

زمین دما - فشارسنگی و سنگ زایی پریدوتیت‌های منطقه چهار دهنه، کرانه غربی پهنه مکران، استان هرمزگان

آرش خیابانی مقدم، محمد پوستی^{*}، غلامرضا قدمی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

(دریافت مقاله: ۹۸/۷/۱، نسخه نهایی: ۹۸/۱۱/۵)

چکیده: منطقه چهار دهنه در جنوب شرق ایران بخشی از افیولیت‌های مزو佐ئیک کمربند کوه‌زایی آلب-هیمالایاست که در جنوب غربی کرانه پهنه فرورانش مکران قرار دارد. چهاردهنه شامل سه بخش سنگ شناسی عدی‌های دونیتی، هارزبورژیت و لرزولیت است. اسپینل موجود در دونیت‌ها و لرزولیت‌ها از نوع پالئونست آهن‌دار است. اسپینل موجود در لرزولیت‌ها با غنی شدگی از Al^{3+} نسبت به Fe^{3+} بیانگر تبلور آنها در گریزندگی اکسیژن کمتر و فشار بیشتری نسبت به اسپینل‌های دونیت‌ها هستند. الیون‌های دونیت و لرزولیت‌ها از نوع فورستریت با $\text{Mg}^{\#}$ برابر با ۹۱-۸۸ است. برپایه شیمی کانی کلینوپیروکسن در هارزبورژیت‌ها، این کانی از یک ماگما با آب ۱۰ درصد و در فشار ۵ کیلوبار در دمای $1100 - 1200^{\circ}\text{C}$ متبلور شده است. پریدوتیت‌های چهاردهنه از نوع ابرفرورانش وابسته به یک گوشه دگرنهاده در محیط کششی پشت قوس هستند.

واژه‌های کلیدی: افیولیت؛ پریدوتیت؛ کلینوپیروکسن؛ الیون؛ چهار دهنه؛ مکران.

[۳] نیز در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شیمیایی و خاستگاه سنگ‌های فرامافیک کوه گروم رودان را بررسی کرده و پریدوتیت‌های نوع ابرفرورانش را در منطقه گزارش نمود. سکانی و همکاران [۴] ریزفسیل‌ها و نیز سنگ‌های آتش‌شناختی آمیزه‌های رنگین را بررسی کرده و آنها را براساس سن ریزفسیل‌ها از نظر چینه‌شناسی رده‌بندی کرده و سنگ‌های ماقمایی کرانه فعال قاره‌ای را گزارش نمودند. با توجه به بررسی‌های کم و پراکنده در منطقه، در این پژوهش روابط سنگ‌شناسی و خویشاوندی دونیت‌های دربرگیرنده لرزولیت‌ها و هارزبورژیت‌های همراه بررسی شد، و سنگ‌زایی واحد پریدوتیتی براساس یافته‌ها بررسی گردید.

جایگاه زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در بخش غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ چهارگوش میناب [۵] واقع است. منطقه چهار دهنه از نظر جغرافیایی در شمال شهرستان رودان و دشت

مقدمه

منطقه مکران شامل توده‌هایی با روند شرقی - غربی است که از سواحل دریای عمان تا فروافتادگی جازموریان ادامه دارد. مرز غربی این کوه‌ها توسط گسل میناب از پهنه برخوردی زاگرس جدا می‌شود و در شرق پس از گذر از بلوجستان پاکستان توسط گسل‌های چپگرد چمن و اورنچ نال کنترل می‌شود. این پهنه نماینده یک پهنه ترادیسی بین پهنه فرورانش مکران و پهنه برخوردی هند-اوراسیاست. از دیدگاه زمین‌شناسی، پهنه مکران یک زمین درز کهن است که به شکل یک منشور برافزایشی از کرتاسه پسین یا ترشیری پیشین تا عهد حاضر در فرادیواره یک پهنه فرورانش کمزرف قرار دارد [۱]. تا کنون، پژوهش‌هایی پیرامون منطقه مکران انجام شده است، از جمله صفائی [۲] در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد، کانسار کرومیت فاریاب را از نظر زمین‌شناسی و زمین‌شناسی بررسی کرده و کانسارهای کرومیت نوع آلبی را گزارش نمود. صالحی

*نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۰۷۶۳۳۷۱۱۰۳۰، پست الکترونیکی: m.poosti@yahoo.com

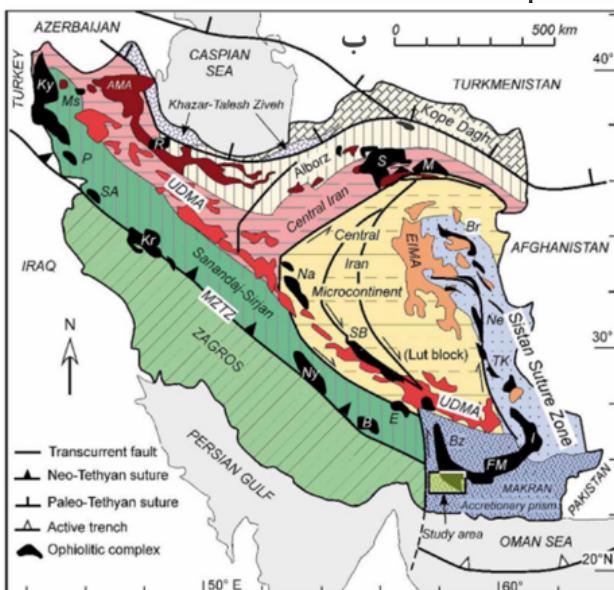
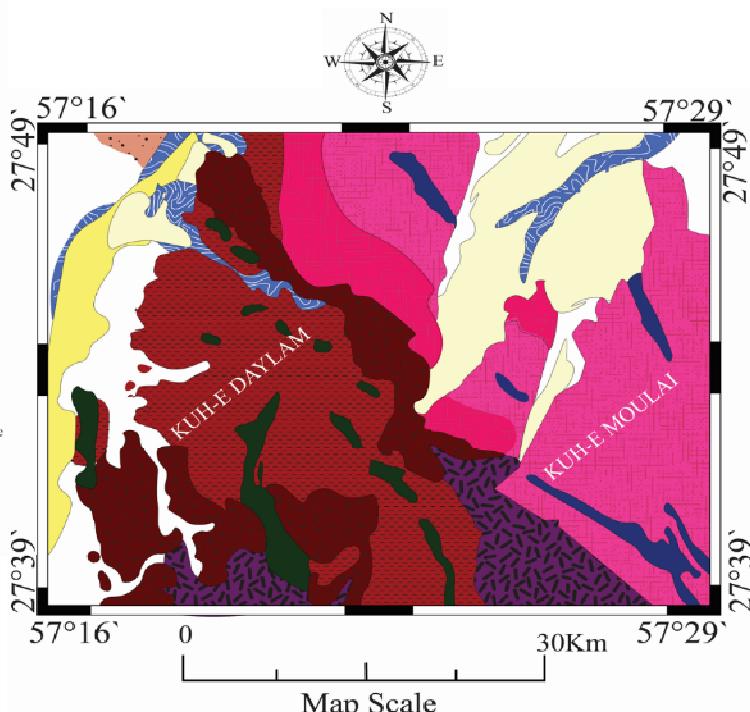
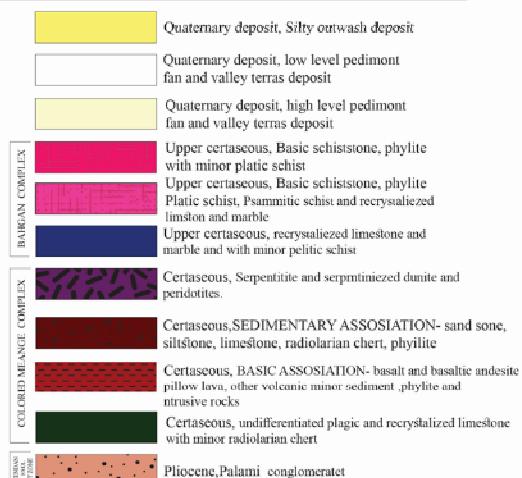
هارزبورژیت ، دونیت و لرزولیت هستند (شکل‌های ۱ الف و ۲ ب، ب). هارزبورژیتها با رنگ قهوه‌ای تیره در سطح هوازده و پستی و بلندی خشن و زاویه‌دار با دونیتها دارای برخوردگاه تیز هستند. عدسی‌های دونیتی قطعه‌های کوچک لرزولیتها را دربرگرفته‌اند و بر اثر فعالیت‌های شدید زمین‌ساختی، توده‌های نام برد گسلیده شده و نیز دستخوش دگرسانی بستر اقیانوسی شده‌اند (شکل‌های ۲ الف و ت).

رودان، بین طول‌های جغرافیایی $^{15}15^{\circ}$ تا $57^{\circ}30'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $^{15}15^{\circ}$ تا $27^{\circ}30'$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد بررسی در جنوب توسط گسل دستجرد از مجموعه سرخ‌بند و در شمال توسط گسل رودان از مجموعه دگرگونی بجگان مجزا شده است [۶].

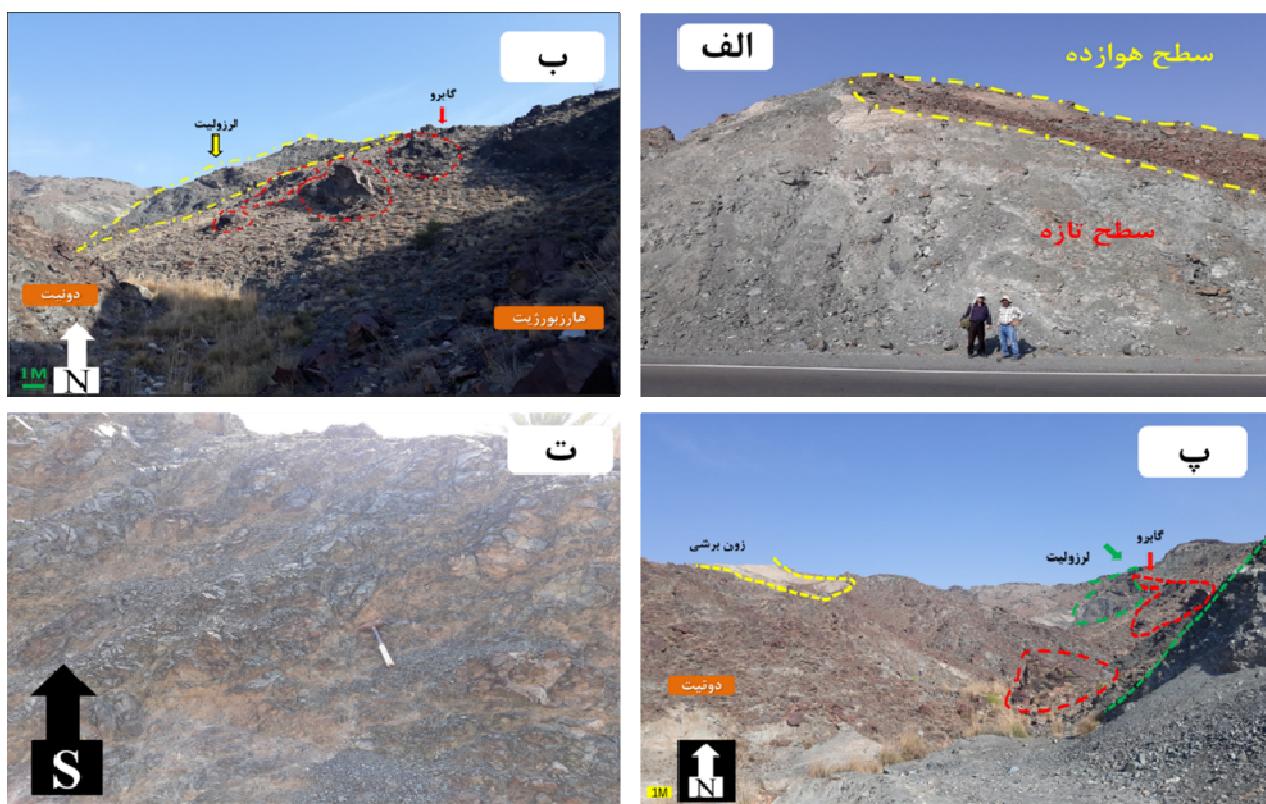
براساس پیمایش‌های صحرایی و بررسی‌های نقشه‌ای، سنگ‌های منطقه شامل سه گروه سنگی به ترتیب فراوانی

Legend

الف



شکل ۱ الف) نقشه زمین‌شناسی منطقه چهار دهن و ب) نقشه تقسیم پهنه‌های ساختاری ایران برگرفته از مرجع [۳] که منطقه مورد بررسی با مستطیل زرد رنگ مشخص شده است.



شکل ۲ لف) دونیت‌های منطقه چهاردهنه در سطح هوازده و تازه، ب) دور نمای منطقه که واحدهای سنگی با خطوط رنگی از هم تفکیک شده‌اند، پ) دور نمای کلی منطقه و پهنه برشی ناشی از فعالیت‌های زمین‌اختی در دونیت‌ها و ت) شواهد فعالیت‌های دگرسانی بستر اقیانوسی و رگجه‌های سرپانتینی در پریدوتیت‌های منطقه چهاردهنه.

دونیت‌ها در واقع فراورده نهایی یک سامانه سه‌تایی Fo-Di-En هستند. در این مدل، ترکیب در نقطه همگدازی لرزولیتی است و با پیشرفت فرآیند ذوب‌بخشی، نخست مقدار کلینوپیروکسن و سپس ارتوپیروکسن در مذاب باقی مانده کاهش می‌یابد و سرانجام مذاب باقی مانده سرشار از الیوین و مقدار کمی ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن است. از این رو، دونیت‌ها با مودال بالای کانی اولیوین (بیش از ۷۵ درصد وزنی) در مقایسه با هارزبورزیت‌ها و لرزولیت‌ها در برابر فرآیندهای فرسایشی و دگرسانی ناپایدارتر هستند و به راحتی در اثر هوازدگی و نیروهای زمین‌ساختی، دستخوش درجه‌های بالاتری از سرپانتینی شدن می‌شوند. کانی‌های تشکیل دهنده دونیت‌ها شامل الیوین (بیش از ۸۵٪ حجمی)، ارتوپیروکسن (۲ تا ۳٪ حجمی)، کروم اسپینل (۰.۵٪ حجمی) و کانی‌های سرپانتین، طلق و کلریت هستند. بافت دونیت‌ها بیشتر دانه شکفتی است (شکل ۳ الف) و در برخی مقاطع دورتر از پهنه‌های برشی که کمتر در معرض فعالیت‌های دگرسانی قرار گرفته‌اند، بافت دانه‌ای نیز دیده می‌شود.

روش پژوهش

به منظور تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های فرامافیک منطقه چهاردهنه، چهار نمونه از سنگ‌های منطقه برای تجزیه نقطه‌ای ریزپردازشی به آزمایشگاه کانی شناسی شرکت کانسaran بینالود ارسال شدند. ۱۸ نقطه نیز به روش ریزپردازش با کاوشگر پرتوی X (XPMA) با دستگاه HORIBA، XGT-7200 (با ولتاژ شتاب دهنده ۵۰ کیلوولت و شمارش ۸۰ ثانیه) تجزیه شدند. در سنگ‌های ابرمافیک توالی گوشه‌ای فرامافیک منطقه چهاردهنه، هیچ گونه بلور پلازیوکلازی وجود ندارد و فازهای سیلیکاتی عمده موجود در این سنگ‌ها بیشتر الیوین، پیروکسن و کانی فرعی اسپینل کروم دار هستند (جدول‌های ۳-۱).

سنگ‌نگاری دونیت‌ها

دونیت‌ها تقریباً ۴۰ درصد از سنگ‌های مورد بررسی در منطقه چهاردهنه رودان را شامل می‌شوند. براساس مرجع [۷]

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی کلینوبیروکسن (بر حسب درصد وزنی)

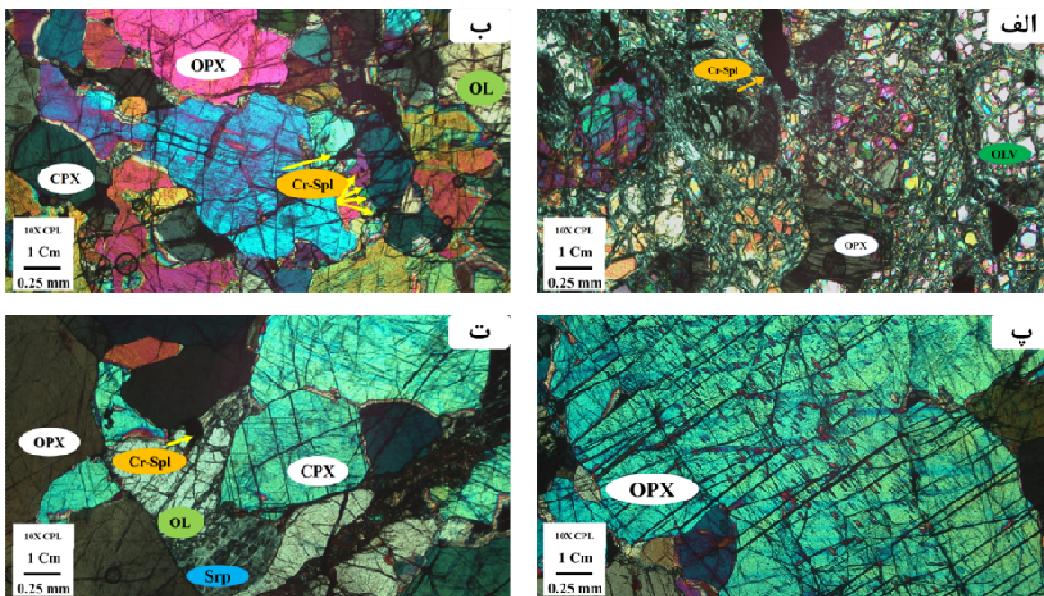
نمونه	A127bp7	A127bp6	A127bp5	A127bp4	A127bp3	A127bp2	A127
سنت	لرزولیت	لرزولیت	لرزولیت	لرزولیت	هارزبورزیت	هارزبورزیت	هارزبورزیت
SiO ₂	۴۶,۶۲	۴۵,۷۳	۴۷,۵۸	۴۷,۲۳	۴۶,۱۹	۴۵,۵۸	۴۵,۳۱
TiO ₂	-	۰,۱۴	۰,۰۳	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۱
Al ₂ O ₃	۰,۹۷	۱,۳۲	۱,۵۹	۱,۴۴	۱,۲۴	۰,۹۱	۰,۸۵
Cr ₂ O ₃	۱,۰۸	۱,۱۷	۱,۱۳	۱,۱۶	۱,۰۷	۱,۲۵	۱,۲۸
FeO	۶,۰۶	۶,۱۲	۵,۹۵	۵,۵۱	۶,۲۲	۶,۳۱	۷,۰۱
MnO	۰,۲۸	۰,۲۲	۰,۲۴	۰,۲	۰,۲۶	۰,۲۴	۰,۲۴
MgO	۱۳,۹۸	۱۶,۱۸	۱۳,۸۸	۱۳,۱۳	۱۵,۱۵	۱۲,۶۱	۱۴,۴۶
CaO	۳۰,۹۵	۲۸,۹۱	۲۹,۵۱	۳۰,۹۸	۲۹,۶۳	۳۲,۰۸	۳۰,۷۳
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-
مجموع	۹۹,۹۶	۹۹,۹۵	۹۹,۹	۹۹,۸۹	۹۹,۹۷	۹۹,۰۲	۱۰۰
کاتیون ها بر اساس اتم اکسیژن							
Si	۱,۷۸۷	۱,۷۴۸	۱,۸۰۹	۱,۸۰۶	۱,۷۶۷	۱,۷۷۶	۱,۷۴۸
Ti	-	۰,۰۰۴	۰,۰۰۱	۰,۰۰۴	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳
Al	۰,۰۴۴	۰,۰۶	۰,۰۷۱	۰,۰۶۵	۰,۰۵۶	۰,۰۴۲	۰,۰۳۹
Cr	۰,۰۲۳	۰,۰۳۵	۰,۰۳۴	۰,۰۳۵	۰,۰۲۲	۰,۰۲۹	۰,۰۳۹
Fe _۳	۰,۰۹۷	۰,۰۹۹	۰,۰۹۴	۰,۰۸۷	۰,۱	۰,۱۰۱	۰,۱۱۲
Fe _۲	۰,۰۸۸	۰,۰۹	۰,۰۸۵	۰,۰۷۹	۰,۰۹۱	۰,۰۹۳	۰,۱۰۲
Mn	۰,۰۰۹	۰,۰۰۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۶	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸
Mg	۰,۷۹۹	۰,۸۲۲	۰,۷۸۷	۰,۷۴۷	۰,۸۴	۰,۷۳	۰,۸۳۲
Ca	۱,۲۷۱	۱,۱۸۴	۱,۲۰۲	۱,۲۶۷	۱,۲۱۴	۱,۳۳۹	۱,۲۷۱
Na	-	-	-	-	-	-	-
Tot.cat/	۴,۱۲۷	۴,۱۵	۴,۹۱	۴,۹۶	۴,۱۳۶	۴,۱۳۱	۴,۱۵۴
Wo	۵۶,۳۹	۵۱,۵۸	۵۵,۴۶	۵۸,۱۱۱	۵۳,۵۲	۵۹,۱۴۲	۵۴,۸۱
En	۳۵,۴۴۱	۴۰,۱۶۸	۳۶,۳	۳۴,۲۶۸	۳۸,۰۷۶	۳۲,۳۴۶	۳۵,۹۰۶
Fs	۸,۱۶۹	۸,۲۵۱	۸,۲۳۴	۷,۶۲۱	۸,۴۰۵	۸,۵۱۲	۹,۲۵۳
AIT(Z)	۰,۴۳۸	۰,۰۵۹۹	۰,۰۷۱۳	۰,۰۶۴۸	۰,۰۵۵۹	۰,۰۴۱۸	۰,۰۳۸۷

جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی الیوین.

نمونه	A127P13	A106P13	A106P5	A106P3	A106P4	A106P14
سنت	لرزولیت	لرزولیت	لرزولیت	دونیت	دونیت	دونیت
SiO ₂	۴۸,۶۵	۳۸,۳۸	۴۹,۹۳	۳۸,۹۶	۵۲,۷۱	۳۵,۹۸
TiO ₂	-	-	-	-	۰,۰۹	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	۲,۵۲	-
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	۰,۷۶	-
FeO	۱,۰۶	۱۶,۷۱	۱۶,۳۵	۱۷,۴۸	۱۵,۱۳	۱۷,۷۹
۴۵,۳۱	۰,۳۲	۰,۲۷	۰,۲۶	۰,۲۵	۰,۲۹	۰,۲۴
MgO	۳۹,۵۱	۴۲,۶۳	۴۲,۲۲	۴۱,۹۹	۲۹,۶۹	۴۵,۲۱
CaO	۰,۵۶	۰,۱۸	۰,۲۱	۰,۵۴	۱,۱۹	۰,۱۹
مجموع	۹۹,۷۲	۹۹,۱۹	۹۸,۹۹۴	۹۸,۹۷۱	۹۹,۴۴۸	۹۹,۰۴۶
اعضای نهایی						
Te	۰,۴۰۱	۰,۲۹۱	۰,۲۸۹	۰,۲۷۵	۰,۴۴۳	۰,۲۴۹
Fo	۸۷,۱۵۹	۸۲,۶۶۲	۸۲,۴۶۵	۸۱,۲۹۷	۷۹,۸۶۴	۸۲,۷۳۳
Fa	۱۱,۵۵۲	۱۶,۸۰۳	۱۶,۹۵۲	۱۷,۶۸۷	۱۷,۳۹۲	۱۶,۷۶۹
Ca-OI	۰,۸۸۸	۰,۲۴۵	۰,۲۹۵	۰,۷۵۱	۲,۳۰۱	۰,۲۴۹
کاتیون ها بر اساس اتم اکسیژن						
Si	۱,۱۵۹	۰,۹۶۶	۱,۰۰۱	۰,۹۸۳	۱,۲۴۹	۰,۹۱۶
Ti	-	-	-	-	۰,۱۰۲	-
Al	-	-	-	-	۰,۱۰۷	-
Cr	۰,۰۱۵	-	-	-	۰,۰۱۴	-
Fe _۳	۰,۰۹۸	۰,۱۷۴	۰,۱۷	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۸۲
Fe _۲	۰,۰۸۸	۰,۱۵۹	۰,۱۵۴	۰,۱۶۴	۰,۱۰۹	۰,۱۶۶
Mn	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	۰,۰۰۵	۰,۰۰۶	۰,۰۰۵
Mg	۱,۴۰۳	۱,۶۳۷	۱,۵۷۸	۲۱,۱۶	۱,۰۴۸	۰,۷۱۹
Ca	۰,۰۱۴	۰,۰۰۵	۰,۰۰۶	۰,۰۱۵	۰,۰۳	۰,۰۰۵
Tot.cat	۲,۷۸۴	۲,۹۴۷	۲,۹۱۴	۲,۹۲۷	۲,۶۴۸	۲,۹۹۳
MG#	۸۸,۰۷	۸۹,۱۶۲	۸۷,۰۸۷	۹۰,۶۱۶	۹۰,۶۰۵	۹۱,۱۹۷

جدول ۳ نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی اسپینل.

نمونه	A127P3	A127P2R	A127CP1	A103P10	A103P8	A103P5R
سنگ	لرزولیت	لرزولیت	لرزولیت	دونیت	دونیت	دونیت
SiO ₂	۲۶۳	۳۴۱	۶۹۲	۵۰۸	۲۴۴۷	۸۷۵
TiO ₂	۰,۱۳	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۱
Al ₂ O ₃	۲۰,۰۵	۲۲,۵	۱۵,۳۹	۱۹,۴۶	۹,۳۱	۱۰,۶۱
Cr ₂ O ₃	۲۴,۶۹	۲۶,۴۹	۲۲,۳۲	۳۰,۶۴	۲۰,۰۳	۲۵,۶۹
FeO	۳۶,۲۴	۳۲,۹۶	۳۹,۶۱	۳۰,۳۵	۲۹,۱۱	۴۱,۱۶
MnO	-	۰,۲	۰,۱	-	۰,۲۲	-
MgO	۱۳,۷۵	۱۳,۲۲	۱۴,۶۵	۱۵,۳۱	۱۶,۱۳	۱۱,۶۲۸
total	۹۸,۹۹	۹۹,۰۹	۹۹,۷۴	۹۸,۳۵	۱۰۰	۹۸,۱۹
کاتیون براساس ۴ اتم اکسیژن						
Si	۰,۱۱۲	۰,۱۰۴	۰,۲۱۴	۰,۱۵۶	۰,۶۸۱	۰,۲۷۹
Ti	۰,۰۰۳	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳	۰,۰۰۳
Al	۰,۷۴۷	۰,۸۰۹	۰,۵۶۲	۰,۷۰۴	۰,۳۰۶	۰,۳۹۹
Cr	۰,۶۰۲	۰,۶۳۹	۰,۵۴۷	۰,۷۴۴	۰,۴۴۱	۰,۶۴۸
Fe ³⁺	۰,۴۶۳	۰,۴۱۸	۰,۵۱۱	۰,۳۹۹	۰,۳۷۱	۰,۵۵۱
Fe ²⁺	۰,۴۲۱	۰,۳۸	۰,۴۶	۰,۳۴۴	۰,۲۸	۰,۵۰۱
Mn	-	۰,۰۰۵	۰,۰۰۳	-	۰,۰۰۵	-
Mg	۰,۶۳۳	۰,۶۰۶	۰,۶۷۷	۰,۵۶۸	۰,۶۷	۰,۵۳۸
Tot.cat	۲,۹۷۹	۲,۹۶۲	۲,۹۷۴	۲,۹۱۸	۲,۷۵۷	۲,۹۱۹
Mg#	۰,۶	۰,۶۱۵	۰,۵۹۶	۰,۶۲۳	۰,۷۰۵	۰,۵۱۸
Fe#	۳۹,۹۵۲	۳۸,۵۰۸	۴۰,۴۴۳	۳۷,۶۹۳	۲۹,۵۲	۴۸,۲
Fe ³⁺ #	۲۵,۵۴۲	۲۲,۳۷۵	۳۱,۰۴۱	۲۱,۵۹۴	۳۳,۱۹۲	۳۴,۴۷۱
Cr#	۴۴,۶۲۹	۴۴,۱۲۸	۴۹,۳۱۴	۵۱,۳۶۸	۵۹,۰۷۱	۶۱,۸۶۵
Mg#	۶۰,۰۴۸	۶۱,۴۹۲	۵۹,۵۵۷	۶۲,۳۰۷	۷۰,۴۸	۵۱,۸



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی (الف) یک سنگ دونیت با بافت دانه‌شکفتی بر اثر دگرسانی شدید در دونیتها، (ب) یک سنگ هارزبورزیت با حضور درشت بلورهای ارتوپیروکسن با میانبارهای بی شکل کانی کروم اسپینل و آثار خاموشی موجی بر اثر وجود فشارهای زمین ساختی طی تشکیل کانی‌ها، (پ) زمین ساختی ارتوپیروکسن دربردارنده تیغه‌های جدایشی از جنس کلینوپیروکسن در یک نمونه هارزبورزیت و (ت) یک نمونه لرزولیت با کلینوپیروکسن‌های نیمه خودشکل و کانی ثانویه سرپاشین همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع ثبت شده‌اند.

در منطقه چهاردهنه بصورت توده‌های کوچک پراکنده ۷-۳ متری رخنمون دارند (شکل ۲ ب).

شیمی کانی اسپینل

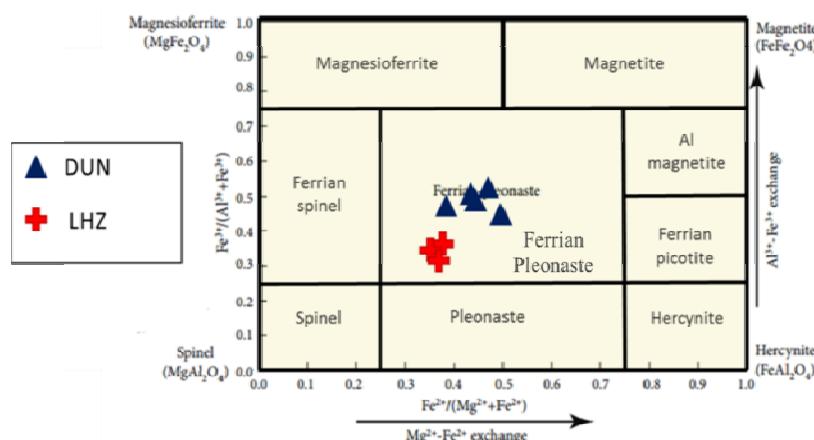
اسپینل ($MgAl_2O_4$) و هرسینیت ($FeAl_2O_4$) اعضای انتهایی یک محلول جامد غنی از آلومینیوم گروه کانی‌های اسپینل هستند که به ندرت بصورت خالص در طبیعت یافت می‌شوند. از طرفی، اگر نسبت تبادل یون Fe^{2+} با Mg^{2+} در این محلول جامد ۱ به ۳ باشد، کانی اسپینل تشکیل شده پالئونست نام دارد [۸]. میانگین مقدار FeO در کانی اسپینل موجود در لرزولیت‌ها ۲۵/۲۸ درصد وزنی و در دونیت‌ها با مقداری افزایش Al_2O_3 ۳۳/۵۴ درصد وزنی است. در این راستا، میانگین مقدار Al_2O_3 در اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها ۱۹/۴۸ درصد وزنی و در دونیت‌ها با کمی کاهش ۱۳/۱۲ درصد وزنی است. با توجه به غنی شدگی اسپینل موجود در دونیت‌ها از Fe ، می‌توان گفت که یون Fe^{3+} طی پیشرفت ذوب‌بخشی و کاهش فشار از مذاب خارج شده و در ساختار کانی اسپینل قرار می‌گیرد. غنی شدگی اسپینل‌های موجود در دونیت‌ها از یون Fe نشانگر تشکیل آنها در فشار کمتر (اعماق کمتر) و گریزندگی بیشتر اکسیژن است، اما اسپینل‌های موجود در لرزولیت‌ها با غنی شدگی از یون Al^{3+} (شکل ۴) بیانگر تشکیل لرزولیت‌ها در فشار بالاتر (اعماق بیشتر) و گریزندگی کمتر اکسیژن است (شکل ۱ الف). در این محلول جامد، جانشینی کانی اسپینل به این صورت است که در قسمت‌های عمیق‌تر گوشه‌های Fe را در ساختار کانی اسپینل اشغال می‌کند و طی صعود پریدوتیت‌ها به بالا که با کاهش فشار و افزایش گریزندگی اکسیژن همراه است، یون Fe جایگاه Al را اشغال می‌کند [۹].

هارزبورژیت‌ها

هارزبورژیت‌ها بخش عمدہ‌ای از سنگ‌های منطقه چهاردهنه را تشکیل میدهند و از نظر شکل ساختاری دارای ستیغ‌های تیز با دامنه‌های پرشیب هستند. بافت هارزبورژیت‌ها بیشتر دانه‌ای و دربردارنده بلورهای خود شکل تا نیمه خود شکل اولوین (۴۰ درصد حجمی) و ارتوبیروکسن (۳۰ درصد حجمی) هستند و کانی فرعی کروم‌اسپینل (۱۵ درصد حجمی) به صورت نیمه خودشکل و بی‌شکل و گاهی به صورت میانبار در کانی پیروکسن دیده می‌شود (شکل ۳ ب). دگرانسی در برخی از سطوح نزدیک به درزه‌ها پیشرفته تر بوده و آثار رگچه‌های سرپانتینی شده و تبلور کانی‌های ثانویه نیز مشهود است. از دیگر پدیده‌های موجود در ارتوبیروکسن‌ها، آثار تیغه‌های جدایشی به احتمال بسیار از جنس کلینوپیروکسن بر روی سطح کانی ارتوبیروکسن است (شکل ۳ ب).

لرزولیت‌ها

لرزولیت‌ها گروهی از سنگ‌های گوشه‌های گوشه هستند که گمان می‌رود که بخشی عمدہ‌ای از گوشه‌های از سنگی با چنین ترکیب کانی-شناسی تشکیل شده است [۷]. لرزولیت‌های منطقه چهاردهنه دارای حدود ۴۵-۴۰ درصد الیوین، ۳۵-۳۰ درصد ارتوبیروکسن و ۱۵-۱۰ درصد کلینوپیروکسن کلسیم-کروم دار هستند (شکل ۳ ت). در صورتی که کانی آلومینیوم‌دار موجود در سنگ گارنت باشد، ان سنگ گارنت لرزولیت نامیده می‌شود، اما اگر کانی سرشار از آلومینیوم اسپینل باشد، نام اسپینل لرزولیت را برای سنگ در نظر می‌گیرند [۷]. لرزولیت‌های مورد بررسی به دلیل حضور کانی اسپینل اسپینل لرزولیت نامیده می‌شوند. سطح تازه لرزولیت‌ها به دلیل وجود کانی‌های گروه پیروکسن و الیوین به رنگ سبز زیتونی تیره تا مایل به سیاه قابل شناسایی است و بافت آنها بیشتر دانه‌ای است. لرزولیت‌ها

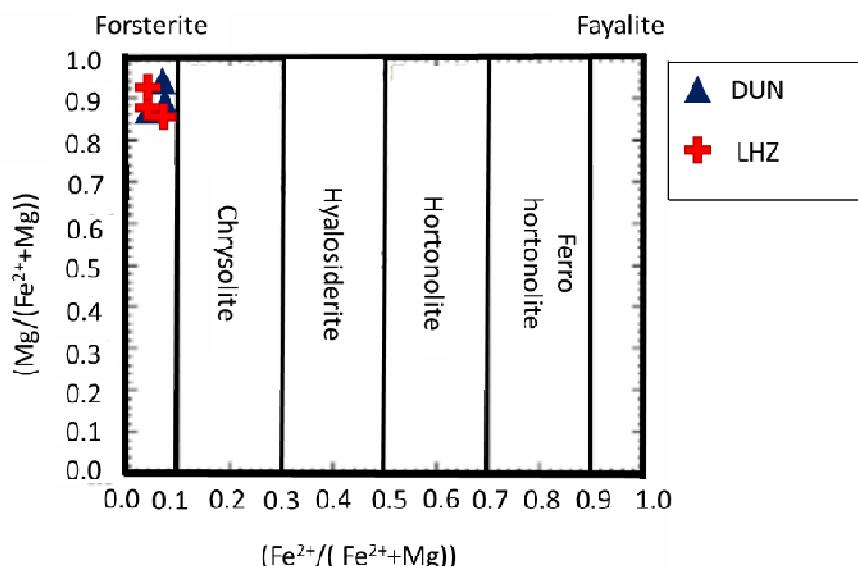


شکل ۴ نمودار تعیین نوع اسپینل‌ها [۹] که براساس آن اسپینل‌های موجود در دونیت‌ها و لرزولیت‌ها در گستره پالئونست آهن‌دار قرار دارند.

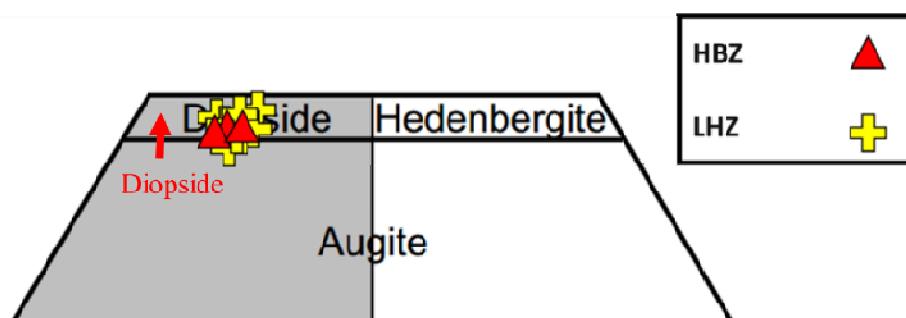
مقدار Cr_2O_3 آنها بین ۱ تا ۱.۵ درصد وزنی متغیر بوده و مقدار TiO_2 در این پیروکسن‌ها کمتر از ۲ درصد وزنی است که نشان دهنده ماهیت تهی شده سنگ‌های گوشه‌ای از عناصر ماغما دوستی مانند تیتانیوم است [۱۱]. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های هارزبورژیت و لرزولیت‌های منطقه چهاردهن در براساس نمودار سه تایی ارائه شده در مرجع [۱۲] (شکل ۶) در گستره دیوپسید قرار دارد. در نمودار مرجع [۱۲] (شکل ۷)، که برای تعیین نوع پیروکسن‌های آهنه‌ی کلسیمی، منیزیمی و پیروکسن‌های فلزی یا به اصطلاح قلیایی است، همه نمونه‌ها در گستره پیروکسن‌های آهن-منیزیوم-کلسیم (Quad) و یا پیروکسن‌های با کلسیم و منیزیم بالا قرار دارند [۱۳].

$$\text{XPT} = 0.446\text{SiO}_2 + 0.187\text{TiO}_2 - 0.404\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.346\text{FeO}_{(\text{tot})} - 0.052\text{MnO} - 0.309\text{MgO} + 0.431\text{CaO} - 0.446\text{Na}_2\text{O}$$

$$\text{YPT} = -0.369\text{SiO}_2 + 0.535\text{TiO}_2 - 0.317\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.323\text{FeO}_{(\text{tot})} + 0.235\text{MnO} - 0.516\text{MgO} - 0.167\text{CaO} - 0.153\text{Na}_2\text{O}$$



شکل ۵ نمودار تعیین نوع الیون‌ها [۱۰] که بر پایه آن ترکیب الیون‌های همه نمونه‌ها مورد بررسی در گستره فورستریت قرار دارد.



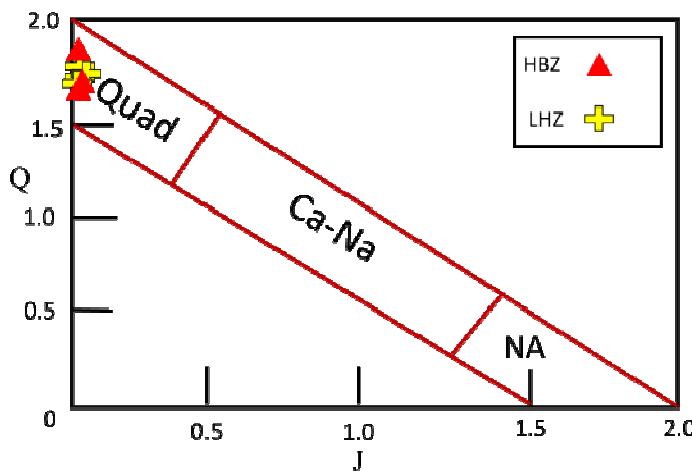
شکل ۶ نمودار تعیین نوع کلینوپیروکسن‌ها [۱۲] که براساس آن، ترکیب کلینوپیروکسن‌های منطقه در گستره دیوپسید است.

الیون

برپایه نمودار مرجع [۱۰]، ترکیب شیمیایی الیون‌های موجود در دونیت‌ها و لرزولیت‌های منطقه چهاردهن، از جمله MnO با درصد وزنی ۰.۲۳ تا ۰.۳۳، $\text{Mg}^{\#}$ برابر با ۹۱-۸۸ و مقدار FeO برابر با ۱۰-۱۷ درصد وزنی، همه از نوع فورستریت هستند (شکل ۵). استفاده از نمودار عدد منیزیم موجود در الیون‌ها نسبت به عدد کروم کانی اسپینل روش خوبی برای تعیین خاستگاه سنگ است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

کلینوپیروکسن

فرمول ساختاری کلینوپیروکسن‌ها و ارتوپیروکسن‌ها محاسبه شده بر اساس ۴ کاتیون برای ۶ اکسیژن به ترتیب $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ca}, \text{Na})_4 (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3 (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_6$ و $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ca}, \text{Na})_4 (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3 (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_6$ هستند. $\text{Mg}^{\#}$ کلینوپیروکسن‌های هارزبورژیت و لرزولیت‌های واحد پریدوتیتی منطقه چهاردهن حدود (۹۰-۸۱) است.



شکل ۷ نمودار تعیین نوع شیمی و محیط تشکیل کانی کلینوپیروکسن‌ها در گستره Quad قرار دارند ($J=2\text{Na}$, $Q=\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$)

شده‌اند [۱۷] و همچنین نسبت مقدار $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ در مذاب طی تبلور کانی اسپینل ۱ به ۳ است و این نسبت با کاهش دمای ماقما تا 1050 درجه سانتی‌گراد بین فاز جامد و مذاب $1:1$ می‌شود [۱۸، ۱۷].

الیوین و اسپینل (پالئونست): بر اساس شکل‌های ۹ الف و ب، لرزولیت و دونیت‌های منطقه چهاردنهه برآمده از ذوب بخشی درصدی یک گوشته فقیر از تیتانیوم در یک محیط ابرفرونش هستند [۲۱-۱۹]، با توجه به شکل‌های ۹ پ و ت [۲۲]، دونیت‌ها نیز با پیروی از روند واکنشی دونیت‌ها و میزان ذوب بخشی ۲۵ درصدی گوشته نتایج بالا را تائید می‌کنند و میتوان چنین نتیجه گرفت که واحد پریدوتیتی منطقه چهاردنهه شامل هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت ناشی از ذوب ۲۵ درصدی گوشته در شرایط آبدار در معرض نظام کششی هستند [۲۳-۲۶].

برداشت

مجموعه پریدوتیتی چهاردنهه شامل از عدسی‌های دونیتی، توده‌های هارزبورژیتی و لرزولیتی است، بافت غالب این سنگ‌ها دانه شکفتی و کمرت دانه‌ای است. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها الیوین (فورستریت)، ارتوپیروکسن (انستاتیت)، کلینوپیروکسن (دیوپسید) و اسپینل (پالئونست آهن‌دار) هستند. بر اساس روابط دماستنجی و فشارستنجی پیروکسن‌های موجود در لرزولیت و هارزبورژیت‌های منطقه چهاردنهه در گستره دمایی 1150 تا 1200 درجه سانتی‌گراد متبلور

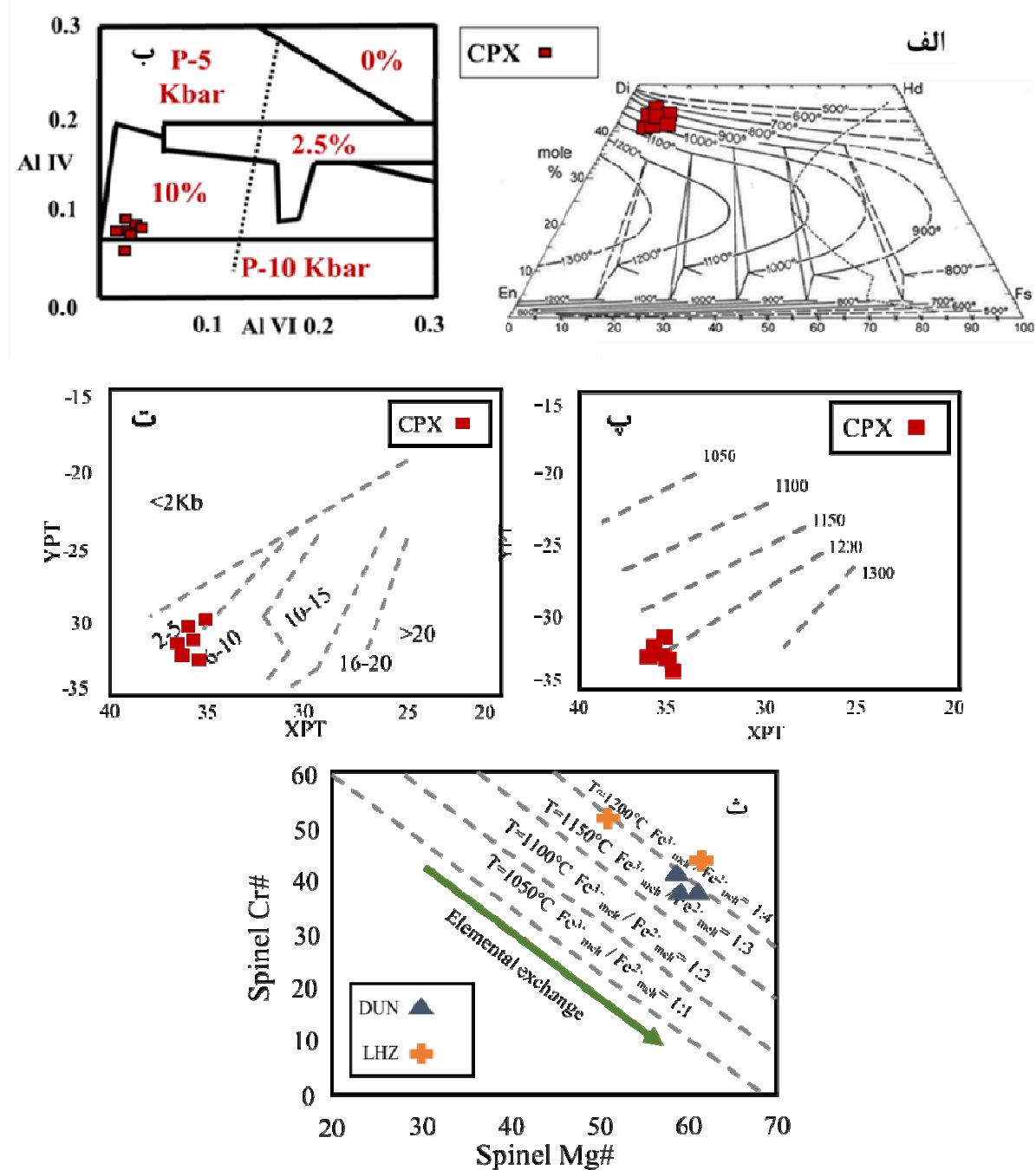
تعیین محیط زمین‌ساختی ماقمایی و زمین دما-فشارستنجی کلینوپیروکسن: استفاده از ترکیب شیمیایی کانی‌های گروه پیروکسن از ابزارهای کاربردی در دما-فشار سنجی سنگ‌های آذرین است. برپایه هم‌دماهای سولووسی در چهار ضلعی-En-Fs-Di-Hd [۱۴]، دمای تبلور کانی کلینوپیروکسن‌های هارزبورژیت و لرزولیت‌های چهاردنهه بین $1150-1200$ درجه است. براساس مدل مرتع [۱۵]، فشار تبلور با مقدار آب 10 درصد وزنی 5 کیلوبار ماقمایی است (شکل ۸). در این راستا، براساس پژوهش‌های انجام شده [۱۶]، پیروکسن‌های منطقه در گستره دمایی 1150 تا 1200 درجه سانتی‌گراد متبلور شده‌اند که با نتایج دماستنجی روشن پیشین را همخوانی دارد (شکل ۸ پ).

پژوهشگرانی نیز براساس داده‌های تجزیه نقطه‌ای، یک روش فشارستنجی ارائه دادند [۱۶]. براساس این فشارستنج، پیروکسن‌های لرزولیت و هارزبورژیت‌های چهاردنهه در گستره فشار 2 تا 6 کیلوبار متبلور شده‌اند (شکل ۸ ت) که این به همراه یافته‌های دیگر از فشارستنج‌ها (شکل ۸ ب)، درستی نتایج بدست آمده را تأیید می‌کنند.

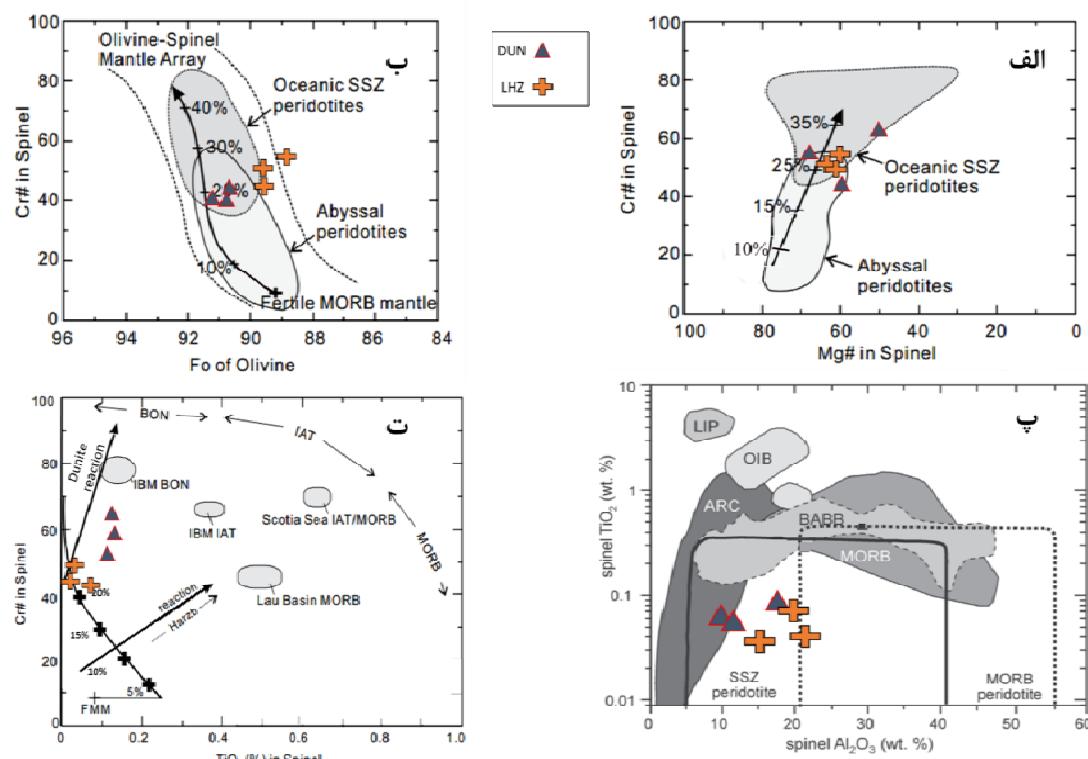
از آنجا که اسپینل دربرابر فرسایش و فرآیندهای پسماندی مقاوم است، شیمی کانی آن شاخص خوبی برای دماستنجی در علم زمین‌شناسی بشمار می‌رود. گزارش شده است که اسپینل‌های دونیت و لرزولیت‌های منطقه چهاردنهه در گستره دمایی 1150 تا 1200 درجه سانتی‌گراد متبلور

قوس پس از ذوب بخشی ۲۵ درصدی تشکیل شده و سپس در اثر فرآیند های زمین ساختی روی زمین جایگیری کرده است. این محیط ناشی از فرورانش اقیانوس نئوتیس به زیر پهنه ایران مرکزی است [۲۷-۳۰].

در فشار ۲ تا ۶ کیلوبار با فشار بخار آب ۱۰ درصد متبلور شده-اند. کانی کروماسپینل این سنگ ها نیز از نوع پالئونست آهن دار بوده و در گستره دمایی ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد متبلور شده است. این واحد پریدوتیتی در یک محیط پشت-



شکل ۸. (الف) تعیین دمای کلینوپیروکسن‌های منطقه چهار دهنه براساس روش مرجع [۱۴]. (ب) تعیین مقدار آب ماغما و فشار هنگام تبلور با استفاده از روش مرجع [۱۵]. (پ) شاخص دماسنجی برای کانی کلینوپیروکسن بر اساس مدل مرجع [۱۶]. (ت) نمودار فشارسنجی برای کانی کلینوپیروکسن برگرفته از مرجع [۱۶] و (ث) دماسنجی با استفاده از شیمی کانی اسپینل برگرفته از مدل مراجع [۱۸, ۱۷].



شکل ۹ الف) تعیین محیطی زمین ساختی ماگمایی و میزان ذوب بخشی پریدوتیت‌های منطقه برپایه عدد منیزیوم نسبت به عدد کروم موجود در اسپینل‌ها [۱۹]، (منطقه ابرگرفته از مرجع [۲۰] است) ب) نمودار تعیین میزان ذوب بخشی و محیط زمین ساختی ماگمایی با استفاده از عدد منیزیوم الیوین‌های همیزیست با اسپینل‌ها [۲۰] (محیط ابرگرفته از مرجع [۱۹] است). پ) نمودار تعیین محیط زمین ساختی ماگمایی برپایه مقدار اکسید آلمنیوم نسبت به اکسید تیتانیوم موجود در کانی اسپینل [۲۰]. ت) نمودار اکسید تیتانیوم نسبت به عدد کروم کانی اسپینل [۲۱] که در گستره ذوب ۲۵٪/ قرار دارد و نمونه‌های دونیتی از روند واکنشی دونیت‌ها پیروی می‌کنند.

IBM-Izu-Bonin-Mariana; basalt; FMM-fertile;

BON—boninite; IAT-island-arc-tholeiite; MORB-mid-oceanic-ridge-Harzb-harzburgite.

مراجع

- [1] Stocklin J., "Possible ancient continental margin in Iran", In: Burk C.A., Grake C.L. (Eds.), *Geology of continental margins*, Springer, New York.. (1974) 873-887.
- [2] Safaii M., "Geochemistry and Geology of Fariab Hormozgan Chromite ore Deposit, MSc. Thesis, Geology", economic geology branch, Faculty of science, Shiraz University,(1992).
- [3] Salehi S., "Petrography and geochemistry of Mt.Groom ulterabasic of Rudan, MSc. Thesis", Geology of Hormozgan University. (2015) P.166.
- [4] Emilio Saccani , Asghar Dolati , Morteza Delavari , Michele Marroni , Luca pandolfi ,

- [18] Yang Bai, Ben-Xun Su, Yan Xiao, Davide Lenaz, Patrick Asamoah Sakyi, Zi Liang, Chen Chen , Sai-Hong Yang, "Origin of Reverse Zoned Cr-Spinels from the Paleoproterozoic Yanmenguan Mafic-Ultramafic Complex in the North China Craton", *Minerals* (2018), 8, 62
- [19] Gholamreza Ghadami, Habib Ebadi, Jaber Jamalpour, *Geo thermometry and barometry and origin of jaghin gabbros, SE ruden, hormozgan province, Iran*, Iranian Journal of Crystallography and Minarology,(2019) Vol 26, p 845-856,
- [20] Dick HJB, Bullen T. *Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas*. Contrib Mineral Petrol 86, (1984), 54–7.
- [21] Bridges, J.C., Prichard, H.M., Meireles, C.A.,*Podiform chromitite-bearing ultrabasic rocks from the Braganca massif, northern Portugal: fragments of island arc mantle?* Geol. Mag,(1995)., 132: 39–49.
- [22] Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S., *Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks*, Journal of Petrology, (2001), 42,655–671.
- [23] Pearce, J.A., Barker, P.F., Edwards, S.J., Parkinson, I.J., and Leat, P.T., , *Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc-basin system, South Atlantic*, Contributions to Mineralogy and Petrology, (2000), v. 139, p. 36–53.
- [24] Harald Furnes, Inna safanova.,, *Ophiolites of the Central Asian Orogenic Belt: Geochemical and petrological characterization and tectonic settings*, Geoscience frontiers, (2019).
- [25] Julian A. Pearce, Robert J. Stern, Sherman H. Bloomer, Patty Fryer, , *Geochemical mapping of the Mariana arc-basin system:Implications for the nature and distribution of subduction components*, American Geophysical Union, volume 6, (2005), Q07006.
- [26] Wu, W.-W., Yang, J.-S., Dilek, Y., Milushi, I., and Lian, D.-Y., , *Multiple episodes of melting, depletion, and enrichment of the Tethyan mantle:*
- [7] B. Ronald Frost and Carol D. Frost , *Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology*, Cambridge University Press, (2014), P 90-106.
- [8] Deer WA, Howie, RA, Zussman J. *An introduction to the rock-forming minerals*. Harlow, UK: Longman Scientific and Technical, (1992), P.528.
- [9] Mutlu ÖZKAN, Ömer Faruk ÇELİK , , *Origin of the pleonaste-bearing mafic-ultramafic rocks from the Armutlu peninsula, NW Turkey* . Turkish J Earth Sci,(2018) Vol 27 : P 1-24 .
- [10] Mercier J. C. C., Nicolas, A., "Textures and fabrics of the upper mantle peridotites as illustrated by basalt xenoliths", *Journal of Petrology* 16, (1975), 454–487.
- [11] Yildirim Dilek , Jingsui Yang. *Ophiolites, diamonds, and ultrahigh-pressure minerals :New discoveries and concepts on upper mantle* . The Geological Society of America, (2018),10 (1) 3-13.
- [12] Deer WA, Howie, RA, Zussman J. *An introduction to the rock-forming minerals*. Harlow, UK: Longman Scientific and Technical, (1992), 696 P.
- [13] Rampone, E., Piccardo, G. B. and Hofmann, A. W, *Multi - stage melt rock interaction in the Mt. Maggiore (Corsica, France) ophiolitic peridotites: microstructural and geochemical evidence*. Contribution to Mineralogy and Petrology (2008) 156: 453-475
- [14] Lindsay D. H., , "Pyroxene Geothermometry", *American Mineralogist*, 68, (1983), 477-493.
- [15] Helz R. T., "Phase relations of basalts in their melting range at PH20= 5 kb as a function of oxygen fugacity", *Journal of Petrology* 14 , (1973) ,249-302.
- [16] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallization PTestimations", Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen) 119 (1997) 55V60.
- [17] Sack, R.O.; Ghiorso, M.S. "Chromite as a petrogenetic indicator". *Rev. Mineral. Geochem.* (1991), 25, 323–353.

Iranian Journal of Crystallography and Minarology, (2019) Vol 26, p 989-1000.

[29] Agard P., Omrani J., Jolivet L., Whitechurch H., Vrielyn B., Spakman W., Monie P., Meyer B., Vortel R., "Zagros orogeny: a subduction-dominated process, Cambridge geol mag press, ,(2011), p 1-34.

[30] Fatemeh Chanideh, Gholamreza Ghadami, Seyed Mohsen Mortazavi, "Chemical mineral and petrogenesis Sorkh band Ultramafics of Kahnuj-Roudan Ophiolite belt (Nazdasht area), example of refractory residual alpine peridotite", Iranian Journal of Crystalography and Minarology,(2018) Vol 26 , p703-716.

Petrogenesis of the peridotites and chromitites in the Jurassic Skenderbeu massif, Mirdita ophiolite, Albania, Lithosphere, (2018), v. 10, p. 54–78.

[27] Morteza Delavari, Asghar Dolati, Michele Marroni, Luca Pandolfi, Emilio Saccani, *Association of MORB And SSZ ophiolites Along the shear Zone between coloured melange And bajgan complexes (north makran, iran): evidence from the sorkhband Area , Ofioliti, (2016), 41 (1), 21-34 - doi: 10.4454/ofioliti. (2016), v41i1.440.*

[28] Maryam Yazdani, *Magma genesis in the supra-subduction zone of the Piranshahr ophiolite complex based on the mineral chemistry of clinopyroxene in the North West basalts of Iran,*