

اندازه گیری عناصر موجود در رسوبهای زاینده رود با استفاده از تجزیه به روش فعال سازی نوترونی (NAA)^۱

* رامین شیرینی - عظیم احمدی نیار - مهندس علیخانپور * * دکتر محمود کلباسی
* بخش راکتور مینیاتوری - مرکز تحقیقاتی و تولید سوخت اصفهان
سازمان انرژی اتمی ایران
* * دانشکده کشاورزی - دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این تحقیق، کارایی روش NAA در مطالعات زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. ۷۱ نمونه رسوبی از بستر زاینده رود در مسیر تقریباً ۳۰۰ کیلومتری رودخانه واقع در استان اصفهان برداشته شده و با روش INAA^۲ تجزیه و تحلیل شده است. از هر نمونه رسوبی، برای انجام سه مرحله تجزیه و تحلیل، سه نمونه مناسب با وزن تقریبی ۱۲۰ میلی گرم برای پرتو دمی برداشته شده است. طی مراحل سه گانه در مجموع ۴۳ عنصر با استفاده از ۱۲ استاندارد معتبر بین المللی تجزیه و تحلیل گردیده است. با توجه به خطای آماری شمارش، کل عناصر تجزیه شده را می توان به سه دسته تقسیم کرد: دسته اول مشتمل بر ۲۴ عنصر است که با خطای کمتر از ۱۰٪ تجزیه شده اند؛ این عناصر عبارتند از: Zn و V, U, Th, Ta, Sm, Sc, Rb, Na, Mn, Mg, Lu, La, K, Hf, Fe, Eu, Dy, Cr, Co, Ce, Ca, Ba, Al. دسته دوم شامل ۱۳ عنصر است که با خطای بیشتر از ۱۰٪ و کمتر از ۵۰٪ تجزیه شده اند و عبارتند از: Yb, Tm, Tl, Tb, Sr, Sb, Ni, Nd, Cs, Cl, Au, As و Zr. دسته سوم شامل ۶ عنصر W, In, Hg, Ga, Cu, Ag است که با خطای بیشتر از ۵۰٪ تجزیه شده اند. بنابراین، روش فعال سازی نوترونی برای تجزیه و تحلیل ۲۴ عنصر دسته اول مطلوب و برای ۱۳ عنصر دسته دوم نسبتاً مناسب است، بدین معنی که در مقایسه با روشهای دیگر تجزیه آسانتر و سریعتر و کم هزینه تر است. اما برای شش عنصر دسته سوم، INAA ابزار مناسبی نبوده و بهتر است تجزیه و تحلیل آنها با روشهای دیگر انجام گیرد.

۱- مقدمه:

مختلف از این آب بویژه در کشاورزی، در واقع وارد چرخه غذایی مردم می شوند [۲]. بنابراین، آلوده شدن آب این رود به منزله از دست دادن مهمترین منبع آب استان است. فلزات سنگین چون خاصیت تجمع پذیری دارند و بعضی از آنها، حتی در غلظتهای کم سمی هستند، بخش مهمی از آلاینده ها را تشکیل می دهند. این عناصر معمولاً ترکیبات پایداری را تشکیل

به موازات رشد روزافزون جمعیت و صنایع، هر روز فاضلاب و زباله بیشتری تولید می شود. این آلاینده ها که اغلب حاوی عناصر سنگین و سمی هستند، معمولاً بدون کنترل وارد محیط زیست می شوند و در مواردی منجر به خسارات جبران ناپذیر می گردند. زاینده رود که مهمترین منبع آب قابل دسترس در استان خشک اصفهان است از جمله منابعی است که انواع پسمانهای شهری، صنعتی و کشاورزی در آن تخلیه می شوند [۱]. آلاینده هایی که از این طریق وارد آب رودخانه می گردند، با توجه به استفاده های

1- Neutron Activation Analysis
2- Instrumental NAA

می‌دهند که به توسط باکتری‌ها قابل تجزیه نیستند. از طرفی این ترکیبات از طریق آبهای طبیعی وارد چرخه «زیست محیطی» و زنجیره غذایی شده و مانند سموم جمع شونده در مصرف‌کننده‌های بعدی عمل می‌کنند [۳].

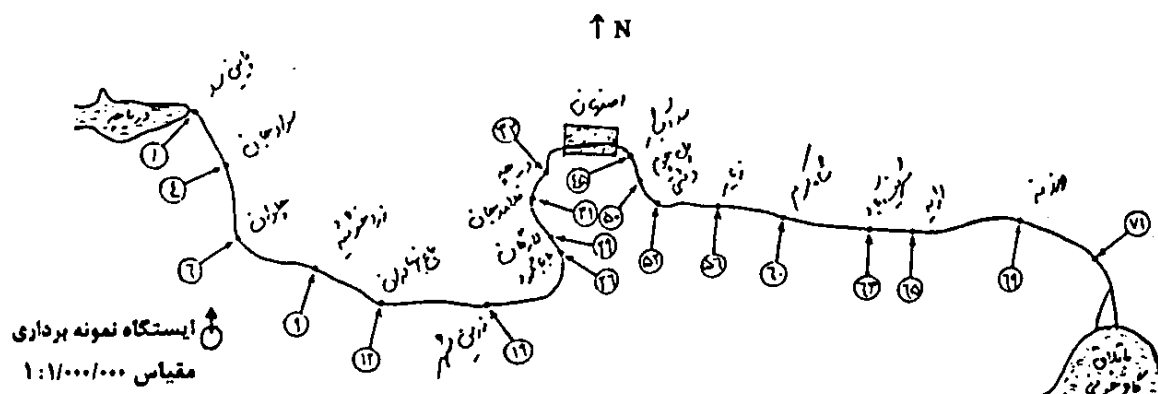
فلزات سنگین در رودخانه بین آب، رسوب، جانوران و گیاهان آبی توزیع می‌شوند. رسوب به سه دلیل مناسب‌ترین معیار سنجش آلودگی است: ۱- تمایل عناصر سنگین به تشکیل ترکیبات جامد، موجب می‌شود که بیشتر آنها با رسوبها همراه شوند. ۲- رسوبهای کف رودخانه کمتر از آب آن دستخوش تغییرات می‌شوند. ۳- بالا بودن غلظت این عناصر در رسوب، تجزیه و تحلیل آنها را آسانتر و در برخی از موارد عملی می‌سازد [۱۲، ۵، ۴، ۳، ۲].

۲- روش کار

تعداد ۱۷۱ ایستگاه از ساحل زاینده رود بر روی نقشه انتخاب شده و نمونه برداری در زمستان ۱۳۷۶ در مدت ۲۴ روز طی هفت مرحله انجام شد. شکل (۱) طرح ساده‌ای از مسیر زاینده رود، از سد تا باتلاق گاوخونی را که در آن نمونه برداری شده است نشان می‌دهد. دبی آب رودخانه در این فصل به حداقل میزان خود می‌رسد، لذا نمونه برداری از رسوب به سهولت امکان‌پذیر است. فاصله این ایستگاهها از هم، بسته به تراکم جمعیت و صنایع از یک تا پنج کیلومتر متغیر بوده است. نام ایستگاههای نمونه برداری در جدول ۱ مندرج است و ایستگاههای بدون نام، بین دو آبادی قرار داشته‌اند.

در هر ایستگاه سه نمونه با فاصله حدود یک متر، از رسوبهای ساحل رودخانه که در زیر آب قرار داشتند، برداشته شد [۳]. نمونه‌ها به وسیله بیلچه آلومینیومی برداشته و درون ظروف پلی اتیلنی ریخته شده‌اند. این نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه روی شیشه ساعتی ریخته شده و در زیر هود در دمای اتاق خشک شده‌اند. سپس به منظور امکان جداسازی ذرات با قطر مورد نظر، در هاون چینی نرم

با توجه به اهمیت مسأله آلودگی محیط زیست، انتخاب روشی قوی و مطمئن برای تجزیه نمونه‌های مورد مطالعه منطقی به نظر می‌رسد. تجزیه به روش فعال‌سازی نوترونی اولین بار به توسط هوسی^۲ و لوی^۴ در ۱۹۳۶/۱۳۱۵ معرفی شد. آنها از این روش برای اندازه‌گیری Dy و Eu در بافتهای نادر خاکی استفاده کردند. این روش در دهه ۱۹۴۰/۱۳۲۰ هنوز به صورت یک پدیده علمی ناآشنا بود. ساخته شدن رآکتورهای تحقیقاتی با شار نوترونی 10^{12}n/s.cm^2 سبب شد که NAA به صورت یکی از روشهای حساس آنالیز درآید. کارهای زیست محیطی روی عناصر سمی از مهمترین مواردی بود که به NAA عمومیت داد [۶]. امروزه NAA قابل رقابت با روشهای فوق العاده حساس تجزیه مانند AAS



شکل ۱ طرح ساده‌ای از مسیر زاینده رود از سد تا باتلاق گاوخونی که در آن نمونه برداری شده است.

جدول ۱ - ایستگاههای نمونه برداری

ردیف	نام محل	ردیف	نام محل	ردیف	نام محل	ردیف	نام محل	ردیف	نام محل
۱	اوزون آخار	۱۶	باباشیخ علی	۳۱	فلاورجان	۴۶	دبیرستان امام	۶۱	خرم
۲	گرم دره	۱۷	سده لنجان	۳۲	درچه	۴۷	بیمارستان چمران	۶۲	شریف آباد
۳	صادق آباد	۱۸	چم گردان	۳۳	کوه دنبه	۴۸	پینارت	۶۳	—
۴	سوادجان	۱۹	پل زرین شهر	۳۴	کوه آتشگاه	۴۹	پل اتوبان	۶۴	قلعه بالا
۵	—	۲۰	قرق آباد	۳۵	—	۵۰	پل اشکاوند	۶۵	اژیه
۶	چلوان	۲۱	آسیا آباد	۳۶	—	۵۱	حیدرآباد	۶۶	رنگی ده
۷	چم طاق	۲۲	درچه کلماران	۳۷	—	۵۲	دشتی	۶۷	فارغان
۸	چم گاو	۲۳	سه راه رود	۳۸	پارک پرندگان	۵۳	—	۶۸	قورتان
۹	زرد خوشویه	۲۴	سد نکو آباد	۳۹	—	۵۴	هرمدان	۶۹	ورزنه
۱۰	کرچگان	۲۵	فخرآباد	۴۰	پل وحید	۵۵	برکان	۷۰	—
۱۱	رحمت آباد	۲۶	دارگان	۴۱	پل فلزی	۵۶	پل زیار	۷۱	—
۱۲	باغباداران	۲۷	گرفشان	۴۲	سی و سه پل	۵۷	—		
۱۳	چم آسمان	۲۸	فیلرکان	۴۳	پل خواجه	۵۸	چم		
۱۴	پل کله	۲۹	لارگان	۴۴	پل بزرگمهر	۵۹	—		
۱۵	بیستجان	۳۰	گارماسه	۴۵	پل شهرستان	۶۰	شاه کرم		

3. Stream Sediments STSD-4
4. Lujvrite CRM No. 2124-81
5. Kassiterit KC-1 (BFKC-1)
6. Brown Coal Ash (BFBE-1)
7. Pyrit PS-1 (BFPS-1)
8. Noble Metals - Bearing Sulphide Concentrate (PTC-1a)
9. Zinc-Tin-Copper-Lead Ore Reference Material (MP-1a)
10. Tungsten Ore GB 7241
11. Marine Sediment GBW 7313
12. Greisen GnA

در مرحله اول برای تجزیه عناصر با نیمه عمر کوتاه، نمونه ها و استانداردها در کپسولهای پلی اتیلنی بسته بندی شده و به کمک دستگاه انتقال نمونه به رآکتور (ریت) به مدت یک دقیقه با شار

شده اند. مقادیر تقریباً مساوی از سه نمونه مربوط به هر ایستگاه کاملاً با هم مخلوط شده اند و به عنوان یک نمونه مورد آزمایش قرار گرفته اند. چون معمولاً آلاینده ها روی دانه های رسوب به صورت جذب سطحی جمع می شوند، مقدار آنها بسته به قطر ذرات متغیر است. برای رسیدن به نتایج قابل تفسیر، ذراتی که قطرشان به هم نزدیک بود به وسیله دو الک جدا شدند ($0/125\text{mm}$ > قطر $0/250\text{mm}$). دلیل انتخاب این بخش از رسوبها، که در طبقه بندی اندازه ذرات شن نرم نامیده می شود، وجود آن در کلیه نمونه ها بوده است [۱۰ و ۹]. از رسوبهای الک شده سه نمونه به وزن تقریبی ۱۲۰ میلی گرم برای سه مرحله پرتودهی برداشته و درون ورقه نازک پلی اتیلنی کدگذاری و بسته بندی شده اند. برای تجزیه و تحلیل کمی عناصر، از استانداردهای بین المللی زیر استفاده شده است:

1. Lake Sediments LKSD-2
2. Lake Sediments LKSD-4

مقادیر گزارش شده برای این استاندارد در جدول (۲) آمده است. لازم به توضیح است که ۱۷ عنصر (باقیمانده از ۴۳ عنصر) یا کمتر از حد تشخیص روش بوده‌اند و یا از خود این استاندارد برای تجزیه و تحلیل آنها استفاده شده است.

جدول (۲) مقادیر اندازه‌گیری شده و گزارش شده برای استاندارد LKSD-4. غلظتها به غیر از موارد Al, Fe, Ca, Mg, K, Na (که در صد آنها داده شده است) برحسب ppm می‌باشد.

ردیف	عنصر	مقادیر گزارش شده	مقادیر اندازه‌گیری شده
۱	Al%	۳/۱ ± ۰/۲	۳/۱۶ ± ۰/۱۵
۲	As	۱۶ ± ۱	۱۹/۸ ± ۲/۴
۳	Ba	۳۳۰ ± ۵۵	۲۹۶ ± ۵۹
۴	Ca%	۱/۳ ± ۰/۱	۱/۳۵ ± ۰/۲۷
۵	Ce	۴۸ ± ۶	۵۵/۸ ± ۲/۸
۶	Co	۱۱ ± ۱	۱۱/۰ ± ۰/۷
۷	Cr	۳۳ ± ۶	۳۵/۹ ± ۱/۸
۸	Cs	۱/۷ ± ۰/۶	۱/۶۹ ± ۰/۳۴
۹	Eu	۱/۱ ± ۰/۳	۱/۰۶ ± ۰/۰۷
۱۰	Fe%	۲/۸ ± ۰/۲	۲/۹۲ ± ۰/۱۵
۱۱	Hf	۲/۸ ± ۰/۵	۳/۰۱ ± ۰/۳۶
۱۲	K%	۰/۶۶ ± ۰/۰۵	۰/۷۱ ± ۰/۰۶
۱۳	La	۲۶ ± ۲	۳۲/۷ ± ۴/۹
۱۴	Lu	۰/۵ ± ۰/۱	۰/۹۸ ± ۰/۱۰
۱۵	Mg%	۰/۵۴ ± ۰/۰۴	۰/۵۷ ± ۰/۱۱
۱۶	Mn	۵۰۰ ± ۳۰	۵۱۶ ± ۲۸
۱۷	Na%	۰/۵۲ ± ۰/۰۲	۰/۵۹ ± ۰/۰۳
۱۸	Ni	۳۱ ± ۵	۲۷/۲ ± ۱۳/۶
۱۹	Rb	۲۸ ± ۱۰	۳۱/۰ ± ۶/۲
۲۰	Sc	۷ ± ۱	۷/۳۸ ± ۰/۳۷
۲۱	Sm	۵ ± ۰/۹	۴/۲۷ ± ۱/۲۸
۲۲	Th	۵/۱ ± ۰/۷	۵/۴۳ ± ۰/۳۸
۲۳	Ti%	۰/۲۳ ± ۰/۰۵	۰/۲۱ ± ۰/۰۴
۲۴	V	۴۹ ± ۸	۵۰/۸ ± ۵/۱
۲۵	Zn	۱۹۴ ± ۱۹	۲۰۵ ± ۱۶
۲۶	Zr	۱۰۵ ± ۱۷	۱۷۲ ± ۳۴

نوترونی $5 \times 10^{11} \text{ n/s.cm}^2$ پرتو دهی شده و پس از گذشت یک دقیقه، طیف گامای نمونه به مدت ۵۰۰ ثانیه جمع‌آوری شده است. در این طیف عناصر V, Ti, Mn, Mg, Cu, Cl, Ca, Al قابل تجزیه و تحلیل هستند. از همین نمونه‌ها پس از گذشت حدود یک ساعت، طیف دومی به مدت ۶۰۰ ثانیه گرفته شد که در آن عناصر U, W, Sr, Sm, Na, Mn, K, In, Ga, Dy, Cl تجزیه و تحلیل شده‌اند.

در مرحله دوم به منظور تجزیه عناصر با نیمه عمر متوسط، نمونه‌ها و استانداردها به مدت ۳۰ دقیقه با شار نوترونی $5 \times 10^{11} \text{ n/s.cm}^2$ پرتو دهی شده و پس از گذشت حدود دو روز، طیفها به مدت ۲۰ دقیقه جمع‌آوری شده‌اند. در این طیفها عناصر Na, La, K, Au, As, Sm تجزیه و تحلیل شده‌اند.

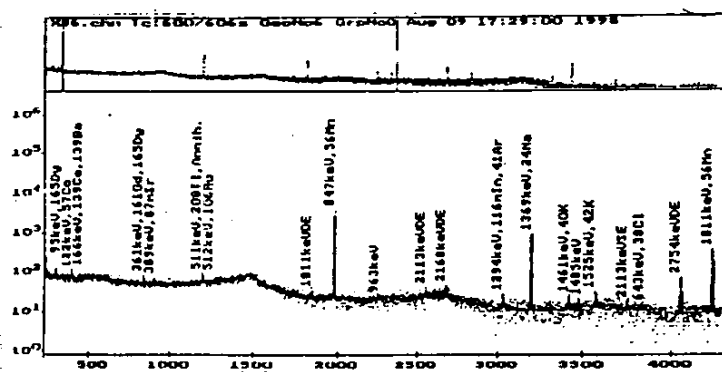
در مرحله سوم برای تجزیه و تحلیل عناصر با نیمه عمر طولانی از شار نوترونی $5 \times 10^{11} \text{ n/s.cm}^2$ به مدت ۶ ساعت استفاده شده و پس از گذشت حدود ۲۰ روز، طیف به مدت یک ساعت جمع‌آوری شده است. به کمک این طیف عناصر:

Ag, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Lu, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, Yb, Zn, Zr

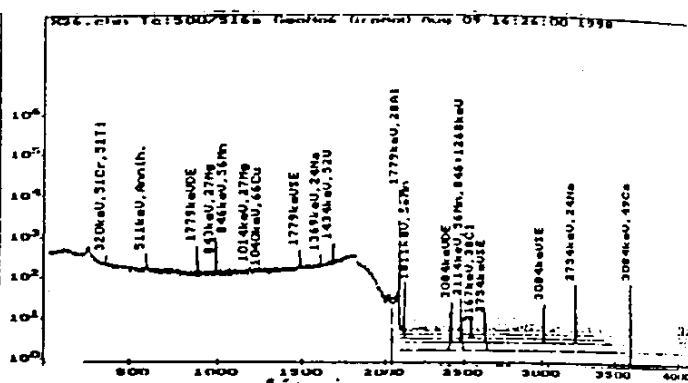
تجزیه و تحلیل شده‌اند. به طوری که ملاحظه می‌شود، برخی از عناصر با توجه به نیمه عمرشان، این امکان را بوجود می‌آورند که در دو مرحله تجزیه و تحلیل شوند. تجزیه و تحلیل تکراری این عناصر، خود دلیلی بر صحت مراحل سه گانه تجزیه است. بدیهی است به هنگام کاربرد، نتایج با خطای کمتر در نظر گرفته می‌شوند.

طیفها به وسیله سه آشکارساز $^5\text{HPGe}$ متفاوت (طیف اول نیمه عمر کوتاه روی پنجره آلومینیومی، طیف دوم روی پنجره بریلیومی و طیف‌های نیمه عمر متوسط و بلند روی Well type) درون دو نوع ^6MCA (۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ کانال) جمع‌آوری شده و کلیه مراحل محاسباتی به کمک نرم‌افزار SPAN انجام گرفته است. شکل (۲) چهار طیف مربوطه به مراحل مختلف آنالیز نمونه شماره ۳۶ را نشان می‌دهد.

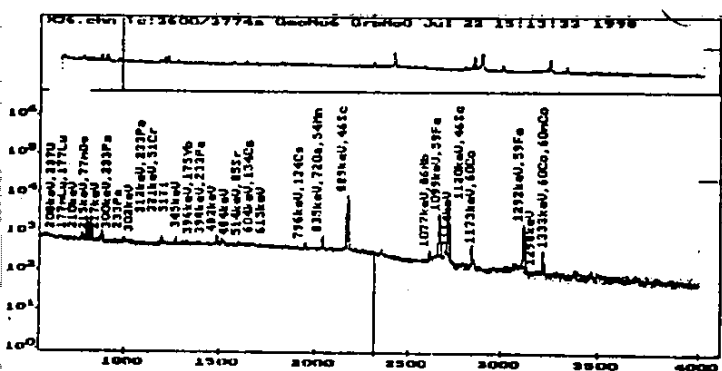
به منظور بررسی صحت و دقت روش، عناصر موجود در استاندارد رسوب دریاچه باکد LKSD-4 ساخت کشور کانادا تجزیه و تحلیل شد. مقادیر اندازه‌گیری شده ۲۶ عنصر به همراه



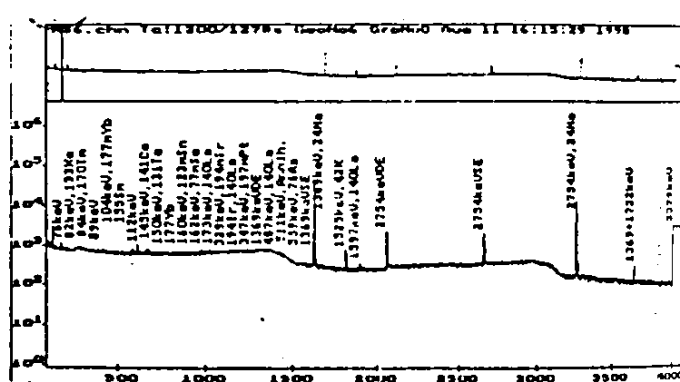
۱۰۰ (ب) طیف دوم عناصر با نیمه عمر کوتاه



الف) طیف اول عناصر با نیمه عمر کوتاه



▲ (د) طیف عناصر با نیمه عمر بلند



♣ (ج) طیف عناصر با نیمه عمر متوسط

▲ شکل ۲) طیف‌های جمع‌آوری شده برای تجزیه و تحلیل عناصر در نمونه شماره ۳۶

می‌شود. دسته دوم، عناصری که با خطای بیشتر از ۱۰٪ و کمتر از ۵۰٪ تجزیه شده‌اند. این گروه مشتمل بر ۱۳ عنصر: Zr, Yb, Tm, Ti, Tb, Sr, Sb, Ni, Nd, Cs, Cl, Au, As می‌باشد. دسته سوم، عناصری که با خطای بیشتر از ۵۰٪ تجزیه شده‌اند که شامل ۶ عنصر W, In, Hg, Ga, Cu, Ag می‌شود. همه عناصر دسته اول در تمام نمونه‌ها دیده شده‌اند؛ اما غلظت عناصر دسته‌های دوم و سوم به غیر از (Sr, Nd, Cs, As) و (Tb) در برخی از نمونه‌ها کمتر از حد تشخیص بوده است.

به کمک نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل می توان مطالعات بسیاری، از جنبه های مختلف بر روی زاینده رود انجام داد. به عنوان مثال نمودار تغییرات غلظت ارسنیک در مسیر رودخانه در شکل (۳) نمایش داده شده است. می دانیم ارسنیک سمی است که از نظر زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است. بررسی آماری نتایج بدست آمده از جنبه های مختلف، در آینده انجام خواهد شد.

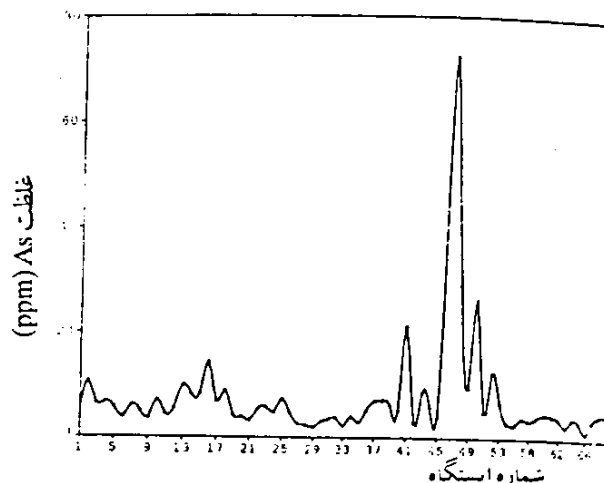
یافته‌ها و بحث درباره آنها

نتایج تجزیه و تحلیل برای پنج ایستگاه در جدول ۳ به عنوان نمونه گزارش شده است. خطای گزارش شده، براساس خطاهای شمارش و استاندارد محاسبه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که خطای تجزیه و تحلیل برای عناصر مختلف بسیار متفاوت است (از کمتر از ۱٪ تا حدود ۸۰٪) بطور کلی می‌توان گفت که خطای تجزیه برای یک عنصر خاص به سه عامل بستگی دارد: حساسیت روش تجزیه نسبت به آن عنصر، غلظت عنصر و بافت نمونه. با در نظر گرفتن نتایج و با توجه به ثابت بودن تقریبی محدوده غلظت و همچنین بافت نمونه‌ها، عناصر را برحسب خطای تجزیه (یعنی فقط خطای شمارش) می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: دسته اول، عناصری که با خطای کمتر از ۱۰٪ تجزیه شده‌اند. این دسته شامل ۲۴ عنصر:

Al, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Dy, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Mg,
Mn, Na, Rb, Sc, Sm, Ta, Th, U, V, Zn

جدول ۳. نتایج تجزیه و تحلیل برای ایستگاههای ۶۳، ۵۰، ۴۲، ۳۱، ۹

۶۳	۵۰	۴۲	۳۱	۹	Elm./Stn.
< ۱/۳	۵/۴ ± ۱/۱	< ۱/۳	< ۱/۴	۰/۸۷ ± ۰/۷۰	Ag
۴/۰۱ ± ۰/۰۲	۴/۰۵ ± ۰/۰۲	۴/۴۷ ± ۰/۰۲	۴/۶۵ ± ۰/۰۲	۵/۹۲ ± ۰/۰۳	Al%
۲/۴۹ ± ۰/۳۸	۲۶/۴ ± ۰/۵	۳/۰۰ ± ۰/۵۱	۳/۶۰ ± ۰/۵۱	۳/۷۹ ±	As
< ۰/۰۳	۰/۴۸ ± ۰/۰۵	< ۰/۰۴	< ۰/۰۴	۰/۰۲ ± ۰/۰۱	Au
۳۱۸ ± ۳۱	۲۷۲ ± ۲۸	۲۷۸ ± ۲۸	۲۹۰ ± ۲۷	۳۶۳ ± ۴۰	Ba
۱۲/۰ ± ۰/۷	۸/۹۸ ± ۰/۵۸	۱۱/۷ ± ۰/۶	۱۰/۶ ± ۰/۶	۶/۷۸ ± ۰/۵۴	Ca%
۳۹/۸ ± ۰/۴	۳۷/۶ ± ۰/۳۹	۲۹/۷ ± ۰/۲	۴۵/۱ ± ۰/۵	۳۴/۷ ± ۰/۴	Ce
۸۷/۸ ± ۱۸/۲	۸۵/۰ ± ۱۷/۲	۴۶/۵ ± ۱۲/۱	۴۵/۸ ± ۱۸/۱	۵۴ ± ۱۴	Cl
۱۰/۱ ± ۰/۳	۹/۱۳ ± ۰/۲۹	۱۲/۵ ± ۰/۴	۱۰/۰ ± ۰/۳	۱۵/۱ ± ۰/۵	Co
۶۲/۸ ± ۱/۱	۶۵/۱ ± ۱/۲	۶۲/۸ ± ۱/۱	۶۱/۰ ± ۱/۱	۸۲/۸ ± ۵/۲	Cr
۲/۱۳ ± ۰/۴۶	۳/۵۶ ± ۰/۷۶	۲/۴۲ ± ۰/۵۱	۲/۰۷ ± ۰/۴۲	۲/۹۲ ± ۰/۶۱	Cs
< ۲۷۹	۵۶۰ ± ۱۹۶	< ۲۹۱	< ۳۲۴	< ۳۶۰	Cu
۳/۱۱ ± ۰/۳۱	۲/۶۴ ± ۰/۲۶	۳/۲۲ ± ۰/۳۲	۳/۰۱ ± ۰/۳۱	۳/۶۹ ± ۰/۴۱	Dy
۰/۹۳ ± ۰/۰۳	۰/۷۱ ± ۰/۰۲	۰/۷۵ ± ۰/۰۲	۰/۷۵ ± ۰/۰۲	۰/۹۴ ± ۰/۰۳	Eu
۲/۵۲ ± ۰/۰۲	۲/۲۸ ± ۰/۰۲	۲/۷۷ ± ۰/۰۲	۲/۶۱ ± ۰/۰۲	۳/۷۲ ± ۰/۰۳	Fe%
< ۲۴	< ۲۳	< ۲۴	< ۲۷	۲۶ ± ۱۳	Ga
۲/۶۴ ± ۰/۳۰	۲/۷۲ ± ۰/۲۲	۲/۸۰ ± ۰/۲۲	۲/۵۰ ± ۰/۲۲	۳/۴ ± ۰/۳	Hf
< ۰/۱۳	۰/۶۷ ± ۰/۱۱	< ۰/۱۳	۰/۰۷ ± ۰/۰۳	< ۰/۱۸	Hg
< ۰/۱۲	< ۰/۱۱	< ۰/۱۱	< ۰/۱۵	< ۰/۱۳	In
۰/۸۵ ± ۰/۰۷	۰/۹۸ ± ۰/۰۸	۱/۰۱ ± ۰/۰۸	۱/۰۶ ± ۰/۰۹	۱/۲۲ ± ۰/۱۰	K%
۲۳/۱ ± ۳/۱	۱۸/۱ ± ۲/۴	۱۶/۷ ± ۲/۳	۱۷/۵ ± ۲/۳	۲۱/۵ ± ۲/۶	La
۰/۴۷ ± ۰/۰۵	۰/۳۰ ± ۰/۰۳	۰/۵۰ ± ۰/۰۵	< ۰/۰۴	۰/۵۲ ± ۰/۰۶	Lu
۰/۷۵ ± ۰/۰۸	۰/۸۲ ± ۰/۰۸	۰/۸۵ ± ۰/۰۸	۰/۸۵ ± ۰/۰۸	۱/۱۴ ± ۰/۱۰	Mg%
۵۴۲ ± ۵	۴۰۸ ± ۴	۴۴۴ ± ۴	۵۳۲ ± ۵	۶۶۶ ± ۷	Mn
۱/۲۶ ± ۰/۰۱	۰/۹۲ ± ۰/۰۱	۱/۳۳ ± ۰/۰۱	۱/۳۰ ± ۰/۰۱	۱/۳۰ ± ۰/۰۱	Na%
۱۷/۱ ± ۲/۶	۱۲/۳ ± ۴/۲	۱۱/۸ ± ۳/۰	۱۲/۴ ± ۴/۲	۱۲/۸ ± ۴/۰	Nd
۲۲ ± ۸	۴۰ ± ۱۱	۲۹ ± ۱۳	۲۷ ± ۱۲	۵۲ ± ۱۴	Ni
۴۹/۳ ± ۶/۰	۴۵/۶ ± ۵/۹	۵۲/۲ ± ۶/۶	۳۵/۸ ± ۴/۶	۶۴/۲ ± ۸/۱	Rb
< ۰/۱۱	۰/۹۳ ± ۰/۰۹	۰/۴۴ ± ۰/۰۸	< ۰/۱۲	< ۰/۱۴	Sb
۱۰/۹ ± ۰/۰۴	۸/۶۳ ± ۰/۰۴	۱۰/۵ ± ۰/۱	۱۰/۶ ± ۰/۱	۱۴/۹ ± ۰/۱	Sc
۴/۲۰ ± ۰/۲۴	۳/۵۶ ± ۰/۱۳	۳/۸۰ ± ۰/۲۱	۲/۶۹ ± ۰/۲۲	۲/۸۲ ± ۰/۱۲	Sm
۳۶۷ ± ۵۰	۲۰۰ ± ۲۷	۳۲۶ ± ۴۳	۱۸۰ ± ۲۴	۱۴۶ ± ۲۰	Sr
۰/۶۹ ± ۰/۰۴	۰/۷۲ ± ۰/۰۴	۰/۶۲ ± ۰/۰۴	۰/۶۵ ± ۰/۰۴	۰/۸۶ ± ۰/۰۶	Ta
۰/۸۲ ± ۰/۰۲۰	۰/۵۷ ± ۰/۰۳	۰/۵۶ ± ۰/۱۰	۰/۵۵ ± ۰/۱۵	۰/۸ ± ۰/۲	Tb
۴/۶۶ ± ۰/۰۷	۵/۱۷ ± ۰/۰۹	۴/۸۴ ± ۰/۰۷	۵/۰۲ ± ۰/۰۹	۵/۲۳ ± ۰/۰۹	Th
۰/۳۹ ± ۰/۰۵	۰/۳۱ ± ۰/۰۵	۰/۳۵ ± ۰/۰۵	۰/۴۴ ± ۰/۰۶	۰/۳۶ ± ۰/۰۶	Ti%
۰/۲۵ ± ۰/۰۳	< ۰/۰۳	< ۰/۰۳	۰/۰۶ ± ۰/۰۲	۰/۲۸ ± ۰/۰۳	Tm
۰/۵۶ ± ۰/۰۶	۰/۴۰ ± ۰/۰۴	۰/۴۰ ± ۰/۰۴	۰/۶۲ ± ۰/۰۶	۰/۵۶ ± ۰/۰۶	U
۷۶/۳ ± ۹/۴	۷۹/۲ ± ۸/۲	۷۶/۵ ± ۹/۴	۹۰/۶ ± ۹/۲	۱۲۰ ± ۱۲	V
۴۰/۳ ± ۲۴/۵	< ۶۱	۳۲/۷ ± ۲۲/۸	< ۷۲	< ۸۰	W
۱/۷۳ ± ۰/۳۶	۱/۰۴ ± ۰/۳۴	< ۰/۴۸	< ۰/۵۸	۲/۹۸ ± ۰/۶۰	Yb
۴۸/۴ ± ۴/۲	۴۵۳ ± ۶	۴۰/۵ ± ۴/۹	۸۴/۲ ± ۹/۳	۱۰۴ ± ۱۳	Zn
۴۹/۹ ± ۱۰/۲	۴۰/۷ ± ۸/۱	۳۲/۵ ± ۸/۲	۲۵/۹ ± ۷/۱	۳۲/۷ ± ۵/۸	Zr



شکل ۳: نمودار غلظت آرسنیک در ایستگاههای ۷۱ گانه

نتیجه گیری

در بسیاری از روشهای قدیمی تجزیه، از جمله جذب اتمی، تبدیل یک نمونه زیست محیطی (مانند رسوب رودخانه) به یک نمونه قابل اندازه گیری با دستگاه، شامل مراحل طولانی انحلال است که این مراحل برای عناصر مختلف، اغلب متفاوت هستند و خطاهای قابل ملاحظه‌ای در تجزیه وارد می‌کنند. علاوه بر این، اندازه گیری دقیق تعداد زیادی از عناصر، که غلظت بعضی از آنها در نمونه اندک است، با یک روش امکان پذیر نبوده و برای این منظور باید از

روشهای مختلف استفاده شود. بنابراین، اندازه گیری تعداد زیادی از عناصر موجود در رسوب رودخانه با روشهای کلاسیک مستلزم صرف زمان بسیار طولانی و هزینه بسیار زیاد است، و در برخی موارد از دقت کافی برخوردار نبوده و در مواردی هم غیر ممکن به نظر می‌رسد. به عنوان مثال می‌توان به تجزیه و تحلیل عناصر نادر خاکی (REE) در نمونه‌های رسوبی اشاره کرد. به دلیل تشابه خواص یونی این عناصر، همچنین عناصری مانند U و Th، در شبکه کانی شناسی جایگزینهای مناسبی برای کلسیم می‌باشند. بنابراین، در رسوبهای زاینده رود که غالباً از سنگ آهک‌های کوههای اطراف رودخانه نشأت می‌گیرند این گونه عناصر حضور دارند و NAA بهترین روش اندازه گیری آنها به شمار می‌رود. بنابراین، تجزیه به روش فعال سازی نوترونی (NAA) را می‌توان به عنوان یک روش مطلوب و در مواردی منحصر به فرد، برای تجزیه و تحلیل ۲۴ عنصر دسته اول در رسوبهای رودخانه بکار برد. برای تجزیه و تحلیل ۱۳ عنصر دسته دوم نیز روشی مناسب است و در مواردی که امکان تجزیه با روشهای دیگر با دقتهای مشابه وجود داشته باشد، با توجه به سهولت عمل، سرعت زیاد و هزینه کم [۱۱] این روش در اولویت است. به عکس در تجزیه ۶ عنصر دسته سوم روش مناسبی نیست و در صورت لزوم بایستی از روشهای دیگر تجزیه استفاده شود.

مراجع

- ۱- آلودگی رسوبات زاینده رود توسط فلزات سنگین و شناسایی منابع معین آلاینده، پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته خاکشناسی، نعمت... سبزیبایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۵).
2. H. Nakahara, M. Yanokura, Y. Marakami, Environmental effects of geothermal waste water on the near-by river system. J. Radioanalytical Chemistry, 45, 25-36, (1978).
3. R. Pardo, e. Barrado, L. perez, M. Vega, Determination & Speciation of Heavy Metals in Sediments of the Pisuerga River. Wat. Sci. 24(3), 373-9 (1990).
4. Trends in the Heavy Metal Content of River Sediments in the Drainage Basin of Smetting Activities C. Bertin, A. C. Bourg; Wat. Res 29(7), 1729-1736, (1995).
5. C.E. Seng, P. E. Lim, P.K. Chong, L.M. Wong. Heavy Metal Pollution in Sediments & Water of the Penage River, Malaysia, Water Qual Res. J. Canada 30(1), 39-43, (1995).
6. E.T. Contis, K. Rengan, (Ypsilanti, MI, USA) Evolution & Application of Radiochemical Procedures: From Marie Curie to Darleane Hoffman. J. Rad. & nucl. Chem. 203-2, 273-282, (1996).

7. S. Landsberger, S. Peshev (Urbana, Illinois , USA) Compton Suppression Neutron Activation Analysis: Past, Present & Future J. Rad & Nucl. Chem. 202, 199- 224, (1996).
8. E.J. Mantei, M. V. Foster . Heavy Metals in Stream Sediments, Effects of Human Activities, Environ. Geol. Water Sci, 18(2)95-104, (1991).
9. P.A. Helmke, R.D. Koons, P.J. Schomberg, I.K. Iskandar, Determination of Trace Element Concentration of Sediments by Multielement Analysis of Clay - size Fraction, Environ. Sci. Tech., 11(10), 984 -988, (1977).
10. C. Houba, J. Remacle, D.Dubois, J. Therez, Factors Affecting the Concentrations of Cd , An , Cu, Pb in the Sediments of the Vesdre River. Wat. Res., 17(10), 1281-1286,(1983).
11. E.A. UKEN , *P. HAHN - WEINHEIMER, **H. STARK*** Distribution of selected trace elements in samples of sediment, suspension & water taken along the Isar river, Bavaria. J. Radioanalytical Chemistry, 37, 741-750,(1977).
12. J.H.Taylor, Enrichments of Zn, Pb& Cu in Recent Sediments of Windermere, England, Environ. Sci. Tech., 13(6),693-697, (1979).

Application of Neutron Activation Analysis in Environmental Studies

R. Shirini - A. Ahmadianiar - Alikhanpoor - M. Kalbasi

MNSR Reactor Dep.

Nuclear Fuel Research & production center.

A.E.O.I., Nuclear Research Centre

P.O.Box 11365-3486

Tehran - Iran

Abstract

In this paper the ability of NAA in environmental researches is investigated. 71 samples of sediment from all over the Zayandehrood river in Esfahan province (Along 300 km) is collected and analysed by INAA method. Because of variety of particles size in samples they sieved by two different mesh sieves ($0.125\text{mm} < \text{Particle size} < 0.250\text{mm}$).

From each collected portion, three samples were chose (each ~ 120 mg) for different stages of analysis. Through three different stages of analysis 43 elements were analysed using 12 standard reference materials. According to statistical counting errors, all elements can be classified in three groups.

a) The elements with error less than 10% include

Al, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Dy, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Mg, Mn, Na, Rb, Sc, Sm, Ta, Th, U, V, Zn (24 elements).

b) The elements with error between 10% to 50% include As, Au, Cl, Cs, Nd, Ni, Sb, Sr, Tb, Ti, Tm, Yb, Zr (13 elements).

c) The elements with error more than 50% include Ag, Cu, Ga, Hg, In, W (6 elements).

Referring to above classification it can be concluded that in analysis of river sediment, NAA is an ideal method for analysis of 24 elements of first group. Concerning 13 elements of second group, because of ease, rapidity and low cost, this method is acceptable. But it is not acceptable for analysis of third group compared to the other methods of analysis.