

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

وصول: ۱۳۹۳/۳/۱ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۷، صص ۵۶-۴۱

چکیده

گرز دیو یکی از ژئومورفوسایت‌های ژئوپارک پیشنهادی غرب خراسان رضوی است که به دلیل کمیابی، شگفت‌انگیز بودن و نشان دادن فرایندهای زمین‌شناسی، توجه ژئومورفولوژیست‌ها و گردشگران زمین را به خود جلب کرده است. هدف از این تحقیق، کمی‌سازی و ژئومتری گرز، بیان شیوه تکوین، زوال و اهمیت این شکل ژئومورفولوژیک است. روش تحقیق بر مبنای کتابخانه‌ای و میدانی است. در این تحقیق از منابع نوشتاری معتبر و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی برای ادبیات موضوع و جست‌وجو در موقعیت منطقه استفاده شد و از وسایل سنجش همچون متر، شیب‌سنج، 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، مستعد ایجاد گرز است. ستون‌های گرز ارتفاع زیادی نگرفته‌اند و سن تشکیل برخی از آن‌ها با توجه به برآورد نرخ برداشت رسوب به بیش از ۲۰ هزار سال بر می‌گردد. لیچن‌های مانده بر کلاهیک برخی گرزها حکایت از زمانی بیشتر از ۱۰۰۰ سال دارد. شیب اکثر گرزها به بالاتر از ۴۰ درجه می‌رسد. با برداشت و فرسایش از قسمت بالایی، ستون گرز به زوال خود نزدیک می‌شود. در نهایت یکی از کاربردهای گرز علاوه بر زیبایی خیره‌کننده آن استفاده در ژئوتکتونیک است؛ بدین معنا که حداقل در ۱۰۰۰۰ سال گذشته در آن منطقه زلزله‌ای بالاتر از ۵ ریشتر اتفاق نیفتاده است.

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

مقدمه

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: ۴۲۳) دشت‌های بزرگ شمالی (مناطق در غرب رودخانه 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 بریس کانیون^{۱۴} نیستند. هودوها (دودکش جن) شباهت زیادی به مناره‌ها دارند و گاهی با آن‌ها اشتباه گرفته می‌شوند؛ اما باید در نظر داشت که

متخصصان علوم زمین در ایران به‌ویژه ژئومورفولوژیست‌ها، عوارض ستونی‌شکل را بدون توجه به سنگ‌شناسی آن‌ها «دودکش جن»^۱، «گرز یا تخت دیو»، «ستون سنگی»، «اشکال قارچی» (سبزه‌ای، ۱۳۶۹: 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»^۲، «دموازل»^۳ (در فرانسه به معنای خانم‌هایی با موهای درست‌شده)، «داوولجا واروز»^۴ (در صربستان)، «ماشروم راکز»^۵ (سنگ‌های قارچ مانند)، «ارث پیلارز»^۶ (ستون‌های زمین)، «ویو استونز»^۷، «راک پدستال»^۸، «لاگون استون»^۹، «آندراکت راک»^{۱۰} (سنگ‌های از پایین برش‌خورده)، ارث پیرامید^{۱۱} (هرم‌های زمین)، فیلارد راک^{۱۲} (سنگ‌های خیره‌کننده) و تند راک^{۱۳} (سنگ‌های خیمه مانند). از نمونه‌های آن، کشور صربستان نام برده می‌شود که در آن مجموعه‌ای از ۲۰۲ ساختار پیچیده

¹ fairy chimney² hoodoo³ demoiselles coiffées⁴ Davolja Varoš⁵ Mashroom rocks⁶ Earth pillars⁷ Wave stones⁸ rock pedestal⁹ Logan stone¹⁰ Undercut rock¹¹ earth pyramid¹² Flared rock¹³ tent rock¹⁴ Bryce Canyon National Park

را گویند (استون^۴، 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 به وجود آورنده آنهاست. اشکال قارچی در تأثیر باد به وجود آمده، ولی گرز دیو در تأثیر فرسایش شکل گرفته است. تنه 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 همه سایت‌ها بستر و عرض آن قابل تشخیص است (تویدال و سنتنو^۵، 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 آبراه‌های کوچک از اطراف به محل دیواره پرتگاهی رودخانه می‌رسند، در اثر فرسایش، استوانه‌های توخالی فرسایشی ایجاد می‌کنند که تنوره‌های جن نامیده می‌شود. توسعه دو تنوره 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 استوانه زیرین قرار

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^۱ 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 آلیپی 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 درباره آن‌ها اطلاعات مفیدی در زمینه بازسازی زمان آشفستگی به ما می‌دهد (جیوانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۵: ۶۰). راک پدستال، ستون سنگی نسبتاً باریکی است که در زیر توده سنگی وسیعتری قرار گرفته و محصول فرسایش قسمت زیرین یک ساختار توسط سایش حاصل از وزش باد و یا هوازگی تفریقی است (بتز و جکسون^۳، ۱۹۸۰). ستون سنگی، توده ایزوله‌شده و یا در حال استراحت یا متعادل روی پایه و اساس نازکتر / کوچکتر

¹ Totem pole-shaped body

² Lollino

³ Bates & Jackson

⁴ Stone

⁵ Twidale & Centeno

گرفته باشد، با نام «گرز دیو» نیز نامیده می‌شود. این اشکال 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^۱ (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 بازیگ و سیلیسیک، ماسه‌سنگ و آهک (بروک و ویلز^۲، ۲۰۰۷) و همچنین دولومیت وجود دارد (هونگ^۳ و هانگ^۴، 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^۵ و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۸). برخی چون براین^۶ (۱۹۲۷: ۱-۷۹۰) پی^۷ (۱۹۳۲: ۱-۴۸) تحقیقاتشان روی فرایندهای بادی و فرسایش بادی و برخی چون دون و فی‌هان (۲۰۰۲: ۴۰-۳۳) روی جریان‌های خطی آب متمرکز شده است. برخی مانند فیر بریج^۸ (۱۹۶۸: 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^۹ و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۴۱-۴۳۱؛ انوشه‌پور و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۰۳-۲۸۵؛ حداد و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۰۵۳-۱۰۴۲). با تعیین طول زمانی که سنگ‌های شکننده متعادل شده‌اند، زمان زلزله‌های بزرگ، بازسازی و زمان زلزله‌های بعدی تخمین زده می‌شود (بالکو^{۱۰} 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 سه‌بعدی 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^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۸: ۸۰۸-۷۹۱). تحقیقات درباره شکنندگی ستون‌های سنگی و زلزله به بیش از یک قرن می‌رسد (برای مثال مالت^{۱۲}، ۱۹۶۲: ۱-۱۲۷). 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 کومبیز^{۱۳} و همکاران در سال ۱۹۷۶ 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 (ویراراگوان^{۱۴} و کریشانان^{۱۵}، 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

ژئومورفولوژی ژئوسایت دودکش‌های جن در قره دره 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: ۷۹-۹۳) گرزهای دیو را به‌عنوان یکی از ژئومورفوسایت‌های ماهنشان بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که این ژئوسایت، ارزش علمی و آموزشی فراوانی دارد و با توسعه گردشگری باعث رونق اقتصادی منطقه می‌شود.

امانی لاری (۱۳۹۳) در مقاله‌ای گرز دیو را در جایگاه یک جاذبه گردشگری در توسعه 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: ۴۹-۵۵) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی کمی 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 منطقه مطالعاتی

محدوده 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 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی آن بین ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار دارد. این ژئوپارک قسمت‌هایی از شهرستان‌های سبزوار و داورزن را دربرگرفته و از تنوع سنگ‌شناسی و مورفولوژیکی زیادی برخوردار است (شکل ۱).

از دهه ۱۹۹۶ شروع شده و بیشتر درباره زلزله‌سنجی دیرین و شیوه 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^۱ اسپانیا بررسی کرده‌اند و نتیجه می‌گیرند که این اشکال در همه مکان‌ها امکان بروز دارند و ممکن است دلایل دیگری همانند روکش‌دارشدن زیستی، تمرکز یافتن کلسیت و فعالیت‌های مناطق خشک برای بروز داشته باشد.

دون و فی‌هان (۲۰۰۲: ۴۰-۳۳) منشأ و اهمیت سنگ‌های قارچی را در ناحیه کارستی لاولند^۲ مطالعه کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که عوامل شکل‌ساز به یک دریاچه قدیمی تنها ختم نمی‌شود و بعضاً در قسمت‌هایی سیلاب باعث ایجاد این گونه سنگ‌ها شده است.

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

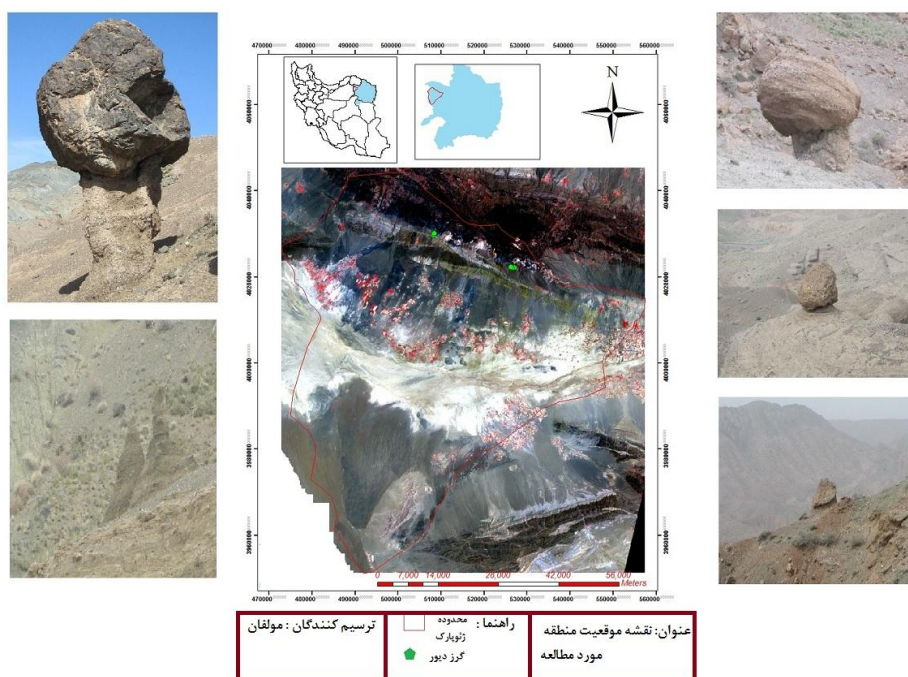
جیوانی و همکاران (۲۰۱۵: ۶۳-۵۹) هودوهای آلپ‌های مرکزی ایتالیا و مدلینگ عددی آنها را برای آنالیز عمل‌های درگیر، پایداری و واکنش به انحرافات حرکتی آن‌ها تحلیل کرده‌اند.

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

خوش‌رفتار (۱۳۸۸: ۹۷-۱۰۲) 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، قرینه اسم ماهنشان شده‌اند. ایشان در مقاله دیگری در سال ۱۳۹۱

¹ Cuenca

² lowland



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

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 پهنه 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 وجود داشتن رسوبات اولیگوسن بیانگر این موضوع است. فاز کوهزایی پاسادین در ژئوپارک با چین خوردگی نسبتاً شدید تشکیلات نئوژن و رواندگی 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

در این منطقه فاز مهم تکتونیکی کرتاسه بالایی در مزوزوئیک به وقوع پیوسته است. سنگ‌های بازیک و اولترا بازیک با رسوبات این دوره در هم آمیخته و موجب ایجاد آمیزه 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 در بردارنده 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. آهک‌های پلاژیک گلی رنگ به همراه لیستونیت به رنگ زرد پرتقالی به مقدار زیاد در این مجموعه افیولیتی وجود دارند. در بسیاری از حالات، آهک اوریتولین‌دار، قدیمی‌ترین لایه‌هایی هستند که روی گرانیت‌ها

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 شیب سنج و کمپاس برای بررسی شیب سطح و از متر با دقت میلی متر (برای لیچن) و سانتی متر برای اندازه گیری ابعاد گرز استفاده شده است. پایه ستون برای برآورد میزان فرسایش و زمان تشکیل ستون اندازه گیری شده است؛ به این صورت که مقدار فرسایش در چند سال محاسبه و سن تشکیل تا به این اندازه از پایه محاسبه می شود. برای محاسبه میزان فرسایش، فرمول تجربی داگلاس به کار گرفته شده است. لیچن ها اندازه گیری می شود تا با توجه به میزان رشد لیچن زمان رویدن آن روی سنگ و در نتیجه ثبات پوش سنگ (کلاهمک) گرز بررسی شود. نمونه هایی از سنگ های اطراف ستون و هم جنس ستون و پوش سنگ به آزمایشگاه آورده شد تا برخی ویژگی های فیزیکی آن از جمله چگالی و جرم آنها محاسبه شود. برخی از ابعاد گرز از فرمول های ریاضی (مانند محاسبه حجم) برآورد شده است. از نرم افزار ARC/GIS به منظور تهیه نقشه های منطقه و موقعیت گرزها و از Paint به منظور تنظیم، تفهیم و نشان دادن ابعاد گرز در برخی عکس ها استفاده شده است.

ژئوپارک، کنگلومرا نیز مشاهده می شود که برخی از زمین شناسان آن را هم سن کنگلومرای بختیاری می دانند (درویش زاده و محمدی، ۱۳۸۱: ۴۵۳-۳۷۰).

مواد و روش ها

این تحقیق متکی بر روش قیاسی و استقرایی است. روش قیاسی به صورت یک فرایند تفکر تعریف می شود که از قراردادن واقعیت ها در کنار هم و استخراج یک نتیجه حاصل می شود. بحث قیاسی هنگامی معتبر است که نتیجه به طور بایسته و ضروری از پیش فرض و فرضیه به دست آید. در روش استقرایی، نتایج با مشاهده نمونه و تعمیم به کل، حاصل می شود. در این گونه بحث، تلاش می شود تا نشان داده شود که نتیجه به طور ضروری از مجموعه ای از پیش فرض ها یا فرضیه ها به دست می آید. گواه آوردن یا استدلال قیاسی در کنار گواه آوردن استقرایی، یکی از دو روش رایج در شناخت و رسیدن به دانایی یا معرفت است. برای جمع آوری داده ها از رویکردهای کتابخانه ای و میدانی بهره گرفته شده است. مقالات و کتاب های مرتبط با موضوع گردآوری، مطالعه و بررسی شده است تا مبانی نظری و پیشینه تحقیق نگارش شود. نقشه زمین شناسی 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



شکل ۲. تصویر از برداشت میدانی گرزها

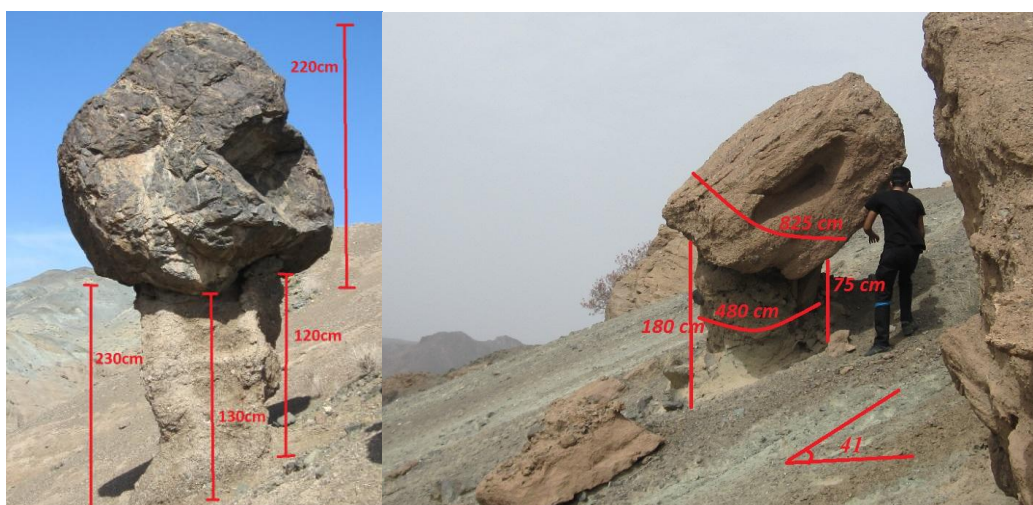
فرضی (با محاسبه شعاع و ارتفاع مخروط $V = 1/3 \pi r^2 h$). این عدد در هر سه روش با اختلاف اندک ۴/۸۹ متر مکعب برای کلاهک گرز بنگ و ۵/۷۵ متر مکعب برای گرز بفره محاسبه شده است. برای محاسبه جرم کلاهک گرز کافی است چگالی سنگ‌ها را از منابع علمی استخراج و در حجم، ضرب کرد. روش دیگر این است که با وزن کردن قسمتی از خرده‌های سنگ گرز و تعمیم نرم‌افزاری، جرم کل محاسبه می‌شود. این جرم در هر دو روش مقدار تقریبی ۱۳۴۴۷ کیلوگرم برای کلاهک گرز بنگ و ۱۱۱۶۰ برای کلاهک بفره محاسبه شد. گرزهای ژئوپارک اغلب طول کمی دارد و اندازه طول کلاهک از ستون یا بیشتر و یا در اندازه مساوی با ستون است. شیب پایه ستون بنگ ۴۵ درجه و شیب ستون بفره ۴۱ درجه است. این نشان‌دهنده شیب زیاد در گرزهای منطقه مطالعاتی است.

یافته‌های تحقیق

به دلیل تعدد بحث‌ها و ممانعت از پراکندگی آن‌ها یافته‌های مربوط به گرزهای دیو در ژئوپارک پیشنهادی به ۵ بحث ژئومتری، شیوه 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 تپیک‌ترین آن‌ها در دو حوضه 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



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

منشأ گرزهای دیو

با توجه به زمین‌شناسی منطقه همزمان با بسته شدن حوضه 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^۱ توده‌ای از قطعات گدازه 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 اندازه 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 برگستگی

لایه‌ها هم وجود ندارد. اما با یک بازسازی قدیمی لایه‌ها دریافت می‌شود که پس از آتشفشان، آگلومراها، ولکانوسدیمانترها و کنگلومراها شکل گرفته‌اند. پس از آن تکه سنگ بزرگی به وزن تقریبی ۱۳ تن روی این رسوبات آرام می‌گیرد (شکل ۴). در ادامه، فرسایش آبی و بادی، کار خود را آغاز می‌کند و قسمت‌های سست‌تر اطراف و زیر سنگ را با خود می‌برد. وزن سنگ کلاهدک و سختی آن مانع فرسایش ستون می‌شود و ستونی در زیر آن شکل می‌گیرد. نبودن تضاریس و صاف‌شدگی در کلاهدک گرزهای مطالعه‌شده چند نکته را در ذهن متبادر می‌کند. اول این که فرسایش روی کلاهدک قبل از تشکیل گرز برای مثال با ضربه غلتیدن یا انحلال خوردگی صورت گرفته باشد و یا قسمتی از فرسایش بعد از قرارگیری کلاهدک روی ستون باشد.

^۱ Agglomerate



شکل ۴. تصویر سمت راست، بازسازی رسوبات و سمت چپ، قسمت‌های باقی‌مانده در منطقه گرز بنگ

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 منطقه سایشی، نزدیک سطح زمین شکل می‌گیرد (جولی لایتی^۲، 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

به طور کلی درباره شیوه تشکیل گرزهای دیو در ژئوپارک پیشنهادی موارد ذیل شایان ذکر است.

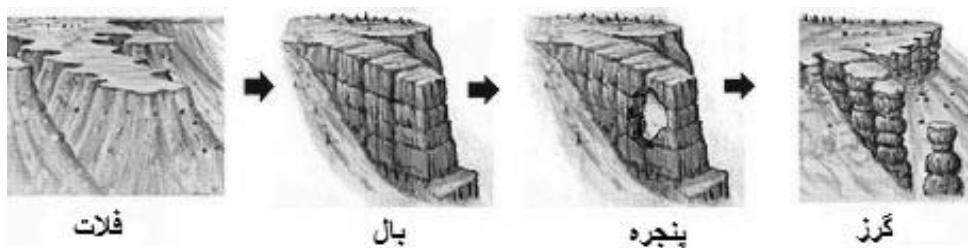
▪ گرزها در سنگ‌های ستونی گرانیتی در دو مرحله شکل می‌گیرند (تویدال^۱، ۲۰۰۴). نخستین مرحله زمانی اتفاق می‌افتد که زیر سطح جایی که آب‌ها به شکل تجزیه شیمیایی فعال هستند و از طریق شکاف‌ها و درزها وارد می‌شوند. مرحله دوم هوازدگی مکانیکی است تا سنگ‌های کروی ساخته شوند. توسعه تخته سنگ‌ها در موقعیت‌های مختلف مشروط به چندین عامل ژئومورفیک و ژئولوژیک است: دامنه توپوگرافی که ستون سنگی در آن پدیدار می‌شود؛ فاصله 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

² Julie Laity

¹ Twidale

چتر از قسمت‌های زیرین، محافظت و ستون‌های طولیلی 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

سی سال تنها یک میلی‌متر به اندازه قطرش افزوده می‌شود. البته او در نیوزلند این اندازه را ۶ سال تخمین زده است. از آن جایی که منطقه مطالعاتی، منطقه 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 اندازه 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 ۶).

ناشی از استرس‌های دمایی). کریستالی شدن 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

با توجه به مشاهدات میدانی یک اصل، درباره گرزهای ژئوپارک پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. هر جا یک گرز تپیک وجود دارد، اطراف آن چندین ستون سنگی و گرز کوچک نیز دیده می‌شود. یعنی آن منطقه با شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژی خاص خود، زمینه 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^۱ (۲۰۰۳: ۱۱۶۷-۱۱۵۵) روی لیچن نشان می‌دهد که این نوع لیچن با نام علمی «Rhizocarpon subgenus Rhizocarpon» در یک تا

^۱ Bull



شکل ۶. لیچن‌های گرز دیو واقع در ژئوپارک

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 حوضه کلاته سادات که بیشترین گرزهای

سنگی را دارد و نتایج حاصل پس از تبدیل واحدها در

جدول (۱) آورده شده است.

راه دیگری که سن تشکیل آن را به دست می‌دهد،

میزان برداشت رسوب از منطقه است. برای این منظور

داده‌های مورفومتری حوضه‌های این گرزها مانند

حوضه صدخرو و حوضه کلاته سادات اطراف این

گرزها از اداره منابع آبخیزداری، استخراج و میزان

برداشت رسوب را بر حسب میلی‌متر در متر مربع

محاسبه شد. اگر از رابطه تجربی داگلاس استفاده شود

(زنگنه اسدی و کریمی‌دوست، ۱۳۸۹: ۳۷) این رابطه

شکل می‌گیرد:

$$\text{Log (SS)} = -1.73 + 3/81 \log(Q) - 1/54 \log(R/L) + 4/82 \log(DD)$$

در این رابطه:

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

مشخصه حوضه	تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	طول آبراهه 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 اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی (سال ۱۳۹۲)

زوال گرز دیو

هر گاه فرسایش به اندازه‌ای باشد که ستون، نازک

شود یا ترک بردارد، فرو می‌ریزد. جنس لایه زیرین،

جهت فرسایش و میزان برداشت آن و سنگینی تعادلی

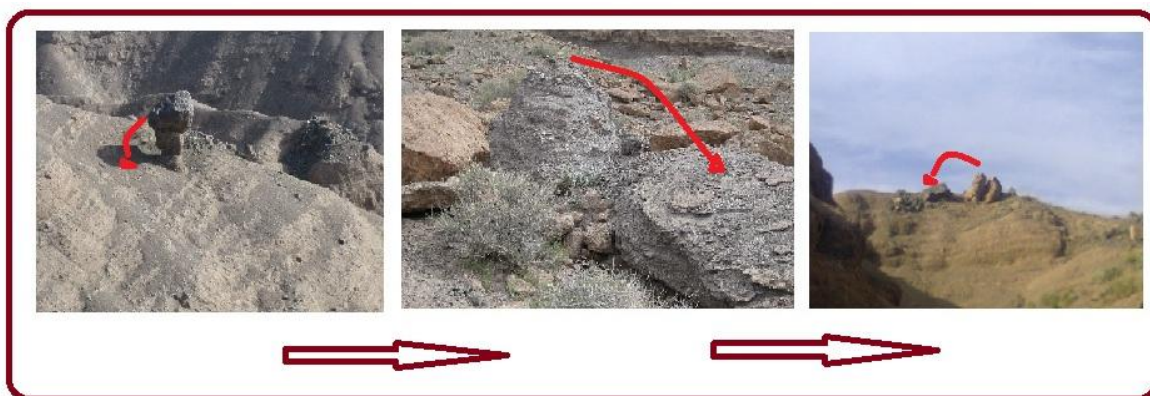
مطابق آن چه از این نتایج برمی‌آید می‌توان گفت

که سن پیدایش گرز بنگ حداقل به ۲۷۰۵۸ سال و

گرز بفره حداقل به ۲۱۱۷۶ سال قبل برمی‌گردد.

دوام فرسایشی وزنه و انتهای ستون یک رابطه دو سویه داشته و بقای هر کدام در گرو دیگری است. ترک‌هایی در ستون‌ها به شکل عمودی وجود دارد که بیانگر شکننده بودن 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).

سنگ، جهت افتادن سنگ را مشخص می‌کند. در گرزهای بفره و بنگ پیش‌بینی می‌شود که به علت سست شدن و ترک برداشتن لبه بالایی ستون، کلاhek در بالادست ستون بیفتد. در بررسی میدانی مشاهده شده است که لبه پایینی ستون رو به رودخانه، فرسایش کندتری نسبت به قسمت رو به قله دارد. این تأخیر در فرسایش ممکن است به دلیل وزین بودن کلاhek باشد و یا حصار قسمت بالاتر، مانع فرسایش این قسمت شده باشد. در یک عبارت دیگر این گونه استنباط می‌شود که



شکل ۷. تصویر تخریب گرزها و مراحل تخریب

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 زلزله بالای ۵ ریشتر باقی نمی‌مانند.

نتیجه‌گیری

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

اهمیت مطالعه گرزهای دیو

ارزیابی گرزهای دیو در منطقه 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، ۱۳۹۴). 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

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 غلبه 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 ۱۴۵۰ متر بالاتر است و شیب‌ها گاهی به ۴۵ 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 دسترس بودن نیز یکی دیگر از ویژگی‌های این گرزهاست که دخالت‌ناداشتن انسان را در دوامشان بازگو می‌کند. گرزهای این ژئوپارک نسبت به ستون‌های سنگی دیگر، قد بلندی ندارد؛ اما وزن کلاهدک آن زیاد است و گاهی به بیش از ۱۰ تن می‌رسد. کلاهدک‌ها 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 تریاری، 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 سنگ‌چین کردن 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 توسعه بندر لنگه، دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در جغرافیا و گردشگری، http://www.civilica.com/Paper-GEOGRAPHY02-GEOGRAPHY02_142.html
- جعفری، غلامحسین؛ 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 زمین‌شناسی، 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 کمی ارزیابی فرسایش آبی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، چاپ اول، صص ۱۳۶-۱.
- زنگنه اسدی، محمدعلی؛ امیراحمدی، ابوالقاسم و شایان یگانه، علی‌اکبر (۱۳۹۴). ارزیابی کمی ژئومورفوسایت‌ها در ژئوپارک غرب خراسان رضوی

- Giovanni B. Crosta, Riccardo Castellanza, Roberto de Franco, Alberto Villa, Gabriele Frigerio, and Grazia Caielli G.
- Bryan, K. (1927). Pedestal rocks formed by differential erosion U. S. Geol. Surv. 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 Greeley et 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
- به روش فاسولاس و همکاران، اولین کنفرانس بین المللی هنر، صنایع دستی و گردشگری، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز، ایران.
- سبزه‌ای، مسیب (۱۳۶۹). 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 ۸۷۴-۱.
- فشارکی، پریدخت (۱۳۷۹)، فرهنگ جغرافیا: تعریف و توصیف اصطلاحات جغرافیای طبیعی و اصطلاحات متداول در جغرافیا، مؤسسه انتشارات امیرکبیر، تهران، چاپ سوم، صص ۴۳۷-۱.
- وبسایت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی: <http://www.nr-9/CatID/2/PageNumber/8856khr.ir/tabid/Default.aspx>
- وبسایت ویکی‌پدیا: https://en.wikipedia.org/wiki/Hoodoo_%28geology%29
- Anderson, J. G., Brune, J. N., Biasi, G., Anoshehpour, 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.
- Anoshehpour, A., Brune, J. N., Zeng, Y. (2004). Methodology for obtaining constraints 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

- 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, J. J. (1932). Pedestal rocks of granite in the southern Piedmont. Elisha Mitchell 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.