

بررسی آلودگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه با استفاده از شاخص های زمین انباشتگی ، ضریب آلودگی و تحلیل مؤلفه اصلی (مطالعه موردی : جاجرود محدوده شهرستان پردیس)

علیرضا نیکنام بجنیدی^۱، فرحناز کریم زاده^{۲*} و معصومه سهرابی ملایوسفی^۳

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی محیط زیست دانشگاه آزاداسلامی واحد اسلامشهر. Ab_tehran@thrw.ir

۲-استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاداسلامی واحد اسلامشهر

۳-دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاداسلامی واحد اسلامشهر

چکیده

مهمترین رودخانه شهرستان پردیس در شرق تهران جاجرود است. در این تحقیق تعداد ۱۶ نمونه از رسوبات کف این رودخانه که در اوایل تیرماه ۱۳۹۷ برداشت گردید، مطالعه شده است. نمونه های مزبور برای تعیین غلظت فلزات سنگین Mn و As ، Hg ، Co ، Cu ، Pb ، Zn ، Cd ، Cr ، Fe به روش ICP مورد آنالیز قرار گرفتند. رسوبات رودخانه جاجرود به عناصر روی، سرب، و در برخی ایستگاهها به مس، منگنز و کادمیوم آلوده شده اند. منبع احتمالی عناصر مس، سرب تخلیه نخاله های راهسازی و نخاله های ساختمانی و فعالیتهای انسانی اعم از باغداری، مسکونی و صنایع در اطراف رودخانه جاجرود است. افزایش غلظت منگنز در ایستگاه سنجریان، نشاندهنده فعالیتهای دامداری، زمین کشاورزی و مناطق مسکونی در نزدیکی بستر رودخانه است. نتیجه گیری مؤلفه اصلی با نتایج حاصل از آنالیز خوشه ای نیز همخوانی دارد و براساس آنالیزهای آماری انجام گرفته می توان گفت که آهن و کبالت و کروم و روی منبع یکسانی دارند (زمین زاد). این مطلب در مورد کادمیوم و آرسنیک وجود منبع مشترک (انسان زاد) و در مورد سرب نیز یک منبع (انسان زاد) مجزا را بیان می دارد.

واژگان کلیدی: عناصر آلوده کننده، رسوب، رودخانه جاجرود، محدوده پردیس، فلزات سنگین.

مقدمه

های کشاورزی و صنعتی باشند. تجمع عناصر آلاینده فلزی در این رسوبات منجر به آلودگی آب خواهد شد، چرا که تحت شرایط خاص فیزیکی و شیمیایی مواد آلوده دفن شده در این رسوبات آزاد گشته و وارد فاز محلول می شوند. آلودگی ها از طریق جذب به واسطه تنفس، غذا، آب آشامیدنی و ... می توانند سلامتی موجودات زنده را به خطر اندازند. با توجه به موقعیت رودخانه جاجرود در منطقه مورد مطالعه و عبور از بین مناطق با کاربری های مختلف و نیز گسترش روزافزون شهر پردیس و تراکم بافت شهری و جمعیت انسانی موجود در آن، بررسی معضل آلودگی این

حوضه آبریز رودخانه جاجرود که از منابع مهم تامین کننده بخشی از آب شرب شهر تهران می باشد از کوه های کلون ستک در شمال روستای دربند سرچشمه می گیرد و در دریاچه سد لتیان تخلیه می شود و سپس از میان بخش جاجرود در شهرستان پردیس عبور کرده و پس از جاری شدن در این محدوده (شامل مناطق صنعتی و کشاورزی و بافت روستایی) در شرق تهران به دریاچه سد ماملو سرازیر می شود و در نهایت به دریاچه نمک منتهی میگردد. رسوبات رودخانه ها می توانند محل مناسبی جهت ذخیره سازی مواد آلوده کننده حاصل از تخلیه فاضلاب های شهری و فعالیت

رودخانه ضروری است و اهمیت ویژه ای می یابد، مخصوصاً آب این رودخانه در بخش هایی از بین باغاتی عبور می کند که محصولات باغداری و صیفی کاری آن اغلب در بازارهای محلی عرضه می شود و چنانچه وجود آلودگی در آب و خاک این نواحی مورد تایید قرار گیرد، مسلماً محصولات فوق در خطر آلودگی قرار دارند. در خصوص موضوع آلودگی های زیست محیطی در منطقه و رودخانه های محدوده پردیس و سایر نقاط کشور پیش از این تحقیقات زیادی صورت گرفته است از آن جمله: ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص های آلودگی رسوب، مغزی (۱۳۹۰) و بررسی آلودگی عناصر بالقوه سمی در مخزن سد لتیان با نگرش به نقش رسوبات در کنترل آلاینده ها، سرهنگی (۱۳۹۱).

مواد و روش ها

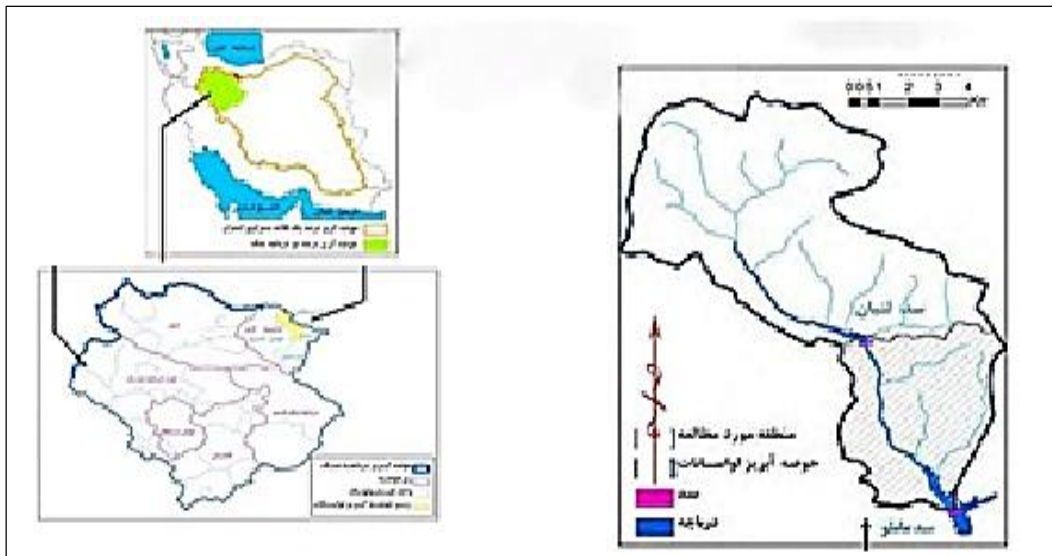
موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان پردیس در شرق تهران، بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی، در دامنه های جنوبی البرز مرکزی، بین ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۹۸۰ متر از سطح دریای آزاد در حد فاصل بخش جاجرود و بخش بومهن، بر سر راه تهران - آمل واقع شده است. جاده مذکور از وسط محدوده شهرستان پردیس عبور کرده و آن را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم می کند. قسمت جنوبی این شهرستان عمدتاً از طریق ساخت و سازهای گوناگون صنعتی و خدماتی اشغال شده و قسمت شمالی آن به ساخت و سازهای مسکونی و اداری اختصاص یافته است. پردیس از شمال به رشته کوه های البرز، از غرب به منطقه جاجرود، از جنوب به روستاهای کرشت، سیاه سنگ و طاهر آباد و از شرق به بومهن محدود می گردد. شهرستان پردیس

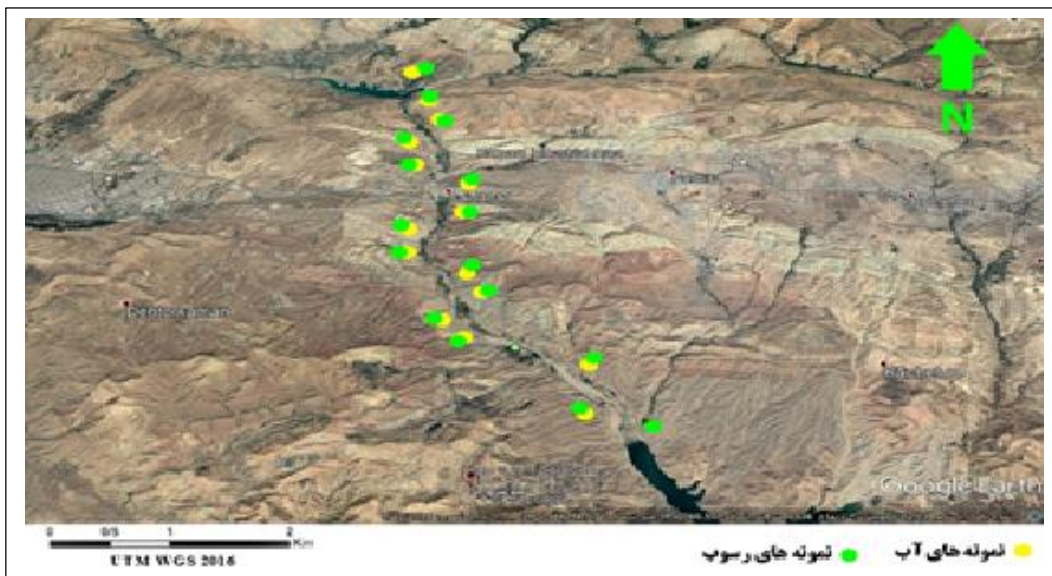
با وسعتی معادل یک هزار و ۳۷۸ کیلومتر مربع یکی از شهرستان های استان تهران بوده و با شهرستان های دماوند، شمیرانات، پاکدشت و تهران دارای مرز مشترک است. این شهرستان دارای بخش های جاجرود، بومهن و دو شهر پردیس و بومهن با تعداد ۵۵ روستا می باشد. جمعیت شهرستان پردیس حدود ۲۰۰ هزار نفر است که با توجه به پروژه های مسکن مهر پیش بینی می شود ظرف دو سال آینده به پانصد هزار نفر برسد. شهر پردیس دارای حدود ۳۶۰۰ هکتار وسعت می باشد و شامل ۹ فاز که ۶ فاز آن مسکونی و سه فاز دیگر تحقیقاتی، صنعتی و گردشگری است. رودخانه جاجرود که با ۱۷۲ کیلومتر طول دارای شبی برابر با ۰/۰۴ بوده و یک رودخانه گراولی ماسه ای بریده بریده محسوب می شود، از بین شهرستان فوق عبور می کند (ذوالفقاری ۱۳۸۴) به دلیل وجود گسل ها و شکستگی های متعدد ساختمان چینه شناسی منطقه بسیار پیچیده و درهم ریخته است به همین جهت آن دسته از رسوبات و سازندهایی که از گسترش و رخنمون قابل توجهی برخوردار بوده، بر وضعیت طبیعی شهر پردیس و پیرامون تاثیر گذار هستند. (مهندسین مشاور پی کده بهار ۹۵) سازندها و تشکیلات زمین شناسی در برگیرنده محدوده مورد مطالعه از قدیم به جدید عبارتند از: سازند لالون (E₁)، سازند شمشک، سازند دلیچای، سازند لار، سازند تیزکوه، رسوبات کرتاسه بالایی، سازند فجن، سازند زیارت، سازند کرج، سازند هزار دره، کواترنر Q₁, Q₂, Q_{al}، سازند قرمز و رسوبات آبرفتی کواترنری. طبق مطالعات اولیه و بازدید از منطقه و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و توزیع منابع آلوده کننده، تغییر جنس بستر رودخانه، شیب رودخانه، محل صنایع و خروجی فاضلاب ها و پساب های شهری و صنعتی، دسترسی و امکان نمونه برداری، نمونه برداری از رسوب رودخانه در ۱۶

دستگاه آون در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد خشک کرده و با دستگاه شیکر از الک ۲۰۰ (ریزترین) عبور داده شدند. توسط ترازو حدود ۲ گرم از هر نمونه در کیسه های پلی اتیلن ریخته و به آزمایشگاه منتقل شدند . این نمونه های رسوب نیاز به هضم ۴ مرحله ای داشت. (۳ / ۹۲ گرم $CC+ DTPA$ / ۲/۶۶ تری اتیلن آمین + ۲/۹۴ گرم کلرید کلسیم که توسط دستگاه ICP (Atomic Absorption) به روش کوره گرافیک ، در آزمایشگاه شرکت آب منطقه ای تهران برای قرائت فلزات سنگین موجود در نمونه ها استفاده شد).

ایستگاه صورت گرفت. موقعیت و نام ایستگاه ها در جدول (۱) آورده شده است. در هر ایستگاه به میزان ۱ کیلوگرم رسوب با استفاده از یک بیلچه پلاستیکی از حاشیه، وسط و بستر رودخانه (از عمق ۳۰-۲۰ سانتی متری کف کانال) جمع آوری و در کیسه های پلاستیکی پلی اتیلن قرار داده شدند. سپس توسط GPS مختصات منطقه اندازه گیری شد. همچنین در تمام ایستگاه های نمونه برداری عکس تهیه شد. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه آب منطقه ای تهران ، (به دلیل خیس بودن اغلب نمونه ها) ابتدا نمونه ها را در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیمات حوضه آبریز کشور زمستان (۱۳۹۳)



شکل ۲- عکس هوایی از نقاط نمونه برداری

جدول ۱- موقعیت و نام ایستگاه ، توصیف منطقه نمونه برداری ، در نمونه های رسوب رودخانه جاجرود

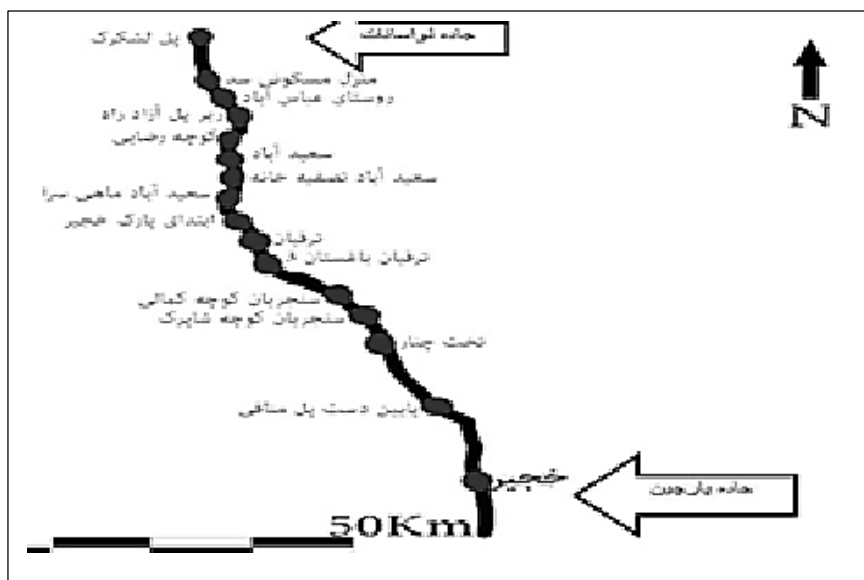
| شماره ایستگاه | نام ایستگاه | ارتفاع ایستگاه (M) | فاصله ایستگاه تا مبدا (KM) | مختصات جغرافیایی | توصیف منطقه نمونه برداری | عمق و مکان منطقه نمونه برداری |
|---------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|--|---|
| ۱ | پل لشگرک | ۱۶۴۳-۱۶۴۱ | ۰ | X: ۵۵۴۱۳۴ Y: ۳۹۶۳۳۱۳ | باغداری- آب جاری- منطقه مسکونی- محدوده نظامی و تفریحی | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۲ | منازل مسکونی سد لتیان | ۱۴۸۷-۱۴۷۲ | ۱۰/۴ | X: ۵۶۲۳۷۱ Y: ۳۹۵۸۶۶۰ | منطقه مسکونی باغات- آب در جریان- بستر نیمه سنگی | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۳ | روستای عباس آباد | ۱۴۸۳-۱۵۱۰ | ۱۰/۷۷ | X: ۵۶۲۶۴۹ Y: ۳۹۵۸۱۱۴ | روستای عباس آباد- آب جاری- باغ، کمی مسکونی | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۴ | زیر پل آزاد راه پردیس | ۱۴۶۷-۱۴۷۵ | ۱۱/۶ | X: ۳۶۲۹۳۰ Y: ۳۹۲۷۳۳۱ | آب در جریان - آشغال کم- نخاله های راه سازی | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۵ | کوچه رضایی | ۱۴۵۵-۱۴۵۰ | ۱۲/۵۵ | X: ۵۶۳۰۲۰ Y: ۳۹۵۶۶۰۶ | منطقه مسکونی - باغ ، کشاورزی - نخاله | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۶ | سعید آباد (پایین دست پل جاجرود) | ۱۴۴۳-۱۴۵۴ | ۱۳/۶۶ | X: ۵۶۲۷۳۱ Y: ۳۹۵۵۳۲۲ | باغداری، مسکونی، صنایع- آبها در جریان | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۷ | سعید آباد - تصفیه خانه | ۱۴۳۵-۱۳۹۳ | ۱۴/۵ | X: ۵۶۲۹۱۷ Y: ۳۹۵۶۵۲۳ | بالادست آن صنایع سعیدآباد | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۸ | سعید آباد- ماهی سرا | ۱۴۲۷-۱۴۳۱ | ۱۵/۲۴ | X: ۵۶۳۱۵۹ Y: ۳۹۵۳۸۳۰ | ماهی سرا، صنایع بالادست، سعیدآباد، باغداری ، زباله ها و فاضلابها- ورود فاضلاب ماهی سرا و فاضلاب صنایع سعیدآباد | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۹ | ابتدای پارک ملی خجیر | ۱۴۲۱-۱۶۱۶ | ۱۵/۸۵ | X: ۲۹۵۳۲۱۸ Y: ۵۶۳۲۴۷ | نیزارهای بلند آب در جریان - درختهای خودرو، باغ | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۱۰ | ترقیان - اردوگاه بسیج | ۱۴۰۷-۱۶۱۰ | ۱۶/۸۵ | X: ۵۶۳۰۶۲ Y: ۳۹۵۲۲۲۰ | منطقه نظامی، مسکونی، باغ، کشاورزی- آب در جریان، آشغال و نخاله قابل توجه | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۱۱ | ترقیان- باغستان ۳ | ۱۴۰۳-۱۳۹۶ | ۱۷/۲۷ | X: ۵۶۳۰۲۸ Y: ۳۹۵۱۷۲۰ | نخاله های ساختمانی در محل ، فضولات حیوانی- آب در جریان | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |
| ۱۲ | سنجریان- کوچه کمالی | ۱۳۷۹-۱۳۹۶ | ۱۹/۱۳ | X: ۵۶۳۶۵۸ Y: ۳۹۵۰۱۱۵ | آب در جریان ، در انتهای همین مقطع سکون آب رخ می دهد- ملکهای مسکونی، کشاورزی، باغداری | عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه |

بررسی آلودگی فلزات سنگین رسوبات رودخانه با استفاده از شاخص های زمین انباشتی ، ضریب آلودگی و...

| | | | | | | |
|---|---|------------------------|-------|-----------|-----------------------------------|----|
| عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه | ماندابی ، تعداد زیادی ملک، باغداری،کشاورزی | X: ۵۶۳۸۷۵ Y:۳۹۴۹۷۹۵ | ۱۹/۵۴ | ۱۳۷۷-۱۳۹۰ | سنجریان- کوچه شاپرک | ۱۳ |
| عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه | ماندابی آب، ماهی زیاد در آب کدورت متوسط -باغداری وسیع | X: ۵۶۳۹۷۳ Y:۳۹۴۸۶۶۴ | ۲۰/۶۷ | ۱۳۶۷-۱۳۷۱ | ایستگاه تخت چنار- هیدرومتری | ۱۴ |
| عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه | آب جریان دارد آب چشمه جهاد- منطقه کشاورزی ، باغداری، مسکونی (۱۰-۲۰) | X: ۵۶۶۴۴۲ Y:۳۹۴۶۸۷۳ | ۲۳/۸ | ۱۳۳۰-۱۳۴۶ | پایین دست منافی | ۱۵ |
| عمق ۲۰ سانتیمتر نمونه برداری از حاشیه ، وسط ویستر رودخانه | فاضلاب، خشکی بستر-منطقه کشاورزی، باغداری، وجود آشغال کف بستر | X: ۵۶۸۱۶۷ Y:۳۹۴۵۲۲۸ | ۲۶/۲ | ۱۳۰۸-۱۳۰۶ | انتهای جاده پارچین (خجیر) | ۱۶ |

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین در نمونه های رسوب برداشت شده از مسیر رودخانه جاجرود بر حسب ppm

| شماره ایستگاه | Zn | Cd | Co | Cu | Mn | Pb | Cr | As | Hg | Fe |
|------------------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|----|-------|
| ۱ | ۷۳/۱ | ۰/۹ | ۲۵/۶ | ۳۵/۴ | ۱۴۴۶ | ۷۱/۵ | ۴۵/۵ | ۵/۰ | - | ۳۱۰۱۵ |
| ۲ | ۹۶/۶ | ۱/۰ | ۲۶/۹ | ۳۷/۶ | ۱۱۰۴ | ۷۴/۴ | ۴۶/۶ | ۴/۷ | - | ۲۹۲۰۰ |
| ۳ | ۴۶۴/۱ | ۱/۱ | ۳۶/۶ | ۶۰/۸ | ۱۰۷۱ | ۸۵/۱ | ۶۸/۴ | ۵/۶ | - | ۵۵۵۰۰ |
| ۴ | ۹۴/۳ | ۰/۹ | ۳۶/۶ | ۳۹/۱ | ۱۰۷۸ | ۶۸/۴ | ۳۶/۳ | ۷/۶ | - | ۵۱۰۰۰ |
| ۵ | ۱۱۳/۹ | ۱/۰ | ۳۳/۱ | ۴۹/۴ | ۹۵۵ | ۷۶/۶ | ۳۸/۰ | ۷/۱ | - | ۴۴۵۰۰ |
| ۶ | ۱۴۳/۸ | ۰/۹ | ۳۲/۳ | ۶۰/۴ | ۶۴۹ | ۱۵۵/۹ | ۴۲/۴ | ۶/۸ | - | ۳۹۳۰۰ |
| ۷ | ۱۶۱/۴ | ۰/۹ | ۳۳/۱ | ۵۲/۴ | ۸۲۳ | ۶۸/۷ | ۴۹/۱ | ۷/۳ | - | ۴۳۰۰۰ |
| ۸ | ۸۷/۹ | ۱/۰ | ۳۴/۱ | ۴۱/۱ | ۶۰۶ | ۶۸/۸ | ۳۵/۷ | ۶/۱ | - | ۴۶۰۰۰ |
| ۹ | ۸۲/۶ | ۰/۹ | ۳۰/۵ | ۵۰/۹ | ۶۷۷ | ۸۴/۵ | ۵۱/۰ | ۱۱/۹ | - | ۳۴۰۰۰ |
| ۱۰ | ۹۷/۳ | ۱/۱ | ۲۴/۷ | ۷۳/۱ | ۶۳۹ | ۶۷/۱ | ۳۰/۶ | ۱۸/۹ | - | ۲۷۱۳۰ |
| ۱۱ | ۱۱۸/۲ | ۰/۹ | ۳۰/۴ | ۴۶/۶ | ۱۰۵۱ | ۷۲/۰ | ۳۲/۴ | ۲/۸ | - | ۳۴۰۰۰ |
| ۱۲ | ۱۲۳/۰ | ۱/۱ | ۲۸/۴ | ۵۶/۶ | ۱۳۳۶ | ۸۳/۹ | ۳۳/۹ | ۵/۸ | - | ۳۲۱۵۰ |
| ۱۳ | ۷۳/۱ | ۱/۸ | ۲۳/۶ | ۳۷/۰ | ۲۷۸۱ | ۶۸/۷ | ۲۸/۱ | ۷/۲ | - | ۲۶۵۰۰ |
| ۱۴ | ۱۳۰/۰ | ۱/۲ | ۳۱/۹ | ۶۴/۱ | ۱۱۶۵ | ۸۱/۴ | ۵۴/۷ | ۸/۶ | - | ۳۵۰۹۰ |
| ۱۵ | ۱۵۶/۹ | ۱/۰ | ۳۲/۲ | ۸۴/۳ | ۷۲۵ | ۹۵/۱ | ۴۷/۶ | ۵/۰ | - | ۳۸۲۵۰ |
| ۱۶ | ۱۲۰/۶ | ۰/۹ | ۳۰/۱ | ۴۵/۶ | ۱۳۹۲ | ۸۶/۰ | ۳۲/۱ | ۷/۸ | - | ۳۲۱۶۰ |



شکل ۳- راههای دسترسی به محدوده مورد مطالعه

در نظر گرفته نمی شود. با توجه به مقادیر به دست آمده از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های رسوب رودخانه جاجرود و با استفاده از فرمول زیر فاکتور غنی شدگی فلزات در هر نمونه به تفکیک محاسبه می شود:

$$EF = \frac{(C_x / C_{ref})_{sample}}{(C_x / C_{ref})_{background}}$$

در این فرمول، EF فاکتور غنی شدگی، Cx غلظت فلز اندازه گیری شده در نمونه های خاک و Cref غلظت فلز مرجع است. فلز مرجع اغلب عنصری است که در منطقه مورد مطالعه، تغییر پذیری و تحرک کمی داشته باشد. و در این پژوهش فلز Fe بعنوان مرجع در نظر گرفته شده است. (جدول ۲).

مقادیر فاکتور غنی شدگی به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

۱ EF < ۳ غنی شدگی وجود ندارد، EF < ۳ غنی شدگی کم، ۳-۵ EF غنی شدگی متوسط، ۵-۱۰ EF غنی شدگی متوسط تا شدید، ۱۰-۲۵ EF غنی شدگی شدید، ۲۵-۵۰ EF < غنی شدگی خیلی شدید و EF > ۵۰ غنی شدگی بی نهایت شدید.

برای مطالعه آلودگی رودخانه ها و تعیین میزان و درجه سمیت عناصر سنگین مختلف، لازم است تا از استانداردهای جهانی استفاده شود (جدول ۳). در هر یک از استانداردهای موجود، برای هر عنصر مقدار خاصی در نظر گرفته شده است و رسوبات هر منطقه بر پایه استاندارد انتخاب شده و بر مبنای درجه آلودگی جزء دسته های خاصی قرار می گیرند. در این میان استاندارد (جدول ۳) که در سال ۲۰۰۷ توسط (میلر) گردآوری و ارائه شده، یکی از کاملترین استانداردهایی است که میزان غلظت مجاز تمام عناصر مورد مطالعه در آب و رسوب و انواع سنگ ها را ارائه می دهد و برای مقایسه میزان آلودگی احتمالی در مورد هر عنصر در حوضه مورد مطالعه از آن استفاده می شود.

فاکتور غنی شدگی

فاکتور غنی شدگی برای هر عنصر شیمیایی در نمونه خاک یا رسوب عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه ای که نمونه مربوطه، متعلق به آن است. مقدار غلظت زمینه مقدار مشخصی از یک عنصر در خاک و رسوب بوده که به عنوان آلودگی در منطقه

میزان تاثیر عوامل انسانی از عوامل طبیعی در محیط خاک و رسوب استفاده می شود و از طریق معادله زیر محاسبه می شود: براساس شاخص زمین انباشتی مولر ، Cn (Igeo) غلظت اندازه گیری شده عنصر در نمونه و Bn غلظت زمینه است. در این معادله برای تصحیح اثرات مواد مادری خاک، نوسانات طبیعی و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیتهای انسانی از ضریب $1/5$ استفاده می شود. LU و همکارانش در (۲۰۰۹) مقادیر شاخص زمین انباشتی را مطابق جدول(۶) تفسیر کردند.

$$Igeo = \log_2 (Cn) / 1.5Bn$$

همانطور که از جدول (۴) مشاهده می شود غنی شدگی برای تمام عناصر در همه ایستگاهها وجود ندارد فقط عنصر روی در ایستگاه سوم دارای غنی شدگی کم است.

شاخص زمین انباشت

جهت تعیین شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین از شاخص زمین انباشتی (Igeo) استفاده گردید. این شاخص توسط (Muller , 1969) برای ارزیابی آلودگی خاک به وسیله مقایسه میزان فلزات سنگین در حال حاضر و پیش از صنعتی شدن معرفی شده است. این شاخص به منظور مشخص کردن درجه آلودگی و

جدول ۳- فراوانی عناصر سنگین و مقادیر مجاز آنها در پوسته زمین ، رسوبات و آب رودخانه (Miller 2007)

| عنصر | میانگین در پوسته زمین Mg/Kg | حد مجاز (در سنگ رسوبی ، شیل و خاک های آرژلیتی) Mg/Kg | حد مجاز در آب رودخانه g/L |
|------|--------------------------------|---|------------------------------|
| Ti | ۰/۴-۰/۵۷ | ۰/۶-۲/۷ | ۱۰ |
| V | ۵۳-۶۰ | ۸۰-۱۳۰ | ۰/۰۲-۵/۸ |
| Cr | ۱۲۶-۱۸۵ | ۸۰-۱۲۰ | ۰/۳-۲/۱ |
| Mo | ۱-۲ | ۰/۱-۷ | ۰/۲-۶۰ |
| Mn | ۷۱۶-۱۴۰۰ | ۴۰۰-۸۵۰ | ۰/۰۲-۱۳۰ |
| Fe | ۵ | ۳/۳-۴/۷ | ۶۶ |
| Co | ۱۰-۱۲ | ۱۴-۲۰ | ۰/۱۵ |
| Ni | ۲۰ | ۴۰-۹۰ | ۰/۸ |
| Cu | ۲۵-۲۷ | ۴۰-۶۰ | ۰/۲۷-۳/۵۳ |
| Ag | ۰/۰۸ | ۰/۱-۰/۲ | (ng/l)۱۴۰ |
| Zn | ۵۲-۸۰ | ۸۰-۱۲۰ | ۳/۳-۱۰/۳ |
| Cd | ۰/۱-۰/۲ | ۰/۰۶-۱/۱ | ۰/۰۷-۰/۱۱ |
| AL | ۸ درصد وزن رسوبات | ۰/۰۱-۰/۰۴ | ۲-۱۰۰۰ |
| Pb | ۱۴ | ۱۰۰ | ۰/۰۰۷-۳/۸ |

جدول ۴- فاکتور غنی شدگی در ایستگاه های نمونه برداری

| شماره ایستگاه | As | Zn | Pb | Mn | Cr | Cd | Co | Cu | Hg |
|---------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|----|
| ۱ | ۰/۰۱۶ | ۰/۲۳۵ | ۰/۲۳۰ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۱۴۶ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۱۴ | - |
| ۲ | ۰/۰۱۶ | ۰/۳۳۰ | ۰/۲۵۴ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۱۵۲ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۹۲ | ۰/۱۲۸ | - |
| ۳ | ۰/۰۱۰ | ۱/۱۶۴ | ۰/۱۵۳ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۲۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۶۵ | ۰/۱۰۹ | - |
| ۴ | ۰/۰۱۴ | ۰/۱۸۴ | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۷۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۶۵ | ۰/۰۰۰۱ | - |
| ۵ | ۰/۰۱۵ | ۰/۲۵۵ | ۰/۱۷۲ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۷۴ | ۰/۱۱۱ | - |
| ۶ | ۰/۰۱۷ | ۰/۳۶۵ | ۰/۳۹۶ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۰۷ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۵۳ | - |
| ۷ | ۰/۰۱۶ | ۰/۳۷۵ | ۰/۱۵۹ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۷۴ | ۰/۱۲۱ | - |
| ۸ | ۰/۰۱۳ | ۰/۱۹۱ | ۰/۱۴۹ | ۰/۰۰۰۰۸ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۸۹ | - |
| ۹ | ۰/۰۳۵ | ۰/۲۴۲ | ۰/۲۴۸ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۵ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸۹ | ۰/۱۴۹ | - |
| ۱۰ | ۰/۰۶۹ | ۰/۳۵۹ | ۰/۲۴۷ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۱۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۹۱ | ۰/۲۶۹ | - |
| ۱۱ | ۰/۰۰۸ | ۰/۳۴۷ | ۰/۲۱۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۹۵ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸۹ | ۰/۱۳۷ | - |
| ۱۲ | ۰/۰۱۸ | ۰/۳۸۳ | ۰/۲۶۱ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۱۰۵ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۸۸ | ۰/۱۷۶ | - |
| ۱۳ | ۰/۰۲۷ | ۰/۲۷۵ | ۰/۲۵۹ | ۰/۰۰۰۶ | ۰/۱۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۸۹ | ۰/۱۳۹ | - |
| ۱۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۳۷۱ | ۰/۲۳۲ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۱۵۶ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۹۱ | ۰/۱۸۳ | - |
| ۱۵ | ۰/۰۱۶ | ۰/۴۱۰ | ۰/۲۴۸ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۲۴ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۸۴ | ۰/۲۲۰ | - |
| ۱۶ | ۰/۰۱۶ | ۰/۲۳۵ | ۰/۲۳۰ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۱۴۶ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۱۴ | - |

جدول ۵- طبقه بندی رسوبات براساس درجه آلودگی (LU, etal, ۲۰۰۹)

| شاخص زمین انباشتگی | درجه آلودگی |
|--------------------|---------------------------|
| کمتر از ۰ | غیر آلوده |
| ۰-۱ | غیر آلوده تا آلودگی متوسط |
| ۱-۲ | آلودگی متوسط |
| ۲-۳ | آلودگی متوسط تا قوی |
| ۳-۴ | آلودگی قوی |
| ۴-۵ | آلودگی بسیار قوی |
| بیشتر از ۵ | شدیداً آلوده |

شاخص ضریب آلودگی (C_f) در سال (۱۹۸۰) توسط هاکنسون معرفی شد و در آن میانگین غلظت عنصر اندازه گیری شده با میزان همان عنصر در مرجع منطقه مقایسه می شود. و مجموع ضرایب آلودگی آلاینده های مورد مطالعه درجه کلی آلودگی رسوب (C_d) را بیان می کند برای محاسبه ضریب آلودگی و درجه آلودگی از روش هاکنسون (۱۹۸۰) استفاده شده که از روابط مقابل محاسبه می شوند :

$$C_f = \frac{cn}{Bn} \quad C_d = \sum^n C_f$$

بر اساس رده بندی هاکنسون اگر $C_f < 1$ باشد ضریب آلودگی پایین، $3 < C_f < 6$ ضریب آلودگی متوسط، $6 \leq C_f < 12$ ضریب آلودگی قابل توجه، و $C_f \geq 6$ ضریب آلودگی بسیار بالا است. هم چنین $6 < C_d < 12$ درجه آلودگی پایین، $12 \leq C_d < 24$ درجه آلودگی متوسط، $24 \leq C_d < 48$ درجه آلودگی قابل توجه و $C_d \geq 48$ درجه آلودگی بسیار بالا را نشان می دهد. طبق نتایج بدست آمده از جدول (۷) برای عناصر کبالت و کروم ضریب آلودگی در تمام ایستگاههای نمونه برداری پایین است. برای عنصر کادمیوم در تمام ایستگاهها ضریب آلودگی متوسط است بجز ایستگاه ۱۳ قابل توجه است. ضریب آلودگی عنصر روی نیز در ایستگاههای ۱۰، ۱۳، (پارک خجیر) ۹، ۸، ۴، ۲، پایین، در ایستگاههای ۱۵، ۱۴، ۱۲، ۱۱، ۷، ۶، ۵، متوسط فقط در ایستگاه سوم (روستای عباس آباد) بسیار بالاست. مقادیر عنصر سرب در تمام ایستگاه ها دارای ضریب آلودگی پایین می باشد فقط در ایستگاه ۶ (شهرک صنعتی سعید آباد) متوسط است. عنصر مس نیز در ایستگاههای ۱۳، ۱۱، ۸، ۵، ۴، ۲، دارای ضریب آلودگی پایین و در سایر ایستگاه ها ضریب آلودگی متوسط است. برای عنصر آرسنیک ضریب آلودگی در تمام ایستگاهها پایین بجز ایستگاه ۹ (پارک خجیر) و ۱۰ متوسط است. ضریب آلودگی عنصر منگنز فقط در ایستگاه ۸ پایین، در ایستگاه ۱۳ قابل توجه و در سایر ایستگاه ها متوسط می باشد. میانگین مقادیر درجه آلودگی نیز به شرح زیر است :

طبق نتایج به دست آمده از محاسبات عناصر در میزان پارامتر شاخص زمین انباشتی، و جدول (۶) مقایسه آن با طبقه بندی ارائه شده توسط LU و همکارانش در (۲۰۰۹) می توان به میزان آلودگی موجود در محیط پی برد. بر این اساس آلودگی مقادیر کادمیوم، کروم و آرسنیک در تمام ایستگاهها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط می باشد. آلودگی مقدار روی در اکثر ایستگاهها در حد آلودگی متوسط بوده و در ۱۳ ایستگاه ۶، ۷ (شهرک صنعتی سعید آباد) و ۱۵ در حد آلودگی متوسط تا قوی است و فقط در ایستگاه ۳ مقدار آلودگی در حد شدیداً آلوده می باشد. آلودگی مقدار سرب در ایستگاه های ۱، ۴، ۷، ۸ (شهرک صنعتی سعید آباد - ماهی سرا)، ۱۰، ۱۱ و ۱۳ در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط می باشد و در ایستگاههای ۲، ۳، ۵، ۹، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ در حد آلودگی متوسط است و در ایستگاه ۶ (شهرک سعید آباد) در حد آلودگی متوسط تا قوی میباشد. آلودگی مقدار منگنز در ایستگاه های ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۵ غیر آلوده، ایستگاه ۱۳ در حد آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه ها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط می باشد. آلودگی مقدار مس در اکثر ایستگاهها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط می باشد فقط در ایستگاه ۱۰ و ۱۵ در حد آلودگی متوسط است. مقدار کبالت در تمام ایستگاهها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط میباشد فقط در ایستگاه ۷ (شهرک صنعتی سعید آباد) در حد آلودگی متوسط میباشد. افزایشی که در میزان پارامتر شاخص زمین انباشتی از ایستگاه ۶، ۷ (شهرک صنعتی سعید آباد) و ۱۵ و همینطور در ایستگاه سوم دیده می شود، نشان از تجمع و ته نشست روی در رسوبات این منطقه دارد و این شاخص را از آلودگی متوسط تا قوی تا شدیداً آلوده سوق می دهد.

ضریب آلودگی و درجه آلودگی

همبستگی دو متغیر است و شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. پس از اندازه گیری غلظت های عناصر، بین آنها در نرم افزار Spss همبستگی از روش پیرسون برقرار شد و با استفاده از معنی دار بودن یا بی معنا بودن همبستگی ها در سطح ۹۵ درصد و ضرایب همبستگی بدست آمده اقدام به تحلیل نتایج در هر بخش از رودخانه گردید. (wellmer ۱۹۹۷) در نتایج حاصل از جدول (۸) ملاحظه می شود همبستگی مثبت نسبتاً بالایی بین آهن و کبالت ($r=0.7$) و آهن و روی ($r=0.7$) موجود است. این ارتباط احتمال وجود یک منبع خاکزاد مشابه و یا مکانیسم

کادمیوم : $27/061$ ، کروم $6/383$ ، روی $21/982$ ، سرب $12/221$ ، مس $15/776$ ، آرسنیک $12/261$ ، کبالت $7/07$ و منگنز $27/91$ طبق این نتایج کادمیوم و منگنز دارای درجه آلودگی بسیار بالا، عنصر کروم و کبالت دارای درجه آلودگی متوسط، عناصر مس، آرسنیک، سرب، روی دارای درجه آلودگی قابل توجه هستند.

ضریب همبستگی

ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین

جدول ۶- شاخص زمین انباشتی در ایستگاه های نمونه برداری

| Hg | Cu | Co | Cd | Cr | Mn | Pb | Zn | As | |
|----|------|------|-------|------|--------|------|------|-------|----|
| - | ۰/۴۸ | ۰/۳۵ | ۰/۰۱۲ | ۰/۶۳ | ۰/۶۲۵ | ۱ | ۱/۰۱ | ۰/۰۶۹ | ۱ |
| - | ۰/۵۲ | ۰/۳۷ | ۰/۰۱ | ۰/۶۱ | ۰/۲۳۵ | ۱/۰۲ | ۱/۳۵ | ۰/۰۶۵ | ۲ |
| - | ۰/۸۴ | ۰/۵۰ | ۰/۰۱ | ۰/۹۴ | ۰/۱۹۲ | ۱/۱۸ | ۹/۸۵ | ۰/۰۷ | ۳ |
| - | ۰/۵۴ | ۰/۵۰ | ۰/۰۱۲ | ۰/۵۰ | ۰/۲۰۱ | ۰/۹۴ | ۱/۳۰ | ۰/۱۰ | ۴ |
| - | ۰/۶۸ | ۰/۴۵ | ۰/۰۱ | ۰/۵۲ | ۰/۰۲۶ | ۱/۰۶ | ۱/۶۰ | ۰/۰۹ | ۵ |
| - | ۰/۸۴ | ۰/۴۴ | ۰/۰۱ | ۰/۵۸ | -۰/۵۲۰ | ۲/۱۵ | ۲/۰۲ | ۰/۰۹ | ۶ |
| - | ۰/۷۲ | ۱/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۶۸ | -۰/۱۸۷ | ۰/۹۵ | ۲/۳ | ۰/۱۰ | ۷ |
| - | ۰/۵۷ | ۰/۴۷ | ۰/۰۱ | ۰/۴۹ | -۰/۶۲۹ | ۰/۹۵ | ۱/۲۳ | ۰/۰۸ | ۸ |
| - | ۰/۷۰ | ۰/۴۲ | ۰/۰۱ | ۰/۷۰ | -۰/۴۶۹ | ۱/۱۶ | ۱/۱۵ | ۰/۱۶ | ۹ |
| - | ۱/۰۱ | ۰/۳۴ | ۰/۰۱ | ۰/۴۲ | -۰/۵۵۳ | ۰/۹۳ | ۱/۳۵ | ۰/۲۶ | ۱۰ |
| - | ۰/۶۴ | ۰/۴۲ | ۰/۰۱ | ۰/۴۴ | ۰/۱۶۴ | ۱ | ۱/۶۴ | ۰/۰۳ | ۱۱ |
| - | ۰/۷۸ | ۰/۳۹ | ۰/۰۱ | ۰/۴۶ | ۰/۵۱۱ | ۱/۱۶ | ۱/۷۲ | ۰/۰۸ | ۱۲ |
| - | ۰/۵۱ | ۰/۳۲ | ۰/۰۲ | ۰/۳۸ | ۱/۵۶۸ | ۰/۹۵ | ۱/۰۱ | ۰/۰۹ | ۱۳ |
| - | ۰/۸۸ | ۰/۴۴ | ۰/۰۱ | ۰/۷۵ | ۰/۳۱۳ | ۱/۱۳ | ۱/۸۱ | ۰/۱۱ | ۱۴ |
| - | ۱/۱۶ | ۰/۴۴ | ۰/۰۱ | ۰/۶۵ | -۰/۳۷۰ | ۱/۳۲ | ۲/۲۲ | ۰/۰۶ | ۱۵ |
| - | ۰/۴۸ | ۰/۳۵ | ۰/۰۱۲ | ۰/۶۳ | ۰/۵۷۰ | ۱ | ۱/۰۱ | ۰/۰۶۹ | ۱۶ |

جدول ۷- ضریب آلودگی در ایستگاه های نمونه برداری

| شماره ایستگاه | As | Zn | Pb | Mn | Cr | Cd | Co | Cu | Hg |
|---------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|----|
| ۱ | ۰/۵۵۵ | ۰/۷۳۱ | ۰/۷۱۵ | ۲/۳۱ | ۰/۴۵۵ | ۱/۵۵۱ | ۰/۳۹۳ | ۰/۷۰۸ | - |
| ۲ | ۰/۵۲۲ | ۰/۹۶۶ | ۰/۷۴۴ | ۱/۷۶ | ۰/۴۴۶ | ۱/۷۲۴ | ۰/۴۱۳ | ۰/۷۵۲ | - |
| ۳ | ۰/۶۲۲ | ۶/۴۶۱ | ۰/۸۵۱ | ۱/۷۱ | ۰/۶۸۴ | ۱/۸۹۶ | ۰/۵۶۳ | ۱/۲۱۶ | - |
| ۴ | ۰/۸۴۴ | ۰/۹۴۳ | ۰/۶۸۴ | ۱/۷۲ | ۰/۳۶۳ | ۱/۵۵۱ | ۰/۵۶۳ | ۰/۷۸۲ | - |
| ۵ | ۰/۷۸۸ | ۱/۱۳۹ | ۰/۷۶۶ | ۱/۵۲ | ۰/۳۸ | ۱/۷۲۴ | ۰/۵۰۹ | ۰/۹۸۸ | - |
| ۶ | ۰/۷۵۵ | ۱/۴۳۸ | ۱/۵۵۹ | ۱/۰۳ | ۰/۴۲۴ | ۱/۵۵۱ | ۰/۴۹۶ | ۱/۲۰۸ | - |
| ۷ | ۰/۸۱۱ | ۱/۶۱۴ | ۰/۶۸۷ | ۱/۳۱ | ۰/۴۹۱ | ۱/۵۵۱ | ۰/۵۰۹ | ۱/۰۴۸ | - |
| ۸ | ۰/۶۷۷ | ۰/۸۷۹ | ۰/۶۸۸ | ۰/۹۶ | ۰/۳۵۷ | ۱/۷۲۴ | ۰/۵۲۴ | ۰/۸۲۲ | - |
| ۹ | ۱/۳۲۲ | ۰/۸۲۶ | ۰/۸۴۵ | ۱/۰۸ | ۰/۵۱ | ۱/۵۵۱ | ۰/۴۶۹ | ۱/۰۱۸ | - |
| ۱۰ | ½ | ۰/۹۷۳ | ۰/۶۷۱ | ۱/۰۲ | ۰/۳۰۶ | ۱/۸۹۶ | ۰/۳۸ | ۱/۴۶۲ | - |
| ۱۱ | ۰/۳۱۱ | ۱/۱۸۲ | ۰/۷۲ | ۱/۶۸ | ۰/۳۲۴ | ۱/۵۵۱ | ۰/۴۶۷ | ۰/۹۳۲ | - |
| ۱۲ | ۰/۶۴۴ | ۱/۲۳ | ۰/۸۳۹ | ۲/۱۳ | ۰/۳۳۹ | ۱/۸۹۶ | ۰/۴۳۶ | ۱/۱۳۲ | - |
| ۱۳ | ۰/۸ | ۰/۷۳۱ | ۰/۶۸۷ | ۴/۴۴ | ۰/۲۸۱ | ۳/۱۰۳ | ۰/۳۶۳ | ۰/۷۴ | - |
| ۱۴ | ۰/۹۵۵ | ۱/۳ | ۰/۸۱۴ | ۱/۸۶ | ۰/۵۴۷ | ۲/۰۶۸ | ۰/۴۹۰ | ۱/۲۸۲ | - |
| ۱۵ | ۰/۵۵۵ | ۱/۵۶۹ | ۰/۹۵۱ | ۱/۱۶ | ۰/۴۷۶ | ۱/۷۲۴ | ۰/۴۹۵ | ۱/۶۸۶ | - |
| ۱۶ | ۰/۵۵۵ | ۰/۷۳۱ | ۰/۷۱۵ | ۲/۲۲ | ۰/۴۵۵ | ۱/۵۵۱ | ۰/۳۹۳ | ۰/۷۰۸ | - |

حمل و نقل مشابه و انباشت در رسوبات را بیان می دارد. این مکانیسم می تواند پتانسیل یونی مشابه و قرار گرفتن در گروه های یونی نا متحرک باشد. بطوریکه روی و کبالت می توانند توسط اکسید آهن آبدار جذب شده و بدین وسیله انتقال یابند. وجود ارتباط و همبستگی مثبت نسبتاً بالا بین منگنز و کادمیوم ($r=0.7$) حاکی از جذب سطحی این عنصر توسط

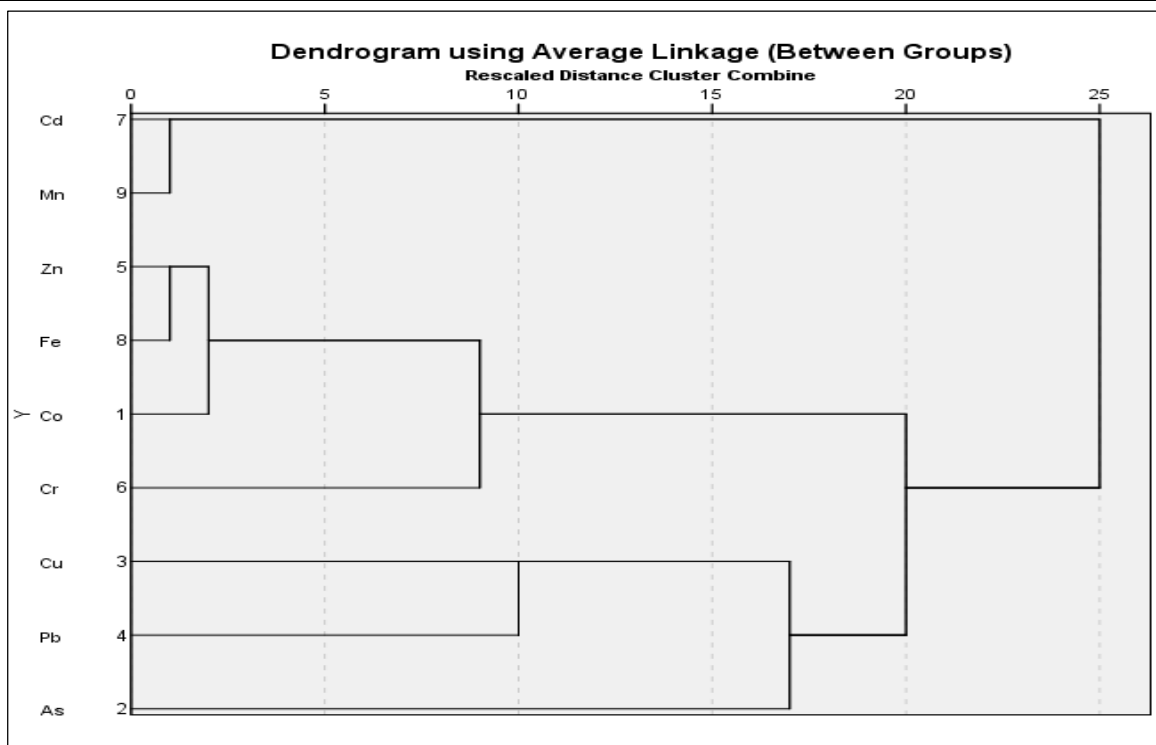
هیدروکسید منگنز است. اصولاً در محیط های احیایی و نیز pH بالاتر از ۶، اغلب فلزات سنگین نامحلول بوده و سریعاً جذب کلوئیدها می شوند. همبستگی معنی دار بین منگنز و عناصر واسطه (نظیر کادمیوم) بیانگر این مطلب است که آنها را از آب جذب می نماید و در ساختار بلوری خود نگه می دارد. ارتباط مثبت ولی متوسط بین کبالت و کروم ($r=0.5$) و

ترکیبات آهن دار در pH بالاتر از ۶ موثر بوده است. عناصر آرسنیک، مس و سرب با هیچ یک از فلزات سنگین همبستگی نشان ندادند و دلیلی بر تولید این سه فلز از منابع جداگانه (انسانی) است.

کبالت و روی ($r=0/5$) بیانگر رفتار مشابه این عناصر (کبالت، کروم، روی) در خاک است. وجود همبستگی که بین عناصر کبالت و روی در بالا به اثبات رسید، در جای گزینی مشابه آنها به صورت جذب شده در رس ها و یا داخل

جدول ۸- نتایج ضریب همبستگی بین عناصر مورد مطالعه در نمونه های رسوب رودخانه جاجرود

| | | Co | As | Cu | Pb | Zn | Cr | Cd | Fe | Mn |
|----|---------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| Co | Pearson Correlation | 1 | -.235 | .139 | .168 | .584* | .527* | -.126 | .714* | -.373 |
| | Sig. (2-tailed) | | .381 | .607 | .534 | .017 | .036 | .641 | .002 | .155 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| As | Pearson Correlation | -.235 | 1 | .353 | -.109 | -.078 | -.149 | .065 | -.258 | -.228 |
| | Sig. (2-tailed) | .381 | | .180 | .687 | .773 | .582 | .812 | .335 | .396 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Cu | Pearson Correlation | .139 | .353 | 1 | .379 | -.046 | .258 | -.135 | .032 | -.459 |
| | Sig. (2-tailed) | .607 | .180 | | .148 | .865 | .335 | .619 | .905 | .074 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Pb | Pearson Correlation | .168 | -.109 | .379 | 1 | -.044 | .169 | -.251 | .088 | -.295 |
| | Sig. (2-tailed) | .534 | .687 | .148 | | .871 | .531 | .349 | .747 | .268 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Zn | Pearson Correlation | .584* | -.078 | -.046 | -.044 | 1 | .250 | -.190 | .714* | -.065 |
| | Sig. (2-tailed) | .017 | .773 | .865 | .871 | | .349 | .481 | .002 | .812 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Cr | Pearson Correlation | .527* | -.149 | .258 | .169 | .250 | 1 | -.076 | .455 | -.241 |
| | Sig. (2-tailed) | .036 | .582 | .335 | .531 | .349 | | .781 | .077 | .368 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Cd | Pearson Correlation | -.126 | .065 | .135 | -.251 | -.190 | -.076 | 1 | -.266 | .723** |
| | Sig. (2-tailed) | .641 | .812 | .619 | .349 | .481 | .781 | | .320 | .002 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Fe | Pearson Correlation | .714** | -.258 | .032 | .088 | .714** | .455 | -.266 | 1 | -.364 |
| | Sig. (2-tailed) | .002 | .335 | .905 | .747 | .002 | .077 | .320 | | .166 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Mn | Pearson Correlation | -.373 | -.228 | -.459 | -.295 | -.065 | -.241 | .723** | -.364 | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .155 | .396 | .074 | .268 | .812 | .368 | .002 | .166 | |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |



شکل ۴- تجزیه خوشه ای غلظت عناصر سنگین

تجزیه و تحلیل خوشه ای

مادر آذرین در منطقه می باشد. همچنین کروم بطور مستقل در این خوشه حضور دارد که دلیلی بر منشاء گیری آن از فلزات خاکزاد (ناشی از فرسایش سنگهای منطقه) است. خوشه C (در این خوشه سه فلز آرسنیک ، مس و سرب به چشم می خوردند که ارتباطی نزدیک ما بین مس و سرب در یک زیر خوشه مجزا ، گویای رفتار ژئوشیمیایی مشابه آنها در رسوب مورد مطالعه است. در این میان ارتباط ضعیف آرسنیک با بقیه فلزات آشکار است. براساس آنالیز خوشه ای ، وجود حداقل دو منبع زمین زادی متفاوت برای ورود این عناصر به رسوب رودخانه پیشنهاد می گردد (و بنظر می رسد بار آلودگی و ماهیت منابع آلودگی به شدت نتایج خوشه بندی را تحت تاثیر قرار داده است). دو منبع پیشنهادی شامل :

۱- زمین زادی و فرسایش سنگهای بالادست حوضه (بوئژه سنگهای آذرین بازیک) بعنوان منشاء اصلی عناصر آهن ، روی ، کبالت و کروم .

برای خوشه بندی داده ها از روش اتصال (Linkage) استفاده شد، که در آن به ترتیب اشیاء(نمونه ها و یا متغیرها) با شباهت بیشتر ، با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می شوند. تمامی روش های خوشه بندی مبتنی بر ماتریس شباهت ها می باشند (Davis ۲۰۰۲)، در مرحله اول دو نمونه و یا دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند و در هر تکرار ، شبیه ترین زوج خوشه ها یا اشیاء به هم وصل می شوند. قرار گرفتن عناصر در سه خوشه قابل مشاهده است. A ، B ، C : خوشه A) شامل کادمیوم و منگنز است که حاکی از دخالت منگنز و ترکیبات اکسیدی و یا هیدروکسیدی آن در جذب فلز کادمیوم است. خوشه B) شامل کبالت ، روی ، آهن و کروم است که بر حسب اختلاف درجه وابستگی فلزات ، وجود دو زیر خوشه آهن و روی و زیر خوشه ی کبالت در آن مشهود است. این دو زیر خوشه ی بهم مرتبط نشانگر منبع مشترکی در تولید این فلزات (وابسته به آهن) است که احتمالاً سنگ

رسی) وجود منابع مشترک و از جمله مواردی هستند که باعث توزیع عناصر در مؤلفه های مختلف می شوند. همانطور که در جدول (۹) و شکل (۵) مشاهده می شود تحلیل مؤلفه اصلی، یک مدل ۴ مؤلفه ای را برای داده ها پیشنهاد می کند که عموماً نتایج آن با نتایج آنالیز خوشه ای همخوانی دارد. در مؤلفه ۱: عناصر آهن، کبالت، روی و کروم به چشم می خورند که وابستگی آنها را به همدیگر در دارا بودن منبع یکسان بیان می دارد. در مؤلفه ۲ وجود منگنز و کادمیوم کنار هم حکایت از منشاء گرفتن آنها از سنگ مادر (زمین زاد) دارد. در مؤلفه ۳ حضور آرسنیک و کادمیوم می تواند بیانگر وجود منشاء انسان زاد مستقل برای آرسنیک و نیز کادمیوم باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت بخشی از کادمیوم علاوه بر منشاء زمین زاد، از منابع آلوده کننده انسان زاد (نظیر کودهای فسفاته و لجن فاضلاب صنعتی) در منطقه حاصل گردیده است. در مؤلفه ۴: عنصر سرب مشاهده می شود که به تنهایی تولید آن از یک منشاء انسان زاد مستقل (مانند صنایع فلزی، سوخت فسیلی نظیر بنزین در جاده ها) را بیان می دارد. وجود دسته بندی در مؤلفه های ۴ گانه فوق دردیگرام سه بعدی شکل (۴) نیز مؤید نتایج اخیر است.

۲-زمین زادی و فرسایش سنگهای بالادست حوضه (بوپژه سنگهای آذرین) بعنوان منشاء اصلی عناصر منگنز و کادمیوم می باشند. همچنین وجود دو منشاء انسان زاد شامل:

۱-انسان زادی (ترافیک جاده ای، صنایع فلز کاری و شهرک های صنعتی، تخلیه نخاله های ساختمانی و راهسازی) بعنوان منشاء اصلی عناصر سرب و مس

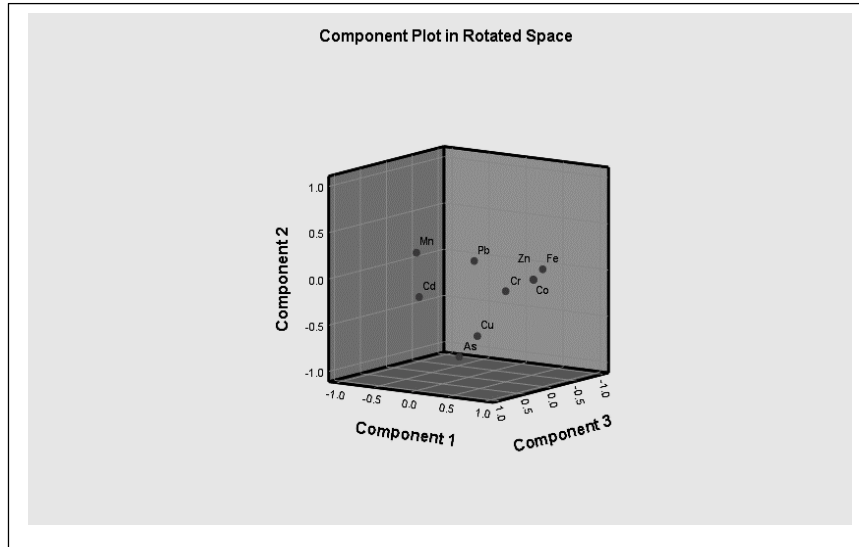
۲-انسان زادی (کود کشاورزی و دفع آفات نباتی در باغات پیرامون رودخانه) بعنوان منشاء اصلی عنصر آرسنیک به چشم می خورند.

تحلیل مؤلفه اصلی

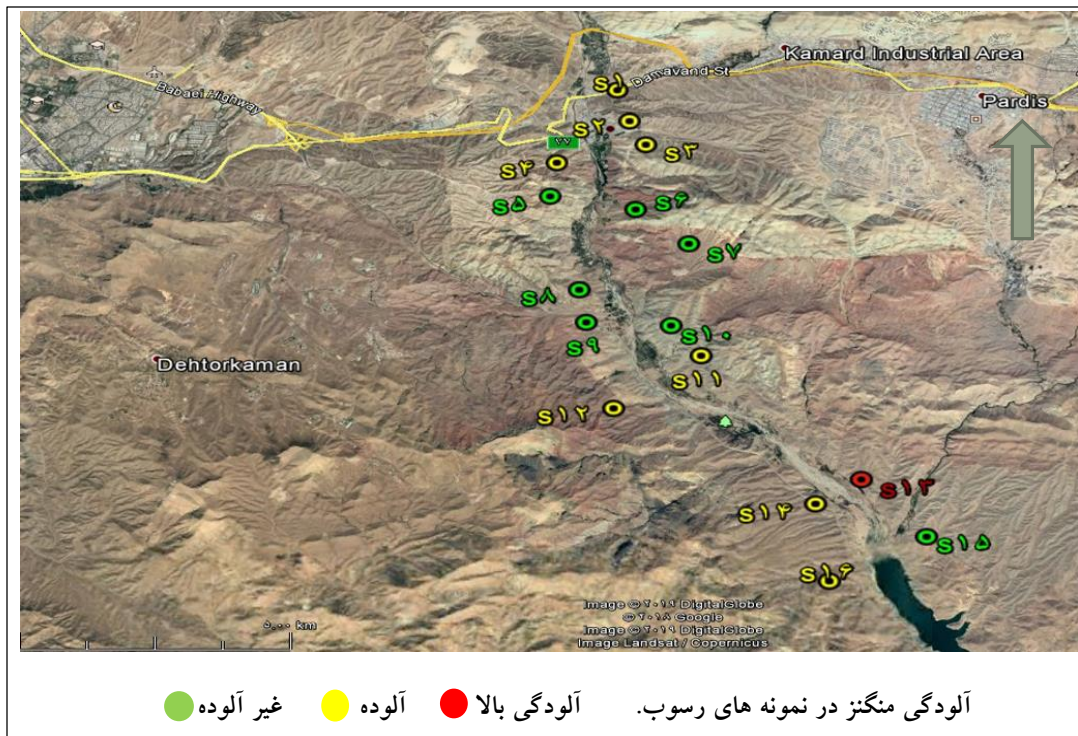
فرض اساسی در روش تحلیل مؤلفه اصلی وجود ارتباط بین متغیر هاست. در واقع هدف اصلی آن در تفسیر های ژئوشیمیایی تعیین متغیرهای کنترل کننده اصلی در بین یک سری داده ژئوشیمیایی است. یعنی پس از یک تجزیه و تحلیل عاملی می توان گروه عناصری را که با هم تغییر کرده و ممکن است بیان کننده یک پارازنز یا یک منشاء باشند مشخص کرد. ویژگی هایی چون شعاع و بار یون، میزان تحرک، میزان ارتباط رفتاری عناصر با اجزای رسوب (مواد آلی و کانی های

جدول ۹- نتایج تحلیل مؤلفه اصلی نمونه های رسوب رودخانه جاجرود

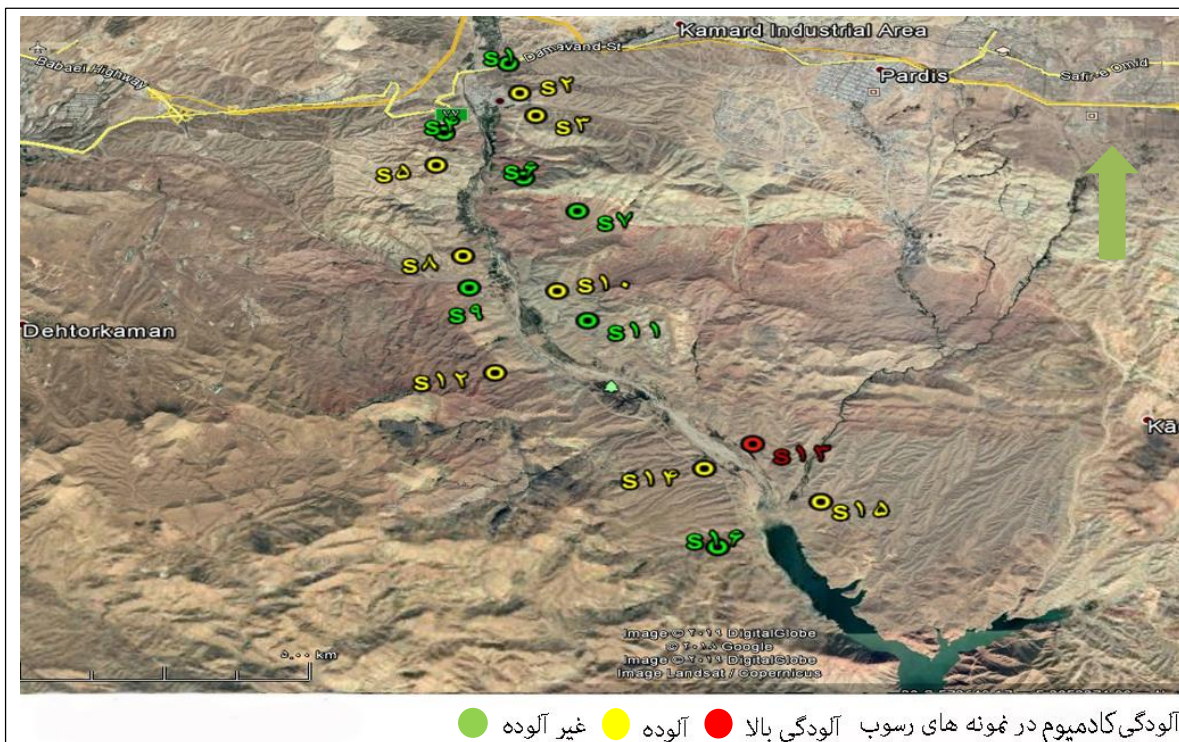
| | Component | | | |
|----|-----------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Co | .821 | .289 | .185 | .058 |
| As | -.167 | -.557 | .503 | -.548 |
| Cu | .337 | -.683 | .452 | .150 |
| Pb | .355 | -.431 | -.146 | .628 |
| Zn | .635 | .464 | .108 | -.363 |
| Cr | .627 | .098 | .367 | .333 |
| Cd | -.521 | .401 | .652 | .247 |
| Fe | .836 | .363 | .006 | -.137 |
| Mn | -.655 | .606 | .203 | .226 |



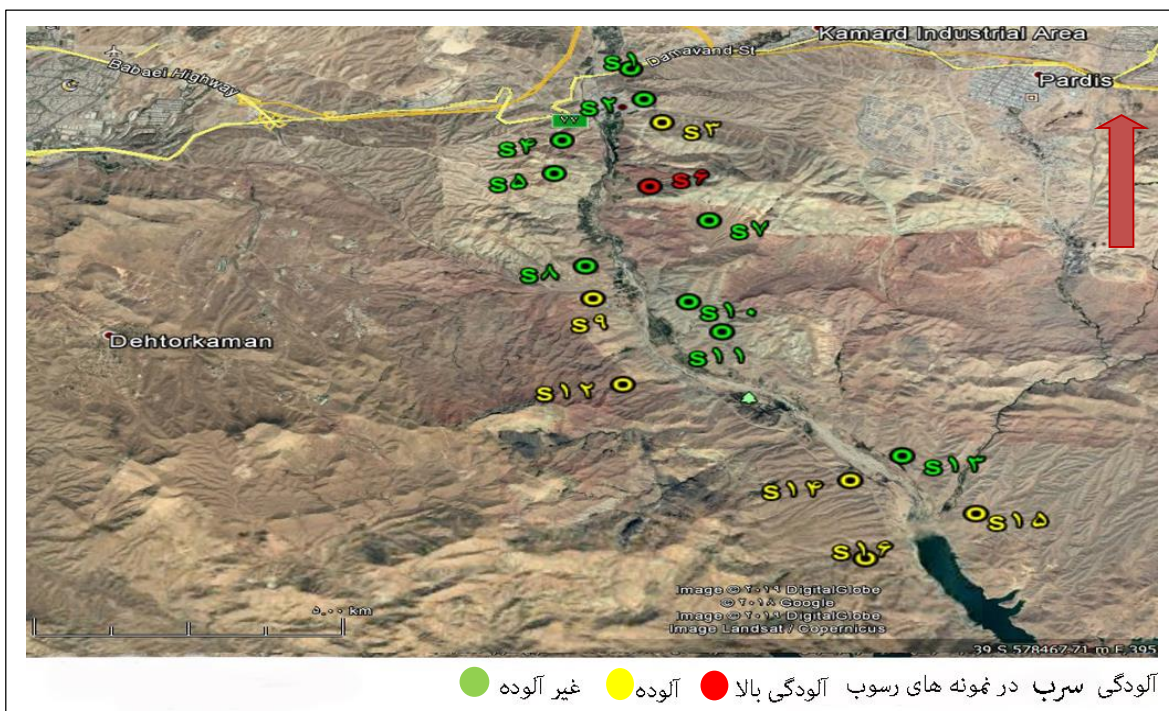
شکل ۵- دیاگرام سه بعدی تحلیل مؤلفه اصلی نمونه های رسوب رودخانه جاجرود



شکل ۶- نقاط آلوده کننده ی منگنز در نمونه های رسوب رودخانه جاجرود



شکل ۷- نقاط آلوده کننده ی کادمیوم در نمونه های رسوب رودخانه جاجرود



شکل ۸- نقاط آلوده کننده ی سرب در نمونه های رسوب رودخانه جاجرود

نتیجه گیری

برای عنصر آرسنیک ضریب آلودگی در تمام ایستگاهها پایین بجز ایستگاه ۹ و ۱۰ متوسط است.

۴- از نتایج ضریب همبستگی عناصر فلزی در نمونه های رسوب رودخانه جاجرود ملاحظه می شود همبستگی مثبت نسبتاً بالایی بین آهن و کبالت ($r=0.7$) و آهن و روی ($r=0.7$) موجود است. این ارتباط احتمال وجود یک منبع خاکزاد مشابه و یا مکانیسم حمل و نقل مشابه و انباشت در رسوبات را بیان می دارد.

۵- وجود ارتباط و همبستگی مثبت نسبتاً بالا بین منگنز و کادمیوم ($r=0.7$) حاکی از جذب سطحی این عنصر توسط هیدروکسید منگنز است.

۶- ارتباط مثبت ولی متوسط بین کبالت و کروم ($r=0.5$) و کبالت و روی ($r=0.5$) بیانگر رفتار مشابه این عناصر (کبالت ، کروم ، روی) در خاک است.

۷- عناصر آرسنیک ، مس و سرب با هیچ یک از فلزات سنگین همبستگی نشان ندادند و دلیلی بر تولید این سه فلز از منابع جداگانه (انسانی) است.

۸- نتایج آنالیز خوشه ای نشان می دهد قرار گرفتن عناصر در ۳ خوشه قابل مشاهده است. A ، B ، C

خوشه A شامل کادمیوم و منگنز است خوشه B شامل کبالت ، روی ، آهن و کروم است که بر حسب اختلاف درجه وابستگی فلز است ، وجود دو زیر خوشه آهن و روی و زیر خوشه ی کبالت در آن مشهود است. خوشه C در این خوشه سه فلز آرسنیک ، مس و سرب به چشم می خورند در این میان ارتباط ضعیف آرسنیک با بقیه فلزات آشکار است.

۹- براساس آنالیز خوشه ای ، وجود حداقل دو منبع زمین زادی متفاوت برای ورود این عناصر به رسوب رودخانه پیشنهاد می گردد. (فرسایش سنگهای بالادست حوضه)

۱۰- همچنین وجود دو منشاء انسان زاد شامل :

۱- نتایج مطالعات راجع به مقادیر غلظت پایه و فاکتور غنی شدگی نشان می دهد که رسوبات رودخانه جاجرود به عناصر روی ، مس ، و در بعضی ایستگاهها ، سرب ، آرسنیک آلوده شده اند. منبع احتمالی عناصر روی ، مس ، سرب تخلیه نخاله های راهسازی و نخاله های ساختمانی و باغداری است. افزایش غلظت آرسنیک در ایستگاه پارک خجیر و ترقیان (اردوگاه بسیج) ، نشانهندهء نقش نخاله های ساختمانی، فاضلاب مرکز پرورش ماهی و منطقه نظامی و مسکونی است.

۲- طبق نتایج بدست آمده از شاخص زمین انباشت آلودگی مقادیر کادمیوم ، کروم و آرسنیک در تمام ایستگاهها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط می باشد. آلودگی مقدار روی در اکثر ایستگاهها در حد آلودگی متوسط و گاهی قوی بوده و آلودگی مقدار منگنز در حد آلودگی متوسط می باشد. آلودگی مقدار سرب در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط و در یک مورد بسیار قوی می باشد آلودگی مقدار مس در اکثر ایستگاهها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط می باشد مقدار کبالت در تمام ایستگاهها در حد غیر آلوده تا آلودگی متوسط میباشد.

۳- طبق نتایج بدست آمده از ضریب آلودگی برای عناصر کبالت و کروم ضریب آلودگی در تمام ایستگاههای نمونه برداری پایین است. برای عنصر کادمیوم در تمام ایستگاهها ضریب آلودگی متوسط است بجز ایستگاه ۱۳ که قابل توجه است. ضریب آلودگی عنصر منگنز فقط در ایستگاه ۸ پایین ، در ایستگاه ۱۳ قابل توجه و در سایر ایستگاه ها متوسط می باشد. ضریب آلودگی عنصر روی نیز گاهی متوسط فقط در ایستگاه سوم بسیار بالاست. مقادیر عنصر سرب در تمام ایستگاه ها دارای ضریب آلودگی پایین می باشد فقط در ایستگاه ۶ متوسط است. عنصر مس نیز دارای ضریب آلودگی پایین و در برخی ایستگاه ها ضریب آلودگی متوسط است.

منابع

- مغزی - س ، م ، سعیدی ، ا ، جمشیدی ، (۱۳۹۰) "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه بابلرود با استفاده از شاخصهای آلودگی رسوب" ، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ، دانشگاه سمنان ، سمنان ، ایران. ۱۷ص.

- سرهنگی - ا ، س ، مدبری ، ر ، موسوی حرمی ، م ، زیبایی ، (۱۳۹۱) ، "بررسی آلودگی عناصر بالقوه سمی در مخزن سد لتیان" ، با نگرشی به نقش رسوبات در کنترل آلاینده ها ، زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ، شماره ۹۴ ، ص ۱۳۹-۱۴۶ -بازنگری طرح جامع شهر جدید پردیس مطالعات وضع موجود (۱۳۹۵) ، "مهندسی مشاور پی کده" ۲۲۰ص.

- **Aboud, s.j. Nandini N.,(2009)**," Heavy metal analysis and sediment quality values in urban lakes". American Journal of Environmental sciences, 5(6), pp 678-687

- **Cevik . F. , Goksu . M . Z . L. , Derici , O . B ., Findik . O ., (2009)**," An assessment of metal Pollution in Surface Sediments of Seyhan dam by using enrichment factor" , geoaccumulation index and Statistical analyses, Environ. Monit. Assess , Vol : 152, No: 1-4, p: 309-317.

-**Davis, J. C., (2002)** , " Statistics and data analysis in geology " , John Wiley & Sons, 3rd Edition , 656p.

- Hakanson , L ., (1980). " Anecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach". Water Research, 14(8), pp 975-1001.

- Loska, K., Wiechula, D., (2003). "Application of principal component analysis for the estimation of Sources of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir". Chemosphere, 51, pp723-733.

- **Miller, J. (2007)**. "Contaminated rivers", springer verlag , 418p.

- **Muller, G., (1969)**. " Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River". GeoJournal, 2, pp 108-118.

- **Wellmer , F. W., (1997)**," Statistical evaluations in exploration for mineral deposits" , Springer-Verlag New York, 379p.

-**Yongming , H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E. S., (2006)** . "Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of xi'an, central china". Journal of the science of the Total Environment , 355, pp 176-118.

(ترافیک جاده ای و سوخته‌های فسیلی نظیر بنزین ، صنایع فلز کاری و لجن فاضلابهای شهرک های صنعتی ، تخلیه نخاله های ساختمانی و راهسازی) و (کود کشاورزی فسفات و دفع آفات نباتی در باغات پیرامون رودخانه) به چشم می خورند.

۱۱- تحلیل مؤلفه اصلی ، یک مدل چهار مؤلفه ای را برای داده ها پیشنهاد می کند. در مؤلفه نخست : عناصر آهن ، کبالت ، روی و کروم به چشم می خورند که وابستگی آنها را به همدیگر در دارا بودن منبع یکسان بیان می دارد. در مؤلفه دوم وجود منگنز و کادمیوم کنار هم حکایت از منشاء گرفتن آنها از سنگ مادر (زمین زاد) دارد. در مؤلفه سوم حضور آرسنیک و کادمیوم می تواند بیانگر وجود منشاء انسان زاد مستقل باشد. در مؤلفه چهارم : عنصر سرب مشاهده می شود که به تنهایی تولید آن از یک منشاء انسان زاد مستقل را بیان می دارد. و نتایج حاصل از عکس های ماهواره ای نقاط آلوده کننده رسوب رودخانه جاجرود نشان می دهد در هر ایستگاه نمونه برداری ، رودخانه جاجرود دست کم به یک عنصر آلوده است تاثیر فعالیتهای انسانی پیرامون رودخانه در این آلودگی ها محرز است.

پیشنهادات

۱-ارزیابی و انتخاب محل مناسب برای دفن زباله ها و نخاله های ساختمانی و جلوگیری از نشت شیرابه ها به مجاری آبهای سطحی و منابع آب زیرزمینی ، جلوگیری از ساخت و سازها در بستر و حریم رودخانه و ساماندهی ساخت و سازهای موجود با اولویت میزان آلایندهی ها ، ملزم نمودن واحدهای صنعتی متعدد موجود در منطقه به اجرای تصفیه خانه و پالایش پساب خروجی آن و با توجه به وجود فلزات سنگین در رسوب رودخانه ، انجام عملیات لایروبی رودخانه تا عمق معین و انتقال آن به محل های مناسب برای دفن

The Investigation of river sediments heavy metals Pullutants with Geoaccumulation Index , Pollution Coefficient and Analysis of the main component (case study: Jajrood in the range of pardis city)

Alireza Niknam Bojandi¹, Farahnaz Karimzadeh^{* 2} & Masoumeh Sohrabi Mullah Yousefi³

1- Graduate of Environmental Geology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch

2-Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch

3- Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch

Abstract

The most important river in the city of pardis at the east of Tehran , is Jajrood . In this research 16 samples of sediment of this river were studied that collected in early July (2018). These samples were analyzed to determine the concentration of Fe , Cr , Cd , Zn , Pb , Cu , Co , Hg , As and Mn elements with TCP method for heavy metals. The Jajrood River sediments are contaminated with Zinc, lead and at some stations to copper and manganese and Cadmium. The possible source of copper and lead elements is the discharge of construction waste and road construction, agricultural and horticultural activities, residential areas and industry activity near the river. The increase in manganese concentration at Sanjrian station is due to human activities, including agriculture, horticulture and residential areas near the river. Conclusion the principal component is consistent with the results of cluster analysis. Based on statistical analysis, it can be said that iron, cobalt, chromium and zinc have the same source (Lithogenic). This article also discusses cadmium and arsenic as a common source (Anthropogenic) and also provides a separate source (Anthropogenic) for lead.

Keywords: pollutant elements, Jajrood River, Pardis, Heavy metals.