

شناسایی و بررسی گیاهان نشانگر معدنی در منطقه کانی‌سازی چلیو (شمال کاشمر)

اعظم‌سادات علوی‌نژاد^۱ و سعید سعادت^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی نفت و زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- گروه مهندسی نفت و زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: saced.saadat@colorado.edu*

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۸

چکیده

ژئوبوتانی به عنوان یک ابزار مفید در اکتشاف مواد معدنی، امروزه در مباحث زیست‌محیطی و پاک‌سازی محیط‌های آلوده به فلزات و شبه فلزات کاربرد زیادی پیدا کرده است. منطقه چلیو در ۴۵ کیلومتری شمال شهرستان کاشمر (خراسان رضوی) قرار دارد. در این تحقیق، با توجه به وجود کانسار آنتیموان- طلا و ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی در کنار پوشش گیاهی خاص منطقه، مطالعه ژئوبوتانی گیاهان به منظور شناسایی و معرفی گیاهان نشانگر معدنی، معرفی گیاهان اندمیک و تاثیر ژئوشیمی منطقه بر متالوفیت‌های مهم انجام گردید. نمونه‌برداری در مراحل دقیق و مشخص از اندام گیاه و خاک محل ریشه گیاهان صورت گرفت. میزان عناصر در نمونه‌های خاک، ریشه و اندام هوایی گیاه مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی، میزان آرسنیک تمامی گونه‌های گیاهی برداشت شده بالاتر از حد طبیعی در گیاهان است. در گونه *Asperula glomerata subsp. Turcomanica* بالاتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در تن آرسنیک اندازه‌گیری شد. بیشتر گیاهان میزان بالاتری از حد طبیعی یک یا چند عنصر را در خود متمرکز کرده که هم به لحاظ اکتشاف مواد معدنی فلزی و هم از دیدگاه زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت است. با وجود نزدیکی نمونه‌های برداشت شده از نظر موقعیت مکانی، گیاهان میزان جذب بسیار متفاوتی را در هر عنصر نشان دادند. گیاه اندمیک *Astragalus hekmat-safaviae* با ضریب انباشت بسیار بالا آرسنیک (۹)، آنتیموان (۲۵) و مولیبدن (۵۱) را می‌توان به عنوان جاذب یا فرجاذب برای این سه فلز و به عنوان انباشتگر برای عناصر مس و روی (حدود ۱) معرفی کرد. گیاه *Asperula glomerata subsp. Turcomanica* از گیاهان بارز منطقه، برای عناصر روی و مولیبدن ضریب انباشتی حدود ۲ را نشان می‌دهد. گیاه *Jurinea sp.* که در این مطالعه برای اولین بار در منطقه مشاهده شده، ضریب انباشت و فاکتور ضریب انتقال بالاتر از یک را برای عناصر روی و مولیبدن نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ژئوبوتانی، بیوژئوشیمی، گیاهان نشانگر، فرا جاذب، کاشمر

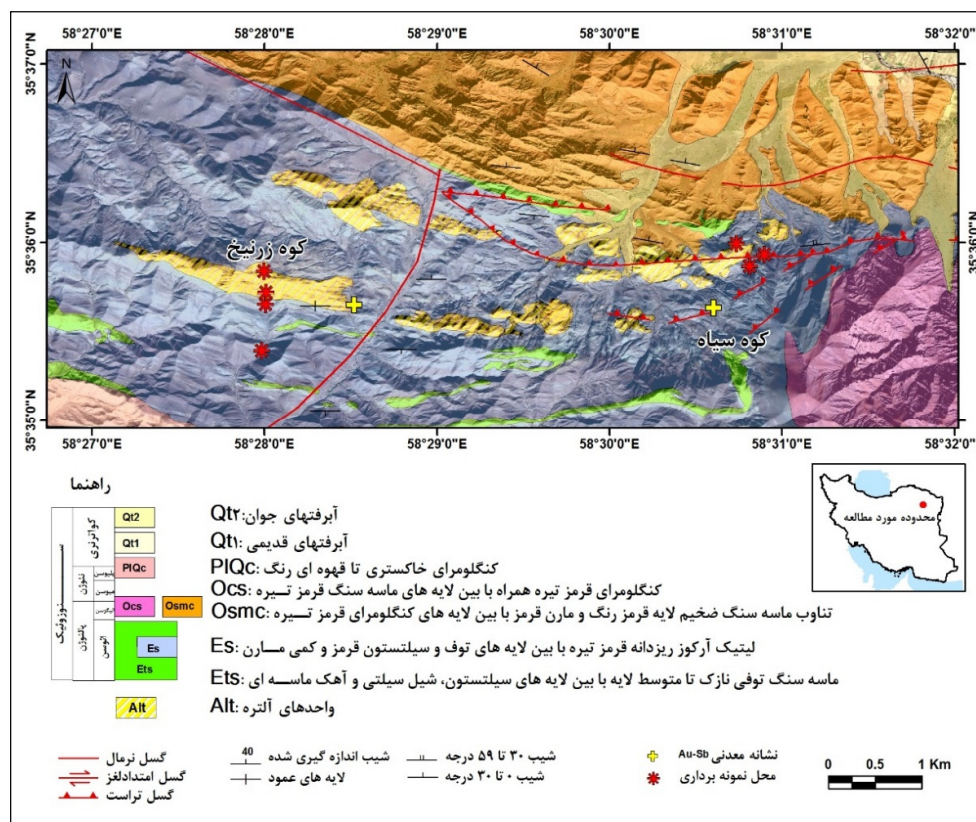
۱- پیشگفتار

زمین‌شناسی و کانسارسازی معینی دارند، می‌تواند ضمن کمک به شناسایی این گونه ذخایر، در ارزیابی‌های زیست‌محیطی مناطق آلوده کمک نماید. بطور مثال به منظور اکتشاف آرسنیک، آنتیموان و تنگستن از گیاهان ردیاب استفاده شده است (پراتاس و همکاران، ۲۰۰۵). توزیع فلزات در اطراف یک منطقه معدنی طلا در گونه‌ای از سرخس مورد مطالعه قرار گرفته است (غفور و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین تجمع آرسنیک در گیاهان اطراف یک منطقه معدنی قدیمی در لهستان بررسی شده است (درادراک و همکاران، ۲۰۲۰). ناحیه مورد مطالعه، در استان خراسان رضوی در محدوده شمالی شهرستان کاشمر قرار دارد (شکل ۱). منطقه معدنی چلیو در حدفاصل عرض‌های جغرافیایی "۳۴° ۳۵' تا ۳۷° ۳۵' شمالی و طول‌های جغرافیایی "۲۶° ۵۸' تا ۳۲° ۵۸' شرقی قرار

سابقه استفاده از روش‌های ژئوبوتانی (زمین گیاه‌شناختی)، بسیار بیشتر از روش‌های بیوژئوشیمی است. در مطالعات ژئوبوتانی گیاهان فلزدوست مورد توجه هستند. از آنجا که مناطق فاقد پوشش گیاهی به فراوانی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ اکنون به نظر می‌رسد بیشتر منابع معدنی کشف نشده جهان در زیر پوشش‌های گیاهی قرار دارد که این موضوع اهمیت استفاده از بیوژئوشیمی و ژئوبوتانی را دو چندان می‌کند. مطالعاتی که در سراسر جهان در ارتباط با نقش ژئوشیمی بر گیاهان انجام شده، منجر به معرفی گونه‌های مختلف گیاهان متالوفیت شده است. نظر به اینکه برخی از گیاهان قادر هستند یک یا چندین فلز یا شبه‌فلز آلاینده را جذب و در بافت‌های خود انباشته نمایند؛ شناسایی این گونه گیاهان در مناطقی که ویژگی‌های

ارزیابی‌های زیست‌محیطی منابع آب در خصوص عناصر سمی نظیر آرسنیک، بور و گوگرد (پرورش و همکاران، ۲۰۰۸)، حاکی از بالا بودن شاخص MI در برخی نمونه‌ها می‌باشد. ژئوشیمی رسوبات منطقه کوهسرخ و میزان آلودگی رسوبات منطقه به آرسنیک (طبسی و همکاران، ۲۰۰۹) مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که این رسوبات دارای آلودگی عناصر آرسنیک، طلا، مس، نیکل، کبالت و جیوه می‌باشند. هدف از این تحقیق، مطالعه ژئوبوتانی منطقه، آشکارسازی ارتباط ژئوشیمی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی بر گیاهان بومی منطقه، معرفی گیاهان اندمیک و شناسایی و معرفی گیاهان نشانگر معدنی این منطقه است.

گرفته است (شکل ۱). معروف‌ترین رشته کوه منطقه، رشته کوه جام با امتداد شرقی- غربی در قسمت جنوبی کوهسرخ افراشته شده است. مرتفع‌ترین قله آن، کوه سیاه با ۲۴۳۵ متر ارتفاع است. رشته کوه کم‌زنجیره دیگری در قسمت شمالی است که بلندترین قله آن، باغدشت با ارتفاع ۲۵۳۵ متر است. این منطقه به دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیک فعال و کانی‌سازی‌های مختلف مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمی (مظلومی، ۱۳۷۱) در منطقه طلادار چلیو و کلاته چوبک کوهسرخ انجام شده است. بررسی عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز کانه‌ها در کانسار چلیو و کلاته چوبک (نریمانی، ۱۳۸۰) حاکی از کانی‌سازی آرسنیک و آنتیموان در منطقه است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اکبری‌مقدم، ۱۳۹۴)

Fig. 1. Geological map of the study area (Akbari Moghadam, 2014)

کانسار) و از محل معدن متروکه طلا- آنتیموان برداشت شد. موقعیت نمونه‌های برداشت شده در شکل ۱ ارائه شده است. تعیین جنس و گونه کلیه نمونه‌های گیاهی برداشت شده در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور انجام تحقیق، با توجه به زمان گل‌دهی گیاهان منطقه (خرداد ماه)، از ۳۰ نمونه از گیاهان بومی منطقه و ۱۲ نمونه خاک پای هر گیاه از عمق حدود ۳۰ سانتی‌متری از دامنه غربی و شرقی کوه زرنیخ (حد غربی و شرقی

نمونه‌های ریشه گیاهان که از اندام هوایی جدا شده و دارای بافت ضخیم‌تر بودند، در آون در حرارت بین ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، با زمان از یک ساعت تا ۵ ساعت، خشک گردیدند (شکل ۲). نمونه‌های گیاه پس از خشک شدن به طور کامل آسیاب و از الک ۱۰۰ تا ۲۰۰ مش عبور داده شدند. هر نمونه خاک نیز به طور جداگانه بر روی کاغذهای تمیز پهن و در مکانی دور از گرد و غبار بدون استفاده از دستگاه خشک‌کن به مدت ۴ روز خشک گردید. سپس نمونه‌ها پودر شدند و از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند. در نهایت ۱۵ نمونه گیاه برای انجام آنالیز ۷۲ عنصری و ۷ نمونه خاک برای انجام آنالیز ۵۰ عنصری به روش ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال گردید.

در محل ریشه گیاهان گودالی به عمق ۳۰ سانتی‌متر حفر شد و با یک بیلچه تمیز پلاستیکی نمونه‌های خاک برداشت شد. سپس جهت جلوگیری از ورود آلودگی، هر نمونه درون کیسه پلاستیکی قرار داده شد و بر اساس نوع گیاهی که خاک ریشه آن برداشت‌شده نام‌گذاری شد. ریشه‌ها از عمق ۳۰ سانتی‌متری برداشت شدند تا گیاه با اندام کامل برداشت شود. پس از برداشت نمونه‌ها، اولین مرحله برای اندازه‌گیری کمی عناصر، آماده‌سازی نمونه‌ها بود. نمونه‌های گیاه پس از رسیدن به کمپ و کدگذاری در همان روز روی کاغذهای سفید در هوای آزاد پهن شدند. در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک و اندام‌های هوایی گیاه نظیر ساقه برگ و گل طی چهار روز در معرض هوا خشک شدند.



شکل ۲. تصاویری از مراحل برداشت و آماده‌سازی نمونه‌های مورد مطالعه

Fig. 2. Photos from sample collection and preparation process

(کاباپندیس، ۲۰۱۱). گیاهانی که فاکتور انباشت ریشه بالاتر از یک و فاکتور انتقال پایین‌تر از یک دارند، مناسب برای تثبیت گیاهی عناصر هستند (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۸؛ اید و همکاران، ۲۰۲۰) درحالی‌که گیاهانی که فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک و فاکتور انباشت ریشه

به منظور بررسی قابلیت انتقال^۱ و زیست انباشت^۲ فلزات سنگین در گیاهان از فاکتورهای ضریب انتقال (TF) (نسبت غلظت فلز در اندام گیاه به غلظت فلز در ریشه یا خاک اطراف ریشه) و انباشت (نسبت غلظت فلز در بخش ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک اطراف ریشه) استفاده شد

² Bioaccumulation Factor

¹ Translocation factor

مونت‌موریلونیت) تشکیل شده است. بلورهای ژپیس در جنوب و مرکز کانسار فراوان‌تر است. کانی‌های رالگار و اریپمنت در اکثر نقاط کانسار دیده می‌شود؛ لیکن فراوانی آن‌ها در بخش غربی بیشتر است کانی‌سازی محدود به یک واحد سنگی خاص نیست و در هر جا که گسل سنگ‌ها را قطع کرده و محل برای صعود سیالات مناسب بوده، کانی‌های فوق تشکیل شده است. در نواحی مرکزی کانسار بیشتر هماتیت و پیریت مشاهده می‌شود (مظلومی، ۱۳۷۱). محدوده معدنی چلیپو به لحاظ تنوع گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های منحصر به فرد گیاه‌شناسی، به عنوان یک اکوتون ویژه مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون گونه‌های مختلف اندمیک خاص این منطقه نظیر *Astragalus Scrophularia Khorasanensis* و *Neyshaburensis* به جهان معرفی شده است (جوهرچی، ۱۳۹۳). *Astragalus hekmat-safaviae* از گونه‌های اندمیک منطقه است که تنها در منطقه کوهسرخ شناسایی شده است (قهرمان‌نژاد، ۲۰۰۵). *Ferula alliacea* از گیاهان انحصاری که آنقوزه معروف کوه سرخ (جوهرچی، ۱۳۹۳) از آن استحصال می‌شود (شکل ۴).

کوچک‌تر از یک دارند، برای استخراج گیاهی عناصر از خاک مناسب هستند (گوپتا همکاران، ۲۰۰۸؛ اید و همکاران، ۲۰۲۰). برای بررسی همبستگی عناصر مختلف در منابع خاک و در گیاهان منطقه از ماتریس همبستگی اسپیرمن استفاده شد.

۳- محدوده مورد مطالعه

به لحاظ زمین‌شناسی، این محدوده در گستره نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان و کدکن واقع است. ناحیه چلیپو از سنگ‌های رسوبی متشکل از ماسه‌سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا (ائوسن) و واحدهای تپخیری تشکیل شده است (مظلومی، ۱۳۷۱). سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، تراکی‌آندزیت، داسیت و ریوداسیت هستند. این منطقه شدیداً تحت تاثیر دگرسانی هیدروترمال قرار گرفته که زون کانی‌سازی را در خود جای داده است. رگه کانه‌دار دارای روند شرقی-غربی و شیب آن به سمت شمال است. کانی‌سازی شامل استیپنیت، زرنیک زرد و قرمز، پیریت، ژپیس و کوارتز است (شکل ۳). بر اساس مطالعات کانی‌سازی ژاروسیت در مرکز زون و در طرفین آن کانی‌های رسی (کائولینیت و



شکل ۳. نمایی از زون دگرسان و کانی‌سازی رالگار، اریپمنت در ناحیه مورد مطالعه

Fig. 3. Alteration and mineralization zone of realgar and orpiment in the study area

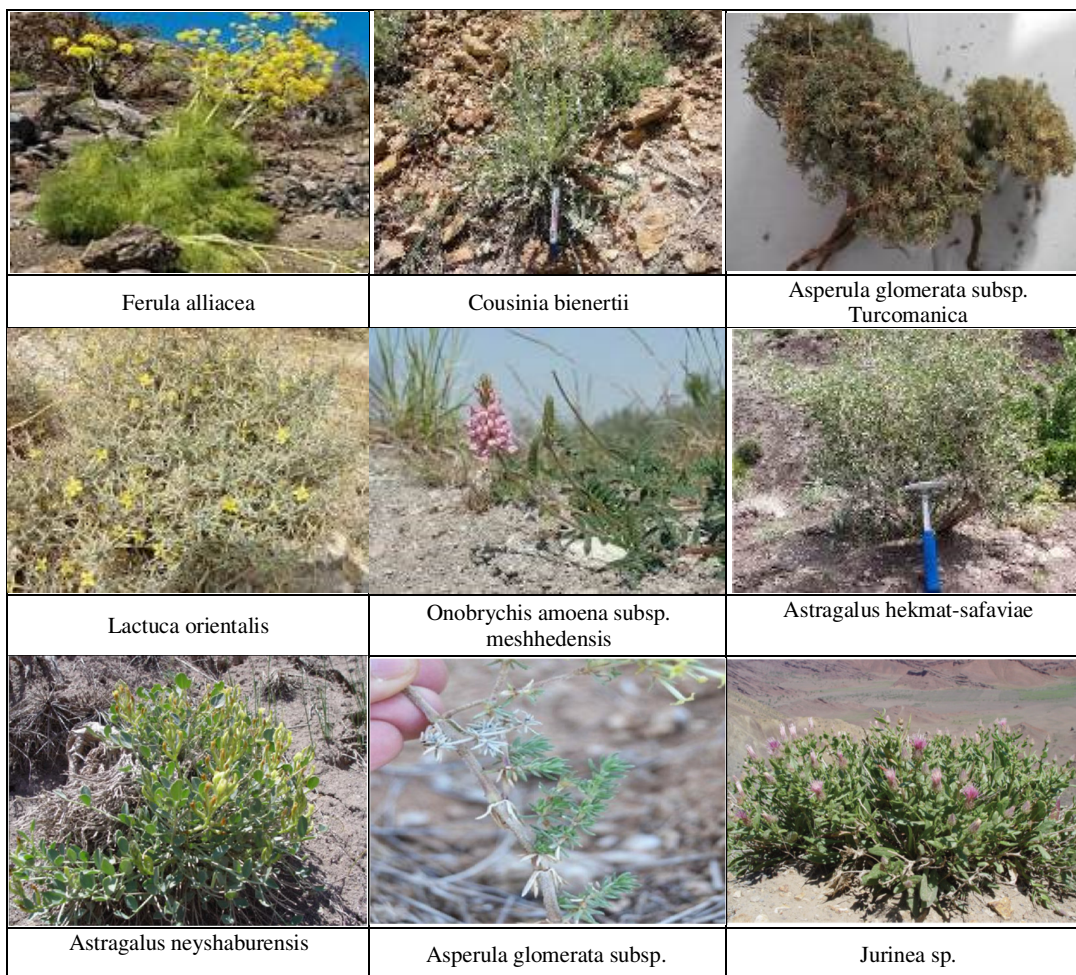
توسط گیاهان منطقه باشد. همچنین در منابع آب منطقه مقدار بالای آرسنیک ۶۵۰ میکروگرم در تن گزارش شده است (پرورش و همکاران، ۲۰۰۸). آثار مسمومیت آرسنیک در ساکنین مناطق همجوار (مانند اوند کوهسرخ) مشهود است (طیسی و همکاران، ۲۰۰۹). آرسنیک در طبیعت عمدتاً به صورت آرسنیک عنصری (0)، آرسنیت (III) و آرسنات (V) وجود دارد. واکنش‌های آرسنیک در خاک به شدت تحت تأثیر حالت اکسیداسیونی این عنصر است.

۴- نتایج

آرسنیک: در نمونه‌های خاک منطقه چلیپو میزان آرسنیک از ۷/۵ تا بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در تن متغیر است (جدول ۱ و شکل ۵). خاک منطقه از نوع سبک ماسه‌ای است و بستر کانی‌سازی ماسه‌سنگ‌های توفی است. خاک برداشت شده از محل ریشه گیاهان آرسنیک بسیار بالاتری را نسبت به تحقیقات پیشین (طیسی و همکاران، ۲۰۰۹) نشان می‌دهد که می‌تواند نشان‌دهنده تمرکز آرسنیک

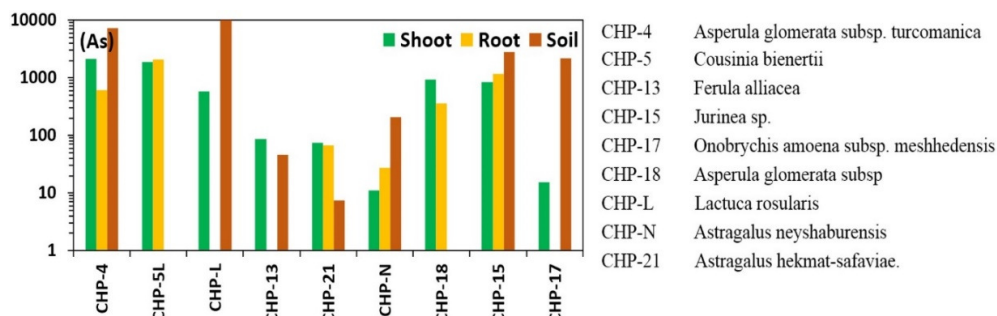
آرسنیک که به شدت در خاک جذب شده است، تمایلی به آزاد شدن مجدد در محیط ندارد و بطور معمول برای سال‌ها در خاک حفظ می‌شود؛ اما آرسنیک ترکیب شده با اکسیدهای آهن و آلومینیوم ممکن است در حین هیدرولیز با کاهش پتانسیل خاک آزاد شود (البسام و همکاران، ۱۹۷۵).

آرسنیک سه‌ظرفیتی As(III) حدود ۶۰ برابر سمی‌تر از آرسنیک پنج‌ظرفیتی As(V) موجود در مناطق اکسیدان است (کروال، ۲۰۰۴). اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم همبستگی قوی با As(V) دارند. یون‌های آرسنات به راحتی بوسیله ترکیبات خاک مثل رس‌ها، ژل‌های فسفات، هوموس و کلسیم در خاک تثبیت می‌شود.



شکل ۴. برخی گونه‌های گیاهی شاخص و بارز مورد مطالعه

Fig. 4. Some of specific studied plants



شکل ۵. مقایسه غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه

Fig. 5. Comparison of arsenic concentration in soil samples and different parts of studied plants

جدول ۱. نتایج آنالیز برخی عناصر در نمونه‌های برداشت شده گیاه و خاک (میلی گرم در تن)

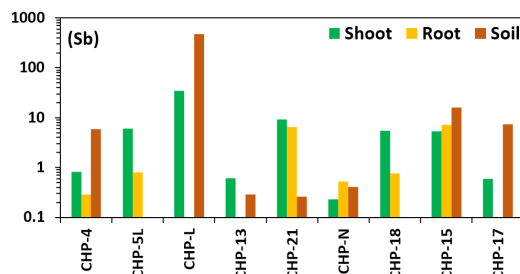
Table 1. The chemical analysis results of soils and plants (mg/ton)												
	Sample	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As	Sb	Cr	
Plant	CHP-4	0.46	14.36	9.33	40	140.1	11.73	302	2105.9	0.83	75.1	
	CHPR-4	0.26	11.54	1.02	72.3	45.2	3.9	121	605.7	0.29	29.1	
	CHP-4R	0.4	14.06	4.52	35.9	143.5	12	294	2101.2	0.8	74.6	
	CHP-5L	0.5	16.06	2.91	24.6	132.1	9.86	214	1864.6	6.04	69.2	
	CHP-L	1.63	17.4	0.78	43.9	15.2	1.67	162	573.2	34.58	11.9	
	CHP-13	0.52	8.28	1.13	23.8	8.7	1.17	70	86.7	0.61	8.3	
	CHPR-21	11.89	12.2	1.48	76.6	8.5	1.06	58	66.8	6.54	20	
	CHP-21	6.17	6.84	1.14	32.7	11.2	1.49	63	75.3	9.16	18.2	
	CHPR-N	0.41	12.32	1.4	42.5	17.2	2.03	64	27.5	0.53	16.8	
	CHP-N	1.4	8.48	0.92	41.4	7.2	0.74	42	11.1	0.23	11.5	
	CHPR-18	0.3	9.21	0.64	142.4	24.5	2.28	87	363.3	0.77	17.8	
	CHP-18	0.4	18.33	4.07	51.2	87.7	10.81	345	943.6	5.48	47.7	
	CHPR-15	0.41	40.11	3.79	44.5	86	12.1	441	1182.8	7.25	46	
	CHP-15	0.61	35.39	2.61	56	58.7	9.01	263	851.4	5.33	43.1	
	CHP-17	2.8	6.31	0.77	20.6	5.3	0.29	64	15.5	0.6	4.1	
	Soil	chs-15	0.33	101.73	7.37	48	163.3	22.5	734	2800.6	15.96	58.6
		chs-4	0.13	17.66	2.6	26.2	468.4	35.5	783	7312.9	5.86	99.8
chs-17		0.29	30.29	8.24	47.2	188.4	19.7	690	2163.3	7.35	55.4	
chs-21		0.23	36.21	7.64	66.8	180.5	27	859	7.5	0.26	76.2	
chs-N		0.35	29.48	8.27	58.4	219.4	26.1	983	205.3	0.41	80.8	
chs-12		0.53	94.4	9.22	72.6	116.7	21.8	800	46.1	0.29	50.5	
chs-L		0.68	43.58	2.51	28	233.6	25.5	677	>10000.0	477.86	124.3	

آنتیموان دارند، مقدار این عنصر در پوسته از ۱ میلی‌گرم در تن تجاوز نمی‌کند (کاباتاپندیاس، ۲۰۰۰). آنتیموان به آسانی جذب می‌شود و بنابراین در رسوبات رسی و اکسی هیدروکسیدها غنی‌شدگی نشان می‌دهد. دامنه تغییرات آنتیموان خاک در کشورهای مختلف از ۰/۳ تا ۹/۵ میلی‌گرم در تن گزارش شده است (جونز و همکاران، ۱۹۹۰). غلظت آنتیموان در خاک منطقه چلپو از ۰/۲۶ تا ۴۷۷ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۶). میانگین آنتیموان را در گیاهان زمین ۰/۰۶ میلی‌گرم در تن در وزن خشک گزارش شده است (بوون، ۱۹۷۹). آاکاس و همکاران (۱۹۷۷) غلظت آنتیموان را در گیاهان خوراکی ۰/۰۲ تا ۴/۳ میکروگرم در تن گزارش کردند. شاکلته و همکاران (۱۹۷۸) مقدار آنتیموان را در درختان و درختچه‌های رشد یافته در مناطق معدنی ۷ تا ۵۰ میلی‌گرم در تن در وزن خشک گزارش کردند. غلظت آنتیموان در گیاهان منطقه چلپو از ۰/۲۳ تا ۳۴/۲۸ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۶). بر اساس نتایج بدست آمده میزان آنتیموان در اندام گیاهان نمونه‌های شماره CHP-4، CHP-5L، CHP-18 و CHP-21 بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۶).

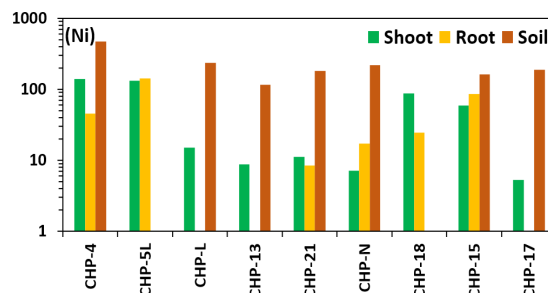
غلظت آرسنیک در گیاهان بطور معمول از ۰/۰۱ تا ۵ میلی‌گرم در تن (وزن خشک) متغیر است (زیولان و همکاران، ۲۰۰۵). البته حد آستانه سمیت در گیاهان غیرجاذب آرسنیک تقریباً ۱۰۰-۵ میلی‌گرم در تن است (کاباتاپندیاس، ۲۰۰۰). میزان آرسنیک در نمونه گیاهان برداشت شده از منطقه چلپو بین ۱۱/۵ تا ۲۱۰۵ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۵). تمرکز آرسنیک در تمام گیاهان مورد بررسی بالاتر از حد طبیعی و آستانه است. تغییرات غلظت آرسنیک در فاصله کم با توجه به موقعیت نمونه‌برداری، بیانگر رفتار متفاوت گیاهان در جذب و استخراج این عنصر شبه‌فلزی از خاک است. واکنش‌های آرسنیک در خاک به شدت تحت تأثیر حالت اکسیداسیونی این عنصر است. مقایسه میزان تمرکز آرسنیک در خاک، ریشه و اندام هوایی گیاهان در نمودار (شکل ۵) ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان آرسنیک در اندام گیاهان نمونه‌های شماره CHP-4، CHP-18 و CHP-21 بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۵). آنتیموان: فراوانی آنتیموان در پوسته پایین است و به استثناء رسوبات رسی که بیش از ۲ میلی‌گرم در تن

تأثیر pH خاک است. نیکل به آسانی از خاک به وسیله گیاه به ویژه گیاهان فراجاذب مثل گونه *Alyssum* (قدومه یا سنبل) استخراج می‌شود. معمولاً تغییرات مقدار نیکل اضافی یا سمی در بیشتر گونه‌های گیاهی از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در تن (وزن خشک) می‌باشد. حساس‌ترین گونه‌های مختلف گیاهی برای تحمل زیاد و فراجاذب بودن نیکل اساساً از خانواده‌های *Cruciferae*، *Baraginaceae*، *Myrtaceae*، *Leguminosae* و *Caryophyllaceae* هستند (کروکبرگ و همکاران، ۱۹۹۳؛ اشواریا و همکاران، ۱۹۹۸) که جذب‌کننده کبالت نیز هستند. غلظت نیکل در گیاهان منطقه چلیو از ۷/۲ تا ۱۴۰/۱ میلی‌گرم در تن متغیر است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان نیکل در اندام گیاهان نمونه‌های شماره CHP-4، CHP-18 و CHP-21 بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۷).

نیکل: مقدار نیکل در سنگ‌های الترامافیک (۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در تن) بیشترین مقدار است و در گرانیت به ۵ تا ۱۵ میلی‌گرم در تن می‌رسد. سنگ‌های رسوبی دارای ۵ تا ۹۰ میلی‌گرم در تن نیکل هستند که بیشترین آن در سنگ‌های رسی و کمترین آن در ماسه‌سنگ‌ها است (کاباتاندیاس، ۲۰۰۰). مواد آلی توانایی شدیدی در جذب نیکل نشان می‌دهند. خاک‌های سرتاسر جهان مقدار نیکل در محدوده گسترده‌ای از ۰/۲ تا ۴۵۰ میلی‌گرم در تن دارا هستند. غلظت نیکل در خاک منطقه چلیو از ۱۱۶/۷ تا ۴۶۸/۴ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۷). نتایج بررسی خاک برداشت شده از محل ریشه گیاهان تمرکز بالای نیکل را نشان می‌دهد. نیکل به آسانی و به سرعت به وسیله گیاهان از خاک‌ها جذب می‌شود و به طور مثبتی با تجمع نیکل خاک انطباق دارد. مشخص‌ترین عامل بر جذب نیکل،



شکل ۶. مقایسه غلظت آنتیموان در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 6. Comparison of antimony concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)



شکل ۷. مقایسه غلظت نیکل در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 7. Comparison of nickel concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)

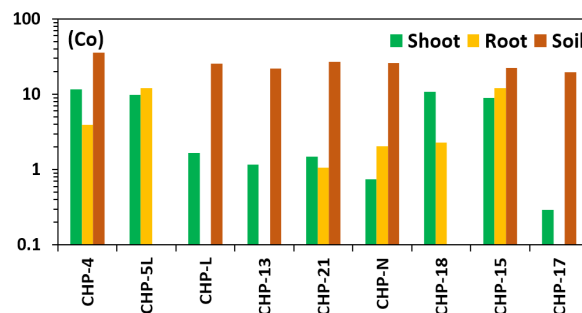
Eh-pH خاک، مواد آلی و مقدار رس است. مقدار کبالت و توزیع آن در افق‌های خاک نیز به فرآیندهای تشکیل خاک وابسته است و بنابراین برای خاک‌های مناطق اقلیمی مختلف متفاوت است. معمولاً مقدار کبالت بالا در خاک‌های سطحی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده می‌شوند. غلظت کبالت در خاک منطقه چلیو از ۱۹/۷ تا ۳۵/۵ میلی‌گرم در تن متغیر است. غلظت کبالت در گیاهان منطقه چلیو از ۰/۷۴ تا ۱۲/۱ میلی‌گرم در تن متغیر است.

کبالت: کبالت در سنگ‌های الترامافیک (۱۰۰ تا ۲۲۰ میلی‌گرم در تن) در مقایسه با سنگ‌های اسیدی (۱ تا ۱۵ میلی‌گرم در تن) تمرکز بالایی دارند. پوسته زمین به طور کلی میانگین ۲۵ میلی‌گرم در تن کبالت دارد (کاباتاندیاس، ۲۰۰۰). فراوانی کبالت در سنگ‌های رسوبی تغییراتی از ۰/۱ تا ۲۰ میلی‌گرم در تن دارد و به نظر می‌رسد با کانی‌های رسی یا مواد آلی همراه باشد. تحرک کبالت در خاک تحت تأثیر اکسیدهای منگنز، شدت

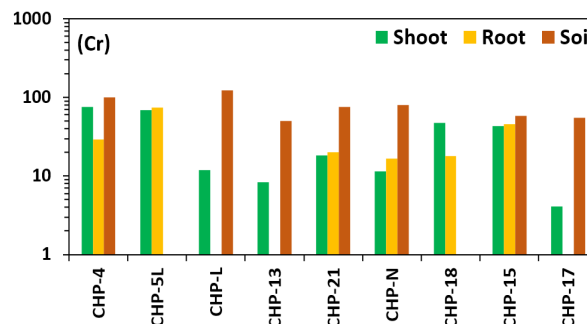
در تن باشد (کاباتاپندیاس، ۲۰۰۰). تغییر سریع حالت اکسیداسیون کروم تقریباً به فرآیند اکسیداسیون- کاهش آهن و منگنز در خاک مرتبط می‌باشد (جیمز و همکاران، ۱۹۹۷). خاک‌های مناطق سرپانتینی ۰/۲ تا ۰/۴ درصد کروم دارند. خاک‌های ماسه‌ای و هیستوسل‌ها معمولاً فقیرترین خاک‌ها از نظر کروم محسوب می‌شوند که به طور میانگین به ترتیب ۴۷ و ۱۲ میلی‌گرم در تن کروم دارند. میانگین زمینه کروم برای خاک‌های سطحی جهان، ۵۴ میلی‌گرم در تن محاسبه شده است. غلظت کروم در خاک منطقه چلیواز ۵۰/۵ تا ۱۲۴/۳ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۹). نرخ جذب کروم توسط گیاهان به فاکتورهای متعدد گیاه و خاک وابسته است. معمولاً محتوای کروم بالاتری در ریشه‌ها نسبت به شاخه و برگ مشاهده شده، در حالی که کمترین غلظت در دانه‌ها است. نرخ پایین جذب کروم توسط گیاهان از بخش محلول این فلز، مرتبط با مکانیسم جذب، توسط ریشه است (هافمن و آلاوی، ۱۹۷۳). غلظت کروم در گیاهان منطقه چلیواز از ۴/۱ تا ۶۹/۲ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۹). بر اساس نتایج بدست آمده میزان کروم در اندام گیاهان نمونه‌های شماره ۴-CHP و ۱۸-CHP بیشتر از ریشه‌ها بوده است.

غنی‌شدگی خاک با کبالت باعث افزایش مقدار این فلز در گیاهان می‌شود. کبالت به آسانی به وسیله برگ‌ها از طریق پوست آن جذب می‌شود. اگر کبالت به صورت اضافی به وسیله ریشه‌ها جذب شود، اساساً از جریان تبخیر پیروی می‌کند و در نتیجه باعث غنی‌شدگی کبالت در حواشی و نوک برگ‌ها می‌شود. گونه‌های گیاهی مختلف، اساساً از خانواده‌های *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Legyminosae*, *Nyssaceae*, *Myrtaceae*, *Boraginaceae* تجمع دهنده‌های کبالت شناخته شده‌اند (بروک و همکاران، ۱۹۷۷؛ بیکر و همکاران، ۱۹۸۳) و همچنین به عنوان نشان‌گرهای بیوشیمیایی پیشنهاد شده‌اند. اکثر این گیاهان در خاک‌های سرپانتینی یا معادن مس-کبالت ممکن است دارای ۲۵۰۰ تا ۱۷/۷۰۰ میلی‌گرم در تن (وزن خاکستر) کبالت باشند. بر اساس نتایج بدست آمده میزان کبالت در اندام گیاهان نمونه‌های شماره ۴-CHP، ۱۸-CHP و ۲۱-CHP بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۸).

کروم: محتوای کروم در سنگ‌های الترامافیک می‌تواند بیش از ۳۰۰۰ میلی‌گرم در تن باشد و در سنگ‌های اسیدی (نظیر گرانیت‌ها) ممکن است کمتر از ۵۰ میلی‌گرم



شکل ۸. مقایسه غلظت کبالت در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 8. Comparison of cobalt concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)



شکل ۹. مقایسه غلظت کروم در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 9. Comparison of chromium concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)

و جمع شونده‌ترین فلز در بافت‌های ریشه است. مقدار سرب گیاهان در منطقه چلیو از ۰/۶۴ تا ۹/۳۳ میلی‌گرم در تن متغیر است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان سرب در اندام گیاهان نمونه شماره 4-CHP، بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۱۱).

روی: در سنگ‌های مافیک اندکی افزایش (۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم در تن) و در سنگ‌های اسیدی اندکی کاهش (۴۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در تن) در میزان روی مشاهده می‌شود. غلظت روی در رسوبات رسی و شیل‌ها بیشتر و از ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم در تن تغییر می‌کند؛ اما در ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های غنی از کربن، تغییراتی از ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در تن دارد (کاباتاپندیاس، ۲۰۰۰). مقدار روی خاک در منطقه چلیو از ۲۶/۲ تا ۷۲/۶ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۱۲). مقدار روی گیاهان در منطقه چلیو از ۲۰/۶ تا ۱۴۲/۴ میلی‌گرم در تن متغیر است. جذب روی با غلظت فلزات در محلول‌های غذایی و خاک‌ها رابطه خطی دارد. در مقادیر بالای pH (۷/۷-۸/۲)، به ندرت جذب روی در ارتباط نزدیک با میزان آن در خاک است. حدود سمیت روی به گونه‌های گیاهی و ژنوتیپ‌ها و نیز مراحل رشد بستگی دارد. غالباً سطوح سمیت در گیاهان از ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در تن متغیر است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان روی در اندام گیاهان نمونه‌های شماره 15-CHP، بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۶). برخی گونه‌ها مانند *Thlaspi ochroleucum* و *Thlaspi caerulescens* به عنوان فراجاذب روی شناخته می‌شوند و برای پاک‌سازی برجای خاک پیشنهاد می‌شود (چاندر و همکاران، ۲۰۲۲).

۵- بحث

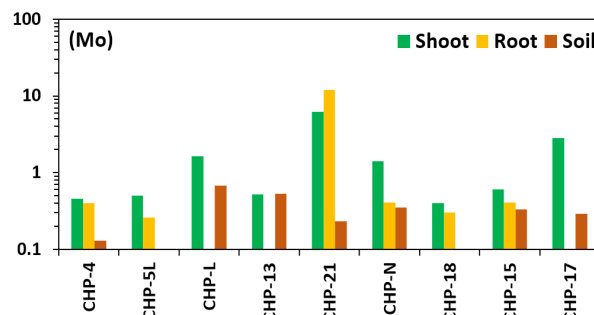
رفتار گیاهان در جذب عناصر متفاوت است (جدول ۲) و بنابراین ضریب انتقال برای تمام گیاهان یکسان نخواهد بود (کاباتاپندیاس، ۲۰۱۱). جذب عناصر توسط گیاه تحت تاثیر عوامل مختلفی تغییر می‌کند. مهمترین عاملی که در جذب عناصر موثر است، گونه گیاهی است، هرچند مکانیزم‌هایی که انحلال عناصر در خاک را تنظیم می‌کنند نیز می‌توانند قدرت گیاهان را در جذب عناصر تحت تاثیر قرار دهند (علیپور، ۱۳۸۴). نرخ جذب تابعی از حضور یون هیدروژن و دیگر یون‌ها است و شدت جذب تابعی از نوع و سن گیاه است. فرایند جذب نسبت به دما، هوادهی خاک و پتانسیل احیا حساس است و در مجموع ناحیه

مولیبدن: فراوانی مولیبدن روی سطح زمین، حدوداً ۳ میلی‌گرم در تن و مقدار متداول در سنگ‌های آذرین اسیدی ۱ تا ۲ میلی‌گرم در تن است (کاباتاپندیاس، ۲۰۰۰). در رسوبات گل و لای غنی از مواد آلی، ممکن است بالاتر از ۲ میلی‌گرم در تن مولیبدن باشد. دامنه آن در خاک‌های جهان ۰/۱۳ تا ۱۷ میلی‌گرم در تن است. غلظت مولیبدن در خاک منطقه چلیو از ۰/۱۳ تا ۰/۶۸ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۱۰). حلالیت و در نتیجه دسترسی مولیبدن برای گیاهان، بشدت توسط pH خاک و شرایط زهکشی کنترل می‌شود. مولیبدن از خاک‌های قلیایی مرطوب، براحتی جذب شده، اما فرایندهای ژئوشیمیایی درگیر در این عمل کاملاً مشخص نشده است. در خاک‌های اسیدی (pH کمتر از ۵/۵) با محتوای مولیبدن پایین و بخصوص در نمونه‌های با اکسید آهن بالا، مولیبدن به سختی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. معمولاً یک رابطه مثبت بین جذب نسبی مولیبدن و pH خاک مشاهده می‌شود (تورنتون، ۱۹۸۱). غلظت مولیبدن در گیاهان منطقه چلیو از ۰/۳ تا ۱۱/۸۹ میلی‌گرم در تن متغیر است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان آنتیموان در اندام گیاهان همه نمونه‌ها به جز نمونه 21-CHP بیشتر از ریشه‌ها بوده است (شکل ۱۰).

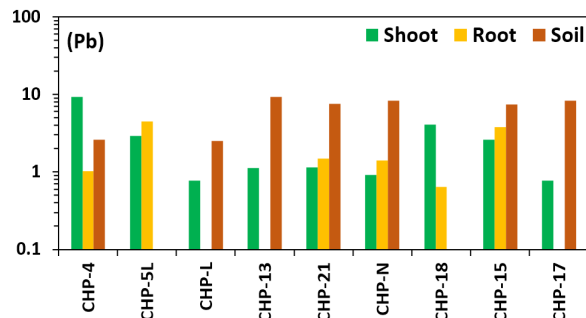
سرب: فراوانی سرب در سنگ‌های اسیدی و رسوبات آرژیلی بیشتر است که در محدوده ۱۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در تن قرار می‌گیرد، در حالی که در سنگ‌های اولترامافیک و رسوبات آهنی تغییرات آن از ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌گرم در تن است. متوسط فراوانی سرب در پوسته زمین در حدود ۱۵ میلی‌گرم در تن و برای خاک‌های سطحی ۲۵ میلی‌گرم در تن برآورد شده است. هیستوسول‌ها از سرب غنی هستند و متوسط ۴۴ میلی‌گرم در تن سرب دارند (کاباتاپندیاس، ۲۰۰۰). سرب کمترین تحرک را در بین دیگر فلزات سنگین دارد و مقدار طبیعی آن در خاک به شدت وابسته به ترکیب سنگ بستر است. مقدار سرب خاک در منطقه چلیو از ۲/۵۱ تا ۹/۲۲ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱). سرب به آسانی در خاک انحلال نمی‌یابد، ولی اساساً توسط مویرگ‌های ریشه جذب می‌شود و تا حد زیادی در دیواره‌های سلولی ذخیره می‌شود (زیمدال و کوپه، ۱۹۷۷). جابجایی سرب از ریشه به اندام هوایی بسیار محدود است و تنها ۳٪ از سرب ریشه به شاخه‌ها انتقال می‌یابد (زیمدال و کوپه، ۱۹۷۷). سرب کم‌ترین دسترسی برای گیاه را دارد

گیاه به علت حجم کم، امکان جدا کردن اندام هوایی از ریشه نبود به همین دلیل فاکتور ضریب انتقال، با روش محاسبه اندام هوایی به ریشه و ضریب انباشت امکان پذیر نگردید (جدول ۳).

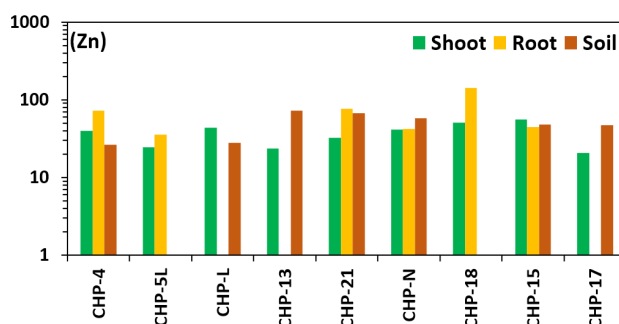
بین ریشه و خاک نقش حساسی در جذب یونها دارد (علیپور، ۱۳۸۴). نتایج بدست آمده از محاسبه فاکتور زیست انباشت و ضریب انتقال عناصر در گیاهان مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. برخی نمونه‌های



شکل ۱۰. مقایسه غلظت مولیبدن در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 10. Comparison of molybdenum concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)



شکل ۱۱. مقایسه غلظت سرب در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 11. Comparison of lead concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)



شکل ۱۲. مقایسه غلظت روی در نمونه‌های خاک و بخش‌های مختلف گیاهان منطقه مورد مطالعه (راهنمای نمونه‌ها مشابه شکل ۳)
Fig. 12. Comparison of zinc concentration in soil samples and different parts of studied plants (legend as Fig. 3)

جدول ۲. ضریب انتقال عناصر در گیاهان (کاباتاپندیاس، ۲۰۱۱)

Table 2. Translocation factor in plants (Kabatapandias, 2011)

عناصر احتمالی موجود در طبقه‌بندی	حالت تجمع / دسترسی	ضریب انتقال (Tf)
Se>Fe>Ga>Bi>Zr>Sc>Ti>Ba	سندروم کمبود تجمع / دسترسی	<۰/۰۰۱
Mn>Ni>Li>F>V>I>Cr>Be>Sb	تجمع / دسترسی جزئی	۰/۰-۰۰۱/۰۱
Zn>Mo>Cu>Pb>Sr>Ag>Te>Ge>As>Co	تجمع / دسترسی متوسط	۰/۱-۰۱/۱۰
Cd>B>Br>Cs>Rb	تجمع / دسترسی زیاد	۱/۱۰-۰۰/۱۰

جدول ۳. مقایسه ضریب انتقال ریشه به خاک (R)، ضریب انتقال اندام هوایی به ریشه (S) و فاکتور زیست‌انباشت (BF) در گیاهان منطقه

Table 3. Comparison of translocation factor of root to soil (R), shoot to root (S) and bioaccumulation factor (BF) in studied plants

Sample		As	Sb	Ni	Co	Cr	Mo	Pb	Zn	Mn	Cu
CHP-4	R	0.29	0.14	0.30	0.33	0.33	3.54	3.59	1.53	0.39	0.81
	S	3.48	2.86	3.10	3.01	3.01	1.24	9.15	0.55	2.50	1.24
	BF	0.08	0.05	0.10	0.11	0.11	2.00	0.39	2.76	0.15	0.65
CHP-5L	R	0.25	1.03	0.28	0.28	0.28	3.85	1.12	0.94	0.27	0.91
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHP-L	R	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	2.40	0.31	1.57	0.24	0.40
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHP-13	R	1.88	2.10	0.07	0.05	0.05	0.98	0.12	0.33	0.09	0.09
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHP-21	R	10.04	35.23	0.06	0.06	0.06	26.83	0.15	0.49	0.07	0.19
	S	1.13	1.40	1.32	1.41	1.41	0.56	0.77	0.43	1.09	0.56
	BF	8.91	25.15	0.05	0.04	0.04	51.70	0.19	1.15	0.07	1.78
CHP-N	R	0.05	0.56	0.03	0.03	0.03	4.00	0.11	0.71	0.04	0.29
	S	0.40	0.43	0.42	0.36	0.36	0.69	0.66	0.97	0.66	0.69
	BF	0.13	1.29	0.08	0.08	0.08	1.17	0.17	0.73	0.07	1.45
CHP-18	R	0.44	0.75	0.47	0.55	0.55	1.38	0.49	1.08	0.50	0.61
	S	2.60	7.12	3.58	4.74	4.74	1.99	6.36	0.36	3.97	1.99
	BF	0.17	0.10	0.13	0.12	0.12	1.03	0.08	3.02	0.13	0.50
CHP-15	R	0.30	0.33	0.36	0.40	0.40	1.85	0.35	1.17	0.36	0.35
	S	0.72	0.74	0.68	0.74	0.74	0.88	0.69	1.26	0.60	0.88
	BF	0.42	0.45	0.53	0.54	0.54	1.24	0.51	0.93	0.60	1.13
CHP-17	R	0.01	0.08	0.03	0.01	0.01	9.66	0.09	0.44	0.09	0.21
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

قوی‌تر از اندام هوایی است. بر اساس نتایج بدست آمده، می‌توان برای اولین بار آن را به عنوان یک گیاه فراجاذب آرسنیک معرفی کرد.

فاکتور زیست‌انباشت و ضریب انتقال آنتیموان در *Astragalus hekmata-safaviae* قابل توجه است و می‌توان این گیاه را به عنوان انباشتگر و جاذب آنتیموان معرفی کرد. ضریب انتقال در *Asperula glomerata subsp.* (نمونه CHP-18) بالا است. بالا بودن ضریب انتقال آنتیموان نیز حاکی از تحرک بالای آن است. همچنین ضرایب انتقال کروم در *Asperula glomerata subsp.* بالا است و نتایج قابل تاملی در مورد زیست‌انباشت در جدول دیده نمی‌شود (جدول ۳). ضریب انتقال نیکل در *Asperula glomerata subsp. turcomanic* در بخش اندام هوایی به ریشه (نمونه CHP-4) بالا می‌باشد (جدول ۳). می‌توان آن را برای اولین بار به عنوان گیاه فراجاذب نیکل در منطقه معرفی کرد. در مورد کبالت، فاکتور زیست‌انباشت عدد بالایی را نشان نمی‌دهد؛ اما ضریب انتقال در روش محاسبه ساقه به ریشه در گیاه *Asperula glomerata subsp. Turcomanica* بالا

نتایج فاکتور زیست‌انباشت و ضریب انتقال در گونه *Astragalus hekmata-safaviae* (نمونه CHP-21) که گیاه اندمیک و خاص این منطقه به شمار می‌آید، نمایان است (جدول ۳). این گیاه را به علت انباشت بسیار بالا آرسنیک می‌توان به عنوان فراجاذب معرفی کرد. آرسنیک به لحاظ بیولوژیکی عنصری متحرک بوده و ضریب انتقال آن از ریشه به اندام هوایی گیاهی بالا است. اما باید توجه داشت که انتقال و تحرک زیستی آرسنیک در گیاه و نیز انتقال آن از خاک به ریشه به شدت تحت کنترل میزان و غلظت عنصر است. در مواردی که غلظت آرسنیک در خاک پایین است، ضریب انتقال از خاک به ریشه بالاتر است. ضریب انتقال در گیاه *Asperula glomerata subsp. turcomanica* (نمونه CHP-4) بالاتر از گیاهان دیگر است، ضمن آنکه تقریباً تمامی گیاهان برداشت شده به علت تحرک زیاد آرسنیک ضریب انتقال خوبی دارند. زیستگاه این گیاه معمولاً روی واحدهای شیل و مارن است. ریشه‌های بسیار بلند در حدود ۲ متر دارد و قدرت نفوذ ریشه آن بسیار زیاد است، لذا اندام زیرزمینی گیاه بسیار

ریشه در *Asperula glomerata subsp. turcomanica* و *Asperula glomerata subsp. turcomanica* و *safavia* این ضریب بالاتر از یک است. برای عنصر کروم ضریب انتقال در گیاهان *Asperula glomerata subsp. turcomanica* در بالاترین عدد دیده می‌شود (جدول ۳). فاکتور زیست‌انباشت و ضریب انتقال مولیبدن در گیاه *Astragalus hekmat-safaviae* بسیار بالا است. در ضمن، ضریب انتقال اندام هوایی نسبت به خاک در همه نمونه‌ها بالاتر از یک است در گیاه *Asperula glomerata subsp. turcomanica* سرب ضریب انتقال بالایی را در اندام هوایی نسبت به خاک و ریشه نشان می‌دهد. در مورد روی، فاکتور زیست‌انباشت برای گیاه *Asperula glomerata subsp. turcomanica* (نمونه CHP-4) و *Asperula glomerata subsp.* (نمونه CHP-18) عدد بالاتری را نشان می‌دهد. ضریب انتقال در بیشتر نمونه‌ها به جز *Ferula alliacea* نزدیک به یک یا بیشتر است. ضریب انتقال منگنز در *Asperula glomerata subsp.* (نمونه CHP-18) بالا است و نتایج قابل تاملی در مورد فاکتور زیست‌انباشت برای عنصر منگنز دیده نمی‌شود (جدول ۳). ضریب انتقال مس در اندام هوایی به

ریشه در *Asperula glomerata subsp. turcomanica* می‌دهند. در بررسی همبستگی روابط عنصری در خاک (جدول ۴) آرسنیک همبستگی مثبت و بالایی با عنصر آنتیموان دارد که ناشی از کانی‌سازی سولفیدی عناصر همیفات آرسنیک و آنتیموان در منطقه است. همبستگی بالای عناصر نیکل و کبالت و نیز همبستگی بالای سرب و روی در نمونه‌های خاک منطقه انطباق مشخصی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی دارد. بررسی همبستگی روابط عنصری در گیاه و تفاوت بارز روابط عنصری در نمونه‌های گیاه نسبت به نمونه‌های خاک، نقش دخالت فرآیندهای زیستی را در توزیع عناصر مشخص می‌کند. همبستگی نسبتاً بالای عناصر، مس و کبالت با هم، نقش زیستی این عناصر به عنوان مواد مغذی گیاه و رابطه بیوشیمیایی مثبت این عناصر را مورد تأیید قرار می‌دهد. نیکل، کبالت و کروم و نیز رابطه مثبت آرسنیک با آن‌ها و منگنز به عنوان سازنده‌های لیگاندهای جاذب عناصر اضافی و غیرزیستی در بافت‌های گیاه قابل توجه است (جدول ۵).

جدول ۴. ضرایب همبستگی عناصر نمونه‌های خاک منطقه چلپو

Table 4. Correlation coefficients of soil samples from Chelpo area

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As	Sb	Cr
Mo	1									
Cu	.395	1								
Pb	-.075	.412	1							
Zn	.014	.407	.899**	1						
Ni	-.482	-.631	-.762*	-.734	1					
Co	-.459	-.543	-.684	-.487	.897**	1				
Mn	-.295	-.207	.394	.529	-.011	.262	1			
As	.278	-.267	-.951**	-.928**	.600	.438	-.595	1		
Sb	.749	-.078	-.643	-.546	.037	-.001	-.484	.767*	1	
Cr	.252	-.525	-.890**	-.720	.589	.616	-.111	.822*	.761*	1

جدول ۵. ضرایب همبستگی عناصر نمونه‌های گیاه منطقه چلپو

Table 5. Correlation coefficients of elements in plant samples from Chelpo area

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As	Sb	Cr
Mo	1									
Cu	-.246	1								
Pb	-.245	.306	1							
Zn	.078	-.017	-.206	1						
Ni	-.406	.373	.826**	-.185	1					
Co	-.424	.639*	.802**	-.146	.933**	1				
Mn	-.408	.774**	.710**	-.131	.786**	.938**	1			
As	-.401	.378	.813**	-.172	.982**	.899**	.769**	1		
Sb	.148	.213	-.177	-.088	-.156	-.111	.090	-.030	1	
Cr	-.311	.401	.832**	-.150	.987**	.931**	.768**	.966**	-.161	1

۶- نتیجه‌گیری

همبستگی مثبت و بالای عناصر آرسنیک و آنتیموان در نمونه‌های خاک، ناشی از کانی‌سازی سولفیدی (نظیر رالگار، اورپیمنت، استینیت) در منطقه است. تفاوت بارز روابط عنصری در نمونه‌های گیاه نسبت به نمونه‌های خاک، نقش دخالت فرآیندهای زیستی را در توزیع عناصر نشان می‌دهد. نظر به اینکه بیشتر گیاهان این منطقه معدنی میزان بالاتری از حد طبیعی یک یا چند عنصر را در خود متمرکز کرده توجه به مطالعات ژئوبوتانی در مناطق دارای پوشش گیاهی خاص هم به لحاظ اکتشاف مواد معدنی و هم از دیدگاه زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت است.

۷- تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر در قالب طرح پژوهشی و رساله کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی نویسنده اول مقاله در دانشگاه آزاد اسلامی مشهد به انجام رسیده است که بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد کمال تشکر را داریم. از زحمات آقای مهندس جوهرچی، کارشناس محترم پژوهشکده علوم گیاهی دانشکاه فردوسی مشهد، که در برداشت و تشخیص نمونه‌های گیاهی همکاری داشتند، صمیمانه سپاسگزاریم.

References

- Akbari Moghadam, M (2014) Antimony, Arsenic and Gold Chalpo Mine, Kouh Sorkh, Kashmar. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, internal report. (in Persian).
- Alipur, S (2004) Basics of biogeochemical exploration in the discovery of mineral reserves and environmental studies. Urmia University Publications, 319 p. (in Persian).
- Baker, A. J. M., Brooks, R. R., Pease, A. J., Malaisse, F (1983) Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa within the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) from Zaire. *Plant and soil*, 73(3): 377-385.
- Bowen, H. J. M (1979) *Environmental Chemistry of the Elements* London: Academic Press. 333pp.
- Brooks, R. R., McCleave, J. A., Schofield, E. K (1977) Cobalt and nickel uptake by the *Nyssaceae*. *Taxon*, 26(2-3): 197-201.
- Chandra, R., Anjan Kumar Prusty, B., Azeez, P. A (2022) Metal Hyperaccumulation in Plants: Phytotechnologies. Sustainable Solutions for Environmental Pollution: Air, Water and Soil Reclamation, 13: 321-353.
- Croal, L. R., Gralnick, J. A., Malasarn, D., Newman, D.K (2004) The Genetics of Geochemistry. *Annual Review of Genetics*, 38: 175-206

در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌سازی منطقه، تاثیر این عوامل بر گیاهان بومی مورد بررسی قرار گرفت. بالا بودن آرسنیک در رسوبات و خاک منطقه، سبب تمرکز آرسنیک در تمام گیاهان برداشت شده بالاتر از حد نرمال و آستانه شده بطوری که در گونه *Asperula glomerata* subsp. *Turcomanica* بالاتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در تن آرسنیک اندازه‌گیری شد. خاک برداشت شده از محل ریشه گیاهان نیز آرسنیک بسیار بالایی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده تمرکز آرسنیک توسط گیاهان در این منطقه معدنی است. خاک برداشت شده از محل ریشه گیاهان در مورد نیکل نیز همین نتایج را نشان می‌دهد با این تفاوت که نیکل تحرک بالایی ندارد و در خاک ریشه تمرکز بالای را نشان می‌دهد. گیاهان منطقه با توجه به این که تمرکز بالایی از فلزات را در خود نشان می‌دهند، همگی به نوعی جزو گیاهان سازگار محسوب می‌شوند. فاکتور زیست‌انباشت که نشان‌دهنده جاذب بودن گیاهان نسبت به عناصر می‌باشد نتایج قابل تاملی را نشان می‌دهد. گیاه اندمیک *Astragalus hekmat-safaviae* با ضریب انباشت بسیار بالا آرسنیک (۹)، آنتیموان (۲۵) و مولیبدن (۵۱) را می‌توان به عنوان جاذب یا فراجاذب برای این سه فلز و به عنوان انباشتگر برای عناصر مس و روی (حدود ۱) معرفی کرد. بالا ترین ضریب انتقال نیز مربوط به این گونه برای عناصر آرسنیک، آنتیموان و مولیبدن است.

گیاه *Asperula glomerata* subsp. *Turcomanica* از گیاهان بارز منطقه، برای عناصر روی و مولیبدن ضریب انباشتی حدود ۲ را نشان می‌دهد. این گیاه در محاسبه ضریب انتقال به روش اندام هوایی به ریشه رفتار مشابهی برای اکثر عناصر به جز سرب دارد. فاکتور ضریب انتقال آن در هر دو روش محاسبه، اندام هوایی به ریشه و اندام هوایی به خاک در مورد عنصر سرب مقادیر بالایی را نشان می‌دهد، در حالی که ضریب تجمع آن پایین است. فاکتور ضریب انتقال گیاه در مورد عنصر روی با محاسبه اندام هوایی به خاک بالاتر از یک است. گیاه *Jurinea* sp. که در این مطالعه برای اولین بار در منطقه مشاهده شده است، ضریب انباشت و فاکتور ضریب انتقال بالاتر از یک را برای عناصر روی و مولیبدن نشان می‌دهد.

- Soils, Alloway, B. J., Ed, Blackie, Glasgow, London, 280.
- Kabata-Pendias, A (2011) Trace elements in soil and plants, Taylor & Francis Group, 534 pp.
- Kruckeberg, A. R., Peterson, P. J., Samiullah, Y (1993) Hyperaccumulation of nickel by *Arenaria rubella* (Caryophyllaceae) from Washington State. *Madrono*, 25-30.
- Mazloui Bejestani, A (1992) Geological and geochemical study of Aliabad gold-bearing and altered areas of Koh Sorkh in Northern Kashmir (Khorasan province). Master's thesis, Shahid Beheshti University. (in Persian).
- Narimani, A (2008) Structure, texture and paragenesis of Chalpo antimony-arsenic-gold deposit and Kalate Chubak (Kouh sorkh, Kashmir) and controlling factors in formation and concentration. Master's thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian).
- Oakes, T. W., Shank, K. E., Easterly, C. E., Quintana, L. R (1977) Concentrations of radionuclides and selected stable elements in fruits and vegetables, in Trace Subst. Environ. Health, Vol. II, Hemphill, D. D., Ed., University of Missouri, Columbia, MO, 23.
- Parvaresh, M., Saadat, S., Mehdizadeh, H., Abedi, A (2008) Arsenic contamination in the water resources of Kouhsorkh (Kashmar) area, NE Iran. 2nd International congress Arsenic in the environment, Valencia, Spain
- Pratas, J., Prasad, M. N. V., Freitas, H., Conde, L (2005) Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. *Journal of geochemical exploration*, 85(3): 99-107.
- Shacklette, H. T., Erdman, J. A., Harms, T. F (1978) Trace elements in plant foodstuffs, in Toxicity of Heavy Metals in the Environments, Part I, Oehme, F. W., Ed., Marcel Dekker, New York, 25.
- Tabasi, S., Abedi, A., Parvaresh, M (2009) Mineral-geochemical investigation in order to determine the arsenic bearing mineral in the stream sediments at the Kuhsorkh polluted area, NE Iran. Goldschmidt Conference.
- Thornton, I (1981) Geochemical aspects of the distribution and forms of heavy metals in soils. In Effect of heavy metal pollution on plants (pp. 1-33). Springer, Dordrecht.
- Xiulan, Y., Tongbin, C., Xiaoyong, L., Bin, W (2005) an appropriate method of preserving plant samples to maintain concentration of inorganic arsenic species. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 11(6): 855-857.
- Zimdahl, R. L., Koeppe, D. E (1977) Uptake by plants, in Lead in the Environment, Boggess, W. R. and Wixson, B. G., Eds., Report NSF, National Science Foundation, Washington, D. C.
- Dradrach, A., Karczewska, A., Szopka, K., Lewińska, K (2020) Accumulation of arsenic by plants growing in the sites strongly contaminated by historical mining in the Sudetes region of Poland. *International journal of environmental research and public health*, 17(9): 33-42.
- Echevarria, G., Morel, J. L., Fardeau, J. C., Leclerc-Cessac, E (1998) Assessment of phytoavailability of nickel in soils. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*, 27(5): 1064-1070.
- Eid, E. M., Khedher, K. M., Ayed, H., Arshad, M., Mouldi, A., Shaltout, K. H., Sewelam, N. A., Galal, T. M., El-Bebany, A. F., Alshehri, A. M (2020) Prediction models based on soil properties for evaluating the heavy metal uptake into *Hordeum vulgare* L. grown in agricultural soils amended with different rates of sewage sludge. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-15.
- El-Bassam, N., Poelstra, P., Frissel, M. J (1975) Chrom und Quecksilber in einem seit 80 Jahren mit städtischem Abwasser berieselten Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 138(3): 309-316.
- Gafur, N. A., Sakakibara, M., Komatsu, S., Sano, S., Sera, K (2022) Environmental Survey of the Distribution and Metal Contents of *Pteris vittata* in Arsenic-Lead-Mercury-Contaminated Gold Mining Areas along the Bone River in Gorontalo Province, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1): 530.
- Ghahremaninejad, F (2005) *Astragalus hekmatsafaviae* (Fabaceae), a new species from Iran. In *Annales Botanici Fennici*, 42(4): 313-315.
- Gupta, S., Nayek, S., Saha, R. N (2008) Assessment of heavy metal accumulation in macrophyte, agricultural soil, and crop plants adjacent to discharge zone of sponge iron factory. *Environmental Geology*, 55(4): 731-739.
- Huffman Jr, E. W., Alloway, W. H (1973) Chromium in plants. Distribution in tissues, organelles, and extracts and availability of bean leaf chromium to animals. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 21(6): 982-986.
- James, B. R., Petura, J. C., Vitale, R. J., Mussoline, G. R (1997) Oxidation-reduction chemistry of chromium: relevance to the regulation and remediation of chromate-contaminated soils. *Soil and Sediment Contamination*, 1(6): 569-80.
- Joharchi, M. R (2013) Vegetation of Zarnikh Mountain, Chalpo region. Ferdowsi University of Mashhad, Research Institute of Plant Sciences, internal report. (in Persian).
- Jones, K. C., Lepp, N. W., Obbard, J. P (1990) Other metals and metalloids, in *Heavy Metals in*

Identification and study of mineral indicator plants in Chalpo mineralization area (North Kashmar)

A. S. Alavinejad¹ and S. Saadat^{*2}

1- M. Sc., student. Dept., of Petroleum Engineering and Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

2- Dept., of Petroleum Engineering and Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

* saeed.saadat@colorado.edu

Received: 2022/10/20 Accepted: 2023/1/17

Abstract

Geobotany, as a useful tool in the exploration of minerals, has found a lot of use in environmental studies and the cleaning of contaminated environments. Chalpo is located 45 km north of Kashmer city (Khorasan Razavi). Due to the occurrence of antimony-gold deposit and geological and geochemical characteristics along with the specific vegetation of the region, the geobotanical study of the plants of the area was carried out to identify mineral indicator plants, introduce endemic plants and the geochemical effect of the region on important metallophytes. Sampling was done in precise and specific steps from the plant organs and the soil where the roots of the plants are located. The amount of elements in the soil, root and shoot samples of the plant was compared. Based on the results of chemical analyses, the arsenic content of all plant species is higher than the normal level in plants. It has measured above 2000 ppm arsenic in *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica*. Most plants concentrated one or more elements higher than normal, which is very important both from the point of view of the exploration of metal minerals and from the environmental studies. Despite the proximity location of the collected samples, the plants showed very different absorption rates in each element. The endemic plant *Astragalus hekmat-safaviae* with a very high accumulation coefficient of arsenic (9), antimony (25) and molybdenum (51) can be introduced as an absorbent or superabsorbent for these metals and as an accumulator for copper and zinc elements. The *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica*, one of the typical plants of the region, shows an accumulation coefficient of about 2 for zinc and molybdenum. The *Jurinea* sp. which was observed in this study for the first time, shows the accumulation coefficient and the transfer coefficient factor higher than one for zinc and molybdenum.

Keywords: Geobotany, Biogeochemistry, Indicator plants, Superabsorbent, Kashmar

Introduction

Geobotany, as a useful tool in the exploration of minerals, has found a lot of use in environmental studies and the cleaning of contaminated environments. Studies about the role of geochemistry on the plants have led to the introduction of different types of metallophyte plants. These plants are able to absorb one or more polluting metals and accumulate them in their tissues.

Chalpo is located 45 km north of Kashmer city (Khorasan Razavi). Due to the occurrence of antimony-gold deposit and geological and geochemical characteristics along with the specific vegetation of the region, the geobotanical study of the plants of the area was carried out to identify mineral indicator plants, introduce endemic plants and the geochemical

effect of the region on important metallophytes.

Materials & Methods

Sampling was done in precise and specific steps from the plant organs and the soil where the roots of the plants are located. 30 samples of local plants was taken in June, according to the flowering time of plants. The location of the collected samples is presented in Figure 1. A 30 cm deep pit was dug to take the plant completely, with roots. The genus and species of all plant samples were determined at Ferdowsi University of Mashhad. The plants were left for 4 days to dry completely. The roots were separated from the other parts and were dried in an oven at a temperature between 70 to 80°C, with a time of one to five hours. After drying, the plant samples were

completely ground and passed through a 100 to 200 mesh sieve. 12 soil samples around of plants was taken from a depth of about 30 cm. Each soil sample was spread separately on clean paper and dried in a place away from dust without using a dryer for 4 days. Then the samples were powdered and passed through a 200 mesh sieve. Finally, 15 plant samples were sent to the Canadian ACME laboratory for 72-element analysis and 7 soil samples for 50-element analysis by ICP-MS method.

from the translocation factor (TF) (the ratio of metal concentration in the plant organ to the metal concentration in the root or the soil around the root) and accumulation factor (the ratio of metal concentration in the root to the concentration of metal in the soil around the root) were used to investigate the translocation and bioaccumulation behavior of heavy metals in plants (Kabata-Pendias, 2011). Plants with a root accumulation factor higher than one and a TF lower than one are suitable for the plant stabilization of elements (Gupta et al., 2008; Eid et al., 2020), while plants with a TF greater than one and an root accumulation factor smaller than one are suitable for the extraction of elements from the soil (Gupta et al., 2008; Eid et al., 2020). Spearman's correlation matrix was used to investigate the correlation of different elements in soil and plants.

Discussion and Results

The results of plant and soil chemical analysis are presented in Table 1. Arsenic varies from 7.5 to more than 10000 mg/ton in the soil samples. The soil collected from the roots of plants shows higher values than previous research (Tabasi et al., 2009), which can indicate the concentration of arsenic by plants in the study area. Arsenic changes from 11.5 to 2105 mg/ton in the plant samples. Based on the results of chemical analyses, the arsenic content of all plant species is higher than the normal level in plants. It has measured above 2000 ppm arsenic in *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica*.

The concentration of antimony varies from 0.26 to 477 mg/ton in the soil samples and from 0.23 to 34.28 mg/ton in the plants. According to the results, the amount of antimony in the plant organs of CHP-4, CHP-5L, CHP-18 and CHP-21 samples was higher than the roots

Molybdenum concentration in the soil samples of Chelpo varies from 0.13 to 0.68 mg/ton. Mo varies from 0.3 to 11.89 mg/ton in the plants of

study area The antimony in the plant organs was higher than the roots in all samples except for CHP-21 Lead (Pb) varies from 2.51 to 9.22 mg/ton in the soil samples and 0.64 to 9.33 mg/ton in plants. Based on the results, Pb concentration in the organs of CHP-4 was higher than in the roots.

The results of BF and TF of *Astragalus hekmat-safaviae* species (sample CHP-21), which is considered an endemic and special plant of this region, are notable. Due to the high accumulation of arsenic, this plant can be introduced as a super absorbent. Arsenic is a mobile element and its TF from the root to the plant's organs is high. But it should be noted that the TF and BF of arsenic in the plant as well as its transfer from the soil to the root is strictly controlled by the amount and concentration of the element. In cases where the concentration of arsenic in the soil is low, the TF from the soil to the roots is higher. The TF in *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica* (sample CHP-4) is higher than other plants, while almost all plants have a good TF due to the high mobility of arsenic. The habitat of this plant is usually on shale and marl units. It has very long roots of about 2 meters and its root penetration is very high, so the underground part of the plant is much stronger than the aerial part. Based on the obtained results, *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica* can be introduced for the first time as an arsenic super absorbent plant.

The BF and TF of antimony is remarkable in *Astragalus hekmat-safaviae* and this plant can be introduced as antimony accumulator and absorber. The TF is high in *Asperula glomerata* subsp (sample CHP-18). The high TF of antimony also indicates its high mobility. Also, the TF of chromium in *Asperula glomerata* subsp. is high. The TF of nickel in *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica*, in the root (sample CHP-4) is high. So, it can be introduced for the first time as a nickel super absorbent plant in the region.

In the case of cobalt, the BF does not show a high value; but the TF in the stem to root is high in *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica* and it should be noted this factor is higher than one in *Astragalus hekmat safavia* and *Asperula glomerata* subsp. *Turcomanica*.

The BF and TF of molybdenum are very high in *Astragalus hekmat-safaviae* plant. *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica* shows a high TF

of lead in aerial parts compared to soil and roots.

The correlation of elemental relationships in soil shows a positive and high correlation between arsenic with antimony, which is caused by sulfide mineralization of arsenic and antimony in the study area. The high correlation of nickel and cobalt, as well as the high correlation of lead and zinc in the soil samples demonstrated clear and strong relationships with the lithological characteristics.

The correlation of elemental in plants and the obvious difference of elemental relationships in plant compared to soil samples, determines the role of biological processes in the distribution of elements. The relatively high correlation of copper and cobalt together, confirms the biological role of these elements as plant nutrients and the positive biochemical relationship of these elements.

Conclusions

Most of the studied plants in this area show significant concentration for some elements such as As, Sb, Ni, Co and Cr, which is very important both for mineral deposit and environmental studies. Despite the proximity

location of the collected samples, the plants showed very different absorption rates in each element. The endemic plant *Astragalus hekmat-safaviae* with a very high accumulation coefficient of arsenic (9), antimony (25) and molybdenum (51) can be introduced as an absorbent or superabsorbent for these metals and as an accumulator for copper and zinc elements. The *Asperula glomerata* subsp. *turcomanica*, one of the typical plants of the region, shows an accumulation coefficient of about 2 for zinc and molybdenum. The *Jurinea* sp. which was observed in this study for the first time, shows the BF and TF higher than one for zinc and molybdenum.

The positive and high correlation of arsenic and antimony in soil samples is due to sulphide mineralization (such as realgar, orpiment, and stibnite). The obvious difference of elemental relationships in plant compared to soil samples shows the role of biological processes in the distribution of elements. Considering that most of the plants in this mineralization area have concentrated one or more elements in themselves, it is very important to pay attention to geobotanical studies in areas with special vegetation both in terms of mineral exploration and environmental studies.