فصلنامه ی زمین شناسی کاربردی
سال ۴ (۱۳۸۷)، شماره ی ۴ : ۲۵۷-۲۴۷
www.appliedgeology.ir

توصیف هوازدگی و سست شدگی در گرانیتوئید زاهدان از دیدگاه مهندسی سنگ

جعفر رهنمارادˣ، بهروز صاحب زاده و علی اصغر میر حاجی زاده
گروه زمین شناسی، دانشکده ی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد زاهدان
ˣعهده دار مکاتبات
jrahnama@appliedgeology.ir

چکیده
مطالعات هوازدگی سنگ های گرانیتوئیدی زاهدان مربوط به یک منطقه ی بیابانی خشک تا نیمه خشک می باشد. این سنگ های گرانیتی عمدتاً بدون پوشش رسوبات کواترنری، مستقیماً در معرض اقلیم گرم و خشک منطقه قرار گرفته‌اند. خصوصیات اقلیمی منطقه ی جنوب شرق ایران، نقش عمده ای در میزان تخریب و فرسایش سنگ ها و ایجاد ساخت های مورفولوژیکی ایفا می کنند. مطالعه‌ی مقاطع میکروسکوپی بافت گرانولار به‌همراه کانی های بیوتیت شکل دار، کوارتز به میزان فراوان و پلاژیوکلازهای زوناسیون دار را نشان می‌دهند. دایک ها و استوک های تزریق شده، یکی از ویژگی های این سنگ ها می باشند. در اثر تماس مواد نفوذی با سنگ میزبان، بیشتر آن ها به هورنفلس تبدیل شده اند. شیست های سبز گسترش زیادی دارند و به عنوان سنگ میزبان، مرز هم شیب دارند. بررسی های سنگ‌شناسی و فرآیندهای شیمیایی و مکانیکی هوازدگی، طیف کاملی از انواع هوازدگی را نشان می دهند، یعنی از پوسته ی هوازده ی غالباً شکننده و بی رنگ شده ی صخره ی سنگ تا تجزیه و فروپاشی کامل سنگ، که در اثر فرسودگی هیدروترمالی، در جا به خاک تبدیل شده‌اند. یکی دیگر از ویژگی های آن، وجود انکلاو، با رنگ تیره و بافت ریزدانه در سنگ می باشد. انکلاوها در مقطع میکروسکوپی بافت گرانوپرفیری تا میکروگرانولار دارند. بیوتیت در آن ها فراوان است. قسمتی از توده‌ی گرانیتوئیدی زاهدان تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد. براثر خروج زینولیت‌ها از توده ی گرانیتی، حفرات متعدد گرد و کرات توخالی در سنگ ایجاد می گردد و بدین ترتیب به آن نمای کارستی و شکل هایی کاواک مانند می بخشد. هوازدگی بیومکانیکی به صورت رشد ریشه های گیاهان در درون درزه ها و ترک های ایجاد شده در توده ی نفوذی باعث تخریب بیشتر سنگ می شود. فعالیت گوه مانند یا شکافندگی ریشه ی گیاهان، به‌عنوان هوازدگی مکانیکی تشریح می شود. فرسایش پوسته پیازی نوع دیگری از فرسایش فیزیکی است که در سنگ‌ها دیده می‌شود. بسیاری از درزه های موجود در گرانیت به صورت ثانویه با کوارتز پر شده اند.

واژه های کلیدی: بافت گرانولار، پوست پیازی، جنوب شرق ایران، دایک ها، فرسایش

Weathering and weakness of Zahedan granitoids: a rock engineering point of view

J. Rahnama-Rad*, B. Sahebzadeh & A. A. Mirhajizadeh
Department of Geology, Faculty of Basic Science, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, I. R. Iran
*Correspondence author, Jrahnama@appliedgeology.ir

Abstract

The Zahedan granitoids, which pertain to an arid to semiarid region, have been studied. Those granite rocks without a cover of Quaternary sediments are exposed directly to dry and warm climate. The characteristic conditions of southeas-tern Iran perform a major role in the amount of rock demolition and weathering and in the formation of special mor-phologic forms. Samples have been taken from the granite massive. Hand samples and microscopic thin sections show that they have relatively medium grain size and are of bright color. The major minerals are well-formed biotite, abun-dant quartz and zonal plagioclase. Dykes and stock intrusion are the main characteristics of these rocks. Due to the contact with intrusions and granitoids, most of the host rocks have been changed into hornfels and schists. The green schists are contact concordant and as host rocks have an excessive spread. All stages of weathering processes, i.e. physi-cal, chemical and down to soil building, can be observed here. Another specific feature is the existence of dark and fine- grained enclaves in rocks. The rocks show signs of granoporphyrit-microgranular structures in microscopic thin sec-tions. There is plentiful biotite in rocks. Part of the Zahedan granite is under the influence of wind erosion. Xenolith discharge from the granite massive causes the creation of manifold spin holes in rocks. In this way it bestows to rocks a karstic facade and cavernous forms. The biomechanical weathering, as growth of tree roots in joints and cracks of gra-nite, expedites the demolition of rocks. The splitter activity of wild pistachio tree roots, like a wedge, has been attributed to mechanical weathering. Another kind of physical erosion is the stone surface exfoliation, known as exfoliation domes. The released pressure on the stone surface creates fractures followed by the erosion of rock and formation of numerous blocks. Most of the available joints in granite are subsequently filled with quartz.

Key words: Dykes, erosion, exfoliation, granular texture, southeast Iran.

۱- مقدمه

در سنگ های گرانیتی زاهدان انواع پدیده های متنوع مورفولوژیکی حاصل از هوازدگی و حوادث تکتونیکی مشاهده می شود. این مقاله تلاش می نماید بر اساس واقعیت‌های پالئوکلیماتولوژیکی، کلیماتولوژیکی، پتروگرافیکی و پترولوژیکی و تکتونیکی موجود، به تشریح انواع هوازدگی و تخریب سنگ-های گرانیتی منطقه ی لوچان بپردازد.

سست شدگی های سطحی و هوازدگی سنگ ها، پدیده هایی هستند که تقریباً در تمام کارهای زمین شناسی مهندسی در محدوده ی سنگ های سفت تا سنگ های متغیر سفت نقش عمده ای را ایفا می نمایند (Einsele et al. 1985). مسلماً این مقاله‌ی کوتاه گنجایش شرح گسترده ی هوازدگی های فیزیکی و شیمیایی، که معمولا در کتاب های زمین شناسی، ژئومورفولوژی و خاک شناسی به تفصیل تشریح می شوند را ندارد. هوازدگی گرانیت ها توسّط محققین بسیاری با گرایش و تخصص های مختلف مانند زمین شناسی مهندسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژئومرفولوژی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Murphy et al. 1998, White et al. 1998).

اشتافر و سیمن (Stauffer & Seaman 1990) نتایج ژئوتکنیکی و کاربردی شایسته ای را به دست آورده اند. در ژاپن تاکنون در نتیجه ی بارندگی های شدید، فاجعه های تکراری فراوانی به شکل لغزش های دامنه ای در مناطق گرانیتی هوازده ایجاد شده است (Chigira 2001). در مناطق گرانیتی و گنیسی ریودژانیرو (Rio de Janeiro)، در سال های ۱۹۶۶ و ۱۹۶۷ بارندگی های زیاد ده ها هزار لغزش های دامنه ای و حدود هزار واقعه‌ی خسارات بار ایجاد نمود (Durgin 1977). جنوب ایتالیا تاکنون متحمل لغزش های فراوان در گرانیت های هوازده شده است (Calcaterra et al. 1996).

در مناطق گرم و مرطوب حاره ای، سنگ های گرانیتی معمولاً تا عمق ۲۰-۳۰ متر هوازده شده‌اند(Stillman 2007) . مطالعات هوازدگی سنگ های گرانیتوئیدی زاهدان مربوط به یک منطقه ی بیابانی خشک تا نیمه خشک می باشد. این سنگ های گرانیتی عمدتاً بدون پوشش رسوبات کواترنری، مستقیماً در معرض اقلیم گرم و خشک منطقه قرار گرفته‌اند (تصویر ۱).

۲-موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی عمومی منطقه

باتولیت زاهدان در حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. بخش مرتفع و یک‌پارچه ی این توده ی آذرین (لوچان) با عرض ′۱۰ ۲۹ o تا ′۲۵ ۲۹ o شمالی و با طول ′۴۰ ۶۰ o تا ′۴۵ ۶۰ o شرقی در بخش جنوب غربی شهرستان زاهدان واقع شده است. مرتفع ترین نقطه ی آن، قله ی لوچان، حدود ۲۵۶۵ متر ارتفاع دارد و ارتفاع میانگین آن منطقه نسبت به سطح متوسط دریا، ۲۲۰۰ متر است (تصویر ۲).

باتولیت زاهدان با روند کلّی شمال غرب- جنوب شرق، به طول ۱۲۰ کیلومتر و عرض حداکثر ۴۰ کیلومتر در مجموعه ای از رخساره های فلیشی ائوسن، در جنوب شرق ایران میان بلوک افغان و کویر لوت، به نام زون جوش خورده ی سیستان (سامانی و اشتری ۱۳۷۱، Tirrul et al. 1983) ، نفوذ کرده است (اشتوکلین و همکاران ۱۳۵۲، افتخارنژاد ۱۳۶۵). سن نفوذ آن ها به روش پتاسیم- آرگون حدود ۳۱ تا ۳۳ میلیون سال محاسبه شده است (Camp & Griffis 1982). گرانیت های این منطقه مورفولوژی متنوع، متأثر از فرایندهای تکتونیکی و هوازدگی، را نشان می دهند. این توده در سطح زمین به‌صورت رخنمون های کوچک و بزرگ هستند، که در اعماق زمین به هم پیوسته می شوند (صاحب زاده ۱۳۷۵، پورکرمانی و زمردیان ۱۳۷۱، حسینی ۱۳۸۱، صادقیان ۱۳۸۲) .

۳- پتروگرافی

برای انجام مطالعات پتروگرافی، مقاطع نازک میکروسکوپی از سنگ های توده‌ی گرانیتی تهیه گردید. این گرانیت ها در نمونه‌ی دستی و در مقاطع ماکروسکوپی، نسبتاً دانه‌متوسط و با رنگ روشن و بافت گرانولار مشاهده می‌گردند. کانی های اصلی آن بیوتیت شکل دار، کوارتز به میزان فراوان و پلاژیوکلازهای زوناسیون دار و آمفیبول می باشند (تصویر ۳). در تصویر ۴ بیوتیت ها به رنگ قهوه ای در کنار کوارتز و آمفیبول به وضوح دیده می-شوند. در این سنگ ها همچنین کانی های فرعی مهم مانند آلانیت، و تاحدودی اسفن و کانی های تیره (اپاک) وجود دارند.

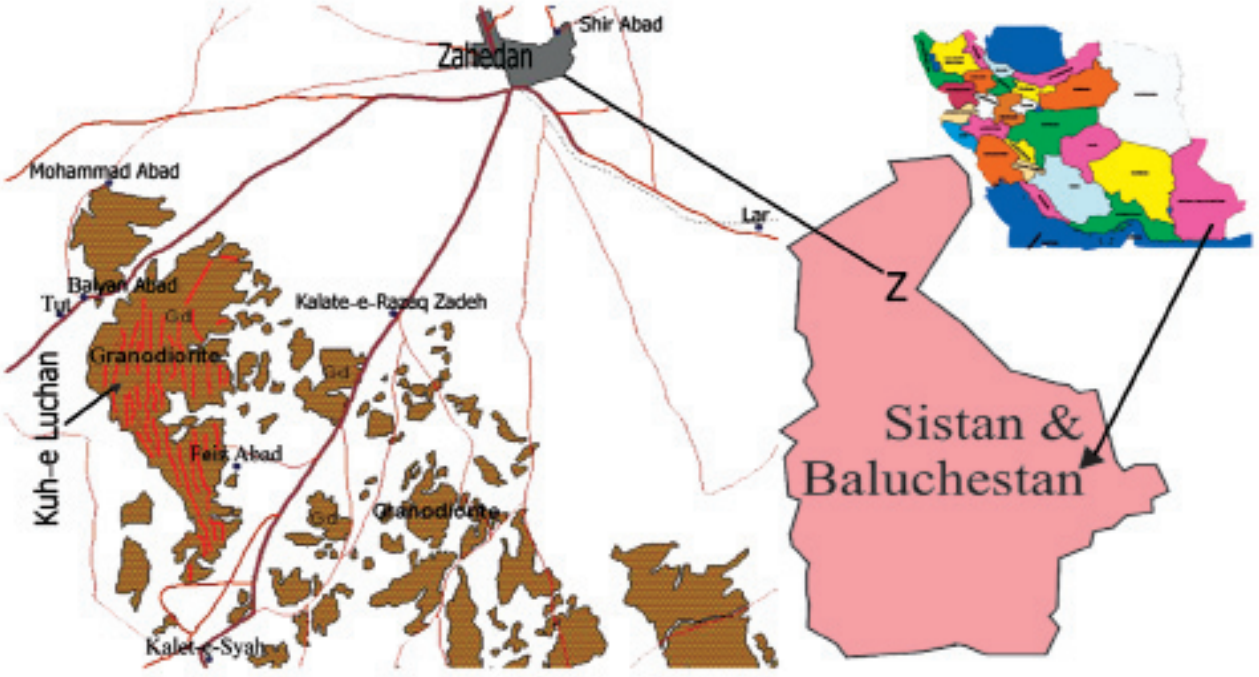
۴- دایک های تزریقی

دایک ها و استوک های تزریق شده، به‌عنوان یکی از ویژگی های گرانیت زاهدان، به کوه یک منظره‌ی لایه لایه داده‌اند (تصویر ۵). در توده های غربی تر دایک های متعددی به طور موازی و در راستای شمالی- جنوبی تزریق شده اند و در توده های شرقی تر تعداد دایک های تزریق شده کم می شوند (تیوای ۱۳۸۱). اکثر سنگ های میزبان در اثر تماس با مواد نفوذی به هورنفلس تبدیل شده اند. شیست های سبز گسترش زیادی دارند و به عنوان سنگ میزبان، مرز هم شیب با گرانیت ها دارند. شیست ها کاملاً متورق و غالباً به رنگ سبز می باشند.ترکیب دایک ها اسیدی تا حدّواسّط و ضخامت آن ها از چند سانتی-متر تا ۲ متر و به طور متوسّط یک متر می باشند. این دایک ها با رنگ سبز تیره دارای رگه های کوارتز می باشند، که به طور ثانویه شکستگی ها را پر نموده-اند (تصویر ۶). مقطع میکروسکوپی نمونه هایی از این دایک ها، بافت گرانولار و تا حدودی دلریتی را نشان می دهند. پلاژیوکلاز های آن در اندازه های متفاوت و زوناسیون‌دار، بدون نظم در جهات مختلف قرار گرفته اند. تصویر ۷ بیوتیت و اکسید آهن در نمونه‌های مورد بررّسی دایک‌ها را نشان می-دهند، به‌طوری‌که بیوتیت آن در اکثر نقاط به کلریت تجزیه شده است. در کلّ، این دایک ها ترکیب دیوریتی و به اعتقاد برخی دیگر از محققین ترکیب لامپروفیری دارند.

در بعضی ار قسمت های توده ی گرانیتی، جهت یافتگی کانی ها در اثر عوامل متعدّد، نظیر جایگیری گرانیت های زاهدان در رژیم های تکتونیکی فعال، عملکرد زون های برشی متعدّد، یا تورق های ماگمایی یا تکتونیکی را نشان می‌دهد (کشتگر۱۳۸۳ و کشتگر و کنعانیان ۱۳۸۲). در تعدادی از شکستگی‌های توده، احتمالاً در اثر دگرسانی هیدروترمالی، رگه هایی از سیلیس یا کربنات وجود دارند.

در تعدادی از شکستگی‌های توده، احتمالاً در اثر دگرسانی هیدروترمالی، رگه هایی از سیلیس یا کربنات وجود دارند.

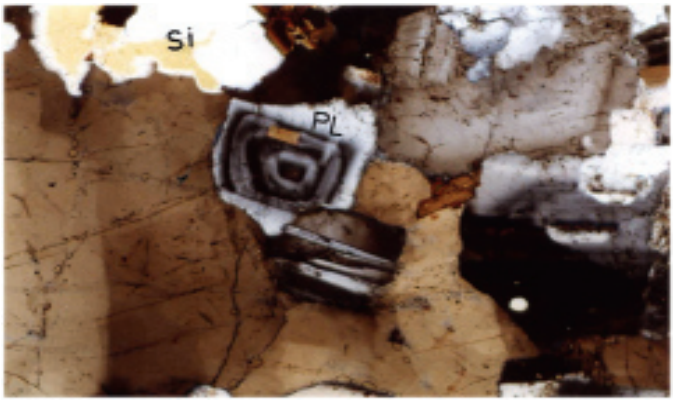
تصویر ۱- معدن گرانیت لوچان واقع در جنوب غربی زاهدان. بلوک های سالم و غیر هوازده، هر یک به ابعاد حدودی ۲×۲ متر برای تهیه پلاک به کارخانجات سنگ بری ارسال می گردند.



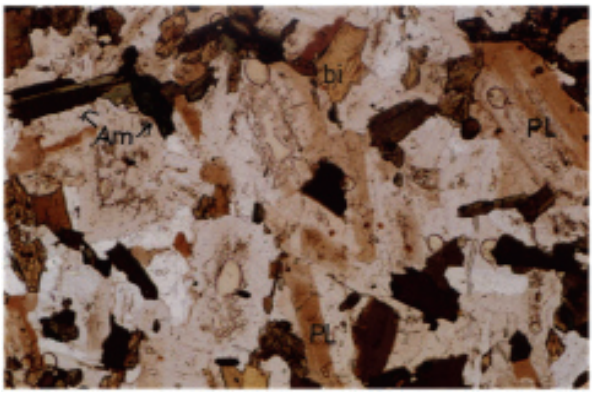
تصویر ۲- منطقه ی باتولیت زاهدان با روند کلی شمال غرب- جنوب شرق، بخش مرتفع و یک پارچه ی این توده (لوچان)، در بخش جنوب غربی شهرستان زاهدان قرار دارد.

۵- انکلاوها

انکلاو (Enclave)، برای توصیف قطعات سنگی بیگانه در داحل سنگ های آذرین همگن، از واژه انکلاو استفاده کرد. وجود انکلاوها در سنگ گرانیت از نظر معدن‌چیان و تجار سنگ عیب و نقص تلقی می شود. چنین سنگ های گرانیتی را سرطانی می نامند (تصویر ۷). انکلاوها از چند میکرون تا چند هزار متر می‌توانند کاملاً توسّط سنگ میزبان احاطه شده باشند. انکلاوها معمولاً از مجموعه ای از کانی های مختلف و در بعضی موارد فقط از یک کانی، ساخته شده اند (دیدیه و باربارن، Didier & Barbarin ترجمه‌ی ولی‌زاده و همکاران ۱۳۸۰). گرانیت های زاهدان از جمله سنگ هایی هستند که انکلاو دارند. رنگ انکلاوها تیره و ریزدانه است. در تصویر ۸، به‌دلیل فراوانی کانی-های آمفیبول در آنکلاوها، تفاوت رنگ و جنس این انکلاوها با سنگ میزبان آن ها، به خوبی نمایان است. انکلاوها در مقطع میکروسکوپی بافت میکروگرانولار دارند. بیوتیت و پلاژیوکلاز زوناسیون‌دار در آن‌ها مشاهده می‌گردد. زینولیت (Xenolith) نوع دیگری از قطعات بیگانه محصور شده در سنگ است.



تصویر ۳- مقطع میکروسکوپی با بافت گرانولار دانه متوسط و کانی های بیوتیت شکل دار، کوارتز به میزان فراوان، پلاژیوکلازهای زوناسیون دار و آمفیبول

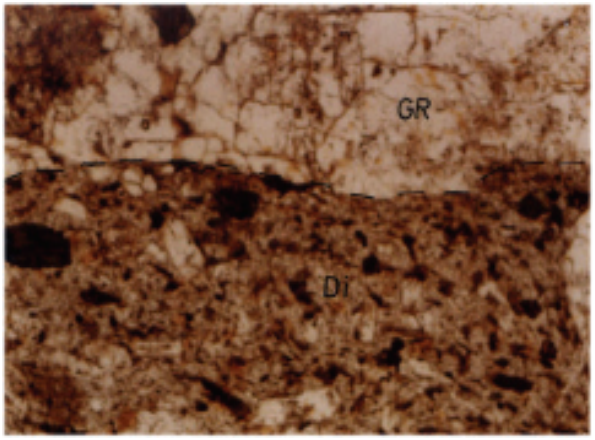


تصویر ۴- مقطع میکروسکوپی سنگ گرانیت، آمفیبول به عنوان کانی اصلی به همراه کانی های دیگر مانند بیوتیت، پلاژیوکلاز و کانی های تیره (اپاک).

تصویر ۵- دایک ها و استوک های تزریق شده، به عنوان یکی از ویزگی های گرانیت زاهدان، به کوه یک منظره لایه لایه داده‌اند

۶- اقلیم

از نظر مطالعات اقلیم‌شناسی، منطقه ی جنوب شرق ایران دارای آب و هوای گرم و خشک با تغییرات شدید درجه حرارت روزانه و سالانه در مرز میانی اقلیم بیابانی- نیمه بیابانی واقع است. این خصوصیات اقلیمی، نقش عمده ای در تخریب و فرسایش سنگ ها و ایجاد ساخت های مورفولوژیکی ایفا می کنند. حداکثر دمای مطلق سالانه در محدوده ی شهرستان زاهدان حدود ۴۰ تا ۴۲ درجه سلسیوس در بعدازظهر روزهای گرم تیرماه و حداقل دما نیز تا چند درجه زیر صفر، در شب های ماه های آذر و دی گزارش شده اند. بین حداکثر و حداقل درجه حرارت در طی فصول سال و حتی در یک شبانه روز اختلاف شدیدی (۴۰ تا ۴۵ درجه ی سلسیوس)، دیده می شود (جدول ۱). در این منطقه، رودخانه ی دائمی وجود ندارد. حداکثر نزولات جوی سالانه، در آمار سی ساله ی اخیر حدود، ۹/ ۱۸۳ (سال ۷۵-۷۴) میلی متر، به صورت بارش، در اواخر زمستان و اوایل بهار و حداقل آن ۱۸/۷ میلی متر (سال ۸۱-۸۰) می باشد. میانگین بارش سالیانه در آمار (۸۱-۵۰)، ۷۵/۵ میلی متر گزارش شده است. نزولات جوی کم با توزیع نامناسب و دوره های بارش کوتاه، پوشش گیاهی ناچیز و جنس و شیب زمین، شاخص هایی هستند، که وضعیت هوازدگی سطحی و زیرزمینی منطقه را تحت تاثیر قرار می دهند. بارش های سنگین کوتاه مدّت، بیشتر به صورت سیلابی و مخرب عمل می نمایند. مقدار زیاد آن بارش ها به هدر می رود و باعث ایجاد چشم اندازهای مناطق خشک و بیابانی با ساختار سیلابی می شوند. از این رو مهم ترین عامل فرسایشی و به وجود آورنده ی سیمای جغرافیای طبیعی در منطقه ی جنوب شرق ایران، سیلاب های فصلی و باد است. گزارش ثبت بارندگی در ایستگاه شهرستان زاهدان (سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان ۱۳۸۵) در جدول ۱



تصویر ۶- مقطع میکروسکوپی کنتاکت دایک با سنگ میزبان و دایک ها با رنگ سبز تیره. رگه های کوچک سفید کوارتز شکستگی ها را پر نموده اند.

تصویر ۷- وجود انکلاوها در سنگ گرانیت از نظر معدنچیان و تجار سنگ عیب و نقص تلقی می شود. چنین سنگ های گرانیتی را سرطانی می نامند.

تصویر ۸-توصیف قطعات سنگی بیگانه در داحل سنگ‌های آذرین همگن، تفاوت رنگ و جنس این انکلاوها با سنگ میزبان آن ها، به خوبی نمایان است

نشان داده شده است. از نظر زمین شناسی تاریخی و پالئوژئومورفولوژی هیچ گونه شواهدی از یخچال طبیعی یا تأثیر عصر یخبندان در این منطقه وجود ندارد. هوازدگی های عمیق آن‌طورکه در بسیاری از مناطق اروپا وجود دارد، نیز مشاهده نشده است. حداکثر کاهش دما، منفی ۱۱ درجه‌ی سلسیوس، آن هم فقط برای چند روز می باشد (جدول ۱). واقعیت اقلیمی گذشته‌ی کره‌ی زمین، در مدار حدود ۳۰ درجه‌ی شمالی این مناطق، حداقل از الیگوسن تاکنون چندان تغییر نداشته است، به این دلیل یخبندان‌های طولانی مدّت، مانند آلپ اروپایی یا یخبندان های شدید قطبی در این مدار جغرافیایی وجود نداشته است (Crowley & North 1996, Davis et al. 2003).

۷- هوازدگی ها

هوازدگی عبارتست از کنده شدن یا خوردگی ابتدایی سطوح زمین، که موجب تسریع در روند ایجاد شکل های سنگی و جابجایی جرم مواد قشری زمین و فرسایش می شود (Einsele 1983). بررسی های سنگ‌شناسی و فرایند شیمیایی و مکانیکی هوازدگی در محیط بیرونی، طیف کاملی از انواع هوازدگی را نشان می دهند، یعنی از پوسته ی هوازده ی غالباً شکننده و بی رنگ شده ی جداره ی صخره ی سنگ و شن ها تا تجزیه و فروپاشی کامل سنگ به خاک. وقتی سنگ سخت و محکم در معرض تأثیرات اتمسفری و بیوسفری قرار می گیرد، از لحاظ مکانیکی بی ثبات شده و از لحاظ شیمیایی اغلب به یک سنگ نسبتاً پوک تبدیل می شود. گرانیت به عنوان یک سنگ بسیار سخت و محکم، در برابر عوامل هوازدگی مانند باد و باران و عوامل مختلف فیزیکی و شیمیایی و با کسب ترک های ریز و درشت در سطح سنگ، دچار فرسایش و فروپاشی می شود. توده‌ی گرانیتی زاهدان از جمله گرانیت هایی است که تحت تأثیر عوامل هوازدگی، به ویژه هوازدگی فیزیکی و تخریب شیمیایی قرار گرفته است.

۷-۱- تأثیر آب

آب در تمام سنگ ها باعث کاهش استحکام و سفتی می شود، این تأثیر به خصوص در محدوده ی هوازده ی سنگ ها بسیار بارز است، زیرا چسبندگی ظاهری یا واقعی اجزاء سنگ، که بستگی به درجه ی نفوذ رطوبت دارد، می تواند نسبتاً سریع کاهش یا افزایش یابد (Kirby & McCormick 1984).

هوازدگی در گرانیت ها، بر اساس نوع آب و هوا و میزان زمان سپری شده بر آن، یعنی تاریخ زمین شناسی آن، بسیار متفاوت ظاهر می گردد. شیارها و کانال‌های متعدّد و گوناگون ایجاد شده توسّط آب و خزه ها (آلگ ها)، عمدتاً در سطح و زیر سطح زمین، مناظر بسیار قابل توجّهی را به منطقه ای در ایلگارن کراتون (Yilgarn Craton) در جنوب غرب استرالیا بخشیده است (Twidale & Bourne 2003). گونه ای از هوازدگی در بسیاری از گرانیت های منطقه راین لاند فالز آلمان (Rheinland-Phalz) و همچنین در جنگل های اودن والد (Odenwald)، به‌خصوص در بنزهایم و زه هایم (Bensheim und Seeheim)، در کنار شهر دارمشتات وجود دارد، جایی که گرانیت ها تا عمق مشاهده شده ی ۳۰ متر از سطح زمین، کاملاً درجا هوازده می باشند و ساختمان گرانیت همانند اصل سنگ بدون تغییر ظاهری پابرجای مانده است. در آن منطقه استحکام توده های سنگی آن‌چنان ضعیف شده که بدنه‌ی گرانیت، برجا دانه دانه شده، توسّط بیل مکانیکی، بدون نیار به انفجار و یا تجهیزات اضافی، به‌عنوان ماسه برای پخت آسفالت، پخش در پیاده روهای پارک های طبیعی و یا پخش در خیابان ها و جاده های یخ-بسته ی زمستانی و غیره مورد استخراج قرار می گیرد (مشاهدات مستقیم نویسنده اول). در این نوع هوازدگی ساختمان کانی های تشکیل دهنده‌ی سنگ، حتی فلدسپات ها و تا حدودی بیوتیت ها تخریب و تجزیه نشده، بلکه عمدتاً، حالت قفل‌شدگی کانیایی و چسبندگی بین کانی ها از بین رفته است (Matthess1964).

جدول۱- ویژگی های دمایی در ایستگاه شهرستان زاهدان (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان سیستان و بلوچستان ۱۳۸۶)

نام ماه	معدل حداکثر oC	معدل حداقل oC	حداکثر مطلق oC	حداقل مطلق oC	متوسط دما oC
فروردین	۲۶/۲	۹/۹	۳۵/۰	۱/۸	۱۸/۰
اردیبهشت	۳۰/۵	۱۶/۲	۳۵/۰	۱۱/۲	۲۳/۴
خرداد	۳۳/۵	۱۸/۴	۳۹/۱	۱۳/۴	۲۶/۰
تیر	۳۸/۷	۲۱/۵	۴۲/۲	۱۸/۴	۳۰/۱
مرداد	۳۶/۶	۱۹/۱	۳۸/۴	۱۵/۰	۲۷/۹
شهریور	۳۵/۱	۱۶/۱	۳۸/۶	۱۰/۷	۲۵/۶
مهر	۳۱/۵	۱۲/۵	۳۵/۶	۷/۵	۲۲/۰
آبان	۲۴/۲	۷/۴	۳۲/۴	۱/۲	۱۵/۸
آذر	۲۰/۰	۰/۹	۲۴/۹	-۳/۶	۱۰/۴
دی	۱۴/۲	-۰/۸	۲۱/۷	-۱۱/۳	۶/۷
بهمن	۲۱/۳	۸/۶	۲۶/۴	-۳/۴	۱۵/۰
اسفند	۲۲/۵	۶/۲	۲۸/۰	-۱/۱	۱۴/۴

این‌گونه پدیده ها نشانه هایی از هوازدگی یخبندانی و ذوب های متناوب طولانی‌مدّت دوره های مختلف زمین شناسی می‌باشند.

در منطقه ی زاهدان میزان بارش سالانه و رطوبت بسیار کم است. بنابراین میزان دگرسانی شیمیایی ناشی از عوامل خارجی، قابل چشم پوشی می باشد. اشکال دندریتی اکسید های منگنز و نوارهای متحدالمرکز اکسید آهن، بر روی سنگ های گرانیتی منطقه ناشی از هوازدگی سطحی می باشند.

۷-۲- تأثیر باد و ایجاد تافونی

باد در مقایسه با آب های جاری و یخ های متحرک، حتّی در صحراها، عامل فرسایشی کم اهمّیّت تری است. اگر چه فرسایش باد محدود به نواحی خشک و نیمه خشک نیست، امّا بیشترین تأثیر را در همین نواحی دارد. هوای آشفته، ذرات ریز ماسه و غبار را از سطح زمین برمی کند و به حالت معلق در هوا نگه می‌دارد. با حرکت هوا و ایجاد باد این ذرات به سنگ ها و کوه ها برخورد کرده و در هر برخورد مقداری از بخش های سست را از سنگ جدا می کنند و بدین ترتیب تافونی(Tafoni) ایجاد می شود.

جهت وزش بادها در منطقه ی زاهدان درطی فصول مختلف سال، روند کلّی شمال شرق- جنوب غرب دارد و لیتولوژی های منطقه را تحت تاثیر فرسایش فیزیکی خود قرار می دهند (تصویر ۹).

قسمتی از توده‌ی گرانیتوئیدی زاهدان تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد. توده‌ی گرانیتوئیدی دارای انکلاوهایی است، که نسبت به خود سنگ گرانیت از استحکام کمتری برخوردارند و هنگام برخورد ذرات، بیشتر تحت تأثیر فرسایش بادی قرار می گیرند، به طوری که ذرات آن‌ها از هم می پاشند و جای خالی آن‌ها به‌صورت حفراتی در سنگ باقی می مانند. در بعضی موارد، که سنگ میزبان در اثر هوازدگی ضعیف شده است، آنکلاو به‌صورت برآمدگی برجای مانده و اطراف سنگ به‌صورت لایه های پوست پیازی تخریب شده است (تصویر ۱۰). نوع دیگر قطعات بیگانه در توده گرانیتی زینولیت (Xeno-lith) است. همچنین نام دیگر این نوع هوازدگی، لانه زنبوری (Honeycomb Weathering) است. براثر خروج زینولیت‌ها از توده ی گرانیتی، حفرات متعدّد گرد و کرات توخالی در سنگ ایجاد می گردد و بدین ترتیب به آن نمای کارستی و شکل هایی کاواک مانند می بخشد (تصویر ۱۱)، که در مجموع به آن ها اشکال لانه زنبوری اطلاق می گردد. گاه اهالی بومی از حفرات بزرگ حاصل از این پدیده به عنوان سایه بان احشام استفاده می کنند.

تصویر ۹- تافونی(Tafoni) ، شکل های گود مانند، در بخش هایی از گرانیت زاهدان، خروج زینولیت ها و فرسایش لانه زنبوری

تصویر ۱۰- تفاوت در هوازدگی فیزیکی، ضعف در سنگ میزبان، آنکلاو به صورت برآمدگی برجای مانده و اطراف سنگ به صورت لایه های پوست پیازی تخریب شده است

تصویر ۱۱- نمای کارستی وشکل های کاواک مانند، هوازدگی فیزیکی، خروج زینولیت‌ها و اشکال کارستی در گرانیت های لوچان

۷-۳- ریشه ی درختان

ریشه‌ی درختان، رسوبات موجود در درز و شکاف های سنگ های گرانیتی را حفر نموده و بدین ترتیب نفوذپذیری سنگ را در محدوده های هوازده افزایش می دهند و یا با افزایش رطوبت آن مواد، نفوذپذیری کاهش می یابد.

هوازدگی بیومکانیکی به صورت رشد ریشه های گیاهان در درون درزه ها و ترک های ایجاد شده در توده ی نفوذی زاهدان دیده می شود. بدون وجود خاک های توده ای، ریشه‌ی درختان برای به‌دست آوردن آب و غذا به درون درزه و شکاف، جایی که لایه ای از هیدروکسید آهن و دیگر کانی های رسی و آب وجود دارند، نفوذ نموده و باعث رشد گیاه و تخریب سنگ می شوند.

ریشه ی درخت های پسته‌ی کوهی زاهدان معروف به «بنه» در درون درز و شکاف سنگ گرانیت نفوذ نموده و فعالیت گوه مانند یا شکافندگی ریشه ی گیاهان رشدیابنده، به‌عنوان هوازدگی مکانیکی تشریح می شود (تصویر ۱۲). شبکه‌ی دو بعدی یا صفحه هایی از

بعدی یا صفحه هایی از ریشه های درهم پیچیده می توانند تا چندین متر در امتداد سطوح سنگ ها در داخل زمین تا رسیدن به سنگ تازه ی هوانزده پیش روند. قابل تصور است که رشد ریشه گیاهان فشاری را به سطح سنگ اعمال می‌کند و به ترک ها بازشدگی را تحمیل می نماید (تصویر ۱۲).

ریشه ها مسیرهای کم‌مقاومت را طی می کنند و خود را با هر بی نظمی کوچک ترک مانند هم تطبیق می دهند. امّا شکاف‌های ایجاد شده از طریق دیگر پروسه ها، توسط ریشه ها نگهداری می شوند و مواد گیاهان در حال تجزیه و ناخالصی های قرار گرفته در شکاف ها، سطح سنگ‌ها را مرطوب و از نظر شیمیایی فعّال نگه می دارند. به علاوه، وقتی درخت ها تحت تأثیر باد شدید تکان می خورند، ریشه هایشان، سنگ ها را از جای می کنند.

در هر حال اثر ریشه ها به‌عنوان عامل هوازدگی مکانیکی احتمالاً بیش‌ارزشیابی شده است، ولی اهمیّت آن به مثابه هوازدگی شیمیایی کم ارزشیابی شده است. سانگ (Song et al. 2007) تأثیر هوازدگی شیمیایی باکتری باسیلوس سابتیلیس *(Bacillus subtilis)* را روی گرانیت برّرسی و تشخیص داد که پلاژیوکلاز ها بیشتر از بیوتیت ها نسبت به آن باکتری زخم پذیر هستند.

۷-۴- تغییرات تابشی خورشید و سرمای شبانه

اثرات ناشی از عرض پائین جغرافیایی به‌صورت تابش شدید خورشید، درجه ی حرارت نسبتاً بالا، تغییرات شدید درجه ی حرارت شبانه روزی و فصلی، وزش بادها و عدم استقرار طولانی مدّت ابرها، سبب ظهور مجموعه ای از خصوصیات آب و هوای صحرایی در منطقه می شود. نوعی از فرسایش فیزیکی ناشی از تابش خورشید و سرمای شبانه،

تصویر ۱۲- فعالیت گوه مانند یا شکافندگی ریشه ی گیاهان رشدیابنده، به خصوص ریشه ی درختان، به عنوان هوازدگی مکانیکی

پوسته پوسته شدن سطح سنگ گرانیت است، به‌طوری‌که ورقه هایی به موازات یکدیگر از سطح سنگ جدا می شوند، به این پدیده پوست پیازی شدن (Exfoliation domes) می‌گویند. نمونه های زیادی از این نوع هوازدگی در توده ی گرانیتی زاهدان مشاهده می شود (تصویر ۱۳). این پدیده در اثر تابش شدید آفتاب و همچنین در مواردی هم به علّت کاهش فشار حاصل از وزن سنگ های رویی، ناشی از فرسایش یا جابجایی های دینامیکی- تکتونیکی می باشد.

عامل رطوبت و آب در شب های سرد به صورت یخبندان در درزه و شکاف ها سبب شده که تجزیه و تخریب عمدتاً به صورت فیزیکی شکل گیرد. آب در هنگام یخ زدن ۹ در صد افزایش حجم دارد. بر اثر انبساط حاصل از یخ زدن و ذوب شدن های متوالی و ایجاد فشارهای مکرّر به سنگ، فرسودگی و در نهایت خوردشدگی حاصل می شود.

هوازدگی مکانیکی صخره ها در اثر تغیرات دمایی می تواند در اثر فرسایش های ناشی از تنش دمایی، به‌وسیله‌ی تناوب گرما و سرما و یا شوک گرمایی یعنی تغیرات شدید و یا ناگهانی دما ایجاد شود (Yatsu 1988). انبساط حجمی دمایی کوارتز سه برابر فلدسپات است. همچنین کوارتز، فلدسپات و بسیاری از دیگر کانی های معمول تشکیل دهنده‌ی سنگ، تحت تأثیر گرما، به طرز بسیار غیریکنواخت انبساط می یابند، در امتداد یک محور کریستالوگرافی، ۲۰ برابر محور دیگر انبساط دارند. بنابراین تغییرات دمایی فشارهایی را داخل و بین دانه های کانی ایجاد می کنند، که باعث جدایش آن‌ها می‌شود. صخره‌ها و تخته‌سنگ ها در حالت کلّی رسانایی گرمایی ضعیفی دارند، پس گرادیان های دمایی شدید، فقط در چند سانتی‌متر بیرونی یک صخره، نفوذ می کنند.

گودی (Goudie 1989) معتقد است که درجه حرارت زمین در بیابان ها به بیش از C ۸۵ می رسد. در طول ساعات روز، چند سانتی‌متر بیرونی یک صخره نسبت به قسمت های عمیق تر انبساط می یابند، زیرا دما با افزایش عمق سریعاً کاهش می یابد، ولی وقتی‌که لایه های خارجی تر سرد می شوند، نسبت به لایه های داخلی گرم تر، سریع تر منقبض می شوند. این اثر تأخیری روزانه، تنش های کششی و فشارشی متناوب در سنگ ایجاد می کند، مخصوصاً در چند میلیمتر بیرونی صخره، جایی که تغییرات دما بسیار شدید است(Warcke & Smith 1994) . وقتی

تصویر ۱۳- هوازدگی و تخریب فیزیکی به صورت هوازدگی پوسته پیازی جدا شدن ورقه هایی به موازات یکدیگر از سطح سنگ

درجه حرارت به ۶۰ تا ۷۰ درجه‌ی سلسیوس می رسد و اثر آن با بیشتر گرم شدن، به سرعت افزایش می یابد، میکروترک ها، همان گونه که توسط امواج صوتی قابل اندازه گیری و شناسایی هستند، به مرور زمان باز می شوند (Yatsu 1988).

۸- سست شدگی ناشی از عوامل داخلی

عوامل داخلی، مانند جنس و ساخت سنگ و عواملی که از درون زمین نشأت می‌گیرند مانند فشارهای درونی و جانبی، حرارت و محلول های گرم حاوی مواد گازدار شیمیایی، نیز باعث سست شدگی و تخریب سنگ می شوند و هوازدگی های ناشی از عوامل خارجی را تشدید می نمایند.

۸-۱- تأثیر عوامل شیمیایی

عمده ترین پدیده ی هوازدگی شیمیایی در باتولیت زاهدان، آلتراسیون و کائولینیتی شدن برخی از کانی های فلدسپات در سنگ های گرانیتی به ویژه در دامنه های کوه منزل آب است. این پدیده سبب سست شدن بافت دانه ای سنگ ها و حمل مواد تخریب شده به‌وسیله ی آب یا باد می شود.

آلتراسیون گرانیت ها ممکن است در ارتباط با سیالات هیدروترمال فازهای نهایی تبلور ماگمایی یا مرتبط با فرآیندهای دگرشکلی حاصل از زون های برشی باشد. در اکثر سنگ‌های گرانیتی پلاژیوکلازهای دارای ساخت منطقه ای از قسمت مرکزی شروع به تجزیه شدن می نماید و سپس اطراف کانی تجزیه می شود. درصورتی‌که ساخت منطقه ای همراه با تجزیه‌شدگی فلدسپارها در توده زیاد باشد، قطعاً بافت این سنگ ها، راحت تر تخریب و موجب تسریع در عملکرد فرآیندهای هوازدگی می گردد. میزان تجزیه‌شدگی کانی های بیوتیت نیز در امر مذکور موثّر است. در هوازدگی شیمیایی، ساختمان داخلی کانی ها، بر اثر کاهش یا افزایش عناصر تغییر می کند. آب عامل اصلی هوازدگی شیمیایی است. اکسیژن محلول در آب، بعضی از مواد به ویژه کانی های آهن دار، مانند میکاها، هورنبلندها و اوژیت ها را، اکسیده می کند و اسیدکربنیک و دی اکسیدکربن به وجود آمده، در گرانیت ها که عمدتاً از کوارتز و فلدسپات پتاسیم دار ترکیب یافته اند، واکنش زیر را ایجاد می کنند.

$$2\ KAlSi_3O_8 + 2H_2CO_3 + 9H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4H_4SiO_4 + 2HCO^{3-} + 2K^+$$

در این واکنش یون هیدروژن جانشین پتاسیم فلدسپات می شود و ساختمان بلوری آن را به هم می ریزد. کوارتز یکی از کانی های اصلی گرانیت است که در مقابل هوازدگی شیمیایی بسیار پایدار بوده و به صورت تجزیه نشده باقی می ماند. بلور های فلدسپات با گذشت زمان به کانی رسی تبدیل می شوند.

در بعضی از قسمت های گرانیت زاهدان مشاهده می شود که توده کریستالین درجا هوازده شده است، به‌ترتیبی‌که ساختمان ظاهری گرانیت از هم نپاشیده، رنگ سنگ به خاکستری روشن و گاهاً به قهوه ای تبدیل شده است. با ضربات پشت چکش به سنگ، از آن صدای بم ساطع می شود، ضربات نوک چکش، سنگ را به راحتی به صورت پودر دانه ای در می آورد.

این علائم نشان می دهد که کانی‌های میکا و فلدسپات در اثر نوعی هوازدگی به کانی های رسی تبدیل شده و با از بین رفتن چسبندگی بین سطوح صاف کریستال‌ها، بافت و ساخت سنگ از هم گسسته شده است. این پدیده نه فقط در آبراهه ها بلکه در بعضی دامنه های به دور از جریان نسبتاً دائمی

تصویر ۱۴- جهت یافتگی گسل ها در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی و سیلیسی شدن در امتداد درزه ها همراه با بلورهای کوارتز

آب، هم مشاهده شده است. در آبراهه ها سنگ های بسیار ستبر، پایدار و صیقل یافته و با فاصله‌ی درزه ای در حد ۳- ۴ متر نیز مشاهده شده است، به‌طوری‌که هیچ نوع علائمی از هوازدگی شیمیایی در آن مشاهد نمی شود. این پدیده بیانگر این است که این نوع هوازدگی نه در اثر وجود جریان آب در آبراهه ها یا عوامل بیرونی زمین، بلکه باید در اثر عوامل درونی زمین مانند ساطع شدن گازها و خروج موضعی هیدروترمال‌ها ایجاد شده باشند.

۸-۲- تأثیر تنش‌های مکانیکی در ایجاد ترک ها

آزاد شدن فشار منجر به ایجاد شکستگی های متعدد در سنگ می شود. قسمت هایی از توده ی گرانیتوئیدی زاهدان تحت تأثیر این نوع هوازدگی قرار گرفته است. گرانیت ها توسّط درزه های تکتونیکی عمود برهم به بلوک های متعدّد تقسیم شده اند.

در مناطقی از توده‌ی گرانیتی، میلونیت‌ها، جهت یافتگی گسل ها در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی و سیلیسی شدن در امتداد درزه ها همراه با بلورهای شکل دار کوارتز، خمیدگی در بلورهای بیوتیت و کشیدگی بلورهای فلدسپات، مشاهده می شوند (کشتگر و نظری ۱۳۸۶). بسیاری از درزه های موجود در گرانیت به صورت ثانویه با کوارتز پر شده اند (تصویر ۱۵).

سنگ های بلورین با ترک های ریز مشخص اند. نوعی از این ترک ها، درون دانه ای هستند (Fredrich et al. 1995). میکروشکاف های گرانیت در طی سردشدن ماگما ایجاد و به سرعت شکل گرفته اند. همچنین پلاژیوکلاز ها دیرتر شکل گرفته اند. مخصوصاً کوارتز که ترک ها را بلاجبار در خود جای داده است (Bouchez 1992).

در گرانیت های زاهدان مشاهده می گردد که ماکروترک ها در هنگام سرد شدن نیز ایجاد شده‌اند. تصویر۱۵ نشان می دهد که ماگمای تفتیده در اثر نیرو های کششی درحال شکافندگی هستند.

تصویر ۱۵- شکاف های ممتد و ناممتد با لبه های گرد در تخته سنگ های گرانیت لوچان، نشان می دهد که ماگمای گداخته در هنگام سرد شدن و در اثر تنش های تکتونیکی، احتمالا نیرو های کششی، دچار شکافته گی شده است. به‌نظر می‌رسد که سطح و لبه های سنگ در اثر هوازدگی ایجاد نشده است و قبل از انجماد کامل شکل گرفته و اکنون بسیار مستحکم می باشد.

۹- نتیجه‌گیری

این سنگ ها در مقاطع ماکروسکوپی، نسبتاً دانه متوسط و رنگ روشن و در مقاطع میکروسکوپی بافت گرانولار دارند. کانی های اصلی آن بیوتیت شکل دار، کوارتز به میزان فراوان و پلاژیوکلازهای زوناسیون دار می‌باشند. سنگ های میزبان در اثر تماس دایک ها و استوک های تزریق شده، به هورنفلس تبدیل شده اند. انکلاوهای موجود در گرانیت ها، در مقطع میکروسکوپی بافت میکروگرانولار دارند. رنگ آن ها تیره و ریزدانه است و به‌دلیل فراوانی کانی های آمفیبول و بیوتیت، تفاوت رنگ و جنس آن ها با سنگ میزبان، به خوبی نمایان است.

سنگ های گرانیتوئیدی زاهدان مستقیماً در معرض اقلیم گرم و خشک قرار گرفته اند. قسمتی از آن تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد. انکلاوها نسبت به خود سنگ گرانیت از استحکام کمتری برخوردار هستند و هنگام برخورد ذرات، بیشتر تحت تأثیر فرسایش بادی قرار می گیرند، در بعضی موارد، که سنگ میزبان در اثر هوازدگی ضعیف شده است، آنکلاو به صورت برآمدگی برجای مانده و اطراف سنگ به صورت لایه های پوست پیازی تخریب شده است.

بلوک های متعدد تقسیم شده اند.

فرسودگی هیدروترمالی در بسیاری از موارد با عمق، افزایش می‌یابد، درصورتی که اثر هوازدگی فلوئیدهای جاری در سطح زمین با عمق کاهش می یابد.

هوازدگی بیومکانیکی به صورت رشد ریشه های گیاهان در درون درزه ها و ترک های ایجاد شده در توده ی آذرین نفوذی زاهدان دیده می شود. ریشه درختان برای به دست آوردن آب و غذا به درون درزه و شکاف، جایی که لایه ای از هیدروکسید آهن و دیگر کانی های رسی و آب وجود دارند، نفوذ نموده و باعث رشد گیاه و تخریب سنگ می شوند.

در هوازدگی شیمیایی، ساختمان داخلی کانی ها، بر اثر کاهش یا افزایش عناصر تغییر می کنند. کانی های مقاوم تر کوارتز و فلدسپات به صورت منفصل و دانه دانه درآمده و سنگ سخت آذرین پودر می شود. همچنین آزاد شدن فشار منجر به ایجاد شکستگی های متعدد در سنگ شده و توسّط درزه های تکتونیکی عمود برهم و عوامل ساختاری به بلوک های متعدد تقسیم شده اند.

تمام زمین شناسان مهندس و ژئوتکنیک ها برای برداشت و مشخص نمودن پروفیل هوازدگی نیاز به یک روش استاندارد و روش های عملی صحرایی دارند. این وظیفه، برای ایجاد یک طرح طبقه‌بندی واحد و کاربردی در زمین شناسی مهندسی لازم و ضروری می باشد. در بررسی های آینده شایسته است، به منظور کسب ارتباط هوازدگی با واقعیت های پترو گرافیکی، پترولوژیکی و تکتونیکی، داده های ژئوشیمیایی از سنگ های هوازده و غیرهوازده تهیه و اندازه گیری های ساختاری بر روی آنکلاو ها، انجام و با هم مقایسه شوند.

مراجع

اشتوکلین، ی.، افتخارنژاد، ج. و هوشمندزاده، ع.،۱۳۵۲، "برّرسی مقدّماتی زمین شناسی در لوت مرکزی، خاور ایران"، *ترجمه ی علی انتظام و جمشید افتخارنژاد، ۱۳۶۵، گزارش شماره ی ۲۲، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.*

افتخارنژاد، ج.، ۱۳۶۵، "تکتونیک صفحه ای شرق ایران"، *سمینار قابلیت های زمین شناسی استان سیستان و بلوچستان، سازمان معادن و فلزات*

استان سیستان و بلوچستان، زاهدان.

پورکرمانی، م. و زمردیان، م. ج.، ۱۳۷۱، "بحثی پیرامون ژئومورفولوژی استان سیستان و بلوچستان"، *فصلنامه ی تحقیقات جغرافیایی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، سال سوم، شماره‌ی سوم، صفحه‌ی ۱۷۲-۱۵۹.*

تیوای، م.، ۱۳۸۱، "پترولوژی و ژئوشیمی دایک‌های تیره فراوان در جنوب زاهدان"، *پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه تهران، ۱۵۰ص.*

حسینی، م.، ۱۳۸۱، "پترولوژی و ژئوشیمی گرانیتوئیدهای جنوب غرب زاهدان"، *پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه تهران، ۲۹۰ص.*

صادقیان، م.، ۱۳۸۲، "ماگماتیسم، متالوژنی و مکانیسم جایگزینی توده‌ی گرانیتوئیدی جنوب زاهدان"، *رساله‌ی دوره ی دکتری، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه تهران، ۴۶۵ص.*

کشتگر، ش.، ۱۳۸۳، "پترولوژی، ژئوشیمی و تحلیل ساختاری گرانیت‌های کوه زرگلی (شمال غرب زاهدان)"، *پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه تهران، ۱۶۱ ص.*

کشتگر، ش. و کنعانیان، ع.، ۱۳۸۲، "معرفی زون‌های برشی موجود در شمال‌غرب زاهدان (کوه زرگلی)"، *لوح فشرده‌ی مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.*

کشتگر، ش. و نظری، م.، ۱۳۸۶، "بررسی فابریک‌های دگرشکلی و مکانیسم جایگزینی گرانیت‌های شمال غرب زاهدان (کوه زرگلی)"، *فصلنامه ی زمین شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال سوم، شماره۲ :-۱۲۹ ۱۴۳.(in Persian with English abstract).*

سامانی، ب. و اشتری، ش.، ۱۳۷۱، " تکوین زمین شناسی ناحیه ی سیستان و بلوچستان"، *فصلنامه ی علوم زمین، دوره ی ۱، شماره ی ۴: ۲۵-۱۴.*

صاحب‌زاده، ب.، ۱۳۷۵، "پترولوژی و پتروگرافی توده ی آذرین نفوذی زاهدان، بخش یک پارچه ی لوچان"، *پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران.*

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۵، "سالنامه‌ی آماری استان سیستان و بلوچستان"، *معاونت آمار و اطلاعات.*

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۶، "سالنامه‌ی آماری استان سیستان و بلوچستان"، *معاونت برنامه‌ریزی.*

دی دیه، ژ. و باربارن، ب.، Didier, Jean & Barbarin, Bernard، ترجمه: ولی زاده، م. و.، صادقیان، م. و اکرمی، م. ع.، ۱۳۸۰، "آنکلاوها و پترولوژی گرانیت"، *انتشارات دانشگاه تهران، ۹۲۳ ص.*

Bouchez, J. L., Delas, Ch., Gleizes, G., Nédélec, A. & Cuney, M., 1992, "Submagmatic microfractures in granites", *Geol. Soc. Am., Geol., Vol. 20 (1): 35-38.*

Calcaterra, D., Parise, M. & Dattola, L., 1996. "Debris-ows in deeply weathered granitoids (Serre Massif-Calabria, southern Italy)", *In: Senneset, K. (Ed.), Proc. Seventh Int. Sym. Landslides, Balkema, Trondheim: 171-176.*

Camp, V. E. &Griffis, R. J., 1982, "Character, genesis, and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan Suture zone, eastern Iran", *Lithos, Vol. 15: 221-239.*

Chigira, M., 2001, ''Micro-sheeting of granite and its relationship with landsliding specifically after the heavy rain¬storm in June 1999, Hiroshima Prefecture, Japan'', *Eng. Geol., Vol. 59: 219-231,*

Crowley, T. J. & North, G. R., 1996, "Paleoclimatology", *Oxford Monographs on Geology and Geophys. No. 18; Oxford, UK: Clarendon Press Series, ISBN 0-19-510533-8.*

Davis, B. A. S., Brewer, S., Stevenson, A. C. & Guiot, J., 2003, "The temperature of Europe during the Holocene recon-structed from pollen data", *Quaternary Sci. Rev., Vol. 22: 1701-1716.*

Durgin, P. B., 1977, "Landslides and the weathering of granitic rocks", *Geol. Soc. Am. Rev. Eng. Geol., Vol. 3: 127-131.*

Einsele, G., 1983, "Mechanismus und Tiefgang der Verwitterung bei mesozoischen Ton- und Mergelgesteinen", *Z. Dt. Geol. Ges., Vol. 134: 289-315.*

Einsele, G., Heitfeld, K. H., Lempp, Ch. & Schetelig, K., 1985, "Auflockerung und verwitterung in der Ingenieur¬geologie: Übersicht, Feldansprache, klassifikation (Verwitterungsprofile) – Einleitender Beitrag", *In: Heitfeld, K.-L. (Herausgeber), Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker und Festgesteinen, S.2-23, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, Tokyo.*

Fredrich, J. T., Menendez, B. & Wong, T. F., 1995, "Imaging the pore structure of geomaterials", *Science, Vol. 268(5208): 276-279.*

Goudie, A. S., 1989, "Weathering processes", *In: Thomas, D. S. G. (Ed.), Arid Zone Geomorphology: Halsted Press, New York: 11-24.*

Kirby, S. H. & McCormick, J. M., 1984, "Inelastic mechanical properties of rocks and minerals", *in: Carmichael, R. (ed), physical properties of rocks and minerals, Vol. 3: 139-280, CRC Press*

Matthess, G., 1964, "Zur Vergrussung der Magmatischen Tiefengesteine des Odenwaldes", *Notizbl. Hess. LA f. Bodenfor-schung, Vol. 92: 160 – 178, Wiesbaden*

Murphy, S.F., Brantley, S.L., Blum, A.E., White, A., Dong, H. ,1998, "Chemical weathering in a tropical watershed, Luquillo Mountains, Puerto Rico, II. Rate and mechanism of Biotite weathering", Geo**chim. Cos-**

mochim. Acta, Vol. 62: 227-243.

Song, W., Ogawa, N., Oguchi, C. T., Hatta, T. & Matsukura, Y. , 2007, "Effect of bacillus subtilis on granite weatheing: A laboratory experiment", *Catena (Cremlingen), Vol. 70 (3): 275-281.*

Stauffer, D. R. & Seaman, N. L., 1990, "Use of four-dimensional data assimilation in a limited area mesoscale model, Part I: Experiments with synoptic-scale data", *Mon. Wea. Rev., Vol. 118: 1250-1277.*

Stillman, Ch., 2007, "Granite Landscapes of the World", *The Geographical J. London, Vol. 173, Part 1, p. 94, 2 pgs.*

Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. & Camp, V. E., 1983, "The Sistan suture zone in eastern Iran", *Geol. Am. Bull. 94: 134-150.*

Twidale, C. R. & Bourne, J. A., 2003, "Orogin and inversion of fluting in granitic rocks", *Australian J. Earth Sci., Vol. 50: 543-552.*

Warcke, P. A. & Smith, B. J., 1994, "Short-term rock temperature fluctuations under simulated hot desert conditions: some preliminary results", *In: Robinson, D. A. & Williams, R. B. G. (Eds.), Rock weathering and landform evolution, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK: 57-70.*

White, A. F., Blum, A. E., Schulz, M. S., Vivit, D. V., Stonestrom, D. A., Larsen, U. S., Murphy, S. F. & Eberl, D., 1998, "Chemical weathering in a tropical watershed, Luquillo mountains, Puerto Rico: I. long-term versus short-term weathering", *Geochim. Cosmochim. Acta., Vol. 62: 209-226.*