

## بررسی محیط ژئوتکتونیک پریدوتیت‌های منطقه آبدشت، جنوب شرق استان کرمان با استفاده از شیمی اسپینل

طیبه رودباری<sup>۱</sup>، محسن موذن<sup>(۲)</sup>، سید حسام‌الدین معین‌زاده<sup>۳</sup>، معصومه آهنگری<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز

۲. استاد پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز

۳. استادیار پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز

۴. دکتری پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۰۹

### چکیده

پریدوتیت از عمده سنگ‌های تشکیل دهنده مجموعه افیولیتی آبدشت در جنوب ایران است. پریدوتیت‌های این مجموعه افیولیتی بیشتر از نوع دونیت و هارزبورژیت است. مهم‌ترین کانی‌های اولیه پریدوتیت‌ها، الیون، ارتوپروکسن، اسپینل و مقدار بسیار کمی کلینوپروکسن هستند. مطالعه شیمی اسپینل‌ها در این پریدوتیت‌ها نشان می‌دهد که ترکیب آنها بر اساس اعضای نهایی اسپینل بین  $\text{Mag}_{0.03}\text{Chr}_{0.57}\text{Spl}_{0.4}$  تا  $\text{Mag}_{0.03}\text{Chr}_{0.51}\text{Spl}_{0.46}$  در نوسان است. عدد کروم (#Cr) اسپینل در پریدوتیت‌های آبدشت در حدود ۰/۷۳ تا ۰/۹۲ است و مقادیر آلومینیوم آن‌ها ۳/۶۱ تا ۱۱/۲۹ wt% است. بررسی شیمی کانی‌ها با استفاده از نتایج میکروپروب نشان می‌دهد که این کانی‌ها باقیمانده‌هایی از گوشته هستند و مقادیر بالای Cr، تهی‌شدگی پریدوتیت‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس شیمی اسپینل مشخص شد که پریدوتیت‌های مورد مطالعه در محیط فرافورانش (Supra-subduction) تشکیل شده‌اند و محدوده fore-arc با ویژگی boninite را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: دونیت، اسپینل، سوپراسابداکشن، آبدشت، کرمان.

### مقدمه

منطقه مورد مطالعه با طول جغرافیایی  $۵۶^{\circ}۴۳'$  تا  $۵۶^{\circ}۵۳'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $۲۸^{\circ}۱۷'$  تا  $۲۸^{\circ}۲۵'$  شمالی، بخشی از کمربند مزوزوئیک افیولیت ملانژ جنوب شرقی ایران است که در جنوب شرق کرمان در منتهی‌الیه زون سسندج-سیرجان، در ناحیه اسفندقه قرار دارد (شکل ۱). پترولوژی سنگ‌های مافیک و الترا مافیک افیولیت‌های جنوب شرق ایران توسط Ghasemi (2000) و

Ahmadi Pour (2000) مطالعه شده است. تحول ژئودینامیکی و دگرگونی سنگ‌های منطقه آبدشت واقع در منطقه اسفندقه توسط Agard et al. (2006) و (2007) و Moinzadeh مطالعه شده است. مطالعه این منطقه نشان می‌دهد که پس از به تعادل رسیدن سنگ‌های الترابازیک به صورت پریدوتیت‌های افیولیتی، این سنگ‌ها به همراه سنگ‌های بازیک (پوسته اقیانوسی) و دیگر سنگ‌ها (مانند مرمرهای پلاژیک) تا اعماق قابل توجهی فرورانده شده‌اند.

\* نویسنده مرتبط: moazzen@tabrizu.ac.ir

بالا هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده شامل تالک، آنتوفیلیت، انستاتیت و سرپانتین وجود دارند (Sabzehei, 1974). سنگ‌های متا اولترامافیک دگرگون شده با مجموعه سنگ‌های اولترامافیک آبدشت و معدن کرومیت آبدشت مرتبط هستند. همراه این سنگ‌ها مجموعه‌ای از آمفیبولیت‌ها، میکا شیست‌ها، مرمرها و شیست‌های سبز و آبی که در نقشه حاجی‌آباد با عنوان «گلوکوفان شیست» مشخص شده‌اند، وجود دارند. در این مجموعه سنگی، آمفیبول آبی فقط به صورت محلی و در مقیاس کوچک قابل تشخیص است و رخساره‌های پایین آمفیبولیت تا رخساره‌های فوقانی شیست سبز متداول تر هستند. سن میکا شیست‌های شمال سرخان با روش  $^{40}\text{K}-^{40}\text{Ar}$  (برای فنزیت)  $80.7 \pm 1.5$  میلیون سال (Ghasemi et al., 2002) و با روش  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$   $93 \pm 5.9$  میلیون سال (Agard et al., 2006) تعیین شده است. به طرف شمال مجموعه متا اولترامافیک، یک گروه از سنگ‌ها شامل آمیزه‌ای از شیست‌های آبی (در بعضی بخش‌ها گلوکوفانیت خالص)، مرمرها و گارنت میکا شیست‌ها در یک زمینه سرپانتینی وجود دارند. این سنگ‌ها به عنوان «سرپانتینیت شیست» مشخص شده‌اند که تحت شرایط دگرگونی به رخساره‌های اکلوزیت - لائوسونیت و شیست‌های آبی لائوسونیت‌دار شکل گرفته‌اند (Sabzehei, 1974; Moinszadeh, 2007, Oberhänsli et al., 2007).

در امتداد مرزهای شمالی توده‌های اولترامافیک دگرگون شده به طرف آمیزه سرپانتینی و شیست‌های آبی عدسی‌های بزرگ مگنزیست وجود دارد. یکی از این عدسی‌ها شامل رگه‌هایی از ژادئیت‌های آبی و سفید است (Oberhänsli et al., 2007).

### روش مطالعه

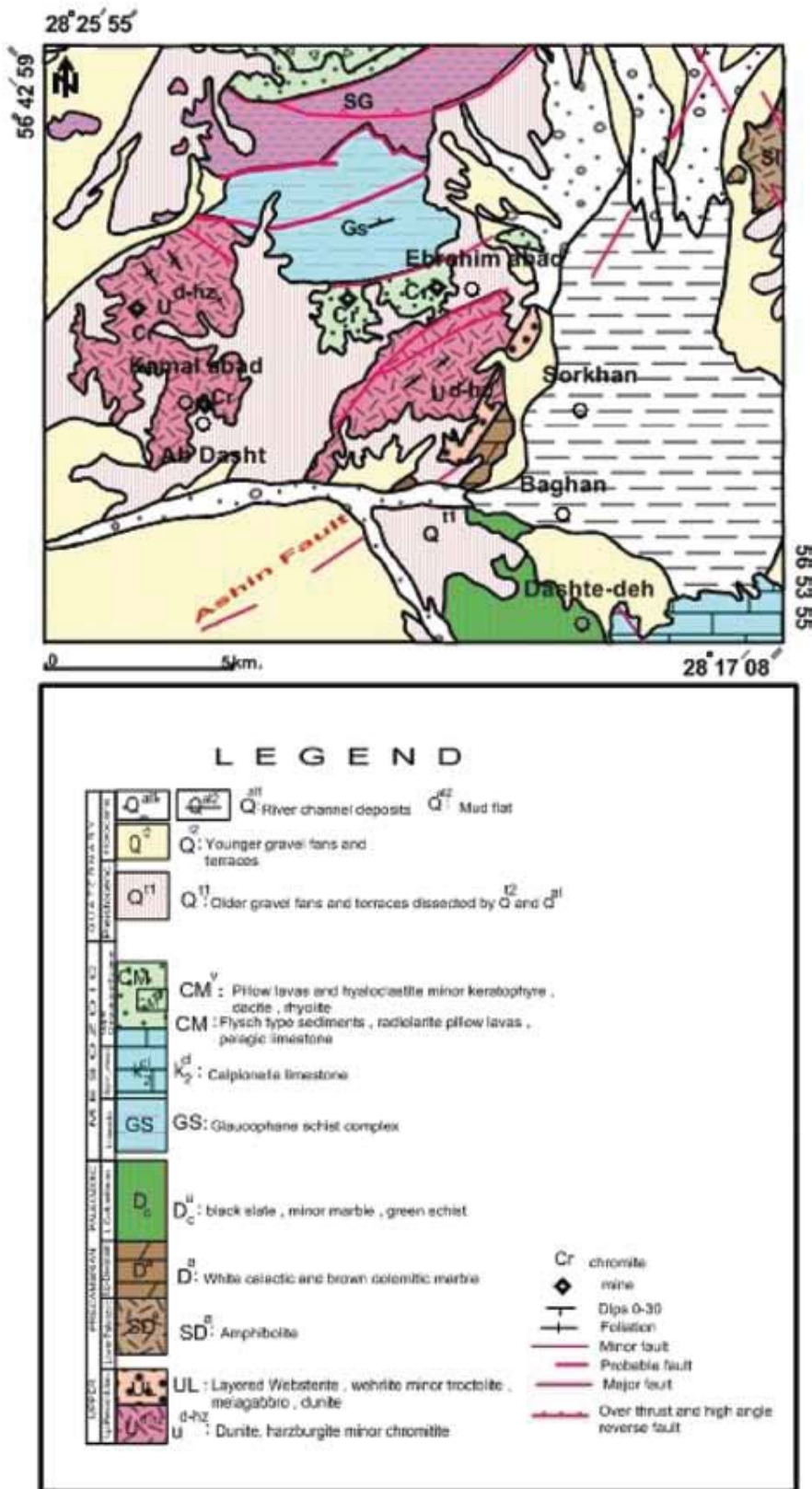
در این پژوهش پس از مطالعات صحرایی و مشخص کردن روابط بین واحدهای سنگی، نمونه‌برداری از سنگ‌های منطقه آبدشت به منظور بررسی ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئودینامیکی سنگ‌های مورد مطالعه به عمل آمد. پس از مطالعات پتروگرافی، نمونه‌های شاخص برای انجام آنالیز با استفاده از الکترون میکروپروب با دستگاه سوپرپروب JEOL

حاصل این امر تشکیل شیست‌ها و مرمرهای گلوکوفان‌دار منطقه است. فرورانش در منطقه اسفندقه و آبدشت از نوع فرورانش سرد بوده است. بدین ترتیب، کانی‌های آبدار همچون لائوسونیت، گلوکوفان و کلریت در اوج دگرگونی (رخساره شیست آبی تا لائوسونیت اکلوزیت) حفظ شده‌اند. حضور لائوسونیت که به تغییرات دما بسیار حساس است و با افزایش آن به سرعت ناپایدار می‌شود، فرورانش سرد را تأیید می‌کند.

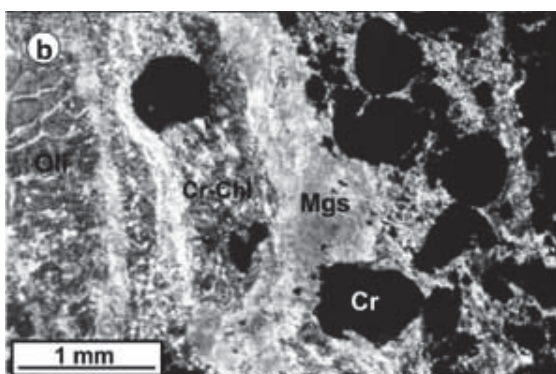
این پژوهش، ترکیب اسپینل‌های پدیدت‌های منطقه آبدشت را بررسی کرده است. (Ghasemi et al., 2002). محیط فرافروانشی (supra-subduction) با تاریخچه پیچیده‌ای برای تشکیل و جای‌گیری افیولیت‌های سیخوران پیشنهاد کرده‌اند. با این حال مطالعه شیمی کانی‌های پدیدت‌ها در این منطقه و تعیین محیط تکتونیک بدین طریق صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های ژئوشیمی اسپینل‌ها به بررسی محیط تشکیل تکتونیک و ذوب بخشی پدیدت‌های منطقه آبدشت پرداخته شده است. این پژوهش، اولین گزارش در خصوص ویژگی‌های شیمیایی اسپینل و استفاده از آن در بررسی پتروژنتیک و ژئودینامیکی پدیدت‌های افیولیتی جنوب کرمان است.

### زمین‌شناسی منطقه

آمیزه‌های افیولیتی دوران دوم در جنوب شرق ایران بین منطقه زاگرس چین‌خورده و کمربند رورانده و سنگ‌های دگرگونی و سری قوس آتشفشانی منطقه سنندج - سیرجان (شمال حاشیه قاره‌ای تیس) تشکیل شده‌اند. آمیزه‌های رنگین کمربند رورانده، دارای مجموعه‌هایی از توالی‌های دگرگونی هستند. نزدیک سرخان یک نوار شامل سنگ‌های دگرگونی فشار بالا در کنار مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگون‌نشده اولترامافیک و مافیک با سن پرکامبرین قرار دارند. سن  $^{40}\text{K}-^{40}\text{Ar}$  کل سنگ در گابروها و دیابازهای نزدیک سرخان بین ۱۳۰ تا ۱۴۰ میلیون سال و در آمفیبولیت‌های شرق سرخان ۲۰۲ میلیون سال تعیین شده است (Ghasemi et al., 2002). در شمال این منطقه در آشین



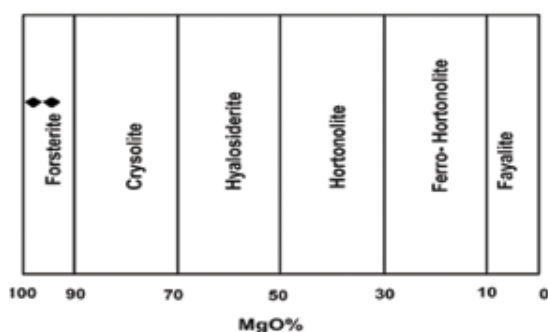
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه آبدشت با اقتباس از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه حاجی‌آباد (Sabzehei et al., 1994)



شکل ۲. (a) اسپینل (کرومیت، Spl) در داخل اولیوین (Ol) که خود در برداری اولیوین دارد و در (b) داخل مجموعه‌ای از کروم-کلریت (Cr-Chl) و مگنیزیت (Mgs) دیده می‌شود

### مینرال شیمی اولیوین‌ها

چهارده نقطه از اولیوین‌های موجود در نمونه‌های پریدوتیتی جمع‌آوری شده از منطقه آبدشت مورد تجزیه قرار گرفت. فرمول ساختمانی اولیوین‌ها بر اساس سه کاتیون به ازای چهار اکسیژن محاسبه شده است (جدول ۱). محاسبه مقدار درصد MgO تمامی نقاط آنالیز شده، مقادیری در حدود ۹۰ تا ۱۰۰ وزن درصد را نشان می‌دهد. رسم ترکیب اولیوین‌ها در نمودار Fo-Fa نشان می‌دهد که ترکیب تمام نقاط آنالیز شده در محدوده فورستریت قرار دارند (شکل ۳).



شکل ۳. ترکیب اولیوین‌های نمونه‌های آنالیز شده برحسب درصد وزنی (Deer et al., 1992)

### مینرال شیمی اسپینل‌ها

برای مطالعه اسپینل‌ها سی و یک نقطه از اسپینل‌های نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه آبدشت مورد تجزیه قرار گرفت و به دلیل شباهت داده‌ها از آوردن تمامی داده‌ها

در دانشگاه پتسدام آلمان انتخاب شدند. زمان لازم برای تجزیه هر نقطه، ۴۰ ثانیه و جریان نمونه برابر ۲۰ نانوآمپر و جریان شتاب‌دهنده ۱۵ کیلو ولت انتخاب شد. از کانی‌های طبیعی و مواد سنتز شده به‌عنوان استاندارد استفاده شد. دقت تجزیه‌ها ۱ درصد مقدار اکسیدهای اصلی است. نقاط بسیاری از اسپینل‌های موجود در نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه آبدشت مورد تجزیه قرار گرفتند.

### پetroگرافی اسپینل پریدوتیت‌ها

بر اساس مطالعات پتروگرافی، پریدوتیت‌های منطقه آبدشت از اولیوین (۶۰ تا ۷۰ درصد) و کرومیت (۳۰ تا ۴۰ درصد) تشکیل شده‌اند. با توجه به درصد فراوانی کانی‌های تشکیل‌دهنده، در بررسی‌های پتروگرافی ترکیب این سنگ‌ها دونیت ارزیابی می‌شود. کانی‌های ثانویه شامل کلینوکلر، کلریت کروم‌دار (کمپریت)، کربنات منیزیم (مگنیزیت)، زوئیسیت و اکتینولیت هستند. کانی غالب تشکیل‌دهنده سنگ، اولیوین و از نوع فورستریت‌است (جدول ۱). این کانی در نور ppl بی‌رنگ تا سبز کم‌رنگ است و به صورت دانه‌های درشت و یک اندازه، بی‌شکل تا نیمه شکل دار مشاهده می‌شود. اولیوین در نمونه‌های مطالعه شده دارای شکستگی‌های بسیار زیاد است و بافت مش و همچنین دگرشکلی ضعیف را از خود نشان می‌دهند و از اطراف کانی و از محل شکستگی‌ها به سرپنتین تبدیل شده‌اند. با توجه به اینکه دگرشکلی در کانی‌های ثانویه مثل سرپنتین، کلینوکلر و اکتینولیت دیده نمی‌شود، به نظر می‌رسد که دگرشکلی اولیوین‌ها مربوط به دگرشکلی در گوشته (mantle deformation) باشد. اسپینل از نوع کرومیت به صورت نیمه‌شکل دار تا شکل دار دیده می‌شود. اولیوین و کلریت ثانویه به صورت انکلوزیون در داخل اسپینل مشاهده می‌شود. اسپینل‌ها در نمونه‌های مطالعه شده منطقه آبدشت، درون اولیوین (شکل ۲a) و درون کروم-کلریت و مگنیزیت (شکل ۲b) دیده می‌شوند. لازم به ذکر است که علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از (Whitney and Evans, 2010) است.

جدول ۱. تجزیه اولیوین در پریدوتیت‌های منطقه آبدشت (تعداد کاتیون‌ها به ازای چهار اکسیژن محاسبه شده‌اند)، تمام آهن به صورت آهن دو ظرفیتی در نظر گرفته شده است

	oli1	oli2	oli3	oli4	oli5	oli6	oli7	oli8	oli9	oli10	oli11	oli12	oli13	oli14
SiO <sub>2</sub>	42.3	42.4	42.4	43.7	43.8	42.5	42.4	42.4	44.5	42.0	43.0	41.4	41.2	40.5
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.00	1.26	1.42	0.01	0.00	0.04	0.79	0.68	1.35	2.91	2.94	2.99
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.25	0.31	0.00	0.08	0.02	0.05	0.03	0.21	2.25	2.17	2.31
FeO	2.8	2.8	3.1	0.8	0.8	3.2	2.9	3.1	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
MnO	0.01	0.04	0.03	0.02	0.00	0.02	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
MgO	55.0	54.6	54.2	54.2	40.2	54.5	54.5	54.5	40.2	40.0	39.7	38.4	38.6	37.8
CaO	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.56	0.08	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.11	0.08	0.08	0.06
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.11	99.98	99.76	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70	100.70
(O) p.f.u.	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Si	1.001	1.006	1.007	1.016	1.158	1.006	1.004	1.179	1.154	1.158	1.114	1.11	1.109	1.006
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.03	0.02	0.04	0.09	0.09	0.10	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.05	0.50	0.00
Fe <sup>++</sup>	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.94	1.93	1.92	1.88	1.59	1.92	1.93	1.59	1.64	1.59	1.54	1.55	1.54	1.93
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	3.00	2.99	2.99	2.98	2.82	2.99	3.00	2.81	2.84	2.82	2.82	2.82	2.82	2.99

می‌باشد. اسپینل‌های غنی از کروم و فقیر از آلومینیوم به‌عنوان تفاله و ته‌مانده (residua) فرآیندهای ذوب‌بخشی گوشته، در شرایط ذوب بالا در نظر گرفته می‌شوند (Dick and Bullen, 1984). نمودار مثلی Al، Cr و Fe<sup>3+</sup> نشان می‌دهد که اسپینل‌های منطقه کروم‌دار است و در محدوده کرومیت‌های پادیفرم قرار می‌گیرند (شکل ۴-ا). محدوده‌های مشخص شده از Bonavia et al. (1993) می‌باشد. همچنین در نمودار Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در مقابل Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Bonavia et al. 1993) نیز نمونه‌ها در محدوده پادیفرم قرار گرفته‌اند (شکل ۴-ب).

صرف‌نظر شده است لذا داده‌های معرف از نتایج آنالیز این نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. فرمول ساختمانی اسپینل‌ها بر اساس سه کاتیون به ازای چهار اکسیژن محاسبه شده است. ترکیب اسپینل‌های نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس اعضای نهایی اسپینل بین Spl<sub>0.4</sub> Chr<sub>0.57</sub> تا Mag<sub>0.03</sub> Mag<sub>0.03</sub> در نوسان است. عدد منیزیم (Mg#) در حدود ۰/۴۱ تا ۰/۶۸ و عدد کرم (Cr#) در حدود ۰/۷۳ تا ۰/۹۲ می‌باشد. مقادیر Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> اسپینل‌ها پایین و در حدود ۰/۷۲ تا ۱۱/۲۹ است و مقادیر Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> آنها بالا است و در حدود ۵۸/۸۱ تا ۶۷/۵۹

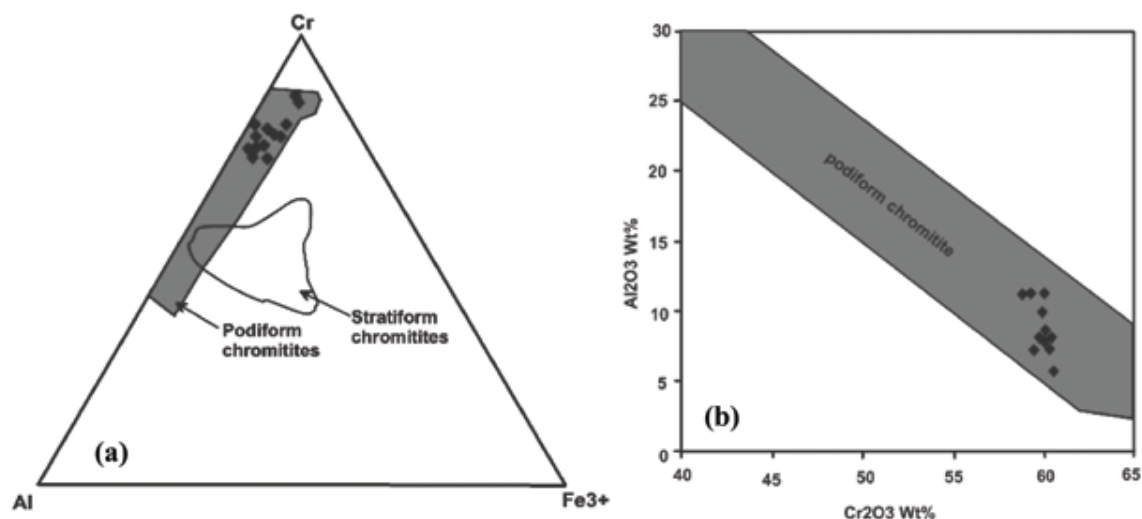
جدول ۲. ترکیب شیمیایی معرف و فرمول ساختمانی اسپینل‌ها در نمونه پریدوتیت‌های آنالیز شده

	Abs1	Abs3a	Abs7a	Abs3b	Abs5	Abs6	Abs7b	Abs7c	Abs11	Abs8a	Abs8b	Abs9
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.18	0.17	0.15	0.19	0.18	0.17	0.15	0.11	0.74	0.17	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.18	3.61	8.86	11.29	11.10	11.25	5.63	7.09	7.50	7.80	7.28	9.77
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60.40	65.98	60.03	58.81	59.39	59.87	60.55	59.57	59.95	59.95	60.15	59.82
FeO	18.32	20.50	18.84	17.72	15.50	14.91	24.79	22.24	22.31	22.28	23.07	18.31
MnO	1.11	1.22	1.14	1.06	1.02	1.04	1.28	1.21	1.20	1.19	1.24	1.19
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	11.28	10.16	11.73	12.82	14.31	14.37	8.34	9.88	9.95	9.95	9.42	12.48
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.44	101.64	100.76	101.85	101.50	101.62	100.76	100.13	101.02	101.90	101.33	101.74

Formula based on 4

oxygen atoms

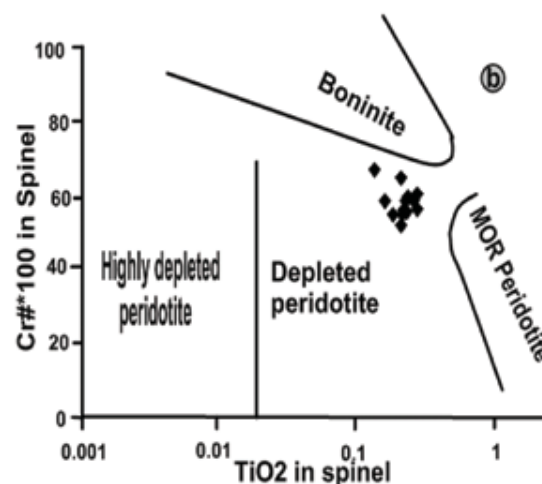
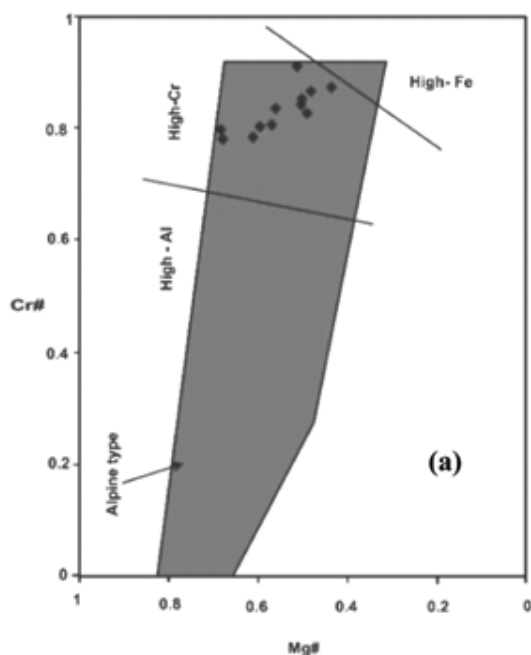
Ti	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.018	0.004	0.004
Al	0.319	0.142	0.339	0.421	0.412	0.416	0.224	0.279	0.292	0.301	0.284	0.368
Cr	1.582	1.741	1.544	1.472	1.478	1.487	1.616	1.571	1.566	1.552	1.574	1.512
Fe <sup>3+</sup>	0.092	0.108	0.109	0.099	0.102	0.088	0.152	0.142	0.137	0.11	0.134	0.113
Fe <sup>2+</sup>	0.416	0.465	0.404	0.37	0.306	0.303	0.548	0.478	0.479	0.5	0.505	0.377
Mn	0.031	0.034	0.031	0.028	0.027	0.028	0.037	0.034	0.034	0.033	0.035	0.032
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0.557	0.505	0.569	0.605	0.671	0.673	0.42	0.491	0.49	0.486	0.465	0.595
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mg/(Mg+Fe <sup>2+</sup> )	0.572	0.521	0.585	0.62	0.687	0.689	0.434	0.507	0.505	0.493	0.479	0.612
Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> )	0.819	0.812	0.788	0.789	0.751	0.775	0.783	0.771	0.778	0.819	0.791	0.77
Al/(Al+Fe <sup>3+</sup> +Cr)	0.16	0.071	0.17	0.211	0.207	0.209	0.113	0.14	0.146	0.153	0.143	0.185



شکل ۴. (a) نمودار مثلثی Al، Cr و Fe<sup>3+</sup> که نشان می‌دهد اسپینل‌های منطقه کروم‌دار بوده و در محدوده کرومیت‌های پادیفرم قرار می‌گیرند. محدوده‌های مشخص شده از (Bonavia et al., 1993) می‌باشد. (b) در نمودار Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در مقابل Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> نیز نمونه‌ها در محدوده پادیفرم قرار دارند (Bonavia et al., 1993)

اسپینل نشانگر تهی‌شدگی پریدوتیت‌ها است (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1994). نمودار Cr# در مقابل Mg# (شکل ۵ a) نشان می‌دهد که نمونه‌ها از نوع high-Cr اسپینل هستند و نمودار Cr# در مقابل  $TiO_2$  نشان‌دهنده تهی‌شدگی این سنگ‌ها است (شکل ۵ b).

اسپینل از جمله فازهای تشکیل‌دهنده پریدوتیت‌های گوشته‌ای است که مقاومت زیادی در برابر دگرسانی نشان می‌دهد (Arai, 1994). مقدار کروم (Cr#) شاخص خوبی برای مطالعه درجه ذوب‌بخشی اسپینل پریدوتیت‌های گوشته است که مقدار بالای آن (بیش از ۰/۶ درصد) در



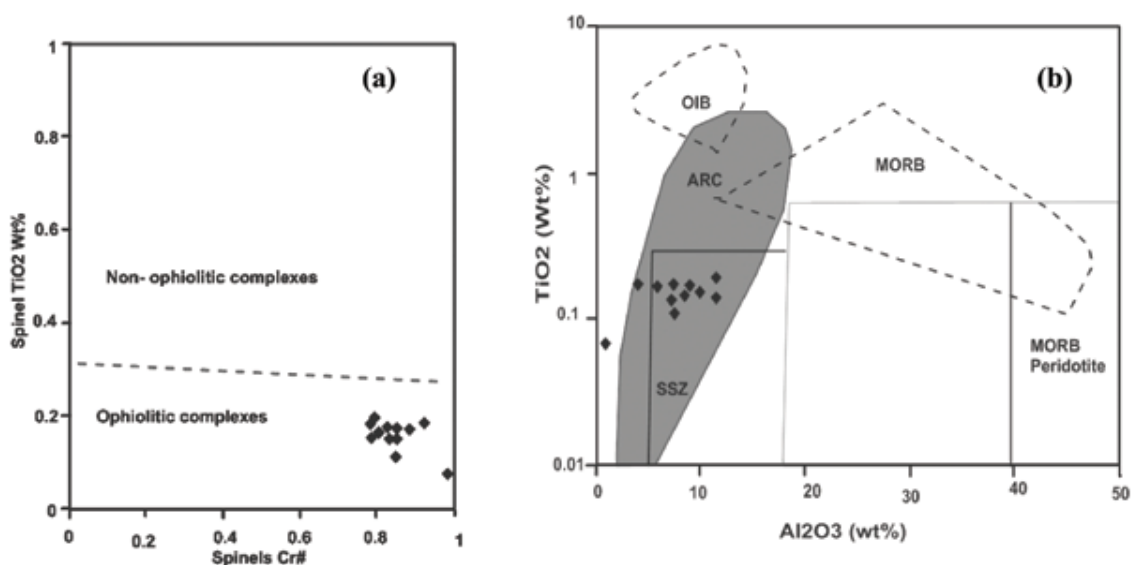
شکل ۵. (a) نمودار Cr# در مقابل Mg#، نمونه‌ها در محدوده High-Cr قرار گرفته‌اند. محدوده Alpine type از Irvine (1967) و دیگر ناحیه‌ها از Zhou and Bai (1992) هستند. (b) مقدار Cr# در مقابل  $TiO_2$  اسپینل، نمونه‌ها در محدوده Depleted Peridotite رسم می‌شوند، محدوده‌های مشخص شده از Kepezhinskas et al. (1993) می‌باشد.

کردن پریدوتیت‌های محیط فرافروانشی از پریدوتیت‌های پشته میان‌اقیانوسی مفید می‌باشد (شکل ۶ b). این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به محیط فرافروانشی است و در محدوده قوس ماگمایی تشکیل شده‌اند.

از مقدار  $TiO_2$  اسپینل در برابر Cr# نیز برای تمایز پریدوتیت‌های Abyssal از پریدوتیت‌های fore-arc استفاده می‌شود (شکل ۷). در این نمودار محیطی که برای اسپینل پریدوتیت‌های آبدشت مشخص می‌شود بیشتر متمایل به محیط (fore-arc peridotites) است.

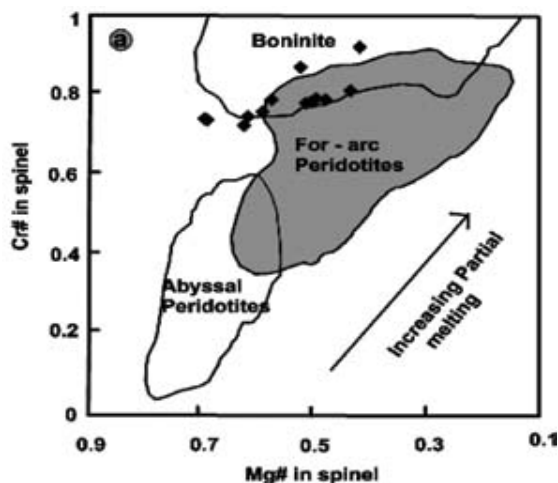
از ترکیب شیمیایی اسپینل می‌توان برای تمایز جایگاه ژئوتکتونیکی پریدوتیت‌های گوشته‌ای استفاده کرد. با توجه به نمودار  $TiO_2$  در مقابل Cr# نمونه‌ها در محدوده افیولیتی قرار دارند (Bonavia et al., 1993) (شکل ۶ a). افیولیت‌ها در محیط‌های تکتونیکی متنوع از جمله در دو محیط پشته میان‌اقیانوسی<sup>۱</sup> و محیط فرافروانشی<sup>۲</sup> تشکیل می‌شوند (Pearce et al., 1984; Shervais, 2001). محیط فرافروانشی می‌تواند در هر دو منطقه-basin back و arc fore-arc basin شکل بگیرند (Shervais, 2001). نمودار رد  $TiO_2$  مقابل  $Al_2O_3$  اسپینل برای متمایز

1. MOR  
2. Supra Subduction (SSZ)

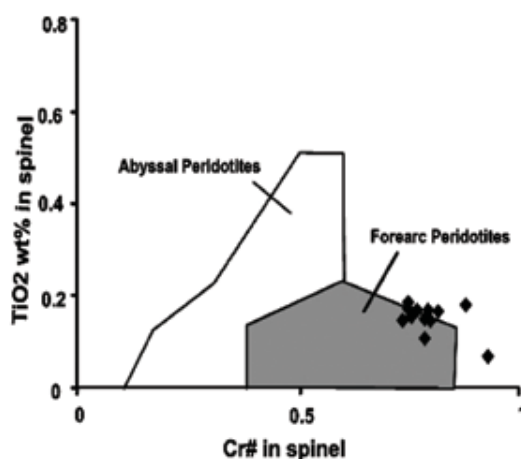


شکل ۶. (a) نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Cr#، نمونه‌ها در محدوده افیولیتی قرار دارند محدوده‌های مشخص شده از (Bonavia et al., 1993). (b) نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> اسپینل، نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به محیط فرافروانشی است و در محدوده ARC تشکیل شده‌اند (Kamenetsky et al., 2001)

می‌شود (شکل ۸). در نمودار شکل ۸ که محدوده‌ها به صورت دقیق نشان داده می‌شوند، بیشتر نمونه‌ها در محدوده بین بونینیت و پریدوتیت‌های fore-arc قرار می‌گیرند. بررسی تمام نمودارهای ارائه شده حاکی از این است که محیط فرافروانش را برای تشکیل مجموعه افیولیتی آبدشت محتمل‌ترین محیط تکتونیکی است.



شکل ۸. نمودار Cr# در برابر Mg# برای پریدوتیت‌های منطقه آبدشت، محدوده‌های Abyssal peridotite از Bullen and Dick (1984) و fore-arc peridotite از Arai (1994)، Ishii et al. (1992) و boninite از Parkinson and Pearce (1998) و Sobolev and Danyushevsky (1994) و Laan et al. (1992)



شکل ۷. ترکیب اسپینل پریدوتیت‌های آبدشت در نمودار TiO<sub>2</sub> در برابر Cr# برابر اسپینل، محدوده Abyssal peridotites از Dick and Bullen (1984) و Arai (1994) و محدوده Fore-arc peridotites از Bloomer and Hawkins (1983)، Bloomer and Fisher (1987) و Parkinson and Pearce (1998) می‌باشد.

نسبت Cr# و Mg# اسپینل شاخص خوبی برای تعیین محیط تکتونیکی پریدوتیت‌ها و بازالت‌ها است. این نسبت که به صورت نمودارهای مختلفی ارائه می‌شود توسط محققان زیادی مطالعه شده است و محدوده‌های تکتونیکی مختلفی در این نمودارها تعریف شده‌اند. برای بررسی بهتر پریدوتیت‌های منطقه آبدشت از این نمودارها استفاده



- Arai, S., 1994. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: review and interpretation. *Chemical Geology*, 113, 191-204.

- Bloomer, S.H., and Fisher, R.L., 1987. Petrology and geochemistry of igneous rocks from the Tonga trench - a non-accreting plate boundary. *Journal of Geology*, 95, 469-495.

- Bloomer, S.H., and Hawkins, J.W., 1983. Gabbroic and ultramafic rocks from the Mariana trench: an island arc ophiolite. In: Hayes, D.E. (Ed.), *The Tectonics and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part II*, AGU Geophysical Monograph. American Geophysical Union, 23, 294-317.

- Bonavia F.F., Diella V., and Ferrario A., 1993. Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill, southern Ethiopia. *Economic Geology* 88, 198-202.

- Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock Forming Minerals*, Second ed. Longman Scientific and Technical. 696.

- Dick, H.J.B. and Bullen, T., 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 86, 54-76.

- Ghasemi, H., 2000. Petrology, geochemistry and the origin of ore minerals in the ultramafic-mafic Sikhoran complex, SE Iran. Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University of Iran 143, 431-438.

- Ghasemi, H., Juteau, T., Bellon, H., Sabzehei, M., Whitechurch, H., and Ricou, L. E., 2002. Thematic-ultramafic complex of Sikhoran (Central Iran): A Polygenetic ophiolite complex. *Comptes Rendus Geoscience*, 334, 431-438.

## نتیجه‌گیری

سنگ‌های پریدوتیتی با ترکیب دونیت و هارزبورژیت از مهم‌ترین واحدهای سنگی مجموعه افیولیتی در منطقه آبدشت در جنوب ایران هستند. اسپینل یکی از کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این پریدوتیت‌ها است که از ترکیب شیمیایی آن برای بررسی پتروژنتیکی و ژئودینامیکی پریدوتیت‌ها استفاده شده است. عدد کروم (Cr#) اسپینل‌های منطقه آبدشت در حدود ۰/۷۳ تا ۰/۹۲ و مقادیر آلومینیوم آن‌ها بین ۰/۷۲ تا ۱۱/۲۹ می‌باشد. این ترکیب نشانگر ذوب با درجه نسبتاً بالای پریدوتیت‌ها است. بررسی نمودارهای ژئوتکتونیکي ارائه شده حاکی از این است که پریدوتیت‌های آبدشت در یک محیط قوس آتشفشانی یا فرفورانش تشکیل شده‌اند. از این نظر افیولیت‌های آبدشت مشابه افیولیت‌های نایین Mehdi-pour Ghazi و همکاران (۲۰۱۲) و نوار افیولیتی نائین- بافت Mehdi-pour Ghazi و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشند.

## قدردانی

این پژوهش توسط دانشگاه تبریز حمایت شده است. تجزیه نمونه‌ها در دانشگاه پتسدام آلمان صورت گرفته است. از اساتید محترم جناب آقای دکتر آروین و دکتر سلطانی که با نظرات سازنده خود موجب بهتر شدن مطالب این مقاله شدند بسیار سپاسگزاریم. از سردبیر و کارکنان محترم مجله برای کمک‌هایشان تشکر می‌شود.

## منابع

- Agard, P., Moine, P., Gerber, W., Omrani, J., and Molinaro, M., 2006. Transient, syn-obduction exhumation of Zagros blueschist-inferred from P-T-deformation time-kinematic constraints Implications for Neotethyan wedge dynamics. *Journal of Geophysical Research*, 111, B11401, doi:10.1029/2005JB004103.

- Ahmadipour H., 2000. Petrology and geochemistry of Soghan and Abdasht ultramafic-mafic complexes, north-west of Dowlatabad Baft. Ph.D thesis , T.M.U. 430.

- Hirose, K., and Kawamoto, T., 1995. Hydrous partial melting of lherzolite at 1 GPa; the effect of H<sub>2</sub>O on the genesis of basaltic magmas. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 133, 463-473.
- Ishii, T., Robinson, P. T., Maekwa, H., and Fisker, R., 1992. Petrological studies of diapiric serpentinite seamounts in the Izu-Ogasawara-Mariana fore arc. Leg 125, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 125, 445-485.
- Irvine, T. N., 1967. Chromian spinel as a petrogenetic indicator, part 2. Petrologic applications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 4, 71-103.
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J., and Meffre, S., 2001. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology*, 42, 655-671.
- Kepezhinskas P.K., Taylor R.N., and Tanaka H., 1993. Geochemistry of plutonic spinels from the Kamchatka arc: comparisons with spinels from other tectonic settings. *Mineralogical Magazine*, 57, 575-589.
- Mehdipour Ghazi, J., Moazzen, M., Rahgoshay, M. and Shafii Moghadam, H., 2010. Mineral chemical composition and geodynamic significances of peridotites from Nain ophiolite, central Iran. *Journal of Geodynamics*, 49, 261-270.
- Mehdipour Ghazi, J., Moazzen, M., Rahgoshay, M. and Shafii Moghadam, H., 2012. Geochemical characteristics of basaltic rocks from the Nain ophiolite (Central Iran); constraints on mantle wedge source evolution in an oceanic back arc basin and a geodynamical model. *Tectonophysics*, 574-575, 92-104.
- Moinzadeh, H., 2007. Petrology and mineralogy of high pressure complex of Soghan and Abdashtareas, SE Kerman, Iran. Ph.D. Thesis. Shahid Bahonar University of Kerman, 182, 431-440.
- Oberhänsli, R., Bousquet, R., Moinzadeh, S. H., Moazzen, M., and Arvin, M., 2007. The field of stability of blue jadeite: A new occurrence of jadeitite at Sorkhan, Iran, as a case study. *The Canadian Mineralogist*, 45, 1501-1509.
- Parkinson, I. J. and Pearce, J. A., 1998. Peridotites from the Izu-Bonin-Mariana forearc (ODP Leg125): evidence for mantle melting and melt-mantle interaction in a suprasubduction zone setting. *Journal of Petrology*, 39, 1577-1618.
- Pearce, J. A., Lippard, S. J., and Roberts, S., 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: Kokelaar, B. P. and Howell, M. F. (eds.). *Marginal basin geology*. Geological Society of London, Special Publication, 16, 77-94.
- Sabzehei, M., 1974. Les melanges ophiolitiques de la region d'Esfanageh (Iran meridional). *Etude petrologique et structurale, l'interpretation dans le cadre Iranien*. Ph.D thesis, University. Grenoble, France, 306.
- Sabzehei, M., M. Berberian, J. Roshanravan, H. Azizan, M. Nazemzadeh, N. Alavi-Tehrani, A. Houchmand-zadeh, M.A.A. Nowgole-Sadat, and M. Maiidi, 1994. Geological map of Hajiabad., 1/250.000 scale, Geological Survey of Iran.
- Shervais, J.W., 2001. Birth, death, and resurrection: the life cycle of suprasubduction zone ophiolites. *Geochemistry, Geophysics*, 2, 2000GC000080.
- Sobolev, A. V., and Danyushevsky, L.V., 1994. Petrology and geochemistry of boninites from the north termination of the Tonga

- Trench: constraints on the generation conditions of primary high-Ca boninite magmas: *Journal of Petrology*, 35, 1183-1211.
- Van der Laan, S. R., Arculus, R. J., Pearce, J. A. and Murton, B. J., 1992. Petrography, mineral/chemistry, and phase relations of the basement boninite series of site 786, Izu-Bonin fore arc. In: Fryer, P., Pearce, J. A., Stokking, L. B., et al. (eds) *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results*, 125. College Station, TX: Ocean Drilling Program, 171-201.
  - Whitney, D.L. and Evans, B.N., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 95, 185-187.
  - Zhou, M.-F. and Bai, W.J., 1992. Chromite deposits in China and their origin. *Mineralium Deposita*, 27, 192-199.