

# بررسی مرحله‌های دگرریختی در سنگ‌های دگرگونی پیرامون انارک

محمد خلیج<sup>۱\*</sup>

استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴

## چکیده

مجموعه دگرگونی انارک، در قسمت شمال باختری خرد قاره ایران مرکزی و در خاور شهر ناین واقع شده است. این مجموعه شامل واحدهای مختلف دگرگون شده است که بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، سن‌سنجی و دیرینه‌مغناطیس، دارای منشاءهای متفاوتی می‌باشند. این مجموعه شامل بخش‌های افیولیتی عضو بندی نشده می‌باشد که به صورت ورقه‌هایی با همبری گسلی در داخل آن رخنمون دارند. این مطالعه به بررسی ساختاری سنگ‌های دگرگونی پیرامون انارک به ویژه در یک ساختار چین خوردگی Z شکل در کوه‌های چاه‌گره می‌پردازد. بر اساس برداشت‌های میدانی و بررسی‌های میکروسکوپی، حداقل ۳ مرحله دگرریختی در واحدهای مرغاب، چاه‌گره و سنگ‌های مافیک و اولترامافیک دیده می‌شود که همگی در شرایط شکل‌پذیر رخ داده و مربوط به دگرگونی واریسکن (کربونیفر پسین) می‌باشند. در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک، اولین رخداد دگرریختی با دگرگونی فشار بالا-حرارت پایین در رخساره آمفیبولیت همراه بوده است. این رخداد در سنگ‌های پلیتی دگرگون شده واحد مرغاب و چاه‌گره با دگرگونی به نسبت ضعیف در حد رخساره شیسست سبز و با شکل‌گیری برگوارگی درجه پایین همراه بوده که در ادامه بر شدت دگرریختی افزوده شده و برگوارگی میلونیتی و چین‌های نیامی در طی رخداد دگرریختی دوم در واحدهای سنگی، توسعه یافته‌اند. سومین رخداد دگرریختی، به گونه‌ای پیوسته، سنگ‌های متأثر از مرحله‌های پیشین را در شرایط دگرگونی و دگرریختی خفیف‌تر تحت تاثیر قرار داده است.

**کلیدواژه‌ها:** مجموعه دگرگونی انارک، مرحله‌های دگرریختی، ایران مرکزی، گوه برافزایی، رویداد واریسکن، پالئوتیس.

E-mail: m\_khalaj@pnu.ac.ir

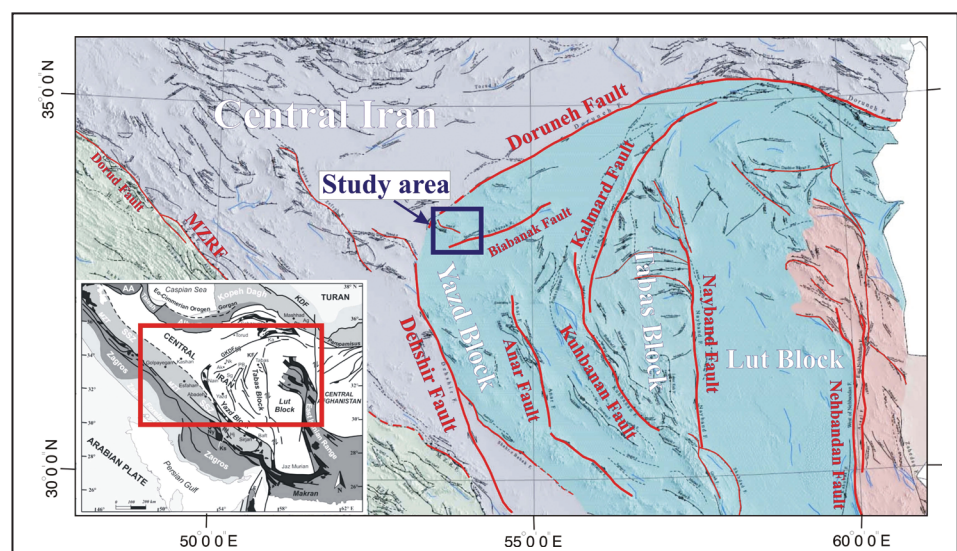
\* نویسنده مسئول: محمد خلیج

## ۱- پیش‌نوشتار

ممرلاخ می‌باشند. سنگ‌های اولترامافیک در واقع بقایای پوسته اقیانوسی قدیمی می‌باشند که با مرزهای گسلی توسط واحدهای دگرگونه محصور شده‌اند. در قسمت شمال خاوری گستره مورد مطالعه و در کوه‌های چاه‌گره، یک روند Z شکل از دگرگونه‌های شمال انارک دیده می‌شود. طی برداشت‌های میدانی، برش‌های عمود بر این ساختار انجام شده و علاوه بر برداشت‌های ساختاری مانند برگوارگی‌ها و خطوطاری‌ها تعداد ۵ عدد نمونه سنگی برای مطالعه میکروسکوپی از سنگ‌های بازیگ و میکاشیست‌های مجموعه دگرگونی انارک تهیه شده است. بررسی ارتباط ساختاری بین واحدهای دگرگونی در مقیاس‌های مختلف، می‌تواند درک درستی از تکامل ساختاری و زمین‌ساختی یک منطقه به دست دهد. طی برداشت‌های میدانی سعی شده است که ساختارهای موجود در واحدها به دقت برداشت شده و تصویر درستی از ارتباط ساختاری در داخل واحدها و بین آن‌ها (هم در مقیاس میکروسکوپی و هم رخنمون) ارائه شود (شکل ۱).

فرایندهای دگرریختی و دگرگونی مرتبط با برخورد و افزایش ایران به حاشیه جنوبی اوراسیا در طی بسته شدن پالئوتیس، توسط برخی از محققین مورد بررسی قرار گرفته است (Berra et al, 2007; Horton et al, 2008; Fursich et al, 2009; Zanchi et al, 2009 a,b; Zanchetta et al, 2017). شواهد کوهزایی سیمین تریاس پسین، در طول رشته کوه البرز و بخش جنوبی کپه داغ از مشهد تا تربت جام، مشاهده می‌شود (Ruttner, 1993; Wilmsen et al, 2009; Sheikholeslami and Kouhpeyma, 2012; Zanchetta et al, 2013). دگرریختی و دگرگونی تریاس در ناحیه پشت بادام- در جنوب خاور انارک (Kargaranbafghi et al, 2012; Masoodi et al, 2013) و مجموعه دگرگونی جندق در شمال خاور مجموعه انارک (Berra et al, 2017) نیز به تازگی مورد مطالعه قرار گرفته است. واحدهای دگرگونی در گستره مورد مطالعه شامل چاه‌گره، مرغاب، پتیار و

شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی ایران که موقعیت گستره مورد مطالعه بر روی آن مشخص شده است (اقتباس از Javadi, 2013). این گستره در شمال باختر خرد قاره ایران مرکزی و بین گسل‌های درونه در شمال و گسله بیابانک در جنوب واقع شده است. تصویر پایین، سمت چپ، نقشه ایران به همراه تقسیمات زمین‌ساختی را نشان می‌دهد (اقتباس از Zanchi et al., 2009 b).



## ۲- زمین‌شناسی و زمین‌ساخت مجموعه دگرگونی انارک

مجموعه دگرگونی انارک پیرامون شهر انارک و در خاور ناین واقع شده است و شامل مجموعه‌ای از پلیت‌های دگرگون شده، سنگ‌های بازیگ و مرمرهای دگرگون شده با درجه شیست سبز تا شیست آبی می‌باشند. این مجموعه همچنین شامل ورقه‌هایی از سنگ‌های اولترامافیک و گدازه‌های بالشی دگرگون شده در شرایط فشار بالا-دمای پایین هستند (Sharkovski et al., 1984; Bagheri and Stampfli, 2008; Zanchi et al., 2009b; Buchs et al., 2013; Zanchetta et al., 2017). (Sharkovski et al., 1984). (Zanchetta et al., 2017). مجموعه دگرگونی انارک مشخص کردند که شامل واحد مرغاب، چاه‌گره، پتیار و مرمرلاخ می‌باشد.

بر اساس بازسازی زمین‌شناسی و زمین‌ساختی که توسط (Bagheri and Stampfli, 2008) در منطقه انارک و نواحی پیرامون آن انجام گرفته، شیست‌های مرغاب و شیست‌های آبی واحد چاه‌گره، یک گوه برافزایشی را نشان می‌دهند که در حاشیه فعال جنوبی صفحه اوراسیا قرار گرفته‌اند. رسوبات ناحیه نخلک که در شمال گستره مورد مطالعه واقع شده‌اند، شامل توالی پیش‌کمانی توریدایتی، رسوبات رودخانه‌ای و دریایی کم عمق می‌باشد و نشان دهنده فرسایش یک کمان آتشفشانی نزدیک و پی‌سنگ دگرگونی است که در واقع مجموعه دگرگونی انارک می‌باشد (Bagheri and Stampfli, 2008; Balini et al., 2009; Zanchi et al., 2009b).

## ۳- واحدهای دگرگونی مجموعه انارک

نقشه زمین‌شناسی ساده شده از واحدهای گستره مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. این مطالعه بر روی واحدهای مرغاب، چاه‌گره، مرمرلاخ و سنگ‌های مافیک و اولترامافیک همراه با آنها متمرکز شده است.

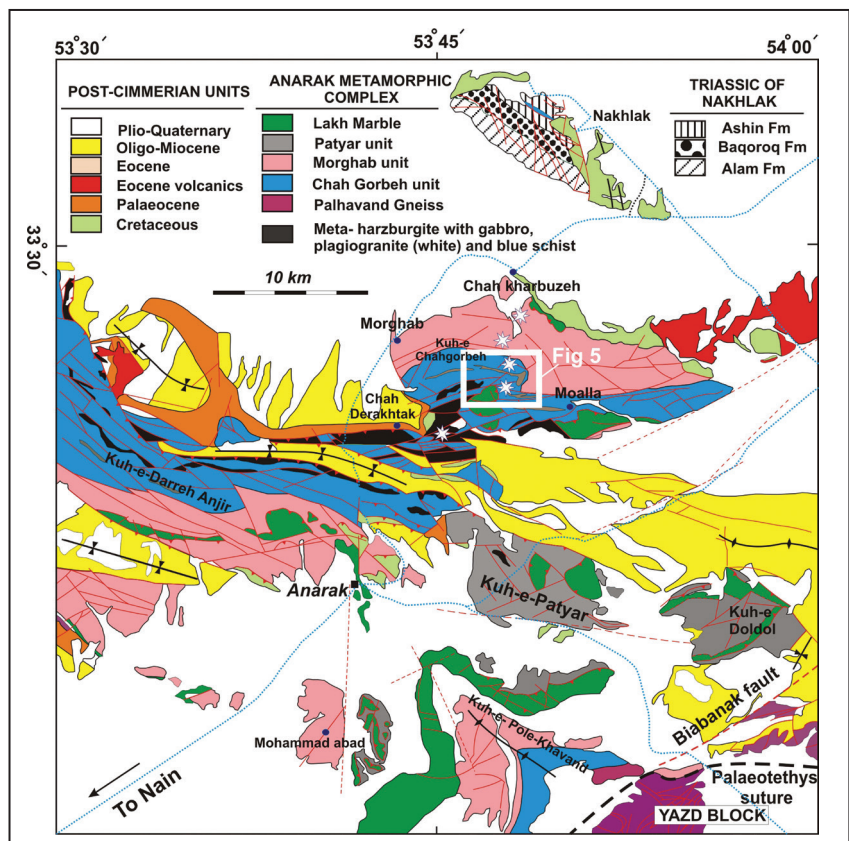
**۳-۱. واحد مرغاب:** سنگ‌های تشکیل‌دهنده این واحد، به طور عمده شامل تناوبی از فیلیت، شیست‌های کلریتی، اپیدوتی و میکابی، کوارتزیت و سنگ‌های بازیگ دگرگون شده به همراه میان‌لایه‌هایی از کالک‌شیست و مرمر نازک تا

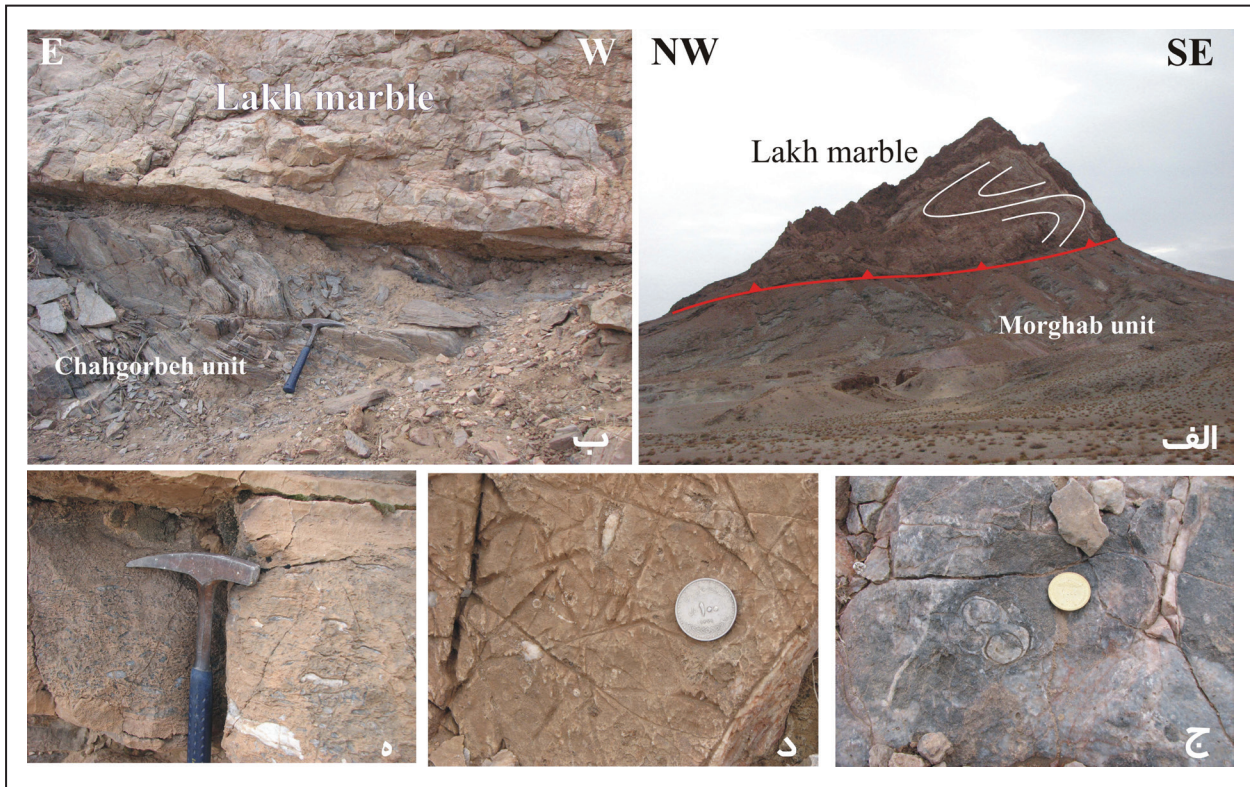
متوسط لایه می‌باشد که در رخساره شیست سبز دگرگون شده است.  
**۳-۲. واحد چاه‌گره:** این واحد شامل فیلیت، میکاشیست و شیست سبز به همراه میان‌لایه‌هایی از مرمر تا مرمر دولومیتی سبتر لایه تا توده‌ای، کوارتزیت، لایه‌های نازک تا متوسط چرت و شیست‌های کربناتی است. واحد چاه‌گره در شمال خاور انارک، با همبری گسلی، در کنار واحد افیولیتی قرار می‌گیرد. ارتباط این واحد با واحد مرمرلاخ، به صورت گسلی (راندگی) است.

**۳-۳. مرمرلاخ:** این واحد شامل لایه‌های ضخیمی از سنگ‌های کربناتی با تداخل‌هایی از سنگ‌های پلیتی دگرگون و کوارتزیت می‌باشد که در بیشتر نقاط، آثار گرگونی و دگرریختی شدیدی را نشان می‌دهد و با مرز گسلی بر روی واحدهای دیگر (به طور معمول واحدهای مرغاب، پتیار و چاه‌گره) قرار می‌گیرد (شکل ۳-الف و ب). در مناطقی که میزان دگرریختی به نسبت پایین‌تر است، می‌توان لایه‌بندی اولیه و آتارفسیلی مانند کرینویید، گاستروپد، براکیوپد و به احتمال مرجان را مشاهده کرد (شکل ۳-ج و د). همچنین در این نقطه، سنگ‌جوش بایوکلاستیک متوسط تا سبتر لایه به صورت ادخال‌هایی در این واحد دیده می‌شود (شکل ۳-ه).

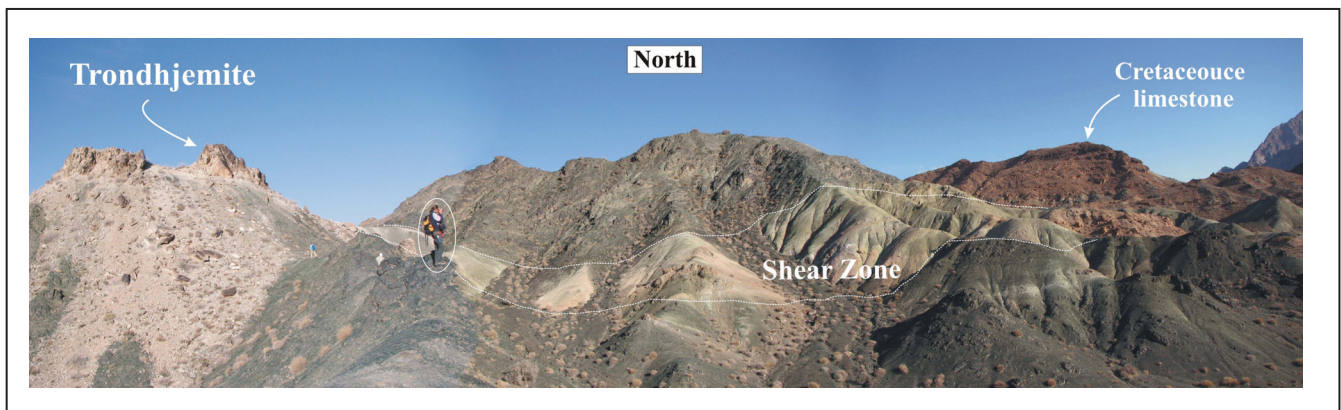
**۳-۴. واحد مافیک و اولترامافیک:** این واحد با گسترش خاوری-باختری، از جنوب آبادی معلا تا بخش‌های شمال باختری کوه دره‌انجیر، رختون دارد و شامل سنگ‌های اولترامافیک و بازالت‌های دگرگون شده با رخساره شیست آبی می‌باشد. واحد مافیک و اولترامافیک از دیدگاه ساختاری به دو صورت قابل مشاهده می‌باشد، یا به صورت پنجره زمین‌ساختی در همبری گسلی با واحد چاه‌گره و زیر این واحد و یا به صورت ورقه‌های راندگی در کنار واحدهای دگرگون شده مجموع انارک (شکل‌های ۱۰-د و ۱۴-الف). در اطراف کوه چاه‌گره، این واحد به طور عمده شامل سریانیتینیت می‌باشد که در اثر فعالیت پهنه‌های برشی، برگواره شده و به وسیله دایک‌ها و استوک‌های پلاژیوگرانیت (ترونجمیتی) مورد نفوذ قرار گرفته‌اند. این واحد در بخش‌هایی از گستره مورد مطالعه به صورت دگرشیب به وسیله سنگ‌جوش پایه کرتاسه پوشیده می‌شود (شکل ۴).

شکل ۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی از منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی انارک (Zanchi et al., 2009b) و (Susov et al., 1984) نقاط برداشت نمونه‌ها با علامت ستاره نشان داده شده است.





شکل ۳ - الف) راندگی مرمرلاخ بر روی واحد شیست و فیلیتی مرغاب در خاور روستای محمدآباد. در این منطقه، چین خوردگی شدیدی در واحد مرمری، قابل مشاهده است؛ ب) نمایی نزدیک از راندگی مرمرلاخ بر روی میکاشیست‌های واحد چاه‌گره در جنوب کوه‌های چاه‌گره؛ ج) آثار فسیلی به احتمال گاستروپود در واحد مرمرلاخ در جنوب کوه‌های چاه‌گره؛ د) آثار فسیل کرینوتید در واحد مرمرلاخ در جنوب کوه‌های چاه‌گره؛ ه) لایه سنگ جوش بایو کلاستیک مربوط به واحد مرمرلاخ در جنوب کوه‌های چاه‌گره.



شکل ۴ - نمایی از واحد افیولیتی (سریاتینیت) در خاور روستای چاه درختک در جنوب کوه چاه‌گره. پهنه برشی با راستای خاوری-باختری، باعث ایجاد برگوارگی و دگرسانی در این واحد شده است. نفوذی‌هایی از جنس پلاژیوگرانیت (ترونجمیت) به صورت دایک و استوک در این واحد دیده می‌شود. واحد سنگ‌جوشی و سنگ آهکی کرتاسه به صورت دگرشیب این واحد را می‌پوشاند.

#### ۴- مرحله‌های دگرریختی در گستره مورد مطالعه

و نیز در برش‌های میکروسکوپی، قابل مشاهده است (شکل ۶- الف و ب).  
**۴-۱. مرحله دگرریختی D1:** اثرات برگوارگی S1 میکاشیست واحد مرغاب در شمال کوه چاه‌گره، به صورت میانبارهایی از کانی‌های کوارتز و کلریت در کانی فلدسپار دیده می‌شود (شکل ۷- الف). در شمال کوه چاه‌گره و در میان لایه‌هایی با ستبرای چند متری از شیست‌سبز مربوط به واحد مرغاب برگوارگی اصلی (S1) قابل مشاهده است. به عنوان مثال در میکاشیست‌های واحد چاه‌گره بقایای برگوارگی قدیمی S1، به صورت پورفیروکلاست‌های بیوتیت در داخل برگوارگی فاصله‌دار S2 دیده می‌شود. در بسیاری از موارد این برگوارگی، به صورت چین‌خورده در درون برگوارگی نافذ مرحله دوم (S2) قابل مشاهده است

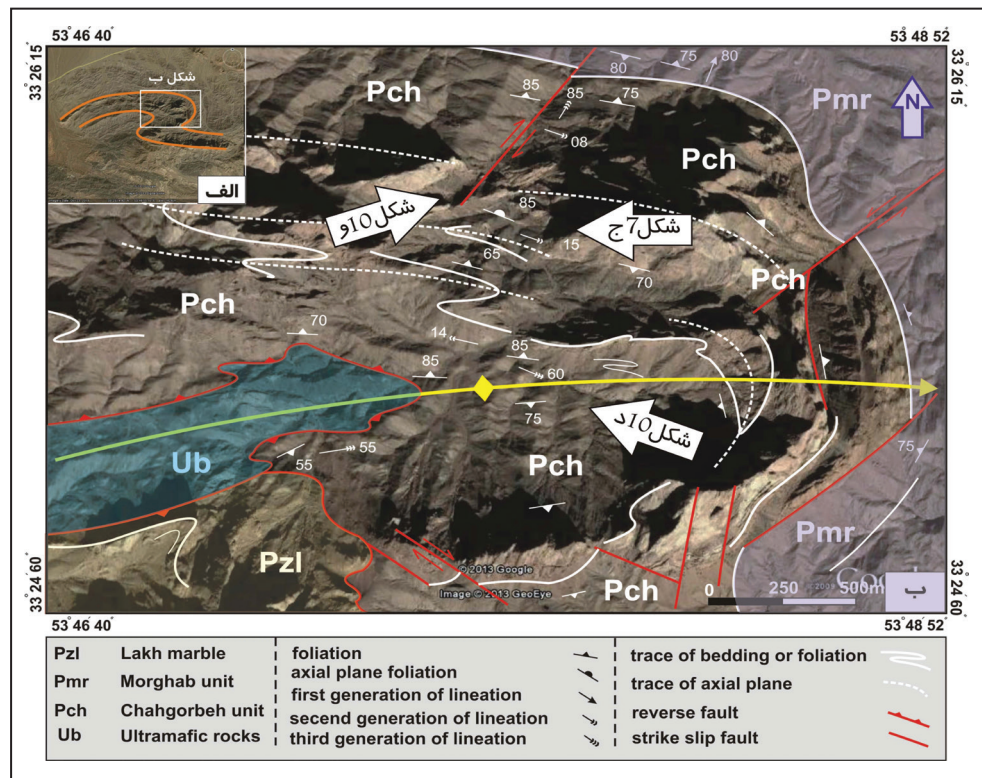
برداشت‌های ساختاری پیرامون شهر انارک و به طور عمده در یک ساختار چین‌خوردگی Z شکل در واحد چاه‌گره و مرغاب انجام شده که در بخش‌های شمالی گستره مورد مطالعه واقع شده است. این ساختار چین‌خورده دارای محور پرشیب بوده و به عنوان چین شلینگن (schlingen) شناخته می‌شود (Schmidegg, 1993) (شکل ۵).

در نقاطی که شدت دگرگونی و دگرریختی به نسبت کمتر است می‌توان اثر لایه‌بندی (S0) را در تناوب لایه‌های پلیتی دگرگون شده و سنگ‌های آذرین دگرگون (مانند شیست سبز) مشاهده کرد. اثر لایه‌بندی، همچنین به وسیله ساخت‌های رسوبی مانند دانه‌بندی تدریجی در سنگ ماسه‌های کم دگرگون شده

شیست‌های آبی موجود در واحد مافیک و اولترامافیک در خاور روستای چاه درختک، به صورت بودن‌هایی درحد چند ده سانتیمتر می‌باشند و از دگرگونی و دگرریختی گدازه‌های بالشی به وجود آمده‌اند (شکل ۸- الف و ج). این سنگ‌ها بسیار دانه‌ریز بوده (کوچک‌تر از ۲ میلیمتر) و دارای بافت صفحه-سنگ ساخت (S-tectonite) با یک برگوارگی نافذ از کانی‌های آمفیبول، کلریت، پلاژیوکلاز و میکای سفید می‌باشند (شکل ۸- ب). هر چند که این پهنه‌ها به شدت توسط گسل‌های راندگی ترد، فرانهاد شده‌اند اما وجود شیست‌های آبی، پهن‌شدگی گدازه‌های بالشی و آثار پهنه‌های برش‌نرم نشان از دگرگونی و دگرریختی قدیمی‌تر دارد که احتمالاً اولین مرحله دگرریختی و تشکیل برگوارگی S1 را در منطقه نشان می‌دهد. (شکل ۸- د و ه).

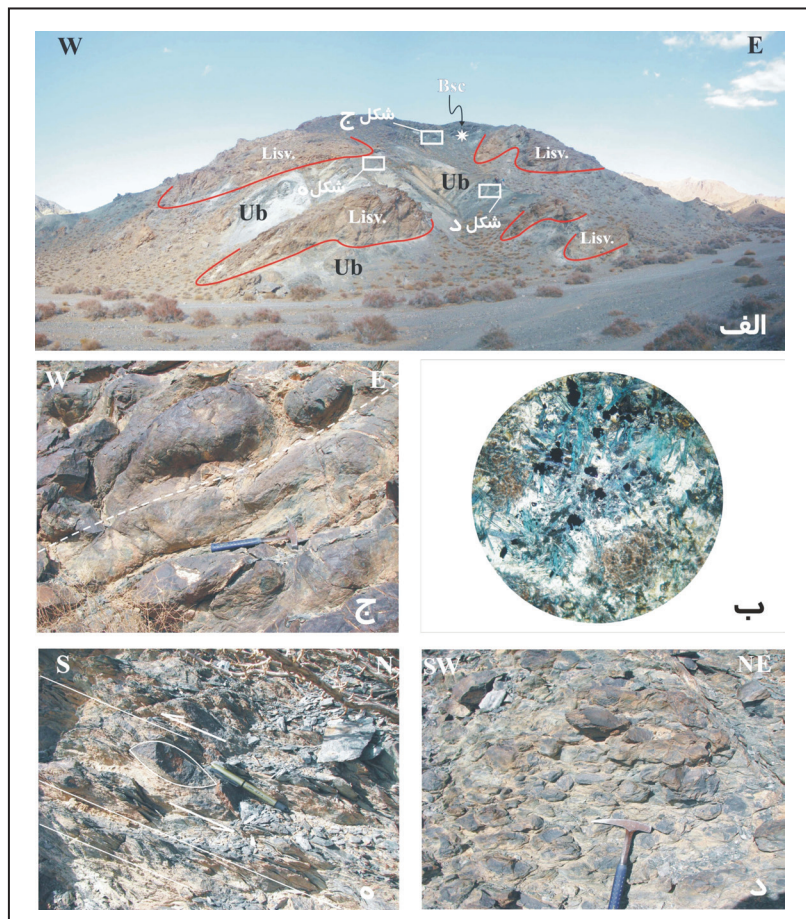
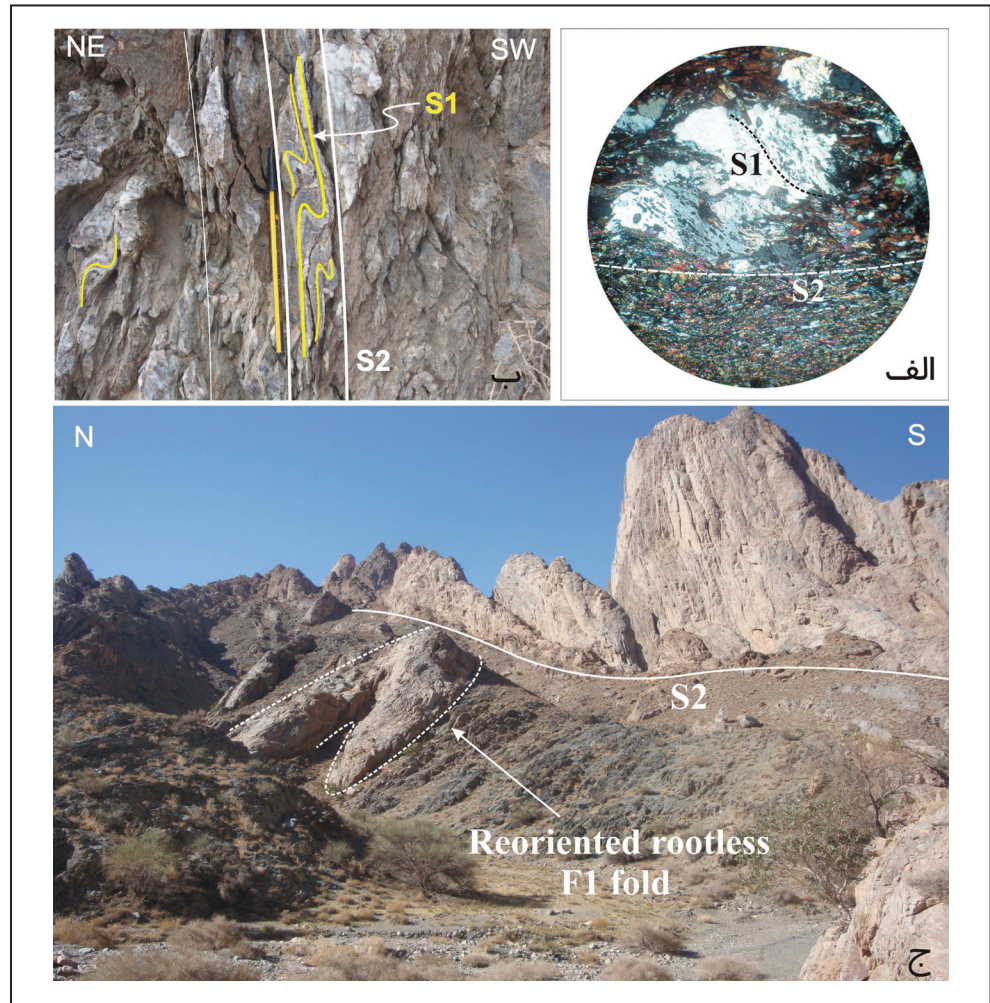
(شکل ۷- ب). خطوارگی کانایی L1 از جنس کوارتز و میکا در برخی نقاط مشاهده می‌شوند که در نتیجه چین‌خوردگی‌های بعدی، مقدار میل و روندهای مختلفی را نشان می‌دهند (شکل ۱۲- الف و ب). چین‌های نسل اول در واحد چاه‌گره و در لایه‌های مرمری، به صورت چین بدون ریشه (rootless fold) مشاهده می‌شود که در بخش لولا ضخیم شده و در مراحل بعدی تا حدی چرخیده است، به طوری که راستای سطح محوری آن‌ها زاویه بزرگی با برگوارگی نافذ (S2) در منطقه می‌سازد (شکل ۷- ج). در برخی نقاط در لایه‌های کالک‌شیستی واحد چاه‌گره، چین‌های F1 به صورت چین‌های پارازیتی با لولای ضخیم و پال‌های نازک در داخل برگوارگی میلوئیتی و پرشیب S2 دیده می‌شوند. این عارضه نشان می‌دهد که فرایند برش در طی مرحله دگرریختی D1 اثرگذار بوده است.

شکل ۵ - نقشه ساختاری از بخش لولای چین‌خوردگی Z شکل در کوه‌های چاه‌گره، در شمال خاور شهر انارک (مستطیل مشخص شده در شکل ۲). واحدهای مرغاب، چاه‌گره، مرمرلاخ و سنگ‌های اولترامافیک به ترتیب با نشانه‌های PzI، Pmr، Pch، Ub مشخص شده‌اند.



شکل ۶- الف) تصویر میکروسکوپی از میکاشیست (با بزرگنمایی 40x) واحد مرغاب در جنوب روستای چاه‌خریزه، اثر لایه‌بندی به صورت بخش‌های با تجمع کوارتز و فلدسپات در کنار بخش پلیتی دانه‌ریز، دیده می‌شود. ب) اثر لایه‌بندی در توالی لایه‌های کالک‌شیست (C)، سنگ‌ماسه تا ریزسنگ جوش (S) و میکاشیست (M) واحد چاه‌گره در جنوب باختر روستای چاه درختک. در این نقطه، دانه‌بندی تدریجی نیز در لایه‌سنگ‌ماسه‌ای قابل تشخیص است.

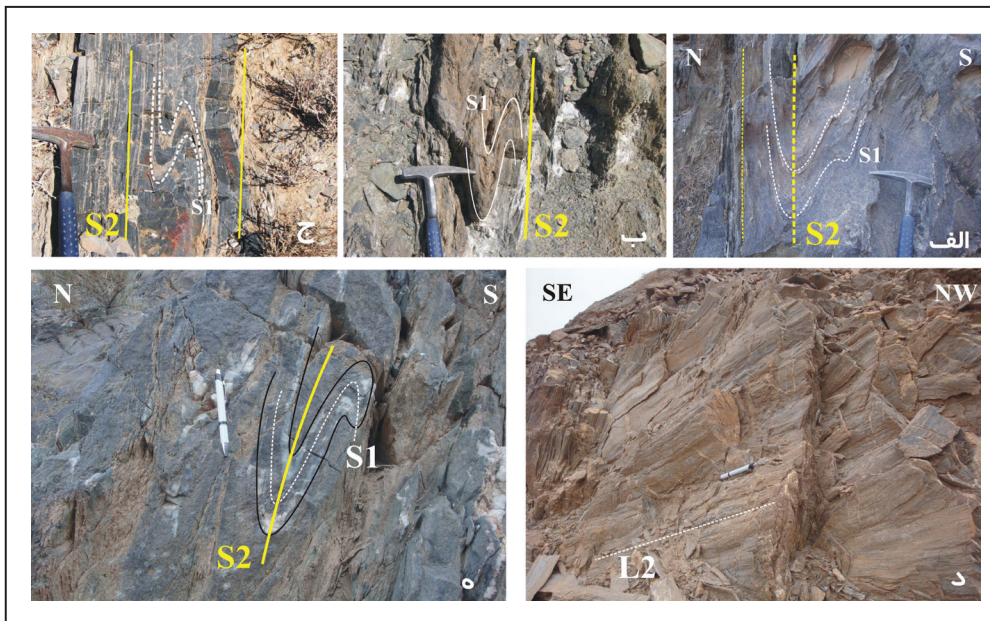
شکل ۷- ساختارهای مربوط به مرحله اول دگربرختی (D1) در گستره مورد مطالعه. الف) تصویر میکروسکوپی از میکاشیست (با بزرگنمایی ۱۰ X) واحد مرغاب در شمال کوه چاه‌گره. برگوارگی اولیه (S1) به صورت میان‌بارهای کوارتز و میکا در داخل بلور فلدسپار تشکیل شده است. برگوارگی S2 بصورت برگوارگی زمینه دیده می‌شود؛ ب) برگوارگی اولیه S1 به صورت چین‌های پارازیتی در داخل برگوارگی S2 در کالک‌شیست واحد چاه‌گره در شمال کوه دره‌انجیر. این چین‌ها دارای ضخیم‌شدگی در محل لولا می‌باشند؛ ج) چین هم‌شیب بدون ریشه (F1) در لایه مرمری واحد چاه‌گره در بخش‌های خاوری کوه چاه‌گره که به نظر می‌رسد در اثر چرخش غیرفعال، جهت‌یافتگی اولیه آن تغییر کرده است.



شکل ۸- ساختارهای مربوط به واحد مافیک و اولترامافیک در خاور روستای چاه درختک. الف) نمایی از سنگ‌های مافیک و اولترامافیک (ub) دگرگون و دگربرخت شده به همراه بخش‌های لیسونیتی (lisy). در این نقطه پهنه‌های برشی نرم در داخل و همبری سرپانتینیت‌ها با گدازه‌های بالشی دیده می‌شود. همبری بین سرپانتینیت‌ها و لیسونیت‌ها، به شدت خرد شده می‌باشد. محل برداشت نمونه سنگی شیست‌آبی (Bsc) با علامت ستاره مشخص شده است؛ ب) تصویر میکروسکوپی (با بزرگنمایی 100X) از بلورهای رشته‌ای آمفیبول سدیک (گلوکوفان) در نمونه گلوکوفان‌شیست؛ ج) پهن‌شدگی گدازه‌های بالشی و شکل‌گیری یک برگوارگی اولیه (S1). د) نمایی از پهنه برشی در گدازه‌های بالشی و دگربرختی شدید در این واحد؛ ه) نمایی نزدیک از پهنه گسلی در همبری سرپانتینیت‌ها با لیسونیت‌ها که به صورت محلی باعث ایجاد برگوارگی و حالت سیگموئیدال در این سنگ‌ها شده است.

**۲-۴. مرحله دگرریختی D2:** ساختارهای مربوط به این مرحله در واحدهای مرغاب و چاه‌گره، شبیه به هم می‌باشند. بر گوارگی S2 به دو صورت بر گوارگی میولینیتی و بر گوارگی سطح محوری در شرایط رخساره شیست سبز، نافذترین ساخت در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. این بر گوارگی با جهت‌گیری ترجیحی میکای سفید و بیوتیت در میکاشیست‌ها مشخص می‌شود. بر پایه برداشت‌های میدانی، بر گوارگی S2 دارای راستای عمومی خاوری - باختری، دارای شیب ۵۰ تا ۹۰ درجه می‌باشد (شکل ۱۲- ج و د). خطوارگی L2 نیز به دو صورت خطوارگی کانیایی - کشیدگی و محور چین‌های همشیب F2 در گستره مورد مطالعه، توسعه یافته است که دارای روندهای مختلف و میل ملایم تا قائم

می‌باشد (شکل ۱۲- ه، و). این بر گوارگی در واحد مرغاب در شمال کوه چاه‌گره به صورت بر گوارگی سطح محوری در لایه‌های شیست سبز و کالک‌شیست و میان‌لایه چرتی توسعه یافته است (شکل ۹- الف، ب و ج). خطوارگی کشیدگی (L2) در لایه‌های کالک‌شیست بصورت خط - سنگ ساخت (L-tectonite) دیده می‌شود و نشان‌دهنده برش خوردگی شدید در این لایه‌ها می‌باشد (شکل ۹- د). چین خوردگی‌های F2 به صورت چین‌های بسته تا همشیب و همچنین چین خوردگی دوباره (هم‌محور) دیده می‌شود که دارای سطح محوری پر شیب (حدود ۷۰ تا ۹۰ درجه) و میل محوری ملایم تا قائم می‌باشند (شکل ۹- الف، ب، ج و ه).

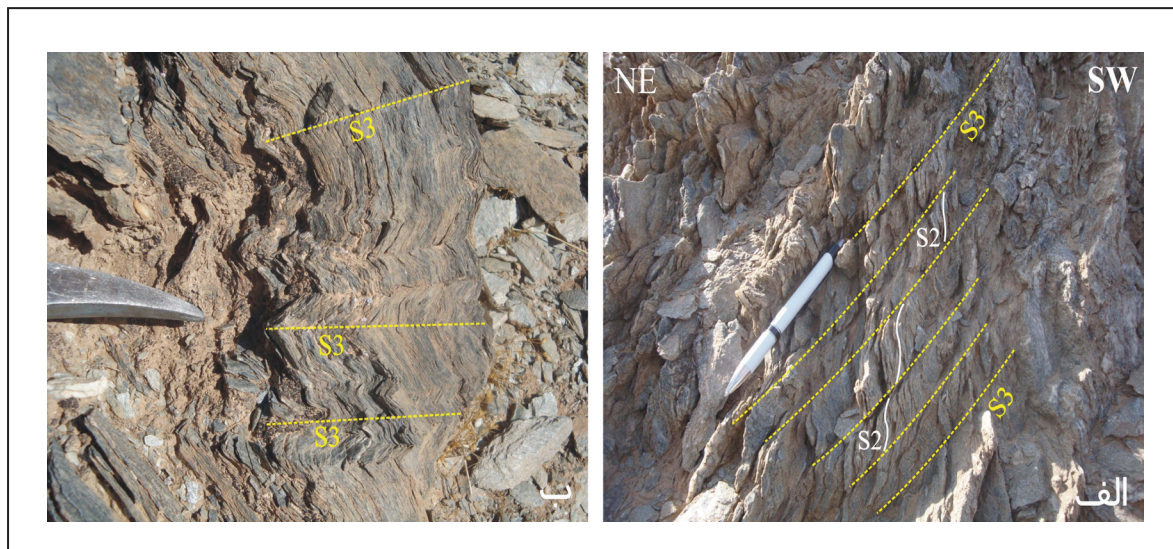
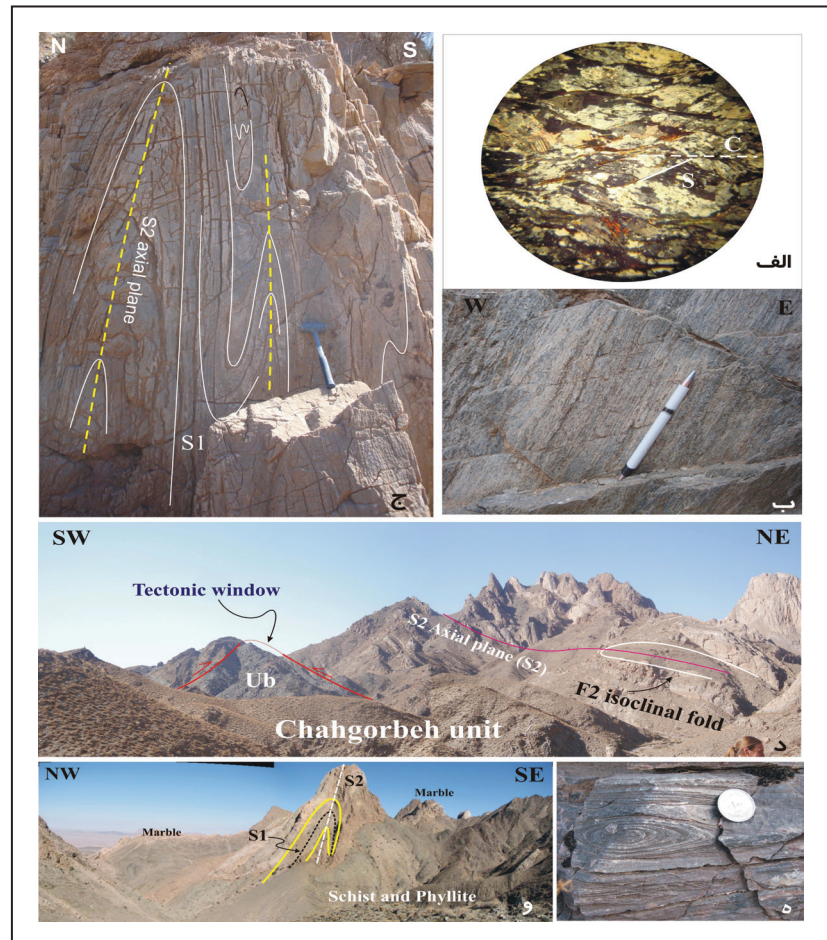


شکل ۹- ساختارهای مرحله دوم دگرریختی (D2) مربوط به واحد مرغاب در شمال خاور کوه چاه‌گره و در نزدیکی مرز این واحد با واحد چاه‌گره؛ الف) چین خوردگی رگه‌های سیلیسی (S1) و تشکیل چین بسته تا هم شیب (F2) در شیست‌های سبز. بر گوارگی S2 به صورت بر گوارگی سطح محوری توسعه یافته و دارای شیب قائم می‌باشد؛ ب) چین خوردگی بر گوارگی S1 و تشکیل چین هم‌شیب (F2) با محور به تقریب قائم در میان‌لایه کالک‌شیست مربوط به واحد مرغاب؛ ج) چین خوردگی بر گوارگی اولیه S1 در میان‌لایه چرتی و تشکیل چین همشیب با لولای ضمیم که بوسیله بر گوارگی نافذ S2، احاطه شده است؛ د) نمایی از خطوارگی کشیدگی با ساخت خط - سنگ ساخت (L-tectonite) در میان‌لایه کالک‌شیستی واحد مرغاب؛ ه) چین خوردگی دوباره در لایه‌های شیست سبز که دارای میل محوری ملایم است.

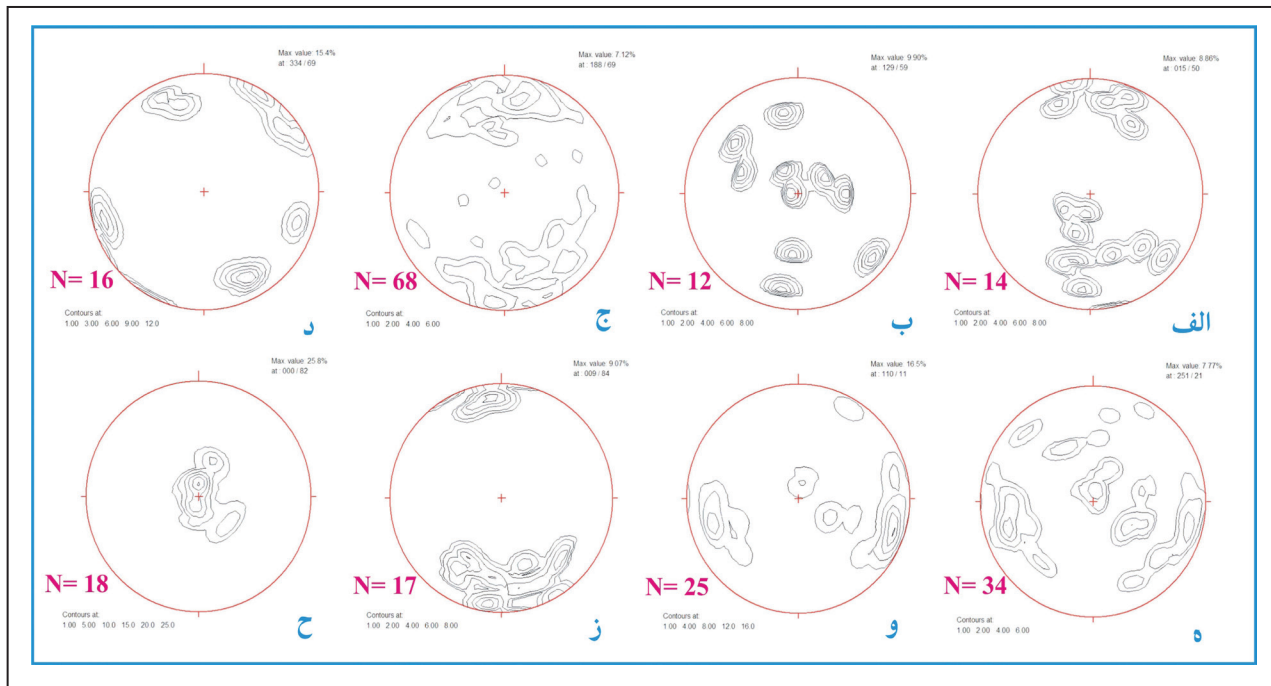
بر گوارگی S2 در واحد چاه‌گره، واقع در کوه‌های چاه‌گره بصورت بر گوارگی میولینیتی و بر گوارگی سطح محوری در مقیاس‌های مختلف قابل مشاهده است. در مقیاس میکروسکوپی می‌توان به فابریک C-S در میکاشیست‌ها اشاره کرد (شکل ۱۰- الف). چین خوردگی‌های هم‌شیب F2 و چین خوردگی دوباره از نوع همگرا، در اندازه‌های حدود یک متر تا چند ده متر در لایه‌های مرمری و شیست و فیلیت تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۱۰- ج، د، و). در جنوب خاور کوه پل خاوند و در میکاشیست‌های واحد چاه‌گره، خطوارگی کشیدگی L2، از جنس کوارتز و میکا، توسعه یافته است (شکل ۱۰- ب). همچنین چین خوردگی نیامی در میان‌لایه‌های مرمر خاکستری رنگ این واحد، دیده می‌شود (شکل ۱۰- ه). وجود بودین‌هایی از جنس سنگ‌های اولترامافیک در فیلیت و شیست‌های واحد چاه‌گره، نشان دهنده کشش در راستای این بر گوارگی است. به نظر می‌رسد که این فرایند در حین دگرریختی D2 یا قبل از آن صورت گرفته است (شکل ۱۴- ب).

**۳-۴. مرحله دگرریختی D3:** بر گوارگی S3 در بخش‌های خاوری کوه دره‌انجیر و در لایه‌های کالک‌شیستی واحد چاه‌گره، به صورت بر گوارگی فاصله‌دار و یا ساختار S-C دیده می‌شود (شکل ۱۱- الف). چین‌های F3 در سنگ‌های فیلیتی واحد چاه‌گره در شمال خاور روستای معلا و در بخش‌های خاوری کوه چاه‌گره، به صورت ریزچین (چین‌های کنگره‌ای) در حد چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر هستند و در سنگ‌های کالک‌شیست یا مرمر دولومیتی به صورت چین‌های پارازیتی دیده می‌شوند. سطح محوری این چین‌ها (S3) به صورت درزه‌ها یا رخ‌های شکستگی توسعه یافته است (شکل ۱۱- ب) که دارای شیب زیاد می‌باشند. میل محوری این چین‌ها زیاد و نزدیک به قائم است (شکل ۱۲- ز و ح). در این منطقه، چین‌های F3، همچنین به صورت چین خوردگی پارازیتی Z شکل در ابعاد چند کیلومتر در واحدهای مرغاب و چاه‌گره تشکیل شده است به طوری که می‌توان یک الگوی تداخلی چین‌های F2 و F3 را در این منطقه مشاهده کرد.

شکل ۱۰- ساختارهای مربوط به مرحله دگربرختی دوم (D2) در واحد چاه گربه. الف) تصویر میکروسکوپی (با بزرگنمایی ۱۰X از برگرارگی میلونیتی (S2) در کوارتز میکاشیست در خاور کوه چاه گربه؛ ب) خطوارگی کشیدگی (L2) از جنس کوارتز و میکا در میکاشیست‌های جنوب خاور کوه پل خاوند؛ ج) چین خوردگی هم‌شیب (F2) با میل محوری ملایم و صفحه محوری به تقریب قائم در لایه‌های مرمر در جنوب کوه چاه گربه؛ د) چین‌های هم‌شیب (F2) در لایه‌های شیست، فیلیت و مرمری در خاور کوه چاه گربه که برگرارگی S2 بصورت برگرارگی سطح محوری در آن‌ها توسعه یافته است. سنگ‌های اولترامافیک با همبری گسلی در داخل لایه‌های شیست و مرمر واحد چاه گربه مشاهده می‌شود (پنجره زمین‌ساختی)؛ ه) چین نیامی در لایه مرمری واحد چاه گربه در جنوب خاور کوه پل خاوند؛ ج) چین خوردگی دوباره از نوع همگرا در لایه‌های شیست و مرمر در بخش‌های باختری کوه چاه گربه.



شکل ۱۱- الف) ساختار S/C در کالک‌شیست واحد چاه گربه در خاور کوه دره‌انجیر. صفحه‌های C (یا S3) گاهی به صورت درزه‌های باز شده و گاهی به صورت رگه‌های پر شده از سیلیس یا کلسیت دیده می‌شوند؛ ب) چین‌های کنگره‌ای در لایه فیلیت واحد چاه گربه در خاور کوه چاه گربه که دارای محورهای پرشیب می‌باشند. برگرارگی S3 به صورت برگرارگی سطح محوری این چین‌ها، توسعه یافته است.



شکل ۱۲ - نمودارهای استریوگرام مربوط به اندازه‌گیری‌های عناصر ساختاری در محدوده مورد مطالعه. الف) استریوگرام قطب بر گوارگی نسل اول (S1)؛ ب) استریوگرام مربوط به خطوارگی کانی نسل اول (L1)؛ ج) استریوگرام قطب بر گوارگی میونیتی (S2). د) استریوگرام قطب صفحه‌های محوری مربوط به چین‌های هم‌شیب نسل دوم؛ ه) استریوگرام مربوط به خطوارگی کشیدگی و کانی نسل دوم (L2)؛ و) استریوگرام محور چین‌های نسل دوم؛ ز) استریوگرام قطب صفحه محوری چین‌های کنگره‌ای (S3)؛ ح) استریوگرام محور چین‌های کنگره‌ای (خطوارگی L3).

## ۵- بحث

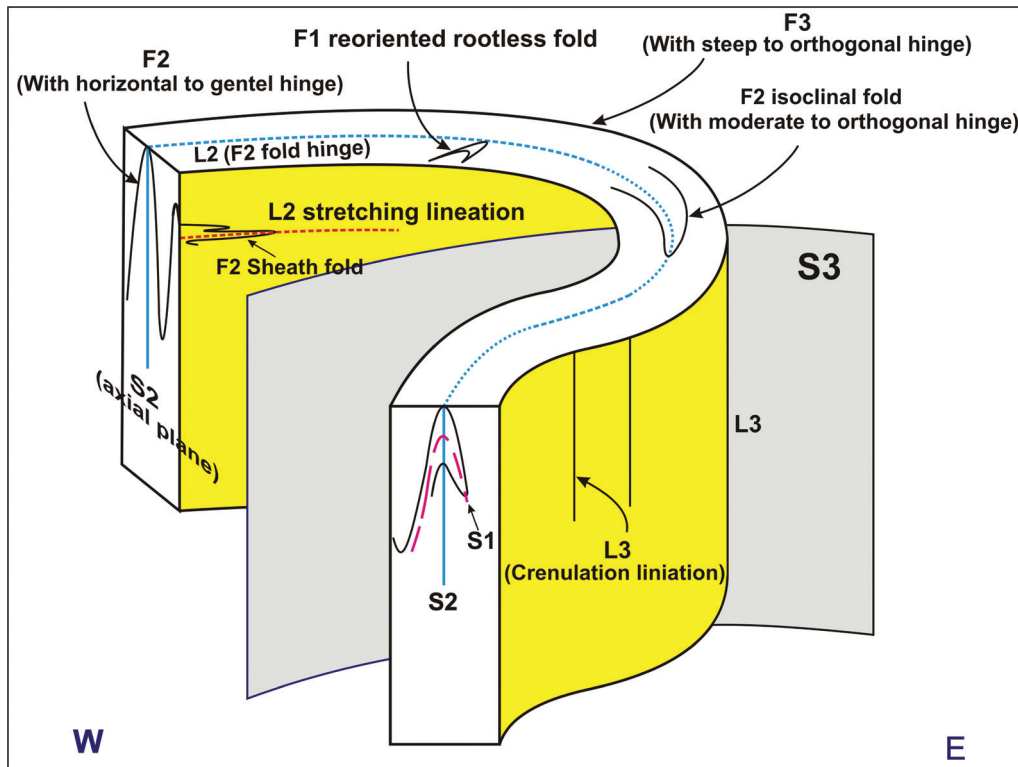
### ۵-۱- ارتباط ساختاری بین واحدهای اصلی زمین‌ساختی- دگرگونی انارک

واحد دگرگونی انارک به صورت اولیه از برخورد چندین واحد مختلف در حین تکامل یک گوه برافزایشی، به وجود آمده است. این گوه به طور اساسی از واحدهای مرغاب، چاه‌گربه و واحد افیولیتی تشکیل شده که در مرحله‌های بعدی تحت دگرگونی و گرریختی قرار گرفته و به وسیله سامانه‌های راندگی بریده شده است. حداقل سه مرحله چین‌خوردگی در واحدهای مرغاب و چاه‌گربه، قابل مشاهده است. در شکل ۱۳ تصویر شماتیک از چین‌خوردگی واحدهای مرغاب و چاه‌گربه و ارتباط ساختاری بین آن‌ها در بخش‌های شمالی گستره مورد مطالعه و در پیرامون کوه چاه‌گربه، نشان داده شده است. بر گوارگی نافذ در این منطقه، یک بر گوارگی میونیتی (S2) می‌باشد که در بخش‌هایی به صورت بر گوارگی سطح محوری، دیده می‌شود و دارای شیب زیاد تا قائم می‌باشد. خطوارگی نسل دوم (L2)، به صورت خطوارگی کشیدگی و کانی است. چین‌های نسل اول (F1) به صورت چین‌های چرخیده و بدون ریشه دیده می‌شوند. چین‌های نیامی و چین‌های بسته تا یال موازی F2 در بخش یال و لولای چین F3 دیده می‌شوند. این چین‌ها، میل محوری متوسط تا پرشیب و سطح محوری پرشیب دارند. جای‌گیری مرمرلاخ، در مرحله‌های بعدی صورت گرفته است. این واحد به صورت سفره‌های راندگی مشاهده می‌شود که بر روی واحدهای چین‌خورده زیرین قرار گرفته است (شکل‌های ۳- الف و ب و ۱۴- الف). وجود بودین‌های اولترامافیک در میکاشیست‌ها و کالک‌شیت‌های واحد چاه‌گربه نشان می‌دهد که این واحدها قبل یا هم‌زمان با مرحله دگرریختی D2 دچار دگرریختی شده‌اند (شکل ۱۴- ب).  
**۵-۲. زمان دگرریختی و دگرگونی:** سن‌سنجی رادیومتریک آرگون-

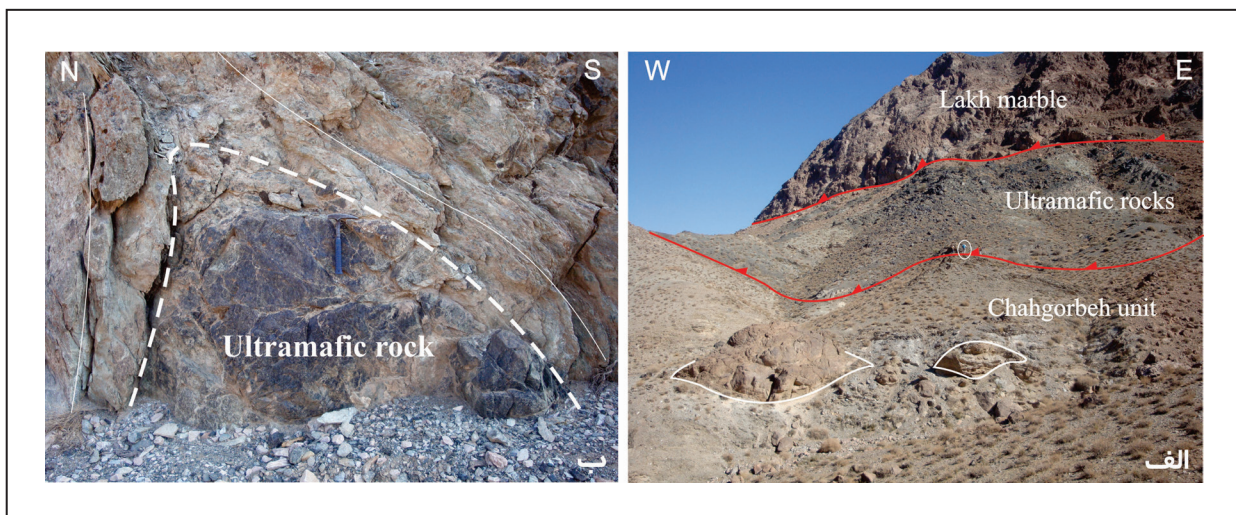
آرگون بر روی میکای سفید واحدهای دگرگونی انارک و جندق، سن‌های ۳۲۰ و ۳۳۵ میلیون سال (رخداد واریسکن- کربونیفر) را نشان می‌دهد (Bagheti and Stampfli, 2008). به عقیده (Zanchi et al., 2015)، تکامل واحدهای چاه‌گربه، مرغاب و افیولیت‌های موجود در گوه برافزایشی انارک، یکسان بوده و در یک جایگاه زمین‌ساختی فرورانشی فشاربالا/ حرارت پایین، رخ داده است. داده‌های جدیدتر، سن حدود ۲۹۰ میلیون سال (پرمین پیشین) را برای این واحد نفوذی، نشان می‌دهد (Zanchi et al., 2015). در این صورت فرایند دگرگونی و دگرریختی در واحد چاه‌گربه، به احتمال به سن کربونیفر خواهد بود که با عقیده (Bagheti and Stampfli, 2008) سازگار است.

### ۶- نتیجه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه سه مرحله چین‌خوردگی مرتبط با مرحله‌های مختلف دگرریختی دیده می‌شود. چین‌های مرحله اول به صورت چین‌های یال موازی بی‌ریشه در واحد چاه‌گربه مشاهده می‌شود که به طور غیر فعال چرخیده و جهت یافتگی اولیه خود را از دست داده‌اند. مرحله دوم چین‌خوردگی به طور وسیع در منطقه توسعه یافته است. این چین‌خوردگی بیشتر از نوع یال موازی هستند که دارای محورهای ملایم تا قائم هستند. سطح محوری این چین‌ها پرشیب و موازی با بر گوارگی اصلی منطقه می‌باشد. در طی چین‌خوردگی مرحله سوم، یک چین نامتقارن Z شکل در منطقه شکل گرفت که دارای یال‌ها و محور پرشیب می‌باشد. چین‌های کنگره‌ای به‌ویژه در بخش لولای F3 توسعه یافته‌اند که محور پرشیب دارند.



شکل ۱۳- تصویر شماتیک از چین خوردگی واحدهای مرغاب و چاه گربه (F3) در کوه‌های چاه گربه.



شکل ۱۴- الف) همبندی گسلی راندگی بین واحدهای مرمرلاخ، سنگ‌های اولترامافیک و چاه گربه. به بودین‌های متقارن از جنس مرمر دولومیتی در داخل واحد چاه گربه توجه شود؛ ب) ساخت بودین از جنس سنگ‌های اولترامافیک در داخل بر گوارگی کالک‌شیت (S2) واحد چاه گربه.

## References

- Bagheri, S. and Stampfli, G. M., 2008-The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in Central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications. *Tectonophysics* 451, 123–155. <https://doi.org/doi/10.1016/j.tecto.2007.11.047>.
- Balini, M., Nicora, A., Berra, F., Garzanti, F., Levera, M., Mattei, M., Muttoni, M., Zanchi, A., Bollati, I., Larghi, C., Zanchetta, S., Salamati, R. and Mossavvari, F., 2009- The Triassic stratigraphic succession of Naxhlak (Central Iran), a record from an active margin. In: Brunet, M.F., Wilmsen, M., Granath, J.W. (Eds.), *South Caspian to Central Iran Basins*. Geological Society of London Special Publications 312, pp. 287–321. <https://doi.org/10.1144/SP312.14>.
- Berra, F., Zanchi, A. and Nawab, A., 2007- Late Cretaceous transgression on a Cimmerian high (Neka Valley, Eastern Alborz, Iran): a geodynamic event recorded by glauconitic sands. *Sed. Geol.* 199, 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.02.001>.
- Berra, F., Zanchi, A., Angiolini, L., Vachard, D., Vezzoli, G., Zanchetta, S., Bergomi, M., Javadi, H.R., Kouhpeyma, M. 2017. The upper Palaeozoic Godar-e-Siah Complex of Jandaq: evidence and significance of a North Palaeotethyan succession in Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 138, 272–90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.02.006>.
- Buchs, D., Baghari, S., Martin, L., Hermann, J. and Arculus, R., 2013- Paleozoic to Triassic ocean opening and closure preserved in Central Iran: Constraints from the geochemistry of meta-igneous rocks of the Anarak area. *Lithos.* 173, 267- 287. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.02.009>.
- Fursich, F. T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K. and Majidifard, M. R., 2009- Lithostratigraphy of the Upper Triassic–Middle Jurassic Shemshak Group of northern Iran. In: Brunet, M.F., Wilmsen, M., Granath, J.W. (Eds.), *South Caspian to Central Iran Basins*. Geological Society of London Special Publications 312, pp. 129–160. <https://doi.org/10.1144/SP312.6>.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Axen, G. J., Gillis, R. J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M. D., Zamanzadeh, S. M. and Grove, M., 2008- Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics* 451, 97–122. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.063>.
- Javadi, H. R., 2013- Iran Fault Map on Sedimentary- Structural Units. Tectonic Group. Geological Survey of Iran.
- Kargaranbafghi, F., Neubauer, F., Genser, J., Faghih, A. and Kusky, T., 2012- Mesozoic to Eocene ductile deformation of western Central Iran: from Cimmerian collisional orogeny to Eocene exhumation. *Tectonophysics* 564–565, 83–100. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.017>.
- Masoodi, M., Yassaghi, A., Sadat, M. A. A. N., Neubauer, F., Bernroider, M., Friedl, G., Genser, J. and Houshmandzadeh, A., 2013- Cimmerian evolution of the Central Iranian basement: evidence from metamorphic units of the Kashmar-Kerman Tectonic Zone. *Tectonophysics* 588, 189–208. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.12.012>.
- Ruttner, A. W., 1993- Southern borderland of Triassic Laurasia in north-east Iran. *Geol. Rundsch.* 82, 110–120.
- Schmidegg, O., 1933 - Neue Ergebnisse in den südlichen Ötztaler- Alpen. In *Verhandlungen Geol. B.-A.*, 83-85.
- Sharkovski, M., Susov, M. and Krivyakin, B., 1984- Geology of the Anarak area (Central Iran). Explanatory Text of the Anarak Quadrangle Map 1:250000. Geological Survey of Iran, V/O “Tecnoexport” USSR Ministry of Geology Reports, 19.
- Sheikholeslami, M. R. and Kouhpeyma, M., 2012- Structural analysis and tectonic evolution of the eastern Binalud Mountains, NE Iran. *J. Geodyn.* 61, 23–46. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.06.010>.
- Susov, M., Dvoriankin, A. and Selivanov, E., 1984- 1:100000 series, sheet 6756, Anarak. Geological Survey of Iran, V/O “Tecnoexport” USSR Ministry of Geology.
- Wilmsen, M., Fursich, F. T. and Taheri, J., 2009- The Shemshak Group (Lower–Middle Jurassic) of the Binalud Mountains, NE Iran: stratigraphy, depositional environments and geodynamic implications. In: Brunet, M.F., Wilmsen, M., Granath, J.W. (Eds.), *South Caspian to Central Iran Basins*. Geological Society of London Special Publications 312, pp. 175–188. <https://doi.org/10.1144/SP312.8>.
- Zanchetta, S., Malaspina, N., Zanchi, A. and Benciolini, L., Javadi, H., Kouhpeyma, M., 2017- Contrasting subduction–exhumation paths in the blueschists of the Anarak Metamorphic Complex (Central Iran). *Geol. Mag.*: page 1 of 19 c Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0016756817000218>.
- Zanchi, A., Nadia, M., Zanchetta, S., Berra, F., Benciolini, L., Bergomi, M., Cavallo, A. and Javadi, H. R., 2015- The Cimmerian accretionary wedge of Anarak, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 102 pp. 45–72. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.08.030>.

# Investigation of deformational phases in metamorphic rocks around the Anarak- Central Iran

M. Khalaj<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

Received: 2019 December 29

Accepted: 2020 March 14

## Abstract

Anarak metamorphic complex located in the northwestern part of the Central Iran microcontinent, east of Nain city. Based on geological, chronological and paleomagnetical data, the complex consists of different metamorphic units from different variety of source. This metamorphic complex also composed of dismembered parts of ophiolitic bodies which crop out in the complex as thrust sheets. This study is concerned with structural investigation of metamorphic rocks around Anarak, specially on a Z shape folding in the Chahgorbeh mountains. Based on field surveys and microscopic investigations there are at least 3 deformational phases in the morghab, chahgorbeh and mafic- ultramafic units, all of them occurred in ductile conditions possibly related to "Variscan metamorphism" (late carboniferous). In the basic and ultramafic rocks, the first deformational phase accompanied with HP/LT metamorphic conditions at amphibolite facies. This phase is accompanied with a relatively low grade metamorphism- green schist facies in the metamorphic pelletic rocks of Morghab and Chahgorbeh units and leads to generation of a low grade (S1) foliation. This phase followed by increasing of intensity of deformation and milonitic foliation and sheath folds developed in the rock units through second phase of deformation. Third phase of deformation continuously affected the pre- deformed rocks in a more low- grade metamorphic and deformational condition than earlier phases.

**Keywords:** Anarak metamorphic complex, Deformational phases, Central Iran, Accretionary wedge, Variscan event, Paleo-tethys.

For Persian Version see pages 101 to 110

\*Corresponding author: M. Khalaj; E-mail: m\_khalaj@pnu.ac.ir