



زیست‌ردیابی فلزات سنگین در هوای شهر اصفهان با استفاده از آنالیز برگ درختان به روش فعال‌سازی نوترونی

مجیدی، فرشاد* (۱)، آفریده، حسین (۲) - خورسندی، جمشید (۱)

(۱) سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

(۲) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

چکیده:

درختان از طریق جذب ذرات معلق و گازهای موجود در هوا، آب و هوای منطقه را تغییر داده باعث افزایش کیفیت هوا می‌شوند. با استفاده از این خاصیت درختان می‌توان از آنها به‌عنوان زیست‌ردیاب آلودگی هوا استفاده کرد. در این تحقیق با استفاده از آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی (NAA)، برگ درختان موجود در خیابان‌های اصفهان با هدف تعیین بهترین زیست‌ردیاب در بین گونه‌های نارون، توت و اقاقیا، آنالیز شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد که برگ درخت نارون بهترین زیست‌ردیاب در بین گونه‌های نامبرده می‌باشد. همچنین مشخص گردید که منطقه دروازه‌شیراز در بین ایستگاه‌های انتخابی بیشترین تاثیر از آلودگی هوای برگ درخت سنگین را دارد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، آنالیز، فعال‌سازی نوترونی، اصفهان، زیست‌ردیابی، برگ درخت، NAA

مقدمه:

در دو دهه‌ی اخیر استفاده از زیست‌ردیاب‌ها به‌عنوان ابزار پایش برای ارزیابی آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین، رشد زیادی داشته است. زیست‌ردیاب‌ها، گونه‌های خاصی از گیاهان یا جانوران موجود در یک محیط هستند که به‌صورت غیرمستقیم می‌توان آلودگی محیط‌زیست را با جمع‌آوری سیستماتیک و آنالیز آن‌ها اندازه‌گیری کرد. زیست‌ردیاب‌های گیاهی به‌عنوان ساده‌ترین و ارزان‌ترین شاخص فلزات سنگین در هوا می‌باشند. زیست‌ردیابی با گیاهان به‌صورت روزافزون به‌عنوان جایگزین روش‌های سنتی تعیین آلودگی هوا در اروپا در حال استفاده می‌باشد. گونه‌های مختلفی از گیاهان می‌توانند به‌عنوان زیست‌ردیاب استفاده شوند که هرکدام ویژگی خاصی در تعیین نوعی آلاینده دارد. [۱] یک زیست‌ردیاب خوب بایستی ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

- به‌آسانی قابل‌شناسایی بوده و نمونه‌برداری از آن آسان باشد؛
- در منطقه مورد مطالعه به‌وفور وجود داشته باشد؛
- ثبات و چرخه حیات طولانی داشته باشد؛
- دارای ژنتیک یکسان در منطقه مورد مطالعه باشد. [۲]

مشکل عمومی در استفاده از درختان به‌عنوان زیست‌ردیاب، این است که فلزات سنگین تنها از طریق هوا وارد درخت نمی‌شود بلکه از آب یا خاک نیز می‌توانند جذب ریشه شوند. در مقابل گونه‌های گیاهی مانند خزه و



گل سنگ چون وابسته به خاک نبوده و به نوعی تغذیه ریشه‌ای ندارند، مناسب‌تر می‌باشند [۳] با این حال بسیار سخت است که گونه یکسانی از آن‌ها را در منطقه‌ای وسیع جهت بررسی آلودگی هوا پیدا کرد. به همین دلیل استفاده از برگ درختان به‌عنوان زیست ردیاب استفاده وسیعی به‌ویژه در محیط‌های شهری پیدا کرده است. [۴] در مناطق خشکی مانند اصفهان که امکان رشد طبیعی خزه و گل سنگ وجود ندارد می‌توان از گونه‌های دیگر گیاهی مانند درختان استفاده کرد. بیشترین قسمت درختان که به‌عنوان زیست ردیاب آلودگی هوا استفاده می‌شود، برگشان می‌باشد. برگ‌های درختان دارای سطوح زیادی در واحد وزن بوده و لایه مومی سطح برگ قابلیت جذب و نگهداری گردوغبار و ذرات معلق و ترکیبات عالی غیر فرار را دارد. [۵] علاوه بر این درختان دارای توزیع خوبی در سطح شهر داشته و نمونه‌گیری از آنها راحت می‌باشد. در این تحقیق با توجه به گونه‌های درختان موجود در خیابان‌های اصفهان سه گونه‌ی توت، افاقیا و نارون با توجه به وجودشان در بیشتر خیابان‌های اصفهان انتخاب شدند. جهت آنالیز نمونه‌ها، از تسهیلات موجود در راکتور مینیاتوری اصفهان استفاده گردید. راکتور مینیاتوری چشمه نوترون اصفهان (MNSR) یکی از انواع راکتورهای است که با شار نوترون حرارتی 10^{12} n/cm².sec و داشتن تجهیزات مناسب، امکان آنالیز مواد به روش فعال‌سازی نوترونی را دارا می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش تعیین بهترین زیست ردیاب در محیط شهری اصفهان و همچنین تعیین منطقه با بیشترین تاثیرپذیری از آلودگی با فلزات سنگین هدف بعدی این تحقیق می‌باشد.

روش کار :

الف) نمونه‌برداری:

سه گونه‌ی درخت نارون، توت و افاقیا که تقریباً در بیشتر خیابان‌های اصفهان وجود دارند، به‌عنوان گونه‌های تحت مطالعه، انتخاب شدند. سعی شد محل سایت‌های انتخابی نمونه‌برداری چنان باشد که این سه گونه درخت در کنار یکدیگر بوده که بتوان شرایط محیطی (خاک، آب و هوا) یکسان برایشان در نظر گرفت. سایت‌های نمونه‌برداری به ترتیب عبارت بودند از ۱-چادگان (نمونه شاهد) ۲-پل مارنان ۳-دروازه شیراز ۴- شیخ صدوق ۵-میدان انقلاب ۶-رباط دوم. برای هرگونه درخت سعی در نمونه‌برداری از برگ‌های با اندازه تقریباً یکسان شد تا برگ‌های انتخابی عمر نزدیک به هم داشته باشند. در حین نمونه‌برداری تماس دست با سطح برگ وجود نداشت و خیلی با دقت درون پاکت‌های زیپ‌دار پلاستیکی قرار گرفتند. از لحاظ زمانی، تمامی نمونه‌برداری‌ها به فاصله ۴ روز انجام پذیرفت. به‌منظور جلوگیری از فساد نمونه‌ها سعی شد نمونه‌برداری در ساعات پایانی روز انجام شده و صبح فردای آن روز، عملیات شستشو و آماده‌سازی نمونه آغاز گردد.

ب) آماده‌سازی نمونه‌ها، پرتودهی و آنالیز:



در ابتدای عملیات آماده‌سازی نمونه‌ها، برگ‌های موجود در هر نمونه به دو قسمت تقسیم گردید. [۵] یک قسمت به صورت مستقیم و بدون انجام هیچ عملیاتی در آزمایشگاه مسقف و بدون وجود رفت‌وآمد و تهویه، به مدت یک هفته برای خشک شدن گذاشته شدند. [۶] قسمت دوم از برگ‌های هر نمونه ابتدا با جریان آب‌لوله‌کشی برای زدودن ذرات گردوغبار نهشته شده بر روی برگ‌ها، شسته شدند. سپس در دو مرحله و هر مرحله به مدت ۱۰ دقیقه در آب دیونیزه قرار گرفته و سپس نمونه‌ها جهت خشک شدن به درون آن با دمای 50°C به مدت ۷۲ ساعت منتقل شدند. [۷] بعد از خشک شدن نمونه‌ها چه شسته شده‌ها و چه شسته نشده‌ها، هرکدام با استفاده از یک هاون عقیق که به علت سختی آن کمترین میزان ناخالصی را به نمونه‌ها اضافه می‌کند، پودر گردیدند. از پودر هر نمونه، حدود 500 mg بر روی یک قطعه نایلون شسته شده با آب دیونیزه و الکل و به اندازه $6 \times 6\text{ cm}$ ریخته و با استفاده از جریان هوای داغ، نمونه‌ها بسته‌بندی شدند. با توجه به اینکه نمونه‌های مورد آزمایش برگ بوده و از نوع بیولوژی محسوب می‌گردند، لذا از استانداردهای بیولوژی که حدود غلظت عناصر موجود در آن مشابه نمونه‌ها بود، استفاده گردید. استانداردهای استفاده شده شامل مواردی مانند برگ درختان مختلف و همچنین آرد دانه‌های مختلفی از گیاهان بوده است.

نمونه‌های آماده شده درون کیسول‌های پلی‌اتیلنی قرار گرفته و به منظور پرتودهی کوتاه، هر نمونه توسط سیستم رابیت به درون راکتور انتقال یافته و به مدت ۲ دقیقه در فلاکس نوترونی $10^{11} \frac{n}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$ در یک جایگاه پرتودهی داخلی، پرتودهی شدند. سپس از آنجا خارج شده و به موقعیت هندسی از پیش تعیین شده که 10 cm با آشکار ساز فاصله داشت، انتقال داده شده و به مدت ۳۰۰ ثانیه در مقابل آشکار ساز HPGe قرار گرفت و طیف گامای هر یک جمع‌آوری شد. جهت پرتودهی بلند نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در فلاکس نوترونی $5 \times 10^{11} \frac{n}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$ در سایت‌های داخلی راکتور مورد پرتودهی قرار گرفتند. نمونه‌های پرتودهی شده در این مرحله طی دو نوبت مورد شمارش قرار گرفتند، بدین صورت که ابتدا بعد از حدود یک هفته واپاشی نمونه‌ها پس از پرتودهی، به مدت ۲۰۰۰ ثانیه برای عناصر نیمه‌عمر متوسط و بعد از حدود ۱۵ تا ۲۰ روز برای عناصر نیمه‌عمر بلند به مدت ۵۰۰۰ ثانیه شمارش شدند.

طیف‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPAN V.4.0 مورد آنالیز قرار گرفته و غلظت ۳۰ عنصر در نمونه‌ها تعیین گردید. در پرتودهی کوتاه نمونه‌ها، عناصر Al, Ca, Cl, K, Mg, Mn, Na, Ti, V مورد آنالیز قرار گرفته و عناصر As, Au, Br, La, Mo, Sb, Sm, U به‌عنوان عناصر نیمه‌عمر متوسط آنالیز شدند. همچنین عناصر Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Sc, Sr, Tb, Th, Zn در طیف‌های نیمه‌عمر بلند آنالیز گردیدند. در روش نسبی فقط خطای شمارش که در تعیین سطح زیر پیک موثر می‌باشد لحاظ می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که $\frac{\sigma_C}{C} = \frac{\sigma_S}{S}$ بوده که در آن S سطح زیر پیک و C غلظت نمونه مجهول می‌باشد. انحراف معیار σ_S یا خطای استاندارد سطح زیر پیک، همان \sqrt{S} می‌باشد.

نتایج :



از بین ۳۰ عنصر آنالیز شده در نمونه‌های برگ، ۱۴ فلز جهت بررسی انتخاب گردیدند. علت انتخاب این فلزات، غلظت‌هایشان در نمونه‌های شسته نشده نسبت به نمونه‌های شسته شده دارای اختلاف معنی‌دار بوده که یعنی آن عنصر از طریق هوا به برگ اضافه شده است، نه از طریق تغذیه ریشه‌ای پس نشان‌دهنده آلودگی هوا برد می‌باشند. عناصر یاد شده شامل Al, As, Ba, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, La, Sb, Sm, Th, U, Zn بوده که شامل فلزات سمی بحرانی و کمتر بحرانی می‌باشند. جدول‌های ۱ و ۲ نتایج آنالیز عناصر مورد بررسی در ایستگاه‌های شش‌گانه را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- نتایج آنالیز عناصر مورد بررسی در ایستگاه‌های ۱ تا ۳

		نارون	توت	اقاقیا	نارون	توت	اقاقیا	نارون	توت
		چادگان	چادگان	چادگان	پل‌مارنان	پل‌مارنان	پل‌مارنان	دروازه‌شیراز	دروازه‌شیراز
Al (ppm)	W*	297	281	151	304	243	194	440	472
	UW**	1274	874	772	1117	365	671	1922	1681
As (ppm)	W	0.04	0.1	0.13	0.3	0.11	0.86	< 0.17	< 0.24
	UW	0.44	0.31	0.22	0.46	0.18	0.98	0.79	0.62
Ba (ppm)	W	59	41.2	31.2	17.8	24.5	17.6	7.8	7.94
	UW	68.7	47.6	44.5	43.4	27.2	21.0	49.5	36.0
Co (ppb)	W	94	56	129	63	27	153	100	< 54
	UW	580	328	425	563	112	398	901	677
Cr (ppm)	W	0.33	0.38	0.18	0.74	< 0.33	0.42	0.5	0.32
	UW	2.9	2.1	1.9	4.5	0.5	2.3	5.8	4.6
Cs (ppb)	W	< 31	< 29	< 36	25	32	55	20	40
	UW	148	75	< 77	179	85	115	281	200
Fe (ppm)	W	142	151	92.5	129	52.5	211	211	136
	UW	1047	703	650	1080	191	681	1875	1354
Hf (ppb)	W	< 25	< 24	< 27	< 24	< 22	< 29	< 26	< 26
	UW	< 39	42	< 54	103	< 28	70	< 48	104
La (ppb)	W	94	51	25	< 33	< 28	97	111	55
	UW	704	415	400	608	111	392	1217	871
Sb (ppb)	W	< 14	< 41	25	172	29	230	235	165
	UW	75	92	55	1319	102	393	1375	1279
Sm (ppb)	W	16	9	6	< 4	< 4	< 5	< 5	< 5
	UW	147	77	75	109	31	84	217	164
Th (ppb)	W	< 23	< 21	< 23	< 21	< 22	< 29	26	< 23
	UW	209	127	106	161	< 24	117	346	229

*W: Washed

**UW: Un Washed

ادامه جدول ۱- نتایج آنالیز عناصر مورد بررسی در ایستگاه‌های ۱ تا ۳

	نارون	توت	اقاقیا	نارون	توت	اقاقیا	نارون	توت
--	-------	-----	--------	-------	-----	--------	-------	-----



		چادگان	چادگان	چادگان	پل مارنان	پل مارنان	پل مارنان	دروازه شیراز	دروازه شیراز
U (ppb)	W	< 43	< 42	< 41	< 40	< 39	< 50	< 49	53
	UW	< 64	< 52	< 78	78	98	129	170	< 69
Zn (ppm)	W	14.5	22.2	16.4	20.7	18.2	33.1	23.1	33.7
	UW	23.3	28.7	23.1	35.2	19.8	41.0	52.9	55.5

جدول ۲- نتایج آنالیز عناصر مورد بررسی در ایستگاه‌های ۴ تا ۶

		نارون شیخ صدوق	توت شیخ صدوق	اقاقیا شیخ صدوق	نارون انقلاب	توت انقلاب	نارون ریباط دوم	توت ریباط دوم
Al (ppm)	W	337	213	310	218	238	318	249
	UW	1402	1368	1047	1161	1094	880	755
As (ppm)	W	< 0.33	< 0.18	0.46	< 0.18	< 0.32	0.21	< 0.39
	UW	0.48	0.60	0.85	0.41	0.38	0.29	0.38
Ba (ppm)	W	23.4	10.5	28.3	16.6	17.4	9.9	< 7.3
	UW	43.3	39.2	35.4	31.3	32.3	17.2	8.7
Co (ppb)	W	61	15	438	40	42	46	32
	UW	738	556	597	473	400	332	305
Cr (ppm)	W	0.24	< 0.37	1.24	0.36	0.39	0.39	< 0.34
	UW	4.8	4.9	3.7	3.5	3.1	1.8	1.5
Cs (ppb)	W	< 38	15	85.3	< 35	< 33	< 30	< 26
	UW	149	156	179	167	101	123	82
Fe (ppm)	W	127	97.2	324	136	81.9	120	75.8
	UW	1349	1330	1013	1097	968	636	534
Hf (ppb)	W	< 24	< 25	< 34	< 0.21	< 23	< 24	< 22
	UW	134	108	99	96	102	47	< 32
La (ppb)	W	56	< 33	108	28	65	32	< 40
	UW	714	795	701	675	545	342	316
Sb (ppb)	W	176	131	463	105	74	40	< 30
	UW	1433	1171	959	707	535	153	140
Sm (ppb)	W	8	< 5	< 9	8	< 6	< 4	< 6
	UW	141	163	109	117	115	58	53
Th (ppb)	W	< 20	< 23	< 28	< 19	< 20	< 20	< 21
	UW	208	212	168	161	174	109	99
U (ppb)	W	< 54	< 44	< 90	< 43	< 54	< 42	< 56
	UW	< 72	< 67	< 101	71	56	46	< 59
Zn (ppm)	W	18.3	46.9	27.6	14.2	18.6	15	36.4
	UW	46.8	71.3	39.3	33.0	36.5	22.7	42.2

بحث و نتیجه گیری :



با بررسی جدول‌های ۱ و ۲، کاملاً مشخص است که در بین ۳ گونه مختلف برگ درختان، برگ درخت نارون در هر ایستگاه بیشترین مقدار نهشتگی ذرات معلق موجود در هوا را بر روی خود داشته است. همچنین نمونه‌های مربوط به ایستگاه یک (چادگان) که از منطقه شهری دور بوده و تاثیر ترافیک شهری در آن کم می‌باشد تقریباً برای بیشتر عناصر، کمترین مقادیر را نشان می‌دهد بجز عناصر صری مانند باریم، کبالت، آهن، ساماریوم، سزیم و توریم که میزان این عناصر قابل مقایسه با نمونه‌های شهری می‌باشند. می‌توان نتیجه گرفت که منشأ اصلی این عناصر در ذرات معلق موجود در هوا، موقعیت مشابه زمین‌شناختی دامنه کوه‌های زاگرس می‌باشد. از دید بیشترین تاثیر پذیرفتن منطقه‌ای، دروازه شیراز و شیخ صدوق بیشترین مقادیر را نشان می‌دهند که هر دو این مناطق در جنوب اصفهان و در نزدیکی یکدیگر می‌باشند.

مراجع :

- [۱] Allen C. McBride et al., "Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems," Ecological Indicators, Volume 11, Issue 5, Pages 1277-1289, September 2011.
- [۲] Q Zhou, J Zhang, J Fu, J Shi, and G Jiang, "Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem," Analytica Chimica Acta, Volume 606, Issue 2, Pages 135-150, 14 January 2008.
- [۳] B Kord, A Mataji, and S Babaie, "Pine (Pinus Eldarica Medw.) needles as indicator for heavy metals pollution," International Journal of Environmental Science & Technology, Volume 7, Issue 1, pp 79-84, December 2010.
- [۴] MS Serbula, DD Miljkovic, MR Kovacevic, and AA Ilic, "Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil," Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 76, Pages 209-214, 1 February 2012,.
- [۵] مریم ملا شاهی، حبیب‌علیمحمدیان، سید محسن حسینی، وحید فیضی، علیرضا ریاحی بختیاری، "پهنه بندی آلودگی هوای تهران به فلزات سنگین با استفاده از برگ‌های گونه توت"، جغرافیا و مخاطرات محیطی، vol. شماره هفتم، 1392، pp. 69-84.
- [۶] R Mejía-Cuero, G García-Rosales, L. C Longoria-Gándara, M.C López-Reyes, and P Ávila-Pérez, "Application of Neutron Activation Analysis for Determination of As, Cr, Hg, and Se in Mosses in the Metropolitan Area of the Valley of Toluca, Mexico," Journal of Chemistry, vol. 2015, 2015.
- [۷] S.B AIDID, "DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN LEAVES OF TROPICAL TREES IN MALAYSIA BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS," Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 120(2), pp. 335-344, 1988.

Bio-monitoring of heavy metals in air using leaves of trees in Esfahan urban environments by NAA

F.Majidi^{(1) (2)}, H.Afarideh⁽²⁾, J.Khorsandi⁽¹⁾

(1) Atomic Energy Organization of IRAN, Nuclear Science and Technology Research Institute, Reactor and Nuclear Safety Research School

(2) Amirkabir University of Technology, Department of Energy Engineering & Physics

Abstract

Urban plants can be affected with local and regional air pollution. Trees can change local Climate, alter pollution concentrations in urban areas, and remove gaseous air pollution or intercepting airborne particles. The feature of some plant species to accumulate certain elements, including heavy metals, can be used to show variations in pollutant concentration, either with time at one place, or from place to place. In this research leaves of 3 tree species exist in Esfahan streets including Elm, Mulberry and Acacia were analyzed by NAA. The results show that the Elm leaves are the best bio-monitor of airborne heavy metals and Darvazeh-shiraz region is the most polluted region by heavy metal airborne between selected stations.

Key Words: Bio-monitor, Air pollution, NAA, Leaves, Esfahan