



## نحوه تکوین هوازدگی کرووی و فرسایش پوست پیازی در توده‌های دیوریتی - کوارتز دیوریتی قلعه گنج (جنوب شرق کرمان)

علیرضا شاکر اردکانی<sup>۱</sup>، سارا درگاهی<sup>۲</sup> و حامد امیرپور<sup>۳</sup>

۱- استادیار بخش مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند، دانشگاه شهید باهنر کرمان shaker@uk.ac.ir

۲- استادیار بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان s.dargahi@uk.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد پتروولوژی hamed\_5595@yahoo.com

### چکیده

توده‌های دیوریتی-کوارتز دیوریتی قلعه گنج بخشی از نفوذی‌های موجود در زون مکران می‌باشند که دارای هوازدگی کرووی و فرسایش پوست پیازی هستند. این پدیده به سیستم‌های شکستگی‌های ریز مرتبط می‌شود. علاوه بر این، فاکتورهای متعددی نظیر خصوصیات مکانیکی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، تنش‌های تکتونیکی، افزایش حجم طی هوازدگی کانی‌ها و نوسانات دمایی سطح زمین می‌تواند در تشکیل این اشکال اهمیت داشته باشند. به نظر می‌رسد که حضور فلدسپار، بیوتیت و کانی‌های ثانویه (نظیر کانی‌های رسی، بیوتیت ثانویه و اکسیدهای آهن) در توسعه هوازدگی کرووی و فرسایش پوست پیازی در منطقه مورد مطالعه نقش به‌سزایی ایفا می‌نمایند که در این بین میزان درصد حجمی بیوتیت به عنوان موثرترین فاکتور کنترل کننده محسوب می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش پوست پیازی، هوازدگی کرووی، سنگ‌های دیوریتی، قلعه گنج

---

## Development of spheroidal weathering and exfoliation (onion- skin erosion) in dioritic- quartz dioritic massifs of Ghaleh Ganj (Southeast of Kerman)

---

**Alireza Shaker Ardakani<sup>1</sup>, Sara Dargahi<sup>2</sup> and Hamed Amirpour**

1- Assistant professor of Mining Engineering Department, Higher Education Complex of Zarand, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran; Email: shaker@uk.ac.ir

2- Assistant professor of Geology Department, College of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran; Email: s.dargahi@uk.ac.ir

3- M.Sc. in Petrology; Email: hamed\_5595@yahoo.com

### **Abstract**

The Ghaleh Ganj dioritic- quartz dioritic massifs, as a part of intrusives in the Makran zone show spheroidal weathering and exfoliation. This phenomenon is related to the development of micro-crack systems. Furthermore, various factors such as mechanical properties of rock-forming minerals, tectonic stresses, increasing volume during mineral weathering and earth surface temperature fluctuations may be important in the formation of these features. It seems that the presence of feldspar, biotite and secondary minerals (such as clay minerals, secondary biotite and Fe- oxides) in the study area, played an important role in the development of spheroidal weathering and exfoliation. However, the modal contents of biotite is the main controlling factor.

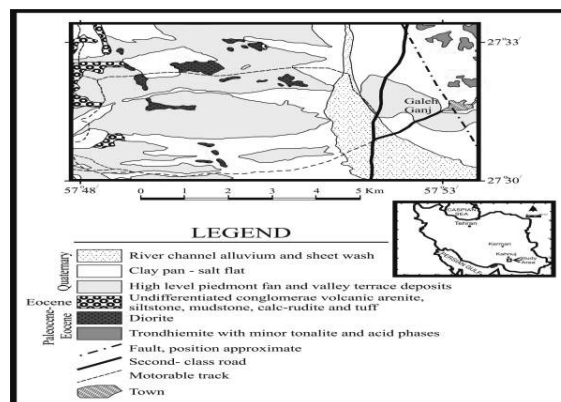
**Keywords:** Exfoliation (Onion- skin erosion), Spheroidal weathering, Dioritic rocks, Ghaleh Ganj.

## ۱- مقدمه

مناطق خشک و بیابانی یکی از اکوسیستم‌های بسیار حساس موجود در طبیعت می‌باشند که عوامل محدود کننده حاکم بر این مناطق باعث ایجاد شرایط خاص زیست محیطی در آن شده و باعث کمی تنوع گیاهی در این مناطق می‌گردد (کردوانی، ۱۳۷۴). فرسایش بادی یکی از جنبه‌های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود (کوپینگر و همکاران، ۱۹۹۱؛ محمودآبادی و همکاران، ۱۳۹۰). عوامل اقلیمی باعث فرسایش سنگ‌ها می‌شوند؛ البته نوع سنگ‌ها نیز به علت تفاوت در قابلیت فرسایش‌پذیری آن‌ها، نقش مهمی در تکامل چشم‌اندازها و تنوع مکانی فرسایش دارند (Lifton and Chase, 1992). سنگ‌های دیوریتی-کوارتز دیوریتی قلعه گنج که در یک منطقه بیابانی خشک تا نیمه خشک واقع می‌باشند، عمدتاً بدون پوشش گیاهی بوده و مستقیماً در معرض تاثیر اقلیم گرم و خشک منطقه جنوب شرق ایران قرار گرفته‌اند. درجه حرارت هوا در گرمترین ماه سال (تیر ماه) به حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در سردترین روزهای سال به کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در اغلب ماه‌های سال هوا گرم و بسیار گرم و در چهار ماه از سال به خصوص زمستان هوا معتدل می‌باشد. بیشترین میزان بارندگی در ماه‌های دی و بهمن است. این خصوصیات اقلیمی، نقش عمده‌ای در تخریب و فرسایش سنگ‌ها و ایجاد ساخت‌های مورفولوژیکی ایفا می‌کنند. نزولات جوی کم با توزیع نامناسب و دوره‌های بارش کوتاه، پوشش گیاهی ناچیز و جنس و شیب زمین، شاخص‌هایی هستند که وضعیت هوازدهی سطحی و زیرزمینی منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

## ۲- مواد و روش‌ها

توده‌های نفوذی حد واسط پالئوسن-ائوسن که در غرب شهرستان قلعه گنج قرار دارند جزئی از زون ساختاری مکران هستند که در محدوده‌ای به طول تقریبی ۶ کیلومتر و عرض ۵ کیلومتر گسترش یافته‌اند (شکل ۱). این توده‌ها در مسیر راه‌های مناطق ده بید و زیارت علی واقع شده‌اند و از طریق جاده‌های شوسه و خاکی متعددی که در دشت وجود دارد دسترسی به این توده‌ها امکان پذیر است. این توده‌ها از غرب به واحد بیدک (مجموعه‌ای به ترتیب فراوانی متشکل از کنگلومرا، سیلتستون، ولکانیک آرنایت، گل‌سنگ، کالکارنایت، کالک رودایت و توف)، از شرق و شمال شرق به حوضه آبریز جازموریان، از شمال به مجموعه آتشفشانی-رسوبی گنج (مجموعه‌ای متشکل از دایک‌ها، گدازه‌های بالشی، جریانات گدازه‌ای، سنگ‌های آذرین درونی فلسیک و مقدار اندکی سنگ‌های رسوبی توربدیتی) و از جنوب به رسوبات جوان کواترنری محدود می‌گردد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته با اندکی تغییرات از McCall, 1985).

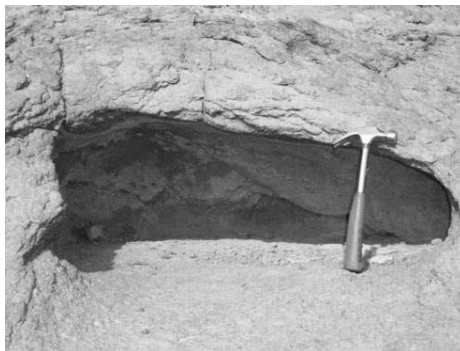




شکل ۲- نمایی از سیستم‌های متعدد درزه در داخل توده دیوریتی و شکسته شدن آن‌ها به شکل بلوکی (دید عکس به سمت جنوب).



شکل ۳- نمایی از افزایش شدت دگرسانی در منطقه که با توسعه کانی‌های رسی همراه با تشکیل حفرات فرسایشی نمود می‌یابد.



شکل ۴- حفرات فرسایشی ناشی از عملکرد آب و باد در توده‌های نفوذی قلعه گنج.

### پتروگرافی

براساس مطالعات میکروسکوپی توده‌های نفوذی مورد مطالعه از لحاظ ترکیب سنگ شناختی ترکیب دیوریتی- کوارتز دیوریتی دارند و بافت کلی آن‌ها میکروگرانولار تا گرانولار به همراه بافت‌های فرعی غربالی و پوئی کیلیتیک می‌باشد. عمده‌ترین کانی‌های اصلی آن‌ها به ترتیب فراوانی شامل پلاژیوکلاز (۴۵ تا ۵۵ درصد)، کلینوپیروکسن (۱۵ تا ۲۰ درصد)، آمفیبول (۱۲ تا ۲۰ درصد)، بیوتیت (۵ تا ۱۰ درصد)، اپاک (۵ تا ۱۰ درصد) و کوارتز (صفر تا ۱۰ درصد) است.

پلاژیوکلازها به فرم تخته‌ای، اشکال سابهدرال تا یوهدرال و اندازه عموماً  $0/5$  تا  $2$  میلی‌متر هستند. آن‌ها دارای ماکل‌های پلی سنتتیک، کارلسباد-آلبیت و منطقه‌بندی بوده و به کانی‌های رسی، سرسیت، کلسیت، اپیدوت و کلریت دگرسان شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۶). شدت دگرسانی آن‌ها عمدتاً به گونه‌ای است که آثار ماکل و منطقه‌بندی تا حدود بسیار زیادی از بین رفته است. آن‌ها همچنین دارای بافت غیرتعادلی غربالی نیز هستند.

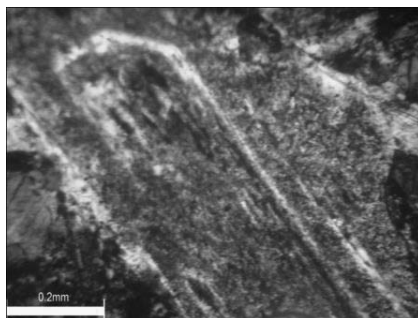
کلینوپروکسن‌ها به فرم تخته‌ای، اشکال سابهدرال تا انهدرال و اندازه عموماً  $0/7$  تا  $1/5$  میلی‌متر مشاهده می‌شوند و بعضاً به ترمولیت-اکتینولیت، بیوتیت ثانویه، کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند (شکل ۷).

آمفیبول‌ها به فرم سوزنی، اشکال سابهدرال تا انهدرال و اندازه عموماً  $1$  تا  $2$  میلی‌متر بوده و به بیوتیت ثانویه، اکسیدهای آهن و کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۶).

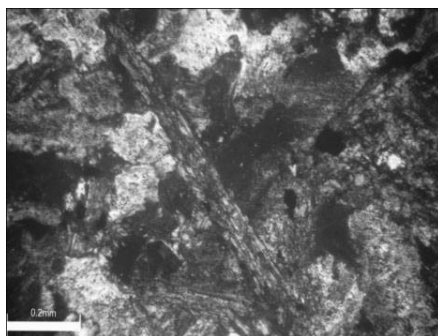
کانی‌های اپاک نیز به اشکال سابهدرال تا انهدرال و اندازه دانه ریز تا دانه متوسط در این سنگ‌ها مشاهده می‌گردند. آن‌ها عمدتاً به صورت تجمعاتی در کنار کلینوپروکسن‌ها و در امتداد آمفیبول‌ها حضور دارند.

بیوتیت‌ها به فرم تخته‌ای و به اشکال سابهدرال تا انهدرال هستند. اندازه آن‌ها عموماً  $1$  تا  $2$  میلی‌متر متغیر است و به کانی‌های ثانویه کلریت و اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند (شکل ۸).

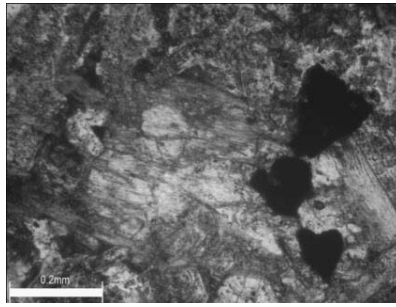
کوارتز از جمله کانی‌هایی است که در کوارتز دیوریت‌ها حضور دارد و به شکل انهدرال، اندازه  $0/2$  تا  $0/5$  میلی‌متر و بعضاً خاموشی موجی مشاهده می‌گردد.



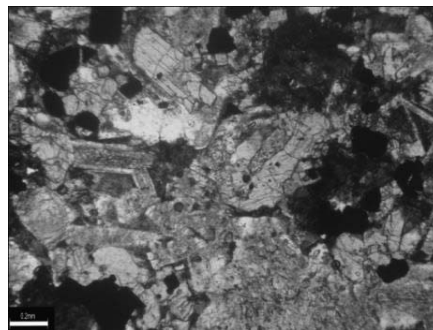
شکل ۵- دگرسانی پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی در نمونه‌های دیوریتی قلعه گنج (وضعیت نور: XPL).



شکل ۶- دگرسانی پلاژیوکلاز به سرسیت و آمفیبول به بیوتیت ثانویه (وضعیت نور: XPL).



شکل ۷- دگرسانی کلینوپیروکسن به اورالیت و بیوتیت ثانویه (وضعیت نور: PPL).



شکل ۸- دگرسانی بیوتیت با اکسیدهای آهن در دیوریت‌های قلعه گنج (وضعیت نور: PPL).

### ۳- نتایج

از هوازدگی کروی به عنوان هوازدگی متحدالمرکز یا هوازدگی پوست پیازی نیز نام برده شده است. این نوع هوازدگی فرآیندی است که به موجب آن پوسته‌های متحدالمرکز دست نخورده‌ای از سنگ هوازده به طور متوالی از شکستگی‌های ناشی از دگرسانی ضعیف سنگ بستر شکل می‌گیرند (Ollier, 1967). هوازدگی کروی تقریباً در تمام انواع سنگ‌ها نظیر گنیس، شیست، آندزیت، ماسه سنگ و گری وک و در هر نوع اقلیمی مشاهده می‌گردد و به طور کلی پدیده‌ای است که بیشتر در سنگ‌های منسجم، همگن و دارای سیستم‌های شکستگی ایجاد می‌شود (Ollier, 1967; Heald *et al.*, 1979; Fritz and Mohr, 1984; Chatterjee and Raymahashay, 1998; Fletcher *et al.*, 2006). این اشکال کروی در اثر توسعه هوازدگی شیمیایی به وجود آمده‌اند؛ چرا که هوازدگی شیمیایی علاوه بر تخریب ساختمان داخلی کانی‌ها، باعث به وجود آمدن تغییرات فیزیکی نیز می‌شود. هنگامی که قطعات مکعبی شکل ایجاد شده به وسیله درزه‌های منظم تحت تاثیر هوازدگی شیمیایی قرار می‌گیرند، گرد و کروی می‌شوند. تشریح این که آیا هوازدگی کروی ناشی از فرایندهای فیزیکی یا شیمیایی است، مشکل می‌باشد؛ اما اولیر (۱۹۶۷) این نوع هوازدگی را ناشی از تاثیر هر دو نوع هوازدگی فیزیکی و شیمیایی می‌داند. به طور کلی هر پدیده‌ای که سبب به وجود آمدن اشکال کروی می‌شود را هوازدگی کروی می‌نامند. سنگ‌های دیوریتی-کوارتز دیوریتی قلعه گنج به علت ناپیوستگی‌های ساختاری (مثل درزه‌ها و شکستگی‌های حاصل از تنش‌های تکتونیکی و گسل‌ها) به اجزاء کوچکتر تبدیل شده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰) و سپس هوازدگی شیمیایی در این سنگ‌ها با توجه به کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها توسعه یافته است. سوریسو والو و لیپرا (۲۰۰۰) معتقدند که نسبت بسیار بالای مجموع شن و ماسه به مجموع سیلت و رس، بیانگر نقش و تاثیر هوازدگی فیزیکی است و همچنین به ترتیب تبدیل فلدسپارها و بیوتیت به کانی‌های رسی و کلریت نیز بیانگر تاثیر هوازدگی شیمیایی است؛ مسئله‌ای که با

توجه به مطالعات صحرایی و میکروسکوپی در توده‌های دیوریتی-کوارتز دیوریتی منطقه مورد مطالعه نیز به وضوح مشاهده می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع هوازدگی در این محدوده ایفای نقش نموده است. فلچر و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند هوازدگی کرووی یکسری شکستگی‌های هم مرکز را نسبت به قسمت عمقی‌تر غیر دگرسان سنگ ایجاد می‌نماید و به طور گسترده باعث دگرسانی پوسته سنگ می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۰). تصور می‌شود هر یک از این شکستگی‌ها زمانی به وجود می‌آیند که انرژی و اتنشی در یک لایه برابر با انرژی سطح شکستگی باشد. سرعت هوازدگی کرووی تابع تمرکز واکنش دهنده‌ها، سرعت واکنش، سرعت انتقال و خصوصیات مکانیکی سنگ می‌باشد (Fletcher *et al.*, 2006).

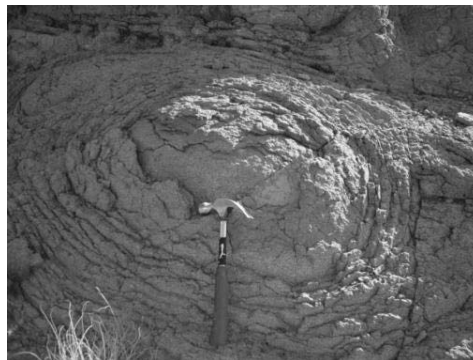
برخی از محققین پیشنهاد نمودند که درصد بیوتیت (Le Pera and Sorriso-Valvo, 2000) یا درصد فلدسپار (Ferry, 1984) قابلیت شکستگی‌ها و هوازدگی کرووی را کنترل می‌نماید؛ البته توسعه و نگهداری اشکال کرووی به مقدار محتوی بیوتیت در سنگ بستگی دارد؛ به گونه‌ای که اگر مقدار بیوتیت خیلی زیاد گردد (بیشتر از ۳۰ درصد) هوازدگی کرووی در سنگ‌ها حفظ نمی‌گردد (Le Pera and Sorriso-Valvo, 2000) و سنگ در اثر دگرسانی شدید متلاشی می‌شود. این در حالی است که بر اساس مطالعات میکروسکوپی توده‌های دارای اشکال کرووی قلعه گنج دارای حداکثر ۱۰ درصد حجمی بیوتیت می‌باشند و در مواردی که میزان بیوتیت بیشتر از این مقدار بوده است بر اساس مشاهدات صحرایی، سنگ‌ها به شدت هوازده شده و به رسوبات فرسایش یافته (خاک) تبدیل شده‌اند به نحوی که در این رسوبات، درصد قابل توجهی کانی‌های بیوتیت دگرسان شده مشاهده می‌گردد. البته عده دیگری از محققین برای مثال اسپهرود و استریت (۱۹۷۶) و سکیرا براگا و همکاران (۲۰۰۲) نقش و اهمیت اقلیم را روی کنترل این نوع هوازدگی بیان نمودند. علاوه بر موارد ذکر شده، تعدادی از محققین نیز افزایش حجم را طی هوازدگی کانی‌ها ایجاد کننده شکستگی‌های کرووی بیان داشتند (Isherwood and Street, 1976; Larsen, 1948; Simpson, 1964; Chatterjee and Raymahashay, 1998).

با توجه به موارد ذکر شده به طور کلی دگرسانی کانی پلاژیوکلاز به رس، و دگرسانی هورنبلند و بیوتیت به اکسیدهای آهن را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش حجم کانی‌ها در سنگ‌های دیوریتی-کوارتز دیوریتی منطقه بیان نمود (شاکر اردکانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ امیرپور، ۱۳۸۹). همچنین فلچر و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند واکنش‌های دگرسانی می‌تواند باعث تغییر حجم کانی‌ها ( $\Delta V = \sum V_{\text{products}} - \sum V_{\text{reactions}}$ ) گردد؛ زیرا واکنش‌های دگرسانی کانی‌های آهن‌دار از تغییر حجم مثبتی برخوردار می‌باشند (Robie and Hemingway, 1995). به همین دلیل می‌توان از آن به عنوان یکی از عوامل مهم ایجاد هوازدگی کرووی در سنگ‌های دیوریتی مجموعه گنج نام برد؛ چرا که اولین واکنش‌های دگرسانی، اکسیداسیون کانی‌های حاوی آهن دو ظرفیتی در ساختار کانی‌هایی نظیر پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت است که نتیجه آن ته‌نشست کانی‌های حاوی آهن سه ظرفیتی و ایجاد استرین و شکستگی‌های ناشی از آن‌ها در سنگ می‌باشد (Fletcher *et al.*, 2006). در بعضی از قسمت‌های منطقه مورد مطالعه، اشکال کرووی دارای یک روند شمال غرب-جنوب شرق هستند (شکل ۱۱) که با توجه به روند گسل‌های موجود در منطقه شاید بتوان گفت روند این اشکال کرووی متأثر از این گسل‌ها می‌باشد.





شکل ۹- نمایی از هوازدگی کروی و توسعه پوسته پوسته شدن در توده نفوذی دیوریتی - کوارتز دیوریتی قلعه گنج.



شکل ۱۰- نمایی از هوازدگی کروی همراه با فرسایش پوست پیازی و توسعه شکستگی‌های هم مرکز در توده نفوذی دیوریتی - کوارتز دیوریتی قلعه گنج.



شکل ۱۱- اشکال کروی با روند شمال غرب - جنوب شرق در توده نفوذی مورد مطالعه (دید عکس به سمت جنوب). در منطقه مورد مطالعه علاوه بر اشکال کروی، فرسایش پوست پیازی نیز مشاهده می‌گردد که گاهی این اشکال به صورت توام با یکدیگر (شکل‌های ۹ و ۱۰) و گاهی هم به صورت مجزا (شکل ۱۲) حضور دارند. واژه پوسته پوسته شدن و ورقه‌ای شدن یا تورق توسط محققین متعددی به جای یکدیگر استفاده شده است (Holzhausen, 1989). منشاء پوسته پوسته شدن در سنگ‌ها از زمان تئوری گیلبرت (۱۹۰۴)، رابطه تورق با کشش ایجاد شده به واسطه انبساط توده سنگ

در پاسخ به فرسایش مورد بحث و گفتگو قرار گرفته است (Bahat *et al.*, 1999). تورق به دلایل گوناگونی نظیر تنش های فشارشی محلی یا ناحیه ای پس از تبلور و فشارش در مقیاس بزرگ موازی با سطح در معرض دید سنگ (Dale, 1923; Juhanson, 1970; Twidale, 1973) نسبت داده می شود. همچنین فرایند تورق به فاکتورهای متعددی نظیر: مقاومت سنگ، نوسانات دمایی سطحی زمین طی گرم شدن، سرد شدن و شب‌نم‌زدگی، هوازدگی، تنش های باقی مانده و پوشش گیاهی ارتباط داده می شود (Juhanson, 1970; Holzhausen, 1989). به طور کلی پوسته پوسته شدن منعکس کننده گرایش عمومی سنگ به ایجاد شکستگی های موازی نسبت به توپوگرافی قبلی است؛ البته در صورتی که تنش ها اجازه دهند (Bahat *et al.*, 1999). هوازدگی کروی شبیه تورق پوست پیازی است با این تفاوت که در حجم کوچکی از سنگ رخ می دهد. هنگامی که کانی های موجود در سنگ به کانی های رسی تبدیل می شوند، به علت ورود آب به ساختمان آن ها، حجم آن ها افزایش یافته و این افزایش حجم فشار زیادی به اطراف وارد می آورد. بنابراین به نظر می رسد ایجاد لایه های متحد المركز و شکست به صورت پوسته پوسته شدن در سنگ ها نتیجه آن باشد و این مسئله ای است که در دیوریت - کوارتز دیوریت های مورد مطالعه به وضوح مشاهده می گردد؛ چرا که دگرسانی آرژیلیک (رسی شدن) به خوبی در منطقه مورد مطالعه مشهود است. البته با توجه به وضعیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه بایستی نوسانات دمایی و پدیده شب‌نم زدگی را نیز مدنظر قرار گیرد.



شکل ۱۲- نمایی از فرسایش پوست پیازی در توده های دیوریتی - کوارتز دیوریتی قلعه گنج.

#### ۴- نتیجه گیری

براساس آنچه که در بالا به عنوان عوامل موثر در تشکیل هوازدگی کروی و فرسایش پوست پیازی اشاره شد، می توان وجود پلاژیوکلازهای رسی شده، کلینوپیروکسن ها، آمفیبول ها و بیوتیت های دگرسان شده به اکسیدهای آهن، درزه ها و شکستگی های ناشی از عملکرد گسل اصلی جیرفت و گسل های فرعی را به عنوان مهم ترین عوامل موثر در تشکیل اشکال کروی و فرسایش پوست پیازی دیوریت های غرب قلعه گنج نام برد و در مناطقی که مقدار بیوتیت اندک بوده است این اشکال به خوبی حفظ شده اند. همچنین عکس العمل متفاوت کانی ها در پاسخ به انبساط و انقباض ناشی از اختلاف درجه حرارت و شب‌نم‌زدگی در اقلیم های مناطق بیابانی و گرم و خشک (شب های بسیار سرد و روزهای بسیار گرم) را نیز بایستی مورد توجه قرار داد. البته به نظر می رسد شکستگی های بسیار زیاد، محیط خشک و نیمه خشک، بارندگی های فصلی و فراوانی فنوکریست های پلاژیوکلاز و تا حدودی آمفیبول و ناپایداری این فنوکریست ها در برابر تجزیه که منجر به تشکیل کانی های ثانویه به ویژه سریسیت و رس شده است نیز باعث گردیده تا علاوه بر فرسایش کروی و پوست پیازی، شرایطی جهت توسعه فرسایش حفره ای نیز در توده های نفوذی دیوریتی غرب قلعه گنج مهیا شود.

## ۵- مراجع

- ۱- امیرپور، ح.، ۱۳۸۹. پتروگرافی، شیمی کانی و پتروژنز نفوذی‌های دیوریتی- کوارتز دیوریتی قلعه گنج، جنوب شرق کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند. ۱۳۵ ص.
- ۲- ربانی، ن و غ. شایگان، ۱۳۷۱. ژئومورفولوژی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۴۸ ص.
- ۳- ساداتی نژاد، س. ج.، ه. زارع پور، ر. قضاوی و ع. ولی، ۱۳۹۱. بررسی اثرات بادشکن بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و رطوبت خاک در مناطق خشک و تاثیر آن بر فرسایش‌پذیری خاک (مطالعه موردی: اراضی بیابانی شهرستان آران و بیدگل)، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲، ص ۵۳-۶۲.
- ۴- شاکر اردکانی، ع.، ح. امیرپور و س. درگاهی، ۱۳۸۹. نقش کانی‌ها در هوازدگی کروی و فرسایش پوست پیازی توده‌های دیوریتی-کوارتز دیوریتی قلعه گنج (جنوب شرق کرمان). هیجدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه تبریز.
- ۵- کردوانی، پ.، ۱۳۷۴. جغرافیای مناطق خشک، جلد اول و دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۶- محمودآبادی، ج.، ف. دهقانی و ح. عظیم زاده، ۱۳۹۰. مطالعه اثر توزیع اندازه ذرات بر خاک بر شدت فرسایش بادی، مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد اول، شماره ۱، ص ۸۱-۹۷.
- 7- Bahat, D., K. Grossenbacher and K. Karasaki, 1999. Mechanism of exfoliation joint formation in granitic rocks, Yosemite National Park. *The Journal of Geology*, 85-96.
- 8- Chatterjee, A and B. C. Raymahashay, 1998. Spheroidal weathering of Deccan Basalt: a three-mineral model, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 31: 175-179.
- 9- Coppinger, K. D., W. A. Reiners, I. C. Burke and R. K. Olson, 1991. Net erosion on a sagebrush steppe landscape as determined by cesium 137 distribution. *Soil Science Society of America Journal* 55: 254-258.
- 10- Dale, T. N., 1923. The commercial granites of New England. U.S. Geology Survey Circular, 738.
- 11- Ferry, J. M., 1984. Landforms of spheroidal weathered rock, in: T. L. Smiley, J. D. Nations, T. L. Pewe, J. P. Schafer (Eds.), *Landscapes of Arizona*, University Press of America, Lanham, MD. 415-427.
- 12- Fletcher, R. C., H. L. Buss and S. L. Brantley, 2006. A spheroidal weathering model coupling porewater chemistry to soil thicknesses during steady-state denudation. *Earth and Planetary Science Letters*. 244: 444-457.
- 13- Fritz, S. J and D. W. Mohr, 1984. Chemical alteration in the micro weathering environment within a spheroidally-weathered anorthosite boulder, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 48: 2527-2535.
- 14- Gilbert, G. K., 1904. Domes and dome structures of the high Sierra. *Geological Society of America Bulletin*, 15: 29-36.
- 15- Heald, M. T., T. J. Hollingsworth and R. M. Smith, 1979. Alteration of sandstone as revealed by spheroidal weathering, *Journal of Sedimentary Petrology*, 49: 901-909.
- 16- Holzhausen, G. R., 1989. Origin of sheet fracture, 1. Morphology and boundary conditions. *Journal of engineering geology*, 27: 225-278.
- 17- Huang, Z. G., W. Q. Chen, J. H. Chen, 1996. Red Weathered Crust in South China. Chinese Ocean Press, Beijing in Chinese.
- 18- Isherwood, D and A. Street, 1976. Biotite-induced grossification of the Boulder Creek granodiorite, Boulder County, Colorado. *Geological Society of America Bulletin*, 87: 366-370.
- 19- Johnson, R. M., 1970. Physical processes in geology. Freeman and Company, San Francisco, 71-98.
- 20- Larsen, E. S., 1948. Batholith and associated rocks of Corona, Elsinore and San Luis Rey quadrangles, southern California, Mem. *Geological Society of America Bulletin*, 29: 114-119.
- 21- Le Pera, E and M. Sorriso-Valvo, 2000. Weathering and morphogenesis in a mediterranean climate, Calabria, Italy. *Journal of Geomorphology*, 34: 251-270.
- 22- Lifton, N and C. G. Chase, 1992. Tectonic, climatic and lithological influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California. *Journal of Geomorphology*, 5: 77-114.
- 23- McCall, G. J. H., 1985. Area report, East Iran project- Area No: 1, north Makran and South Baluchestan, G. S. I., Report No. 57, 635p.
- 24- Ollier, C. D., 1967. Spheroidal weathering, exfoliation and constant volume alteration. *Z. Journal of Geomorphology*, 1: 103-108.
- 25- Robie, R. A and B. S. Hemingway, 1995. Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar pressure and at higher temperatures, US Geology Survey Bulletin, 461p.
- 26- Sequeira Braga, M. A., H. Paquet and A. Begonha, 2002. Weathering of granites in a temperate climated (NW Portugal): granitic saprolites and arenization, *Catena* 49: 41-56.
- 27- Simpson, D. R., 1964. Exfoliation of the upper Pocohontas sandstone Mercer County, West Virginia, *American journal of science*, 242: 545-551.
- 28- Twidale, C. R., 1973. On the origin of sheet jointing. *Rock Mechanics*. 5: 163-187.