکنسون با رابطه زیر تعیین می شود (رابطه ۳-۳):

$$C_f = C_n / \text{mean } B_n + \text{one S.D.} \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

در این رابطه  $C_n$  غلظت عنصر تجزیه شده  $n$  در نمونه‌های مورد مطالعه و  $\text{mean } B_n$  میانگین غلظت زمینه ژئوشیمیایی عنصر  $n$  است. منظور از One S.D.، مجموع انحراف معیار (standard deviation) و میانگین (mean) می‌باشد. مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی هاکنسون گفته می‌شود (فرقانی، ۱۳۸۸). درجه آلودگی رسوب با استفاده از رابطه (۳-۴) محاسبه می‌شود (رابطه ۴-۳):

$$C_d = \sum_{i=1}^{10} C_f^i \quad \text{فرمول (۴-۳)}$$

جدول (۳-۵): رده بندی هاکنسون (Hakanson 1980) بر مبنای ضریب آلودگی و درجه آلودگی

کیفیت رسوب	مقدار $C_d$	ضریب آلودگی رسوب	مقدار $C_f$
درجه آلودگی پایین	$C_d < 6$	آلودگی پایین	$C_f < 1$
درجه آلودگی متوسط	$6 \leq C_d < 12$	آلودگی متوسط	$1 \leq C_f < 3$
درجه آلودگی قابل توجه	$12 \leq C_d < 24$	آلودگی قابل توجه	$3 \leq C_f < 6$
درجه آلودگی بسیار بالا	$C_d \geq 24$	آلودگی بسیار بالا	$C_f \geq 6$

### ۳-۶-۴- روش‌های آماری تحلیل داده‌ها

به منظور انجام تجزیه و تحلیل آماری از روش‌ها و تکنیک‌های آماری مانند ضرایب همبستگی و آنالیزهای چند متغیره استفاده شده است. کاربرد تکنیک‌های آماری چند متغیره به ما این امکان را می‌دهد تا منابعی را که ممکن است سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد، شناسایی کرده و یک ابزار مناسب برای مدیریت صحیح منابع آب پیشنهاد کنیم (Lan Wang 2010). کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی به طور کلی بر اساس تحلیل‌های آماری جهت استخراج مؤلفه‌های اصلی داده‌ها از طریق PCA و CA قابل دسترسی است. هر دو روش در زمینه تحقیقات ژئوشیمیایی بوده و اغلب به طور مشترک بکار می‌رود (Holger et al 2008). برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS V.16 و Minitab 15 استفاده شده است.

### ۳-۶-۴-۱- ضریب همبستگی (Correlation Coefficient)

طبق تعریف، همبستگی عبارت است از شدت وابستگی بین دو متغیر اندازه‌گیری شده در یک مجموعه از داده‌های منفرد. این پارامتر با استفاده از ضریب همبستگی خطی حاصلضرب مومنت پیرسون، محاسبه شده و به عنوان ضریب همبستگی معروف است. مقادیر همبستگی از -۱ تا ۱ تغییر می‌کند. وقتی که همبستگی +۱ است، تطابق و رابطه خطی کاملی بین دو مؤلفه وجود دارد. وقتی که همبستگی -۱ است، ناسازگاری کامل بین مؤلفه‌ها وجود دارد و هنگامی که همبستگی صفر باشد، هیچگونه رابطه‌ای بین دو مؤلفه مورد نظر وجود ندارد. تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیقتر اثرات زیست محیطی کمک بسیاری کند (شایسته فر و رضایی، ۱۳۸۸). در واقع جهت شناسایی منشأ عناصر، پی بردن به ژنز و پراکندگی عناصر سنگین از نمودارها و ضرایب همبستگی استفاده می‌شود (قلی زاده و همکاران، ۱۳۸۷). همبستگی مثبت و بالا نشان دهنده منشأ مشابه، نحوه آزدسازی، انتقال و رسوب عناصر، تحت شرایط مشابه می‌باشد (مدبری و همکاران، ۱۳۸۷). ضریب همبستگی برای تعیین روابط بین عناصر مختلف و تشخیص منبع عناصر و چگونگی انتقال آن در محیط آبی نیز مفید می‌باشد (فرقانی، ۱۳۸۸).

### ۳-۶-۴-۲- تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis)

PCA یک روش آماری است که یک تصویر کلی از داده‌ها را با کاهش آنها به یک سری کوچک تر از اجزاء اصلی فراهم می‌کند. داده‌ها، مرتبط با متغیرهای کمی، همگن و ناهمگن هستند که اولویت بندی شده‌اند. از طریق PCA روابط بین متغیرها را می‌توان به طور تصویری یا تعریفی خلاصه نمود (Fadoua H. 2009). PCA ابتدا مؤلفه‌ای را استخراج می‌کند که نمایانگر حداکثر تغییر در درون داده‌ها می‌باشد؛ سپس مؤلفه بعدی استخراج می‌شود (Kumru & Bakac 2003). از این مؤلفه آماری به طور گسترده برای کاهش داده‌ها و استخراج تعداد کمتری از فاکتورها برای تحلیل متغیرهای مشاهده

شده استفاده می‌شود (فرقانی، ۱۳۸۸). در این مطالعه PCA برای اندازه‌گیری داده‌های مورد مطالعه جهت ارزیابی نتایج و درک بیشتر فرآیندهای پراکندگی عناصر مورد مطالعه بکار رفته است.

### ۳-۶-۴-۳- آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis)

آنالیز خوشه‌ای یک ابزار قدرتمند برای شناسایی و انتخاب گروه‌های همگن از داده‌های شیمیایی در درون یک سری داده‌های خاص است. این ابزار پارامترهای مختلف را در داخل گروه‌هایی که در آنها درجه ارتباط میان اهداف حداکثر است، مرتب می‌کند. این روش نمونه‌ها را در داخل جمعیت‌های آماری مجزا که ممکن است زمینه ژئوشیمیایی قابل ملاحظه‌ای داشته باشند، گروه بندی می‌کند (El Yaouti 2009). آنالیز خوشه‌ای برای طبقه بندی عناصر با منابع مختلف بر اساس شباهت شیمیایی آنها انجام می‌شود و معمولاً به صورت مکمل PCA در نظر گرفته می‌شود (فرقانی، ۱۳۸۸).



## فصل چهارم

### زمین شناسی منطقه

#### ۴-۱- مقدمه

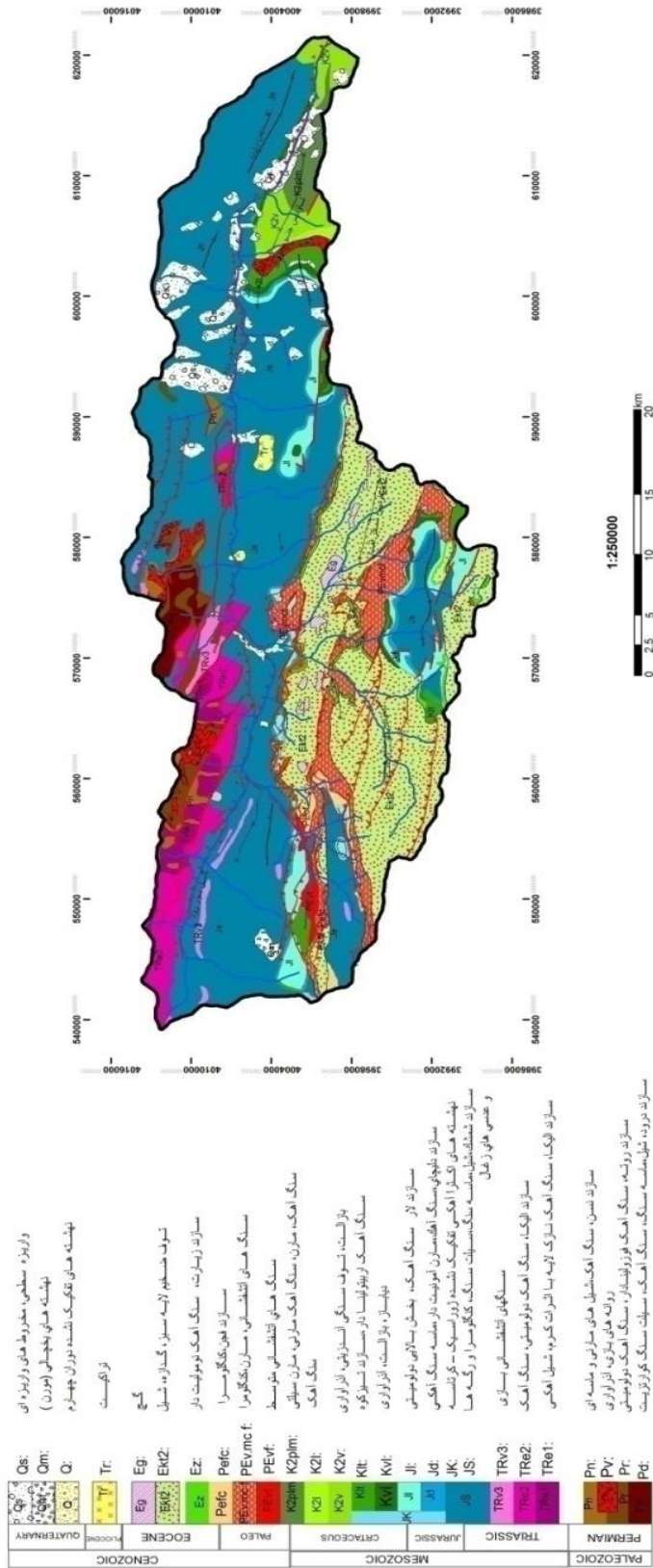
منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی  $۵۱^{\circ} ۱۸' ۲۱''$  تا  $۵۲^{\circ} ۲۶' ۱۳''$  طول شرقی و  $۰۰' ۵۸''$  تا  $۳۶^{\circ} ۱۶' ۳۸''$  عرض شمالی در زون البرز مرکزی واقع شده و بخشی از نقشه زمین شناسی  $۱:۲۵۰۰۰۰$  آمل و نقشه های  $۱:۱۰۰۰۰۰$  بلده و آمل را شامل می شود.

واحدهای زمین شناسی رخنمون یافته در منطقه (براساس نقشه های زمین شناسی و بازدیدهای صحرایی)، گستره زمانی گسترده ای را در بر گرفته و از پالئوزوئیک تا کواترنر را شامل می شوند. سازندهای دورود، روته و نسن با سن پرمین، قدیمی ترین و نهشته های جوان کواترنری، جدیدترین رسوبات منطقه را شامل می شوند. به دلیل ویژگی های سنگی و اعمال چندین فاز کوهزایی، منطقه از لحاظ تکتونیکی فعال بوده و چین ها و گسل های فراوانی در واحدهای سنگی مشاهده می شود. در ادامه این فصل، به معرفی چینه ها، واحدهای سنگی و ویژگی های تکتونیکی منطقه مورد بررسی پرداخته شده است.

#### ۴-۲- توالی چینه شناسی عمومی منطقه

واحدهای پالئوزوئیک، قدیمی ترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه بوده و با رسوبات تخریبی سازند دورود، با سن پرمین زیرین آغاز شده و با آهک های خاکستری تیره سازند روته و آهک و شیل مارنی سازند نسن ادامه می یابد. این واحدها به همراه سنگ های آتشفشانی بازالتی (اسپیلیت)، مجموعه پالئوزوئیک منطقه را تشکیل می دهد. مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه شامل رسوبات دولومیتی - آهکی تریاس پیشین و میانی (سازند الیکا)، نهشته های رودخانه ای - دلتایی ژوراسیک زیرین (سازند شمشک) و رسوبات دریایی کم عمق ژوراسیک میانی، بالایی و کرتاسه بوده که با

نقشه زمین شناسی حوضه آبریز نسر رود



- General symbols
- fault
  - trust
  - basin
  - syncline
  - Rivers
  - antycline

PERMAN	TRASSIC	MESZOZOIC	CRETACEOUS	PALEO	EOCENE	FOSSIL	QUATERNARY
Ph	TRG	TR3	Jk	Kz	Eg	Q	Qs
Pv	TR2	TR2	Jd	Kz	Eg	Q	Om
Pr	TR1	TR1	JK	Kz	Eg	Q	Q
Pd			Jk	Kz	Eg	Q	Q

Qs: واریزه سنگی، مخروط‌های واریزه ای  
 Om: لپسته های بچه‌ای (بورن)  
 Q: لپسته های تفکیک نشده دوران چهارم  
 Tr: تراکست  
 Eg: گچ  
 EK2: تروف هندوم لایه سبز، گدازه، شیب  
 Ez: سزارند زیمارت، سنگ آهک نوبولت دار  
 Pefc: سنگ های آتشفشانی، سزارنگومرا  
 PEvmc f: سزارند لپه‌نگومرا  
 PEvf: سنگ های آتشفشانی مزیسید  
 Kzpm: سنگ آهک، سارن، سنگ آهک سارن، سارن سیلی  
 Kz: سارنگومرا  
 KzV: بازالت، تروف سنگی آتزانوب، آتزانوب  
 Klt: سنگ آهک آرتونولایا دار سزارند سزارنگوم  
 Kvt: تپساز، بازالت، آتزانوب  
 Jk: سزارند از سنگ آهک، بخش بالای نوبولیتی  
 Jd: سزارند لپه‌های سنگ آهک سارن نوبولت دار، ماسه سنگ آهکی  
 JK: لپسته های اکبر آهکی تفکیک نشده ورتاسیک - کرتاسه  
 JS: سزارند شیب، ماسه سنگ، سیلیت سنگ گومرا و گسه ها  
 و عینی های زغال  
 TR3: سنگهای آتشفشانی ساری  
 TR2: سزارند لیکا، سنگ آهک نوبولیتی، سنگ آهک  
 TR1: سزارند لیکا، سنگ آهک سارن با ترات کرت، شیب آهکی  
 Ph: سزارند سن، سنگ آهک شیب های سارن و ماسه ای  
 Pv: روانه های پاری، آتزانوب  
 Pr: سزارند روتام، سنگ آهک فورولیدار، سنگ آهک نوبولیتی  
 Pd: سزارند برود، ماسه سنگ، سنگ سیلیت سنگ کرتاسه

شکل (۴-۱): نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

توالی‌های آهک و سنگ‌های آتشفشانی متنوع مشخص می‌شود. سنوزوئیک نیز تناوبی از نهشته‌های دریایی کم عمق و رسوبات آواری خشکی، همراه با سنگ‌های آتشفشانزاد را در بر دارد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

### ۴-۳- پالئوزوئیک

در زون البرز - آذربایجان، برونزدهای گسترده‌ای از سنگ‌های پرمین وجود دارد. در این مناطق سه واحد سنگ چینه‌ای به نام‌های سازند دورود (در زیر)، روته (در وسط) و نسن (در بالا) معرف توالی - های پرمین هستند. هر یک این سازندها به تنهایی چرخه رسوبی کاملی هستند که میان دو سطح فرسایشی جای گرفته‌اند (آقناباتی، ۱۳۸۳). در منطقه مورد مطالعه نیز رخنمون واحدهای پرمین به صورت یک توالی تقریباً کشیده و دارای روند شرقی - غربی (در شمال حوضه نوررود) گسترش دارند که شامل ویژگی‌های زیر می‌باشند.

#### ۴-۳-۱- سازند دورود (پرمین زیرین)

در برش الگو، سازند دورود با ضخامت ۱۵۰ متر، چهار واحد سنگی را شامل می‌شود که از پایین به بالا، عبارتند از:

واحد (۱)؛ ردیفی از مارن رسی زرد تا خاکستری، همراه با سنگ آهک‌های مارنی و لایه‌های نازکی از کوارتزیت سرخ رنگ

واحد (۲)؛ کنگلومرای ضخیم لایه و شیل‌های رنگین

واحد (۳)؛ سنگ آهک‌های فوزولین‌دار، متراکم و ضخیم لایه

واحد (۴)؛ سیلت سنگ‌های سرخ تا سبز و ماسه سنگ‌های سرخ رنگ که با یک افق ماسه سنگی کوارتزی سفید رنگ پایان می‌یابد (وحدتی ۱۳۷۸).

#### ۴-۳-۲ - سازند روته (پرمین میانی - بالایی)

سازند روته در برش الگو دارای ضخامت ۲۳۰ متر بوده که اساساً از سنگ آهک‌های خاکستری تا تیره رنگ که در آن تناوبی از لایه‌های نازک مارنی نیز وجود دارد، تشکیل یافته است (درویش زاده، ۱۳۸۰).

در منطقه مورد مطالعه این سازند به صورت توپوگرافی خشن با ضخامت ۱۰۰ متر مشاهده شده و در بخش‌های شمالی حوضه آبگیر در آبادی‌های تاکر، زرین کمر و شهر بلده قرار گرفته است.

#### ۴-۳-۳ - سازند نسن (پرمین بالایی)

سازند نسن آخرین واحد سنگ چینه‌ای پرمین در البرز بوده و نام آن از دهکده نسن واقع در بالای دره نور گرفته شده است. ضخامت این سازند در مقطع الگو ۲۳۰ متر بوده که به طور هم شیب روی سازند روته و زیر سازند الیکا (تریاس) قرار گرفته است (قمی اوپلی، ۱۳۸۴). این سازند از نظر لیتولوژی شامل تناوبی از آهک‌ها و شیل‌های مارنی تیره تا ماسه سنگی است که در قاعده آن لایه‌هایی از آهک چرت دار دیده می‌شود. بخش بالایی نیز شامل آهک‌های ضخیم لایه با قلوه‌هایی از چرت می‌باشد (درویش زاده، ۱۳۸۰). سازند نسن در منطقه مورد مطالعه در بخش شمال غربی یعنی در شمال آبادی‌های نیکنام ده، میناک و نسن به صورت نواری باریک و کشیده رخنمون یافته است. میزان رسوب‌زایی این سازند تقریباً زیاد است و حجم وسیعی از واریزه‌ها در پای این سازند مشاهده می‌شود.

علاوه بر واحدهای رسوبی مربوط به پالئوزوئیک، سنگ‌های آتشفشانی سبز تیره تا سیاه رنگ شامل بازالت و اسپلیت‌های به شدت آلتزه شده و هوازده پرمین نیز در شمال آبادی‌های زرین کمر و بلده در بخش شمالی منطقه رخنمون داشته و بار رسوبی ناشی از آن توسط رودخانه‌های فرعی بعد از بلده و روستای زرین کمر به رودخانه منتقل می‌شود.

#### ۴-۴- مزوزوئیک

سنگ‌های دوره تریاس در کوه‌های البرز، گسترش نسبتاً زیادی داشته و در بعضی نقاط ضخامت قابل توجهی را نیز تشکیل داده اند. لیتولوژی غالب سنگ‌های این زمان نهشته‌های کربناتی کم عمق (آهک و دولومیت) است که تقریباً در تمامی این رشته کوه (با تغییراتی در ضخامت آن) حاکمیت دارد و به نام سازند الیکا (یا معادل آن) نامگذاری شده است (شهرابی، ۱۳۷۸).

این در حالی است که ویژگی سنگی و زیستی ژوراسیک البرز، پیوندی نزدیک با رویدادهای زمین-ساختی داشته، به گونه‌ای که می‌توان سنگ‌های ژوراسیک البرز را در دو دوره رسوبی مجزا شامل سنگ‌های نخستین چرخه نشانگر حوضه‌های مردابی- رودخانه ای و گاه دریایی کم عمق و رسوبات ردیف‌های دریایی شامل مارن‌ها و سنگ آهک‌های مارنی سازند دلیچای و واحدهای کربناته (سازند لار)، تفکیک نمود (آقابات، ۱۳۸۳). رسوبات و رخساره‌های متنوع دریایی کم عمق که بیشتر از واحدهای کربناته گسترده تشکیل شده‌اند نیز واحدهای غالب کرتاسه البرز را تشکیل می‌دهند (درویش زاده، ۱۳۸۰).

#### ۴-۴-۱- تریاس

تریاس در منطقه مورد مطالعه با سازند الیکا که سازندی تخریبی - کربناته می‌باشد، مشخص می‌شود. برش الگوی سازند الیکا در یال سمت راست دره الیکا، در فاصله ۵ کیلومتری روستایی که به همین نام در البرز مرکزی قرار دارد، گرفته شده است. ضخامت اندازه‌گیری شده در مقطع تیپ این سازند، ۲۹۵ متر بوده و به دو بخش تقسیم می‌شود؛ واحد زیرین که از ۹۵ متر سنگ آهک‌های نازک لایه و آهک‌های شیلی که کمی مارنی و گاهی دولومیتی هستند تشکیل شده است و واحد بالایی از حدود ۲۰۰ متر دولومیت و آهک‌های دولومیتی تشکیل شده که دارای لایه بندی ضخیم بوده و ریز بلور و متراکم (با رنگ زرد تا خاکستری) می‌باشند (شهرابی ۱۳۷۸). این سازند در حوضه آبگیر مورد مطالعه گسترش نسبتاً زیادی داشته و بخش عمده شمال منطقه (از روستای تاکر تا روستای نسن) را اشغال کرده است.

#### ۴-۴-۲- ژوراسیک

#### ۴-۴-۲-۱- سازند شمشک

مهمترین واحد سنگی ژوراسیک البرز، شامل گروه شمشک بوده که معرف واحد سنگ چینه ای مشخصی متشکل از تناوب منظم و همگنی از رسوبات شیلی، سیلت سنگ و ماسه سنگ است که داشتن رنگ خاکستری تیره تا سبز و تناوب‌های ذغال سنگ، کنگلومرا و افق‌ها و یا واحدهای دریایی از ویژگی‌های آن می‌باشد. سازند شمشک با شکل و ویژگی‌های سنگ شناسی نسبتاً پایدار، در سراسر البرز برونزد داشته و در محل برش الگو، به چهار واحد سنگی تقسیم شده است که از بالا به پایین عبارتند از:

۱- سری ذغال دار بالایی ۲- ماسه سنگ بالایی ۳- سری ذغال دار پایینی ۴- ماسه سنگ پایینی

(آقناباتی، ۱۳۷۷).

- ۱- سری ذغال دار بالایی، به ضخامت ۸۷ متر که اساساً شامل شیل‌های رسی می‌باشد. در قسمت‌های زیرین این بخش، رگه‌های ذغال سنگی قابل توجه وجود داشته، ولی در بخش فوقانی، بیشتر سیلت سنگ‌های مارنی و شیل‌های مارنی همراه با آثار گیاهی مشاهده می‌شود.
  - ۲- بخش ماسه سنگی بالایی، به ضخامت ۵۳۱ متر، شامل ماسه سنگ دانه متوسط، سیلت سنگ‌های میکادار و شیل‌های آمونیت‌دار که معمولاً با فسیل‌های دوکفه‌ای و آثار گیاهی همراه هستند.
  - ۳- سری ذغال دار پایینی که ضخامتی در حدود ۳۳۳ متر را در بر گرفته و شامل رسوبات سیلنتی - رسی با فراوانی لایه‌های ذغالی و بقایای گیاهی می‌باشد.
  - ۴- بخش ماسه سنگ پایینی شامل تناوبی از ماسه سنگ‌های دانه ریز تا دانه متوسط همراه با لایه‌های نازک شیل و شیل‌های ذغالی و بقایای گیاهی بوده و ضخامتی حدود ۷۶ متر را شامل می‌شود. ضخامت سازند شمشک در بخش‌های مختلف البرز متفاوت بوده و از ۱۰۰۰ متر در برش الگو تا بیش از ۳۰۰۰ متر در دره نور متغیر می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۷۷).
- در منطقه مورد مطالعه، سازند شمشک نسبت به سایر سازندهای منطقه گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد. این سازند در نزدیکی روستای نُج ضخامتی حدود ۱۰۰۰ متر را دارا می‌باشد. این سازند با توجه به ویژگی‌های سنگ شناختی و کانی شناسی در مقابل عوامل تخریب و فرسایش مقاومت زیادی نداشته و رسوبزایی تقریباً قابل توجهی نسبت به سازندهای دیگر دارد؛ در نتیجه خاک‌زایی آن بالا بوده و رخنمون‌های خاکی و توپوگرافی ملایم و دامنه‌های منظم را به نمایش می‌گذارد که در روی زمین به آسانی قابل تشخیص است و در مواقع بارانی و سیلابی مواد رسوبی فراوانی از طریق این سازند از حوضه خارج می‌گردد. ترکیب کانی شناسی نهشته‌های گروه شمشک نشانگر آن است که منابع تأمین کننده رسوب‌های این گروه به طور عمده سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و به میزان کمتری سنگ‌های آتشفشانی بوده‌اند که در این میان سنگ‌های رسوبی (ماسه سنگ و سنگ آهک چرت دار و شیل) نسبت به سایر سنگ‌ها برتری دارند (آقانباتی، ۱۳۷۷). ویژگی‌های صحرایی و میکروسکوپی

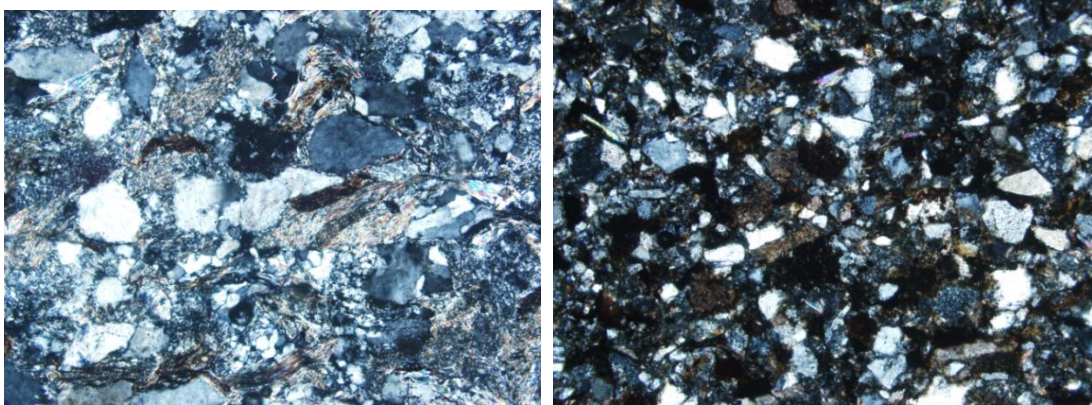
رسوبات شمشک در البرز مرکزی در جدول ۴-۱ و رخنمون‌های صحرایی این سازند در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۴-۳ آورده شده است.

از آنجایی که این سازند (به دلیل گسترش و قابلیت زودفرسایی) نقش قابل توجهی در بار رسوبی رودخانه نوررود ایفا می‌کند، جهت مطالعه ویژگی‌های سنگی و بافتی بخش‌های مختلف این سازند، ۹ مقطع از واحدهای مختلف آن تهیه گردیده و در زیر میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت.

جدول (۴-۱): ویژگی‌های صحرایی - میکروسکوپی رسوبات شمشک در البرز مرکزی (آستر تو، ۱۹۶۸)

سنگواره	حالت برونزد	لایه بندی	ویژگی های عمومی					واحد های سنگی
			میزان ذغال	میزان شیل	ویژگی ماسه سنگها			
					گردش دگی	سیمان	نوع سنگ	
گیاه خوب نگهداری شده	زودفرسا بصورت دشت‌های کوچک	نازک-خیلی نازک با لامیناسیون موازی	کم	زیاد	پایین تا هیچ	فراوان	ساب گری-وک	رسوبات ذغال دار بالایی
آمونیت قطعاتی از دو کفه‌ای، کرینوتید	با مقاومت متوسط دامنه پرشیب آلکاری‌های کوچک محلی	متوسط تا ضخیم با لامیناسیون موازی فراوان	هیچ	کم	ضعیف تا متوسط	به میزان معمول	ساب گری-وک شیشه-ای، کلریت و اکسید آهن دار فسیل‌های کلسیت	ماسه سنگ بالایی
غنی از گیاهان خوب حفظ شده	با مقاومت ضعیف بدون سراسیبی بصورت دشت‌های کوچک	نازک یا خیلی نازک به طور معمولی لامیناسیون از نوع Flaser	به طور معمول زیاد	زیاد	ضعیف تا هیچ	فراوان	ساب گری وک شیشه‌ای	رسوبات ذغال دار پایینی
کمی گیاه‌دار	با مقاومت متوسط با سراسیبی ملایم	نازک تا ضخیم به طور معمول چلیپایی	هیچ	کم	متوسط و متغیر	کم سیمان تا معمولی	ارتو کوارتزیت ساب گری-وک	ماسه سنگ پایینی





شکل (۲-۴): مقاطع سنگی از ماسه سنگ‌های سازند شمشک (بزرگ نمایی  $100\times$  - میکروسکوپ پلاریزان)



شکل (۳-۴): نمایی از رخنمون صحرایی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه

وجود ذرات آواری، آذرینی و دگرگونی (مسکویت، کلریت، ارتوز، بیوتیت و زیرکن) در ماسه سنگ‌ها، به همراه قطعات متعدد کانی‌های آپک در ماسه سنگ‌های سازند شمشک، از جمله این مطالعات می‌باشد (شکل ۴-۲).

#### ۴-۲-۲-۲- سازند دلیچای

برش الگوی سازند دلیچای (اشتایگر، ۱۹۶۶)، در شرق شهرستان دماوند و ضخامتی حدود ۱۰۷ متر را در بر می‌گیرد. مارن، سنگ آهک‌های مارنی و سنگ آهک‌های اسپارایتی نازک لایه که میان لایه‌هایی از شیل‌های مارنی دارند، لیتولوژی غالب سازند دلیچای را تشکیل می‌دهند (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند که به صورت نواری باریک در قسمت جنوبی حوضه واقع شده است، به دلیل وجود تناوب مارن و آهک جزء سازندهای فرسایش‌پذیر می‌باشد.

#### ۴-۲-۳- سازند لار

سازند لار معرف نهشته‌های ژوراسیک بالایی در کوه‌های البرز می‌باشد. بخش پایینی این واحد سنگی از سنگ آهک‌های سفید و قهوه‌ای کمرنگ با لایه بندی نازک (۵ تا ۲۰ سانتیمتر) تشکیل شده که گاهی گرهک‌های چرتی سفید و یا عنابی در آن مشاهده می‌شود. بخش بالایی این سازند نیز از سنگ آهک‌های نسبتاً توده‌ای و مقاوم تشکیل شده که حاوی گرهک و یا لایه‌های چرت فراوان می‌باشد. در البرز مرکزی ضخامت سازند لار حدود ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر است و بالاترین قسمت آن با نهشته‌های قاره‌ای مجموعه گچ و ملافیر پوشیده شده است (آقانباتی، ۱۳۷۷).

سازند لار عمدتاً در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه گسترش دارد. آهک‌های لار به صورت واحدهایی با شیب تند و پله مانند بر روی سازند شمشک و دلیچای قرار دارد و ارتفاعات را تشکیل می‌دهد.

#### ۴-۴-۳- کرتاسه

واحدهای کرتاسه رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی، از تنوع لیتولوژیکی بالایی برخوردارند و بسیاری از آنها (بویژه واحدهای آذرین)، به دلیل عدم برونزد در سایر بخش‌های رشته کوه البرز، بصورت محلی مطالعه و نامگذاری شده‌اند.

سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پایینی، بازالت و دیاباز آلیوین و اوژیت دار و گدازه‌های بازیک تا حدواسط آتره شده کرتاسه بالایی نمونه‌هایی از این واحدها می‌باشند. این سنگ‌ها بیشتر در شرق حوضه آبگیر مورد مطالعه برونزد داشته و بخش‌های مربوط به توپوگرافی نسبتاً خشن این محدوده را در بر می‌گیرند و به علت وجود شکستگی و آلتراسیون، مقاومت آنها زیاد نبوده و دارای فرسایش و رسوب‌زایی هستند.

شکل ۴-۴ نمایی از رخنمون صحرایی سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه و شکل ۴-۵ تصویر پلاریزان مقطع نازک تهیه شده از این واحد بازالتی را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴): رخنمون صحرایی از سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه  $K_2^v$



شکل (۴-۵): مقطع سنگی از سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه  $K_2^v$  (بزرگ نمایی  $100\times$  - میکروسکوپ پلاریزان)

بافت پورفیریک با فنوکریست‌های پلاژیوکلاز زونینگ دار به همراه ریز بلورهای جهت یافته و وجود کلریت، کلسیت و کانی‌های آپیک از ویژگی‌های شکل ۴-۵ می‌باشد.

چند توالی رسوبی شامل گچ و دولومیت، مارن، سنگ آهک، کنگلومرا و ماسه سنگ نیز با ضخامت‌های متفاوت در محدوده شرقی حوضه و در جنوب روستای رزن، به همراه سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه رخنمون داشته که متعلق به کرتاسه می‌باشند. این توالی‌ها از نظر فرسایش و رسوب‌زایی ویژگی‌های متفاوتی را نشان می‌دهند و از مارن‌های زودفرسای با توپوگرافی پست تا آهک‌های نسبتاً مقاوم و دارای توپوگرافی خشن، متفاوت می‌باشند (شکل ۴-۶).



شکل (۴-۶): دامنه‌های پرشیب و توپوگرافی مرتفع آهک‌های کرتاسه

#### ۴-۵- سنوزوئیک در البرز

در سنوزوئیک، پس از دوره‌های فرسایشی و نهشته‌های آواری پالتوسن (کنگلومرای فجن)، این زون (البرز) با دریای کم عمقی پوشیده شده که محل مناسبی برای ته‌نشست سنگ آهک‌های نومولیت‌دار ائوسن پیشین (سازند زیارت) و توفیت‌های سبز ائوسن میانی (سازند کرج) بوده است. سنگ‌ها و نهشته‌های ائوسن بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی تشکیل شده و سطح وسیعی از رشته کوه البرز (بویژه بخش‌های جنوبی) را در بر گرفته است. واحدهای سنگ‌چینه‌ای فجن، زیارت و توفیت‌های کرج، نشانگر واحدهای ائوسن البرز می‌باشد که به ویژه در البرز مرکزی مطالعه و معرفی شده‌اند.

#### ۴-۵-۱- سازند فجن

در برش الگو ضخامت آن تا ۱۵۰۰ متر اندازه‌گیری شده است ولی از نگاه سنگ‌شناختی، این سازند شامل ضخامت متغیری از کنگلومرای پلی‌ژنتیک، ماسه سنگ‌های سُرخ رنگ و مارن‌های ماسه‌ای است که براساس جایگاه چینه‌شناسی مربوط به سن پالتوسن - ائوسن دانسته شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند با توجه به ویژگی‌های سنگی که دارا می‌باشد، در مقابل فرسایش مقاوم نبوده و تحت تأثیر هوازگی و فرآیندهای خاک‌زایی رخساره‌های پوشیده از خاک و علفزار را در محدوده مورد بررسی به وجود آورده است.

#### ۴-۵-۲- سازند زیارت

سازند زیارت متعلق به ائوسن میانی بوده و ضخامت آن در مقطع نمونه حدود ۴۳۵ متر برآورد شده است. از نظر سنگ شناختی این سازند شامل دو بخش است که در بخش زیرین، مارن‌های گچ دار سبز مایل به زرد همراه با لنزهای گچی دیده می‌شود که بر روی آن، آهک‌های ضخیم لایه و ریفی فسیل‌دار قرار گرفته است (درویش زاده، ۱۳۸۰). سازند زیارت در محدوده مورد مطالعه از حدود ۲۰-۵۰ متر سنگ آهک میکرایتی، به رنگ خاکستری تا خاکستری مایل به سبز تشکیل شده است که در بردارنده مقدار فراوان نومولیت به سن ائوسن زیرین است. این آهک‌ها در برخی از نقاط، با تغییر رخساره به شیل‌های آهکی نومولیت‌دار و یا شیل‌های توفی (قابل تفکیک از توف‌های سبز سازند کرج)، قابل مشاهده می‌باشد (نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده). این سازند در قسمت جنوبی حوضه به صورت نوار باریکی گسترش دارد.

#### ۴-۵-۳- سازند کرج

مجموعه‌ای از لایه‌های رسوبی، توفیت و سنگ‌های آذرین بیرونی که در دره کرج و دامنه جنوبی البرز رخنمون دارند، به نام سازند کرج نامیده شده است. این سازند که در محدوده نسبتاً گسترده‌ای از البرز مرکزی برونزد دارد، متعلق به ائوسن میانی بوده و به طور عمده از توفیت‌های سبز و شیل‌های دریایی تشکیل شده است (امینی و بلوریان، ۱۳۸۴). در واقع لایه‌های توف سبز رنگ، ولکانیک‌های اسیدی، متوسط و بازیک از یک طرف و لایه‌های سنگ آهک‌های فسیل دار و شیل‌های تیره رنگ، با انواع توف‌ها و آگلومراها از طرف دیگر، تشکیل دهنده اصلی این سازند می‌باشد. به دلیل تفاوت‌های زیاد در لیتولوژی و واحدهای سازند کرج، این سازند در برش الگو، با ۳۳۰۰ متر ضخامت، به ۵ عضو تقسیم شده که از پایین به بالا عبارتند از:

۱- بخش شیل پایینی؛ با ۱۰۵۵ متر ضخامت، شامل شیل‌های آهکی و سیلتی خاکستری تیره

۲- بخش توف میانی؛ با ۱۱۷۷ متر ضخامت، شامل توف‌های ضخیم‌لایه و شیشه‌ای به رنگ سبز آبی تا سبز روشن

۳- شیل آسارا؛ شامل ۱۶۷ متر شیل آهکی با مقدار ناچیزی از توف و شیل توفی

۴- بخش توف بالایی؛ شامل توف سبز و لایه‌هایی از شیل توفی، ماسه‌سنگ توف‌دار و شیل آهکی با ضخامت ۹۱۷ متر

۵- شیل کندوان؛ شامل حدود ۱۵۰ متر شیل آهکی و شیل ژئوپس‌دار (آقاناتی، ۱۳۸۳).

در حوضهٔ آبگیر نوررود، بخش توف میانی در قسمت جنوبی حوضه گسترش بسیار زیادی داشته که شامل توف‌های ضخیم لایهٔ سبز آذرآواری با لایه بندی منظم می‌باشد (شکل ۴-۷ و ۴-۸).





شکل (۴-۷): نمایی از گستردگی رخنمون سازند کرج در محدوده مورد مطالعه

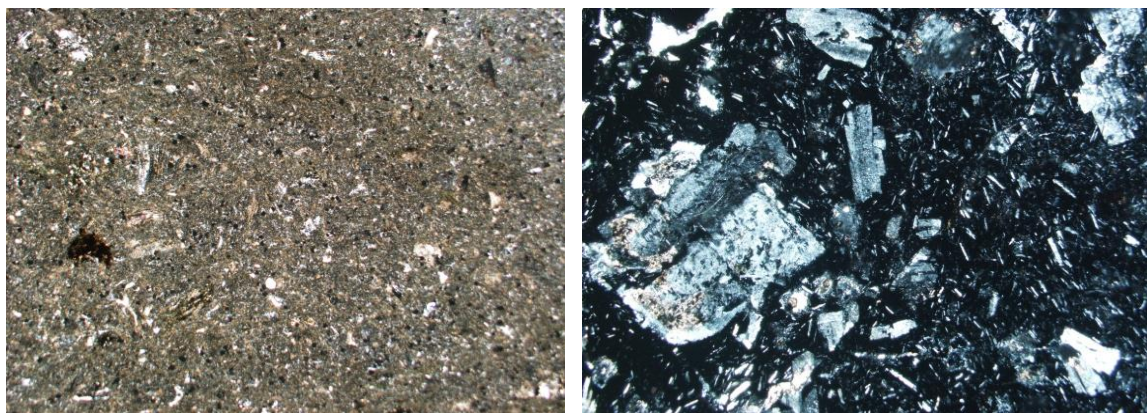


شکل (۴-۸): تصویری از توالی لایه بندی سازند کرج در منطقه مورد مطالعه

مطالعه برخی از قطعات آتشفشانی محفوظ مانده در توفیت‌ها از یک طرف و تعیین ترکیب پلاژیوکلاز موجود در توفیت‌های دره کرج از طرف دیگر، نشان می‌دهد که گدازه سازنده توفیت‌ها، از انواع اسیدی

تا حدواسط (ریوداسیت، داسیت) بوده که این مطلب نشان دهنده انفجاری بودن این آتشفشان‌ها می‌باشد (درویش زاده، ۱۳۸۳).

۵ مقطع نازک تهیه شده از بخش‌های مختلف سازند کرج در منطقه مورد مطالعه، سرد شدن سریع سنگ (با توجه به زمینه شیشه‌ای و بلورهای فنوکریست پلاژیوکلاز) و تفاوت بافتی در بخش‌های مختلف آن را تأیید می‌نماید (شکل های ۴-۹).



B

A

شکل (۴-۹): مقاطع سنگی از سازند کرج (بزرگ نمایی  $40\times$  - میکروسکوپ پلاریزان). A - پیروکسن، پلاژیوکلاز، در زمینه شیشه‌ای (توف بلورین) B - ذرات ریز دانه به همراه پلاژیوکلاز (توف سیلیسی)

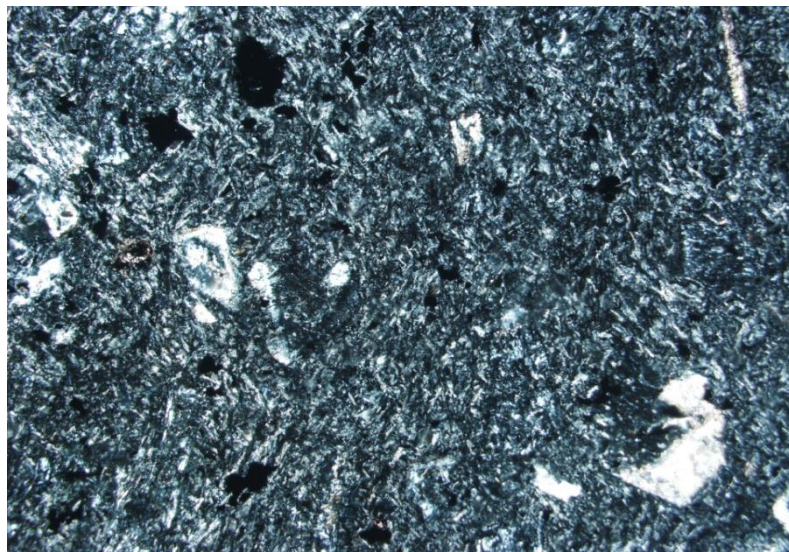
علاوه بر سازندهای نامگذاری شده سنوزوئیک در منطقه مورد مطالعه (فجن، زیارت و کرج)، واحدهای آذرین و رسوبی متعدد و متنوعی در منطقه رخنمون داشته که فاقد نامگذاری رسمی و یکپارچه می‌باشند:

- سنگ های ولکانیکی شامل بازالت‌های اسپیلیتی هوازده و آلتزه شده و آگلومرای رخنمون یافته در زیرحوضه کلیک تا زیرحوضه اوزرود

- داسیت‌ها و بازالت‌های رخنمون یافته در بین بخش‌های مختلف سازند شمشک، در امتداد رودخانه نوزرود و در کنار روستای بلده و شرق ولاشید
  - آندزیت، آندزیت - بازالت و بازالت منطقه ناحیه و حوضه اوزرود
  - بازالت و آلیوین بازالت‌های منطقه نسن و منطقه کلاک رخنمون یافته در سازند شمشک.
- واحدهای گچی رخنمون یافته در زیرحوضه کلیک، نهشته‌های یخچالی رخنمون یافته در کوه قبله واقع در جنوب غربی منطقه (شمال کوه دیو آسیاب، کوه چنگون و رستم چال) نیز نمونه‌هایی از واحدهای رسوبی محدوده می‌باشند.
- رسوبات رودخانه‌ای، مخروط افکنه‌ها و آبرفت‌ها نیز جدیدترین واحدهای رسوبی منطقه مورد مطالعه بوده که هم‌اکنون نیز در حال تشکیل و ته نشست می‌باشند.
- رخنمون صحرایی و تصویر مقطع نازک مطالعه شده ولکانیک‌های زیرحوضه کلیک به ترتیب در شکل-های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) آورده شده است. زمینه دانه ریز و دگرسانی شدید از ویژگی‌های مقطع نازک این رخنمون می‌باشد، به طوری که پلاژیوکلازها به کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند.
- شکل شماره (۴-۱۲) و (۴-۱۳) نیز به ترتیب رخنمون صحرایی و مقطع نازک مربوط به بازالت‌های (ناحیه) حوضه اوزرود را نشان می‌دهد. فنوکریست‌های درشت بلور پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای از ویژگی‌های بازالت مطالعه شده در این مقطع می‌باشد. شکل (۴-۱۴) نیز نمایشی از واحدهای گچی و زودفرسای زیرحوضه کلیک را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۰): رخنمون صحرایی از واحدهای ولکانیکی حوضه کلیک



شکل (۴-۱۱): مقطع سنگی از سنگ‌های ولکانیکی حوضه کلیک (بزرگ نمایی  $20\times$  - میکروسکوپ پلاریزان)



شکل (۴-۱۲): رخنمون صحرائی از بازالت ناحیه (حوضه اوزرود)



شکل (۴-۱۳): مقطع سنگی از بازالت ناحیه- حوضه اوزرود (بزرگ نمایی  $20\times$  - میکروسکوپ پلاریزان)



شکل (۴-۱۴): نمایی از رخنمون‌های واحدهای گچی زیرحوضهٔ کلیک

#### ۴-۷- تکتونیک منطقه

#### ۴-۷-۱- نوار کوهزایی البرز

رشته کوه البرز در شمال ایران مجموعه ارتفاعاتی به فرم خمیده با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر را شامل می‌شود که از غرب به قفقاز کوچک در جمهوری‌های ارمنستان و آذربایجان و از شرق به کوه‌های پاراپامیسوس در شمال افغانستان متصل است (رحیمی، ۱۳۸۱).

ساختارهای البرز بیشتر از نوع چین‌های ملایم و ناهماهنگ با روند عمومی شرقی - غربی است؛ البته در بخش شرقی روندها شمال شرقی - جنوب غربی و در بخش غربی روندها شمال غربی - جنوب شرقی بوده و این دو روند در البرز مرکزی به هم می‌رسند. علاوه بر چین خوردگی، گسل‌های رانده نیز در ساختار البرز نقش مهمی داشته‌اند، به طوری که سبب شده‌اند ورقه‌های ساختاری به مقدار زیادی جابه‌جا شده و سیستم‌های دوبخشی (دوپلکس) به وجود آیند (معماریان، ۱۳۸۷).

#### ۴-۷-۲- زمین ساخت و عناصر ساختاری حوضه نوررود

حوضه نوررود تحت تأثیر فازهای مختلف تکتونیکی قرار گرفته که نتیجه تأثیر این فازها، ایجاد شکستگی‌ها، گسل‌ها، درزه‌ها و تاقدیس و ناودیس‌های متعدد در این ناحیه می‌باشد. گسل‌های اصلی و شکستگی‌های طویل حوضه که دارای روند کلی شرقی - غربی می‌باشند، در شکل‌گیری ناهمواری‌های منطقه و مورفولوژی حوضه نقش قابل توجهی ایفا نموده‌اند که در ادامه به توصیف آنها پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۷-۲-۱- چین‌ها

چین‌ها یکی از مهمترین پدیده‌های زمین شناسی می‌باشند، زیرا عامل اصلی تشکیل پستی و بلندی‌ها و رخساره‌های مختلف ژئومورفولوژیکی هستند. چین‌های حوضه شامل تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها با روند تقریباً شرقی - غربی هستند که از روند ساختاری حاکم بر ایالت ساختاری البرز مرکزی تبعیت می‌کنند. کشیدگی و شکل حوضه نوررود نیز با این روند مطابقت دارد. از ناودیس‌های رستم چال، سودر، شکرلقاز، جنوب رزن، بردون و تاقدیس‌های شمال رزن و تاقدیس کلا می‌توان به عنوان مهمترین چین‌های منطقه نام برد (سعیدی و قاسمی ۱۳۸۳).

تاقدیس شمال رزن که رسوبات سازند شمشک را چین داده است، دارای روند شمال غرب - جنوب شرق بوده و در دو طرف یال آن حرکات لغزشی و ریزشی متعددی مشاهده می‌شود. تاقدیس کلا نیز دارای روند شمال غرب - جنوب شرق بوده و در بخش جنوبی حوضه واقع شده است. محور این تاقدیس توسط رودخانه کلا قطع می‌شود. ناودیس رستم چال که در جنوب حوضه قرار دارد، چین بزرگی است که به طور عمده در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن دیده می‌شود. شکرلقاز

ناودیس دیگری است که در رخنمون‌های نهشته‌های ائوسن مشاهده شده و یالرود در راستای محور این ناودیس جای گرفته است.

#### ۴-۷-۲-۲- گسل‌ها

منطقه مورد مطالعه بین دو گسل بسیار مهم البرز و کندوان - بایجان واقع شده است. این دو گسل به همراه سایر گسل‌های اصلی و فرعی حوضه، عمدتاً دارای امتدادی شرقی - غربی تا شمال غربی - جنوب شرقی هستند. گسل‌های مهم ناحیه از جنوب به شمال شامل گسل‌های جنوب کوه قبله، میش چالک، رستم‌چال، فراخین، انگرود، ناحیه و نوررود می‌باشد. گسله‌های جنوب کوه قبله، میش چالک، رستم‌چال فراخین راندگی‌های فرعی تری هستند که با شیب به سمت شمال سبب راندگی واحدهای سنگی ائوسن بر روی یکدیگر شده و بلندترین برجستگی‌های ناحیه (کوه‌های قبله و رستم-چال) را باعث شده‌اند. راندگی بردون نیز در درون واحدهای سنگی ائوسن جای گرفته اما شیب آن به سمت جنوب است. وجود سنگ‌های برشی شده، دره‌های خطی و فرورسوده و وجود توده‌های نفوذی پرشمار در راستای دره بلده نشان دهنده گسلی احتمالی در بستر این دره می‌باشد. این گسل که تحت نام گسل بلده (نوررود) خوانده می‌شود، احتمالاً گسلی راستالغز با مؤلفه معکوس و امتداد شرقی - غربی است (شکل ۴-۱۸).

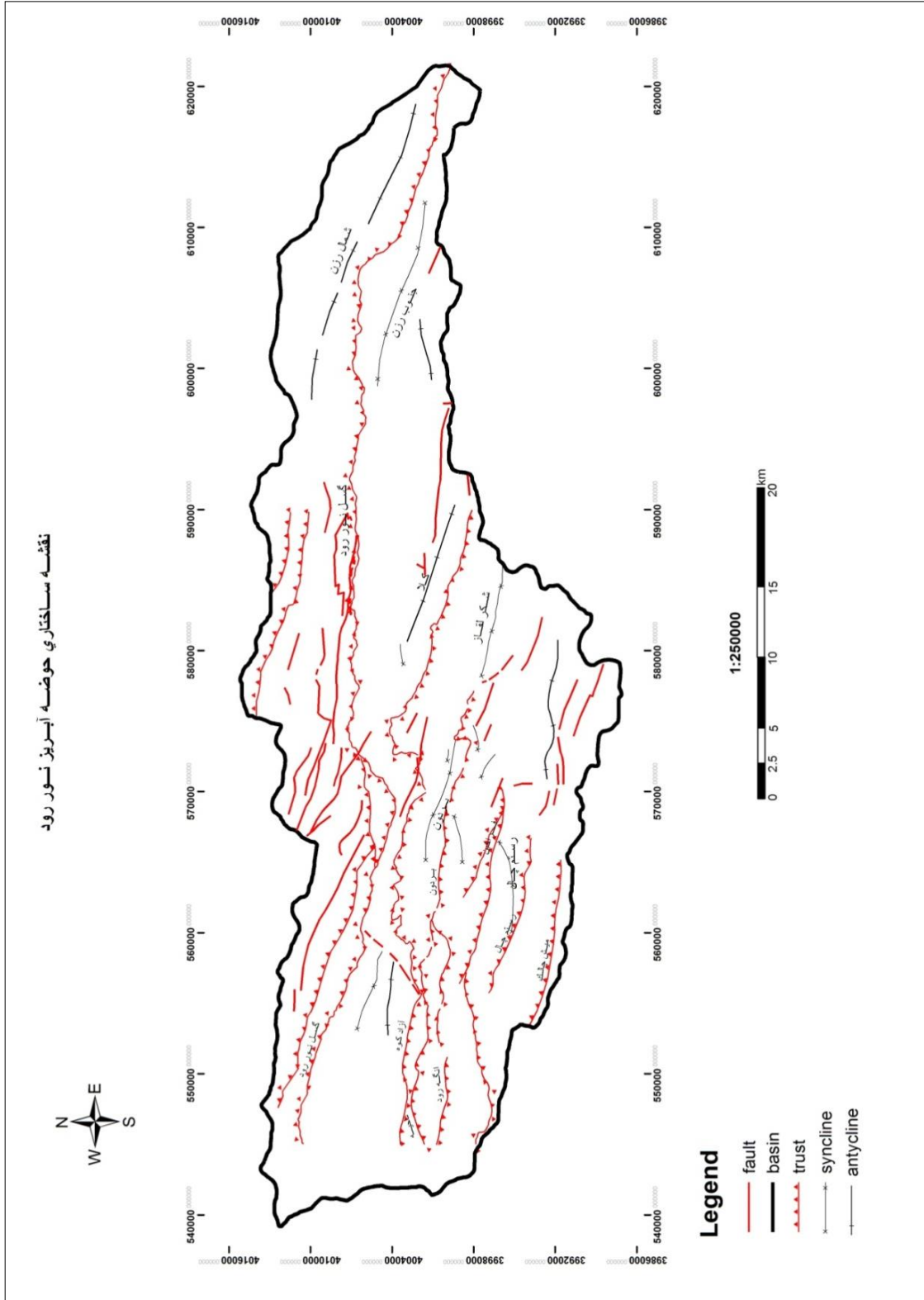
#### ۴-۸- زمین شناسی اقتصادی

با وجود گسترش واحدهای متنوع لیتولوژیکی و انجام فرآیندهای تکتونیکی و فعالیت‌های ماگمایی، ذخیره معدنی فلزی قابل توجهی تشکیل نشده و ذخایر گچ، معادن فعال شن و ماسه و ذغال سنگ سازند شمشک، مهمترین منابع معدنی محدوده مورد بررسی محسوب می‌گردند (جدول ۴-۲).



جدول (۲-۴): اسامی و نوع معادن موجود در منطقه (صنایع و معادن مازندران، ۱۳۸۹)

نام معدن	نوع ماده معدنی	موقعیت	وضعیت معدن
قلعه نور	ذغال	۲ کیلومتری جنوب بلده	راکد
کلیک و یاسل	ذغال	بلده - روستای کلیک و یاسل	فعال
چل	ذغال	بلده - روستای چل	فعال
یوش	ذغال	بلده - روستای یوش	در حال تجهیز
ناحیه	باریت	بلده - روستای ناحیه	در حال تجهیز
تترستاق	گچ	بلده - روستای رزن	فعال
یالرود و حطر	گچ	بلده - روستای حطر	در حال تجهیز
زرین کمر	لاشه آهکی	بلده - روستای زرین کمر	فعال
هردورود	واریزه کوهی	ابتدای جاده هراز - بلده	غیر فعال
فعال جاده بلده	واریزه کوهی	ابتدای جاده هراز - بلده	فعال
قائم جاده	واریزه کوهی	۴۷ کیلومتری جنوب آمل	در حال تجهیز
شن هردورود	واریزه کوهی	۴۱ کیلومتری جنوب آمل	در حال تجهیز



شکل (۴-۱۵): نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه

## فصل پنجم

### بحث و بررسی

#### ۵-۱- مقدمه

ویژگی‌های کیفی و کمی رسوبات هر حوضه و هر رودخانه معرف کلیه مواد شسته شده از سطح حوضه می‌باشند. این مواد که ممکن است مواد فرسایش یافته واحدهای زمین شناسی، خاک‌ها، عوارض طبیعی، زهاب حاصل از کود و سموم مصرف شده در زمین‌های کشاورزی، آلودگی‌های صنعتی باشد، از لحاظ غلظت، کیفیت و نوع عناصر سنگین موجود، دارای ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند که با استفاده از فاکتورهایی مانند  $I_{geo}$  و  $EF$  می‌توان به منشأ آلودگی و شدت آلودگی به صورت کمی پی برد.

در این بخش جهت بررسی ویژگی‌های کیفی حوضه آبریز نوررود، ۴۰ نمونه از سراسر حوضه برداشت گردید که ضمن مطالعه شاخه اصلی رودخانه (نوررود)، به مطالعه ویژگی‌های هر یک از شاخه‌های فرعی این رودخانه (زیرحوضه‌ها) نیز پرداخته شده است. غلظت عناصر سنگین  $Zn, V, Ni, Cr, Co$ ، مقدار  $pH$  و میزان مواد آلی رسوبات و فاکتورهای ژئوشیمیایی  $CF, EF, I_{geo}$  و  $Cd, As, Pb, Mn, Cu$  جهت تعیین ویژگی‌های عناصر، در این بخش مورد مطالعه قرار گرفته است. تحلیل‌های آماری داده‌ها و همبستگی عناصر با یکدیگر و با میزان مواد آلی و  $pH$  رسوبات و همچنین نتایج دانه سنجی رسوبات (تعیین درصد گراول، ماسه و گل) نیز بررسی قرار گرفته اند.

#### ۵-۲- زیرحوضه آزادکوه - نسن

این زیرحوضه که در بخش‌های جنوب غربی منطقه قرار گرفته است، زیرحوضه کوچکی بوده که ضمن شستشوی اراضی کربناتی (آهکی - دولومیتی) و شیل‌ها و ماسه سنگ‌های سازند شمشک، با شیب توپوگرافی نسبتاً زیاد، بار رسوبی خود را وارد رودخانه نوررود می‌نماید.

جهت تعیین ویژگی‌های کلی این زیرحوضه، یک نمونه رسوب از انتهای شاخه اصلی آن (قبل از ورود به رودخانه نوررود)، برداشت گردید و ضمن تعیین غلظت فلزات سنگین آن، مورد آزمایشات دانه سنجی، تعیین pH و مقدار مواد آلی نیز قرار گرفت.

### ۵-۲-۱- خصوصیات رسوب شناختی زیرحوضه آزادکوه - نسن

نمونه برداشت شده از زیرحوضه آزادکوه - نسن مورد آنالیز دانه سنجی قرار گرفته که نتایج دانه سنجی و سایر پارامترهای اندازه گیری شده برای این نمونه در جدول ۵-۱ آورده شده است.

جدول (۵-۱): خصوصیات دانه سنجی رسوب و مقادیر pH و مواد آلی زیر حوضه آزادکوه- نسن

نام ماسه	$\phi$	نام رسوب (فولک)	Mud(%)	Sand (%)	Gravel(%)	pH	OM(%)
ماسه ریز	۲/۰۰	ماسه با کمی گراول	۲/۴۸	۹۶/۹۰	۰/۶۴	۷/۷۷	۳/۸۰

همان طور که در جدول ۵-۱ مشاهده می‌گردد، ۹۶/۹۰ درصد این نمونه از ماسه تشکیل شده و تنها ۰/۶۴ درصد گراول و ۲/۴۸ درصد گل در آن اندازه‌گیری شده است. مواد آلی این زیرحوضه، مقدار ۳/۸٪، رانشان می‌دهد.

### ۵-۲-۲- غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه آزاد کوه- نسن

غلظت عناصر سنگین نمونه برداشت شده از زیرحوضه آزادکوه - نسن، تعیین و در جدول ۵-۲ آورده شده است.

جدول (۲-۵): میزان غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه آزادکوه- نسن (برحسب ppm)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Con*	۱۱/۱۲	۰/۹۳	۱۳/۷۴	۷۸/۵۶	۲۶/۴۵	۶۱۶	۳۸/۰۶	۱۹/۲۷	۱۰۴/۸۳	۱۰۴
W.M.S**	۷/۷	۰/۱۷	۱۴	۷۲	۳۳	۷۷۰	۵۲	۱۹	۱۰۵	۹۵

\*: Concentration (غلظت)

\*\* : World Mean Sediment (Berry & Mason 1959)

از میان عناصر اندازه‌گیری شده در این نمونه، As (۱/۴۴ برابر)، Cd (۵/۴۷ برابر)، Pb (۱/۰۱ برابر)، Zn (۱/۱ برابر) و Cr (۱/۱ برابر)، مقادیر بیشتر از میانگین رسوب جهانی را نشان می‌دهند. این در حالی است که سایر عناصر غلظت‌هایی کمتر از این میانگین را دارا می‌باشند.

### ۲-۳-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه آزاد کوه - نسن

جهت بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات زیرحوضه آزادکوه - نسن، شاخص‌هایی از قبیل EF، Igeo و CF مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل از آن در جدول ۳-۵ نشان داده شده است.

جدول (۳-۵): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در زیرحوضه آزادکوه - نسن

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
EF	۱/۰۲	۳/۰۵	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۶۲
Igeo	-۰/۰۵	۱/۸۶	-۰/۶۱	-۰/۴۶	-۰/۹	-۰/۹۱	-۱/۰۴	-۰/۵۶	-۰/۵۹	۰/۴۵
CF	۰/۵۷	۰/۸۹	۰/۴	۰/۵	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۴۴

همان‌طور که در جدول ۳-۵ مشاهده می‌گردد، فاکتور غنی‌شدگی تنها برای کادمیوم ( $EF = ۳/۰۵$ ) غنی‌شدگی متوسط را نشان داده و سایر عناصر در محدوده غنی‌شدگی اندک یا بدون غنی‌شدگی قرار می‌گیرند که از این مطلب می‌توان به طبیعی بودن منشأ این رسوب پی برد. فاکتور زمین‌انباشت

نیز با نشان دادن  $I_{geo} = 1/86$  برای کادمیوم و  $I_{geo} = 0/45$  برای روی، به ترتیب آلودگی‌های متوسط و بدون آلودگی تا آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. براساس این فاکتور، سایر عناصر هیچگونه آلودگی را نشان نمی‌دهند ( $I_{geo} < 0$ ). فاکتور آلودگی تعیین شده از این رسوب نیز برای تمامی عناصر، مقادیری کمتر از ۱ ( $CF < 1$ ) و درجه آلودگی مقداری کمتر از ۶ ( $C_d = 4/67$ ) را نشان داده که اندک بودن آلودگی آن را تأیید می‌نمایند (جدول ۵-۳).

### ۵-۳- زیرحوضه کلاک

شاخه اصلی ناشی شده از زیرحوضه کلاک، در مجاورت و به موازات شاخه اصلی زیرحوضه آزادکوه - نسن، در محدوده جنوب غربی حوضه آبگیر نوررود قرار گرفته است. این شاخه ضمن عبور از واحدهای بازالتی، آهکی و ماسه سنگ‌ها و شیل‌های ذغال‌دار (متعلق به سازند شمشک) بار رسوبی متنوعی را به رودخانه نوررود تخلیه می‌نماید.

به دلیل وسعت کم و بار رسوبی نسبتاً اندک، از این زیرحوضه نیز تنها یک نمونه رسوب، در محل تخلیه به شاخه اصلی رودخانه نوررود برداشت گردید و مورد آنالیزهای گوناگون (تعیین فلزات سنگین، دانه سنجی و ...) قرار گرفت.

### ۵-۳-۱- خصوصیات رسوب شناختی در زیرحوضه کلاک

دانه سنجی، مقدار pH و درصد مواد آلی از جمله پارامترهایی بوده که برای رسوب برداشت شده از زیرحوضه کلاک اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل از آن در جدول ۵-۴ آورده شده است.

جدول (۵-۴): خصوصیات دانه سنجی رسوب و مقادیر pH و ماده آلی در زیرحوضه کلاک

OM(%)	pH	Gravel (%)	Sand (%)	Mud (%)	نام رسوب (فولک)	$\phi$	نام ماسه
۴/۲۰	۷/۷۱	۲۳/۳۶	۷۵/۲۳	۱/۸۴	ماسه گراولی	۰/۸۸	ماسه درشت

همان طور که در جدول ۴-۵ مشاهده می‌گردد، با اینکه این شاخه علاوه بر واحدهای آذرین، شیل‌ها و رس‌های سازند شمشک را نیز مورد فرسایش قرار داده است، اما درصد گِل نمونه برداشت شده بسیار کم (۱/۸۴٪) بوده و بخش اعظم نمونه را ذرات ماسه‌ای (۷۵/۲۳٪) تشکیل داده است. البته مقدار قابل توجه درصد گراول (۲۳/۳۶٪) باعث شده تا این نمونه تحت نام ماسه گراولی نامگذاری گردد. تلاطم آب و شیب نسبتاً زیاد توپوگرافی باعث شده تا ذرات شیلی و سایر قطعات سنگی فرصت و شرایط لازم جهت تبدیل شدن به ذرات ریز و رسی را نداشته باشند. ذرات ذغالی فرسایش یافته از سازند شمشک نیز احتمالاً (به دلیل تلاطم) توانایی ته نشست در رسوبات را پیدا نکرده و در نمونه رسوب تنها ۴/۲٪ ماده آلی ثبت شده است.

### ۵-۳-۲- غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه کلاک

میزان غلظت عناصر سنگین اندازه‌گیری شده در زیرحوضه کلاک در جدول ۵-۵ آورده شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۵-۵): میزان غلظت عناصر در زیرحوضه کلاک (بر حسب ppm)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
<b>Con</b>	21.32	0.55	16.82	62.03	31.01	562	30.92	1.00	99.79	116
<b>W.M.S</b>	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

با اینکه غلظت بسیاری از عناصر در نمونه برداشت شده از این زیرحوضه نیز همانند زیرحوضه آزادکوه، به طور کل کمتر از میانگین جهانی رسوبات می‌باشد، آرسنیک با ۲/۷۶ برابر، کادمیوم با ۳/۲۳ برابر، کبالت با ۱/۲ برابر و روی با ۱/۲۲ برابر، مقادیری بیشتر از میانگین رسوبات را نشان می‌دهند. فرسایش بخش‌های شیلی سازند شمشک که دارای غلظت‌های بالای آرسنیک، کادمیوم و روی می‌باشند

(رحیمی، ۱۳۸۸) را می‌توان دلیلی بر غلظت این عناصر در نظر گرفت. مقدار کبالت را نیز می‌توان به بازالت‌های آلیوین‌دار زیرحوضه کلاک نسبت داد.

### ۵-۳-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه کلاک

نتایج بررسی فاکتورهای ژئوشیمیایی از قبیل غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت و فاکتور آلودگی در جدول ۵-۶ نشان داده شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۵-۶): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در زیرحوضه کلاک

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
<b>EF</b>	2.28	1.95	0.72	0.52	0.56	0.44	0.36	0.03	0.57	0.73
<b>Igeo</b>	0.88	1.12	-0.32	-0.8	-0.67	-1.04	-1.34	-4.83	-0.66	-0.29
<b>CF</b>	0.69	0.18	0.49	0.39	0.45	0	0.28	0.02	0.42	0.49

همان‌طور که در جدول ۵-۶ مشاهده می‌گردد، غلظت بالای کادمیوم و آرسنیک باعث شده تا این عناصر بیشترین فاکتور غنی‌شدگی (به ترتیب ۱/۹۵ و ۲/۲۸) را نشان دهند. شاخص زمین‌انباشت (Igeo) نیز برای آرسنیک ۰/۸۸ و برای کادمیوم ۱/۱۲ تعیین شده است که به ترتیب شدت‌های بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. سایر عناصر نیز فاقد آلودگی می‌باشند. این نمونه ضمن دارا بودن درجه آلودگی اندک ( $C_d = ۳/۴۱$ ) و فاکتور آلودگی کمتر از ۱ ( $CF < ۱$ )، میزان پایین آلودگی را نشان می‌دهند که تأیید کننده منشأ طبیعی غلظت‌های موجود در این نمونه می‌باشد.



## ۵-۴- زیرحوضه یاسل

زیرحوضه یاسل، بین دو زیرحوضه بسیار بزرگ اوزرود و کلیک (که به خاطر اهمیت بیشتر در انتها به توضیح آنها پرداخته شده است)، تقریباً در مرکز و ناحیه جنوبی رودخانه نوررود واقع شده است. طول این زیرحوضه به نسبت زیرحوضه‌های آزادکوه - نسن و کلاک، کوچکتر بوده (شکل ۳-۱) اما به دلیل تنوع لیتولوژیکی واحدهای بالادست، دارای اهمیت می‌باشد. بخش‌های مختلف سازند شیل، ماسه سنگی و ذغالی شمشک، بازالت‌های ائوسن، آهک‌های ژوراسیک و توف و گچ‌هایی که به ائوسن نسبت داده می‌شوند، از جمله این واحدها محسوب شده که در نهایت بار رسوبی ناشی از فرسایش آنها توسط این زیرحوضه به رودخانه نوررود منتقل می‌گردد.

از خروجی این شاخه نیز نمونه‌ای جهت انجام مطالعات، برداشت گردیده که مورد آزمایشات دانه سنجی، تعیین pH، اندازه‌گیری درصد ماده آلی رسوب و تعیین غلظت فلزات سنگین قرار گرفته است.

## ۵-۴-۱- بررسی خصوصیات رسوب شناختی زیرحوضه یاسل

دانه بندی، مقدار مواد آلی و pH نمونه برداشت شده از رسوبات زیرحوضه یاسل، تعیین شده و مقادیر آن در جدول (۵-۷) آورده شده است.

جدول (۵-۷): خصوصیات دانه سنجی رسوب و مقادیر pH و ماده آلی در زیرحوضه یاسل

نام ماسه	$\phi$	نام رسوب (فولک)	Mud (%)	Sand (%)	Gravel (%)	pH	OM(%)
ماسه درشت	0.04	گراول ماسه‌ای	2.67	64.60	33.63	7.61	10.40

کمتر شدن شیب توپوگرافیک در این زیرحوضه نسبت به دو زیرحوضه بحث شده (آزادکوه و کلاک) و همچنین فرسایش بیشتر لایه‌های ذغال سنگی و شیل‌های ذغالی، باعث شده تا درصد مواد آلی این

شاخه، مقدار قابل توجهی (۱۰/۴۰٪) را نشان دهند. البته در این نمونه نیز مقدار ماسه (۶۴/۶٪) به طور قابل توجهی از درصد گراول (۳۳/۶۳٪) و گِل (۲/۶۷٪) بیشتر می‌باشد.

#### ۵-۴-۲- غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه یاسل

غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه یاسل تعیین شده و مقادیر آن در جدول ۵-۸ آورده شده است.

جدول (۵-۸): میزان غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه یاسل

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Con	14.38	0.89	16.8	52.72	35.33	741	27.63	51.52	121.14	134
W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

به دلیل تنوع لیتولوژیکی بالای واحدهای زمین شناسی در زیرحوضه یاسل، بجز عناصر کروم (ppm) ۵۲/۷۲، منگنز (ppm) ۷۴۱ و نیکل (ppm) ۲۷/۶۳، سایر عناصر مقادیری بیش از میانگین جهانی رسوبات را دارا می‌باشند. آرسنیک، کادمیوم و سرب به ترتیب با ۱/۸۶، ۵/۲ و ۲/۷۱ برابر، بیشترین افزایش‌ها را نشان می‌دهند (جدول ۵-۸).

#### ۵-۴-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه یاسل

مقادیر فاکتورهای ژئوشیمیایی غنی شدگی، شاخص زمین انباشت و فاکتور آلودگی بررسی شده در غلظت عناصر رسوب زیرحوضه یاسل در جدول ۵-۹ ارائه شده است.

جدول (۵-۹): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در زیرحوضه یاسل

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
EF	1.03	2.86	0.66	0.4	0.59	0.53	0.29	1.49	0.63	0.77
Igeo	0.32	1.8	-0.32	-1.03	-0.49	-0.64	-1.5	0.85	-0.38	-0.09
CF	0.58	0.29	0.49	0.33	0.51	0	0.25	0.95	0.51	0.57

همان طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، غلظت بالای کادمیوم باعث شده تا غنی‌شدگی این عنصر در نمونه برداشت شده از زیرحوضه یاسل، به صورت متوسط ( $2 < EF < 5$ ) اعلام گردد. این در حالی است که EF سایر عناصر این حوضه کوچکتر از ۲ بوده که نشان دهنده عدم غنی‌شدگی و یا غنی‌شدگی جزئی آنها می‌باشد. البته شاخص زمین انباشت محاسبه شده برای کادمیوم ( $1/8$ )، نشان دهنده شدت آلودگی متوسط و برای آرسنیک ( $0/32$ ) و سرب ( $0/85$ )، نشان دهنده عدم آلودگی تا آلودگی متوسط آنها می‌باشد.

براساس جدول ۵-۶، فاکتور و درجه آلودگی این رسوب نیز پایین (آلودگی اندک) برآورد شده است.

## ۵-۵- مجموعه زیرحوضه‌های شرقی

نیمه شرقی حوضه آبگیر نوررود از چندین زیرحوضه تشکیل شده که جریانات ناشی از آنها، طی روندهای تقریباً شمالی - جنوبی، آب و بار رسوبی خود را به رودخانه نوررود تخلیه می‌نماید. ولاشید، نُج رود، دره یازی و رزن، از جمله این زیرحوضه‌ها بوده که معمولاً بجز سازند شمشک، واحد دیگری را تحت فرسایش قرار نمی‌دهند. البته به دلیل وجود گنبد‌های داسیتی در محدوده سازند شمشک این ناحیه، بار رسوبی می‌تواند قطعات آذرینی نیز به همراه داشته باشد.

جهت مطالعه ویژگی‌های کیفی و کمی این زیرشاخه‌ها، از انتهای هر شاخه، نمونه‌ای برداشت گردیده و پارامترهای مختلفی از قبیل غلظت فلزات سنگین، درصد اجزاء رسوب (دانه بندی) و ... در آنها اندازه‌گیری شده است.

## ۵-۵-۱- خصوصیات رسوب شناختی زیرحوضه‌های شرقی

مقدار pH، درصد مواد آلی و دانه سنجی نمونه‌های زیرحوضه‌های شرقی اندازه‌گیری شده و در جدول ۵-۱۰ آورده شده است.

جدول (۵-۱۰): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی در زیرحوضه‌های شرقی

نام ماسه	$\phi$	نام رسوب (فولک)	Mud (%)	Sand (%)	Gravel (%)	pH	OM (%)	ST
ماسه درشت	0.94	ماسه گراولی	2.64	78.64	19.22	8.04	7.20	VA
ماسه متوسط	1.45	ماسه گراولی	4.05	84.70	11.72	7.95	4.20	TN
ماسه متوسط	1.89	ماسه با کمی گراول	5.67	93.00	1.41	7.78	4.60	DY
ماسه متوسط	1.51	ماسه گراولی	5.67	79.54	15.67	7.84	4.80	RA

مقادیر متفاوت شیب توپوگرافی هر زیرحوضه، تفاوت در جنس واحدهای فرسایش یافته (بخش‌های مختلف سازند شمشک)، میزان دبی و تلاطم هر شاخه باعث شده تا ویژگی‌های رسوب شناسی شاخه‌ها اندکی تفاوت با یکدیگر نشان دهند. همان طور که در جدول ۵-۱۰ مشاهده می‌گردد، زیرحوضه‌های رزن و دره یازی، با مقدار برابری از درصد گل (۵/۶۷٪)، مقادیر متفاوت ماسه (به ترتیب ۷۹/۵۴٪ و ۹۳٪) و گراول (۱۵/۶۷٪ و ۱/۴۱٪) را نشان داده‌اند. این در حالی است که مقدار مواد آلی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های این دو شاخه بسیار مشابه یکدیگر (۴/۸٪ برای رزن و ۴/۶٪ برای دره یازی) بوده است. زیرحوضه نُج رود که در بین حوضه‌های آبگیر مجاور خود، بیشترین مقدار ماده آلی یعنی ۷/۲٪ را به خود اختصاص داده است، از لحاظ درصد ماسه تفاوت چندانی با سایر زیرحوضه‌ها نشان نداده ولی کمترین مقدار گل (۲/۶۴٪) در این شاخه ثبت گردیده است. دامنه تغییرات pH این نمونه‌ها نیز تنها ۰/۲۶ واحد بوده که بیشترین آن مربوط به نُج رود (۸/۰۴) و کمترین آن به دره یازی

(۷/۷۸٪) متعلق می‌باشد. زیرحوضهٔ ولاشید نیز از لحاظ ویژگی‌های دانه سنجی و مقدار pH، حدی بین دو زیرحوضهٔ نُج رود و دره یازی را دارا می‌باشد (جدول ۵-۱۰).

### ۵-۵-۲- غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه‌های شرقی

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی عناصر مورد مطالعه در زیر حوضه‌های شرقی در جدول (۵-۱۱) ارائه شده است.

جدول (۵-۱۱): میزان غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه‌های شرقی (غلظت‌ها برحسب ppm)

	ST	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
<b>Con</b>	<b>VA</b>	18.19	0.56	13.82	64.97	30.05	491	30.53	13.85	101.71	111
	<b>TN</b>	11.81	0.31	17.81	68.83	33.73	541	40.22	39.38	105.97	124
	<b>DY</b>	6.50	0.45	21.70	95.30	32.90	550	56.11	8.55	125.53	115
	<b>RA</b>	9.12	0.43	21.02	71.98	33.40	537	38.64	18.47	123.48	128
<b>Background</b>	<b>W.M.S</b>	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

همان طور که در جدول ۵-۱۱ مشاهده می‌گردد، غلظت کادمیوم تمامی نمونه‌های این زیرحوضه‌ها، بیش از مقدار میانگین رسوب جهانی می‌باشند. آرسنیک نیز بجز زیرحوضهٔ دره یازی (با غلظت ppm ۶/۵)، در زیرحوضه‌های ولاشید، نُج رود و رزن به ترتیب غلظت‌های ۱۸/۱۹، ۱۱/۸۱ و ۹/۱۲ ppm که بالاتر از میانگین رسوب جهانی هستند را نشان می‌دهند.

با اینکه سرب در زیرحوضهٔ نُج‌رود، غلظتی در حدود ۲/۰۷ برابر میانگین پوسته‌ای را دارا می‌باشد، در سایر نمونه‌ها غلظت‌هایی کمتر از این میانگین را نشان می‌دهد. این در حالی است که روی با دارا بودن غلظت‌های ۱۱۱، ۱۲۴، ۱۱۵ و ۱۲۸ ppm به ترتیب در زیرحوضه‌های ولاشید، نُج رود، دره یازی

و رزن، مقادیری بیش از میانگین رسوب جهانی را دارا می‌باشد. کبالت و وانادیوم نیز به غیر از زیرحوضه ولاشید، در سایر زیرحوضه‌ها مقادیر بالایی را نشان می‌دهند (جدول ۵-۱۱).

از آنجایی که بجز شمشک، سازند زمین شناسی دیگری در بالادست این زیرحوضه‌ها وجود نداشته و منطقه نیز فاقد فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و یا مراکز جمعیتی می‌باشد، افزایش غلظت‌های مشاهده شده در این نمونه‌ها را می‌توان به غلظت‌های بالای متمرکز شده عناصر در شیل‌های سازند شمشک مرتبط دانست.

### ۵-۵-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه‌های شرقی

برای این زیرحوضه نیز همانند سایر زیرحوضه‌ها، پارامترهای ژئوشیمیایی (EF، Igeo و CF) اندازه‌گیری شده و مقادیر آن در جدول (۵-۱۲) ارائه شده است.

جدول (۵-۱۲): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در زیرحوضه‌های شرقی

	ST	As	Cd	Co	C	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
<b>EF</b>	<b>VA</b>	1.62	2.96	0.88	0.80	0.81	0.57	0.52	0.65	0.86	1.04
	<b>TN</b>	0.91	1.48	1.05	0.79	0.84	0.58	0.64	1.71	0.83	1.08
	<b>DY</b>	0.72	1.98	1.15	0.98	0.74	0.53	0.80	0.33	0.89	0.90
	<b>RA</b>	0.82	1.51	0.89	0.59	0.60	0.41	0.44	0.58	0.70	0.80
<b>Igeo</b>	<b>VA</b>	0.66	1.15	-0.60	-0.73	-0.72	-1.23	-1.35	-1.04	-0.63	-0.36
	<b>TN</b>	0.03	0.26	-0.24	-0.65	-0.55	-1.09	-0.96	0.47	-0.57	-0.20
	<b>DY</b>	-0.83	0.83	0.05	-0.18	-0.59	-1.07	-0.48	-1.74	-0.33	-0.31
	<b>RA</b>	-0.34	0.77	0.00	-0.59	-0.57	-1.10	-1.01	-0.63	-0.35	-0.15
<b>CF</b>	<b>VA</b>	0.31	0.18	0.40	0.41	0.44	0.00	0.28	0.26	0.43	0.47
	<b>TN</b>	0.26	0.10	0.52	0.44	0.49	0.00	0.37	0.73	0.44	0.53
	<b>DY</b>	0.76	0.15	0.63	0.61	0.48	0.00	0.52	0.16	0.53	0.49
	<b>RA</b>	0.67	0.14	0.61	0.46	0.49	0.00	0.36	0.34	0.52	0.54

تنها عنصر کادمیوم در زیر حوضه ولاشید غنی شدگی ۲/۹۶ (غنی شدگی متوسط) را نشان می‌دهد، و سایر عناصر در چهار زیرحوضه، مقادیری بدون غنی شدگی تا غنی شدگی جزئی را نشان می‌دهند (جدول ۵-۱۲).

با مطالعه جدول ۵-۱۲ مشخص می‌گردد که تقریباً تمامی عناصر این زیرحوضه‌ها دارای شاخص زمین انباشت منفی و نزدیک صفر که به معنای عدم آلودگی (جدول ۳-۴) می‌باشد، هستند. البته عناصری مانند کادمیوم که Igeo برابر ۱/۱۵، ۰/۲۶، ۰/۸۳ و ۰/۷۷ را به ترتیب در زیرحوضه‌های ولاشید، نُج رود، دره یازی و رزن نشان می‌دهند نیز، آلودگی در حد اثرات حوضه‌ای را دارا می‌باشند. این مطلب توسط مقدار بسیار پایین فاکتور آلودگی نمونه‌های این زیرحوضه‌ها نیز تأیید می‌گردد. مقدار درجه آلودگی رسوبات نیز در زیر حوضه‌های ولاشید، نج رود، دره یازی و رزن به ترتیب برابر ۳/۸۸، ۴/۳۱ و ۴/۱۳ بوده که مؤید درجه آلودگی اندک رسوبات می‌باشد.

## ۵-۶- زیرحوضه اوزرود

اوزرود که گستره بزرگی از بخش‌های جنوب غربی و جنوبی حوضه آبخیز نوررود را در بر گرفته، یکی از دو زیرحوضه بزرگ محدوده مورد مطالعه بوده که به دلیل حجم بار رسوبی، میزان حجم آبی و تنوع لیتولوژیکی، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. واحدهای بازالتی، آندزیتی، توف و توفیت‌های سازند کرج، آهک‌های سازند لار و ماسه سنگ‌ها، شیل‌ها و لایه‌های ذغالی سازند شمشک، از جمله واحدهای زمین‌شناسی این زیرحوضه محسوب می‌شوند. جهت مطالعه این محدوده ۴ نمونه رسوب از بخش-های مختلف آن برداشت گردید. ترتیب نامگذاری هم به گونه‌ای است که O<sub>۴</sub> در سرشاخه و O<sub>۱</sub> در خروجی حوضه قرار گرفته است (شکل ۳-۱).

## ۵-۶-۱- خصوصیات رسوب شناختی زیرحوضه اوزرود

خصوصیات رسوب شناختی نمونه‌های برداشت شده از زیرحوضه اوزرود به همراه مقادیر اندازه‌گیری شده pH و درصد مواد آلی آنها در جدول ۵-۱۳ آورده شده است.

جدول (۵-۱۳): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی نمونه‌ها در زیرحوضه اوزرود

ST	OM(%)	pH	Gravel (%)	Sand (%)	Mud(%)	نام رسوب (فولک)	$\phi$	نام ماسه
O1	5.00	7.70	12.91	82.46	5.31	ماسه گراولی	2.12	ماسه ریز
O2	8.20	7.60	31.46	67.20	1.95	گراول ماسه‌ای	0.10	ماسه خیلی درشت
O3	4.60	7.68	16.41	79.50	4.89	ماسه گراولی	1.29	ماسه متوسط
O4	6.00	7.66	30.71	68.56	1.06	گراول ماسه‌ای	0.19	ماسه درشت

همان طور که در جدول ۵-۱۳ مشاهده می‌گردد، نمونه  $O_2$  که از خروجی جریان‌ات ناشی از فرسایش سازند شمشک (که البته در مجاورت توف‌های سازند کرج قرار گرفته است) برداشت شده است، با  $8/2\%$ ، بیشترین مقدار ماده آلی و نمونه  $O_3$  با  $4/60\%$  کمترین مقدار ماده آلی را به خود اختصاص داده است.

برخلاف درصد بالای ماسه نمونه‌های برداشت شده که به ترتیب برای  $O_1$ ،  $O_2$ ،  $O_3$  و  $O_4$  برابر  $82/46$ ،  $67/20$ ،  $79/50$  و  $68/56$  درصد می‌باشد، مقدار گِل نمونه‌ها بسیار کم بوده و از  $5/31\%$  در  $O_1$  تا  $1/06\%$  در  $O_4$  تغییر می‌نماید. البته گراول دامنه تغییراتی بیش از مواد در حد گِل (سیلت و رس) را نشان می‌دهد. این در حالی است که pH هر ۴ نمونه بسیار نزدیک به یکدیگر بوده و تنها  $0/1$  واحد تغییر در آنها مشاهده می‌گردد.



## ۵-۶-۲- غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه اوزرود

غلظت فلزات سنگین نمونه‌های زیرحوضه اوزرود تعیین شده مقادیر آن در جدول ۵-۱۴ آورده شده است.

جدول (۵-۱۴): غلظت عناصر سنگین نمونه‌های زیرحوضه اوزرود (غلظت‌ها بر حسب ppm)

	ST	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Con	O1	18.26	0.51	15.35	52.46	27.71	977	23.62	29.14	101.63	117
	O2	14.32	0.57	11.28	35.28	28.51	723	18.46	31.2	110.91	132
	O3	18.41	0.84	15.33	56.47	30.45	1011	30.12	35.72	112.71	126
	O4	14.23	0.75	11.83	15.86	28.04	1296	18.12	47.28	91.25	150
	mean	16.31	0.67	13.45	40.02	28.68	1001.75	22.58	35.84	104.13	131.25
Background	W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

تنوع لیتولوژیکی زیرحوضه اوزرود باعث شده تا میانگین غلظت عناصری از قبیل As, Cd, Mn, Pb و Zn در اکثر نمونه‌ها مقادیری بیش از میانگین رسوب جهانی را نشان دهند. از این میان، کادمیوم به ترتیب در نمونه‌های O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> و O<sub>4</sub>، غلظت‌های ۳، ۳/۹۵، ۴/۹۴ و ۴/۴۱ برابر و آرسنیک که به ترتیب غلظت‌های ۲/۳۷، ۱/۸۵، ۲/۳۹ و ۱/۸۴ برابر میانگین رسوبات جهانی را دارا می‌باشد، بیشترین غلظت‌ها را نشان می‌دهد. این در حالی است که نیکل و کروم با دارا بودن میانگین‌های (به ترتیب) ۲۲/۵۸ و ۴۰/۰۲، کمترین مقدار فراوانی را نسبت به میانگین رسوب جهانی نشان می‌دهند (جدول ۵-۱۴).

علاوه بر نمونه‌های رسوب برداشت شده از حوضه، جهت بررسی کیفیت سنگ‌های منطقه و نقش آنها در آلودگی رسوبات، نمونه‌ای از بالادست حوضه (بالادست نمونه O<sub>3</sub>)، از خاک‌های برجای تشکیل شده بر روی سنگ‌های بازالتی (بازالت ناحیه) برداشت شده و آنالیز آن در جدول ۵-۱۶ آورده شده است.

جدول (۵-۱۵): غلظت نمونه بازالت برداشت شده از زیرحوضه اوزرود (نمونه برجا)

sample	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
ba	15.22	0.60	18.53	43.34	39.58	604	34.74	37.48	109.83	196
W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

همان طور که در جدول ۵-۱۵ مشاهده می‌گردد، آرسنیک، کادمیوم، کبالت، مس، سرب، وانادیوم روی در این نمونه، مقادیری بیش از میانگین جهانی رسوبات را دارا می‌باشند. این غلظت‌ها نشان می‌دهد که آنومالی‌های مشاهده شده در رسوبات این زیرحوضه (مانند مقادیر As و Cd نمونه‌های O<sub>۳</sub>)، دارای منشأ طبیعی می‌باشند.

#### ۵-۶-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه اوزرود

جهت بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر در نمونه‌های برداشت شده از زیرحوضه اوزرود، پارامترهایی از قبیل EF، Igeo و CF برای این نمونه‌ها تعیین شده و مقادیر آنها در جدول ۵-۱۶ ارائه گردیده است. درجه آلودگی این رسوبات نیز در جدول ۵-۱۷ آورده شده است.

جدول (۵-۱۶): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در زیرحوضه اوزرود

	ST	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
EF	O1	1.09	1.74	0.64	0.43	0.49	0.74	0.27	0.90	0.56	0.72
	O2	1.33	1.85	0.45	0.27	0.48	0.52	0.20	0.91	0.59	0.77
	O3	1.06	2.85	0.63	0.45	0.53	0.76	0.33	1.08	0.62	0.76
	O4	1.04	2.35	0.45	0.12	0.45	0.90	0.19	1.33	0.46	0.84
	mean	1.13	2.20	0.54	0.32	0.49	0.73	0.25	1.05	0.56	0.77
Igeo	O1	0.66	0.99	-0.45	-1.04	-0.84	-0.24	-1.72	0.03	-0.63	-0.28
	O2	0.31	1.15	-0.90	-1.61	-0.80	-0.68	-2.08	0.13	-0.51	-0.11
	O3	0.67	1.72	-0.45	-0.94	-0.70	-0.19	-1.37	0.33	-0.48	-0.18
	O4	0.30	1.56	-0.83	-2.77	-0.82	0.17	-2.11	0.73	-0.79	0.07
	mean	0.49	1.35	-0.66	-1.59	-0.79	-0.24	-1.82	0.30	-0.60	-0.12
CF	O1	0.58	0.17	0.44	0.33	0.40	0.00	0.22	0.54	0.43	0.50
	O2	0.75	0.19	0.33	0.22	0.41	0.00	0.17	0.58	0.46	0.56
	O3	0.58	0.28	0.44	0.36	0.44	0.00	0.28	0.66	0.47	0.53
	O4	0.61	0.25	0.34	0.10	0.41	0.00	0.17	0.87	0.38	0.64
	mean	0.63	0.22	0.39	0.25	0.42	0.00	0.21	0.66	0.44	0.56

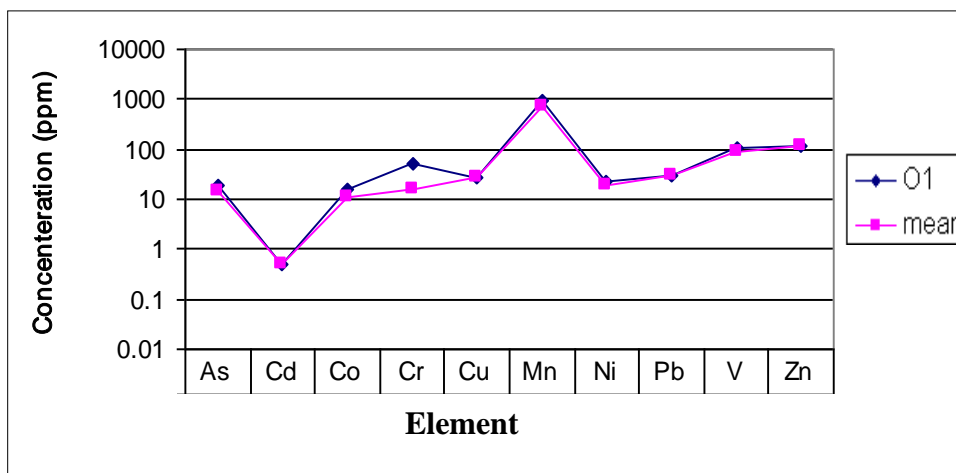
جدول (۵-۱۷): میزان درجه آلودگی در رسوبات زیرحوضه اوزرود

ST	O1	O2	O3	O4
C <sub>d</sub>	0.35	6.70	4.37	4.42

براساس جدول ۵-۱۶، کادمیوم و آرسنیک با فاکتورهای غنی شدگی بالای ۱، غنی شدگی‌های بیشتری را نسبت به سایر عناصر نشان می‌دهند (در واقع سایر عناصر فاقد غنی شدگی می‌باشند). با اینکه کادمیوم با میانگین فاکتور غنی شدگی ۲/۱۹ در حد غنی شدگی متوسط، آرسنیک و سرب به ترتیب با میانگین ۱/۱۳ و ۱/۰۵ در حد غنی شدگی اندک قرار می‌گیرند (جدول ۳-۳)، باز هم میزان آلودگی آنها در حد آلودگی طبیعی ( $EF < 10$ ) قرار گرفته است.

شاخص‌های زمین انباشت محاسبه شده در این زیرحوضه نشان می‌دهد عناصر Ni, Mn, Cu, Cr, Co, Zn و V دارای  $I_{geo} \leq 0$  بوده که عدم آلودگی آنها در محدوده را تأیید می‌نماید (جدول ۵-۱۶). هر چند مقدار  $I_{geo}$  کادمیوم نشان دهنده درجه آلودگی متوسط، برای این عنصر بوده و مقدار زمین انباشت عناصر As و Pb نیز درجه آلودگی ۱ (آلودگی اندک) را نشان می‌دهند، پایین بودن فاکتور آلودگی این نمونه‌ها ( $CF < 1$ )، مؤید آلودگی اندک تا عدم آلودگی بوده و غنی‌شدگی نسبتاً بالای Cd, As و Pb را می‌توان به خصوصیات انباشتی سنگ‌های مادر (سنگ‌های تولیدکننده رسوب و بالادست حوضه) مرتبط دانست (جدول ۵-۱۷ و ۵-۳).

جهت بررسی تأثیر بخش‌های مختلف این زیرحوضه در آلودگی رودخانه نرورد، میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> و O<sub>4</sub>، با غلظت عناصر موجود در نمونه O<sub>1</sub> که از خروجی حوضه برداشت شده است، مقایسه شده و نتایج حاصل از آن در نمودار شکل‌های ۵-۱ منعکس شده است.



شکل (۵-۱): مقایسه غلظت عناصر در میانگین نمونه‌های زیرحوضه اوزرود با نمونه خروجی حوضه (O<sub>1</sub>)

همان‌طور که شکل ۵-۱ مشاهده می‌گردد، میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های مختلف، بسیار منطبق بر عناصر نمونه O<sub>1</sub> (خروجی حوضه) می‌باشد. در واقع این نمودار نشان می‌دهد میانگینی از کل بخش‌های این زیرحوضه از طریق زهکشی سطحی به محل خروجی آن منتقل شده و به رودخانه نرورد تخلیه می‌گردد.

## ۵-۷- زیر حوضه کلیک

این زیرحوضه که محدوده وسیعی از اراضی مرکزی و جنوبی حوضه نوررود را در بر گرفته است، بزرگترین زیرحوضه محدوده مورد بررسی محسوب شده و به لحاظ حجم بار رسوبی و تنوع سنگ-شناختی واحدهای بالادست، دارای بیشترین اهمیت مطالعاتی می‌باشد. جهت مطالعه کلیه بخش‌های این محدوده، در مجموع ۹ نمونه از شاخه‌های مختلف آن برداشت گردید (شکل ۳-۱) و ویژگی‌های رسوبی هر یک از آنها مورد بررسی قرار گرفت.

ار آنجایی که هر یک از سرشاخه‌های این زیرحوضه، از فرسایش و شستشوی واحدهای مختلف زمین‌شناسی (شکل ۴-۱) از قبیل آندزیت، بازالت، توف، گچ، آهک ناشی شده و شیب توپوگرافیک و میزان دبی آب نیز در بخش‌های مختلف آنها تفاوت دارد، نمونه‌های برداشت شده از این شاخه‌ها نیز دارای ویژگی‌های کیفی و کمی متفاوت می‌باشند.

## ۵-۷-۱- خصوصیات رسوب شناختی زیر حوضه کلیک

همانند سایر زیرحوضه‌ها، نمونه‌های برداشت شده از این زیرحوضه نیز مورد آزمایشات دانه‌سنجی، تعیین مقدار pH و اندازه‌گیری درصد مواد آلی قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۵-۱۹ آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ۵-۱۸ مشاهده می‌گردد، درصد ماده آلی اندازه‌گیری شده در نمونه B<sub>۵</sub> و H<sub>۱</sub> که هر دو از دو سرشاخه متفاوت (اولی از واحدهای توفی و دومی از سازند شمشک) ناشی شده‌اند، به ترتیب کمترین (۲/۶٪) بیشترین (۷/۶٪) مقادیر اندازه‌گیری شده ماده آلی را نشان می‌دهند. مقدار ماده آلی هر دو شاخه با حرکت به سمت پایین دست افزایش یافته و به ۵/۸٪ برای نمونه B<sub>۱</sub> و ۷/۶٪ برای نمونه H<sub>۱</sub> رسیده است. خروجی حوضه نیز ۶٪ ماده آلی (میانگین هر دو نمونه) را نشان می‌دهد.

جدول (۵-۱۸): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی نمونه‌ها در زیرحوضه کلیک

ST	OM(%)	pH	Gravel (%)	Sand (%)	Mud (%)	نام رسوب(فولک)	$\phi$	نام ماسه
B1	5.80	7.65	6.79	89.19	4.31	ماسه گراولی	2.48	ماسه ریز
B2	5.40	7.77	10.01	86.34	4.05	ماسه گراولی	1.82	ماسه متوسط
B3	6.20	7.64	13.01	80.92	6.09	ماسه گراولی	2.09	ماسه ریز
B4	3.40	7.79	11.22	82.10	7.51	ماسه گراولی	2.16	ماسه ریز
B5	2.60	8.19	1.10	97.81	1.10	ماسه با کمی گراول	1.33	ماسه متوسط
H1	7.60	7.73	9.27	88.30	2.68	ماسه گراولی	1.69	ماسه متوسط
H2	3.60	7.58	22.31	74.14	4.57	ماسه گراولی	1.68	ماسه متوسط
H3	7.20	7.77	6.12	88.57	5.65	ماسه گراولی	2.19	ماسه ریز
KO	6.00	7.55	11.58	77.56	12.28	ماسه با کمی گراول	2.69	ماسه ریز

با اینکه انتظار می‌رود هر چه از سرشاخه‌ها که دارای توپوگرافی خشن و ذرات تخریب یافته فیزیکی می‌باشند، به سمت پایین دست حرکت کنیم، بر مقدار ذرات ریزدانه (درصد گل) افزوده گردد، تلاطم آب در بخش‌های مختلف، ویژگی‌های محل نمونه برداری، ویژگی‌های کانال و دشت سیلابی جریان و ... باعث می‌گردد که این ویژگی به خوبی در نمونه‌های برداشت شده منعکس نشود. به عنوان مثال مقدار سیلت و رس (گل) نمونه B<sub>۵</sub> که در سرشاخه قرار گرفته برابر ۱/۱٪ بوده و این مقدار در نمونه B<sub>۱</sub> (نمونه پایین دست و خروجی حوضه) به ۴/۳۱٪ افزایش یافته است. این در حالی است که مقدار درصد ریزدانه سرشاخه H<sub>۳</sub> برابر ۵/۶۵٪ بوده و با حرکت به سمت خروجی زیرحوضه (H<sub>۱</sub>) به ۲/۶۸٪ تقلیل یافته است.

ماسه (Sand٪) که مهمترین بخش رسوبات برداشت شده را شامل می‌شود نیز در نمونه‌های مختلف تغییراتی را نشان داده که بیشترین آن در نمونه B<sub>۵</sub> (۹۷/۸۱) و کمترین آن در نمونه KO (۷۷/۵۶) ثبت شده است (جدول ۵-۱۸). pH نمونه‌ها نیز در B<sub>۵</sub> بیشترین مقدار (۸/۱۹) و در KO کمترین مقدار خود (۷/۵۵) را دارا می‌باشد.

## ۵-۷-۲- بررسی میزان عناصر سنگین در زیرحوضه کلیک

میزان غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در زیرحوضه کلیک تعیین شده و مقادیر آن در جدول

۵-۱۹ آورده شده است.

جدول (۵-۱۹): میزان غلظت عناصر سنگین در زیرحوضه کلیک

	ST	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Con	B1	14.81	0.57	10.62	4.09	25.35	933	19.56	31.89	85.35	126
	B2	12.83	0.48	11.94	29.04	28.24	882	26.86	26.56	104.42	125
	B3	8.55	0.79	14.42	26.38	21.47	1014	30.52	43.56	86.59	146
	B4	9.69	0.10	9.21	0.80	20.54	1178	5.96	28.07	71.27	91
	B5	13.25	0.12	4.84	0.80	19.09	1098	0.58	20.66	63.76	83
	H1	11.48	0.66	16.03	48.44	32.38	1067	28.34	39.24	191.12	197
	H2	9.13	0.62	14.49	31.65	29.85	911	28.83	27.01	102.89	132
	H3	7.74	1.12	27.60	96.59	41.95	850	103.53	29.12	151.02	154
	KO	8.53	0.52	11.35	19.99	25.40	980	19.72	34.58	91.67	120
	mean	10.67	0.55	13.39	28.64	27.14	990.38	29.32	31.19	105.34	130.46
Background	W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

براساس اطلاعات جدول ۵-۱۹، عناصری مانند آرسنیک، کادمیوم، منگنز، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب با میانگین‌های غلظت (برحسب ppm) ۰/۵۵، ۱۰/۶۷، ۳۱/۱۹، ۹۹۰/۳۸، ۱۰۵/۳۴ و ۱۱۷/۱، مقادیری بیش از میانگین جهانی رسوبات را دارا می‌باشند. از این میان، کادمیوم با ۳/۲ برابر، سرب با ۱/۶ برابر و آرسنیک با ۱/۴ برابر، بیشترین غلظت‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. افزایش غلظت کادمیوم و مس با حرکت به سمت پایین‌دست شاخه خوشرود (B<sub>۱</sub>) و افزایش غلظت آرسنیک و منگنز با حرکت به سمت نمونه H<sub>۱</sub> در شاخه یالرود از نکات قابل توجه این غلظت‌ها می‌باشد.

تنوع لیتولوژیکی واحدهای آذرین (بازالت، آندزیت، توف و توفیت‌های زودفرسا) و واحدهای رسوبی (به ویژه سازند شمشک) را می‌توان دلیل تغییرات غلظت عناصر در طول این زیر حوضه در نظر گرفت.

جهت بررسی غلظت‌های بالای برخی از عناصر (به ویژه As، Cd و Pb) با رخنمون‌های زمین شناسی زیرحوضه کلک و تأیید طبیعی بودن آنومالی‌های مشاهده شده در رسوبات آنها، نمونه‌ای از خاک برجای ناشی از فرسایش سنگ‌های آذرینی با ترکیب مافیک تا حدواسط، از بخش‌های بالای زیرحوضه (بالادست نمونه H<sub>۳</sub>) برداشت شده و غلظت عناصر موجود در آن در جدول ۵-۲۰ ارائه گردیده است.

جدول (۵-۲۰): غلظت عناصر در نمونه خاک برجای (ناشی از فرسایش واحدهای آذرین) برداشت شده از حوضه کلک

sample	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Ev	8.67	1.22	21.93	0.80	35.53	823	8.25	21.19	169.49	118
W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

همان طور که در جدول ۵-۲۰ مشاهده می‌گردد، به دلیل ترکیب سنگ‌های مادر این نمونه، عناصری مانند Ni و Cr که نشانه سنگ‌های اولترامافیک می‌باشند، دارای غلظت‌های بسیار پایین تر از میانگین جهانی رسوبات می‌باشند. این در حالی است که کادمیوم، آرسنیک، کبالت، منگنز، مس، سرب، وانادیوم و روی، مقادیری بیش از میانگین جهانی را دارا بوده و کادمیوم با فراوانی ۷ برابری نسبت به میانگین جهانی رسوب، بیشترین غلظت را در این نمونه نشان می‌دهد. براساس این نمونه، غلظت بالای عناصر (به ویژه کادمیوم) در نمونه‌هایی (H<sub>3</sub>) که در پایین‌دست این واحدهای آذرین قرار گرفته است را می‌توان به ترکیب سنگ اولیه (سنگ مادر) آنها نسبت داد (جدول ۵-۲۰).

### ۵-۷-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی زیرحوضه کلک

فاکتورهای ژئوشیمیایی غنی شدگی، شاخص زمین انباشت و فاکتور آلودگی زیرحوضه کلک نیز همانند سایر حوضه‌ها تعیین شده و مقادیر آن در جدول ۵-۲۱ آورده شده است. درجه آلودگی نمونه‌های برداشت شده از این حوضه نیز در جدول ۵-۲۲ ارائه گردیده است.



با توجه به مقادیر EF نمونه‌های این زیرحوضه، مشاهده می‌گردد که بسیاری از عناصر در نمونه‌های مختلف دارای  $EF < 1$  بوده که نشان دهندهٔ عدم غنی‌شدگی (تا غنی‌شدگی جزئی) می‌باشند (جدول ۳-۳). این در حالی است که عناصری مانند کادمیوم با دارا بودن فاکتورهای غنی‌شدگی  $B_2, B_3, H_1, H_2, H_3, Ko$ ، به ترتیب برای نمونه‌های  $1/78$  و  $1/52$ ،  $2/81$ ،  $2/36$ ،  $2/18$ ،  $3/51$ ،  $1/86$  و  $B_1$ ، غنی‌شدگی جزئی تا متوسط را نشان می‌دهد (جدول ۵-۲۱). با این حال، پایین بودن مقادیر EF ( $EF < 10$ ) برای کادمیوم و سایر نمونه‌ها و عدم وجود مراکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی در این زیرحوضه، منشأ آنومالی‌های مشاهده شده را می‌توان به واحدهای زمین‌شناسی منطقه (به ویژه سنگ‌های آذرین و سازند شمشک) نسبت داد.

میانگین مقادیر شاخص زمین‌انباشت (Igeo) تعیین شده در نمونه‌های این زیرحوضه نشان می‌دهد تنها عناصر کادمیوم و سرب که  $0 < Igeo < 1$  دارای آلودگی متوسط تا فاقد آلودگی بوده (درجهٔ آلودگی ۱) و سایر عناصر با نشان دادن متوسط  $Igeo > 0$ ، عدم آلودگی نمونه‌ها را نشان می‌دهند. کوچک بودن فاکتور آلودگی ( $CF < 1$ ) عناصر در تمامی نمونه‌ها نیز آلوده نبودن حوضه را تأیید می‌نماید (جدول ۵-۲۱).

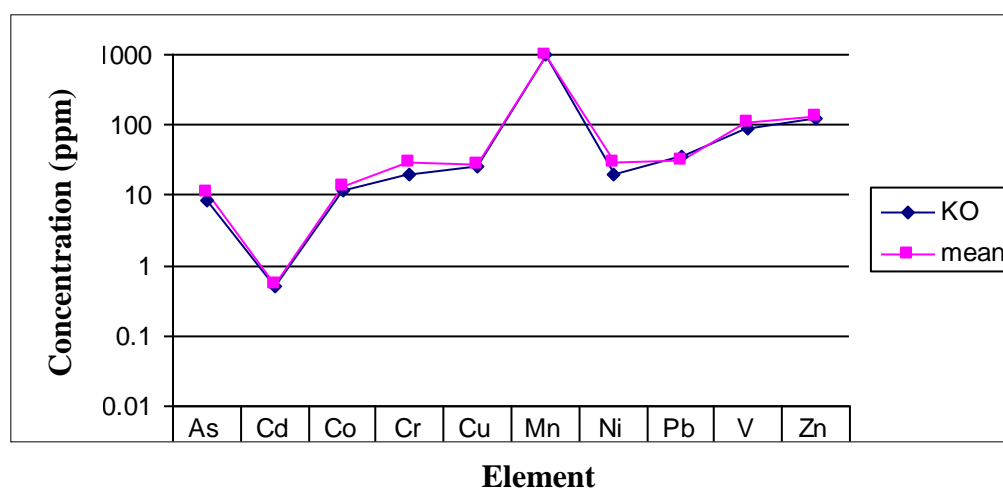
جدول (۵-۲۱): مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در زیرحوضه کلک

	ST	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
EF	B1	0.95	1.78	0.40	0.03	0.41	0.64	0.20	0.89	0.43	0.70
	B2	1.02	1.72	0.52	0.24	0.52	0.70	0.31	0.85	0.60	0.80
	B3	0.66	2.81	0.63	0.22	0.40	0.80	0.36	1.39	0.50	0.94
	B4	0.67	0.29	0.32	0.01	0.30	0.75	0.06	0.72	0.33	0.47
	B5	1.35	0.35	0.17	0.01	0.28	0.70	0.01	0.54	0.30	0.43
	H1	1.01	2.36	0.70	0.41	0.60	0.85	0.33	1.26	1.11	1.26
	H2	1.06	2.18	0.62	0.26	0.54	0.70	0.33	0.85	0.58	0.83
	H3	0.80	3.51	1.05	0.71	0.68	0.59	1.06	0.82	0.77	0.86
	KO	0.85	1.86	0.49	0.17	0.47	0.77	0.23	1.11	0.53	0.77
	mean	0.93	1.87	0.54	0.23	0.47	0.72	0.32	0.94	0.57	0.78
	Igeo	B1	0.36	1.16	-0.98	-4.72	-0.97	-0.31	-2.00	0.16	-0.88
B2		0.15	0.92	-0.81	-1.90	-0.81	-0.39	-1.54	-0.10	-0.59	-0.19
B3		-0.43	1.62	-0.54	-2.03	-1.20	-0.19	-1.35	0.61	-0.86	0.04
B4		-0.25	-1.35	-1.19	-7.08	-1.27	0.03	-3.71	-0.02	-1.14	-0.65
B5		0.20	-1.07	-2.12	-7.08	-1.37	-0.07	-7.08	-0.46	-1.30	-0.77
H1		-0.01	1.36	-0.39	-1.16	-0.61	-0.11	-1.46	0.46	0.28	0.46
H2		-0.34	1.29	-0.53	-1.77	-0.73	-0.34	-1.44	-0.08	-0.61	-0.11
H3		-0.58	2.14	0.39	-0.16	-0.24	-0.44	0.41	0.03	-0.06	0.11
KO		-0.44	1.03	-0.89	-2.43	-0.96	-0.24	-1.98	0.28	-0.78	-0.24
mean		-0.15	0.79	-0.78	-3.15	-0.91	-0.23	-2.24	0.10	-0.66	-0.17
CF		B1	0.52	0.19	0.31	0.03	0.37	0.00	0.18	0.59	0.36
	B2	0.35	0.16	0.35	0.18	0.41	0.00	0.25	0.49	0.44	0.53
	B3	0.39	0.26	0.42	0.17	0.31	0.00	0.28	0.80	0.36	0.62
	B4	0.54	0.03	0.27	0.01	0.30	0.00	0.05	0.52	0.30	0.39
	B5	0.46	0.04	0.14	0.01	0.28	0.00	0.01	0.38	0.27	0.35
	H1	0.37	0.22	0.46	0.31	0.47	0.00	0.26	0.72	0.80	0.84
	H2	0.31	0.20	0.42	0.20	0.43	0.00	0.27	0.50	0.43	0.56
	H3	0.52	0.37	0.80	0.61	0.61	0.00	0.95	0.54	0.63	0.65
	KO	0.60	0.17	0.33	0.13	0.37	0.00	0.18	0.64	0.38	0.51
	mean	0.45	0.18	0.39	0.18	0.39	0.00	0.27	0.58	0.44	0.55

جدول (۵-۲۲): درجه آلودگی در زیرحوضه کلیک

ST	B1	B2	B3	B4	B5	H1	H2	H3	KO
C <sub>d</sub>	3.07	3.15	3.62	2.40	1.93	4.45	3.33	5.69	3.31

بررسی تأثیر کلیه بخش‌های زیرحوضه کلیک، در آلودگی رودخانه نوررود، از طریق مقایسه میانگین غلظت عناصر در ۹ نمونه برداشت شده از این محدوده با غلظت عناصر نمونه KO که از خروجی حوضه برداشت شده است، از طریق ترسیم نموداری که در شکل ۵-۲ آورده شده است، مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل (۵-۲): مقایسه غلظت عناصر در میانگین نمونه‌های زیرحوضه کلیک با نمونه خروجی زیرحوضه (KO)

همان طور که در شکل ۵-۲ مشاهده می‌گردد، غلظت عناصر در KO بسیار نزدیک و مشابه میانگین غلظت کل حوضه می‌باشد. در واقع شدت جریان آب و حجم فرسایش به گونه‌ای است که رسوبات حتی از دورترین نقاط زیرحوضه به خروجی آن منتقل شده و باعث شده‌اند غلظت عناصر در خروجی حوضه (نمونه KO)، میانگینی از کل ترکیب حوضه شده باشد.

## ۵-۸- رودخانه نوررود

رودخانه نوررود، با دبی خروجی ۵/۵ مترمکعب بر ثانیه، مهمترین جریان آبی منطقه مورد مطالعه بوده که با طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر و طی روندی غربی - شرقی، آب و بار رسوبی خود (که از چندین زیرحوضه متفاوت تأمین شده است) را به رودخانه هراز تخلیه می‌نماید.

با اینکه قسمت اعظم این رودخانه بر روی سازند شمشک جریان دارد، به دلیل حجم گسترده جریانات آبی و بار رسوبی وارده از زیرحوضه‌هایی با ویژگی‌های لیتولوژیکی متنوع، ویژگی‌های ترکیبی و دانه سنجی متفاوتی در نقاط مختلف آن انتظار می‌رود.

جهت مطالعه رودخانه، علاوه بر نمونه برداری‌ها و مطالعاتی که بر روی زیرحوضه‌های موجود در حوضه آبریز نوررود انجام گرفت، تعداد ۱۶ نمونه نیز از قسمت‌های مختلف آن برداشت گردید (شکل ۳-۱). تغییر عوارض محیطی (تغییر لیتولوژیکی یا وجود مراکز جمعیتی)، ورود جریانات ناشی از زیرحوضه‌ها به شاخه اصلی و فاصله بین دو نمونه از مهمترین پارامترهای مورد توجه در نمونه برداری از این رودخانه بوده است. تمامی نمونه‌های برداشت شده از این رودخانه مورد آزمایشات دانه سنجی، تعیین pH و تعیین درصد ماده آلی و همچنین تعیین غلظت عناصر سنگین قرار گرفتند.

## ۵-۸-۱- خصوصیات رسوب شناختی رودخانه نوررود

تمامی رسوبات برداشت شده از رودخانه نوررود نیز همانند زیرحوضه‌های بررسی شده، مورد آزمایشات دانه سنجی، تعیین مقدار pH و تعیین ماده آلی قرار گرفته‌اند که نتایج حاصل از این آزمایشات در جدول ۵-۲۵ آورده شده است.

جدول (۵-۲۳): خصوصیات دانه سنجی رسوبات و مقادیر pH و ماده آلی در نمونه‌های رودخانه نوررود

ST	OM (%)	pH	Gravel (%)	Sand(%)	Mud (%)	نام رسوب (فولک)	$\phi$	نام ماسه
N1	8.80	8.30	6.58	92.21	1.30	ماسه گراولی	1.01	ماسه متوسط
N2	8.20	7.74	25.14	73.71	1.15	ماسه گراولی	0.21	ماسه درشت
N3	11.40	7.72	14.09	83.03	3.35	ماسه گراولی	1.52	ماسه متوسط
N4	5.00	7.75	2.12	91.96	6.05	ماسه با کمی گراول	1.59	ماسه متوسط
N5	5.40	7.87	0.39	94.79	4.83	ماسه با کمی گراول	3.03	ماسه خیلی ریز
N6	5.60	7.73	31.61	64.41	5.83	گراول ماسه ای	1.30	ماسه متوسط
N7	5.40	7.71	3.43	88.57	8.29	ماسه با کمی گراول	2.94	ماسه ریز
N8	5.40	7.73	0.04	91.58	8.39	ماسه با کمی گراول	3.23	ماسه خیلی ریز
N9	5.60	7.82	0.02	93.91	6.07	ماسه با کمی گراول	3.17	ماسه خیلی ریز
N10	5.20	7.83	2.71	91.68	5.77	ماسه با کمی گراول	2.63	ماسه ریز
N11	7.40	7.68	0.00	95.56	4.44	ماسه با کمی گراول	3.13	ماسه خیلی ریز
N12	6.00	7.90	4.22	94.06	1.80	ماسه با کمی گراول	2.37	ماسه ریز
N13	4.20	7.88	4.03	91.76	4.38	ماسه با کمی گراول	2.66	ماسه ریز
N14	3.60	7.80	0.40	83.69	15.97	ماسه گلی با کمی گراول	2.74	ماسه ریز
N15	5.20	7.96	1.22	93.21	5.64	ماسه با کمی گراول	2.62	ماسه ریز
N16	3.00	7.88	0.61	91.47	7.96	ماسه با کمی گراول	2.88	ماسه ریز

همان طور که در جدول ۵-۲۳ مشاهده می‌گردد، ماسه (Sand%) بیشترین اجزاء رسوبات برداشت شده از کل حوضه را شامل می‌شود. این در حالی است که گراول با میانگین ۶/۰۴ و گل با میانگین ۵/۷، مقادیری نزدیک و مشابه یکدیگر را نشان می‌دهند.

نمونه N<sub>۲</sub> که از سرشاخه‌های غربی رودخانه در ارتفاعات منطقه نسن از محلی که هنوز هوازدگی و فرسایش قطعات سنگی را به ذرات ریزدانه تبدیل نکرده است، دارای کمترین مقدار گل (۱/۱۵%) بوده و نمونه N<sub>۱۴</sub> که از بخش‌های انتهایی حوضه، پس از طی مسافتی طولانی، در محلی که عرض رودخانه زیاد شده، از تلاطم آب کاسته شده و دانه‌ها به ذرات ریزسیلت و رسی تبدیل شده‌اند، بیشترین

(۱۵/۹۷٪) اجزاء ریزدانه را شامل می‌شوند. با ادامه حرکت آب به سمت خروجی حوضه، به دلیل افزایش شدت جریان و تلاطم رودخانه، مجدداً از درصد اجزاء ریزدانه کاسته شده به طوری که این پارامتر در نمونه  $N_{15}$  برابر ۵/۶۴٪ و در  $N_{16}$  ۷/۹۶٪ ثبت شده است (جدول ۵-۲۳).

مواد آلی با میانگین ۵/۹٪، تغییرات قابل توجهی را در طول رودخانه نشان می‌دهند. نمونه  $N_3$  که بعد از ورود جریانات آبی زیرحوضه آزادکوه - نسن به رودخانه نوررود برداشت شده است، با ۱۱/۴۰٪، بیشترین مقدار ماده آلی را نشان داده است. این در حالی است که نمونه  $N_{16}$  که از انتهای رودخانه (قبل از تخلیه به رودخانه هراز) برداشت شده است، کمترین مقدار ماده آلی (۳٪) را داشته است (جدول ۵-۲۳).

pH تمامی نمونه‌های رسوب رودخانه نوررود، در محدوده قلیایی قرار گرفته و به طور متوسط برابر ۷/۸ می‌باشد. هر چند بیشترین pH ثبت شده مربوط به نمونه  $N_1$  (ابتدای حوضه) می‌باشد، اما روند خاصی را نمی‌توان برای تغییرات pH، در طول رودخانه ارائه داد.

#### ۵-۸-۲- غلظت عناصر سنگین در رودخانه نوررود

غلظت عناصر مورد بررسی در نمونه‌های برداشت شده از طول رودخانه نوررود، مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر آن در جدول ۵-۲۴ آورده شده است.

جدول (۵-۲۴): غلظت عناصر مورد مطالعه در ایستگاه‌های نمونه برداری رودخانه نوررود (بر حسب ppm)

ST	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
N1	10.88	0.85	34.27	155.89	54.16	1174	119.34	13.54	188.84	119
N2	9.44	0.16	20.87	86.16	39.78	771	58.60	8.89	132.47	136
N3	13.99	0.96	17.54	91.42	26.98	594	33.29	16.46	105.93	107
N4	17.12	0.60	15.00	73.78	29.49	672	38.51	11.18	111.32	107
N5	14.47	0.14	16.26	76.21	28.27	682	41.03	2.83	108.40	107
N6	14.95	0.49	15.75	61.58	28.41	641	34.89	19.24	107.10	115
N7	15.13	0.44	13.96	62.20	27.98	729	37.50	13.68	103.23	108
N8	14.38	0.73	14.49	52.78	26.68	706	33.14	16.08	100.09	109
N9	12.95	0.49	11.89	42.11	25.70	770	28.03	29.60	94.99	108
N10	16.54	0.78	10.84	42.35	25.94	799	24.84	13.08	92.34	107
N11	7.62	1.02	12.67	47.14	25.39	651	27.54	12.30	91.30	109
N12	15.31	0.76	14.26	55.16	25.45	748	29.33	24.77	104.26	128
N13	16.42	1.20	14.52	46.83	28.46	643	24.72	17.97	99.63	122
N14	18.85	0.54	17.66	70.72	32.83	500	41.72	11.70	110.67	124
N15	16.65	0.38	14.33	56.41	29.39	582	26.48	21.32	100.81	120
N16	7.82	0.79	13.77	46.85	22.55	552	27.51	17.24	88.21	106
min	7.62	0.14	10.84	42.11	22.55	500.22	24.72	2.83	88.21	105.95
max	18.85	1.20	34.27	155.89	54.16	1173.91	119.34	29.60	188.84	135.71
mean	<b>13.91</b>	<b>0.65</b>	<b>16.13</b>	<b>66.72</b>	<b>29.84</b>	<b>700.87</b>	<b>39.15</b>	<b>15.62</b>	<b>108.72</b>	<b>114.43</b>
W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

همان طور که در جدول ۵-۲۴ مشاهده می‌گردد، عناصر مورد بررسی مقادیر متفاوت و تغییرات قابل توجهی را نشان می‌دهند. عناصر کادمیوم، آرسنیک، کبالت، وانادیوم و روی، به طور کل در طول رودخانه روندی افزایشی را نشان می‌دهند، در حالی که غلظت عناصر کروم، مس، منگنز، نیکل و سرب، با حرکت به سمت خروجی حوضه روندی کاهشی دارند. براساس این جدول نمونه N<sub>1</sub> که از بالاترین بخش رودخانه نوررود، در محلی که خالی از سکنه بوده و به دور از فعالیت‌های صنعتی و معدنی می‌باشد، برداشت شده است، غلظت تمامی عناصر موجود در آن (بجز سرب)، مقادیری بیش از میانگین جهانی رسوبات را نشان می‌دهند. کادمیوم با ۵ برابر افزایش نسبت به میانگین رسوبات، بیشترین مقدار فراوانی را در این نمونه دارا می‌باشد.

وجود شیل‌های ذغالی سازند شمشک (رخنمون یافته در بالادست این نمونه) و تمرکز عناصر مختلف در آنها (در هنگام رسوبگذاری و طی دیازنز) را می‌توان دلیلی بر فراوانی این عناصر ذکر نمود. جهت بررسی تأثیر ورود جریان‌ات آبی زیرحوضه‌ها بر کیفیت رسوب رودخانه اصلی، نمونه برداری از قبل و بعد این محل‌ها (محل ورود جریان‌ات زیرحوضه‌ها) انجام گرفته است. بر این اساس، با مقایسه نمونه  $N_2$  و  $N_3$  که به ترتیب قبل و بعد از ورودی زیرحوضه آزادکوه - نسن برداشت شده است، مشاهده می‌گردد که این زیرحوضه در افزایش آرسنیک ( $4/55$  ppm)، کادمیوم ( $0/7$  ppm) و سرب ( $7/75$  ppm) و کاهش غلظت عناصری چون کبالت، منگنز و نیکل ایفای نقش نموده است. مطالعه و بررسی غلظت نمونه برداشت شده از زیرحوضه آزادکوه (نمونه AZ)، این تفاوت‌های ایجاد شده را تأیید می‌نماید (جدول ۵-۲). البته کاهش غلظت عناصری چون نیکل را شاید بتوان به روند طبیعی کاهشی آن در طول رودخانه نسبت داد.

مقایسه نمونه های  $N_5$  و  $N_6$  که به ترتیب قبل و بعد از زیرحوضه اوزرود برداشت شده اند نیز اثراتی در غلظت عناصر رودخانه اصلی ایجاد نموده اند. به عنوان مثال مقادیر کم کروم ( $52/64$  ppm) و Ni ( $23/62$  ppm) نمونه  $O_1$  (جدول ۵-۱۴) در کاهش  $14/63$  ppm کروم و  $6/14$  ppm نیکل در دو نمونه  $N_5$  و  $N_6$  مؤثر بوده است. فراوانی غلظت عناصری چون کادمیوم ( $0/51$  ppm) و سرب ( $29/14$  ppm) نمونه  $O_1$  نیز در افزایش های  $0/35$  ppm و  $16/48$  ppm کادمیوم و سرب ایفای نقش نموده است (جدول ۵-۲۴).

پایین بودن غلظت عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم و نیکل خروجی زیرحوضه کلیک (جدول ۵-۲۰) در کاهش  $1/43$  ppm آرسنیک،  $0/24$  ppm کادمیوم،  $2/6$  ppm کبالت،  $10/67$  ppm کروم و  $5/11$  ppm نیکل نمونه  $N_9$  نسبت به نمونه  $N_8$  مؤثر بوده است (جدول ۵-۲۴).

با اینکه انتظار می‌رود فعالیت‌های انسانی (صنعت، کشاورزی) شهر بلده، در افزایش غلظت عناصر بین دو نمونه  $N_9$  و  $N_{10}$  که به ترتیب قبل و بعد از این شهر، از رسوبات رودخانه نوررود برداشت شده‌اند،



تأثیر فراوانی داشته باشد، تنها افزایش قابل توجه ۳/۵۹ ppm آرسنیک و ۰/۲۹ ppm کادمیوم را ایجاد نموده است (جدول ۵-۲۴). البته فرآیندهای طبیعی حوضه نیز می‌توانند در این افزایش غلظت‌ها موثر باشند.

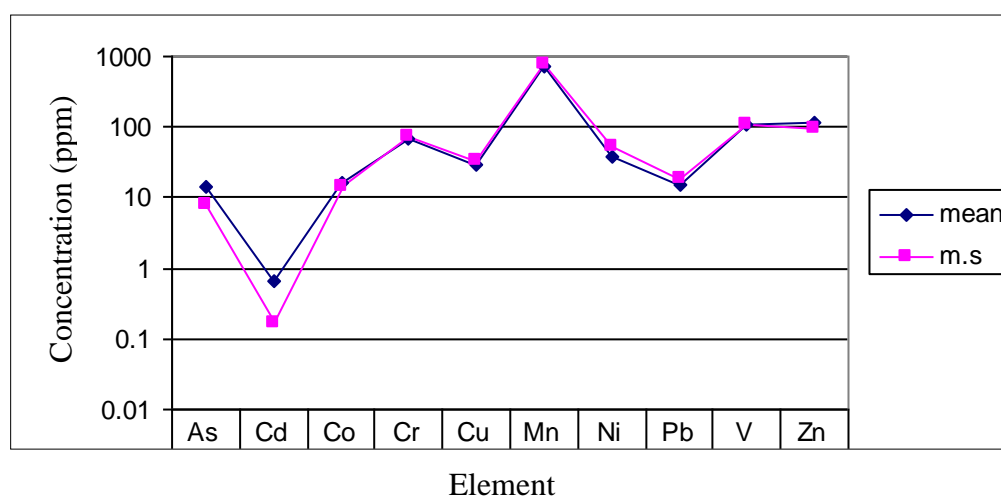
سایر زیرحوضه‌های شرقی منطقه نیز با توجه به ترکیب واحدهای بالادست و حجم آورد بار رسوبی، تأثیرات متفاوتی را در کیفیت رسوبات نوررود داشته‌اند (جدول ۵-۲۴). البته علاوه بر نقش زیرحوضه-ها و سایر جریان‌های ورودی در آلودگی رسوبات نوررود، قرار گرفتن این رودخانه بر روی دره‌ای گسلی از سازند شمشک و فرسایش بخش‌های مختلف این سازند نیز در تغییرات غلظت عناصر در طول رودخانه مؤثر می‌باشد. جهت تأیید این مطلب، دو نمونه از خاک‌های برجای تشکیل شده بر روی شیل‌ها و یک نمونه ذغال سنگ سازند از شمشک برداشت شده و مورد آنالیز قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۵-۲۵ ارائه گردیده است.

جدول (۵-۲۵): غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های برجا (شیل و ذغال سنگ) برداشت شده از سازند شمشک

sample	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Coal	43.55	2.71	37.48	8.14	49.80	412	130.32	60.72	154.42	485
Sh	12.20	0.76	20.61	68.10	46.61	1371	49.89	37.27	127.16	124
W.M.S	7.7	0.17	14	72	33	770	52	19	105	95

همان‌طور که در جدول ۵-۲۵ مشاهده می‌گردد، ذغال که از لحاظ فرسایش پذیری نیز دارای پتانسیل بالا می‌باشد، بیشترین غلظت را در برخی از عناصر در کل نمونه‌ها دارا می‌باشد. غلظت‌های ۵/۶، ۱۵/۹، ۲/۶، ۲/۵، ۳/۲ و ۵/۱ برابری به ترتیب برای عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، نیکل، سرب و روی، نسبت به میانگین رسوبات جهانی، نمونه‌های بارزی از خاصیت تجمع‌پذیری بالای ذغال سنگ‌ها نسبت به این عناصر می‌باشد. وجود مواد آلی، کانی‌های رسی و محیط تشکیل‌دهنده ذغال سنگ‌ها را می‌توان دلایل این تجمع‌ها در نظر گرفت (رحیمی، ۱۳۸۸). علاوه بر اینکه غلظت کلیه

عناصر (بجز کروم و نیکل) موجود در نمونه شیل برداشت شده (جدول ۵-۲۵) مقادیر بالاتر از میانگین جهانی رسوبات را نشان می‌دهند، برخی از عناصر مانند منگنز (۱۳۷۰ ppm) بیشترین مقدار غلظت خود در بین کل نمونه‌های برداشت شده از حوضه را در این نمونه دارا می‌باشند. جهت بررسی کلی غلظت عناصر با مقادیر میانگین رسوب جهانی، میانگینی از غلظت ۱۶ نمونه برداشت شده از رودخانه نوررود در کنار میانگین رسوب جهانی مطالعه شده است (شکل ۵-۳).



شکل (۵-۳): مقایسه میانگین غلظت عناصر نمونه‌های رودخانه نوررود با میانگین رسوب جهانی

همان طور که در شکل ۵-۳ مشاهده می‌گردد، تنها عناصر آرسنیک و کادمیوم، مقادیری بیش از میانگین رسوب جهانی را دارا بوده و سایر عناصر، غلظت‌هایی مشابه این میانگین را نشان می‌دهند. البته نیکل و سرب، به نسبت سایر عناصر، کاهش بیشتری را نسبت به میانگین رسوب جهانی نشان می‌دهند.

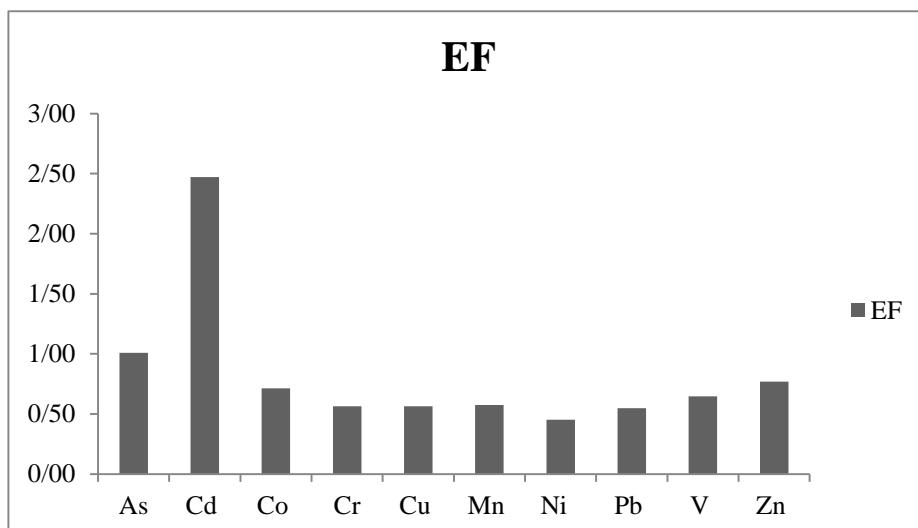
### ۵-۸-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی در رودخانه نورود

همانند سایر نمونه‌ها، شاخص‌های ژئوشیمیایی از قبیل فاکتور غنی شدگی، شاخص زمین انباشت، فاکتور و درجه آلودگی برای نمونه‌های برداشت شده از این رودخانه نیز محاسبه شده و نتایج آن در به ترتیب در جداول ۵-۲۶، ۵-۲۷ و ۵-۲۸ ارائه گردیده است.

جدول (۵-۲۶): مقادیر فاکتور غنی شدگی (EF) رودخانه نورود

EF	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
N1	0.69	2.43	1.19	1.05	0.80	0.74	1.11	0.35	0.87	0.61
N2	0.55	0.43	0.67	0.54	0.54	0.45	0.51	0.21	0.57	0.64
N3	1.02	3.15	0.70	0.71	0.46	0.43	0.36	0.49	0.57	0.63
N4	1.25	1.96	0.59	0.57	0.50	0.48	0.41	0.33	0.59	0.62
N5	1.12	0.47	0.64	0.59	0.47	0.49	0.44	0.08	0.57	0.63
N6	1.08	1.66	0.65	0.49	0.49	0.48	0.38	0.58	0.59	0.70
N7	1.09	1.46	0.56	0.49	0.48	0.53	0.41	0.41	0.55	0.64
N8	1.09	2.52	0.61	0.43	0.47	0.54	0.37	0.50	0.56	0.67
N9	0.93	2.25	0.67	0.46	0.61	0.79	0.42	1.23	0.71	0.89
N10	1.24	3.10	0.52	0.40	0.53	0.70	0.32	0.46	0.59	0.76
N11	0.53	4.74	0.72	0.52	0.61	0.67	0.42	0.51	0.69	0.91
N12	1.14	3.46	0.78	0.59	0.59	0.75	0.43	1.00	0.76	1.04
N13	1.20	4.61	0.68	0.42	0.56	0.54	0.31	0.62	0.62	0.84
N14	1.34	2.17	0.86	0.67	0.68	0.44	0.55	0.42	0.72	0.89
N15	1.27	1.89	0.87	0.66	0.75	0.64	0.43	0.95	0.81	1.07
N16	0.62	3.20	0.68	0.45	0.47	0.49	0.36	0.62	0.58	0.77
Min	0.53	0.43	0.52	0.40	0.46	0.43	0.31	0.08	0.55	0.61
Max	1.34	4.74	1.19	1.05	0.80	0.79	1.11	1.23	0.87	1.07
mean	<b>1.01</b>	<b>2.47</b>	<b>0.71</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	<b>0.45</b>	<b>0.55</b>	<b>0.65</b>	<b>0.77</b>

جهت تسهیل در مطالعه، میانگین فاکتورهای غنی شدگی عناصر مورد بررسی در شکل ۵-۴ نیز ارائه گردیده است.



شکل (۴-۵): نمودار میانگین فاکتور غنی شدگی عناصر در رودخانه نورود

همان طور که در جدول ۲۶-۵ مشاهده می‌گردد، کادمیوم در بسیاری از نمونه‌ها، شامل  $N_1$ ،  $N_3$ ،  $N_8$ ،  $N_9$ ،  $N_{10}$ ،  $N_{11}$ ،  $N_{12}$ ،  $N_{13}$ ،  $N_{14}$  و  $N_{16}$  به ترتیب با دارا بودن فاکتور غنی شدگی  $2/43$ ،  $3/15$ ،  $2/52$ ،  $2/25$ ،  $3/10$ ،  $4/74$ ،  $3/46$ ،  $4/61$ ،  $2/17$  و  $3/20$ ، که مقادیری بیش از ۲ را دارا می‌باشند ( $EF > 2$ )، غنی شدگی متوسط را نشان می‌دهد. در حالی که سایر عناصر غنی شدگی کمتر از ۲ را نشان داده که بیان کننده میزان غنی شدگی اندک و بدون غنی شدگی می‌باشد.

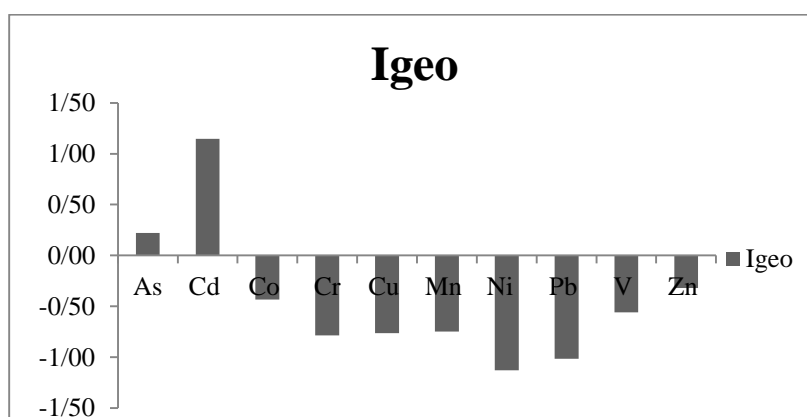
با اینکه سایر عناصر در نمونه‌های مختلف غنی شدگی‌های متفاوتی را نشان می‌دهند، اما هیچکدام میانگین غنی شدگی بیشتر از ۲ را نشان نداده که عدم غنی شدگی آنها را تأیید می‌نماید. به عنوان مثال با اینکه غنی شدگی مس از  $0/46$  در نمونه  $N_3$  تا  $0/8$  در نمونه  $N_1$  تفاوت می‌نماید، از محدوده فاقد غنی شدگی تا غنی شدگی اندک خارج نشده است.

مقادیر شاخص زمین انباشت نمونه‌های رودخانه نورود در جدول زیر (جدول ۲۷-۵) ارائه شده است.

جدول (۵-۲۷): مقادیر شاخص زمین انباشت عناصر رودخانه نوررود

Igeo	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
N1	-0.09	1.74	0.71	0.53	0.13	0.02	0.61	-1.07	0.26	-0.27
N2	-0.29	-0.64	-0.01	-0.33	-0.32	-0.58	-0.41	-1.68	-0.25	-0.07
N3	0.28	1.91	-0.26	-0.24	-0.88	-0.96	-1.23	-0.79	-0.57	-0.41
N4	0.57	1.24	-0.49	-0.55	-0.75	-0.78	-1.02	-1.35	-0.50	-0.42
N5	0.33	-0.82	-0.37	-0.50	-0.81	-0.76	-0.93	-3.33	-0.54	-0.41
N6	0.37	0.95	-0.42	-0.81	-0.80	-0.85	-1.16	-0.57	-0.56	-0.30
N7	0.39	0.79	-0.59	-0.80	-0.82	-0.66	-1.06	-1.06	-0.61	-0.40
N8	0.32	1.51	-0.54	-1.03	-0.89	-0.71	-1.23	-0.83	-0.65	-0.39
N9	0.16	0.93	-0.82	-1.36	-0.95	-0.58	-1.48	0.05	-0.73	-0.41
N10	0.52	1.62	-0.95	-1.35	-0.93	-0.53	-1.65	-1.12	-0.77	-0.42
N11	-0.60	2.00	-0.73	-1.20	-0.96	-0.83	-1.50	-1.21	-0.79	-0.39
N12	0.41	1.58	-0.56	-0.97	-0.96	-0.63	-1.41	-0.20	-0.60	-0.15
N13	0.51	2.24	-0.53	-1.21	-0.80	-0.84	-1.66	-0.67	-0.66	-0.22
N14	0.71	1.08	-0.25	-0.61	-0.59	-1.21	-0.90	-1.28	-0.51	-0.20
N15	0.53	0.57	-0.55	-0.94	-0.75	-0.99	-1.56	-0.42	-0.64	-0.25
N16	-0.56	1.63	-0.61	-1.20	-1.13	-1.07	-1.50	-0.73	-0.84	-0.43
min	-0.60	-0.82	-0.95	-1.36	-1.13	-1.21	-1.66	-3.33	-0.84	-0.43
max	0.71	2.24	0.71	0.53	0.13	0.02	0.61	0.05	0.26	-0.07
mean	<b>0.22</b>	<b>1.15</b>	<b>-0.44</b>	<b>-0.79</b>	<b>-0.76</b>	<b>-0.75</b>	<b>-1.13</b>	<b>-1.02</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.32</b>

مقادیر میانگین شاخص زمین انباشت نیز در شکل ۵-۵ آورده شده است.



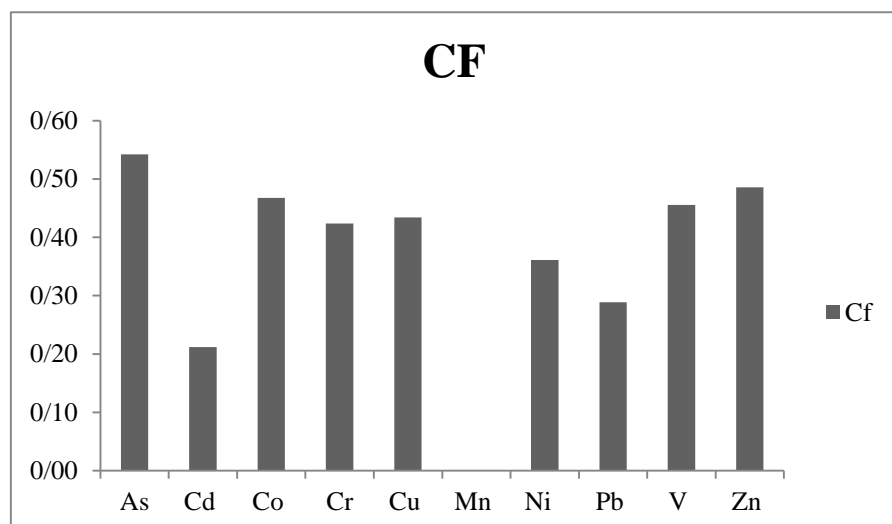
شکل (۵-۵): مقادیر میانگین شاخص زمین انباشت عناصر در رودخانه نوررود

بررسی میانگین فاکتور زمین انباشت (Igeo) برای عناصر مختلف نمونه‌های برداشت شده نشان می‌دهد تنها عناصری مانند کادمیوم و آرسنیک که اندکی غنی شدگی نشان داده بودند، مقادیر مثبت بوده و سایر عناصر (بجز عناصر نمونه  $N_1$ ) مقادیر متفاوت زمین انباشت منفی را نشان می‌دهند. کادمیوم با میانگین زمین انباشت  $1/15$  که معرف میزان آلودگی متوسط می‌باشد، بیشترین میزان Igeo را در نمونه  $N_{13}$  ( $Igeo = 2/24$ ) و کمترین مقدار این فاکتور را در نمونه  $N_8$  ( $Igeo = 0/82$ ) نشان می‌دهد. این در حالی است که کمترین مقدار زمین انباشت برابر  $3/33-$  بوده که به عنصر سرب در نمونه  $N_5$  متعلق می‌باشد.

آرسنیک هم با نشان دادن میانگین زمین انباشت  $0/22$  (آلودگی اندک تا عدم آلودگی) در نمونه  $N_{14}$  و  $N_{16}$ ، به ترتیب بیشترین و کمترین ( $0/71$  و  $-0/56$ ) میزان انباشتگی زمینی را نشان می‌دهد. براساس جدول ۵-۲۸ که مقادیر فاکتور و درجه آلودگی رودخانه نوررود را نشان می‌دهد، بجز نمونه  $N_1$  که از ابتدای مسیر و رسوبات فرسایش یافته از شیل‌ها و ذغال سنگ‌های سازند شمشک ناشی شده و فاکتور و درجه آلودگی متوسط را نشان می‌دهد، سایر عناصر با نشان دادن  $CF < 1$ ، (شکل ۵-۶) پایین بودن آلودگی کل رسوبات این رودخانه را تأیید می‌نماید.

جدول (۵-۲۸): مقادیر فاکتور و درجه آلودگی نمونه‌های رودخانه نوررود

CF	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	C <sub>d</sub>
N1	0.38	0.28	0.99	0.99	0.79	0	1.1	0.25	0.79	0.5	6.08
N2	0.45	0.05	0.6	0.55	0.58	0	0.54	0.16	0.56	0.58	4.07
N3	0.86	0.32	0.51	0.58	0.39	0	0.31	0.3	0.44	0.45	4.17
N4	0.59	0.2	0.43	0.47	0.43	0	0.35	0.21	0.47	0.45	3.6
N5	0.74	0.05	0.47	0.48	0.41	0	0.38	0.05	0.45	0.45	3.49
N6	0.61	0.16	0.46	0.39	0.41	0	0.32	0.36	0.45	0.49	3.65
N7	0.58	0.14	0.4	0.4	0.41	0	0.35	0.25	0.43	0.46	3.42
N8	0.35	0.24	0.42	0.34	0.39	0	0.31	0.3	0.42	0.46	3.21
N9	0.67	0.16	0.34	0.27	0.37	0	0.26	0.55	0.4	0.46	3.48
N10	0.74	0.26	0.31	0.27	0.38	0	0.23	0.24	0.39	0.45	3.26
N11	0.62	0.34	0.37	0.3	0.37	0	0.25	0.23	0.38	0.46	3.32
N12	0.66	0.25	0.41	0.35	0.37	0	0.27	0.46	0.44	0.54	3.76
N13	0.48	0.39	0.42	0.3	0.41	0	0.23	0.33	0.42	0.52	3.5
N14	0.37	0.18	0.51	0.45	0.48	0	0.38	0.22	0.46	0.53	3.58
N15	0.32	0.12	0.42	0.36	0.43	0	0.24	0.39	0.42	0.51	3.21
N16	0.26	0.26	0.4	0.3	0.33	0	0.25	0.32	0.37	0.45	2.94
min	0.26	0.05	0.31	0.27	0.33	0	0.23	0.05	0.37	0.45	2.94
max	0.86	0.39	0.99	0.99	0.79	0	1.1	0.55	0.79	0.58	6.08
mean	<b>0.54</b>	<b>0.21</b>	<b>0.47</b>	<b>0.42</b>	<b>0.43</b>	<b>0</b>	<b>0.36</b>	<b>0.29</b>	<b>0.46</b>	<b>0.49</b>	<b>3.67</b>

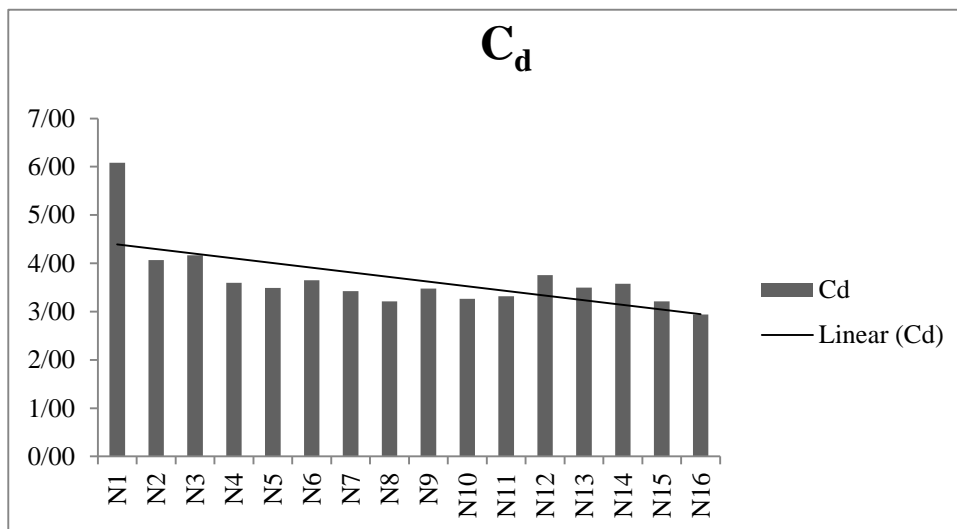


شکل (۵-۶): نمودار میانگین فاکتور آلودگی عناصر در رودخانه نوررود

با اینکه انتظار می‌رود هر چه به سمت خروجی رودخانه پیش رویم، بر آلودگی آن ( $C_d$ ) افزوده می‌گردد، به دلیل طبیعی بودن آلودگی‌های این حوضه و ارتباط آنها با واحدهای زمین شناسی، درجه آلودگی از بالادست به سمت خروجی حوضه کاسته شده است (جدول ۵-۲۹ و شکل ۵-۷).

جدول (۵-۲۹): مقادیر درجه آلودگی نمونه‌های برداشت شده از رودخانه نوررود

ST	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
$C_d$	6.08	4.07	4.17	3.60	3.49	3.65	3.42	3.21	3.48	3.26	3.32	3.76	3.50	3.58	3.21	2.94



شکل (۵-۷): نمودار روند کاهشی میانگین فاکتور آلودگی نمونه‌های رودخانه نوررود



#### ۵-۸-۴- بررسی همبستگی عناصر در حوضه آبریز نوررود

جهت بررسی دقیق تر ارتباط عناصر و تعیین مشابهات ژئوشیمیایی آنها همبستگی عناصر با یکدیگر و با پارامترهایی از قبیل OM، Mud، و Sand. حوضه آبریز نوررود تعیین گردیده و مقادیر آنها در جدول ۵-۳۰ آورده شده است.

به دلیل مساعد نبودن شرایط هوازدگی شیمیایی و انجام تبادلات یونی (سرعت بالای آب، حجم زیاد جریان، فاصله کم تا منشأ و ...)، در این حوضه ویژگی‌های ژئوشیمیایی اولیه عناصر، اساس همبستگی آنها در رسوبات را نیز تشکیل داده است.

بر طبق جدول ۵-۳۰ کبالت با کروم، مس، نیکل و وانادیوم به ترتیب همبستگی‌های ۰/۸۸۷، ۰/۹۰۹، ۰/۹۳۹ و ۰/۷۹۳ نشان می‌دهد. کروم نیز با مس، نیکل و وانادیوم همبستگی بالایی نشان می‌دهد که به ترتیب ۰/۷۹۴، ۰/۸۵۷ و ۰/۷۰۲ می‌باشد. علاوه بر همبستگی‌های بالا، مس با نیکل و وانادیوم، سرب ب روی و منگنز، وانادیوم با نیکل و روی نیز همبستگی بالایی نشان می‌دهد.

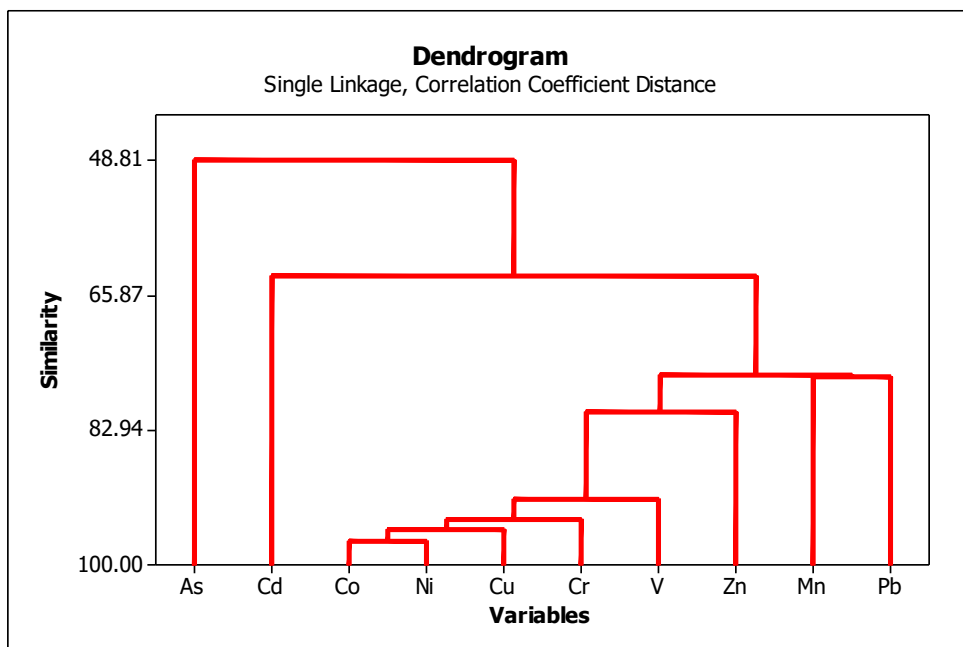
همبستگی بالای این عناصر می‌تواند مربوط به ماهیت و رفتار ژئوشیمیایی مشابه آنها در طبیعت و یا منشأ یکسان آنها در منطقه باشد. همبستگی این عناصر را می‌توان به واحدهای بازالتی و آندزیتی و دیگر واحدهای آذرینی منطقه نسبت داد.

جدول (۳-۵): همبستگی عناصر مورد مطالعه در حوضه آبریز نورود

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	%Om	% Sand	% Mud	ph
As	۱													
Cd	-.۰۲۲	۱												
Co	-.۰۱۸	-.۰۵۵	۱											
Cr	-.۰۴۱	-.۰۲۸	-.۰۸۷	۱										
Cu	-.۰۰۸۱	-.۰۱۷۱	-.۰۰۹	-.۰۷۴	۱									
Mn	-.۰۱۶۷	-.۰۴۷	-.۰۱۱	-.۰۵۹	-.۰۰۶	۱								
Ni	-.۰۲۵	-.۰۲۸	-.۰۳۹	-.۰۵۷	-.۰۷۲	-.۰۴۵	۱							
Pb	-.۰۱۵۷	-.۰۱۶۵	-.۰۰۰۲	-.۰۵۴	-.۰۰۹	-.۰۲۲	-.۰۵۱	۱						
V	-.۰۱۲	-.۰۲۷	-.۰۷۲	-.۰۰۲	-.۰۳۵	-.۰۰۷۱	-.۰۲۲	-.۰۰۸	۱					
Zn	-.۰۱۴۸	-.۰۰۰۰	-.۰۰۴	-.۰۲۲	-.۰۲۲	-.۰۲۱	-.۰۱۵	-.۰۱۹	-.۰۱۴	۱				
%Om	-.۰۰۶۷	-.۰۲۲	-.۰۰۰	-.۰۵۸	-.۰۲۲	-.۰۴۵	-.۰۲۲	-.۰۱۸	-.۰۲۹	-.۰۵۱	۱			
% Sand	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	۱		
% Mud	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	۱	
ph	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	-.۰۰۰	۱

## ۵-۹- آنالیز خوشه‌ای (CA)

جهت بررسی دقیق همبستگی‌های موجود بین عناصر نمونه‌های مورد مطالعه و درک بهتر روابط بین آنها، از آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید. در این روش هر متغیر به صورت خوشه‌ای جدا در نظر گرفته شده، سپس به نسبت شباهت بین متغیرها، خوشه‌ها با هم ترکیب می‌گردند. میزان شباهت‌ها توسط مقیاس خطی عمودی که در کنار آنها قرار داده شده است، مشخص می‌گردد. آنالیز خوشه‌ای عناصر در کل نمونه‌های برداشت شده از حوضه در شکل ۵-۸ آورده شده است.



شکل (۵-۸): شکل آنالیز خوشه‌ای عناصر در کل حوضه آبخیز نورود

همان طور که در شکل ۵-۸ مشاهده می‌گردد، بجز آرسنیک و کادمیوم که نسبت به سایر عناصر به صورت جداگانه قرار گرفته‌اند، عناصری مانند Mn، Pb و Zn، در یک گروه و عناصر V، Ni، Cu، Cr و Co نیز که همگی دارای یون کوچک (بجز Cu) و شباهت زیادی با رفتار آهن را نشان می‌دهند، در گروهی دیگر، دسته بندی شده‌اند.

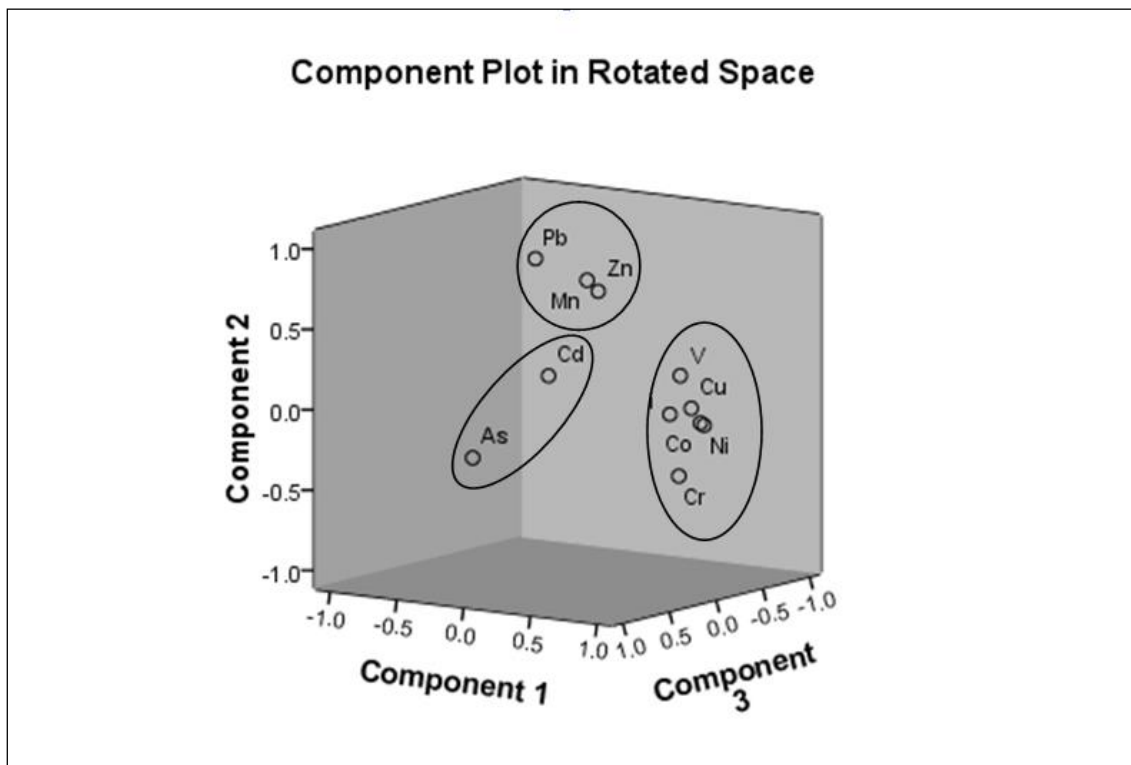
غنی شدگی زیاد As و Cd در شیل ها و ذغال سنگ های سازند شمشک به نسبت سایر عناصر را شاید بتوان دلیلی بر تفاوت این دو عنصر با سایر عناصر ذکر کرد.

### ۵-۱۰- تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

جهت تأیید صحت نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای و ارتباط دقیق تر عناصر با ویژگی‌های طبیعی، غلظت‌های عناصر تمامی نمونه‌های برداشت شده با استفاده از نرم افزار SPSS و بهره‌گیری از روش تحلیل مؤلفه اصلی، مورد تحلیل قرار گرفت. این مولفه‌ها بعد از Rotution مولفه‌های استخراج شده به دست آمد و روش Rotution نیز در این تحقیق Varimax بوده است. نتایج حاصل در جدول ۵-۳۳ و شکل ۵-۹ ارائه گردیده است.

جدول (۵-۳۱): نتایج حاصل مؤلفه اصلی آنالیز نمونه‌های حوضه آبخیز نوررود

element	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>
Co	0.959	-0.052	-0.115
Ni	0.923	-0.075	-0.196
Cu	0.923	0.039	-0.067
V	0.907	0.246	0.029
Cr	0.892	-0.377	0
Pb	-0.196	0.874	0.107
Zn	0.419	0.738	0.248
Mn	-0.122	0.718	-0.312
As	-0.179	-0.313	0.691
Cd	0.319	0.23	0.587



شکل (۵-۹): نمودار سه بعدی PCA برای عناصر حوضه آبخیز نوررود

همان طور که در جدول ۵-۳۳ مشاهده می‌گردد، در مؤلفه اول ( $PC_1$ )، عناصر کبالت، وانادیوم، نیکل، مس، کروم، آهن و روی از اوزان بالایی برخوردار بوده که نشان دهنده ارتباط ژئوشیمیایی آنها می‌باشد (از عنصر Fe نیز جهت ارتباط بهتر عناصر با شاخص‌های تجمع زمینی، در این بخش استفاده شده است). عناصر سرب، منگنز و روی در مؤلفه دوم ( $PC_2$ ) و عناصر کادمیوم و آرسنیک در مؤلفه سوم ( $PC_3$ )، بیشترین همبستگی و ارتباط را دارا می‌باشند.

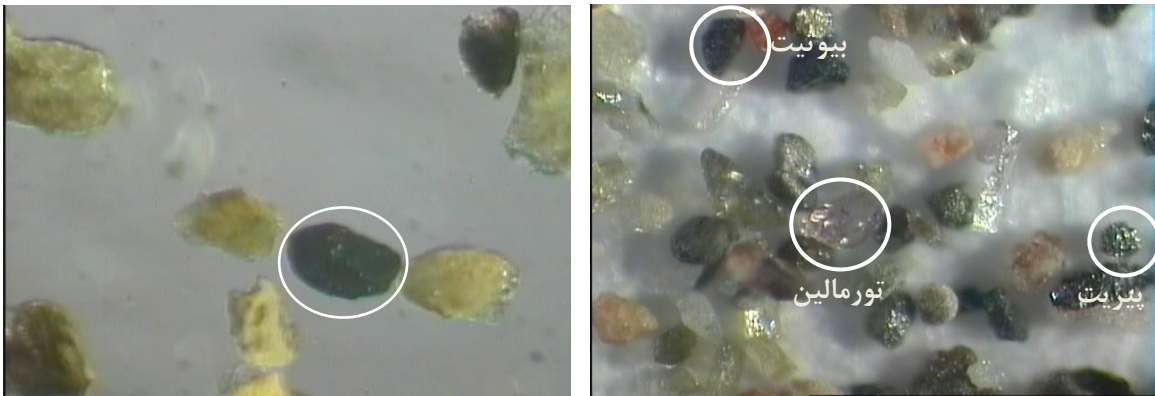
ویژگی‌هایی از قبیل شعاع و بار یونی، میزان انحلال پذیری، میزان ارتباط رفتاری عنصر با اجزاء رسوبات (مواد آلی و کانی‌های رسی) و ... از جمله مواردی هستند که باعث تفکیک عناصر در مؤلفه‌های مختلف شده‌اند.

شکل ۵-۹ نیز با تمرکز عناصر فوق‌الذکر در بخش‌های مختلف نمودار سه بعدی PCA، ضمن نشان دادن سه بعدی ارتباط مؤلفه‌های PC با یکدیگر، نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای را نیز تأیید می‌نماید.

## ۵-۱۱- کانی‌های سنگین

علاوه بر مطالعات انجام شده بر روی رسوبات و نمونه‌های طبیعی برداشت شده از سطح حوضه، مطالعات انجام شده بر روی مقاطع نازک سنگی، جهت تعیین ارتباط آلودگی‌ها با کانی‌های موجود در سنگ‌ها (به ویژه کانی‌های سنگین)، تعداد ۱۰ نمونه از رسوبات برداشت شده از سطح حوضه (۷) نمونه از رودخانه نوررود و ۳ نمونه از زیرحوضه‌های کلیک و اوزرود) مورد مطالعات کانی‌های سنگین قرار گرفته است.

آمفیبول، بیوتیت، گالن، مگنتیت و زیرکن، مهمترین کانی‌های سنگین مشاهده شده در این رسوبات می‌باشند که وجود عناصری مانند آهن، منیزیم، سرب و زیرگنیوم را به طور مستقیم و عناصر، Mn، Ni، Co، Cd و As که در شبکه بلوری این کانی‌ها جای گرفته‌اند را به صورت غیرمستقیم به آنها نسبت داد. نمونه‌ای از بیوتیت و پیریت و اکسید آهن به همراه آمفیبول‌های جدا شده از رسوبات در شکل‌های ۵-۱۰ و ۵-۱۱ آورده شده است.



شکل ۵-۱۱: بلور اکسید آهن از رسوب برداشت شده از زیرحوضه کلیک

شکل ۵-۱۰: بلورهای پیریت، تورمالین و بیوتیت در رسوب برداشت شده از رودخانه نوررود

## فصل ششم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

#### ۶-۱- مقدمه

در این تحقیق غلظت عناصر سنگین رسوبات رودخانه نررود، با تمرکز ارتباط آلودگی‌ها به عوارض طبیعی و واحدهای زمین شناسی منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام این مطالعه، علاوه بر آنالیز شیمیایی نمونه رسوب برداشت شده از شاخه اصلی رودخانه (رودخانه نررود) و زیرحوضه‌های چندین مقطع نازک سنگی و چندین نمونه مقطع کانی سنگین تهیه شده از رسوبات رودخانه نیز استفاده گردید.

عناصر As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V و Zn عناصر سنگینی بودند که جهت بررسی تغییرات رفتار آنها از فاکتورهای ژئوشیمیایی از قبیل فاکتور غنی شدگی، شاخص زمین انباشت، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی استفاده گردید. مقادیر pH، درصد ماده آلی و درصد اجزاء ریزدانه (آنالیز دانه بندی) رسوبات نیز اندازه‌گیری گردید. همبستگی عناصر هر بخش با استفاده از جدول همبستگی و همبستگی عناصر کل رسوبات حوضه با استفاده از شاخص زمین آماری، آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی مورد بررسی قرار گرفت.

در این فصل ضمن جمع بندی مطالب فصول گذشته، پس از ارائه مختصری از نتایج مطالعات این تحقیق، پیشنهادهایی نیز جهت انجام مطالعات تکمیلی ارائه خواهد شد.

#### ۶-۲- ارزیابی مطالعات انجام شده و پارامترهای اندازه‌گیری در حوضه آبریز نررود

جهت تعیین رفتار ژئوشیمیایی و غلظت عناصر سنگین رسوبات منطقه مورد مطالعه، پارامترهای مختلفی اندازه‌گیری گردیده که در ذیل ارائه شده است.

## ۶-۲-۱- تعیین غلظت عناصر سنگین رسوبات

جهت تعیین غلظت عناصر سنگین رسوبات حوضه آبرگیر نوررود، ۳۶ نمونه از شاخه اصلی زیرحوضه- های این رودخانه برداشت گردید که غلظت عناصر (Zn و V, Pb, Ni, Mn, Cu, Cr, Co, Cd, As) رسوبات از طریق انجام آنالیز ICP-MS اندازه‌گیری گردید.

۴ نمونه خاک بر جای ناشی از هوازدگی سنگ های منطقه نیز به همین روش مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعه آنالیز نمونه‌ها نشان داد آرسنیک، کادمیوم، کبالت، منگنز، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب با دارا بودن میانگین (به ترتیب) ۱۳/۲۳، ۰/۶۱، ۱۵/۳۹، ۷۸۲/۶، ۲۲/۹۴، ۱۰۷ و ۱۲۱، مقادیری بیشتر از میانگین رسوب جهانی را نشان می‌دهند. کادمیوم و آرسنیک به ترتیب با ۳/۵۸ برابر و ۱/۷ برابر، بیشترین افزایش‌ها را نشان می‌دهند.

## ۶-۲-۲- تعیین خصوصیات رسوب شناختی

### ۶-۲-۲-۱- دانه سنجی رسوبات

مقادیر گراول، ماسه و گل تمامی رسوبات برداشت شده از سطح حوضه از طریق آزمایش دانه بندی اندازه‌گیری گردیدند. در پایان این آزمایش نام هر رسوب نیز تعیین گردید.

مطالعه دانه سنجی رسوبات نشان داد ماسه بیشترین جزء رسوبات را تشکیل داده و بعد از آن گراول و گل (مجموع سیلت و رس) قرار گرفته‌اند. در واقع ماسه گراولی و ماسه با کمی گراول، مرسوم‌ترین نام‌های رسوبات منطقه می‌باشند.



## ۶-۲-۲-۲- تعیین pH

مقادیر pH تمامی رسوبات برداشت شده از طریق روش‌های استاندارد تعیین pH (به کمک pH متر Jenway) اندازه‌گیری گردید.

براساس نتایج حاصل مشخص شد pH تمامی نمونه‌ها در محدوده قلیایی قرار گرفته است. نمونه برداشت شده از ابتدای رودخانه نوررود با  $8/3$  بیشترین و خروجی زیرحوضه کلیک، با pH برابر  $7/55$ ، کمترین مقادیر pH را نشان دادند. رخنمون واحدهای کربناتی منطقه را می‌توان به عنوان دلیلی جهت مقادیر قلیایی pH در نظر گرفت.

## ۷-۲-۲-۳- تعیین درصد ماده آلی

مقادیر ماده آلی تمامی نمونه‌های رسوب برداشت شده از منطقه (به وسیله سوزاندن نمونه در کوره) اندازه‌گیری گردید. با اینکه میانگین درصد ماده آلی نمونه‌ها (در حدود ۶) زیاد نمی‌باشد، نمونه‌های  $N_2$  و YA که به ترتیب از نواحی سر شاخه‌های نوررود و خروجی زیر حوضه یالرود برداشت شده‌اند، مقادیر  $11/4\%$  و  $10/4\%$  ماده آلی را نشان می‌دهند.

## ۶-۲-۲-۳- سنگ شناسی و کانی شناسی

### ۶-۲-۳-۱- تعیین کانی‌های سنگین

جهت تعیین ارتباط آلودگی‌ها با کانی‌های موجود در رسوبات منطقه (به ویژه کانی‌های سنگین) تعداد ۱۰ نمونه از رسوبات برداشت شده از سطح حوضه مورد مطالعه کانی‌های سنگین قرار گرفتند. پیریت، مگنتیت، بیوتیت، آمفیبول، تورمالین و زیرکن به عنوان مهمترین کانی‌های سنگین رسوبات مطالعه

شده در نظر گرفته شدند. این کانی‌ها را می‌توان به فرسایش سنگ‌های مافیک تا حدواسط این حوضه نسبت داد.

#### ۶-۲-۴ - ضریب همبستگی

جهت ارتباط ویژگی‌های مختلف ژئوشیمیایی عناصر با یکدیگر، مقادیر همبستگی عناصر مورد بررسی، با یکدیگر و با پارامترهایی از قبیل مقدار pH، درصد ماده آلی و اجزاء ریزدانه رسوبات (مقدار گل) برای حوضه آبریز رودخانه نوررود مورد بررسی قرار گرفت.

کبالت، کروم، مس، نیکل و وانادیوم دارای همبستگی بالایی با یکدیگر هستند که می‌تواند ناشی از واحدهای سنگ شناختی حوضه باشد. علاوه بر عناصر بالا سرب با روی و منگنز نیز دارای همبستگی می‌باشد.

#### ۶-۲-۵ - آنالیز خوشه‌ای (CA) و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

جهت بررسی دقیق‌تر همبستگی عناصر در نمونه‌های برداشت شده از سطح حوضه، از فاکتورهای تحت عنوان آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی استفاده گردید. بر اساس این آنالیز، عناصر کبالت، کروم، وانادیوم، مس و نیکل که دارای خواص ژئوشیمیایی مشابه می‌باشند در یک گروه و عناصر روی، سرب و منگنز را که دارای ویژگی‌های ژئوشیمیایی نزدیک به هم هستند، در گروه دیگر دسته بندی شده‌اند. As و Cd نیز به صورت جداگانه دسته بندی شده و ارتباطی با سایر عناصر نشان ندادند. نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) نیز دقیقاً تفکیک فوق‌الذکر را نشان داد. غنی شدگی زیاد آرسنیک و کادمیوم در رسوبات شیل و ذغالی سازند شمشک را شاید بتوان دلیلی بر جدا بودن این عناصر، از سایر عناصر بررسی شده در نظر گرفت.

## ۶-۲-۶- فاکتور غنی شدگی

فاکتور غنی شدگی عناصر در تمام نمونه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه، تعیین شده و مورد بررسی قرار گرفته است. کادمیوم با میانگین غنی شدگی ۲/۲۵ و آرسنیک با میانگین غنی شدگی ۱/۰۵، بیشترین غنی شدگی‌های عناصر را نشان دادند. سایر عناصر مقادیر غنی شدگی کمتر از ۱ ( $0 < EF < 1$ ) را نشان می‌دهند.

به طور کل مقادیر فاکتور غنی شدگی نشان می‌دهد عناصر دارای غنی شدگی اندک تا عدم غنی شدگی بوده و غنی شدگی کمتر از ۱۰ را نشان می‌دهند که دارای منشأ طبیعی می‌باشند.

## ۶-۲-۷- شاخص زمین انباشت

شاخص زمین انباشت از دیگر پارامترهای بررسی شده در این تحقیق می‌باشد که معمولاً جهت تعیین میزان آلودگی رسوبات مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

تقریباً تمامی عناصر دارای میانگین زمین انباشت منفی ( $I_{geo} < 0$ ) بوده که بیانگر عدم آلودگی رسوبات به این عناصر می‌باشد. البته آرسنیک و کادمیوم با دارا بودن انباشت زمینی ۰/۱۳ و ۱/۰۷، به ترتیب بدون آلودگی تا آلودگی اندک و آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. تمرکز بالای این عناصر در رسوبات شیلی و ذغالی سازند شمشک را می‌توان دلیلی بر نشان دادن چنین آلودگی‌هایی ذکر نمود.

## ۶-۲-۸- فاکتور آلودگی

جهت بررسی میزان آلودگی رسوبات حوضه، از فاکتور دیگری تحت عنوان فاکتور آلودگی نیز استفاده گردید. براساس این فاکتور، تمامی عناصر حوضه که دارای  $CF < 1$  می‌باشند، مقادیر آلودگی اندک تا بدون آلودگی را نشان می‌دهند.

## ۶-۲-۹- درجه آلودگی

همزمان با فاکتور آلودگی، درجه آلودگی رسوبات نیز تعیین گردید. از آنجایی که در تمامی نمونه‌های برداشت شده از منطقه، این فاکتور عددی بین ۰ تا ۶ را نشان داده و رسوباتی که دارای درجه آلودگی  $۰ < Cd < ۶$  باشند، آلودگی اندک را نشان می‌دهند. می‌توان بیان نمود، کل حوضه فاقد آلودگی قابل توجه بوده و غلظت‌های عناصر مشاهده شده در آن به اراضی طبیعی و واحدهای زمین شناسی مرتبط می‌باشد.

## ۳-۶- پیشنهادات

هر چند در این رساله، مطالعات جامع و گسترده صحرائی، آزمایشگاهی و دفتری جهت تعیین ویژگی-های کیفی رسوبات حوضه آبخیز نوررود انجام شده و پارامترهای مختلفی مورد بحث قرار گرفته‌اند، از آنجایی که تمرکز مطالعات این تحقیق بر پایه مطالعه رسوبات آبراهه‌ای برداشت شده از بخش‌های مختلف زیرحوضه‌ها و رودخانه نوررود استوار بوده است، جهت تعیین دقیق میزان آلودگی یا منشأ غلظت‌های آنومالی محدوده (به ویژه غلظت‌های بالای As و Cd) و بررسی روند تغییرات زمانی آلودگی‌ها، مطالعات تکمیلی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- انجام نمونه برداری سیستماتیک از تمامی واحدهای سنگی و خاک‌های تشکیل شده در حوضه نوررود
- نمونه برداری از انواع رسوبات دشت سیلابی تا بستر کانال (از چند محل مختلف)
- نمونه برداری پروفیلی از عمق‌های مختلف رسوبات رودخانه
- نمونه برداری از تمامی زیرحوضه‌های ورودی به رودخانه نوررود
- انجام آنالیز استخراج ترتیبی بر روی رسوبات رودخانه‌ای
- تعیین دقیق منابع تأمین‌کننده عناصر با استفاده از آنالیز ایزوتوپی
- آنالیز شیمیایی کانی‌های سنگین موجود در رسوبات جهت ارتباط نوع و غلظت عناصر با آنها
- انجام آنالیز آب رودخانه‌ها جهت بررسی ارتباط بین غلظت عناصر آب و رسوب در محیط رودخانه با محیط اطراف

## منابع

### منابع فارسی

- آقناباتی، س.ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقناباتی، س.ع.، (۱۳۷۷)، "چینه شناسی ژوراسیک ایران - ۱"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقناباتی، س.ع.، (۱۳۷۷)، "چینه شناسی ژوراسیک ایران - ۲"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اداره کل آمار و اطلاعات؛ معاونت برنامه ریزی استانداری مازندران، (۱۳۸۵)، سالنامه آماری استان مازندران.
- افشین، ی.، (۱۳۷۳)، "رودخانه های ایران"، جلد ۲، انتشارات وزارت نیرو - شرکت مهندسی مشاور جاماب.
- امینی، ص.، بلوریان، غ.، (۱۳۸۴)، "توربیدایت های غنی از خاکستر آتشفشانی و بادزن های زیردریای در سازند کرج"، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم زمین، سال دوازدهم، شماره ۵۵.
- انصاری جعفری، م.، علوی قره باغ، ا.، (۱۳۸۶)، "مطالعه و بررسی کانی های سنگین بخش تخریبی جیروود در منطقه دهملا"، مجموعه مقالات یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- اوستان، ش.، (۱۳۸۳)، ترجمه، "شیمی خاک (با نگرش زیست محیطی)"، انتشارات دانشگاه شیراز.
- اهری پور، ر.، مصدق، ح.، (۱۳۸۵)، "مبانی رسوب شناسی"، سازمان آموزشی و انتشارات فرهیختگان علوی.
- بابایی، ه.، خداپرست، س.ح.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی آلودگی (Cu و Cd, Cr, Zn, Fe, Pb) در رسوبات دریای خزر نسبت به سواحل استان گیلان"، ششمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
- بهمنی، ا.، گلابی، م.، برومند نسب، س.و. ۱۳۸۷. "مروری بر وضع موجود تخلیه پساب کشاورزی و شهری به رودخانه کارون و ارائه راهکارهای مدیریتی" دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.

پور رحیم، ز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۸، "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات شمال شرقی تنگه هرمز(بنادر سیریک و جاسک) و بررسی منشأ احتمالی آنها"، گروه زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

حسنی پاک، ا.، (۱۳۸۲)، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران.

حیدریان، ل.، یآوری، ف.، دزفولی نژاد، س.، شریفی، م.، (۱۳۸۸)، "آلودگی فلزات سنگین در رودخانه قره‌سو"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی محیط زیست، تهران.

خراط صادقی، م.، کرباسی، ع.، (۱۳۸۵)، "بررسی غلظت و منشأ عناصر سنگین در رسوبات بستر رودخانه شیررود"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره ۳.

درویش زاده، ع.، (۱۳۸۰)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر.

دهرآزما، ب.، مقدمیان محیط، ع.، حق پور، ن.، رحیمی، م.، ۱۳۸۷. "ارزیابی تأثیر پساب کشاورزی مزارع نیشکر هفت تپه بر کیفیت آب رودخانه کارون". دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز.

رجب زاده، م.، سعیدی، م.، (۱۳۸۷)، "نقش رسوبات و مواد معلق رودخانه ای در جذب فلزات مس، روی و کادمیوم در مقیاس آزمایشگاهی - مطالعه موردی: رودخانه جاجرود"، چهارمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

رحیمی، ب.، (۱۳۸۱)، رساله دکتری، "مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

رحیمی، م.، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در منابع آب و خاک در اثر معدنکاری ذغال در مجموعه معدنی طزره (مجموعه تونل مادر)"، گروه زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رمضان خانی، ر.، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه بر روی الگوی آلودگی فلزات سنگین شاخص در رودخانه کرج"، گروه آلودگی و حفاظت محیط زیست دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.

سعیدی، م.، (۱۳۸۲)، رسالهٔ دکتری، "غلظت، سرنوشت و اثر مکانیزم های جذب، دفع و لخته سازی عناصر سنگین در فاز محلول و غیرمحلول رودخانهٔ تجن"، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران.

ادارهٔ آب منطقه ای استان مازندران، (۱۳۸۸)، آرشیو آمار آب منطقه ای استان مازندران.

سازمان صنایع و معادن استان مازندران ۱۳۸۹ آرشیو آمار و اطلاعات .

سازمان هواشناسی استان مازندران، (۱۳۸۸)، آرشیو گزارشات آماری سالانه ایستگاه های هواشناسی.

سالنامه آماری استان مازندران، ۱۳۸۵. اداره کل آمار و اطلاعات، معاونت برنامه ریزی استانداری مازندران.

شایسته فر، م.ر.، رضائی، ع.، (۱۳۸۸)، "ارائه راهکار در کاهش آلودگی زیست محیطی سد رسوب گیر معدن مس سرچشمه با استفاده از داده های ژئوشیمیایی"، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شهرابی، م.، (۱۳۷۸)، "تریاس در ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

علیزاده کتک لاهیجانی، ح.، کامرانپوری، ع.، امینی، ع.، (۱۳۸۴)، "آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دلتای سفیدرود"، مجلهٔ علوم دریایی ایران، دورهٔ چهارم، شمارهٔ ۳ و ۴.

فرقانی، گ.، (۱۳۸۸) رسالهٔ دکتری، "زمین شیمی زیست محیطی و منشاء عناصر سنگین در دریاچه مهارلو، جنوب شرق شیراز" دانشگاه شیراز

قلی زاده، ک.، رحمانی، ح.، عبدالرضائی، ر.، کلاهدانی، س.، (۱۳۸۷)، "بررسی اثرات زیست محیطی عناصر سنگین در مناطق آلتراسیون و مینرالیزهٔ جنوب نور (مازندران)"، مجموعه مقالات چهارمین همایش زمین شناسی و محیط زیست،

قمی اوپلی، ج.، (۱۳۸۴)، "رخساره های میکروسکوپی و محیط رسوبی نهشته های کربناته سازند نسن در بخش شمالی البرز مرکزی"، فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم زمین، سال پانزدهم، شمارهٔ ۵۸.

کرباسی، ع.، بیاتی، آ.، نبی بیدهدی، غ.، (۱۳۸۴)، "بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه سفارود" مجلهٔ محیط شناسی، شمارهٔ ۳۹

کرباسی، ع.، بیاتی، آ.، (۱۳۸۶)، "ژئوشیمی زیست محیطی"، مؤسسهٔ انتشاراتی کاوش قلم.

کرباسی، ع.، باغونه، ا.، معینی، م.، (۱۳۸۷)، "برآورد سهم طبیعی و انسان ساخت عناصر سنگین در رسوبات رودخانهٔ جاجرود"، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، زاهدان.



- کرباسی، ع.، حاجی زاده ذاکر، ن.، باغونه، ا.، بیات، م.ر.، (۱۳۸۸)، "غلظت و منشأ عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شهرچای ارومیه"، سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره وری.
- کریم پور، م.ح.، سعادت، س.، (۱۳۸۱)، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- کوثری، س.، ناوی، م.، (۱۳۸۶)، "بررسی منشأ و میزان تمرکز آلاینده های فلزات سنگین در رودخانه های تمبی و بهلول، برگه ۱:۲۵۰۰۰ راهدار"، اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی.
- محمدی، ع.، لک، ر.، (۱۳۸۸)، "بررسی منشأ آلودگی های زیست محیطی در فلات قاره دریای عمان (منطقه طاهروئی) براساس مطالعات رسوب شناسی"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
- مدبری، س.، موسوی حرمی، ر.، علیزاده، ع.، محبوبی، ا.، (۱۳۸۷)، "مطالعه عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه زاینده رود"، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب - اهواز.
- مر، ف.، شرفی، ع.ا.، (۱۳۸۳)، ترجمه، "اصول ژئوشیمی"، انتشارات دانشگاه شیراز.
- مر، ف.، زائری، خ.، (۱۳۸۲)، ترجمه، "عناصر زمین"، انتشارات دانشگاه شیراز.
- معاونت آبخیزداری استان مازندران، (۱۳۷۵)، "مطالعات شناسائی توجیهی حوضه آبخیز (نورود)".
- معماریان، ح.، ۱۳۸۷. "زمین شناسی ساختاری". انتشارات دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات و چاپ.
- موسوی حرمی، ر.، (۱۳۸۰)، "رسوب شناسی"، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ناوی، پ.، اسماعیل پور، ر.، یزدی، م.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی آثار استخراج معادن ذغال سنگ بر محیط زیست با نگاه ویژه به معادن لاریج در البرز مرکزی"، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل. بلده. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی. تلفیق: وحدتی، ف. ۱۳۷۸.
- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل. بلده. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی. تلفیق: وحدتی، ف. ۱۳۸۷.
- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بلده. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، تلفیق: سعیدی، ا.، قاسمی، م.ح.

Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005, "**Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naplescity Pora**", Chemosphere 61: 800-809.

Akcay, H oguz,A., Karaoire, C.,2003. "**Study of heavy mrtal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz River sediments**". Water research 37. PP. 813-822.

Alloway, B.J., 1995, "**Soil Pollution and Land Contamination in Pollution: Causes, Effects and Control**". ed. R. M. Harrison. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, p. 318.

Alloway, B.J., 1995, "**Soil processes and the behavior of heavy metals, in, heavy metal in soila**", second Edition (B.J. Alloway. Ed.) Blackie, New York. Page 11-37.

Aprile, F.M., Bouvy, M., 2008, "**Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacura river basin, northeastern Brazil**", Braz. J. Aquat. Sci. Technol, 12(1):1-8.

Bird, G., Brewer, P.A., Macklin, M.G., Serban, M., Balteanu, D., Driga, B., 2005, "**Heavy metal contamination in the Aries River catchment, Western Romania. Implication for development of the Rosia Montana gold deposit**", H.Geochem Explor., Vol. 86, pp. 26-48.

Charkhabi, A, H., Sakizadeh, M., Bayat, R., 2008. "**Land use effects on heavy metal pollution of river sediments in Guilan, southwest of the Caspian sea**". Caspian J. Env. Sci., Vol. 6 No.2 pp. 133~140.

Chen-Tung,X, G., Chen, A., Wang, G., Xue,X., Cheng ,T., Chen, S.,2010. "**Environmental status of Daya Bay surface sediments inferred from a sequential extraction technique Estuarine, Coastal and Shelf**" Science 86, 369–378.

Davis, A., Kempton, J.H., Nichilson, A., Yare, B. 1994. "**Groundwater Transport Of Arsenic and Choromium at a historical tanny, Woburn Massachusetts, U.S.A**". Appl. Geochem., 9,569-582.

Desya, J.C., M. Amyota, B., 2002, "**Relating cadmium concentration in three macrophyte-associated freshwater invertabrates to those in macrophtes, water and sediments**", J. Environ. Pollut., 120:759-769.

Dojlido, J.R., Best, G.A., 1993, "**Chemistry of Water and Water Pollution**", Horwood, Ellis,.

Eskanzny, G.M., Stefanoa, Y.S., 2007, "**Trace element in the Goze Delchev coal deposit, Bulgaria**", International journal of coal geology 72, 257-267.

El Yaouti, F., A. El Mandour, D., Khattach, J., Benavente, O., Kaufmann, O., 2009, "**Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study**", Applied Geochemistry, 24: 16-31.

Fadoua H.A., Azaza, R., Bouhlila, M., Moncef, G., "**Geochemistry of Fluoride and Major Ion in the Groundwater Samples of Triassic Aquifer (South Eastern Tunisia), Through Multivariate and Hydrochemical Techniques**". Journal of Applied Sciences Research, 5(11): 1941-1951

Farkas, A., Erratico, C., Vigano, L., 2007, "**Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of river Po**", Chemosphere, Vol 68, N 4, 761- 768 P.

Filgueiras, A.V., Lavilla, G., Bendicho, G., 2004, "**Evaluation of distribution, mobilizing and binding behavior of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia Spain) using chemometric analysis: a case study**". Science of the Total Environment 330. pp. 115-129.

Finkelman, R.B., Orem, W., Castranova, V., Tatu, C.A., Belkin, H.E., Zheng, B., Lerch, H.E., Maharaj, S.V., Bates, A.L., 2002. "**Health impacts of coal use: possible solution**". International of coal geology 50, 425-443.

Fyfe, W.S., 1998, "**The Past is not the key to the Future challenges for Environmental Geology**", Environ. Geol, 33, 92-95.

Goorzadi, M., Vahabzadeh, Gh., Ghanbarpour, M.R., Karbassi, A.R., 2009, "**Assessment of heavy metal pollution in Tilehbon River sediments Iran**", Journal of Applied sciences, (6): 1190-1193.

Gummow, B., Bastianello, S. S., Botha, C.J. Smith, H.J.C., Basson, A. T., Wells, B. 1994. "**Vanadium air pollution: A cause of Malabsorption and immunosuppression in cattle**". Onderstepoort J. Vet. Res., 61, 303-316.

Habes, G., Nigem, Y., 2006. "**Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan**". Chemosphere 65, 2114-2121.

Han, Y.M., Du, P.X., Cao, J.J., Posmentier, E.S., 2006. "**Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China**". The Science of the Total Environment 355, 176-186.

Holger, L., Frohlich, L., Hans-Georg, F., Johan, A., Huisman, B., Kellie, B., (2008). "**Water source characterization through spatiotemporal patterns of major, minor and trace element stream concentrations in a complex, mesoscale German catchment**". Hydrological Processes, Hydrol. Process. 22, 2028-2043

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001. "**Trace Elements in Soils and Plants**", 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.

Kumru, M.N., Bakac, M., 2003, "**R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydin basin, turkey**", Journal of Geochemical Exploration, No.77, pp. 81-91.

- Kunware,P., Singh, J., Amrita Malik., Sarita Sinha, P., Vindo, K.,2005 "**Estimatoin of source of heavy metal contamination in sediments of Gomti River (India) using principal component analysiis**". Water, Air, and Soil Pollution 166: 321–341
- Kuo-Ming, H., Saulwood, L.,2003. "**Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan**" hemosphere 53 (2003) 1113–1121.
- LanWang,L., Wang, Y., Xu, C., An, Z., Wang, S., 2010. "**Analysis and evaluation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang**". Environ Monit Assess. DOI 10.1007/s10661-010-1388-5
- Lin, J., G., Chen, S., Y., 1998, "**The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments**", Environment International, 24, 345-352.
- Luoping Zhang, X, Y., Huan Feng, Y, J., Tong Ouyang, X, Y.,Rongyuan Liang, C, G., Weiqi,C., 2007. "**Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China**" Marine Pollution Bulletin 54, 974–982
- Mc Bride, M.B., 1994. "**Environmental Chemistry of Soils**". Oxford University Press, Inc, New York.
- Mc Lennan, S.M., S.R. Taylor, C.P. Marshall ,R.W.,1999. "**Earth's continental crust. In Fairbridge,(Eds) Encyclopedia of Geochemistry**". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 145-151.
- Muller, G., 1994, "**Index of geo accumulation in sediments of the Rhine River**", Geol J,2, 109-118.
- Mc Lennan, S.M., Murray,R.W.1999. "**Geochemistry of sediments, in: C.P. Marshall, R.W. Fairbridge (Eds.)** ", Encycl. Geochemistry, Kluwer Academic Publishers, 1999, pp. 282–292.
- Murray, K.S., 1996, "**Statistical comparisons of heavy-metal concentrations in river sediments**" Environmental Geology, 27:54 58 \_9 Springer-Verlag 1996.
- Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C., Chambers, B., 2003, "**An Inventory of heavy metal inputs to Agricultural soils and wales**". Sci. Total Environ., 311, 205-219.
- Nolting, R.F., Ramkema, A., Everaats, J.m. 1999. "**The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in sedimend cores from the continental slope of the Bencd'Arguin (Mauritania)** ". Cont. Shelf Res., Vol.19,pp.665-691.
- Olivers-Rieumont, S., Rosa, D.D.L, Lima, L. Graham, D.W., Alessandro, K. D, Borroto, J., Martinez, F., Sanchez, J. 2005. "**Assessment of heavy metal levels in Almenda red River sediments-Havana city, cuba**". Water Res., Vol. 39,PP.3945-3953.
- Reimann, C.,Caritat, P. 1998. "**Chemical elements in the environment: fact sheets for the geochemist and environmental scientictist**". Springer-Verlag, Berlin p. 398.
- Reimann, C., Melezhik, V. 2001. "**Metallogenic provinces, geochemical provinces and regional geology geochemical maps of the C-horizon of Podzols in Arctic Europe**". App1. Geochem., 16, 963-983.
- Rufo, L., Rodriguez, N., Amils, R., Dela Funte, Y., Jimenez-balesta, R. 2007., "**Surface geochemistry of soils associated to the Tinto River (Huelva, Spain)**". Science of the Total Environment 378.PP-227.
- Rey, R, D., Fierros, F, D., Barral, M, T. 2009. "**Normalization stratesges for river bed sediments: A graphical approach**". Micro chemical jornal, 91, 253-263.
- Saeedi, M., Daneshvar, Sh., Karbassi, A., 2004, "**Role of riverine sediment and particulate matter in adsorption of heavy metals**", International Journal of Environmental Science & Technology, 1(2).

Selvaraj, K., Ram Mohan, V., Szefer, P., 2004. **"Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches"**. Marine Pollution Bulletin 49, 174–185.

Seshan, B.R.R., Natesan, U., Deepthi, K., 2010 **"Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India"**. Int. J. Environ. Sci. Tech, 7(2), 291-306.

Singh, K.P., Mohan, D., Sing, V.K., Malik, A., 2005, **"Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti River sediment-tributary of the Ganges, India"**, J. Hydrol., Vol. 312, pp. 14-27.

Siegel, F. R., Slaboda, M. L., Stanley, D. J. 1994. **"Metal pollution loading, Manzalah Lagoon. Nile Delta, Egypt: Implications for aquaculture"**. Environmental Geology, 23, 89–98.

Sun, L., Chen, S., Chao, L., Sun, T., 2007, **"Effects of flooding on changes in Eh, pH and speciation of Cadmium and lead in contaminant soil"**. Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 79, pp. 514-518.

Sutherland, R.A. 2000 **"Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii"**. Environ Geol ;39:611– 27.

Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995, **"The geochemical evolution of the continental crust"**, Reviews in Geophysics 33, 241–265.

Theodore, B., Hoekman, 2003, **"the heightened concern for reduction of environmental pollution that has been occurring over the past"**, Am. J. public Health, 20 -25.

Victor, A., Asaah, F., Akinlolu, F., Abimbola, E., 2006 **"Heavy metal concentrations and distribution in surface soils of the Bassa industrial zone 1, Douala, Cameroon"** The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 31, Number 2.

Wang, L., Wang, Y., Chunxue, X., Ziyi, An., Wang, S., 2010 **"Analysis and valuation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang"**. Environ Monit Assess. DOI 10.1007/s10661-010-1388-5.

Webster, R., 1999. **"Sampling, Estimating and Understanding Soil Pollution. Ed. Gómez-Hernández"**. GeoEnvII 98 - Geostatistics for Environmental Applications. Quantitative Geology and Geostatistics. Kluwer Academic Publishers. 25 – 37.

Wedepohl, K.H., 1972. **" Handbook of Geochemistry"**, vol. II-3. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Weiguo, Z., Huan, F., Jinna, C., Jianguo, Q., Hongxia, X., Lizhong, Y., 2009. **"Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes"**. Environmental Pollution 157 , 1533–1543.

Xuelu Gao A.B., Chen-Tung ,A., Chen,C., Gang Wang, A., Qinzhaoh, X,A, Cheng Tang,A., Shaoyong, C., 2010. **"Environmental status of Daya Bay surface sediments inferred from a sequential extraction technique Estuarine"**. Coastal and Shelf Science 86, 369–378

Yaouti, F., Mandour, D., Khattach, J., Benavente, O., 2009. **"Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study"**. Applied Geochemistry, 24: 16-31.

Ying hong, F., Chunye, L., Mengchang, H., Zhifeng, Y., 2009., **"Enrichment and Chemical Fraction of Copper and Zinc in the Sediments of the Daliao River System, China"**. Soil and Sediment Contamination, 18:688–701.

Yiwei, C., Guijian, L., Yanming, G., Jiannli, Y., Cuicui, Q., Lianfei, G., 2007. **"Release and enrichment of 44 elements during coal pyrolysis of Yima coal China"**. Journal analytical applied pyrolysis. Article in press.

Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E.S. 2006. **"Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China"**. Sci. Total Environ., Vol. 355, pp. 176-186.

Yu K. C., Tsal L. J., Chen S. H., Ho S. T., 2001, **"Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments"**, Water Research, 35 (17): 4086-4096.

Zielinski, R. A., Smmons, K. R., Orem, W. H. 2000. **"Use of <sup>234</sup>U and <sup>238</sup>U isotopes to identify fertilizer-derived Uranium in the florida Everglades"**. App1. Geochem., 15,369-383.

Zhang ,W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie,H., Yu,L.,2009., **"Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes"**. Environmental Pollution 157,1533–1543.

Zhang, J.K., Ren, D.Y., Zeng, C.G., Zeng, R.S., Chou, C., Liu, J., 2002, **"Trace element abundances in major mineral of late Permian coals from southwestern Guizhou Province, China"**, International journal of coal Geology 53, 55-64.

Zhao, F., Cong, Z., Sun, H., Ren, D., 2007, **"The geochemistry of rare earth elements (REE) in acid mine drainage from the sitai coal mine, Skanxi Province, North China"**, International journal of coal geology 70, 184-192.

Zhou, X., D., Kot, S., C., 1995, **"Heavy metals ion adsorption on sediments of the Weiho and Hanjiang rivers, China J"**, Environmental Hydrology,. 3(2), 280-289.  
WWW.Gitashenasi.ir

## Abstract

In this study, the concentration of heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn) in sediments of Noorrud latrine basin and determination of their probable source have been surveyed according to the kind of geological formation of the studied area. Latrine basin of Noorrud with the extent of 130025 hectare has directed to south of Noor and southwest of Amol .

In this thesis after studying the researches previously done about the surveyed topic in Iran and the rest of the world using maps, reports, field observations, studying thin sections and determination of heavy minerals of sediments, the geological traits of the studied area has been surveyed.

To study the relation between heavy metals and geological units in the region, in addition to chemical analysis of sediments by ICP-MS technique, samples were tested by the experiments like granulometry, pH determination, and determination of organic matter percentage, too.

Geochemical factors which had studied in this research are Coefficient of Correlation, Enrichment Factor (EF), Geo Accumulation Index, Contamination Factor(CF) and Contamination Degree ( $C_d$ ), Cluster Analysis (CA), and Principal Component Analysis (PCA).

The sediment granulometry of this basin revealed that sand was formed the most part of the sediments and following that gravel and clay (fine grained ingredients) were formed , respectively. Organic matters of sediments were in the range between 2.6% (sample B5) to 11.4% (sample n3), while pH of all of the samples which are alkaline, reveal just 75% change.

Sample analysis revealed that As, Cd, Co, Mn, Pb, V, Zn, with concentration of 13.32(ppm), 0.61(ppm), 15.38(ppm), 782.6(ppm), 22.94(ppm), 107(ppm), 121(ppm) respectively, show some amounts more than global average sediment. Cadmium and arsenic with 3.58 and 1.7 times show the most increases .Enrichment Factor of elements revealed all the elements except cadmium ( $EF=2.25$ ) have the enrichment from low to no enrichment. Geo accumulation index for all of elements except cadmium ( $I_{geo}=1.07$ ) and arsenic ( $I_{geo}=0.17$ ) hve the negative amounts which means they are without contamination. Contamination factor of elements and contamination degree of sediments by having the average amounts as  $0 < C_f < 1$  and  $C_d < 6$  reveal low-contamination to no-contamination.

According to the results of this project all the surveyed elements concentrations ascribed to the topology and geological units of the region. Observed abundances in As and  $C_d$  was related to the ability of shale and sandstone sediments of shemshak formation in primary accumulation of this materials.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Earth Science**

**Thesis M. Sc.**

**Assessment of the concentration and origin of heavy metal  
the with special reference to local formation in bed load  
Haraz river**

**Reza Naeimi**

Supervisor

**Dr. F. Fardoost**

Advisor

**Dr. H. Ghorbani**

September 2010