Archive of SID

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۲۷، پیاپی ٦٤، شـماره ٤، زمسـتان ۱۳۹۵

بررسی مورفومتری گرزهای دیو واقع در ژئوپارک پیشنهادی غرب خراسان رضوی

علی اکبر شایان یگانه *: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی ، دانشگاه حکیم سبزواری ، سبزوار ، ایران
محمد علی زنگنه اسدی: دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری ، سبزوار ، ایران
ابولقاسم امیر احمدی: دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری ، سبزوار ، ایران

وصـول: ۱۳۹۳/۳/۱ پـذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۷ ، صص ٥٦-٤١

چکیده

گـرز دیـو یکـی از ژئومورفوسـایت‌هـای ژئوپـارک پیشـنهادی غـرب خراسـان رضـوی اسـت کـه بـه دلیـل کمیـابی، شگفت‌انگیزبودن و نشان‌دادن فرایندهای زمین‌شناسی، توجه ژئومورفولوژیست‌ها و گردشگران زمین را به خـود جلـب کـرده است. هدف از این تحقیق، کمّی‌سازی و ژئومتری گرز، بیان شیوهٔ تکوین، زوال و اهمیت این شـکل ژئومورفولوژیـک اسـت. روش تحقیق بر مبنای کتابخانه‌ای و میـدانی اسـت. در ایـن تحقیـق از منـابع نوشـتاری معتبـر و نقشـه‌هـای زمـین‌شناسـی و توپوگرافی برای ادبیات موضوع و جست‌وجو در موقعیت منطقه استفاده شد و از وسایل سنجش همچـون متـر، شـیب‌سـنج، کمپاس و ترازو برای بررسی مورفومتری آن و نیز از ابزارهای دندروژئومورفولوژی برای سنجش زمان، بهره‌برداری شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که قسمت ارتفاعات ژئوپارک، جایی که سازندهای کنگلومرایی وجود دارد، مسـتعد ایجـاد گـرز اسـت. ستون‌های گرز ارتفاع زیادی نگرفته‌اند و سن تشکیل برخی از آن‌ها با توجه بـه بـرآورد نـرخ برداشـت رسـوب بـه بـیش از ۲۰ هزار سال بر می‌گردد. لیچن‌های مانده بر کلاهک برخی گرزها حکایت از زمـانی بیشـتر از ۱۰۰۰ سـال دارد. شـیب اکثـر گرزها به بالاتر از ٤٠ درجه می‌رسد. با برداشت و فرسایش از قسمت بالایی، ستون گرز به زوال خـود نزدیـک مـی‌شـود. در نهایت یکی از کاربردهای گرز علاوه بر زیبایی خیره‌کنندهٔ آن استفاده در ژئوتکتونیک است؛ بدین معنا که حـداقل در ۱۰۰۰۰ سال گذشته در آن منطقه زلزله‌ای بالاتر از ۵ ریشتر اتفاق نیفتاده است.

واژه‌های کلیدی: گرز دیو، ژئومتری، ژئومورفوسایت، ژئوپارک، خراسان رضوی

*نویسنده مسؤول: aasy1358@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

متخصصان علوم زمین در ایران به‌ویژه ژئومورفولوژیست‌ها، عوارض ستونی‌شکل را بدون توجه به سنگ‌شناسی آن‌ها «دودکش جن»[1]، «گرز یا تخت دیو»، «ستون سنگی»، «اشکال قارچی» (سبزه‌ای، ۱۳٦۹: ۲۸۹) و «انگشت خدا» می‌نامند. اصطلاحاتی معادل با «گرز دیو» در کشورهای دیگر معمول و رایج است که نشان از فراوانی و تنوع آن دارد؛ برای مثال به اصطلاحاتی همچون اینها اشاره می‌شود: «هودو»[2]، «دموازل»[3] (در فرانسه به معنای خانم‌هایی با موهای درست‌شده)، «داوولجا واروز»[4] (در صربستان)، «ماشروم راکز»[5] (سنگ‌های قارچ مانند)، «ارث پیلارز»[6] (ستون‌های زمین)، «ویو استونز»[7]، «راک پدستال»[8]، «لاگون استون»[9]، «آندراکت راک»[10] (سنگ‌های از پایین برش‌خورده)، ارث پیرامید[11] (هرم‌های زمین)، فیلارد راک[12] (سنگ‌های خیره‌کننده) و تند راک[13] (سنگ‌های خیمه مانند). از نمونه‌های آن، کشور صربستان نام برده می‌شود که در آن مجموعه‌ای از ۲۰۲ ساختار پیچیدهٔ هرم یا برج زمین با چشمه‌ای طبیعی در زیر آنها وجود دارد که از سال ۱۹۵۹ این مجموعه در حفاظت کشور قرار گرفته و برای ثبت در ۷ عجایب برتر نو جهان کاندید شده است. در ایران نیز در ۲۰ کیلومتری شهر ماهنشان و ۱۲۰ کیلومتری زنجان، این پدیده به‌وفور مشاهده می‌شود. این شکل‌ها مشابه هم هستند؛ اما با فرایندهای متفاوتی شکل می‌گیرند که هم در سنگ‌های رسوبی لایه‌ای با جنس متفاوت و هم در سنگ‌هایی که از یک جنس تشکیل شده باشند، ممکن است مشاهده شوند. در ژئومورفولوژی تخصصی، تفاوت‌هایی در تعاریف آن‌ها وجود دارد.

دودکش جن و هودوها مناره‌های بلند و نازکی هستند که در اثر فرسایش بخش‌های زیرین حوضه‌ها و زمین‌های ناپیوسته به وجود می‌آیند. این پدیده‌ها بیشتر در نواحی مرتفع فلات کلرادو و بدلندهای سیلتی و رسی (عامری و غضنفری، ۱۳۸۵: ٤۲۳) دشت‌های بزرگ شمالی (مناطقی در غرب رودخانهٔ می‌سی‌سی‌پی و شرق کوه‌های راکی در آمریکا و کانادا) مشاهده می‌شود. اگرچه این ساختارها در تمام نقاط زمین دیده می‌شوند، در هیچ نقطه‌ای از زمین به فراوانی بخش شمالی پارک ملی برایس کانیون[14] نیستند. هودوها (دودکش جن) شباهت زیادی به مناره‌ها دارند و گاهی با آن‌ها اشتباه گرفته می‌شوند؛ اما باید در نظر داشت که

[1] fairy chimney
[2] hoodoo
[3] demoiselles coiffées
[4] Đavolja Varoš
[5] Mashroom rocks
[6] Earth pillars
[7] Wawe stones
[8] rock pedestal
[9] Logan stone
[10] Undercut rock
[11] earth pyramid
[12] Flared rock
[13] tent rock
[14] Bryce Canyon National Park

www.SID.ir

Archive of SID

مناره‌ها ضخامتی تقریباً یکسان دارند که از پایین به سمت بالا از آن کاسته می‌شود؛ در حالی که هودوها ضخامت متفاوتی در طول دارند و اصطلاحاً ظاهری شبیه مجسمه‌های تیرمانند اقوام سرخپوست[1] دارند. در گذشته و به دلیل محدودبودن علم، دلیل بیشتر پدیده‌ها در عوامل ماورای طبیعت و حیطه‌ای از باورهای مردم جست‌وجو می‌شد که کمتر قابل بحث بود. به همین دلیل ایجاد این ساختارها به جن‌ها منتصب می‌شده است. هرم‌های زمین، مخروط‌های باریک، ظریف و شکننده و بلندی (از چند متر تا ده‌ها متر) است که از سنگ یا خاک تشکیل شده است. محل پیدایش عموماً با چسبندگی، ضعیف‌بودن سیمان یا محکم‌بودن آن ارتباطی ندارد. در محیط‌های آلپی آن‌ها با جورشدگی ضعیف با رسوبات یخچالی (مورن‌ها، تیل‌های یخچالی، تیل‌های جایگزینی و حمل و رسوب با عمل یخچالی) و یا ترکیبی از یخچالی آبی تشکیل شده‌اند. این اشکال مخروطی اغلب با ستونی با یک سنگ بزرگ مشخص می‌شود که توانایی محافظت از ستون ضعیفش را دارد. آن‌ها مستقیم به فرسایش طولانی‌مدت رواناب و توپوگرافی پایه مربوط هستند و تحقیق دربارهٔ آن‌ها اطلاعات مفیدی در زمینهٔ بازسازی زمان آشفتگی به ما می‌دهد (جیوانی[2] و همکاران، ۲۰۱۵: ۶۰). راک پدستال، ستون سنگی نسبتاً باریکی است که در زیر تودهٔ سنگی وسیعتری قرار گرفته و محصول فرسایش قسمت زیرین یک ساختار توسط سایش حاصل از وزش باد و یا هوازدگی تفریقی است (بتز و جکسون[3]، ۱۹۸۰). ستون سنگی، تودهٔ ایزوله‌شده و یا در حال استراحت یا متعادل روی پایه و اساس نازکتر / کوچکتر را گویند (استون[4]، ۱۹۶۷: ۲۴۰). ستون‌های سنگی شبیه به دودکش جن است و تنها تفاوت آن‌ها در وزنه‌ای است که در بالای گرز دیو قرار دارد. ستون سنگی همچنین در ماسه‌سنگ‌ها و سواحل دریاها تشکیل می‌شود. اشکال قارچی شبیه گرز دیو هستند، ولی تفاوت آن‌ها در نوع فرسایش به‌وجودآورندهٔ آنهاست. اشکال قارچی در تأثیر باد به وجود آمده، ولی گرز دیو در تأثیر فرسایش شکل گرفته است. تنهٔ ستون‌ها از کلاه باریکتر است و از مکانی به مکان دیگر فرق می‌کند. در بعضی ستون‌ها، پایین ستون باریکتر از بالای آن است و عموماً ته ستون پهن می‌شود. در واقع ستون شکل مقعر به خود می‌گیرد. در همهٔ سایت‌ها بستر و عرض آن قابل تشخیص است (تویدال و سنتنو[5]، ۱۹۹۳: ۲۶۳).

گرز یا تخت دیو، ستون بلندی از زمین، غالباً به بلندای حداکثر ۹-۶ متر است که در رأس آن یک قلوه‌سنگ بزرگ قرار دارد. این قلوه‌سنگ در اصل روی خاک قرار داشته است. وقتی که بیشتر مواد نرم سطح زمین در اطراف آن تدریجاً با باران ساییده شده‌اند، آن سنگ، زمین زیر خود را محافظت کرده و در روی ستونی از این زمین، معلق باقی مانده است. گرزهای دیو، مکرر در دره‌های کوه‌ها به وجود می‌آیند (فشارکی، ۱۳۷۹: ۱۰۹). در محل‌هایی که آبراهه‌های کوچک از اطراف به محل دیوارهٔ پرتگاهی رودخانه می‌رسند، در اثر فرسایش، استوانه‌های توخالی فرسایشی ایجاد می‌کنند که تنوره‌های جن نامیده می‌شود. توسعهٔ دو تنورهٔ مجاور و اتصال آن‌ها به هم ممکن است یک دودکش جن در حد فاصل آن‌ها باقی بگذارد. چنانچه بخش‌های بالایی دودکش به صورت کروی و روی استوانهٔ زیرین قرار

[1] Totem pole-shaped body
[2] Lollino
[3] Bates & Jackson
[4] Stone
[5] Twidale & Centeno

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته باشد، با نام «گرز دیو» نیز نامیده می‌شود. این اَشکال که شباهت زیادی به پدیده‌های مصنوعی دارند، در قالب کلی «اشکال هودو» نامیده می‌شوند. گرزها در شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی متفاوتی شکل گرفته‌اند. به طور کلی این اشکال بر اثر فرسایش بادی (لایتی و بریج، ۲۰۰۹)، آبی و یخ شکافتی به وجود می‌آیند. *دون و فی‌هان*[1] (۲۰۰۲: ۳۳) علاوه بر موارد مذکور برای تشکیل گرز دیو، عامل انحلالی را نیز به‌ویژه در سازندهای آهکی مؤثر می‌دانند. این اشکال در سنگ‌های گرانیتی، آذرین بازیک و سیلیسیک، ماسه‌سنگ و آهک (بروک و ویلز[2]، ۲۰۰۷) و همچنین دولومیت وجود دارد (هونگ[3] و هانگ[4]،۲۰۰۱ : ۱۰۱) و نیز در نواحی اقلیمی سرد و گرم، خشک و مرطوب مشاهده می‌شود؛ به گونه‌ای که پایه‌ها از جنس نرمتر مادستون، ماسه‌سنگ و توف و کلاهک از جنس مقاومتر است (یلماز[5] و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۸). برخی چون *برایان*[6] (۱۹۲۷: ۱–۷۹۰) *پتی*[7] (۱۹۳۲: ۱–٤۸) تحقیقاتشان روی فرایندهای بادی و فرسایش بادی و برخی چون *دون و فی‌هان* (۲۰۰۲: ٤۰–۳۳) روی جریان‌های خطی آب متمرکز شده است. برخی مانند *فیر بریج*[8] (۱۹٦۸: ۲۷۱۳–۲۷۲۸) روی فعالیت‌های یخ شکافتی کار کرده‌اند.

در سطح زمین سنگ‌های متعادل از جمله گرزهای دیو به‌عنوان شاخص‌های منفی درون سایت برای زلزله‌های تولیدی با تکانه‌های شدید تلقی شده و اثبات می‌شود که منطقه از زمان تشکیل آن زلزله‌ای قوی نداشته است، در غیر این صورت باید گرز می‌افتاده است (اندرسون[9] و همکاران، ۲۰۱۱: ٤٤۱–٤۳۱؛ انوشه‌پور و همکاران، ۲۰۰٤: ۳۰۳–۲۸۵؛ حداد و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۰۵۳–۱۰٤۲). با تعیین طول زمانی که سنگ‌های شکننده متعادل شده‌اند، زمان زلزله‌های بزرگ، بازسازی و زمان زلزله‌های بعدی تخمین زده می‌شود (بالکو[10] و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۰۳–۲۹۵). اهمیت ستون‌های سنگی شکننده در این است که فشارهای تولیدشده با شدت و سرعت زلزله را محاسبه می‌کند. این عمل با شکل سه‌بُعدیش مدل شده و با زلزله‌های مختلف محاسبه می‌شود (حداد و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۰۵۱). چنین مدلی اجازه می‌دهد بزرگترین تکانه‌ای محاسبه شود که روی یک گسل زلزله‌ای رخ می‌دهد (پورونس[11] و همکاران، ۲۰۰۸: ۸۰۸–۷۹۱). تحقیقات دربارهٔ شکنندگی ستون‌های سنگی و زلزله به بیش از یک قرن می‌رسد (برای مثال مالت[12]، ۱۹٦۲: ۱۲۷–۱). آن‌ها این جسارت را داشتند که با تأسیسات انسانی، زلزله‌های القایی به وجود آورند و از دور مشاهده کنند. نخستین تلاش با هدف استفاده از سنگ‌های متعادل برای تخمین فشار و ساختمان زمین با *کومبز*[13] و همکاران در سال ۱۹۷٦ صورت گرفت. آن‌ها برای این کار از ستون‌های سنگی ایالت واشنگتن شمالی بهره بردند و از زلزله‌های شمال غرب اقیانوس اطلس (پاسفیک) استفاده کردند و امروزه از مدل‌های سه‌بعدی برای برآورد پایداری سنگ‌ها استفاده می‌کنند (ویراراگاوان[14] و کریشنان[15]، ۲۰۱۲). تحقیقات به صورت ژئومتری و عددی در دنیا

[1] Dunne & Feehan
[2] Viles
[3] Hong
[4] Huang
[5] Yilmaz
[6] Bryan
[7] Petty
[8] Fairbridge
[9] Anderson
[10] Balco
[11] Purvance
[12] Mallet
[13] Coombs
[14] Veeraraghavan
[15] Krishnan

www.SID.ir

Archive of SID

از دهۀ ۱۹۹۶ شروع شده و بیشتر دربارۀ زلزله‌سنجی دیرین و شیوۀ تشکیل آن بوده است. اما به صورت ویژه می‌توان گفت که تحقیقات ژئومتری بسیار جدید است.

تویدال و سنتنو (۱۹۹۳: ۲۶۹-۲۵۷) شکل‌گیری این لندفرم‌ها را در سنکای[1] اسپانیا بررسی کرده‌اند و نتیجه می‌گیرند که این اشکال در همۀ مکان‌ها امکان بروز دارند و ممکن است دلایل دیگری همانند روکش‌دارشدن زیستی، تمرکزیافتن کلسیت و فعالیت‌های مناطق خشک برای بروز داشته باشد.

دون و فی‌هان (۲۰۰۲: ۴۰-۳۳) منشأ و اهمیت سنگ‌های قارچی را در ناحیۀ کارستی لاولند[2] مطالعه کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که عوامل شکل‌ساز به یک دریاچۀ قدیمی تنها ختم نمی‌شود و بعضاً در قسمت‌هایی سیلاب باعث ایجاد این گونه سنگ‌ها شده است.

ویراراگاوان و کریشنان (۲۰۱۲) ارتباط بین اشکال ستونی و سنگ‌های متعادل‌شده و زلزله را با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی بررسی کرده‌اند.

جیوانی و همکاران (۲۰۱۵: ۶۳-۵۹) هودوهای آلپ‌های مرکزی ایتالیا و مدلینگ عددی آنها را برای آنالیز عمل‌های درگیر، پایداری و واکنش به انحرافات حرکتی آن‌ها تحلیل کرده‌اند.

در ایران بررسی منسجم و اختصاصی دربارۀ این پدیده نشده است، ولی به تحقیقاتی اشاره می‌شود که این پدیده به صورت بخشی از تحقیق در آن وارد شده است.

خوش‌رفتار (۱۳۸۸: ۱۰۲-۹۷) در مقاله‌ای با عنوان «گردشگری زمین‌شناسی در استان زنجان» دودکش‌های جن را در ماهنشان زنجان بررسی کرده و معتقد است دودکش‌های جن به‌عنوان یک شاخص، قرینۀ اسم ماهنشان شده‌اند. ایشان در مقالۀ دیگری در سال ۱۳۹۱ ژئومورفولوژی ژئوسایت دودکش‌های جن در قره درۀ انگوران ماهنشان زنجان را مطالعه کرده و نتیجه گرفته‌اند که این منطقه به‌عنوان یک اثر ملی شایان ثبت است و ارزش علمی و آموزشی بالایی دارد.

جعفری و همکاران (۱۳۹۳: ۹۳-۷۹) گرزهای دیو را به‌عنوان یکی از ژئومورفوسایت‌های ماهنشان بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که این ژئوسایت، ارزش علمی و آموزشی فراوانی دارد و با توسعۀ گردشگری باعث رونق اقتصادی منطقه می‌شود.

امانی لاری (۱۳۹۳) در مقاله‌ای گرز دیو را در جایگاه یک جاذبۀ گردشگری در توسعۀ بندر لنگه بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که این جاذبه‌ها باعث جذب زمین گردشگران و مقصد توریستی می‌شود.

زنگنه و همکاران (۱۳۹۴: ۵۵-۴۹) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی کمّی ژئومورفوسایت‌ها در ژئوپارک غرب خراسان رضوی به روش *فاسولاس* و همکاران»، گرز دیو را به همراه ۵ ژئومورفوسایت دیگر ارزیابی کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که گرز دیو بیشترین ارزش را برای محافظت و کانزرویشن دارد.

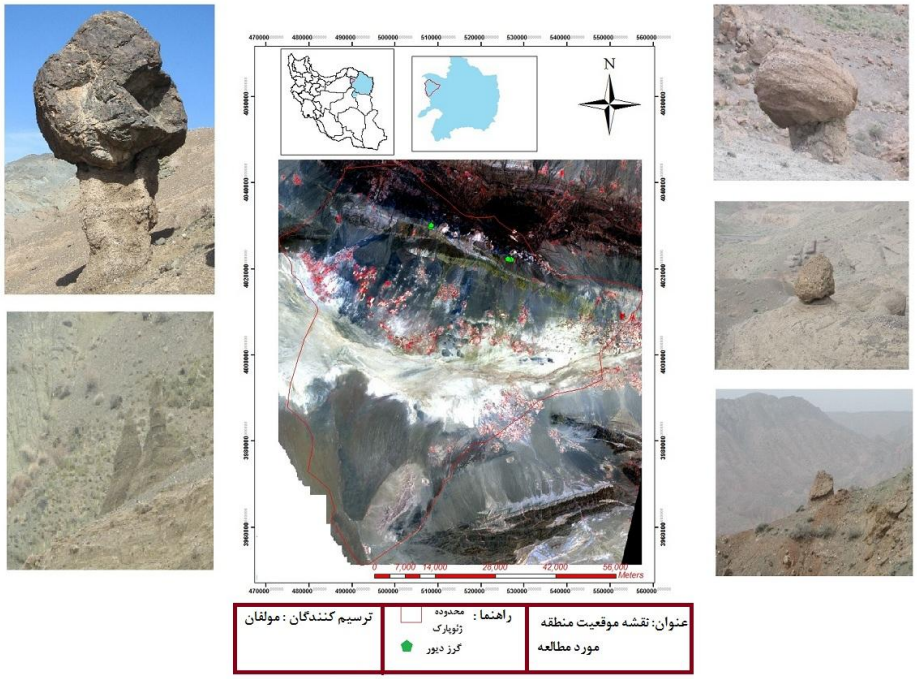
معرفی منطقۀ مطالعاتی

محدودۀ مطالعاتی، ژئوپارک پیشنهادی با مساحتی معادل ۴۲۵۷ کیلومتر مربع و در غرب خراسان رضوی واقع است. طول جغرافیایی منطقه بین ۵۶ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳۸ دقیقۀ شرقی و عرض جغرافیایی آن بین ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقۀ شمالی قرار دارد. این ژئوپارک قسمت‌هایی از شهرستان‌های سبزوار و داورزن را دربرگرفته و از تنوع سنگ‌شناسی و مورفولوژیکی زیادی برخوردار است (شکل ۱).

[1] Cuenca
[2] lowland

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و تصویر چند نمونه از گرزهای دیو

در این منطقه فاز مهم تکتونیکی کرتاسهٔ بالایی در مزوزوئیک به وقوع پیوسته است. سنگ‌های بازیک و اولترا بازیک با رسوبات این دوره در هم آمیخته و موجب ایجاد آمیزهٔ رنگین در سراسر ایران از جمله رشته کوه جغتای در ژئوپارک شده است. دره‌های آبرفتی، این سلسله کوه‌ها را از یکدیگر جدا می‌کند. قسمت وسیعی از منطقه دربردارندهٔ کالرملانژ، سنگ آذرین اولترابازیک و سنگ نفوذی با ترکیب حد واسط است. همچنین شامل آتشفشان‌های نئوژن و ائوسن و سنگ‌های نفوذی، بیرون‌زدگی‌های ژوراسیک پالئوژن، ائوسن، اولیگوسن، میوسن، نئوژن، پلیوسن و سنگ‌های رسوبی پلیو – پلیوستوسن است. آهک های پلاژیک گلی رنگ به همراه لیستونیت به رنگ زرد پرتقالی به مقدار زیاد در این مجموعهٔ افیولیتی وجود دارند. در بسیاری از حالات، آهک اوربیتولین‌دار، قدیمی‌ترین لایه‌هایی هستند که روی گرانیت‌ها مشاهده می‌شود. در فاز پیرنه و در ائوسن فعالیت‌های ماگمایی زیردریایی مهمی در ایران به وقوع پیوست و فعالیت‌های انفجاری آتشفشان‌ها، رسوبات آذرآواری سبز رنگی با ضخامت زیاد به وجود آوردند که «توف سبز» یا «رسوبات سبز» نامیده شدند. در این فاز، رسوبات تخریبی همراه با رسوبات تبخیری گچ و آهک در پهنهٔ وسیعی از منطقه ایجاد شد که در اولیگوسن چین خورده و گسلش یافته و از آب خارج شدند، سپس در تأثیر عامل فرسایش قرار گرفتند که وجودنداشتن رسوبات اولیگوسن بیانگر این موضوع است. فاز کوهزایی پاسادنین در ژئوپارک با چین‌خوردگی نسبتاً شدید تشکیلات نئوژن و روراندگی تشکیلات ائوسن روی کنگلومرای جوان بختیاری همراه بوده است. بعد از این مرحله، تمام ایران در تأثیر فرسایش واقع شده که تا امروز نیز ادامه داشته است. به صورت محلی در ارتفاعات شمالی

www.SID.ir

Archive of SID

ژئوپارک، کنگلومرا نیز مشاهده می‌شود که برخی از زمین‌شناسان آن را هم‌سن کنگلومرای بختیاری می‌دانند (درویش‌زاده و محمدی، ۱۳۸۱: ٤٥٣-۳۷۰).

مواد و روش‌ها

این تحقیق متکی بر روش قیاسی و استقرایی است. روش قیاسی به صورت یک فرایند تفکر تعریف می‌شود که از قراردادن واقعیت‌ها در کنار هم و استخراج یک نتیجه حاصل می‌شود. بحث قیاسی هنگامی معتبر است که نتیجه به طور بایسته و ضروری از پیش‌فرض و فرضیه به دست آید. در روش استقرایی، نتایج با مشاهدهٔ نمونه و تعمیم به کل، حاصل می‌شود. در این گونه بحث، تلاش می‌شود تا نشان داده شود که نتیجه به طور ضروری از مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌ها یا فرضیه‌ها به دست می‌آید. گواه‌آوردن یا استدلال قیاسی در کنار گواه‌آوردن استقرایی، یکی از دو روش رایج در شناخت و رسیدن به دانایی یا معرفت است. برای جمع‌آوری داده‌ها از رویکردهای کتابخانه‌ای و میدانی بهره گرفته شده است. مقالات و کتاب‌های مرتبط با موضوع گردآوری، مطالعه و بررسی شده است تا مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق نگارش شود. نقشهٔ زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به منظور شناسایی جنس زمین در مناطقی بررسی شده است که گرز دارد. مشاهدات میدانی اساساً در این تحقیق به منظور ارزیابی مورفومتری دقیق گرزهای دیو انجام شده است (شکل ۲). در عملیات میدانی با استفاده از GPS، مختصات گرزها برداشت شده، سنجش ژئومتری صورت گرفته و از زوایای مختلف برای تعیین سازندهای مختلف، نوع لیچن و نوع فرسایش عکس تهیه شده است. از شیب‌سنج و کمپاس برای بررسی شیب سطح و از متر با دقت میلی‌متر (برای لیچن) و سانتی‌متر برای اندازه‌گیری ابعاد گرز استفاده شده است. پایهٔ ستون برای برآورد میزان فرسایش و زمان تشکیل ستون اندازه‌گیری شده است؛ به این صورت که مقدار فرسایش در چند سال محاسبه و سن تشکیل تا به این اندازه از پایه محاسبه می‌شود. برای محاسبهٔ میزان فرسایش، فرمول تجربی داگلاس به کار گرفته شده است. لیچن‌ها اندازه‌گیری می‌شود تا با توجه به میزان رشد لیچن زمان روییدن آن روی سنگ و در نتیجه ثبات پوش سنگ (کلاهک) گرز بررسی شود. نمونه‌هایی از سنگ‌های اطراف ستون و هم‌جنس ستون و پوش سنگ به آزمایشگاه آورده شد تا برخی ویژگی‌های فیزیکی آن از جمله چگالی و جرم آن‌ها محاسبه شود. برخی از ابعاد گرز از فرمول‌های ریاضی (مانند محاسبهٔ حجم) برآورد شده است. از نرم‌افزار ARC/GIS به منظور تهیهٔ نقشه‌های منطقه و موقعیت گرزها و از Paint به منظور تنظیم، تفهیم و نشان‌دادن ابعاد گرز در برخی عکس‌ها استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲. تصویر از برداشت میدانی گرزها

یافته‌های تحقیق

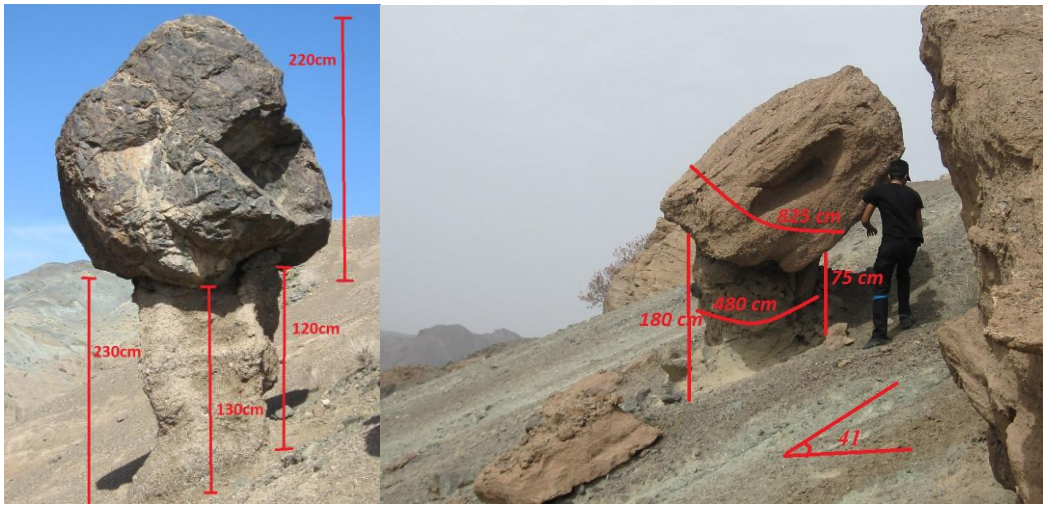
به دلیل تعدد بحث‌ها و ممانعت از پراکندگی آن‌ها یافته‌های مربوط به گرزهای دیو در ژئوپارک پیشنهادی به ۵ بحث ژئومتری، شیوهٔ تشکیل، سن، زوال و اهمیت آنها دسته‌بندی و به بحث گذاشته می‌شود.

ژئومتری گرز

در ژئوپارک غرب خراسان رضوی، گرزهای دیو زیادی وجود دارد. اما تیپیک‌ترین آن‌ها در دو حوضهٔ صدخرو (بنگ) و بفره است. کار ژئومتری روی دو گرز به صورت نمونه انجام شد تا راهنمایی برای گرزهای دیو در قسمت‌های مختلف ایران باشد. ابعاد متریک این گرزها در شکل (۳) آورده شده است. برای به دست آوردن حجم این ستون‌ها از سه روش استفاده شده است: استفاده از اشل (دوربین)، نرم‌افزارهای شبکه‌بندی‌دار و ویرایش (paint) و هرم فرضی (با محاسبهٔ شعاع و ارتفاع مخروط $V= 1/3 \pi r^2h$). این عدد در هر سه روش با اختلاف اندک ٤/٨٩ متر مکعب برای کلاهک گرز بنگ و ۵/۷۵ متر مکعب برای گرز بفره محاسبه شده است. برای محاسبهٔ جرم کلاهک گرز کافی است چگالی سنگ‌ها را از منابع علمی استخراج و در حجم، ضرب کرد. روش دیگر این است که با وزن‌کردن قسمتی از خرده‌های سنگ گرز و تعمیم نرم‌افزاری، جرم کل محاسبه می‌شود. این جرم در هر دو روش مقدار تقریبی ۱۳٤٤۷ کیلوگرم برای کلاهک گرز بنگ و ۱۱۱٦۰ برای کلاهک بفره محاسبه شد. گرزهای ژئوپارک اغلب طول کمی دارد و اندازهٔ طول کلاهک از ستون یا بیشتر و یا در اندازهٔ مساوی با ستون است. شیب پایهٔ ستون بنگ ٤۵ درجه و شیب ستون بفره ٤۱ درجه است. این نشان‌دهندهٔ شیب زیاد در گرزهای منطقهٔ مطالعاتی است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. اندازه‌های متریک دو گرز بنگ (سمت راست) و بفره (سمت چپ)

منشأ گرزهای دیو

با توجه به زمین‌شناسی منطقه همزمان با بسته‌شدن حوضهٔ مرکزی ایران، سنگ‌های آذرین درونی بازیک همراه با افیولیت ملانژها در منطقه بالا آمده است. در اواخر ترشیاری کنگلومراهایی در تأثیر فرسایش و شرایط آب و هوایی سطح نواحی مطالعاتی را می‌پوشاند. روی کنگلومرا، آگلومرا شکل گرفته است و روی آن را ولکانوسدیمانتر در بر گرفته است. در بعضی گرزها پایه و ستون روی دو نوع کنگلومرا با جنس متفاوت شکل گرفته است. آگلومرا[1] توده‌ای از قطعات گدازهٔ آتشفشانی است که از طریق انفجار آتشفشانی ایجاد می‌شود. قطعات مربوط معمولاً زاویه دارند و جوش سنگ آتشفشانی از این جهت با خاکستر آتشفشانی فرق دارد و اندازهٔ آن بزرگ‌تر است (فشارکی، ۱۳۷۹).

یک سؤال اساسی این است که چگونه یک سنگ با سن قدیمی‌تر روی رسوبات جوان‌تر قرار گرفته است و آن را محافظت می‌کند؟ هیچ آثار برگشتگی لایه‌ها هم وجود ندارد. اما با یک بازسازی قدیمی لایه‌ها دریافته می‌شود که پس از آتشفشان، آگلومراها، ولکانوسدیمانترها و کنگلومراها شکل گرفته‌اند. پس از آن تکه‌سنگ بزرگی به وزن تقریبی ۱۳ تن روی این رسوبات آرام می‌گیرد (شکل ٤). در ادامه، فرسایش آبی و بادی، کار خود را آغاز می‌کند و قسمت‌های سست‌تر اطراف و زیر سنگ را با خود می‌برد. وزن سنگ کلاهک و سختی آن مانع فرسایش ستون می‌شود و ستونی در زیر آن شکل می‌گیرد. نبودن تضاریس و صاف‌شدگی در کلاهک گرزهای مطالعه‌شده چند نکته را در ذهن متبادر می‌کند. اول این که فرسایش روی کلاهک قبل از تشکیل گرز برای مثال با ضربهٔ غلتیدن یا انحلال خوردگی صورت گرفته باشد و یا قسمتی از فرسایش بعد از قرارگیری کلاهک روی ستون باشد.

[1] Agglomerate

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٤. تصویر سمت راست، بازسازی رسوبات و سمت چپ، قسمت‌های باقی‌مانده در منطقهٔ گرز بنگ

به طور کلی دربارهٔ شیوهٔ تشکیل گرزهای دیو در ژئوپارک پیشنهادی موارد ذیل شایان ذکر است.

- گرزها در سنگ‌های ستونی گرانیتی در دو مرحله شکل می‌گیرند (تویدل[1]، ۲۰۰٤). نخستین مرحله زمانی اتفاق می‌افتد که زیر سطح جایی که آب‌ها به شکل تجزیهٔ شیمیایی فعال هستند و از طریق شکاف‌ها و درزها وارد می‌شوند. مرحلهٔ دوم هوازدگی مکانیکی است تا سنگ‌های کروی ساخته شوند. توسعهٔ تخته سنگ‌ها در موقعیت‌های مختلف مشروط به چندین عامل ژئومورفیک و ژئولوژیک است: دامنهٔ توپوگرافی که ستون سنگی در آن پدیدار می‌شود؛ فاصلهٔ شکاف‌های سنگی که لبه‌ها در آن تعریف می‌شوند؛ ویژگی‌های لیتولوژیک ورودی سنگ مادر و شرایط اقلیمی محلی که شکل سنگ را کنترل می‌کند و به میزان انتقال ریگولیت بستگی دارد.
- سنگ‌های ستونی رسوبی که از سنگ‌های رسوبی شکل می‌گیرند، لایه‌بندی عمود دارند (مثل لایه‌بندی ماسه‌سنگ و گلسنگ). لایه‌های ضعیف‌تر از لایه‌های مقاوم‌تر، سریع‌تر فرسوده می‌شوند و لایه‌های مقاوم‌تر باقی می‌مانند.
- تخته‌سنگ‌های آتشفشانی بیرونی که معمولاً از توف و ته‌نشین‌شدن ریولیت تشکیل می‌شوند که شبکه‌های فراوان دارد. شست‌وشوی شیمیایی در طول سطوح پر درز مخروط‌های تیز و بلند ایجاد می‌کند.

عوامل شکل‌ساز این گرزها گزینه‌های ذیل را شامل می‌شود:

- فرسایش بادی – دانه‌های ماسه‌ای در مسیر خودشان عموماً ۲ متر بالاتر از سطح، حرکت می‌کنند. حداکثر سایش اغلب در ارتفاعات پایین‌تر رخ می‌دهد؛ چون که تعداد ذرات ماسه‌ای اغلب در ده‌ها سانتی‌متر بالایی سطح حرکت می‌کنند. یک منطقهٔ سایشی، نزدیک سطح زمین شکل می‌گیرد (جولی لایتی[2]، ۲۰۰۹).
- هوازدگی سایه: در کناره‌های زیرین یک تخته سنگ به خاطر قرارگرفتن در وضعیت‌های متفاوت، حاشیه‌ها گسترش می‌یابند و سطح، داغ و سایه سرد می‌شود (هابز، ۱۹۱۲ به نقل از لایتی، ۲۰۰۹؛ سایه

[1] Twidale

[2] Julie Laity

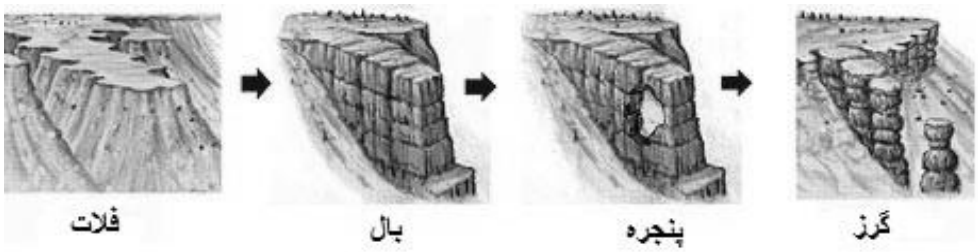
www.SID.ir

Archive of SID

ناشی از استرس‌های دمایی). کریستالی‌شدن نمک و هیدراتاسیون آن نیز اینجا متمرکز می‌شود. جایی که رطوبت طولانی‌ترین ذخیره را دارد، باعث می‌شود سنگ‌ها پوسته‌پوسته و خردتر شوند.

• هوازدگی و فرسایش دیفرانسیل: جریان‌های آب قسمت‌های سست‌تر را می‌شوید و قسمت‌های سخت‌تر باقی می‌مانند. قسمت‌های سخت گاهی مانند چتر از قسمت‌های زیرین، محافظت و ستون‌های طویلی را ایجاد می‌کند.

شکل (۵) مراحل تشکیل یک گرز را به‌خوبی به نمایش گذاشته است.



شکل ۵. مراحل تشکیل یک گرز، برگرفته از سایت ویکی پدیا

با توجه به مشاهدات میدانی یک اصل، دربارهٔ گرزهای ژئوپارک پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. هر جا یک گرز تیپیک وجود دارد، اطراف آن چندین ستون سنگی و گرز کوچک نیز دیده می‌شود. یعنی آن منطقه با شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژی خاص خود، زمینهٔ ایجاد ستون‌های جدید را دارد. هر چه ستون‌ها نازک‌تر شوند، فشار واردشده به ستون بیشتر می‌شود و این فرسایش را در ستون کمتر می‌کند.

زمان تشکیل: از روش‌های مختلفی برای تعیین سن ستون‌های سنگی استفاده می‌شود؛ از طریق ورنی سنگ، بررسی لیچن و میزان فرسایش رسوب در یک حوضه.

مطالعات ویلیام بول[1] (۲۰۰۳: ۱۱۶۷-۱۱۵۵) روی لیچن نشان می‌دهد که این نوع لیچن با نام علمی «Rhizocarpon subgenus Rhizocarpon» در یک تا سی سال تنها یک میلی‌متر به اندازهٔ قطرش افزوده می‌شود. البته او در نیوزلند این اندازه را ٦ سال تخمین زده است. از آن جایی که منطقهٔ مطالعاتی، منطقهٔ خشک و نیمه‌خشکی به حساب می‌آید، این عدد به بیشتر از ۲۵ سال خواهد رسید. بزرگ‌ترین لیچن محاسبه‌شده جزء نخستین لیچن‌هایی است که روی سنگ رشد کرده و اندازهٔ آن در ستون بنگ ۳۸ میلی‌متر به دست آمده است. بنابراین سن تشکیل این ستون سنگی به حداقل ۹۵۰ سال پیش بر می‌گردد. این اندازه با توجه به اقلیم نیمه‌خشک منطقه و نداشتن رشد در دوره‌ای از تشکیل به زمان بیشتری خواهد رسید (شکل ٦).

[1] Bull

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٦. لیچن‌های گرز دیو واقع در ژئوپارک

راه دیگری که سن تشکیل آن را به دست می‌دهد، میزان برداشت رسوب از منطقه است. برای این منظور داده‌های مورفومتری حوزه‌های این گرزها مانند حوضهٔ صدخرو و حوضهٔ کلاته سادات اطراف این گرزها از ادارهٔ منابع آبخیزداری، استخراج و میزان برداشت رسوب را بر حسب میلی‌متر در متر مربع محاسبه شد. اگر از رابطهٔ تجربی داگلاس استفاده شود (زنگنه اسدی و کریمی‌دوست، ۱۳۸۹: ۳۷) این رابطه شکل می‌گیرد:

$$Log (SS)=-٨/٧٣+٣/٨١\log(Q)-١/٥٤\log(R/L)+٤/٨٢ \log (DD)$$

در این رابطه:

SS: رسوب بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع

Q: ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر

R: ارتفاع متوسط حوضه بر حسب فوت

L: طول حوضه بر حسب مایل

DD: تراکم زهکشی حوضه بر حسب فوت بر مایل مربع

مشخصات مورفومتری و فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضهٔ کلاته سادات که بیشترین گرزهای سنگی را دارد و نتایج حاصل پس از تبدیل واحدها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات مورفومتری، فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضهٔ کلاته سادات

مشخصه / حوزه	تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	طول آبراههٔ اصلی (کیلومتر)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	میزان رواناب (سانتی‌متر)	برداشت رسوب (میلی‌متر بر متر مربع در سال)
کلاته سادات	۹/۵۵	۱۸/۷۲	۱۸۰۱/۳۰	۹/۸۹	۰/۰۸۵

برگرفته از سایت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی (سال ۱۳۹۲)

مطابق آن چه از این نتایج برمی‌آید می‌توان گفت که سن پیدایش گرز بنگ حداقل به ۲۷۰۵۸ سال و گرز بفره حداقل به ۲۱۱۷٦ سال قبل برمی‌گردد.

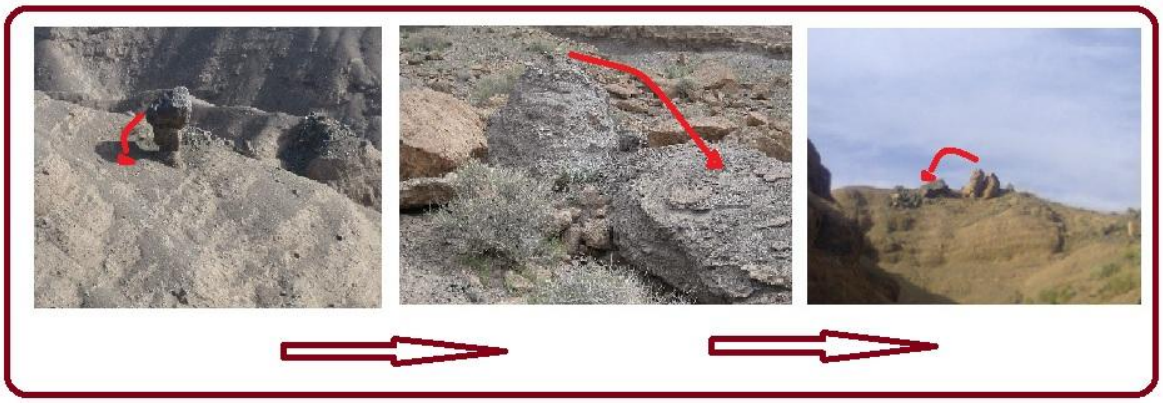
زوال گرز دیو

هر گاه فرسایش به اندازه‌ای باشد که ستون، نازک شود یا ترک بردارد، فرو می‌ریزد. جنس لایهٔ زیرین، جهت فرسایش و میزان برداشت آن و سنگینی تعادلی

www.SID.ir

Archive of SID

سنگ، جهت افتادن سنگ را مشخص می‌کند. در گرزهای بفره و بنگ پیش‌بینی می‌شود که به علت سست‌شدن و ترک‌برداشتن لبهٔ بالایی ستون، کلاهک در بالادست ستون بیفتد. در بررسی میدانی مشاهده شده است که لبهٔ پایینی ستون رو به رودخانه، فرسایش کندتری نسبت به قسمت رو به قله دارد. این تأخیر در فرسایش ممکن است به دلیل وزین‌بودن کلاهک باشد و یا حصار قسمت بالاتر، مانع فرسایش این قسمت شده باشد. در یک عبارت دیگر این گونه استنباط می‌شود که دوام فرسایشی وزنه و انتهای ستون یک رابطهٔ دو سویه داشته و بقای هر کدام در گرو دیگری است. ترک‌هایی در ستون‌ها به شکل عمودی وجود دارد که بیانگر شکننده‌بودن گرزهاست. گرزها ممکن است با فرایندهای هوازدگی و دامنه‌ای ژئومورفیک، فرایندهای بادی (سقوط به خاطر تندبادهای قوی) و نئوتکتونیک از قبیل لرزش‌های شدید ناشی از وقوع زلزله‌ها، فرایندهای زیستی و دخالت حیوانات و یا آسیب‌های عمدی از بین بروند که انسان به وجود می‌آورد (شکل ۷).



شکل ۷. تصویر تخریب گرزها و مراحل تخریب

اهمیت مطالعهٔ گرزهای دیو

ارزیابی گرزهای دیو در منطقهٔ ژئوپارک غرب خراسان با استفاده روش‌های *فاسولاس* (۲۰۱۲) و *بریلیو* (۲۰۱۵) نشان می‌دهد که به لحاظ ارزش‌های علمی و آموزشی و ارزش‌های مکمل، اهمیت به‌سزایی دارد (زنگنه اسدی و همکاران، ۱۳۹٤). بنابراین ضمن این که طبیعت، یک عمل طبیعی ناهنجار یعنی فرسایش داشته است، امروزه این شکل، ارزش نگهداری برای گردشگران زمین را دارد و باید محافظت شود. از طرفی اشکالی همچون این گرز برای سنجش زلزله‌های دیرین و رخدادهای صورت‌گرفته در طول زمان بسیار بااهمیت است. این طور به نظر می‌رسد که در منطقه حداقل از زمانی که ستون، یک متر ارتفاع گرفته است، یعنی ۱۰۰۰۰ سال پیش، زلزله‌ای به بزرگی ۵ ریشتر و بیشتر (با کمی احتیاط و تقریبی) نیامده است؛ زیرا این سنگ‌ها با تکانه‌های زلزلهٔ بالای ۵ ریشتر باقی نمی‌مانند.

نتیجه‌گیری

شکل گرز و مورفولوژی آن علاوه بر زیبایی، رخدادهای گذشتهٔ زمین‌شناسی، شیوهٔ تشکیل لایه‌ها، سرعت فرسایش و عوامل مؤثر بر فرسایش به‌ویژه

www.SID.ir

Archive of SID

زمان را نشان می‌دهد. عوامل و فرایندهای مختلفی باید در یک منطقه متمرکز شوند تا گرز دیو، شکل بگیرد. باید هزاران سال فرایندهای زمین تداوم داشته باشد تا این شکل چشم‌نواز ساخته شود؛ تا وقتی پایدار می‌ماند که گرز بین نیروهای نگهدارنده در تعادل باشد و زمانی که شرایط برای غلبهٔ یک نیرو در جهت خاصی فراهم شود، به آن سمت حرکت می‌کند و گرز از بین می‌رود. گرزها در این ژئوپارک عموماً در ارتفاعات و شیب‌های بالا شکل گرفته‌اند که حکایت از فرسایش غالب آب نسبت به عوامل فرسایشی دیگر دارد. این ارتفاع از ۱٤٥۰ متر بالاتر است و شیب‌ها گاهی به ٤٥ درجه می‌رسند. سن برخی از این گرزها به بیش از ۲۰ هزار سال می‌رسد. این بیانگر آرامش نسبی منطقه در برابر تکانه‌های بزرگ است. دور از دسترس‌بودن نیز یکی دیگر از ویژگی‌های این گرزهاست که دخالت‌نداشتن انسان را در دوامشان بازگو می‌کند. گرزهای این ژئوپارک نسبت به ستون‌های سنگی دیگر، قد بلندی ندارد؛ اما وزن کلاهک آن زیاد است و گاهی به بیش از ۱۰ تن می‌رسد. کلاهک‌ها از سوی دیگر، خود مانع فرسایش قسمت پایین‌تر شده و هر چه ستون‌ها نازک‌تر شوند، سخت‌تر فرسوده می‌شوند. مناطق گرز ساز ژئوپارک غرب خراسان رضوی از رخدادهای کرتاسه است که افیولیت ملانژها از آن خارج شده‌اند. آتشفشان‌های ائوسن، کنگلومراها و آگلومراهای اواخر ترشیاری، پایه‌های ستون‌های گرز را شکل داده‌اند که استحکام زیادی در برابر فرسایش دارند. بحث مهم این شکل کاربری ژئوتوریسمی آن است که در دستور کار قرار گیرد. نصب تابلوهای هشداردهنده و سنگ‌چین‌کردن اطراف آن برای ممانعت از فرسایش بیشتر، بسیار ضروری به نظر می‌رسد. البته همزمان با این گرزهای زیبا گرزهای دیگری شروع به شکل‌گیری کرده‌اند که در مرگ و نبود این گرزها جلوه‌گری می‌نمایند یا به عبارت دیگر خود زوال گرز یک رخداد طبیعی است که فرسایش کواترنری را همانند زایش آن بر جای می‌گذارد.

منابع

امانی لاری، سارا (۱۳۹۳). نقش جاذبه‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی در توسعهٔ بندر لنگه، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در جغرافیا و گردشگری، http://www.civilica.com/Paper-GEOGRAPHY02-GEOGRAPHY02_142.html.

جعفری، غلامحسن؛ منفرد، فردین؛ رضایی، خدیجه (۱۳۹۳). ارزیابی پتانسیل‌های زمین گردشگری شهرستان ماهنشان در استان زنجان با استفاده از روش رینارد، دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال دوم، شماره سوم، صص ۹۳-۷۹.

خوش‌رفتار، رضا (۱۳۸۸). گردشگری زمین شناسی، مجله علوم زمین، سال هجدهم، شماره ۷۲، صص: ۱۰۲-۹۷.

خوش‌رفتار، رضا (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی ژئوسایت دودکش‌های جن در قره دره انگوران، ماهنشان زنجان، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین.

درویش‌زاده، علی (۱۳۸۱)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر، صص، ۹۰۲-۱.

زنگنه اسدی، محمدعلی و کریمی‌دوست، علی (۱۳۸۹). مدل‌های کمّی ارزیابی فرسایش آبی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، چاپ اول، صص ۱۳٦-۱.

زنگنه اسدی، محمدعلی؛ امیراحمدی، ابوالقاسم و شایان یگانه، علی‌اکبر (۱۳۹٤). ارزیابی کمّی ژئومورفوسایت‌ها در ژئوپارک غرب خراسان رضوی

www.SID.ir

Archive of SID

به روش فاسولاس و همکاران، اولین کنفرانس بین المللی هنر، صنایع دستی و گردشگری، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز، ایران.

سبزه‌ای، مسیب (۱۳٦۹). واژه‌نامه زمین‌شناسی و علوم وابسته، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه باهنر کرمان، چاپ سوم.

عامری، علی و غضنفری، پرویز (۱۳۸۵). واژه‌نامه جامع زمین‌شناسی، دانشگاه تبریز، صص ۸۷٤-۱.

فشارکی، پریدخت (۱۳۷۹)، فرهنگ جغرافیا: تعریف و توصیف اصطلاحات جغرافیای طبیعی و اصطلاحات متداول در جغرافیا، مؤسسه انتشارات امیرکبیر، تهران، چاپ سوم، صص ٤۳۷-۱.

وب‌سایت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی: http://www.nr-khr.ir/tabid/۸۸۵/PageNumber/۲/CatID/٤۹/Default.aspx

وب‌سایت ویکی پدیا: https://en.wikipedia.org/wiki/Hoodoo_%28geology%29

Anderson, J. G., Brune, J. N., Biasi, G., Anooshehpoor, A., Purvance, M. (2011). Workshop report: applications of precarious rocks and related fragile geological features to U.S. National Hazard Maps. Seismol Res Lett 82:431–441.

Anooshehpoor, A., Brune, J. N., Zeng, Y. (2004). Methodology for obtaining constrains on ground motion from precariously balanced rocks. Seismol Soc Am Bull 94: 285–303, doi: 10.1785/0120020242.

Balco, G., Purvance, M. D., Rood, D. H. (2011). Exposure dating of precariously balanced rocks. Quat Geochronol 6:295–303. doi:10.1016/j.quageo, 2011.03.007.

Bates, R. L., J. A. Jackson, (1980). GLOSSARY OF GEOLOGY, Second Edition, American eology Institute, Earth Pyramids: Precarious Structures 7 Surviving Recurrent Perturbations Giovanni B. Crosta, Riccardo Castellanza, Roberto de Franco, Alberto Villa, Gabriele Frigerio, and Grazia Caielli G.

Bryan, K. (1927). Pedestal rocks formed by differen-tial erosiono U. S. Geol. Surt! o Bull., 790.

Bull, W. B. (2003), Lichenometry dating of coseismic changes to a New Zealand landslide complex, ANNALS OF GEOPHYSICS, VOL. 46, N. 5, October 2003.

Coombs, H. A., Milne, W. G., Nuttli, O. W., Slemmons, D. B. (1976). Report of the review panel on the December 14, 1872 earthquake. A report to the utilities of the Pacific Northwest GreeleyRet al (2006) Gusev crater: wind-related features and processes observed by the Mars Exploration Rover Spirit. J Geophys Res 111:E02S09. doi: 10.1029/2005JE002491.

Dunne, L. A. and J. Feehan, (2002). The Origin and Significance of MuShroom Stone in Lowland Karst Regions, Irish Journal of Earth Sciences, Vol. 20 (2002), pp. 33-40.

Fairbridge, R. W. (1968). The Encyclopaedia of Geomorphology. Reinhold, New York.Geol Soc Am Bull 82:2713–2728.

Giovanni, B. Crosta, Riccardo Castellanza, Roberto de Franco, Alberto Villa, Gabriele Frigerio, and Grazia Caielli, G. Lollino (2015). Engineering Geology for Society and Territory – Volume 8, DOI: 10.1007/978-3-319-09408-3_7, © Springer International Publishing Switzerland 2015.

Haddad D. E., Zielke, O., Arrowsmith, J. R., Purvance, M. D., Haddad, A. G., Landgraf, A. (2012). Estimating two-dimensional static stabilities and geomorphic settings of precariously balanced rocks from unconstrained digital photographs. Geosphere 8(5):1042–1053. doi:10.1130/GES00788.1

Hobbs, W. H. (1912). Earth features and their meaning. Macmillan, New York

Hong, Eason; Huang, Eugene (February 2001). "Formation of the pedestal rocks in the Taliao Formation, northern coast of

www.SID.ir

Archive of SID

Twidale, R. (2004). Pedestal rock. In: Goudie AS (ed) Encyclopedia of geomorphology, vol 768.Routledge, London.

Twidale, C. R., Centeno, J. D. (1997). Landform development at the GiUdad Encatada, near Cuenca, Spain cuaderno lab. Xeolxico de laxe coruna, vol 18, pp 257-269.

Veeraraghavan, S., Krishnan, S. (2012). 3-D Dynamic Analysis of Precariously Balanced Rocks under Earthquake Excitation, 15 WCEE, lisboa 2012.

Yilmaz, H. M., Yakar, M., Mutluoglu, O., Kavurmaci, M. M., Yurt, K. (2012). "Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (Selime-Aksaray-Turkey)". Environmental Earth Sciences. Springer. 66 (1): 75–81.

Taiwan" (PDF). Western Pacific Earth Sciences. 1 (1): 99–106.

Laity, J. E., Bridges, N. T. (2009). Ventifacts on Earth and Mars: analytical, field, and laboratory studies supporting sand abrasion and windward feature development. Geomorphology 105:202–217.

Mallet, R. (1862). The great Neapolitan earthquake of 1857.Chapman and Hall, London

PETIY,].]. (1932). Pedestal rocks of granite in the southern Piedmont. ElishaMitchell Sci. Soc., 48.

Purvance, M. D., Abdolrasool, A., Brune, J. N. (2008). Freestanding block overturning fragilities: numerical simulation and experimental validation. Earthq Eng Struct Dyn 37:791–808. Doi: 10.1002/eqe, 789.

Stone, R. O. (1967). A desert glossary, Earth Sci Rev 3:211–268.

www.SID.ir