

کاربرد یافته‌های سنگ‌شناسی و داده‌های زمین‌شیمیایی در بررسی زمین‌شناسی زیست‌محیطی مناطق افیولیتی: بررسی موردی در شمال نایین و عشین (استان اصفهان)

نرگس شیردشت‌زاده^{۱*}، قدرت ترابی^۲ و رامین صمدی^۳

۱ و ۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد

نویسنده مسئول: nshirdast@gmail.com*

دریافت: ۹۷/۹/۱۸ پذیرش: ۹۸/۲/۲۸

چکیده

بررسی یافته‌های سنگ‌شناسی و داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های مافیک و الترامافیک و واحدهای سنگ‌شناسی مرتبط با آن‌ها در افیولیت‌ها، مقدمه‌ای برای بررسی‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی، کشاورزی و منابع طبیعی است. با توجه به قرارگیری مناطق شهری و روستایی نایین تا عشین در نزدیکی مناطق افیولیتی (شمال غرب خرده قاره مرکز - شرق ایران)، بررسی زمین‌شیمی واحدهای مافیک و الترامافیک این افیولیت‌ها از دیدگاه زمین‌شناسی زیست‌محیطی اهمیت بالایی دارد. برای این منظور، داده‌های زمین‌شیمیایی موجود برای سنگ‌های بازیک (گدازه‌های بالشی و دایک‌های دیابازی)، متابازیک (آمفیبولیت‌ها)، پریدوتیت‌ها و دگرگون و دگرسان‌شده این دو افیولیت از دیدگاه فاکتورهای زیست‌محیطی بررسی شدند. برای نمونه، در پریدوتیت‌ها که از فراوان‌ترین گروه‌های سنگی این افیولیت‌ها به‌شمار می‌روند، مقدار غنی‌شدگی (Ef) برای عنصر نیکل غنی‌شدگی بسیار بالا، برای کروم غنی‌شدگی بسیار بالا و برای کبالت غنی‌شدگی بالا را نشان می‌دهد. همچنین، مقدار شاخص تجمع زمین (I_{geo}) برای عنصرهای کروم ($I_{geo} \sim 4$) و نیکل ($I_{geo} > 5$) در پریدوتیت‌ها به شدت بسیار بالاست. از این رو، مقدار بالای فاکتورهای Ef و I_{geo} فلزهای سنگین بررسی شده (مانند: کروم، نیکل، کبالت، آرسنیک و وانادیم) و کانی‌های آزیستوزی (مانند هورنبلند، ترمولیت، تالک و کریزوتیل) در سنگ‌های مافیک و الترامافیک افیولیت‌ها می‌تواند از آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی در این افیولیت‌ها به‌شمار بروند. بنابراین، بررسی میزان ورود این عنصرهای به آب‌های زیرزمینی و زنجیره غذایی ساکنان روستاها و شهرهای دامنه مناطق افیولیتی می‌تواند موضوع بررسی‌های زیست‌محیطی در این مناطق باشد.

واژه‌های کلیدی: پترولوژی، داده‌های زمین‌شیمیایی، زیست‌محیطی، افیولیت

۱- مقدمه

گابروهای کومولا، مجموعه دایک‌های ورقه‌ای، مجموعه آتش‌فشانی بازیک، به‌همراه مجموعه‌های رسوبی (رسوب‌های سوپرا-افیولیتی) شامل چرت، شیل و آهک پلاژیک. افزون بر این، توده‌های نفوذی (مانند پلاژیوگرانیت‌ها) و نیز سنگ‌های حاصل از دگرسانی و دگرگونی (مانند آمفیبولیت، کوارتزیت و شیست‌ها) از دیگر واحدهای سنگی در افیولیت‌ها هستند. برپایه بررسی‌های چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی افیولیت‌ها (شکل ۱- A)، حجم بزرگی از این افیولیت‌ها را واحدهای مافیک و الترامافیک (پریدوتیت‌ها، گابروها و بازالت‌ها) و محصول‌های دگرسانی آن‌ها (مانند سرپانتینیت) دربر گرفته‌اند. البته به‌ندرت می‌توان یک افیولیت دارای چنین توالی کاملی یافت و در بیش‌تر موارد بخش‌هایی از

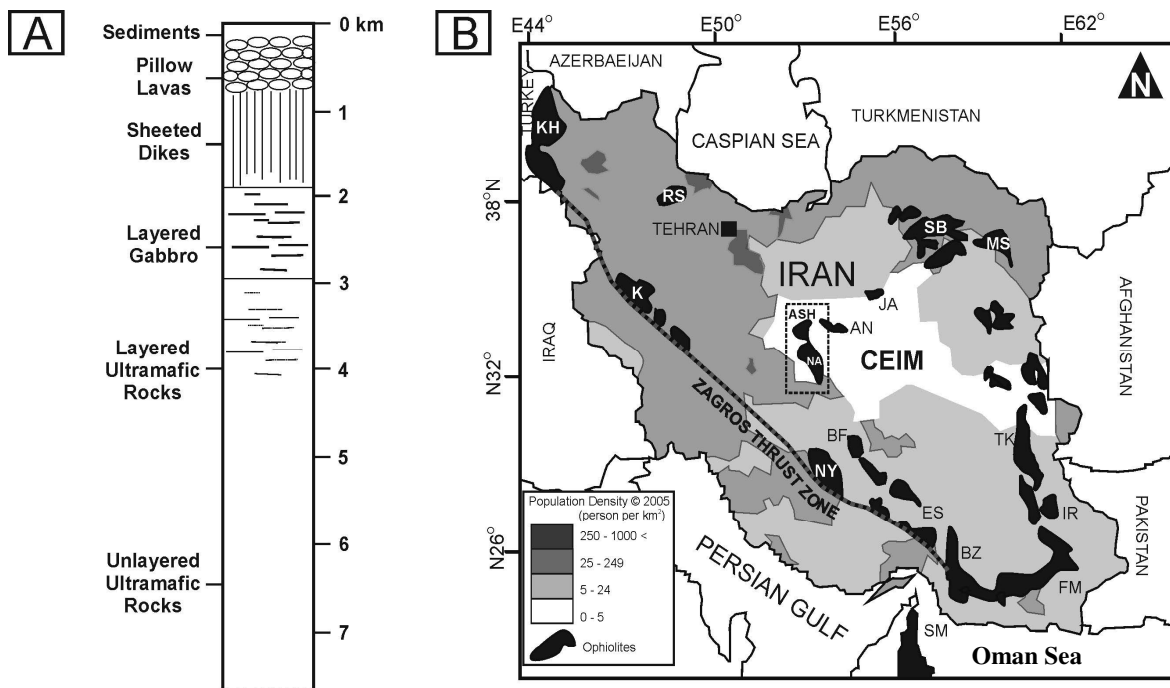
افیولیت‌ها قطعات بجامانده سنگ‌گه اقیانوسی و شاخص بسته‌شدن اقیانوس و محل پهنه‌های اقیانوسی ناپدیدشده کهن هستند. پراکنندگی افیولیت‌ها در سطح کره زمین و کشور ایران بسیار چشمگیر است و به‌علت کانسارهای با ارزش اقتصادی اهمیت بالایی دارند. افیولیت‌ها در راستای زمین‌درزهای بزرگ مانند هیمالیا، عمان، زاگرس، توروس و پاپوا رخنمون دارند (گانسر، ۱۹۷۴). برپایه پیشنهاد مجمع Penrose در سال ۱۹۷۲، در یک توالی افیولیتی ایده‌آل (شکل ۱- A)، به‌ترتیب از پایین به بالا، مجموعه‌های سنگی عبارت‌اند از: مجموعه الترامافیک (شامل هارزبورگیت، لرزولیت و دونیت) که کم‌وبیش سرپانتینیت‌شده، پیروکسنیت،

علوم زمین‌شناسی زیست‌محیطی صورت گرفته است. این در حالی است که الگوی پراکندگی جمعیت و شهرهای ایران در بسیاری از نقاط با محدوده‌های پراکندگی افیولیت‌ها و گسل‌ها تطابق دارد (شکل ۱- B). قطعاً وجود گسل‌های فراوان در ارتباط با زمین‌درزهای اصلی ایران و نیز مورفولوژی مرتفع مناطق افیولیتی، سبب دسترسی بیش‌تر و آسان‌تر به سفره‌های آب زیرزمینی در این مناطق شده و موجب افزایش تجمع جمعیت در بخش‌های دامنه‌ای این مناطق شده است؛ اما زندگی انسان‌ها در مناطق گسلیده توأم با مخاطراتی است که افزون بر خطر زلزله و کانی‌سازی عنصرهای رادیواکتیو سمی و سنگین و آزادشدن گازهای رادون (Rn) و دی‌اکسید کربن (CO₂), می‌توان به خطر کانی‌های گروه آزبست و نیز فراوانی فلزهای سنگین در افیولیت‌ها و خاک‌های حاصل از هوازدگی واحدهای سنگی آن‌ها اشاره نمود (ترابی، ۱۳۸۷؛ شیردشت‌زاده، ۱۳۹۳).

این توالی حذف شده‌اند. گاهی نیز تأثیر رویدادهای زمین‌ساختی موجب درهم‌آمیخته‌شدن و گسیختن این توالی افیولیتی شده و آمیزه درهمی از واحدهای افیولیتی را پدید آورده است که به آن «آمیزه افیولیتی» می‌گویند.

از دیدگاه سنگ‌شناسی، آمیزه‌های افیولیتی نایب و عشین نیز دربردارنده واحدهای سنگی گوناگونی هستند که به‌طور خلاصه از ژرفای کم به بسیار، شامل نفوذی‌های ماگمایی، آتشفشانی و رسوب‌های وابسته به آن‌ها، دایک دیابازی، گابرو و پریدوتیت، به‌همراه سنگ‌های دگرگونی (شامل سرپانتینیت، آمفیبولیت، لیستونیت، رودینگیت، اسپیلیت) هستند (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۴).

در ایران بررسی‌های محدودی روی مسائل زیستی و زیست‌محیطی مرتبط با افیولیت‌ها توسط متخصصان



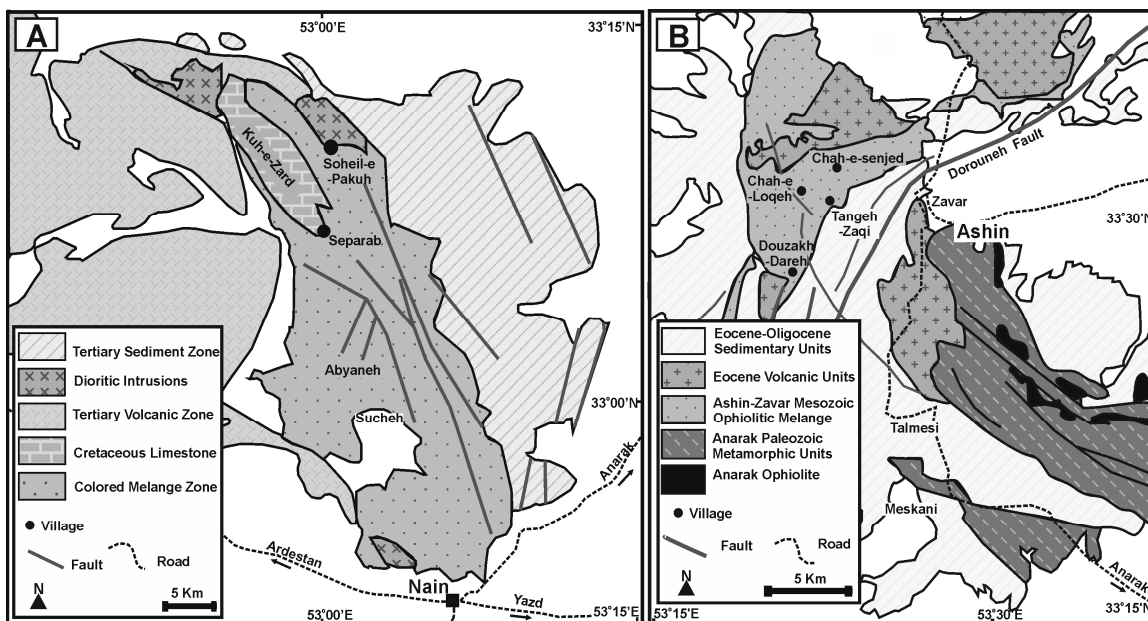
شکل ۱. (A) مقطع عرضی از یک توالی افیولیت ایده‌آل (بر پایه کلمن، ۱۹۷۷). (B) الگوی پراکندگی جمعیت و شهرهای ایران (برگرفته از Gridded Population of the World © 2005) روی نقشه پراکندگی افیولیت‌های ایران (چهار گوش موقعیت افیولیت‌های نایب و عشین را نشان می‌دهد) (پساگنو و همکاران، ۲۰۰۵، با تغییرات) (مخفف‌ها: NA= Nain, ASH=Ashin, AN= Anarak, JA=Jandagh, MS= Mashhad, SB = Sabzevar, KH= Khoy, RS= Rasht, K= Kermanshah, TK= Tchhel Kureh, NY=Neyriz, IR= Iranshahr, BZ= Band-e-Ziarat, ES= Esfandagheh, BF= Baft, SM= Semail, IR= Iranshahr, FM= Fariman, CEIM= (Central-East Iranian Microcontinent)

افیولیتی سیستان، نایین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر - سبزوار فراگرفته شده و به چندین بلوک با امتداد شمالی - جنوبی تقسیم شده است (شیردشت‌زاده، ۱۳۹۳). برپایه بررسی‌های تکین (۱۹۷۲)، ایران مرکزی به صورت یک خردقاره در درون اقیانوس تئیس قرار داشته و پس از بسته شدن اقیانوس تئیس، بقایایی از پوسته اقیانوسی به صورت باریکه‌ای از یک مجموعه درهم افیولیتی ایران مرکزی را فراگرفته است. امتداد شرقی کمر بند افیولیتی آلپی در ایران به چند شاخه تقسیم می‌شود که یکی از شاخه‌های آن به صورت حلقه‌ای در اطراف خردقاره مرکز - شرق ایران قرار دارد و کمر بند افیولیتی نایین - بافت بخشی از آن است که در حاشیه غربی آن و در امتداد گسل نایین - بافت جای دارد و افیولیت‌های عشین و نایین بخشی از آن به شمار می‌آیند. این افیولیت‌ها در امتداد گسل کویر بزرگ (درونه) و محل پیشش آن به سوی جنوب و در ادامه آن گسل نایین - دهشیر در حاشیه غربی بلوک یزد (در غرب خردقاره مرکز - شرق ایران) رخنمون یافته‌اند (شکل ۲).

از آنجایی که تا کنون بررسی درباره زمین‌شناسی زیست‌محیطی افیولیت‌های نایین و عشین انجام نشده است، بررسی یافته‌های سنگ‌شناسی و داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های مافیک و الترامافیک و واحدهای سنگ‌شناسی مرتبط با آن‌ها در افیولیت‌ها، می‌تواند راهگشا و مقدمه‌ای باشد که پژوهشگران در رشته‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی، کشاورزی و منابع طبیعی در زمینه بررسی مخاطره‌های زیست‌محیطی نیازمند آن هستند. از این‌رو، این پژوهش به کاربرد بررسی سنگ‌شناسی و داده‌های زمین‌شیمیایی موجود درباره واحدهای مافیک و الترامافیک افیولیت‌های نایین و عشین و اهمیت بررسی آن‌ها پیش از انجام بررسی‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی در این مناطق می‌پردازد.

موقعیت و زمین‌شناسی افیولیت‌های نایین و عشین

از دیدگاه زمین‌شناسی، بخشی از زون ساختاری ایران مرکزی شامل خردقاره مرکز - شرق ایران (CEIM یا Central-East Iranian Microcontinent) است که با زمین‌درزهای



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت روستاهای: (A) افیولیت نایین در شمال شهر نایین برگرفته از داوودزاده (۱۹۷۲) با اندکی تغییرات، (B) افیولیت عشین در شمال شرقی افیولیت نایین و در غرب افیولیت انارک برگرفته از ترابی (۲۰۱۱) با اندکی تغییرات

اگرچه فرایندهای زمین‌ساختی موجب از بین رفتن روابط میان واحدهای مختلف سنگی در توالی افیولیتی نایب و عشین شده‌اند، اما از مهم‌ترین واحدهای سازنده آن‌ها می‌توان آهک‌های پلاژیک، سنگ‌های بازیگ (مانند: گدازه‌های بالشی و روانه‌های گدازه‌ای بازالتی، دایک‌های دیبازی)، پلاژیوگرانیت، گابرو، پیروکسنیت و پریدوتیت‌های هارزبورگیتی (و نیز لرزولیتی و دونیتی) گوشته را نام برد. البته رویدادهای زمین‌ساختی همزمان و پس از پیدایش این افیولیت‌ها پیدایش سنگ‌های دگرگونی در این افیولیت‌ها را به دنبال داشته‌اند. آمفیبولیت‌ها و پریدوتیت‌های دگرگون از فراوان‌ترین آن‌ها هستند (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج سن‌سنجی شفافیهی مقدم و همکاران (۲۰۱۳) در افیولیت نایب و شارکووسکی و همکاران (۱۹۸۴) در افیولیت عشین نشان‌دهنده پیدایش واحدهای آذرین این افیولیت‌ها در پایان کرتاسه پیشین تا آغاز کرتاسه پسین است. هم‌چنین، بررسی سن رادیولرهای درون چرت‌های افیولیت عشین نشان‌دهنده سن‌های ۹۴ و ۱۰۷ میلیون سال پیش (میانۀ کرتاسه) برای محیط دریایی این اقیانوس در منطقه عشین است (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵). نفوذی‌های اتوسن رسوب‌های کرتاسه تا پالئوسن که این دو افیولیت را پوشانده‌اند قطع کرده‌اند؛ اما این نفوذی‌ها درگیر آمیزۀ افیولیتی نشده‌اند. از این رو، می‌توان گفت این افیولیت‌ها پیش از اتوسن جایگیری کرده‌اند و در هنگام و پس از ولکانیسم اتوسن، فلش‌های سازند آخوره در منطقه نایب نهشته شده‌اند (ترابی، ۲۰۱۰).

روش انجام پژوهش

همان‌گونه که گفته شد هدف این مقاله، بررسی کاربرد داده‌های زمین‌شیمیایی به دست‌آمده در بررسی‌های سنگ‌شناسی برای آغاز بررسی‌های زیست‌محیطی است. از این رو، داده‌های آنالیز زمین‌شیمیایی دقیق به دست‌آمده برای عنصرهای Sc, Mn, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Pb و Sb در چندین بررسی سنگ‌شناسی در این

مناطق به کار برده شدند. این بررسی‌ها که روی شیمی سنگ کل‌گروه‌های سنگی مافیک تا ترامافیک انجام شده‌اند، عبارتند از: شیردشت‌زاده (۱۳۹۳)؛ رحمانی و همکاران (۲۰۰۷)؛ ترابی (۲۰۱۳) و قاضی و همکاران (۲۰۱۱). در این بررسی‌های داده‌ها به روش‌های ICP-MS (مانند: شیردشت‌زاده (۱۳۹۳)؛ رحمانی و همکاران (۲۰۰۷)؛ ترابی (۲۰۱۳) و قاضی و همکاران (۲۰۱۱)) و درباره شماری از نمونه‌ها نیز به روش ICP-AES (مانند: قاضی و همکاران (۲۰۱۱) و NAA (مانند: شیردشت‌زاده، ۱۳۹۳) به دست آمده‌اند. برای این منظور، داده‌های زمین‌شیمیایی موجود برای سنگ‌های بازیگ (گدازه‌های بالشی و دایک‌های دیبازی)، متابازیک (آمفیبولیت‌ها)، پریدوتیت‌های دگرگون و دگرسان‌شده این دو افیولیت که از نظر فراوانی بیش‌ترین حجم این افیولیت‌ها را دربر گرفته‌اند از دیدگاه فاکتورهای زیست‌محیطی بررسی شدند. میانگین نتایج آنالیز سنگ‌کل و فاکتورهای زیست‌محیطی به دست‌آمده برای هر گروه سنگی در جدول ۱ آورده شده‌اند. گفتنی است که در این جدول، برپایه بررسی‌های ایکپوکپودیون (۲۰۱۰)، فاکتور آلودگی یا CF^1 و درجه آلودگی C_{deg}^2 که نسبت به ترکیب میانگین پوسته‌ای سنجیده می‌شوند عبارتند از: $CF = C_n/B_n$ و $C_{deg} = \sum(C_n/B_n)_i$ که در آن i نشان‌دهنده عنصرهای Zn, Pb, Cu, Cd است. هم‌چنین، C_n نشان‌دهنده میزان عنصر در نمونه و B_n میزان عنصر در پوسته زمین است. در این روش، مقدار B_n برای هر عنصر برپایه مقدار میانگین آن عنصر در میانگین ترکیب پوسته زمین (کاباتا-پندیاس، ۲۰۱۱) در نظر گرفته شده است. در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی Ef^3 یا نیز غلظت فلزهای سنگین، فرعی و کمیاب نسبت به یک فلز مرجع که خاستگاه پوسته‌ای دارد (مانند: Sc) به صورت:

$$Ef = \frac{(C_{Element}/C_{Sc})_{sample}}{(C_{Element}/C_{Sc})_{background}}$$

به‌هنگار و محاسبه می‌شود (لی و همکاران، ۱۹۹۴).

¹ Contamination factor

² Contamination Degree

³ Enrichment Factor

هم‌چنین، برای بررسی بهتر آلودگی فلزها در نمونه‌های سنگی بررسی شده، شاخص تجمع زمین^۱ یا I_{geo} که از فرمول $\log_2(Cn/1.5Bn)$ به دست

جدول ۱. میانگین نتایج برگزیده از آنالیز سنگ کل پریدوتیت‌ها، آمفیبولیت‌ها و سنگ‌های بازیک افیولیت‌های نایب و عشین (شیردشت‌زاده، ۱۳۹۳) (اکسید عنصرها بر پایه درصدوزنی و عنصرها بر پایه ppm) (داده‌ها از: شیردشت‌زاده، ۱۳۹۳؛ ترابی، ۲۰۱۳؛ قاضی و همکاران، ۲۰۱۱؛ رحمانی و همکاران، ۲۰۰۷) به همراه مقدار Ef ، C_{deg} و I_{geo} به دست آمده نسبت به ترکیب میانگین پوسته زمین (کاباتا-پندیاس، ۲۰۱۱)

منطقه	Bn یا میانگین	Cn در گروه‌های سنگی منطقه بررسی شده							
		افیولیت نایب				افیولیت عشین			
		ترکیب پوسته زمین	لرزولیت	هارزبورگیت	سنگ‌های متابازیک (آمفیبولیت)	سنگ‌های بازیک	لرزولیت	هارزبورگیت	سنگ‌های متابازیک (آمفیبولیت)
شمار نمونه‌ها	8	5	14	18	11	6	17	12	
Mn	900	900.3	16154.6	1739.5	1181.0	921.6	722.8	1425.0	1153.9
Sc	11	12.44	10.29	45.07	36.81	14.18	9.50	40.59	33.29
V	135	51.66	39.01	349.64	245.72	68.09	48.17	322.98	331.00
Cr	100	2429.20	2686.00	300.75	391.19	2084.00		245.76	393.80
Co	10	89.37	106.40	45.19	37.67	100.73	102.50	40.23	46.80
Ni	20	1789.80	2107.00	59.77	116.88	1895.00		124.73	226.38
Cu	55	11.63	1.00	51.90	65.05	18.37		104.26	63.23
Zn	70	50.24	35.33	208.74	60.86	35.47		80.72	86.63
As	1.8	0.70	0.25	0.79	4.12	0.48		19.13	3.39
Sr	375	18.79	97.41	215.51	257.08	18.59		356.93	385.50
Mo	1.5	0.05		5.37	3.39			4.77	5.88
Cd	0.1	0.06	0.06	0.08		0.06		0.10	
Sb	0.2	0.24	0.00	0.05				0.18	
Pb	15	1.02		0.72	0.35			0.83	1.22
CF Cu	-	0.21	0.02	0.94	1.18	0.33		1.90	1.15
CF Zn	-	0.72	0.50	2.98	0.87	0.51		1.15	1.24
CF Cd	-	0.60	0.60	0.77		0.60		1.00	
CF Pb	-	0.07		0.05	0.02			0.06	0.08
C_{deg}	-	1.60	1.12	4.74	2.08	1.44		4.10	2.47
Ef Mn	-	0.88	19.19	0.47	0.39	0.79	0.93	0.43	0.42
Ef V	-	0.34	0.31	0.63	0.54	0.39	0.41	0.65	0.81
Ef Cr	-	21.48	28.72	0.73	1.17	16.17		0.67	1.30
Ef Co	-	7.90	11.38	1.10	1.13	7.81	11.87	1.09	1.55
Ef Ni	-	79.12	112.66	0.73	1.75	73.50		1.69	3.74
Ef Cu	-	0.19	0.02	0.23	0.35	0.26		0.51	0.38
Ef Zn	-	0.63	0.54	0.73	0.26	0.39		0.31	0.41
Ef As	-	0.34	0.15	0.11	0.68	0.21		2.88	0.62
Ef Sr	-	0.04	0.28	0.14	0.20	0.04		0.26	0.34
Ef Mo	-	0.03		0.87	0.68			0.86	1.29
Ef Cd	-	0.53	0.64	0.19		0.47		0.27	
Ef Sb	-	1.06	0.00	0.06				0.24	
Ef Pb	-	0.06		0.01	0.01			0.01	0.03
$I_{geo}Mn$	-	-0.58	3.58	0.37	-0.19	-0.55	-0.90	0.08	-0.23
$I_{geo}V$	-	-1.97	-2.38	0.79	0.28	-1.57	-2.07	0.67	0.71
$I_{geo}Cr$	-	4.02	4.16	1.00	1.38	3.80		0.71	1.39
$I_{geo}Co$	-	2.57	2.83	1.59	1.33	2.75	2.77	1.42	1.64
$I_{geo}Ni$	-	5.90	6.13	0.99	1.96	5.98		2.06	2.92
$I_{geo}Cu$	-	-2.83	-6.37	-0.67	-0.34	-2.17		0.34	-0.38
$I_{geo}Zn$	-	-1.06	-1.57	0.99	-0.79	-1.57		-0.38	-0.28
$I_{geo}As$	-	-1.96	-3.43	-1.78	0.61	-2.49		2.82	0.33
$I_{geo}Sr$	-	-4.90	-2.53	-1.38	-1.13	-4.92		-0.66	-0.55
$I_{geo}Mo$	-	-5.49		1.26	0.59			1.09	1.38
$I_{geo}Cd$	-	-1.32	-1.32	-0.97		-1.32		-0.58	
$I_{geo}Sb$	-	-0.32		-2.58				-0.78	
$I_{geo}Pb$	-	-4.46		-4.97	-5.99			-4.77	-4.20

¹ Geo-accumulation Index

بحث و بررسی

بررسی مناطق افیولیتی عشین و نایین نشان می‌دهد این افیولیت‌ها با عارضه‌نگاری مرتفع در بخش‌های خشک و کم‌آب قرار دارند. از آنجایی که افیولیت‌های بررسی شده، همانند دیگر افیولیت‌های ایران و جهان، به‌صورت عوارض زمین‌شناختی مرتفع رخمون دارند، مناطق روستایی و شهری در این مناطق افیولیتی (مانند روستاهای سهیل‌پاکوه، کاظم‌آباد، احمدآباد، سپرآب، سوچه و ایبانه، وجود قنات‌های فراوان و بیش از ۵۰ مزرعه با محصول‌های متنوع در افیولیت نایین و روستاهای زوار و عشین و چاه‌های آب در افیولیت عشین، شکل ۲) و دامنه آن‌ها (مانند شهرهای محمدیه و نایین در جنوب افیولیت نایین) گسترش یافته‌اند که برخی از آن‌ها مانند سهیل‌پاکوه و محمدیه دارای جمعیت چشمگیری هستند؛ زیرا وجود چشمه و منابع آبی دائمی و فصلی که از مناطق مرتفع افیولیتی به‌سوی دامنه‌ها راه می‌یابند همواره انگیزه بسیار مهمی در گسترش زمین‌های کشاورزی، روستاها و شهرها در دامنه این مناطق افیولیتی بوده‌اند و ساخت قنات‌ها و چاه‌های فراوان در این مناطق را امکان‌پذیر کرده است (مانند قنات‌های موجود در جنوب شرقی افیولیت نایین و چاه‌های لقه و سنجد در افیولیت عشین). افزون‌بر این قنات‌های فراوانی را در افیولیت نایین می‌توان مشاهده نمود که از محدوده افیولیتی به‌سوی زمین‌های کشاورزی شمال‌شرق شهر نایین و محمدیه حفر شده‌اند؛ به عبارت دیگر شهر نایین در حوضه آبریز ارتفاعات افیولیت نایین قرار دارد؛ از این‌رو، از گذشته تاکنون، آب چاه‌ها و قنات‌ها در مصارف آشامیدنی، کشاورزی و دام‌پروری به‌کار برده شده است؛ اما مقادیر بالایی از عنصرها و کانی‌های آزادشده از واحدهای گوناگون سنگی این مناطق، می‌تواند به‌راحتی وارد آب چاه‌ها و قنات‌ها شده و یا با جریان سطحی و زیرزمینی آب و حتی باد به‌سوی زمین‌های کشاورزی و مراتع و نیز به درون سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق پایین‌دست انتقال یافته باشد. از آنجایی که شدت هوازدگی به‌علت بارندگی و یا رطوبت بالا و نیز میزان

خردشدگی سنگ‌ها افزایش می‌یابد، طبیعی است که این فرایند در مناطق مرطوب و گسل‌خیز شدت و اهمیت بیش‌تری داشته باشد. در حقیقت، رخمون‌یافتن افیولیت‌ها در ارتباط با محل گسل‌های ژرفا راستالغز، مناطق برشی و تراست‌هاست. این ساختارهای زمین‌شناسی توانایی هدایت و تمرکز آب‌های زیرزمینی را دارند. وجود گسل‌های فراوان در مناطق بررسی شده (مانند افیولیت نایین، شکل ۳) و قرارگرفتن این افیولیت‌ها در امتداد زون درزشدگی، افزون‌بر افزایش شدت دگرسانی، احتمال راه‌یابی عنصرها و مواد آزادشده از سنگ‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی را نیز به‌شدت افزایش می‌دهد.

افزون‌بر این، اگر جریان هوا از سوی افیولیت‌ها به‌سوی شهرهای نزدیک باشد می‌تواند دارای غبارهایی با عنصرها، ترکیب‌ها و کانی‌های مضر باشد. عنصرهای سنگین و کانی‌های آزبستی و تنفس‌هوای آلوده به غبارهای آزبستوزی (مانند کریزوتیل و آمفیبول‌ها) یا ورود آن‌ها به مواد خوراکی دام و انسان می‌تواند موجب بروز انواع سرطان‌ها و مشکلات بهداشتی برای ساکنان این مناطق شود (مانند: پوملی و همکاران، ۲۰۰۶).

در ادامه به بررسی نوع کانی‌های آزبستوزی و میزان عنصرهای سنگین در مجموعه‌های افیولیتی نایین و عشین و مخاطرات زیست‌محیطی مرتبط با آن‌ها پرداخته می‌شود.

الف- بررسی فراوانی عنصرها و فلزهای سنگین در افیولیت‌های عشین و نایین

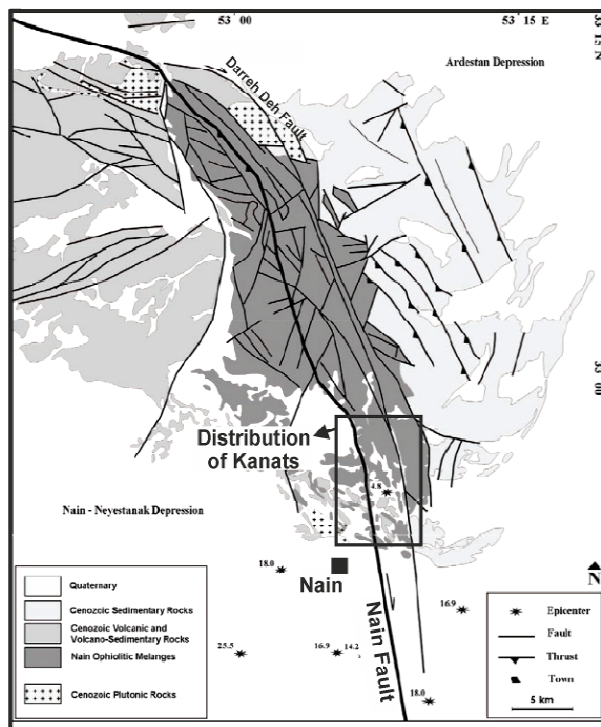
برپایه بررسی‌های قادریان و بیکر (۲۰۰۷)، آنالیز خاک‌های حاصل از دگرسانی و هوازدگی گروه‌های سنگی گوناگون افیولیت‌ها نشان‌دهنده تمرکز بالای عنصرهای Ni (۱۵۰۰ ppm)، Cr (۳۰۰ ppm)، Co (۷۵ ppm)، Mn (۸۰۰ ppm)، Fe (۴۵ ppm)، Mg (۱۵ ppm) و Ca (۲ ppm) در محدوده‌های افیولیتی نایین، عشین تا انارک است. در حقیقت، عنصرهای Ni، Co، Cr و نیز V از عنصرهای فرعی سازگار در ساختار کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن و اورتوپیروکسن سنگ‌های الترامافیک و مافیک، و

با رده‌بندی‌های موجود در شکل ۴ نشان می‌دهد اگرچه واحدهای سنگی بررسی شده درجه آلودگی بسیار کمی ($C_{deg} < 8$) برای این عنصرها دارند؛ اما میزان C_{deg} در متابازیک‌ها (آمفیولیت‌ها) کمابیش بیش‌تر ($4/74$ و $4/10$) از سنگ‌های بازیک ($2/08$ و $2/47$) و پریدوتیت‌ها ($1/36$ و $1/44$) ارزیابی می‌شود.

مقادیر Ef محاسبه شده با در نظر گرفتن عنصر Fe به عنوان عنصر مرجع برای به‌هنجارسازی و ترکیب پوسته زمین به‌عنوان ترکیب زمینه‌ای در جدول ۱ آورده شده‌اند. مقایسه نتایج به‌دست آمده (جدول ۱) با شکل ۴ نشان می‌دهد عنصرهای Zn, Pb, Cu, Sr, Sb, Cd در سنگ‌های بررسی شده Ef یا فاکتور غنی‌شدگی کمتر از ۲ دارند؛ اما در پریدوتیت‌ها، مقدار Ef برای عنصر کروم ($25/1$) - $16/2$ ($Ef \sim$) نشان‌دهنده غنی‌شدگی بسیار بالا، نیکل ($95/9 - 73/5$) ($Ef \sim$) نشان‌دهنده غنی‌شدگی بسیار بسیار بالا و کبالت ($11/9 - 9/6$) ($Ef \sim$) نشان‌دهنده غنی‌شدگی بالا هستند.

نیز آمفیبول درون آمفیولیت‌ها و متاپریدوتیت‌های منطقه به‌شمار می‌روند که در پی دگرسانی و هوازدگی از این سنگ‌ها آزاد شده‌اند. عنصرهای منگنز، آهن و کلسیم نیز از عنصرهای اصلی سازنده این کانی‌ها و کانی‌هایی مانند فلدسپارها (عنصر کلسیم) به‌شمار می‌روند. عنصر وانادیم از عنصرهای فرعی سازگار در ساختار مگنتیت و ایلمنیت درون این سنگ‌ها نیز به‌شمار می‌رود. از آنجایی که این گروه‌های سنگی و سنگ‌های حاصل از دگرسانی و دگرگونی آن‌ها، حجم بزرگی از سنگ‌شناسی افیولیت‌ها را دربر می‌گیرند، فراوانی کانی‌های اصلی سازنده آن‌ها، فراوانی این عنصرها در این محیط‌ها را به‌دنبال دارد. از این‌رو، در ادامه برپایه زمین‌شیمی برخی عنصرها (مانند آرسنیک، کروم، کبالت، نیکل و وانادیم) در ترکیب سنگ‌کل واحدهای مافیک و الترامافیک افیولیت‌های نایین و عشین (جدول ۱) به‌عنوان آغازی برای بررسی‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی این مناطق اشاره می‌شود.

بررسی فاکتور آلودگی (CF) و درجه آلودگی (C_{deg}) برای عنصرهای Zn, Pb, Cu و مقایسه نتایج



شکل ۳. نقشه پراکندگی الگوی گسل‌ها برپایه نمودارهای رز، پیکان‌های سیاه جهت فشارهای ناحیه‌ای را نشان می‌دهند (ندیمی و سهرابی، ۲۰۰۸). محدوده پراکندگی قنات‌های حفر شده در جنوب افیولیت نایین مشخص شده است.

$I_{geo} \leq 0$	تقریباً آلاینش نیافتگی	$Ef < 2$	کمترین میزان غنی‌شدگی	$C_{deg} < 8$	درجه کم آلاینش
$0 < I_{geo} < 1$	آلاینش نیافتگی تا آلاینش متوسط	$Ef = 2-5$	میزان غنی‌شدگی متوسط	$8 \leq C_{deg} < 16$	درجه متوسط آلاینش
$1 < I_{geo} < 2$	آلاینش یافتگی متوسط	$Ef = 5-20$	میزان غنی‌شدگی بالا	$16 \leq C_{deg} < 32$	درجه بالای آلاینش
$2 < I_{geo} < 3$	آلاینش یافتگی متوسط تا بسیار	$Ef = 20-40$	میزان غنی‌شدگی بسیار بالا	$32 \leq C_{deg}$	درجه بسیار بالای آلاینش
$3 < I_{geo} < 4$	آلاینش یافتگی بالا	$Ef > 40$	میزان غنی‌شدگی بسیار بسیار بالا		
$4 < I_{geo} < 5$	آلاینش یافتگی بالا تا بسیار بالا				

شکل ۴. رده‌بندی فاکتورهای I_{geo} ، Ef و C_{deg} برگرفته از آیکوپوکیدین و همکاران (۲۰۱۰)

شاخص آلودگی I_{geo} (شکل ۴)، بدون آلودگی دانسته می‌شوند؛ اما لیستونیت‌ها می‌توانند آرسنیک از چند ده تا هزار ppm آرسنیک داشته باشند (ترابی، ۱۳۸۳).

میزان تمرکز کروم در سنگ‌های پوسته زمین نزدیک به ۱۰۰-۱۲۶ ppm است (ودپول، ۱۹۹۵؛ کاباتا-پندیاس، ۲۰۱۱). بررسی‌های قادریان و بیکر (۲۰۰۷) روی سنگ‌های الترامافیک (سرپانتینیت) در مناطق انارک و نایین نشان می‌دهد تنوع پوشش گیاهی در انارک بیش‌تر از نایین است. میانگین نیکل در انواع سنگ‌های پریدوتیتی دگرسان‌شده بررسی شده (بیش‌تر از ۲۰۰۰ ppm)، از میانگین آن در سنگ‌های پوسته‌ای (۴۰ تا ۱۰۰ ppm) به‌مراتب بالاتر است، به‌ویژه در سنگ‌های الترامافیک که حجم وسیعی از سنگ‌شناسی این افیولیت‌ها را شامل می‌شوند و می‌توانند به‌صورت سنگ‌بستر سفره‌های آب زیرزمینی در زیر لایه‌های سنگی دیگر پنهان شده باشند. نتایج محاسبه فاکتورهای I_{geo} و Ef (جدول ۱) نیز درستی این نکته را نشان می‌دهند. کروم شش ظرفیتی در آب محلول است و به‌راحتی انتشار می‌یابد؛ اما کروم سه‌ظرفیتی غیرحلال‌تر و کم‌تحرك‌تر است. برپایه تأثیر منفی کروم و نیکل رویش گیاهان، احتمال دارد این پدیده با درصد کمتر تمرکز کروم و نیکل در خاک‌های منطقه انارک (در مقایسه با نایین) به‌دنبال شدت کمتر فرایندهای ذوب‌بخشی و سنگ/مذاب (ترابی، ۲۰۱۳) بستگی داشته باشد.

در واحدهای الترامافیک افیولیت‌های نایین و عشین که حجم بزرگی از سنگ‌شناسی این مناطق را در بر

مقایسه نتایج I_{geo} به‌دست آمده برای عنصرهای مورد بحث (جدول ۱) با رده‌بندی شکل ۴ نشان می‌دهد عنصرهای Cu ، Pb ، Zn ، Cd ، Sb ، Sr ، Mn و As در سنگ‌های بررسی‌شده دارای I_{geo} یا شاخص تجمع زمین کمتر از صفر هستند. در مقابل، مقدار I_{geo} برای عنصرهای کروم (۴ ~ I_{geo}) و نیکل ($I_{geo} > 5$) در پریدوتیت‌ها به شدت بسیار بالاست. مقدار شاخص تجمع زمین این عنصرها در واحدهای بازیک نیز در حد آلودگی متوسط ($1 < I_{geo} < 2$) است و در واحدهای متابازیک کمتر از این مقدار است ($1 < I_{geo} < 0$) است. آلودگی کبالت در واحدهای پریدوتیتی متوسط تا بالا ($2 < I_{geo} < 3$) است و در دیگر سنگ‌ها آلودگی متوسط ($1 < I_{geo} < 2$) دارد.

آرسنیک عنصر فراوانی در پوسته زمین به‌شمار نمی‌رود و میانگین تمرکز آن در سنگ‌های پوسته‌ای نزدیک به ۲ ppm است (ودپول، ۱۹۹۵؛ کاباتا-پندیاس، ۲۰۱۱). این عنصر به‌همراه کانی‌های سولفیدی (مانند پیریت) دیده می‌شود و معمولاً در محصول‌های دگرسانی و هوازدگی فراوان‌تر است (ریدر و همکاران، ۲۰۰۶). ورود آرسنیک به درون آب‌های زیرزمینی موجب آلودگی آن‌ها می‌شود. بررسی زمین‌شیمی سنگ‌های مافیک و الترامافیک افیولیت‌های نایین و عشین و داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد میزان این عنصر در الترامافیک‌ها کمتر از میانگین تمرکز این عنصر در سنگ‌های پوسته‌ای است. در سنگ‌های بازیک افیولیت‌های نایین و عشین مقدار آرسنیک به بیشتر از ۳ ppm نیز می‌رسد (جدول ۱) که برپایه

در آمفیبولیت‌ها مقدار وانادیم بسیار بالاتر است) و برپایه فاکتور I_{geo} نیز وانادیم در واحدهای متابازیک (آمفیبولیت‌ها) آلودگی متوسط ($2 < I_{geo} < 1$) را نشان می‌دهد (جدول ۱).

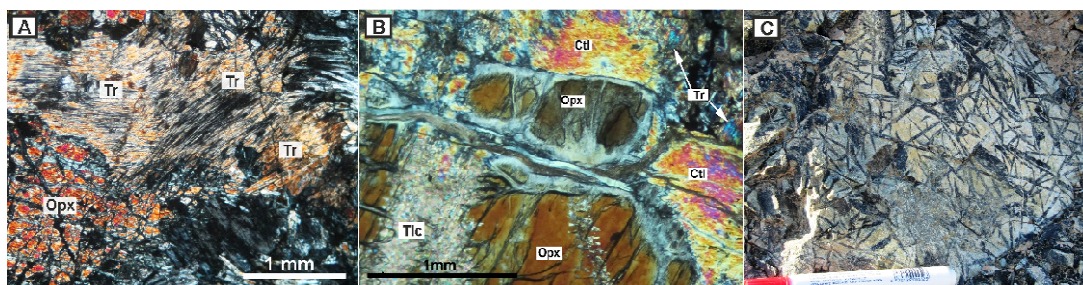
ب- عوارض کانی‌های سرطان‌زا

از کانی‌های سرطان‌زایی که به‌همراه افیولیت‌ها یافت می‌شوند می‌توان به تالک و آزبست‌ها را نام برد. آزبست (یا پنبه‌کوهی یا نسوز) اغلب شامل کانی‌های گروه سرپانتین و آمفیبول‌ها است که از محصولات دگرگونی و دگرسانی سنگ‌های الترامافیک و مافیک این دو افیولیت‌ها به‌شمار می‌روند. البته برپایه بررسی‌های سنگ‌شناسی روی واحدهای پریدوتیتی، این افیولیت‌ها از نوع افیولیت‌های نوع هارزبورگیتی (HOT) هستند (ترابی، ۱۳۹۱)؛ بنابراین، میزان کانی مقاوم کلینوپیروکسن در این سنگ‌ها کمابیش کم است و در نتیجه شدت دگرسانی و سرپانتینی‌شدن این گروه‌های سنگی بالاست و میزان آزبست فروانی در این افیولیت‌ها تولید شده است. افزون‌بر این، رویداد فرایندهای دگرگونی در این افیولیت‌ها بر تولید کانی‌هایی مانند ترمولیت به‌ویژه در پریدوتیت‌های دگرگون‌شده این افیولیت‌ها (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴) افزوده است. هم‌چنین، برپایه سنگ‌نگاری این سنگ‌ها و نیز نتایج آنالیز رامان اسپکترومتری (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴)، در پریدوتیت‌های گوشته، کانی‌های کریزوتیل در پی سرپانتینی‌شدن و ترمولیت در پی دگرگونی به‌طور گسترده پدید آمده‌اند (شکل ۵)، تاجایی که واحدهای سنگی مانند ترمولیت‌شیست (شکل ۵- C) به‌طور پراکنده در برخی بخش‌ها دیده می‌شوند. برای نمونه، در آب قنات‌های منطقه امیرآباد می‌توان بلورهایی از آزبست را دید. از این‌رو، با توجه به محیط و آب‌وهوای کویری مناطق افیولیتی ناین و عشین و در نتیجه گرد و غبار ناشی از آن‌ها و تأثیر بر آب مصرفی و خاک کشاورزی، بررسی میزان و پراکندگی این کانی‌ها در منطقه اهمیت بالایی دارد.

گرفته‌اند، میزان متوسط نیکل از ۱۷۹۰ تا ppm ۲۱۰۷ و در سنگ‌های مافیک از ۶۲ تا ppm ۱۸۳ متغیر است و از لحاظ زیست‌محیطی، فاکتورهای Ef و I_{geo} مقادیر بسیار بالایی را نشان می‌دهند (جدول ۱). برپایه بررسی‌های قادریان و بیکر (۲۰۰۷)، رویش گیاهی به نام *Cleome heratensis* (Capparaceae) در این مناطق، مختص و نشان‌دهنده خاک‌های حاصل از سنگ‌های الترامافیک ایران مرکزی (شامل انارک و شمال ناین) است؛ زیرا این گیاه سازوکاری دارد که با کمک آن، از تجمع نیکل و دیگر عنصرهای متداول در سرپانتینیت‌ها در ساختار خود جلوگیری می‌کند؛ اما برخی گیاهان دیگر به‌آسانی این عنصرها را در ساختار خود جذب می‌کنند (امینی و همکاران، ۱۳۹۰). از این‌رو، گمان می‌رود به‌عنوان یک فیلترکننده طبیعی برای عنصر نیکل، رویش این گیاه تا اندازه‌ای موجب افزایش نسبی درصد نیکل در رسوب‌ها و خاک‌ها می‌شود.

تغییرات کبالت در خاک‌ها به‌طور معمول برابر با ۱ تا ppm ۴۰ و میانگین تمرکز آن نزدیک به ppm ۷ است (ATSDR، ۲۰۰۴)؛ اما مقدار کبالت در سنگ‌های الترامافیک بررسی شده در افیولیت‌های ناین و عشین نزدیک به ppm ۱۰۰ و در سنگ‌های مافیک نزدیک به ppm ۴۰ است. فاکتور I_{geo} با آلودگی متوسط تا بالای کبالت در واحدهای پریدوتیتی و آلودگی متوسط آن در دیگر سنگ‌های بررسی شده نشان‌دهنده این نکته است. هنگامی که کبالت وارد محیط می‌شود، بلافاصله از بین نمی‌رود، بلکه ممکن است با دیگر ذره‌های خاک یا رسوب‌های آبی واکنش داده یا جذب آن‌ها شود. البته تنها هنگامی که شرایط محیط اسیدی باشد، کبالت می‌تواند متحرک باشد؛ اما به‌هرحال، بخش بزرگی از کبالت وارد رسوب‌ها و خاک و در نتیجه گیاهان و یا فرآورده‌های کشاورزی این مناطق می‌شود. میانگین تمرکز وانادیم در پوسته زمین نزدیک به ppm ۱۰۰ است (بیروم، ۱۹۹۱). اگرچه مقدار وانادیم در سنگ‌های الترامافیک بررسی شده کمتر از ppm ۱۰۰ است، اما در سنگ‌های مافیک به بیش‌تر از ۲۰۰ تا ppm ۳۰۰ نیز می‌رسد (به‌ویژه

¹ Harzburgitic Ophiolite Type



شکل ۵. تصویر میکروسکوپی در نور (Cross Polarized Light) XPL از: (A)، (B) تبلور ترمولیت، تالک و سرپانتین (کریزوتیل) در پریدوتیت‌های دگرگون شده گوشته افیولیت نایین (Opx: ارتوپروکسن، Tr: ترمولیت، Tlc: تالک، Ctl: کریزوتیل)، (C) تصویر رخنمونی از ترمولیت‌شیبست با درشت‌بلورهای سوزنی‌شکل و تیره‌رنگ ترمولیت (افیولیت نایین)

نتیجه‌گیری

به‌علت فاصله اندک مناطق شهری و روستایی با افیولیت‌های نایین و عشین، بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و سنگ‌شناسی واحدهای مافیک و الترامافیک این افیولیت‌ها در بررسی‌های زمین‌شناسی زیست‌محیطی اهمیت بالایی دارد. شدت بالای دگرسانی سنگ‌های گوناگون افیولیت‌های نایین و عشین و وجود رودخانه‌های فصلی و سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق بالادست می‌تواند عامل مؤثری بر کیفیت خاک و زمین‌های کشاورزی در دامنه این مناطق افیولیتی دانسته شود. در سنگ‌های آذرین دگرگون‌شده و دگرسان‌شده مافیک تا الترامافیک افیولیت‌های نایین و عشین، فراوانی فلزهای سنگین که از آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند عبارت است از: آرسنیک در سنگ‌های بازیک بیش‌تر از ۳ ppm، کروم در سنگ‌های مافیک و الترامافیک بیش‌تر از ۲۰۰۰ ppm، نیکل در سنگ‌های الترامافیک نزدیک به ۱۸۰۰ ppm و در سنگ‌های مافیک نزدیک به ۶۰-۱۲۵ ppm، کبالت در سنگ‌های الترامافیک نزدیک به ۱۰۰ ppm و در سنگ‌های مافیک ۴۰ ppm و وانادیم در سنگ‌های مافیک به‌ویژه در آمفیولیت‌ها نزدیک به ۲۵۰-۳۵۰ ppm. محاسبه فاکتورهای غنی‌شدگی (Ef) و آلودگی (I_{geo}) نیز نشان‌دهنده داشتن پتانسیل آلودگی از عنصرهای یادشده هستند. از سوی دیگر، کانی‌هایی مانند هورنبلند، ترمولیت، تالک و کریزوتیل محصولات دگرسانی و دگرگونی پریدوتیت‌ها و سنگ‌های مافیک این افیولیت‌ها هستند. برپایه گسترده‌ی دگرسانی و دگرگونی در

این افیولیت‌ها و پیدایش کانی‌های سرطان‌زای آزبستی در کنار مقدار بالای عنصرهایی مانند نیکل و کروم، باید به انجام بررسی‌ها و برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی به‌صورت ویژه توجه شود.

منابع

- امینی، ف، میرغفاری، ن و عشقی‌ملایری، ب (۱۳۹۰) بررسی غلظت نیکل در خاک و تعدادی از گونه‌های گیاهی طبیعی اطراف معدن سرب و روی آهنگران در استان همدان، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره ۱۳، جلد ۱، ۱۱-۲۰.
- ترابی، ق (۱۳۸۳) پترولوژی افیولیت‌های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان)، پایان‌نامه دکتری پترولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۲۴۰ ص.
- ترابی، ق (۱۳۸۷) ایران مرکزی و لزوم توجه به پدیده‌های زمین‌شناسی در توسعه شهرها و روستاهای قدیمی و احداث شهرهای جدید، مجله علمی- پژوهشی دانشگاه اصفهان (ویژه‌نامه زمین‌شناسی)، شماره ۳۴، جلد ۵، ۱-۱۸.
- ترابی، ق (۱۳۹۱) افیولیت‌های ایران مرکزی: نایین، عشین و سورک (مزوزویک)، انارک، جندق، بیاضه و پشت بادام (پالتوزویک)، جهاد دانشگاهی اصفهان، ۴۴۳ ص.
- شیردشت‌زاده، ن (۱۳۹۳) پترولوژی گدازه‌های بالشی و آمفیولیت‌ها و دگرگونی در پریدوتیت‌های گوشته افیولیت نایین و عشین، پایان‌نامه دکتری پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، ۳۴۵ ص.
- Aikpokpodion, P. E., Lajide, L., Aiyesanmi, A. F. (2010) Heavy Metals Contamination in Fungicide Treated Cocoa Plantations in Cross River State, Nigeria. American-Eurasian Journal of Agriculture & Environment Sciences, 8(3), 268-274.
- ATSDR (2004) Public health statement for Cobalt. U.S., Department of Health and Human Services-Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

- Shafaii Moghadam, H., Corfu, F., Stern, R. J (2013) U – Pb zircon ages of Late Cretaceous Nain - Dehshir ophiolites, Central Iran. *Journal of the Geological Society*, 170: 175-184.
- Sharkovski, M., Susov, M., Krivyakin, B (1984) *Geology of the Anarak area (Central Iran)*, Explanatory text of the Anarak quadrangle map, 1:250,000. V/O Technoexport Report TE/No. 19, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Shirdashtzadeh, N., Kachovich, S., Aitchison, J. C., Samadi, R (2015) Mid-Cretaceous radiolarian faunas from the Ashin Ophiolite (western Central-East Iranian Microcontinent). *Cretaceous Research*, 56: 110-118.
- Shirdashtzadeh, N., Torabi, G., Arai, S (2010) Metamorphism and metasomatism in the Jurassic of Nain ophiolitic mélange, Central Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 255(3):255–275.
- Shirdashtzadeh, N., Torabi, G., Arai, S (2011) Two Mesozoic oceanic phases recorded in the basic and metabasic rocks of the Nain and Ashin-Zavar ophiolitic mélanges (Isfahan Province, Central Iran). *Ophioliti*, 36: 191-205.
- Shirdashtzadeh, N., Torabi, G., Meisel, T. C., Arai, S., Bokhari, S. N. H., Samadi, R., Gazel, E (2014) Origin and evolution of metamorphosed mantle peridotites of Darreh Deh (Nain Ophiolite, Central Iran): Implications for the Eastern Neo-Tethys evolution. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 273(1): 89-120.
- Takin, M (1972) Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature*, 235: 147-150.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D (1985) *Soil Fertility and Fertilizers*. 4th Ed., Macmillan Publication Co., New York.
- Torabi, G (2010) Early Oligocene alkaline lamprophyric dykes from the Jandaq area (Isfahan Province, Central Iran): Evidence of Central - East Iranian microcontinent confining oceanic crust subduction. *Island Arc*, 19: 277-291.
- Torabi, G (2011) Late Permian blueschist from Anarak ophiolite (Central Iran, Isfahan province), a mark of multi-suture closure of the Paleo-Tethys ocean. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(3): 544-554.
- Torabi, G (2013) Chromitite absence, presence and chemical variation in ophiolites of Central Iran (Naein, Ashin, Anarak and Jandaq). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 267(2): 171-192.
- U.S EPA (1992) Behavior of metals in soils. U.S Environmental Protection Agency, Office of solid waste and emergency response. EPA/540/S-92/018.
- Wedepohl, K. H (1995) The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 1217-1232.
- Byerum, R. U (1991) Vanadium. In: Merian. E. (Ed.), *Metals and their Compounds in the Environment*, VCH, Weinheim, 481 pp.
- Coleman, R. G (1977) *Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere*, Springer-Verlag, Berlin, 229 pp.
- Davoudzadeh, M (1972). *Geology and petrography of the area north of Nain, Central Iran*, Geological Survey of Iran. Report, 14, 89 pp.
- Ghaderian, S. M., Baker, A. J. M (2007) Geobotanical and biogeochemical reconnaissance of the ultramafics of Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 92: 34-42.
- Ghazi, J. M., Moazzen, M., Rahgoshay, M. D., Shafaii Moghadam, H (2011) The geodynamic setting of The Nain Ophiolites, Central Iran: Evidence from chromian spinels in the chromitites. *Ophioliti*, 36: 59-76.
- Govindaraju, K (1994) Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostand Newsletters, Special Issue*, 18: 1-158.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H (1992) *Trace element in soils and plants*, 2nd edition, CRC press, Boca Raton, FL, 365pp.
- Lee, D. S., Garland, J. A., Fox, A. A (1994) Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, 28: 2691–2713.
- Meisel, T., Schöner, N., Paliulionyte, V., Kahr, E (2002) Determination of rare earth elements (REE), Y, Th, Zr, Hf, Nb and Ta in geological reference materials G-2, G-3, SCo-1 and WGB-1 by sodium peroxide sintering and ICP-MS. *Geostandards Newsletter*, 26(1), 53-61.
- Muller, G (1979) Schwermetalle in den sediment des Rheins-Veränderungen seitt 1971. *Umschan*, 79: 778-783.
- Nadimi, A., Sohrabi, A (2008) Nain tectonic mélanges, Central Iran: Strike slip faulting and tectonic evolutions. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 49(2): 84-88.
- Pessagno, E. A. Jr., Ghazi, A. M., Kariminia, M., Duncan, R. A., Hassanipak, A. A (2005) Tectonostratigraphy of the Khoy Complex, northwestern Iran. *Stratigraphy*, 2(1): 49-63.
- Plumlee, G. S., Morman, S. A., Ziegler, T. L (2006) The Toxicological geochemistry of earth materials: An overview of processes and the interdisciplinary methods used to understand them. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 64: 5-57.
- Rahmani, F., Noghreyan, M., Khalili, M (2007) Geochemistry of foliated dikes in the Nain ophiolite (Central Iran). *Ophioliti*, 32(2): 119-129.
- Reeder, R. J., Schoonen, M. A. A., Lanzirotti, A. (2006) Metal Speciation and Its Role in Bioaccessibility and Bioavailability. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 64, 59-113.

Application of petrologic findings and geochemical data in environmental geology studies of ophiolitic areas: Case studies in the north of Nain and Ashin (Isfahan Province)

N. Shirdashtzadeh^{*1}, G. Torabi² and R. Samadi³

1, 2- Dept., of Geology, University of Isfahan, Isfahan

3- Dept., of Geology, Islamic Azad University of Mashhad, Mashhad

* nshirdasht@gmail.com

Received: 2018/12/9 Accepted: 2019/5/18

Abstract

The study of petrological findings and geochemical data of mafic and ultramafic rocks and related petrographic units in the ophiolites can be an introduction to environmental geology studies, agriculture and natural resources. Regarding the urban and rural areas of Nain to Ashin in the vicinity of ophiolitic zone (Central Iran), geochemical investigations of mafic and ultramafic rocks of these ophiolites have very important applications in the field of environmental geology of these areas. Therefore, available geochemical data of basic rocks (pillow lavas and basalts), metabasic rocks (amphibolites) and metamorphosed and altered peridotites are considered based on environmental factors. For examples, in the peridotites which are one of the most abundant rock units in these ophiolites, the enrichment factor (Ef) for Ni is extremely high, for Cr is very high, and for Co is high. In addition, the geo-accumulation index or I_{geo} for Ni (~ 4) and Ni (>5) in peridotites is heavily to extremely high. therefore, high Ef and I_{geo} factors of the studied heavy metals (e.g., chrome, nickel, cobalt, arsenic, vanadium) and asbestose minerals (hornblende, tremolite, talc and chrysotile) in the mafic and ultramafic rocks of Ophiolites can be known as some dangerous environmental pollutants. Thus, investigation of the volume of such elements penetrated into the surface and underground waters and soils in the villages and cities at the foot of these ophiolites could be a theme for ongoing studies in environmental geology of these areas.

Keywords: petrology, geochemical data, environmental geology, ophiolite