

# تکوین ساختاری بخش باختری مجموعه اولترامافیک – مافیک ده‌شیخ، کمر بند آمیزه افیولیتی اسفندقه – فاریاب

پروفسور لیاقت‌زاده<sup>۱</sup>، مجید شاه‌پسندزاده<sup>۲</sup>، مهدی هنرمند<sup>۳</sup> و حمید احمدی‌پور<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹

## چکیده

مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ به عنوان بخشی از کمر بند آمیزه افیولیتی اسفندقه- فاریاب، از دید ذخایر اقتصادی کرومیتیت با اهمیت است؛ ولی به علت پیچیدگی ساختاری، چگونگی جایگیری کانسارهای کرومیتیت و همچنین ارتباط آن با ساختارهای منطقه مشخص نیست. توده اولترامافیک ده‌شیخ از هارزبورژیت، دونیت، کرومیتیت، پیروکسینت و لرزولیت تشکیل شده است. کرومیتیت‌ها بیشتر در بخش مرکزی این توده در معادن فعال بزرگ، کنار و اژدری در سنگ میزبان دونیتی قرار دارند. طبق نتایج به دست آمده، این توده تحت تأثیر سه نسل دگرشکلی  $D_1$  تا  $D_3$  قرار گرفته است. دگرشکلی تراکشنی دما بالای  $D_1$  با تزریق دایک‌های پیروکسینتی  $DI_1$ ، تشکیل پهنه برشی شکل پذیر راستالغز راست گرد با مؤلفه عادی  $D_{z1}$  و گسترش چین‌های بی‌ریشه  $F_1$  در توالی‌های دونیت- کرومیتیت مشخص می‌شود. این شواهد می‌تواند نشانگر بالاآمدگی توده اولترامافیک ده‌شیخ در گوشته بالایی تحت تأثیر دگرشکلی  $D_1$  باشد. دگرشکلی ترافشارش راست گرد  $D_2$  با تشکیل گسل‌های مزدوج راستالغز راست گرد با مؤلفه وارون  $F_{1b}$  و رانده  $F_{1a}$  و همچنین رگه‌های منیزیت  $V_1$  متمایز می‌شود. ساختارهای  $D_2$  هنگام جایگزینی مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ تحت تأثیر پهنه گسلش وارون با مؤلفه راستالغز راست گرد زاگرس در کمر بند آمیزه افیولیتی اسفندقه- فاریاب گسترش یافته‌اند. در پایان، دگرشکلی  $D_3$  با تشکیل پهنه گسل‌های مزدوج راستالغز راست گرد با مؤلفه عادی  $F_{2a}$  و عادی  $F_{2b}$  به همراه گسترش رگه‌های منیزیت  $V_2$  تحت تأثیر یک رژیم تراکشن منطقه‌ای در پهنه گسلی زاگرس متمایز می‌شود. چین‌های  $F_1$  و گسل‌های  $F_{1a}$  و  $F_{2a,b}$  نقش کنترل‌کننده ساختاری مهمی در دگرشکلی و جایگزینی کانسارهای کرومیتیت منطقه داشته‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** ساختارها، نسل‌های دگرشکلی، کرومیتیت، توده اولترامافیک ده‌شیخ، اسفندقه- فاریاب.

\*نویسنده مسئول: مجید شاه‌پسندزاده

E-mail: m.shahpasandzadeh@kgt.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

افیولیت‌ها و آمیزه‌های افیولیتی زاگرس (شکل ۱) تکامل زمین‌دینامیکی اقیانوس نئوتیس را میان صفحه عربستان در جنوب و بلوک قاره‌ای سندج- سیرجان در شمال ثبت کرده‌اند (Berberian and King, 1981; Robertson, 2007; Saccani et al., 2013; Sengor et al., 1988). کمر بند افیولیتی- آمیزه افیولیتی زاگرس شامل دو کمر بند فرعی افیولیتی بیرونی و درونی است. کمر بند افیولیتی بیرونی شامل توالی‌های افیولیتی کمرانشا و نیریز و آمیزه‌های افیولیتی اسفندقه- فاریاب است. آمیزه‌های افیولیتی منطقه اسفندقه شامل مجموعه‌های اولترامافیک- مافیک صوغان- آبدشت، سیخوران، شاداب- آبگرم و ده‌شیخ، در کمر بندی با امتداد چیره E-W است. روابط صحرایی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و داده‌های ژئوشیمیایی آمیزه‌های افیولیتی اسفندقه- فاریاب، هر دو واحد گوشته‌ای و پوسته‌ای افیولیتی را پیشنهاد می‌کنند. بنا بر مطالعات (Moore, 1986: ۱) شواهد گوشته بالایی توسط پریدوتیت‌های تک‌نویزه (هارزبورژیت) با دگرشکلی پلاستیک و (۲) شواهد پوسته‌ای توسط تجمعات اولترامافیک- مافیک و لایه‌های کرومیتیت مشخص می‌شود. مطالعات سنگ‌شناسی اخیر نشانگر نبود دایک‌های دیابازی، گدازه‌های بازالتی با ساخت بالشی و توالی نهشته‌های پلاژیک در این مجموعه است (Behzadi and Shahabpour, 2011). ویژگی‌های ژئوشیمیایی نهشته‌های کرومیتیت و سنگ‌های میزبان اولترامافیک در ناحیه اسفندقه نشانگر آن است که مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ از نوع آلی است که از یک ماگمای بونینیتی و پریدوتیت‌های تهی شده، به احتمال در یک پهنه بالای فرورانش مشتق شده است. شواهد کانی‌شناسی و ترکیبات شیمیایی پریدوتیت‌های ده‌شیخ نشان می‌دهد که آنها به صورت دیابیرهای گوشته‌ای در سنگ کره قاره‌ای بالا آمده و جایگزین شده‌اند (Peighambari et al., 2011).

از دیدگاه ساختاری، در توده‌های اولترامافیک منطقه اسفندقه، لایه‌های

کرومیتیت بیشتر توسط گسل‌های متقاطع با ساختار پلکانی بریده و جابه‌جا شده‌اند (Behzadi and Shahabpour, 2011). تحت تأثیر این گسل‌های متقاطع، رگه‌های کرومیتیت در هنگام استخراج به‌طور ناگهانی قطع شده و عملیات استخراج را با مشکل روبه‌رو کرده‌اند. در اکتشاف ذخایر کرومیتیت آلی، مطالعه دقیق کنترل‌کننده‌های ساختاری در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی اهمیت زیادی در اکتشاف این ذخایر دارد. با وجود مطالعات سنگ‌شناسی و ژئوشیمی انجام یافته، تاکنون مراحل دگرشکلی و تکامل ساختارها در بخش باختری مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از این مطالعه، تحلیل و بررسی تکوین ساختارها در بخش باختری مجموعه ده‌شیخ و همچنین بررسی نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری در دگرشکلی و جایگزینی کانسارهای کرومیتیت این منطقه است.

## ۲- روش پژوهش

انجام عملیات صحرایی به منظور اندازه‌گیری هندسه و کینماتیک ساختارها با استفاده از کمپاس کلارک و برداشت موقعیت ساختارها و نقشه‌برداری واحدهای سنگی مختلف با استفاده از GPS انجام گرفت. برداشت‌های ساختاری، شامل اندازه‌گیری موقعیت هندسی و ستبرای لایه‌ها، پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، پهنه‌های گسلی، دایک‌ها و رگه‌های منیزیت بوده است. برای شناسایی دقیق‌تر واحدهای سنگی و ساختارها و همچنین تهیه نقشه دقیق زمین‌شناسی- ساختاری منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ارزوئیه و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ حاجی‌آباد، تصاویر ماهواره‌ای QuickBird ۱۳ مارس ۲۰۱۲ تا ۱۰ آوریل ۲۰۱۳ و Aster سال ۲۰۰۲ و همچنین عکس‌های هوایی ۱۲ اکتبر ۱۹۵۶ منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. تقدم و تأخر تشکیل ساختارها با توجه به اصول روی هم نقش بستن، قطع‌شدگی و

کرمان جای دارد و میزبان معادن و کانسارهای بسیار کرومیت است (شکل ۲). این مجموعه از دیدگاه ساختاری در مرز میان دو پهنه زمین‌ساختی سندج- سیرجان در شمال و زاگرس در جنوب رخنمون یافته است (پیغمبری و احمدی‌پور، ۱۳۹۱) (شکل ۱). در حاشیه‌های باختری و جنوبی این مجموعه، آمیزه‌های افیولیتی تریاس- ائوسن اسفندقه- فاریاب با روند شمال باختر- جنوب خاور (سهنی و همکاران، ۱۳۸۶) دیده می‌شوند. توده اولترامافیک ده‌شیخ، به‌عنوان بخش گوشته‌ای آمیزه‌های افیولیتی اسفندقه- فاریاب، توسط گسل رانده ده‌شیخ با روند شمال باختر- جنوب خاور روی این آمیزه‌های افیولیتی رانده شده‌اند. آمیزه‌های افیولیتی یاد شده، مجموعه‌ای درهم از گدازه‌های بازیک، اسپیلیت، کراتوفیر، هیالوکلاستیک، چرت، رادیولاریت، کنگلومرا و بلوک‌هایی از سنگ‌های اولترامافیک به‌ویژه هارزبورژیت را تشکیل می‌دهند. در این آمیزه‌های افیولیتی، سنگ‌آهک‌های پلاژیک صورتی و سفید رنگ دارای فسیل‌های روزن‌بر پلانکتونیک و گلوبوترونکانا با سن ماستریشتین دیده می‌شود (شکل ۲).

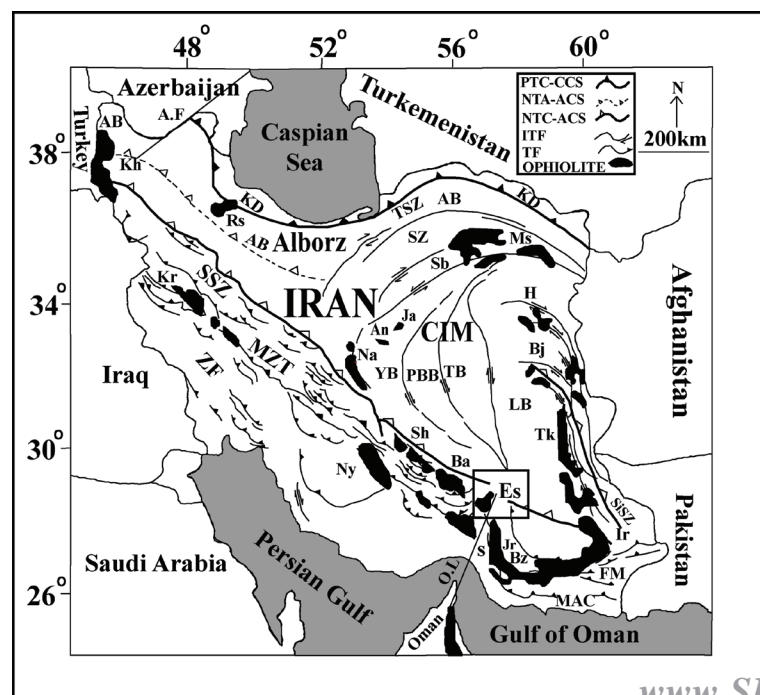
واحدهای سنگی مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ را کرومیت، دونیت، پیروکسینت، هارزبورژیت، لرزولیت (واحد اولترامافیک) و گابروهای لایه‌ای (واحد مافیک) تشکیل می‌دهند. واحد مافیک به‌شدت تکنونیزه شده و دارای انواع مختلف گابروهای لایه‌ای است (Peighambari et al., 2011) (شکل ۲). لرزولیت‌ها در حاشیه مجموعه ده‌شیخ و به‌رنگ قهوه‌ای متمایل به سرخ برونزد دارند. هارزبورژیت‌ها ارتفاعات منطقه و بیشترین واحد سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند. دونیت‌ها به‌صورت دایک‌های نفوذی با میانگین سترای ۳ سانتی‌متر تا ۵ متر یا به‌صورت لایه‌های ناپیوسته و عدسی‌هایی در میان هارزبورژیت‌ها قرار گرفته‌اند. دونیت‌ها میزبان نهشته‌های کرومیت منطقه مورد مطالعه هستند. در واقع، دونیت‌ها به‌صورت نیام‌هایی کرومیت‌ها را در بر گرفته و به‌شدت سرپانتینیته شده‌اند. کرومیت‌ها دارای بافت انشاری، توده‌ای، گره‌کی و نواری هستند. در حال حاضر، معادن کرومیت اژدری، کنار و بزرگ در منطقه ده‌شیخ در حال فعالیت هستند (شکل ۳). واحدهای مافیک در مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ شامل گابروهای لایه‌ای است که رخنمون کوچکی در حاشیه شمال خاور این مجموعه دارند و در برخی بخش‌ها توسط آبرفت‌های کوتاه‌تری پوشیده شده‌اند (لیاقت‌زاده، ۱۳۹۳).

جابه‌جاشدگی ساختارها و همچنین شکنا یا شکل‌پذیر بودن آنها تعیین شده است. با توجه به موارد بالا و موقعیت هندسی و کینماتیک ساختارها، نسل‌های مختلف دگرشکلی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است.

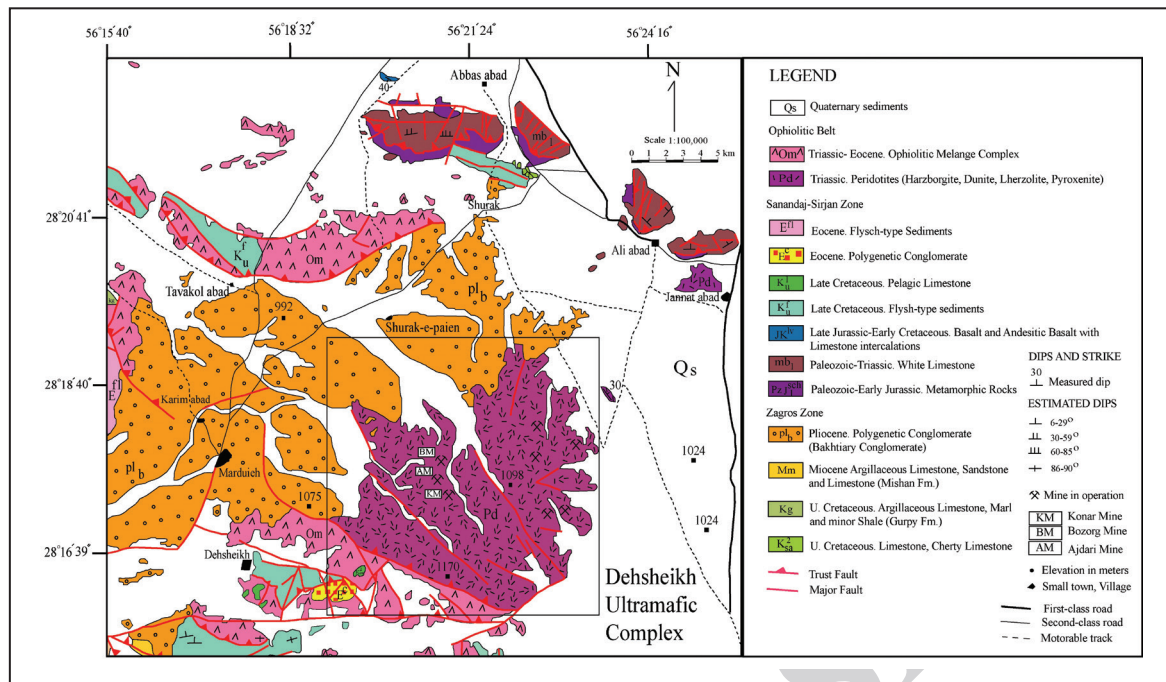
### ۳- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

مجموعه اولترامافیک- مافیک صوغان- آبدشت در جنوب پهنه دگرگونی فشار بالا- دما پایین سندج- سیرجان (Sarkarnejad et al., 2008)، در کمربند آمیزه افیولیتی اسفندقه- فاریاب قرار دارد. واحد اصلی این مجموعه از تناوب دونیت، هارزبورژیت، دایک‌های پیروکسینتی و کرومیتیتی بیشتر گسل خورده، چین‌خورده و دگرگون شده تشکیل شده است. رخنمون‌های دارای دونیت به‌صورت میان‌لایه با هارزبورژیت‌ها گزارش می‌شوند. در برخی مکان‌ها توده‌های عدسی شکل دونیتی با قطر بیش از ۵۰۰ متر توسط سترشدگی در هنگام چین‌خوردگی درون برگواری تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها به‌شدت سرپانتینیته شده‌اند و بافت مشبک نشان می‌دهند. هارزبورژیت‌ها بافت متوسط تا درشت‌دانه دارند و بیشتر واحد اصلی مجموعه صوغان را تشکیل داده‌اند. نهشته‌های کرومیت به دو صورت یافت می‌شوند: ۱) نوع اول شامل توده‌های عدسی شکل چندمتری است که در دونیت‌های سرپانتینیته شده یافت می‌شوند؛ ۲) نوع دوم به‌صورت لایه‌های ناپیوسته توده‌ای با سترای بیش از ۳ متر که گوناگونی از بافت‌ها را نشان می‌دهند و شامل یکی از بزرگ‌ترین نهشته‌های کرومیت نیامی شکل ایران هستند. این لایه‌ها بیشتر توسط گسل‌ها بریده و جابه‌جا شده‌اند و در سطوح ژرف، خیلی از کرومیت غنی تر هستند (Najafzadeh and Ahmadipour, 2014). واحدهای سنگی زیر در مجموعه اولترامافیک- مافیک سیخوران شناسایی شده است (Ghasemi et al., 2002): ۱) هارزبورژیت متورق و دونیت که با واحد مافیک- اولترامافیک پایی شامل دونیت، ولیت، الوین و ستریت، و ستریت و کلینوپیروکسینت؛ ۲) گابروی بالای و واحد مافیک- اولترامافیک بالایی شامل: لرزولیت و پیروکسینت فلدسپاتی، گابروی لایه‌ای، تروکتولیت، الوین گابرو، کلینوپیروکسینت، گابرو نوریت و فروگابرو پوشیده شده‌اند؛ ۳) گابروهای پگماتوئیدی که گاهی دارای هوربلند هستند.

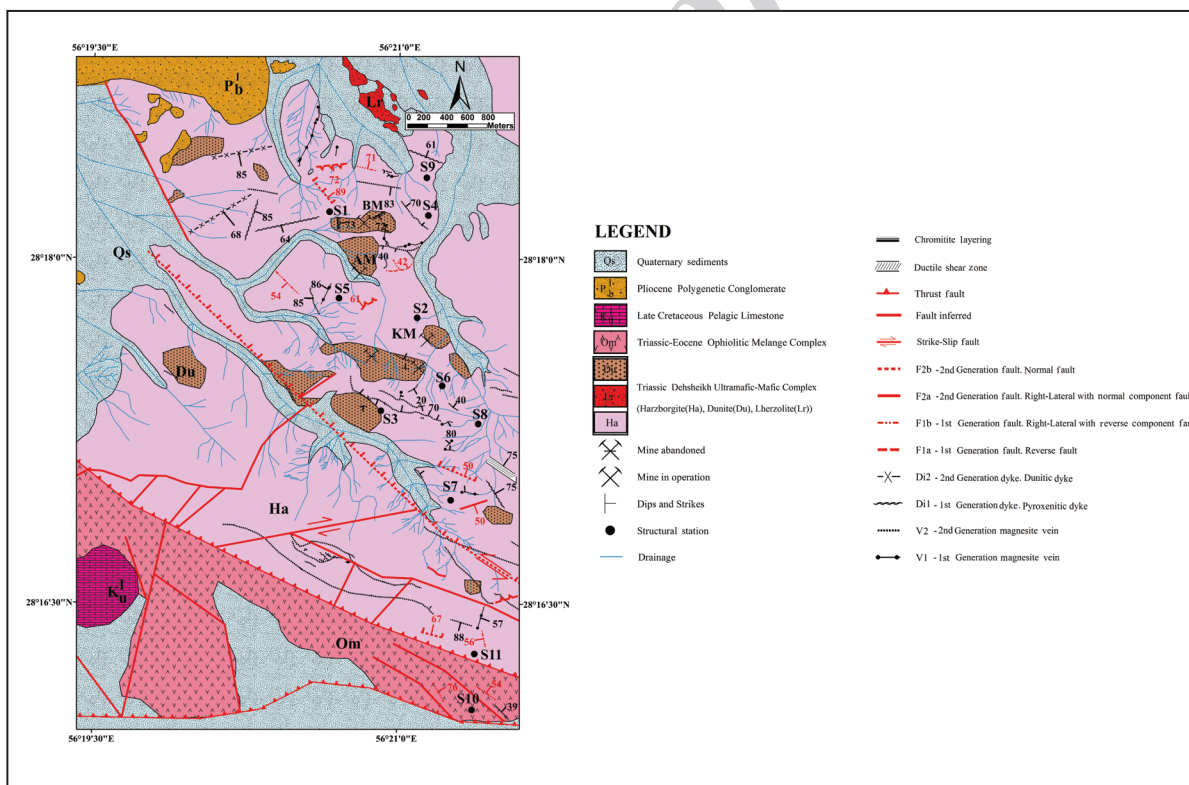
مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ در ۱۲۰ کیلومتری جنوب بافت در استان



شکل ۱- نقشه توزیع توده‌های افیولیتی و آمیزه‌های افیولیتی (با تغییرات از Ghazi et al., 2010 و Alavi et al., 1997). مستطیل نشان‌دهنده موقعیت ناحیه مورد مطالعه (شکل ۲) است. مخفف‌ها: افیولیت‌ها: Kh: خوی، Rs: رشت، Kr: کرمانشاه، Ny: نریز، Es: اسفندقه، Ba: بافت، Sh: شهربابک، Na: نائین، Sb: سبزواری، Ms: مشهد، Bz: بیرجند، Tk: چهل‌کوره، گسل‌ها: Db: ده‌شیر- بافت، Nd: نائین- ده‌شیر، Sh: شهربابک، Ba: بافت، MZT: راندگی اصلی زاگرس. کمربندها: ZF: پهنه چین‌خوردگی زاگرس، SSZ: پهنه سندج- سیرجان، ZSZ: زمین‌درز زاگرس.



شکل ۲- نقشه ساده زمین‌شناسی مجموعه اولترامافیك- مافیك ده‌شیخ (با تغییرات از سهندی و همکاران، ۱۳۸۶). مخفف‌های معادن کرومیتیت: AM: معدن اژدری، BM: معدن بزرگ، KM: معدن کنار. موقعیت این منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس (۱:۲۰۰۰۰) بخش باختری مجموعه اولترامافیك- مافیك ده‌شیخ. محل ایستگاه‌های برداشت داده‌های ساختاری روی نقشه مشخص شده است. مخفف نام معادن کرومیتیت همانند شکل ۲ است. موقعیت این نقشه در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شمال مجموعه ده‌شیخ، مجموعه‌های دگرگونی سرگز- آبشور رخنمون یافته‌اند که از واحدهای سنگی بیوتیت- مسکوویت‌شیت، ترمولیت- آکتینولیت‌شیت، گارنت‌میکاشیت، بازالت‌های بالشی دگرگون شده، تالاباز، اسلیت و به‌طور محلی گرانیت میلونیتی شده و همچنین مرمرهای توده‌ای تا سترلاپه، آمفیبولیت و کوارتزیت تشکیل شده است.

این مجموعه‌های دگرگونی با مرزی رانده روی مجموعه اولترامافیك- مافیك ده‌شیخ قرار گرفته است (شکل ۲، سهندی و همکاران، ۱۳۸۶). در بخش‌های شمالی مجموعه یاد شده، کنگلومرای بختیاری با سن پلیوسن- پلیستوسن با ناپوستگی این مجموعه را پوشانده است؛ رخنمون‌هایی از هارزبورژیت نیز در این کنگلومراها دیده می‌شود (شکل ۲).

در شمال مجموعه ده‌شیخ، مجموعه‌های دگرگونی سرگز- آبشور رخنمون یافته‌اند که از واحدهای سنگی بیوتیت- مسکوویت‌شیت، ترمولیت- آکتینولیت‌شیت، گارنت‌میکاشیت، بازالت‌های بالشی دگرگون شده، تالاباز، اسلیت و به‌طور محلی گرانیت میلونیتی شده و همچنین مرمرهای توده‌ای تا سترلاپه، آمفیبولیت و کوارتزیت تشکیل شده است.

#### ۴- تحلیل ساختمانی

##### ۴-۱. لایه‌بندی اولیه (S0) در پریدوتیت‌ها و کرومیت‌ها

در مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ، دونیت‌های سرپانتینیته شده به رنگ سبز پسته‌ای با دانه‌هایی از کرومیت، لایه‌بندی تدریجی نشان می‌دهند (شکل ۴-الف). لایه‌بندی دونیت- کرومیت (S0) با میانگین موقعیت هندسی N50E, 72SE مشخص می‌شود. کرومیت‌های دارای بافت نواری، از تناوبی از دونیت سرپانتینیته شده و کرومیت با سبزی برای میانگین ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر تشکیل شده‌اند. لایه‌های کرومیتی خود دارای بافت انتشاری هستند؛ در شمال باختر توده اولترامافیک ده‌شیخ، لایه‌های کرومیت با شیب زیاد (نزدیک به قائم) و میانگین موقعیت هندسی N50E, 71NW گزارش می‌شوند (شکل ۴-ب). کرومیت‌های دارای بافت نواری با میانگین موقعیت هندسی N4W, 60NE از تناوبی از دونیت سرپانتینیته شده و کرومیت با سبزی برای میانگین ۱ تا ۲ سانتی‌متر در شمال باختر توده یاد شده دیده می‌شوند.

لرزولیت به صورت یک توده عدسی شکل با مرز مشخصی در میان هارزبورژیت‌ها قرار گرفته است (شکل ۴-پ). در بخش‌های شمالی توده اولترامافیک ده‌شیخ، مرز میان دونیت‌ها و هارزبورژیت‌ها به صورت تدریجی است (شکل ۴-ت). با توجه به برجسته‌نگار شکل ۸-الف، روند چیره سطوح لایه‌بندی اولیه پریدوتیت‌ها (S0) شمال خاور- جنوب باختر است.

##### ۵- نسل‌های دگرشکلی

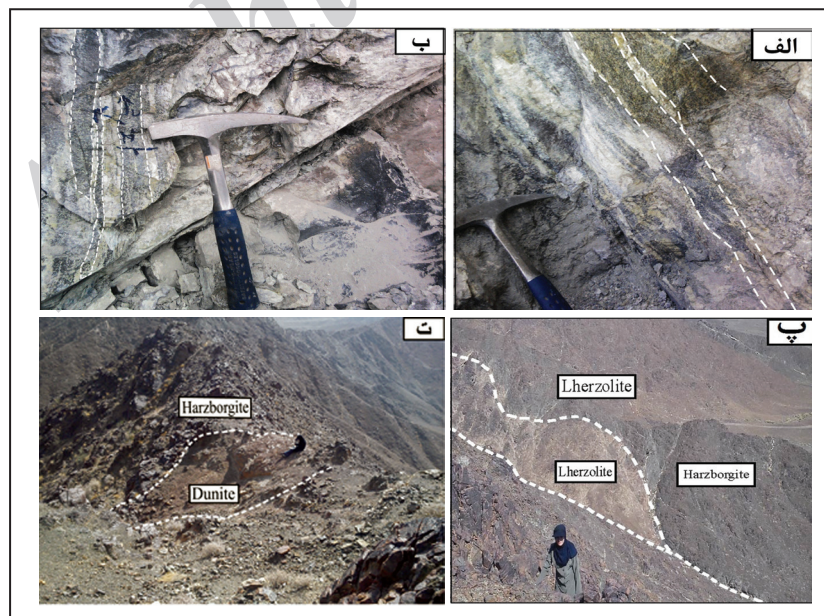
##### ۵-۱. دگرشکلی نسل اول (D<sub>1</sub>)

دگرشکلی نسل اول (D<sub>1</sub>) با گسترش چین‌های بی‌ریشه F<sub>1</sub> در لایه‌های کرومیتی بودین شده با بافت نواری، جایگزینی دایک‌های ارتوپروکسنیتی و کلینوپروکسنیتی D<sub>1</sub> با امتداد کلی شمال باختر- جنوب خاور و تشکیل پهنه‌های برشی شکل‌پذیر D<sub>1</sub> با امتداد کلی شمال باختر- جنوب خاور همراه بوده است. این ساختارها در دمای بالا و شرایط شکل‌پذیر به وجود آمده‌اند.

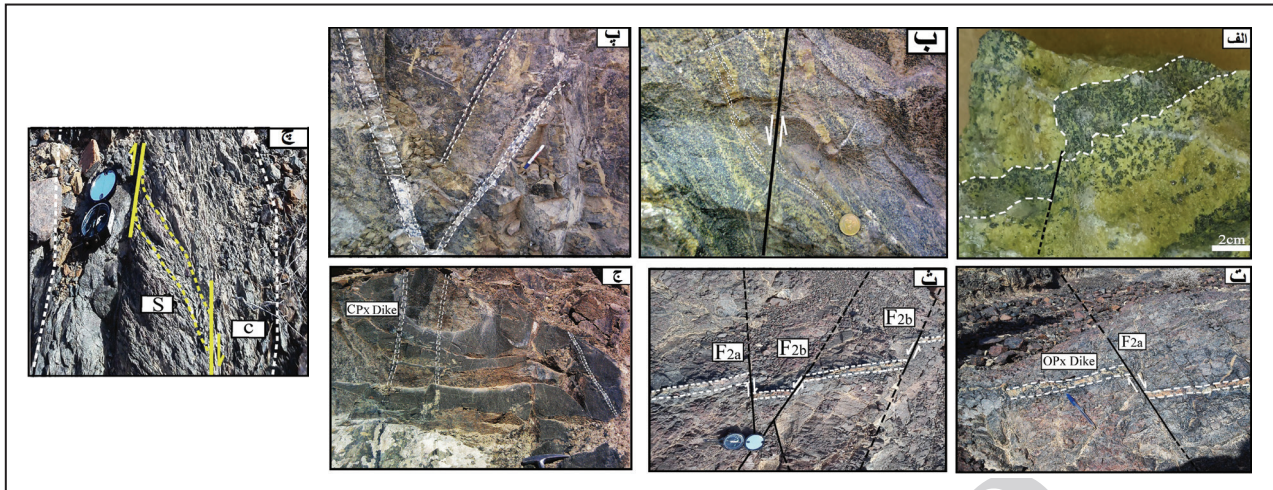
– گسترش چین‌های بی‌ریشه و بودین‌شدگی لایه‌های کرومیتی: چین‌های بی‌ریشه F<sub>1</sub> در لایه‌های کرومیتی با یال‌هایی نازک و لولاهایی سبتر متمایز می‌شوند. در اثر چین‌خوردگی در یال‌های چین، گسل‌های مرتبط با چین‌خوردگی در لایه‌های کرومیتی ایجاد شده است (شکل‌های ۵-الف و ب). سبتر و نازک شدن لایه‌های کرومیتی (شکل ۴-الف)، نامنظم بودن لایه‌بندی کرومیت- دونیت که با انقطاع و ناپیوسته بودن لایه‌بندی در برخی مناطق مشخص می‌شود (شکل ۴-ب) و همچنین گسلش و بودین‌شدگی کرومیت‌های با بافت نواری طی دگرشکلی D<sub>1</sub> ایجاد شده است. در پاسخ به تنش‌های وارد شده، کرومیت به صورت صلب و شکننا رفتار کرده و بودین شده است؛ در صورتی که دونیت به صورت شکل‌پذیر رفتار کرده و جریان یافته است (شکل ۵-ب).

– جایگزینی دایک‌های پروکسنیتی (D<sub>1</sub>): دایک‌های کلینوپروکسنیتی در توده اولترامافیک ده‌شیخ به رنگ سبز روشن با حاشیه‌های سیاه‌رنگ و سرپانتینیته شده، تقریباً موازی با هم یافت می‌شوند. اگرچه این دایک‌ها در دونیت‌ها، لرزولیت‌ها و هارزبورژیت‌ها گسترش یافته‌اند؛ ولی بیشترین گسترش این دایک‌ها در لرزولیت‌ها و در بخش‌های شمالی توده اولترامافیک یاد شده است. دایک‌های مقاطع کلینوپروکسنیتی D<sub>1</sub> با سبزی برای میانگین ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر و میانگین موقعیت‌های هندسی N77W, 64SW و N80E, 70NW در سنگ میزبان دونیتی جایگزین شده‌اند (شکل ۵-پ). در بخش‌های شمالی این توده، دایک‌های کلینوپروکسنیتی با سبزی برای میانگین ۲ سانتی‌متر و به رنگ سبز روشن با میانگین موقعیت هندسی N68W, 61NE تقریباً موازی با هم در لرزولیت‌ها تزریق شده‌اند (شکل ۵-ج). با توجه به برجسته‌نگار شکل ۸-ب، روند چیره دایک‌های کلینوپروکسنیتی D<sub>1</sub> شمال باختر- جنوب خاور است.

دایک‌های ارتوپروکسنیتی به شدت هوازده به رنگ نارنجی با حاشیه‌های سیاه‌رنگ و سرپانتینیته شده، توسط گسل‌ها قطعه‌قطعه شده‌اند؛ این دایک‌ها دارای میانگین سبزی برای حدود ۵ سانتی‌متر هستند. بیشترین گسترش این دایک‌ها در



شکل ۴- سطوح لایه‌بندی اولیه (S0) در پریدوتیت‌های بخش باختری توده اولترامافیک ده‌شیخ. الف) کرومیت با بافت نواری [UTM:436107, 3130995] (سوی دید شمال خاور)؛ ب) کرومیت با بافت نواری متشکل از لایه‌های کرومیت با سبزیهای مختلف [UTM:436107, 3130995] (سوی دید جنوب باختر)؛ پ) مرز مشخص میان هارزبورژیت و لرزولیت‌ها، لرزولیت به صورت عدسی شکل در میان هارزبورژیت‌ها قرار دارد [UTM:436022, 3130743] (سوی دید شمال)؛ ت) دونیت عدسی شکل و دارای تدریجی در میان هارزبورژیت‌ها [UTM:436288, 3129468] (سوی دید جنوب خاور).



شکل ۵- شواهد دگرشکلی نسل اول ( $D_1$ ) در بخش باختری توده اولترامافیک ده‌شیخ؛ الف) گسترش چین‌های  $F_1$  و گسل خوردگی در یال‌های چین  $F_1$  در کرومیتیت با بافت نواری و انتشاری، [UTM:436107, 3130995]؛ ب) بودین شدگی و تشکیل چین‌های  $F_1$  در لایه‌های کرومیتیت با بافت نواری [UTM:436107, 3130995] (سوی دید خاور)؛ پ) دایک‌های کلینوپروکسنیتی (CPX) متقاطع  $Di_1$  [UTM:436107, 3130995] (سوی دید شمال خاور)؛ ت) گسل  $F_{2a}$ ، دایک ارتوپروکسنیتی (OPX) را جابه‌جا کرده است [UTM:436504, 3129159] (سوی دید جنوب خاور)؛ ث) گسل‌های متقاطع  $F_2$ ، دایک ارتوپروکسنیتی (OPX) را جابه‌جا کرده‌اند [UTM:436504, 3129159] (سوی دید جنوب خاور)؛ ج) دایک‌های کلینوپروکسنیتی (CPX) تقریباً موازی با هم  $Di_1$  [UTM:436504, 3129159] (سوی دید شمال خاور)؛ چ) پهنه برشی شکل‌پذیر راستگرد با مؤلفه عادی  $D_{szl}$  با گسترش فابریک S-C [UTM:436504, 3129159] (سوی دید شمال باختر).

سانتی‌متر به صورت راستالغز راست‌گرد با مؤلفه وارون جابه‌جا کرده و در نتیجه از این ساختارها جوان‌تر است.

– **دایک‌های دونیتی ( $Di_1$ ):** دایک‌های دونیتی در توده اولترامافیک ده‌شیخ به‌رنگ سبز پسته‌ای با میانگین ستبرای ۵ سانتی‌متر و مرزی مشخص با سنگ میزبان یافت می‌شوند. بیشترین گسترش دایک‌های دونیتی در بخش‌های شمالی توده یاد شده و در کرومیتیت‌های نواری و دونیت‌هاست. دایک‌های دونیتی  $Di_2$  با میانگین موقعیت هندسی N78E, 85SE در لایه‌های کرومیتیت با بافت نواری تزریق شده‌اند؛ به طوری که قطعاتی از کرومیتیت‌ها در این دایک‌ها دیده می‌شود. گسل  $F_{1a}$  با میانگین موقعیت هندسی N78E, 85SE این دایک‌ها را قطع و جابه‌جا کرده‌اند (شکل‌های ۶- الف و ب). با توجه به برجسته نگار شکل ۸- پ، روند چیره دایک‌های دونیتی در منطقه مورد مطالعه شمال خاور- جنوب باختر است.

– **گسترش گسل‌های  $F_1$ :** در معدن کرومیتیت بزرگ، ستبرای میانگین پهنه‌های گسلی  $F_1$  حدود ۵۰ تا ۹۰ سانتی‌متر است (شکل‌های ۶- ت). رگه‌های منیزیت بیشتر در مرز پهنه‌های گسلی  $F_1$  با دونیت‌ها و هارزبورژیت‌ها تشکیل شده‌اند. در این پهنه‌ها، سنگ‌ها به شدت خرد می‌شوند و آرد گسلی دارای دانه‌های کرومیتیت را با قطر کمتر از ۰/۵ میلی‌متر تشکیل می‌دهند (شکل ۶- پ). پهنه‌های گسلی  $F_{1a}$  با میانگین موقعیت هندسی N60-80E, 60NW و ستبرای میانگین ۹۰ سانتی‌متر، دارای برش گسلی با قطعات زاویه‌دار هارزبورژیت در سیمان منیزیتی (پرکننده فضای بین شکستگی‌ها) در توده الترامافیک ده‌شیخ دیده می‌شوند. همچنین، پهنه‌های گسلی  $F_{1a}$  با ستبرای میانگین ۱۰ سانتی‌متر و میانگین موقعیت هندسی N85E, 82SE، سنگ میزبان دارای کرومیتیت انتشاری را قطع کرده‌اند. در معدن بزرگ، لایه‌های کرومیتیت‌های نواری با میانگین موقعیت هندسی N62E, 65SE توسط گسل‌های  $F_{1a}$  با میانگین موقعیت هندسی N78E, 85SE به صورت رانده و به میزان ۳ سانتی‌متر جابه‌جا شده‌اند (شکل ۶- الف). در خاور این معدن، لایه‌های کرومیتیتی با بافت متراکم و با میانگین موقعیت هندسی N76E, 89NW و ستبرایی حدود ۲۰ سانتی‌متر در پهنه گسلی شکنا  $F_{1a}$  به صورت آرد گسلی درآمده‌اند (شکل ۶- ث).

گسل‌های  $F_{1b}$  با میانگین موقعیت هندسی N60W, 63SW در بردارنده خط خش‌هایی با ریک ۲۰° به سوی شمال هستند که جنبش چیره راستالغز راست‌گرد با مؤلفه

هارزبورژیت‌ها و در بخش‌های مرکزی توده اولترامافیک ده‌شیخ است. در مرکز این توده، دایک ارتوپروکسنیتی  $Di_1$  به شدت هوازده توسط گسل راستالغز راست‌گرد با مؤلفه عادی  $F_{2a}$  با میانگین موقعیت هندسی N55E, 64SE جابه‌جا شده‌اند (شکل ۵- ت). همچنین، در بخش‌های مرکزی این توده، دایک ارتوپروکسنیتی با میانگین موقعیت هندسی N25W, 75NE توسط گسل‌های متقاطع  $F_{2a}$  و  $F_{2b}$  به ترتیب با میانگین موقعیت‌های هندسی N70E, 51SE و N70W, 50NE به صورت راست‌گرد با مؤلفه عادی جابه‌جا شده و تشکیل یک ساختار گرابینی را داده است. این دایک، بار دیگر توسط گسل  $F_{2a}$  با امتداد کلی شمال خاور- جنوب باختر به صورت عادی جابه‌جا شده است (شکل ۵- ث).

– **پهنه برشی شکل‌پذیر ( $D_{szl}$ ):** پهنه‌های برشی شکل‌پذیر راستالغز راست‌گرد با مؤلفه عادی  $D_{szl}$  با ستبرای میانگینی حدود ۶۰ سانتی‌متر و میانگین موقعیت هندسی N55W, 75NE در میان هارزبورژیت‌های متورق سبز تیره تا خاکستری رنگ مرکز توده اولترامافیک ده‌شیخ (ایستگاه ۷) گزارش می‌شوند. در مرزهای این پهنه‌های برشی، رگه‌های منیزیت  $V_2$  به موازات سطوح C با ستبرای میانگین حدود ۱ تا ۴ سانتی‌متر و میانگین موقعیت هندسی N65W, 81NE تشکیل شده‌اند. مرز این پهنه‌های برشی با سنگ‌های پیرامون تدریجی است و میلوئیت‌های هارزبورژیتی متورق در این پهنه‌ها گسترش یافته‌اند. گسترش فابریک S-C نشان دهنده جنبش چیره راستالغز راست‌گرد در این پهنه‌های برشی است؛ سطوح S دارای میانگین موقعیت هندسی N50E, 70SE است و سطوح C با میانگین موقعیت هندسی N65W, 81NE و گسترش رگه‌های منیزیت متمایز می‌شوند (شکل ۵- چ).

## ۵-۲. دگرشکلی نسل دوم ( $D_2$ )

دگرشکلی نسل دوم ( $D_2$ ) با جایگزینی دایک‌های دونیتی  $Di_2$ ، گسترش گسل‌های رانده  $F_{1a}$  و گسل‌های راستالغز راست‌گرد با مؤلفه وارون  $F_{1b}$  و تشکیل رگه‌های منیزیت  $V_1$  متمایز می‌شود. گسل‌های  $F_{1b}$  با گسل‌های  $F_{1a}$  بیشتر به صورت متقاطع یافت می‌شوند. در معدن کرومیتیت بزرگ، گسل  $F_{1b}$ ، گسل  $F_{1a}$  را به صورت راستالغز راست‌گرد با مؤلفه وارون جابه‌جا کرده است. گسل  $F_{1a}$  دایک‌های دونیتی  $Di_2$  را قطع و جابه‌جا کرده است؛ به طوری که از این دایک‌ها جوان‌تر است. در شمال توده (ایستگاه ۹؛ شکل ۳)، گسل  $F_{1b}$  رگه‌های  $V_1$  و  $V_2$  را به ترتیب به میزان ۵ و ۶

با توجه به برجسته نگار (شکل ۹- پ)، روند چیزه رگه‌های منیزیت  $V_1$  در منطقه مورد مطالعه شمال خاور- جنوب باختر است.

#### ۵-۳. دگرشکلی نسل سوم ( $D_3$ )

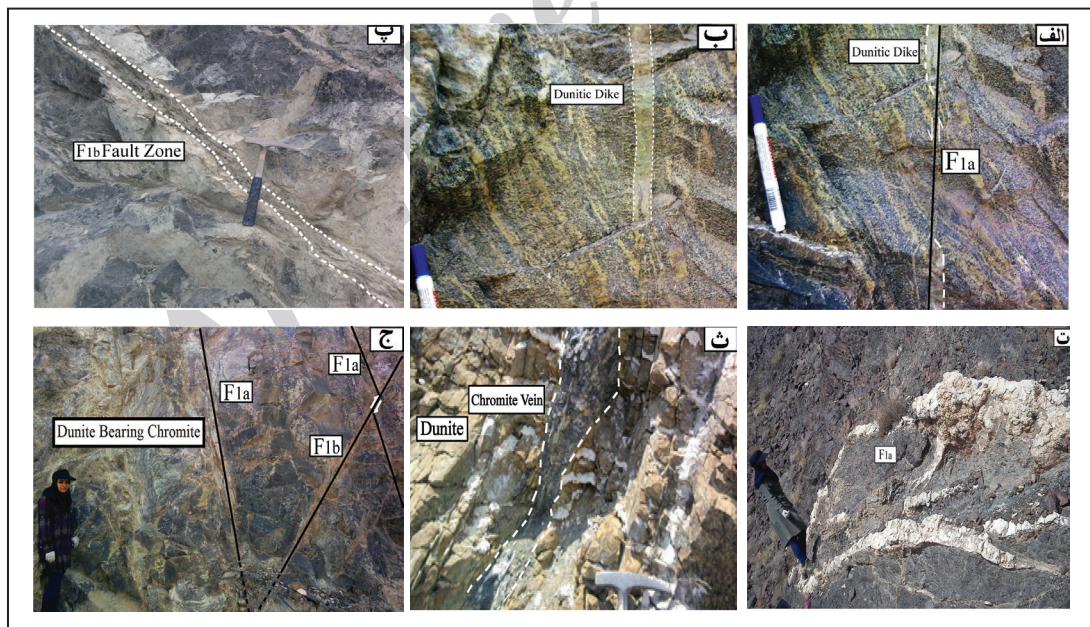
دگرشکلی نسل سوم ( $D_3$ ) شامل گسترش گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه عادی  $F_{2a}$  با امتداد کلی شمال خاور- جنوب باختر و گسل‌های عادی  $F_{2b}$  با امتداد کلی شمال باختر- جنوب خاور و تشکیل رگه‌های منیزیت  $V_2$  در این پهنه‌های گسلی است.

**گسترش گسل‌های  $F_2$ :** مرز پهنه‌های گسلی  $F_2$  با سنگ‌های پیرامون تدریجی است که می‌توان آن را با برش گسلی دارای قطعات زاویه‌داری از هارزبورژیت در سیمان منیزیتی (پرکننده فضای میان شکستگی‌ها) شناسایی کرد (شکل ۷- الف). در این پهنه‌های گسلی رگه‌های منیزیت  $V_2$  گسترش یافته است. در برخی نقاط، پهنه گسلی  $F_{2a}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N25E, 88NW$  رگه‌های منیزیت  $V_2$  جابه‌جا کرده است. گسل  $F_{2b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N78W, 67NE$  رگه‌های منیزیت  $V_2$  (شکل ۷- ب) را به میزان حدود ۹ سانتی‌متر به صورت راست‌گرد با مؤلفه عادی جابه‌جا کرده است. همچنین، در برخی مناطق، گسل  $F_{2b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N17W, 75SW$ ، به صورت عادی و به میزان حدود ۸۰ سانتی‌متر گسل  $F_{1b}$  را جابه‌جا کرده است. با توجه به برجسته‌نگارهای شکل ۹- ت و ث، روند چیزه گسل‌های  $F_{2a}$  شمال خاور- جنوب باختر و گسل‌های  $F_{2b}$  شمال باختر- جنوب خاور است.

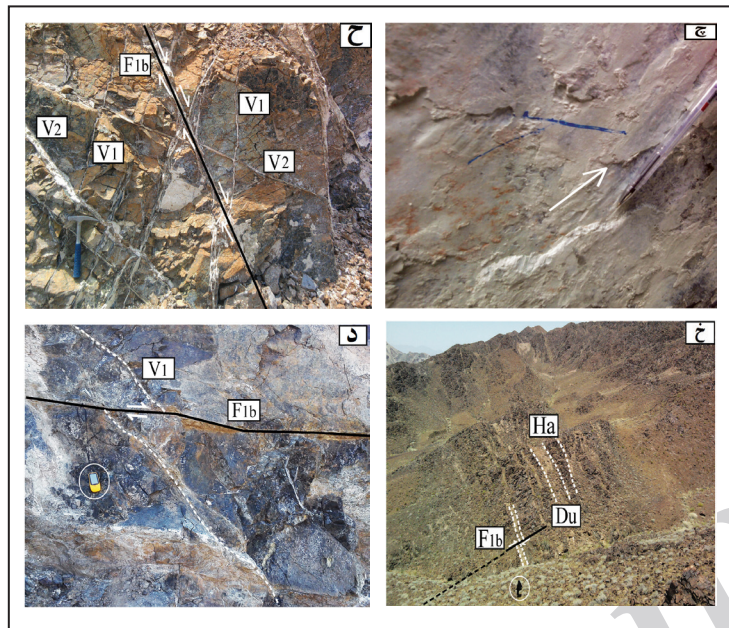
**رگه‌های منیزیت ( $V_2$ ):** رگه‌های منیزیت  $V_2$  با سبترای میانگین یک متر و میانگین موقعیت هندسی  $N15W, 42NE$  در سنگ میزبان هارزبورژیتی گزارش می‌شوند. همچنین، این رگه‌های منیزیت دارای بافت گل کلمی با میانگین موقعیت هندسی

وارون این گسل‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۶- ج). در معدن بزرگ، پهنه گسلی  $F_{1b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N76W, 71NE$  به صورت راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه وارون و به میزان ۱۵ سانتی‌متر، پهنه گسلی شکنا  $F_{1a}$  را در سنگ میزبان دونیتی دارای کرومیت انتشاری قطع و جابه‌جا کرده است (شکل ۶- ج). در ایستگاه ۹ (شکل ۳)، رگه‌های منیزیت  $V_2$  با سبترای میانگین ۱ سانتی‌متر در سطح گسلی  $F_{1b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N10W, 71NE$  گسترش یافته‌اند؛ این گسل‌ها، رگه‌های منیزیت  $V_1$  با میانگین موقعیت هندسی  $N16E, 83NW$  را به صورت راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه وارون و به میزان ۵ سانتی‌متر جابه‌جا کرده‌اند. در این منطقه، رگه‌های منیزیت موازی و عمود برهم  $V_1$  و  $V_2$  یک ساختار شکلاتی ایجاد کرده‌اند (شکل ۶- ح). همچنین، در ایستگاه ۱۱ (شکل ۳)، گسل  $F_{1b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N13W, 56W$  لایه‌های دونیتی را با سبترای  $1/5$  تا ۵ متر و با میانگین موقعیت هندسی  $N60E, 59SE$  و  $N73W, 74NE$  به صورت راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه وارون و به میزان ۶۰ سانتی‌متر جابه‌جا کرده است (شکل ۶- خ). با توجه به برجسته‌نگارهای شکل ۹- الف و ب، روند چیزه گسل‌های  $F_{1a}$  شمال خاور- جنوب باختر و برای گسل‌های  $F_{1b}$  شمال باختر- جنوب خاور است.

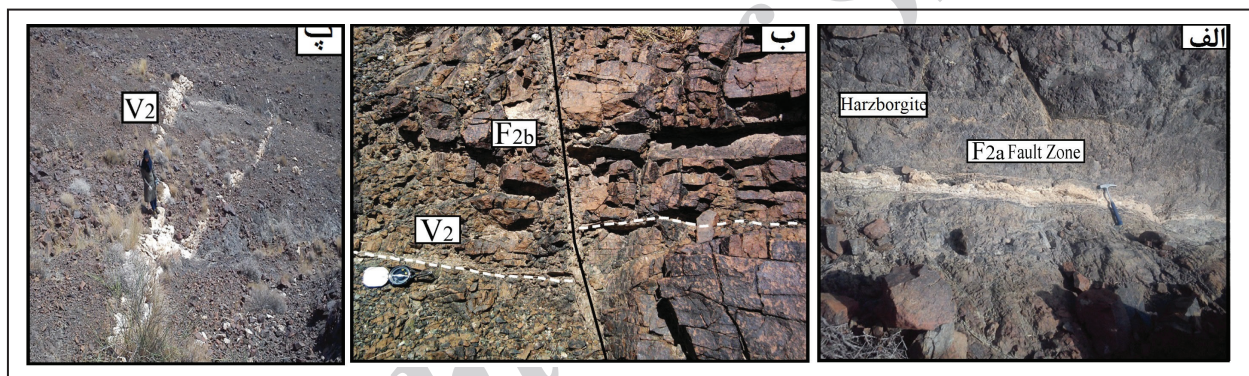
**رگه‌های منیزیت ( $V_1$ ):** رگه‌های منیزیت  $V_2$  دارای بافت گل کلمی، سبترای میانگین ۱ تا ۵ سانتی‌متر و میانگین موقعیت‌های هندسی  $N50W, 73NE$  تا  $N20W, 65NE$  روی رگه منیزیت  $V_1$  با سبترای میانگین ۱ تا ۷ سانتی‌متر و میانگین موقعیت هندسی  $N25E, 24NW$  تا  $N16E, 83NW$  در ایستگاه ۴ (شکل ۳)، نقش بسته‌اند (شکل ۶- ح). همچنین، در ایستگاه ۳، رگه‌های منیزیت  $V_1$  با سبترای میانگین ۱ سانتی‌متر و میانگین موقعیت هندسی  $N25E, 80NW$  توسط گسل  $F_{1b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N40W, 58SW$  به میزان ۳۲ سانتی‌متر جابه‌جا شده‌اند (شکل ۶- د).



شکل ۶- شواهد دگرشکلی نسل دوم ( $D_2$ ) در بخش باختری توده اولترامافیک ده‌شیخ؛ الف) گسل رانده  $F_{1a}$  کرومیتیت با بافت نواری را جابه‌جا کرده است [UTM:436107, 3130995] (سوی دید خاور)؛ ب) دایک دونیتی دارای مرز مشخص با سنگ میزبان کرومیتیتی [UTM:436107, 3130995] (سوی دید خاور)؛ پ) پهنه گسلی شکنا  $F_{1b}$  [UTM:436107, 3130995] (سوی دید شمال)؛ ت) گسترش رگه‌های منیزیت با بافت گل کلمی در پهنه گسلی  $F_{1a}$  [UTM:436359, 3129748] (سوی دید شمال باختر)؛ ث) رگه کرومیتیتی در پهنه گسلی  $F_{1a}$  تبدیل به آرد گسلی شده است [UTM:436174, 3130878] (سوی دید شمال)؛ ج) پهنه گسلی  $F_{1a}$ ، پهنه گسلی  $F_{1b}$  را قطع کرده است [UTM:436053, 3130911] (سوی دید شمال)؛ چ) خش‌لغزهای با ریک  $N/30$  در سطح گسل  $F_{1b}$  [UTM:436107, 3130995] (سوی دید جنوب باختر)؛ ح) رگه‌های منیزیت موازی و عمود برهم  $V_1$  و  $V_2$  ساختار شکلاتی را ایجاد کرده‌اند [UTM:436107, 3130995] (سوی دید جنوب)؛ خ) لایه‌بندی اولیه در توالی دونیت (Du) و هارزبورژیت (Ha) که توسط گسل  $F_{1b}$  جابه‌جا شده است [UTM:436891, 3127510] (سوی دید باختر)؛ د) گسل راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه وارون  $F_{1b}$  رگه منیزیت  $V_1$  را جابه‌جا کرده است [UTM:436104, 3130669] (سوی دید جنوب باختر).



ادامه شکل ۶



شکل ۷- شواهد دگرشکلی نسل سوم ( $D_3$ ) در بخش باختری توده اولترامافیک ده‌شیخ؛ الف) پهنه گسلی  $F_{2a}$  در هارزبورژیت [UTM:436359, 3129748] (سوی دید شمال باختر)؛ ب) گسل عادی  $F_{2b}$  رگه منیزیت  $V_2$  را به میزان ۱۶ سانتی متر جابه‌جا کرده است [UTM:436075, 3130878] (سوی دید شمال باختر)؛ پ) رگه‌های منیزیت  $V_2$  در پهنه گسلی مزدوج  $F_2$  تزریق شده‌اند [UTM:436288, 3129468] (سوی دید شمال باختر).

کلینوپیروکسنیتی با امتداد کلی شمال باختر- جنوب خاور است. دایک‌های پیروکسنیتی به صورت موازی یا متقاطع در دامای بالا در توده الترامافیک ده‌شیخ جای‌گزین شده‌اند. در چین‌های بی‌ریشه  $F_1$ ، بیشترین تمرکز کرومیتیت در محل لولای چین‌ها دیده می‌شود. برش پلاستیک دونیت که سبب تشکیل چین‌های بی‌ریشه  $F_1$  در توالی دونیت- کرومیتیت شده است؛ می‌تواند نشان‌دهنده جریان پلاستیک بزرگ‌مقیاس گوشته‌ای در این توده باشد (Huang et al., 2004) (شکل ۱۰- الف).

**دگرشکلی نسل دوم ( $D_2$ ):** این دگرشکلی شامل: ۱) تزریق دایک‌های دونیتی  $Di_2$  با امتداد کلی شمال خاور- جنوب باختر و مرزهای مشخص با سنگ میزبان دونیتی و کرومیتیتی با بیشترین گسترش در بخش‌های شمالی توده، ۲) تشکیل گسل‌های راست‌الغز وارون تا رانده  $F_{1a}$  و  $F_{1b}$  (۳) تشکیل و گسترش رگه‌های منیزیت  $V_1$  با امتداد کلی شمال خاور- جنوب باختر، همزمان تا پس از گسلش  $F_1$  است (شکل ۱۰- ب). دایک‌های دونیتی  $Di_2$  لایه‌بندی کرومیتیتی  $SO$  را قطع کرده‌اند؛ به طوری که قطعاتی از کرومیتیت‌ها در این دایک‌ها دیده می‌شوند. همچنین گسل‌های  $F_{1a}$  این دایک‌ها را قطع و جابه‌جا کرده‌اند. گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه وارون  $F_{1b}$  با امتداد کلی شمال باختر- جنوب خاور با گسل‌های رانده  $F_{1a}$  با امتداد کلی شمال خاور- جنوب باختر به صورت متقاطع گزارش می‌شوند.

در پهنه‌های گسلی مزدوج  $F_2$  تشکیل شده‌اند (شکل ۷- پ). برای نمونه در ایستگاه ۸، رگه‌های منیزیت  $V_2$  با ستبرای میانگین ۳۰ سانتی‌متر و میانگین موقعیت هندسی  $N63W, 70SW$  به موازات مرزهای پهنه گسلی  $F_{2b}$  تشکیل شده‌اند. با توجه به برجسته‌نگار شکل ۹- ج، روند چیره رگه‌های منیزیت  $V_2$  شمال باختر- جنوب خاور و به موازات گسل‌های  $F_{2b}$  است.

## ۶- بحث

### ۶-۱. تکامل ساختاری مجموعه اولترامافیک-مافیک ده‌شیخ

مجموعه اولترامافیک-مافیک ده‌شیخ تحت تأثیر دگرشکلی‌های مختلفی قرار گرفته که شدت و عملکرد آن در بخش‌های مختلف منطقه متفاوت است. با توجه به شواهد صحرائی، سه نسل دگرشکلی  $D_1, D_2, D_3$  در بخش باختری این مجموعه در منطقه اسفندقه شناسایی شده است:

**دگرشکلی نسل اول ( $D_1$ ):** این دگرشکلی شامل: ۱) تشکیل چین‌های بی‌ریشه درون برگوارگی  $F_1$  در کرومیتیت‌های با بافت نواری و انتشاری، ۲) کشیدگی و طولیل‌شدگی در لایه‌ها و نوارهای کرومیتیت‌ها، ۳) تشکیل پهنه برشی شکل‌پذیر راست‌گرد  $D_{1a}$  با امتداد کلی شمال باختر- جنوب خاور، همراه با گسترش فابریک  $S-C$  در سنگ میزبان هارزبورژیتی و ۴) تزریق دایک‌های ارتوپیروکسنیتی و

رخ داده است (شکل ۱۰-الف). گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه وارون  $F_{1b}$  و گسل‌های رانده  $F_{1a}$  دگرشکلی ترافشارش  $D_2$ ، گسترش گسل‌های مزدوج  $R$  و  $R'$  را در پهنه گسلش وارون با مؤلفه راست‌الغز راست‌گرد زاگرس (میانگین موقعیت هندسی N50W, 50NE) نشان می‌دهند. این ساختارها احتمالاً هنگام جایگزینی مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ تحت تأثیر سامانه ترافشارش راست‌گرد زاگرس در کمربند آمیزه افیولیتی اسفندقه- فاریاب گسترش یافته‌اند (شکل ۱۰-ب). گسل‌های عادی و گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه عادی  $F_2$  طی آخرین مرحله دگرشکلی  $D_3$ ، تحت تأثیر یک رژیم تراکشش منطقه‌ای در پهنه گسلی زاگرس تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰-پ).

### ۶-۳. نقش ساختارها در دگرشکلی و جایگزینی کانسارهای کرومیتیت

کرومیتیت‌ها در منطقه مورد مطالعه دارای بافت‌های ماگمایی اولیه نواری، انتشاری، توده‌ای و گره‌کی هستند. لایه‌بندی تدریجی در کرومیتیت‌های با بافت نواری نشانگر ته‌نشست کرومیتیت همراه با الیون از ماگمای اولیه است. شواهد دگرشکلی دما بالا در کرومیتیت‌ها شامل تشکیل و گسترش چین‌های بی‌ریشه، ستر و نازک شدن لایه‌های کرومیتیتی و طولیل‌شدگی و بودین‌شدگی در کرومیتیت‌هاست. برش پلاستیک توالی دونیت- کرومیتیت سبب دگرشکلی پلاستیک کرومیتیت‌ها و تشکیل چین‌های بی‌ریشه در این توالی شده است. ساختارهای دما پایین شامل حذف یا جابه‌جایی در لایه‌های کرومیتیتی توسط گسل‌های  $F_1$  و  $F_2$  است. با توجه به گسلیده شدن چین‌های بی‌ریشه و کرومیتیت‌های با بافت نواری، ساختارهای دما پایین روی ساختارهای دما بالا نقش بسته‌اند.

روند چیره لایه‌بندی کرومیتیت‌های با بافت نواری، شمال‌خاور- جنوب‌باختر است که شیب زیادی به سوی شمال‌باختر یا جنوب‌خاور دارد. در پهنه‌های گسلی، لایه‌های دونیتی در پیرامون کرومیتیت‌ها دیده نشده و کرومیتیت‌ها تشکیل آرد گسلی داده‌اند. در معدن متروک، گسل  $F_{1b}$  توده کرومیتیتی و رگه‌های منیزیت  $V_1$  تزریق شده در دونیت‌های میزبان را جابه‌جا کرده است. در معدن بزرگ، گسل‌های  $F_{2b}$  به صورت چپ‌بر و به میزان ۳۵ سانتی‌متر و گسل‌های  $F_1$  به صورت متقاطع لایه‌های کرومیتیتی را جابه‌جا کرده‌اند. با توجه به شواهد یاد شده، گسل‌های  $F_1$  و  $F_{2b}$  نقش کنترل‌کننده ساختاری مهمی در دگرشکلی کانسارهای کرومیتیت بخش باختری مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ داشته‌اند (شکل ۱۱).

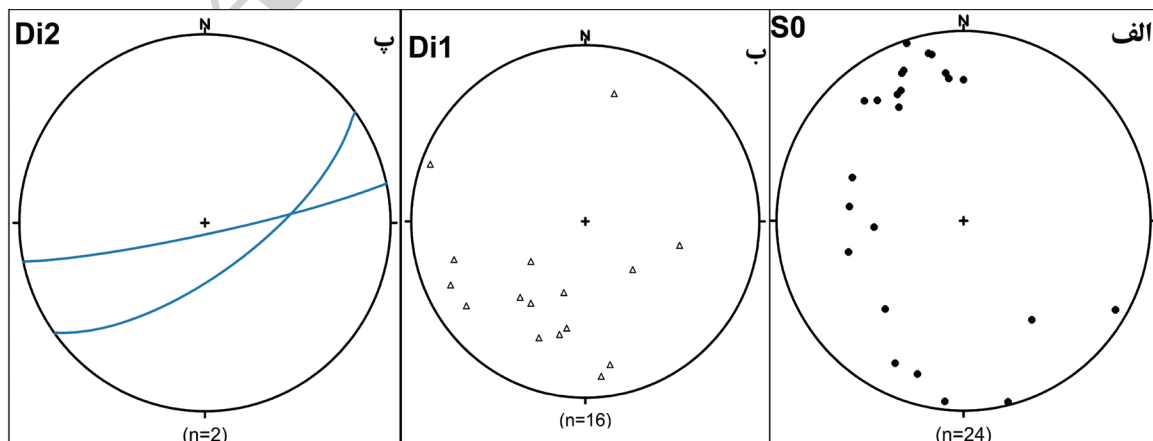
– **دگرشکلی نسل سوم ( $D_3$ ):** این دگرشکلی شامل: (۱) تشکیل گسل‌های راست‌الغز عادی  $F_{2a}$  و گسل‌های عادی  $F_{2b}$  و (۲) گسترش رگه‌های منیزیت  $V_2$  با امتداد کلی شمال‌باختر- جنوب‌خاور است. گسل‌های شمال‌باختر- جنوب‌خاور عادی  $F_{2b}$  با گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد با مؤلفه عادی  $F_{2a}$  به صورت متقاطع گزارش می‌شوند. رگه‌های منیزیت  $V_2$  با امتداد کلی شمال‌باختر- جنوب‌خاور روی رگه‌های منیزیت  $V_1$  نقش بسته‌اند و در نتیجه از رگه‌های منیزیت  $V_1$  جوان‌تر هستند. رگه‌های منیزیت  $V_2$  توسط گسل‌های  $F_{2a}$  و  $F_{2b}$  قطع و جابه‌جا شده‌اند (شکل ۱۰-پ).

خلاصه تکامل ساختاری مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ در کمربند آمیزه افیولیتی اسفندقه- فاریاب در جدول ۱ نشان داده شده است.

### ۶-۲. الگوی دگرشکلی ناحیه مورد مطالعه

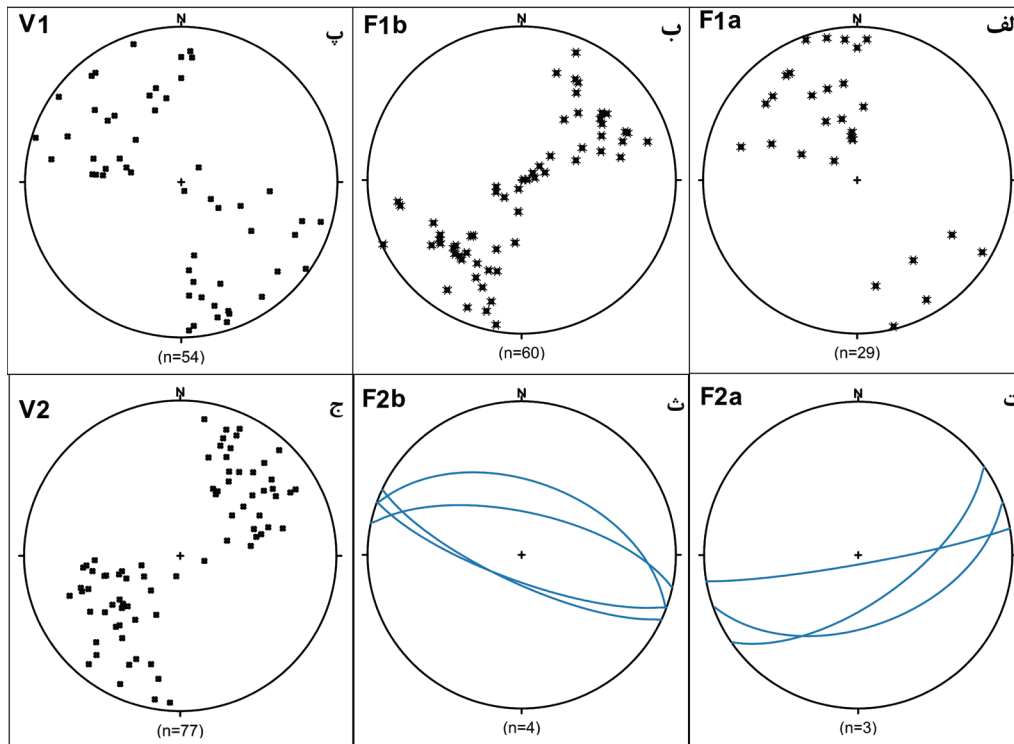
در توده الترامافیک ده‌شیخ، دونیت‌ها به صورت غلاف‌های کرومیتیتی، دایک‌های نفوذی، توده‌های عدسی‌شکل و توده‌ای در میان هارزبورژیت‌ها یافت می‌شوند. در بخش‌های جنوبی توده یاد شده، لایه‌بندی اولیه هارزبورژیت- دونیت  $S_0$  به صورت نامنظم، دارای سترهای متفاوت و از دید طولی ناپیوسته است. ساختارهای دما بالا با تشکیل دایک‌های پیروکسنیتی  $Di_1$  و پهنه برشی شکل‌پذیر  $D_{sz1}$  مشخص می‌شوند؛ در صورتی که ساختارهای دما پایین با تشکیل پهنه‌های گسلی  $F_1$  و  $F_2$  و گسترش رگه‌های منیزیت  $V_1$  و  $V_2$  بیشتر با بافت‌های متراکم و گل‌کلی در پهنه‌های گسلی متمایز می‌شوند. این پهنه‌های گسلی، دارای برش‌های گسلی غیر چسبیده با قطعات زاویه‌دار و سیمان منیزیتی به‌عنوان پرکننده فضای میان شکستگی‌ها و در برخی موارد دارای آرد گسلی و مرز مشخص با سنگ‌های پیرامون، نشان‌دهنده تغییر شکل در شرایط دما پایین و در شرایط پوسته‌ای هستند. شواهد نقش بستن ساختارهای دما پایین روی ساختارهای دما بالا شامل جابه‌جایی لایه‌بندی اولیه هارزبورژیت- دونیت ( $S_0$ ) توسط گسل‌های  $F_{1b}$ ، قطع و جابه‌جایی دایک‌های دونیتی  $Di_2$  توسط گسل  $F_{1a}$  و جابه‌جایی دایک‌های ارتوپیروکسنیتی  $Di_1$  توسط گسل‌های  $F_2$  است.

با رسم نمادین ساختارهای مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ، الگوی دگرشکلی ناحیه مورد مطالعه در زمان تشکیل نسل‌های مختلف دگرشکلی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. طولیل‌شدگی و بودین‌شدگی در لایه‌های کرومیتیتی، گسترش چین‌های بی‌ریشه  $F_1$  و تزریق دایک‌های پیروکسنیتی احتمالاً هنگام بالاآمدگی دیاپیر گوشته‌ای ده‌شیخ از گوشته بالایی تحت دگرشکلی تراکششی  $D_1$

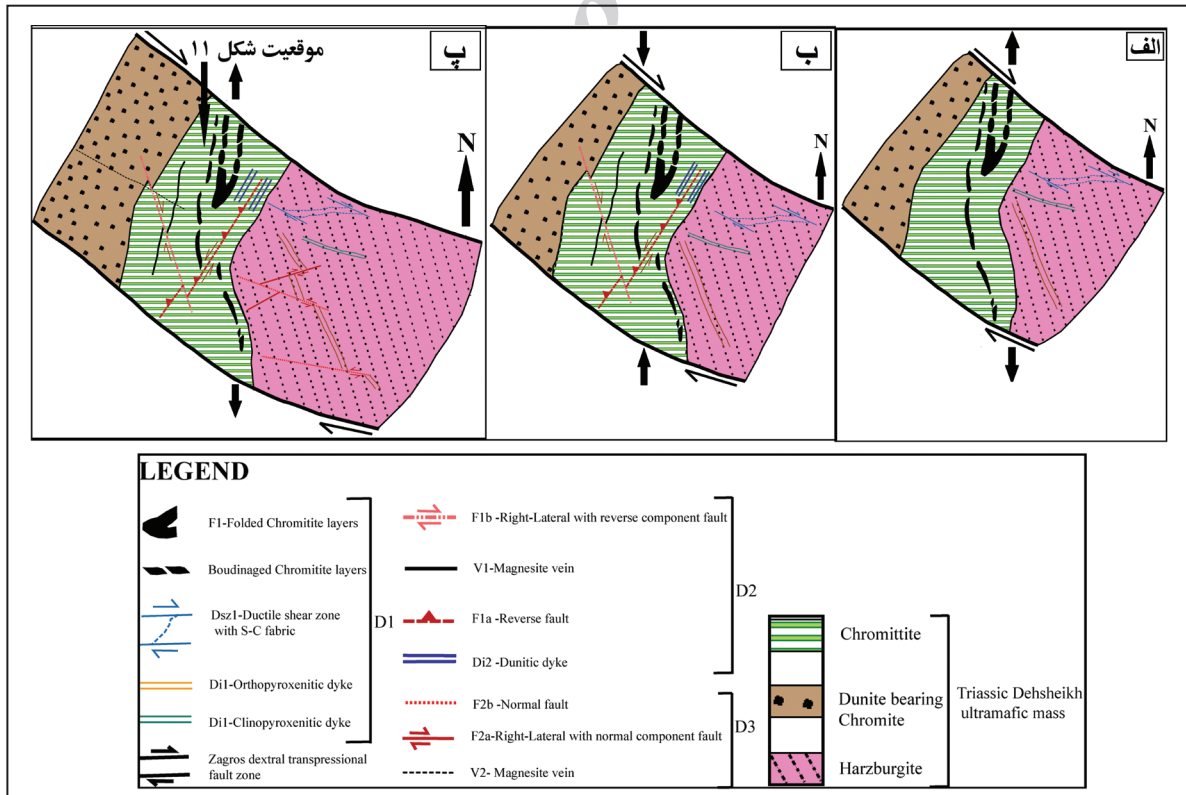


شکل ۸-الف) برجسته نگار قطب سطوح لایه‌بندی اولیه ( $S_0$ ) پدیدویت‌ها؛ ب) برجسته نگار قطب دایک‌های پیروکسنیتی ( $Di_1$ ؛ پ) برجسته نگار میانگین دواپر بزرگ دایک‌های دونیتی  $Di_2$  در پدیدویت‌های بخش باختری توده اولترامافیک ده‌شیخ روی نیم کره زیرین هم‌مساحت.

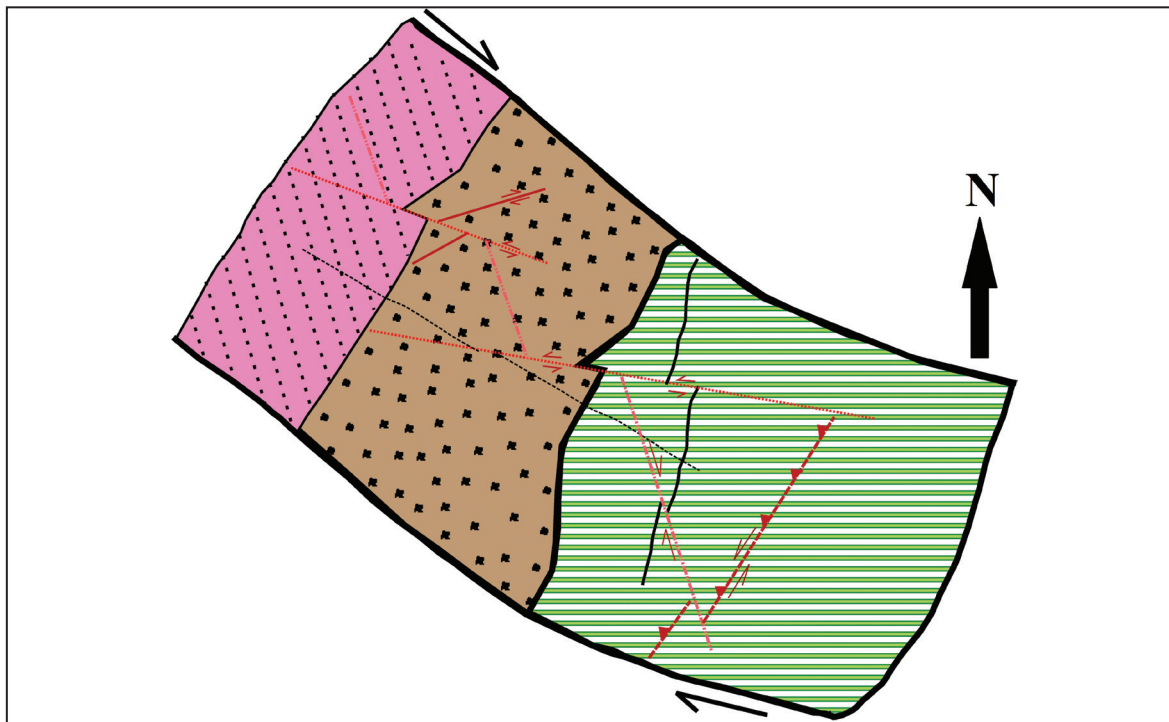




شکل ۹- برجسته نگار قطب‌ها و دوائر بزرگ گسل‌ها و رگه‌های  $D_2$  و  $D_3$ : الف) گسل  $F_{1a}$ ؛ ب) گسل  $F_{1b}$ ؛ پ) رگه‌های منیزیت  $V_1$ ؛ ت) گسل  $F_{2a}$ ؛ ث) گسل  $F_{2b}$ ؛ ج) رگه‌های منیزیت  $V_2$  در پریدوتیت‌های بخش باختری توده اولترامافیک ده شیخ روی نیم کره زیرین شبکه هم‌مساحت.

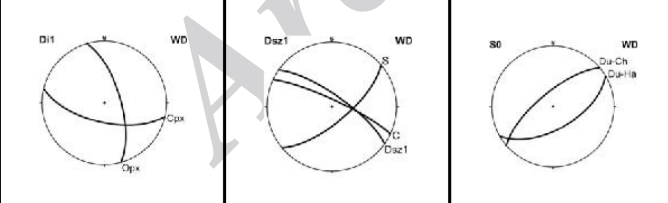
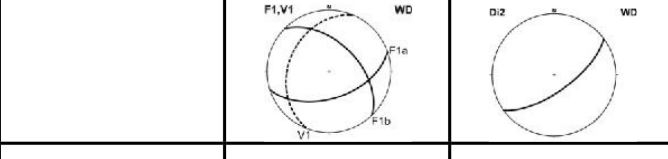



شکل ۱۰- نمایش نمادین تکامل ساختارها در بخش باختری توده اولترامافیک ده شیخ. الف) تشکیل ساختارها تحت تأثیر سامانه تراکشن  $D_1$ ؛ ب) تشکیل ساختارها تحت تأثیر سامانه ترافشارش راست‌گرد  $D_2$ ؛ پ) تشکیل ساختارها تحت تأثیر سامانه تراکشن منطقه‌ای  $D_3$  در پهنه گسلی زاگرس. مخفف‌ها:  $D_1$ : دگرشکلی نسل اول،  $D_2$ : دگرشکلی نسل دوم،  $D_3$ : دگرشکلی نسل سوم،  $S_0$ : سطوح لایه‌بندی اولیه،  $Dsz_1$ : پهنه برشی شکل‌پذیر،  $D_{i1}$ : دایک‌های پیروکسنیتی نسل اول،  $F_1$ : گسل‌های نسل اول،  $F_2$ : گسل‌های نسل دوم،  $V_1$ : رگه‌های منیزیت نسل اول،  $V_2$ : رگه‌های منیزیت نسل دوم.



شکل ۱۱- نمایش نمادین نقش گسل های  $F_1$  و  $F_{2b}$  در دگرشکلی و جای گزینی کانسارهای کرومیت بخش باختری توده اولترامافیک ده شیخ. موقعیت این شکل روی شکل ۱۰- پ مشخص شده است (راهنما مطابق با شکل ۱۰).

جدول ۱- خلاصه تکامل ساختمانی بخش باختری مجموعه اولترامافیک-مافیک ده شیخ. مخفف‌ها: WD: غرب ده شیخ،  $D_1$ : دگرشکلی نسل اول،  $D_2$ : دگرشکلی نسل دوم،  $D_3$ : دگرشکلی نسل سوم، S0: سطوح لایه بندی اولیه، Du-Ch: لایه بندی دونیت- کرومیت، Du-Ha: لایه بندی دونیت-هارزبورژیت،  $Dsz_1$ : پهنه برشی شکل پذیر،  $D_1$ : دایک های نسل اول، Cpx: دایک های کلینوپیروکسنیتی، Opx: دایک های ارتوپیروکسنیتی،  $F_1$ : گسل های نسل اول،  $F_2$ : گسل های نسل دوم،  $V_1$ : رگه های منیزیت نسل اول،  $V_2$ : رگه های منیزیت نسل دوم.

مراحل دگرشکلی	تکامل ساختارها	برجسته نگار میانگین موقعیت هندسی عناصر ساختمانی
$D_1$	- تشکیل ریزچین های $F_1$ در توالی دونیت- کرومیت - کشیدگی و طولیل شدگی در کرومیت ها - تشکیل پهنه های برشی شکل پذیر تراکشی راست گرد - همراه با توسعه فابریک S-C - تزریق دایک های پیروکسنیتی $D_{1a}$	
$D_2$	- تزریق دایک های دونیتی $D_{2a}$ - تشکیل گسل های راستالغز وارون تا رانده $F_{1a}$ و $F_{1b}$ - گسترش رگه های منیزیت $V_1$ در پهنه های گسلی $F_1$	
$D_3$	- تشکیل گسل های راستالغز عادی تا عادی $F_{2a}$ و $F_{2b}$ - گسترش رگه های منیزیت $V_2$ در پهنه های گسلی $F_2$	

## ۷- نتیجه‌گیری

به موازات سطوح گسلی  $F_2$  تشکیل شده‌اند. این ساختارها طی آخرین مرحله دگرشکلی  $D_3$ ، تحت تأثیر یک رژیم تراکشن منطقه‌ای در پهنه گسلی زاگرس تشکیل شده‌اند.

چین‌ها و گسل‌ها نقش کنترل‌کننده ساختاری مهمی در دگرشکلی و جایگزینی کانسارهای کرومیتیت منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. چین خوردگی در لایه‌های کرومیتیتی سبب تمرکز کرومیتیت‌ها در محل لولای چین‌های بودین شده بی‌ریشه  $F_1$  شده است. همچنین، گسلش در پال‌های این چین‌ها سبب حذف و جابه‌جایی لایه‌های کرومیتیتی شده است. در معادن کرومیت منطقه، گسل‌های  $F_{2b}$  و همچنین گسل‌های  $F_{1a}$  و  $F_{1b}$  به صورت متقاطع لایه‌های کرومیتیتی را قطع و جابه‌جا کرده‌اند. با توجه به این شواهد، گسل‌های  $F_1$  و  $F_{2b}$  نقش کنترل‌کننده ساختاری مهمی در دگرشکلی و جایگزینی کنونی کانسارهای کرومیتیت منطقه داشته‌اند.

## سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته است. از شرکت مهندسی مشاور سورگان پارسه برای حمایت‌های مالی در اجرای این پژوهش، از خانم صحرا جلالت و آقای ایمان دهداری برای همراهی و زحمات بی‌دریغشان طی عملیات صحرایی و از داوران محترم این مقاله به ویژه آقای دکتر خلیل سرکاری نژاد که با ویرایش نسخه اولیه این مقاله نقش مهمی در ارتقای علمی آن داشته‌اند؛ سپاسگزاری می‌شود.

مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ تحت تأثیر نسل‌های دگرشکلی  $D_1$ ،  $D_2$  و  $D_3$  قرار گرفته است؛ دگرشکلی  $D_1$  با جایگزینی دایک‌های پروکسنیتی  $Di_1$  با میانگین موقعیت هندسی  $N88W, 39SW$ ، تشکیل پهنه‌های برشی شکل‌پذیر  $D_{sz1}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N55W, 75NE$  و گسترش چین‌های بی‌ریشه  $F_1$  در لایه کرومیتیتی با بافت نواری شناسایی می‌شود. این ساختارها هنگام بالاآمدگی دیپایر گوشته‌ای ده‌شیخ در گوشته بالایی تحت دگرشکلی تراکشنی  $D_1$  تشکیل شده‌اند. دگرشکلی  $D_2$  شامل جایگزینی دایک‌های دونیتی  $Di_2$  با میانگین موقعیت هندسی  $N54E, 68SE$ ، گسترش گسل‌های راستالغز راست‌گرد با مؤلفه وارون  $F_{1b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N10W, 71NE$  و گسل‌های رانده  $F_{1a}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N54E, 68SE$  و تشکیل رگه‌های منیزیت  $V_1$  با میانگین موقعیت هندسی  $N16E, 83NW$  است. گسل‌های  $F_{1a}$  و  $F_{1b}$  گسل‌های مزدوج  $R$  و  $R'$  را در سامانه ترفشارش راست‌گرد زاگرس تشکیل می‌دهند. این ساختارها هنگام جایگزینی مجموعه اولترامافیک- مافیک ده‌شیخ تحت تأثیر پهنه گسلش وارون با مؤلفه راستالغز راست‌گرد زاگرس در کمربند آمیزه افیولیتی اسفندقه- فاریاب گسترش یافته‌اند. دگرشکلی  $D_3$  با گسترش گسل‌های راستالغز راست‌گرد با مؤلفه عادی  $F_{2a}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N85E, 82SE$  و گسل‌های عادی  $F_{2b}$  با میانگین موقعیت هندسی  $N76E, 71NE$  مشخص می‌شوند. به طوری که این گسل‌ها به صورت متقاطع دایک‌های ارتوپروکسنیتی را جابه‌جا کرده‌اند. رگه‌های منیزیت  $V_2$  با میانگین موقعیت هندسی  $N48W, 26SW$  در این مرحله

## کتابنگاری

- پیغمبری، س. و احمدی‌پور، ح.، ۱۳۹۱- کاربرد ترکیب کرومیت به عنوان یک نشانگر سنگ‌شناختی در شناسایی خاستگاه مجموعه اولترامافیک ده‌شیخ (جنوب استان کرمان، ایران). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیستم، شماره ۳، ص ۴۱۵ تا ۴۲۸.
- سهندي، م. ر.، عزیزیان، ح.، ناظم‌زاده، م.، نوازی، م. و عطاپور، ح.، ۱۳۸۶- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، چهارگوش شماره ۷۲۴۶، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- لیاقت‌زاده، پ.، ۱۳۹۳- بررسی نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری بر جای‌گزینی و دگرشکلی کانسارهای کرومیت در مجموعه اولترامافیک- مافیک بخش غربی منطقه ده‌شیخ، جنوب ارزوئیه، استان کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ۱۶۶ ص.

## References

- Alavi, M., Vaziri, H., Seyed-Emami, K. and Lasemi, Y., 1997- The Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnants of the southern Turanian active continental margin, Geological Society of America Bulletin 12, 1563–1575.
- Behzadi, K. H. and Shahabpour, J., 2011- An emplacement model for Esfandagheh and Faryab ultramafic-mafic complexes, Kerman province, south east Iran. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen 262/1, 25 – 42.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981-Towards a palaeogeography and tectonic evolution of Iran. Can. J. Earth Sci 18, 210–265.
- Ghasemi, H., Juteau, T., Bellon, H., Sabzehei, M., Whitechurch, H. and Ricou, L. E., 2002- The mafic-ultramafic complex of Silkharan (central Iran): a polygenetic ophiolite suite. Comptes Rendus Geoscience 334, 431–438.

- Ghazi, J. M., Rahgoshay, M., Shafaii Moghadam, H. and Moazzen, M., 2010- Geochemistry of gabbroic pockets of a mantle sequence in the Nain ophiolite (Central Iran): constraints on petrogenesis and tectonic setting of the ophiolite. *Neues Jahrbuch. Für Mineralogie – Abhandlungen* 187/1, 49–62.
- Huang, X., Li, J., Kusky, T. M. and Chen, Z., 2004- Microstructures of the 2.50 Ga podiform Chromite, North China craton and implications for the deformation and rheology of the Archean oceanic lithospheric mantle, *Developments in Precambrian Geology* 13, 321-337.
- Moores, E. M., 1986- The Proterozoic ophiolite problem, continental emergence and Venus connection, *Science* 234, 65-68.
- Najafzadeh, A. and Ahmadipour H., 2014- Using platinum-group elements and Au geochemistry to constrain the genesis of podiform chromitites and associated peridotites from the Soghan mafic-ultramafic complex, Kerman, Southeastern Iran, *Ore Geology Reviews* 60, 60–75.
- Peighambari, S., Ahmadipour, H., Stosch, H. G. and Daliran, F., 2011- Evidence for multi-stage mantle metasomatism at the Dehsheikh peridotite massif and chromite deposits of the Orzuieh coloured mélange belt, southeastern Iran. *Ore Geology Reviews* 39, 245–264.
- Robertson, A. H. F., 2007- Overview of tectonic settings related to the rifting and opening of Mesozoic ocean basins in the Eastern Tethys: Oman, Himalayas and Eastern Mediterranean regions. In: Karner, G., Manatschal, G., Pinheiro, L. (Eds.), *Imaging, Mapping and Modelling Continental Lithosphere Extension and Breakup*. Geol. Soc. London Spec. Publ 282, 325–389.
- Saccani, E., Allahyari, K., Beccaluva, L. and Bianchini, G., 2013- Geochemistry and petrology of the Kermanshah ophiolites (Iran): implication for the interaction between passive rifting, oceanic accretion, and plume-components in the Southern Neo-Tethys Ocean. *Gondwana Res* 24, 392–411.
- Sarkarinejad, Kh., Faghih, A. and Grasemann, B., 2008- Transpressional deformations within the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt (Zagros Mountains, Iran), *Journal of Structural Geology*, 30, 818-826.
- Sengor, A. M. C., Altner, D., Cin, A., Ustaomer, T. and Hsu, K. J., 1988- Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. In: Audley-Charles, M.G., Hallam, A.E. (Eds.), *Gondwana and Tethys*. Geol. Soc. London Spec. Publ 37, 119–181.

Archive of SID

# Structural evolution of the western part of Dehsheikh Ultramafic-Mafic complex, Esfandagheh-Faryab ophiolitic mélange belt

P. Liaghatzadeh<sup>1</sup>, M. Shahpasandzadeh<sup>2\*</sup>, M. Honarmand<sup>3</sup> and H. Ahmadi-Pour<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Earth Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Earth Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Ecology, The Environmental Sciences Research Institute, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Received: 2016 April 11

Accepted: 2016 December 19

## Abstract

The Dehsheikh Ultramafic-Mafic Complex (DUMC), as a portion of the Esfandagheh-Faryab ophiolitic mélange belt, accommodates several chromitite ore deposits, but their emplacement and relation to the regional structures remain ambiguous due to structural complexities. The Dehsheikh Ultramafic Massif is composed of harzburgites, dunites, chromitites, pyroxenites, and lherzolites. The chromitite ores, embedded in a dunitic host rock, are concentrated in the central part of the massif in the active Bozorg mine and also abandoned Ajdari and Konar mines. According to the results, the DUMC has experienced three deformational phases of  $D_1$ - $D_3$ . The high-T transtensional  $D_1$  deformation is recognized by injection of the pyroxenitic dykes ( $D_{1i}$ ), development of the dextral ductile shear zones ( $Dsz_1$ ) and rootless folds ( $F_1$ ) in the dunite-chromitites sequences. These evidences could demonstrate ascending of the Dehsheikh mantle diapir in the upper mantle during the  $D_1$  deformation. The  $D_2$  dextral transpressional deformation is characterized by formation of the conjugate  $F_{1b}$  right-lateral strike slip faults (with reverse component) and  $F_{1a}$  thrusts and associated  $V_1$  magnesite veins. The  $D_2$  structures developed along with emplacement of the DUMC under the prevalent Zagros oblique reverse faulting in the ophiolitic mélange belt. Finally, the  $D_3$  was accompanied by conjugate  $F_{2a}$  right-lateral strike slip faults (with normal component) and  $F_{2b}$  normal faults, associated with development of the  $V_2$  magnesite veins under the local transtensional regime along the Zagros fault. The  $F_1$  folds and  $F_1$ - $F_{2a,b}$  faults structurally controlled deformation and emplacement of the chromitite ore deposits.

**Keywords:** Structures, Deformational phases, Chromitite, Dehsheikh ultramafic mass, Esfandagheh-Faryab.

For Persian Version see pages 201 to 212

\*Corresponding author: M. Shahpasandzadeh, E-mail: m.shahpasandzadeh@kgut.ac.ir