

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۹۴  
وصول مقاله : ۱۳۹۲/۱۱/۱۰  
تأیید نهایی : ۱۳۹۳/۸/۱۷  
صفحات : ۱۵۴ - ۱۳۷

## ارزیابی مخروطه‌افکنه‌های شمال شرق ریوند به عنوان منابع بالقوه سنگدانه و ارتباط آن‌ها با فرایندهای ژئومورفولوژی

دکتر شهرام بهرامی<sup>۱</sup>، دکتر سید محمود فاطمی عقدا<sup>۲</sup>، کاظم بهرامی<sup>۳</sup>، محمد معتمدی راد<sup>۴</sup>، سیما پور هاشمی<sup>۵</sup>

### چکیده

سنگدانه‌ها از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی هستند که بخش اصلی حجم بتن را تشکیل می‌دهند. یکی از مهم‌ترین منابع تأمین سنگدانه‌های طبیعی، مخروطه‌افکنه‌ها هستند. با گذشت زمان و افزایش سن مخروطه‌افکنه‌ها، رسوبات سطح آنها بیشتر در معرض تغییر و هوازدگی قرار گرفته و بنابراین کیفیت سنگدانه‌ها کاهش می‌یابد. در این تحقیق، بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شاخص بار نقطه‌ای، کیفیت سنگدانه‌های سطح سه مخروطه‌افکنه متروک و قدیمی و جدید در شمال شرق ریوند ارزیابی شد. تفکیک مخروطه‌افکنه‌ها بر اساس شاخص‌های ژئومورفولوژیکی؛ مانند مورفولوژی سطح مخروط، میزان هوازدگی و الگوی زهکشی انجام شد. به علت وجود لیتولوژی متفاوت سطح مخروط‌ها، در قسمت بالادست و پایین هر مخروط، تعداد ۱۸ نوع سنگ مشترک انتخاب گردید و آزمایش بار نقطه‌ای در آنها انجام شد. خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها مانند چگالی، تخلخل و درصد جذب آب در هر مخروط در قسمت بالا و پایین دست آن انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص بار نقطه‌ای و چگالی از مخروط‌افکنه جدید به مخروطه‌افکنه‌های قدیمی و متروک کاهش می‌یابد. میزان تخلخل و درصد رطوبت اشباع نیز رابطه مستقیمی با سن مخروطه‌افکنه‌ها دارد به طوری که قدیمی‌ترین مخروط (متروک) بالاترین میزان تخلخل و درصد رطوبت اشباع را دارد. نتایج نشان می‌دهد که در سطح تمام مخروط‌ها، مقاومت سنگدانه‌ها در رأس مخروطه‌افکنه‌ها بیشتر از قاعده آنها است که این موضوع ناشی از سن کمتر و بنابراین هوازدگی کمتر ذرات واقع در بالادست مخروطه‌افکنه‌ها است. به طور کلی، بررسی تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تغییرات در مقاومت سنگدانه‌های سطح مخروط‌ها ناشی از سن مخروطه‌افکنه‌ها و میزان هوازدگی آنها است به طوری که سنگدانه‌های با کیفیت کمتر در مخروط‌های متروک و قدیمی، به علت هوازدگی طولانی مدت آنها است.

کلید واژگان: سنگدانه، ژئومورفولوژی، مخروط‌افکنه، هوازدگی، ریوند.

## مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها به عنوان یکی از مهمترین اشکال ژئومورفولوژی تراکمی، شامل تخته‌سنگ‌های بزرگ، شن، ماسه، سیلت و رس هستند که به طور کلی به سمت پایین‌دست، اندازه ذرات آنها ریزتر می‌شود. با وجود اینکه مخروط‌افکنه‌ها در معرض مخاطراتی مانند سیلاب هستند (House, 2005)، آنها منابع مناسبی از سنگدانه را تشکیل می‌دهند (Lindsey and Melick, 2002; Langer et al., 2004). سنگدانه‌ها به عنوان بخشی از مصالح ساختمانی، نقش مهمی در توسعه و عمران مناطق شهری و روستایی ایفا می‌کنند. سنگدانه‌ها شامل مواد سختی مانند ماسه، گراول و سنگ لاشه هستند که بعد از ترکیب با مواد چسبنده دیگر، می‌توانند در ساخت بتن، آسفالت، ملات، زیرسازی راه‌ها و راه‌آهن، پل‌ها، تونل‌ها، سدها، فرودگاه‌ها و دیگر اهداف ساختمانی به کار روند (معماریان، ۱۳۹۲: Tshwenyego and Poulin, 1997). با توجه به اینکه سنگدانه‌ها حجم خیلی زیادی از مصالح مصرفی در پروژه‌های عمرانی را در بر می‌گیرند، ویژگی‌های آنها می‌تواند تأثیر بسیار زیادی در کیفیت پروژه عمرانی داشته باشد (پاکرایبی و همکاران، ۱۳۸۹، شریفی، ۱۳۸۷). هوازدهی و فرایندهای ژئومورفولوژی نیز به شدت می‌توانند بر روی ویژگی‌های فیزیکی سنگدانه‌های طبیعی تأثیرگذار باشند.

با وجود اینکه تحقیقات زیادی در زمینه ویژگی‌های فیزیکی سنگدانه‌ها و ارتباط آن با مشخصات بتن انجام شده است (Fookes, 1980; Wu et al., 2001; Meddah et al., 2010; Duan et al., 2013)، تحقیقات کمی در زمینه تأثیر ژئومورفولوژی بر کیفیت سنگدانه‌ها انجام شده است (Thomas, 1988; Langer et al., 2004; Kennedy and Froese, 2008). تحقیقات مربوط به رابطه بین ژئومورفولوژی و سنگدانه، تعداد بسیار محدودی به نقش ژئومورفولوژی

سطح مخروط‌افکنه‌ها در تشکیل و کیفیت سنگدانه‌ها پرداخته‌اند (Bryan et al., 2000; Lindsey and Malick, 2002; Langer et al., 2004; Gondal et al., 2008). بررسی‌های برای<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۰) روی مخروط‌افکنه‌های نوادا نشان داد که سطح مخروط‌افکنه‌های قدیمی، به علت قرارگیری طولانی مدت در معرض هوازدهی، دارای رسوبات فرسوده و هوازده است و کیفیت پایینی به عنوان سنگدانه دارند در حالی که بالاترین کیفیت سنگدانه‌ها مربوط به مخروط‌افکنه‌های جدید با هوازدهی کم است. مطالعات گوندال<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در جنوب استان پنجاب در پاکستان نشان داد که مخروط‌افکنه‌های بزرگ تشکیل شده از فعالیت رودهای غیر دائمی، سنگدانه‌های باکیفیتی را جهت استفاده به عنوان زیرسازی جاده‌ها تشکیل می‌دهند.

با وجود اینکه محققانی مانند یمانی و مقصودی (۱۳۸۲)، مختاری کشکی و همکاران (۱۳۸۶)، مقصودی (۱۳۸۷)، روستایی و همکاران (۱۳۸۸)، رامشت و همکاران (۱۳۸۸)، روستایی و همکاران (۱۳۸۸)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۱)، زمردیان و برومنند (۱۳۹۱) و شایان و زارع (۱۳۹۲) مخروط‌افکنه‌های ایران را از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند، اما تحقیقات مربوط به کیفیت سنگدانه‌ها در ایران محدود است.

با اینکه مطالعاتی در زمینه ویژگی‌های مهندسی سنگدانه‌ها در ایران انجام شده است (حسنلی و همکاران، ۱۳۸۵؛ تلخابلو و همکاران، ۱۳۸۶؛ پاکرایبی و همکاران، ۱۳۸۹)، بررسی‌های محدودی در زمینه رابطه ژئومورفولوژی و سنگدانه‌ها انجام شده است. بهرامی و همکاران (۱۳۹۰، ۱۳۹۲) نقش ژئومورفولوژی را در کیفیت سنگدانه‌های واریزه‌ای، مخروط‌افکنه‌های جدید و قدیم و بسترهای رودخانه‌ای حوضه‌های

1 - Bryan

2 - Gondal

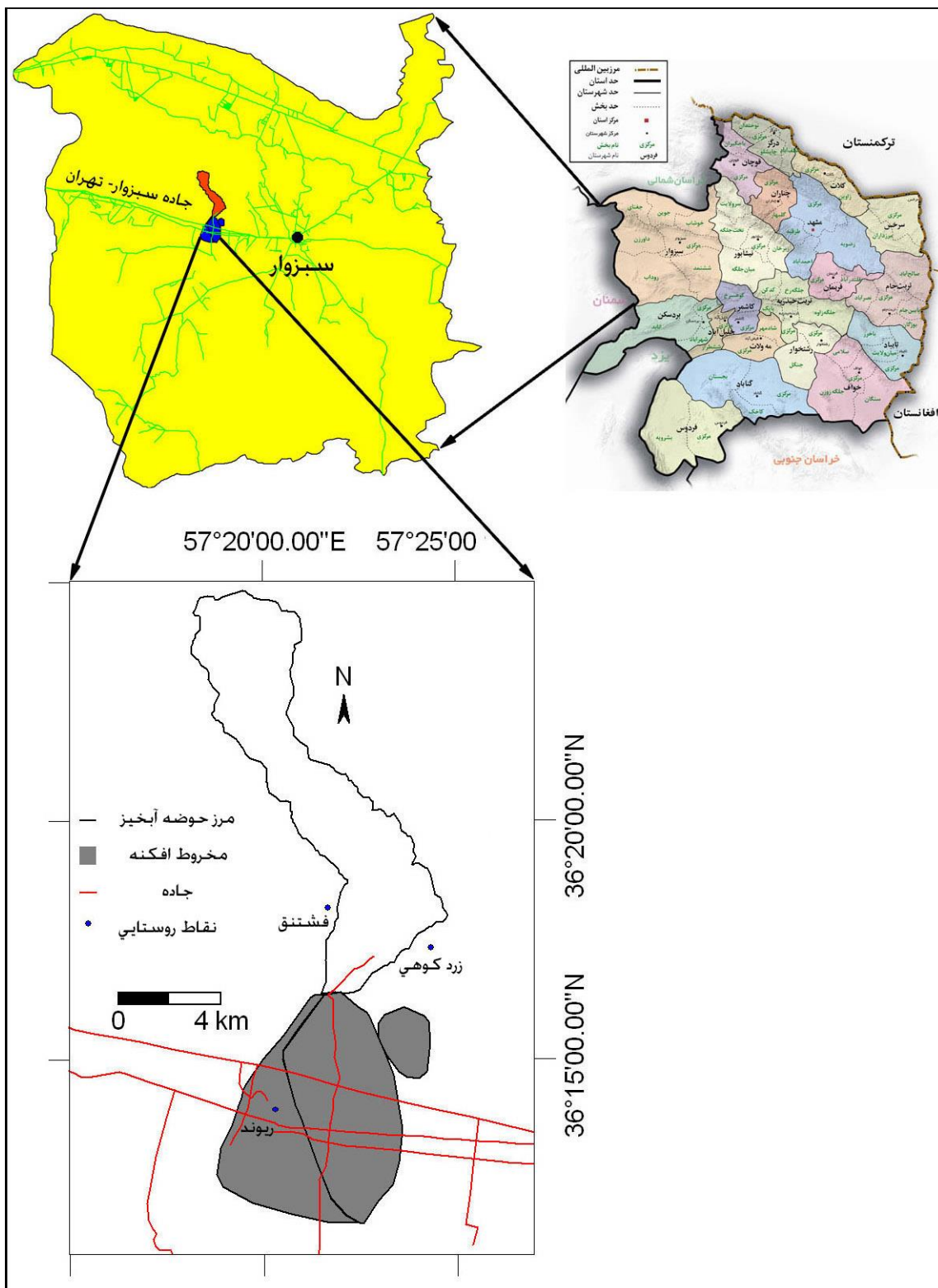
نشان‌دهنده موقعیت برخورد صفحات توران در شمال و ایران در جنوب است. منطقه سبزوار متشکل از افیولیت و سنگ‌های آتشفشانی رسوبی است که در شمال و جنوب با گسل‌های میامی و درونه محدود شده است (Khalatbari Jafari et al., 2013: 210).

افیولیت‌های جفتای جزئی از افیولیت‌های منطقه سبزوار و از انواع متعلق به مزوزوئیک هستند. در زمان کرتاسه در این ناحیه یک حوضه محدود ریفتی تشکیل شده است که ظاهراً در اواخر کرتاسه شروع به بسته شدن کرده است. افیولیت‌های مزبور روند شرقی-غربی دارند و از نظر ساختاری از چندین ورقه رانندگی تشکیل شده‌اند. در کنار و روی افیولیت‌های متعلق به مزوزوئیک که در پیرامون خرده قاره ایران مرکزی قرار دارد، ردیف‌های آتشفشانی و رسوبی دوره ترشیاری به ویژه ائوسن گسترش یافته‌اند. حوضه بالادست مخروطه‌افکنه‌های مورد مطالعه ۴۹.۵۷ کیلومتر مربع مساحت دارد. مساحت مخروطه‌افکنه‌های جدید و قدیمی و متروک به ترتیب ۱۸.۱۶، ۲۶.۸۶ و ۴.۱۵ کیلومتر مربع است. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه آبخیز به ترتیب ۱۱۱۷ و ۲۸۱۴ متر از سطح دریا است. حداقل و حداکثر ارتفاع مخروطه‌افکنه‌های مطالعاتی به ترتیب ۸۹۰ و ۱۱۱۷ متر است. لیتولوژی حوضه بالادست مخروط مورد مطالعه شامل واحدهای Am (آمفیبولیت، آمفیبول شایست)، Cs (کمپلکس دایک‌های صفحه‌ای)، Da (داسیت، آندزیت داسیتی و کوارتز تراکی آندزیت)، Db (دیاباز)، Gb (گابرو)، Hz (هارزبورژیت)، Kv1 (مجموعه درهم گدازه‌های زیردریایی و رسوبات عمیق دریایی)، Mm (مارن‌های کرم تا صورتی رنگ حاوی ژیپس)، Plc (کنگومرای قرمز تا قهوه‌ای با میان‌لایه‌های مارنی)، Qt2 (مخروطه‌افکنه‌ها و پادگانه‌های جوان و کم‌ارتفاع)، Sa (آندزیت لاتیتی حاوی سودالیت و انالیسم) است (شکل ۲).

خرم‌آباد، قلعه شاهین و پطاق بررسی کردند. بررسی آنها نشان داد که با وجود کیفیت مناسب سنگدانه‌ها در تمامی لندفرم‌های مذکور، مخروطه‌افکنه‌های قدیمی به علت تأثیر فرآیند هوازدگی بیشتر، دارای کیفیت کمتری نسبت به مخروطه‌افکنه‌های جدید هستند. به طور کلی تفاوت در میزان هوازدگی در سطح مخروطه‌افکنه‌های قدیمی و جدید نقش مهمی در کیفیت سنگدانه‌ها ایفا می‌نماید. به عنوان مثال، قرارگیری طولانی مدت رسوبات در معرض تابش آفتاب و بارندگی در بخش‌های قدیمی و غیرفعال مخروطها باعث ایجاد هوازدگی و انحلال و ایجاد خاک بیشتر در آنها می‌شود در حالی که بخش‌های جدید مخروطه‌افکنه‌ها دارای رسوبات تازه‌تر و دارای خاک کمتر هستند و بنابراین کارایی بهتری به عنوان سنگدانه دارند. این موضوع نشان می‌دهد که فرایندهای ژئومورفولوژی؛ مانند: هوازدگی، میزان فرسایش و انتقال مواد آواری، تخریب فیزیکی و شیمیایی و همچنین عوامل زمین‌ساختی و تحولات ژئومورفولوژیکی نقش مهمی در پراکندگی و کیفیت سنگدانه‌ها در مخروطه‌افکنه‌ها ایفا می‌کنند. با توجه به اینکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بسترهای رودخانه‌ای دائمی کمتر دیده می‌شوند، توجه به رسوبات و آبرفت‌های سطح مخروطه‌افکنه‌ها، که بخش‌های وسیعی از سطوح کم‌شیب پای ارتفاعات را در بر گرفته‌اند، دارای اهمیت زیادی به عنوان منابع بالقوه سنگدانه هستند. هدف این تحقیق بررسی تأثیر فرایندهای ژئومورفولوژیکی با تأکید بر هوازدگی بر روی ویژگی‌های سنگدانه‌ها به خصوص ویژگی‌های مقاومتی در مخروطه‌افکنه‌های شمال شرق ریوند است.

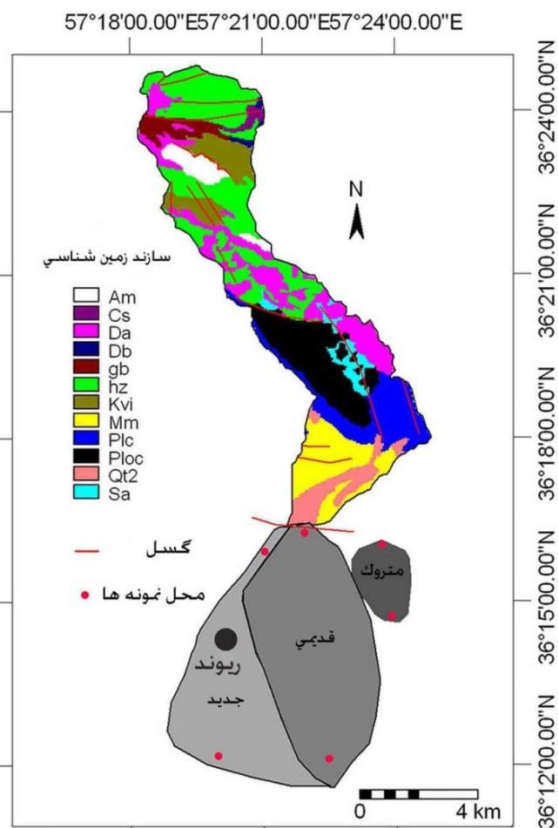
### منطقه مورد مطالعه

مخروطه‌افکنه‌های مورد مطالعه، در شمال شرق روستای ریوند در غرب سبزوار قرار دارند (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی، منطقه مطالعاتی بخشی از کمربند افیولیتی سبزوار محسوب می‌شود. تشکیلات افیولیتی



شکل ۱: موقعیت مخروطه‌افکنه‌های مطالعاتی در شهرستان سبزوار و استان خراسان رضوی

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۲: نقشه لیتولوژی و گسل‌های منطقه مورد مطالعه

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

الگوی شبکه زهکشی، حداکثر عمق برش سطح مخروط و میزان هوازدهی (مانند ورنی و میزان نسبی تشکیل خاک) نیز با مطالعات میدانی بررسی گردید و مخروط‌ها به سه سطح متروک و قدیمی و جدید تقسیم شدند. مشخصات کلی مخروط‌ها و حوضه آبخیز از جمله مرز، ارتفاع و مساحت بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ به دست آمد. سازندهای زمین‌شناسی حوضه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ استخراج گردید.

جهت تعیین مقاومت سنگدانه‌ها، مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها از جمله وزن واحد حجم، تخلخل و درصد جذب آب در بالادست و پایین‌دست هر مخروط انجام شد. در مجموع ۶ سری نمونه‌برداری از سطح مخروطه‌افکنه‌ها انجام شد. در هر مخروطه‌افکنه دو سری نمونه (یک نمونه در قسمت بالادست و یک

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر فرایندهای ژئومورفولوژی در کیفیت سنگدانه‌های سطح مخروطه‌افکنه‌ها، از چند شاخص ژئومورفولوژی جهت تفکیک مخروطه‌افکنه‌های متروک و قدیمی و جدید استفاده شد. تفکیک مخروطه‌افکنه‌ها بر اساس شاخص‌هایی مانند میزان هوازدهی، مورفولوژی سطح مخروط، الگوی زهکشی و تن رنگ در تصاویر ماهواره‌ای انجام شد (Field, 1994; Frankel and Dolan, 2007). تفکیک اولیه مخروطه‌افکنه‌ها بر اساس تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. مخروطه‌افکنه‌های متروک و قدیمی، به علت وجود رسوبات هوازده، تن رنگ تیره‌تری در تصاویر ماهواره‌ای دارند؛ در حالی که مخروط‌های جدید دارای رنگ روشن‌تری هستند.

در محل ( شناسایی بر اساس بافت و ساخت، رنگ، رنگ خاکه، سختی، جلا، رخ، شفافیت و نحوه شکستگی در کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگدانه‌ها) ۲- شناسایی ماکروسکوپی دقیق‌تر در آزمایشگاه (با استفاده از لوپ و عدسی دستی و نظرات کارشناسان مجرب) و ۳- شناسایی میکروسکوپی نمونه‌های مشکوک (غیر قابل تشخیص) بعد از انجام آزمایش بار نقطه‌ای انجام شد. پس از انجام بررسی‌های دقیق سنگ‌شناسی تعداد ۱۸ نوع سنگ مختلف از همدیگر تفکیک شدند. برای هر نوع از سنگ‌های تفکیک‌شده ۲۰ نمونه انتخاب و مطابق با استاندارد ASTM D 5731 آزمایش بار نقطه انجام شد. مطابق با استاندارد مذکور، بالاترین و پایین‌ترین مقدار به دست آمده در هر نمونه حذف گردید و از آن‌ها میانگین گرفته شد. بعد از انجام آزمایش‌ها، نتایج به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### ژئومورفولوژی

مخروطه‌افکنه‌های مورد مطالعه شامل سه سطح متروک و قدیمی و جدید هستند (شکل ۲) که از نظر مورفولوژی کاملاً متفاوت هستند. بررسی تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مورفولوژی سطح مخروط‌ها، تحت تأثیر فرایندهای رسوبگذاری و فرسایش، کاملاً متفاوت است. سطح مخروط جدید که متأثر از سیلاب و رسوبگذاری است، مورفولوژی نسبتاً همواری دارد (شکل ۳). در مخروط‌های قدیمی و بسیار قدیمی (متروک) به علت اینکه صدها یا هزاران سال از سیلاب در امان مانده‌اند، فرسایش قهقرایی و گالی‌ها توسعه یافته که این امر منجر به ایجاد مورفولوژی ناهموار و برش یافته شده است. همانگونه که شکل ۳ نشان می‌دهد، سطح مخروط متروک اغلب از گالی‌های بسیار عمیق تشکیل شده است به طوری که در مواردی عمق

نمونه در قسمت پایین دست برداشت شد. شکل ۲ محل دقیق نمونه‌برداری‌ها را نشان می‌دهد. نمونه‌ها از سطح مخروطه‌افکنه‌ها و به شکلی انجام شد که تأثیرات سنگ‌شناسی حذف شود و همه نمونه‌های برداشت شده ترکیب سنگ‌شناسی مشابهی داشتند. آزمایش تعیین وزن واحد حجم و تخلخل مطابق با استاندارد ASTM C 29 و آزمایش تعیین درصد جذب آب مطابق با استاندارد ASTM C 127 انجام شده است. در بررسی مقاومت سنگ‌ها معمولاً از آزمایش مقاومت فشاری استفاده می‌شود. این آزمایش بر روی مغزه‌هایی از سنگ با نسبت طول به قطر ۲.۵ تا ۳ و حداقل قطر ۵۴ میلی‌متر انجام می‌شود. در سنگدانه‌ها به علت کوچک بودن ابعاد آن‌ها امکان تهیه مغزه و انجام آزمایش مقاومت فشاری وجود ندارد. برای رفع این مشکل، از آزمایش بار نقطه‌ای استفاده می‌شود. اندازه استاندارد سنگدانه‌ها در آزمایش بار نقطه‌ای ۵۰ میلی‌متر است؛ اما با انجام تصحیحاتی می‌توان این آزمایش را بر روی نمونه‌هایی به اندازه ۳۰ تا ۸۵ میلی‌متر نیز انجام داد. در این تحقیق سعی بر این بوده که نمونه‌های برداشت شده از نظر اندازه نزدیک به محدوده استاندارد (۵۰ میلی‌متر) باشند تا تصحیحات کمتری روی آن‌ها انجام شود. این آزمایش را می‌توان بر روی سنگدانه‌های کلوخه‌ای نامنظم نیز انجام داد. بنابراین در این آزمایش بدون آنکه نیاز به تغییر در سنگدانه‌های طبیعی باشد می‌توان مقاومت سنگدانه‌ها را تخمین زد. نحوه انجام آزمایش بار نقطه‌ای، تعداد نمونه‌های آزمایش شده و تصحیحات انجام شده در این تحقیق دقیقاً مطابق با استاندارد ASTM D 5731 است. با توجه به اینکه مخروطه‌افکنه‌ها متشکل از سنگدانه‌هایی با جنس مختلف بود به منظور حذف اثر سنگ‌شناسی در نتایج آزمایش‌ها، مطالعات سنگ‌شناسی دقیق انجام شد. مطالعات سنگ‌شناسی طی سه مرحله: ۱- شناسایی ماکروسکوپی سنگدانه‌ها

مدت رسوبات مخروط متروک در معرض بارندگی است که باعث توسعه و عمیق شدن گالی‌ها در سطح آن شده است.

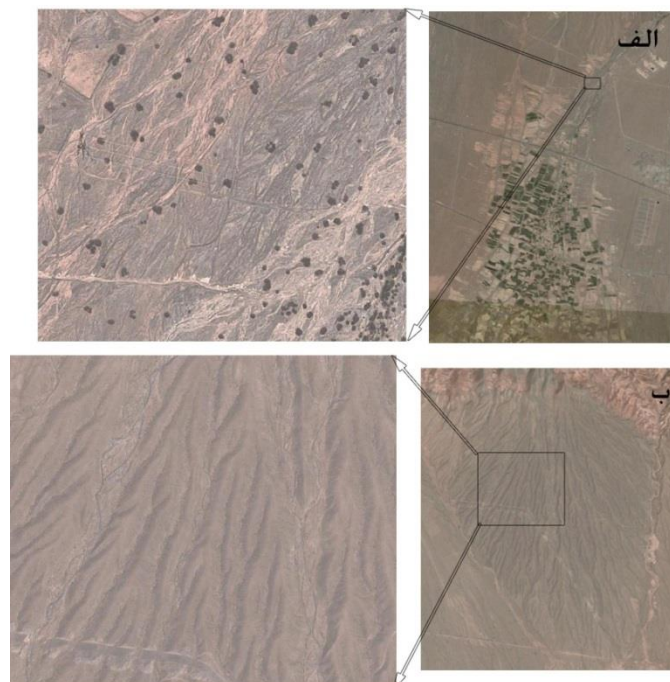
برش سطح مخروط‌ها به بیش از ۴/۵ متر می‌رسد. عمق گالی‌ها در مخروط متروک بیشتر از مخروط قدیمی است که این موضوع به علت قرارگیری طولانی



شکل ۳: مورفولوژی نسبتاً هموار مخروط جدید (الف) و مورفولوژی ناهموار و برش‌یافته مخروط متروک (ب)  
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

شاخه شاخه یا گیسوی نیز در مخروط جدید تشکیل شده است (شکل ۴، الف). در مخروط‌های متروک و قدیمی، به علت غلبه فرسایش قهقراپی، الگوی زهکشی شبکه درختی یا همگرا توسعه یافته است (شکل ۴، ب).

بررسی الگوی زهکشی سطح مخروط‌ها نشان می‌دهد که سطح مخروط جدید، الگوی کلی توزیعی یا واگرا دارد و به طوری که آبراهه‌ها در محل خروج از کوهستان، به علت کاهش شیب، به شکل واگرا ظاهر می‌شوند. علاوه بر الگوی توزیعی، الگوی زهکشی



شکل ۴: الگوی زهکشی شاخه شاخه و متقاطع مخروط جدید (الف) و الگوی زهکشی همگرا یا شبکه درختی مخروط متروک (ب)  
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

قرارگیری طولانی مدت سطوح مخروطه‌افکنه متروک و قدیمی در معرض تابش آفتاب و بارندگی باعث ایجاد هوازدگی و ورنی سنگ شده است؛ در حالی که سطح مخروطه‌افکنه جدید دارای رسوبات بدون هوازدگی و ورنی است (شکل ۵). به همین دلیل،

سطوح قدیمی و متروک دارای تن رنگ تیره‌تر و سطح جدید دارای تن رنگ روشن‌تری در تصاویر ماهواره‌ای است. هوازدگی بیشتر در سطوح قدیمی و متروک باعث ایجاد مقداری خاک در سطح آنها نیز شده است.



شکل ۵: هوازدگی شدید، ایجاد پوشش ورنی بر سطح قله‌سنگ‌ها و ایجاد مقداری خاک در مخروط قدیمی (الف) و رسوبات جدید و غیر

هوازده مخروطه‌افکنه جدید (ب)

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

### خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها

خصوصیات فیزیکی سنگ همچون چگالی، تخلخل، درصد رطوبت و غیره در ویژگی‌های مهندسی سنگ حائز اهمیت است. چگالی سنگ تابع منافذ، درزه‌ها، شکاف‌ها و سایر فضاها موجود در سنگ است. هوازدگی سنگ‌ها باعث کاهش چگالی آن‌ها می‌شود. این موضوع به خاطر افزایش درزه و ترک در سنگ،

تجزیه شیمیایی و تورم برخی از کانی‌ها در اثر هوازدگی است. اختلاف در چگالی سنگ‌ها بیشتر مربوط به تخلخل آن‌ها است؛ زیرا چگالی دانه‌ای اکثر کانی‌ها نزدیک به هم است و بدین ترتیب همبستگی زیادی بین چگالی و تخلخل وجود دارد. وجود تخلخل در سنگ باعث کاهش مقاومت سنگ و افزایش تغییر شکل پذیری سنگ می‌گردد. هوازدگی عموماً باعث

تأثیرگذار باشند. بنابراین هوازگی سنگ‌ها و سنگدانه‌ها می‌تواند بر روی چگالی و درصد رطوبت اشباع آنها تأثیر داشته باشد. به منظور بررسی تأثیر هوازگی بر روی خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها، نمونه‌های با ترکیب سنگ‌شناسی یکسان از قسمت‌های بالادست و پایین‌دست سه مخروطه‌افکنه، برداشت شد. این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد و چگالی، تخلخل و درصد جذب آب از طریق روش غوطه‌وری در آب به دست آمد. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

افزایش تخلخل در سنگ می‌شود و این تخلخل عموماً از نوع تخلخل ثانویه است. درصد رطوبت در حالت اشباع رابطه مستقیمی با تخلخل نمونه‌های سنگ دارد. رطوبت موجود در سنگ به دلیل واکنشی که با سطوح کانی‌های تشکیل‌دهنده دارد و تغییراتی که در مشخصات این سطوح و طبیعت پیوند بین آنها ایجاد می‌کند، مقاومت و مشخصات ژئوتکنیکی سنگ را کاهش می‌دهد. رطوبت در حالت اشباع و چگالی سنگدانه‌ها به تخلخل آنها بستگی دارد و فرایندهای هوازگی می‌توانند بر روی تخلخل

جدول ۱: نتایج آزمایش‌های خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها در مخروطه‌افکنه‌های مورد مطالعه

مخروطه‌افکنه متروک		مخروطه‌افکنه قدیمی		مخروطه‌افکنه جدید		ویژگی فیزیکی
قسمت بالادست	قسمت پایین‌دست	قسمت بالادست	قسمت پایین‌دست	قسمت بالادست	قسمت پایین‌دست	
۲/۷۵۸	۲/۷۵۲	۲/۷۷۲	۲/۷۶۵	۲/۷۹۳	۲/۷۸۱	چگالی خشک
۲/۷۸۶	۲/۷۸۱	۲/۷۵۹	۲/۷۸۹	۲/۸۱۳	۲/۸۰۱	چگالی اشباع
۲/۷۵۹	۲/۹۴۴	۲/۳۷۱	۲/۳۲۹	۲/۰۰۱	۱/۹۸۷	تخلخل (%)
۱	۱/۰۷	۰/۸۳۳	۰/۸۴۲	۰/۷۱۷	۰/۷۱۵	درصد جذب آب در حالت اشباع
۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۶۶	درصد جذب آب در حالت اشباع با سطح خشک (SSD)
ترکیب سنگ‌شناسی تمام نمونه‌های مورد آزمایش یکسان انتخاب شده و شامل: ۱۰ درصد توف سیلیسی، ۲۰ درصد (دیوریت، میکرودیوریت، کوارتز دیوریت، گرانودیوریت)، ۱۰ درصد (آندزیت تا آندزیت پورفیری)، ۴۰ درصد پیروکسن گابرو، ۲۰ گابرو سرپانتینیتی شده،						جنس سنگدانه مورد آزمایش

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

کمتر در درصد رطوبت سنگدانه‌ها در حالت SSD تا حدودی قابل توجه است.

### شاخص بار نقطه‌ای

با توجه به اینکه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از جنس‌های مختلف بودند، ابتدا مطالعات سنگ‌شناسی ماکروسکوپی و میکروسکوپی دقیقی بر روی سنگدانه‌ها انجام شد. در قسمت بالادست و پایین‌دست هر مخروط (متروک، قدیمی و جدید) تعداد ۱۸ نوع سنگ مختلف شناسایی و برداشت شد. برای هر نوع سنگ، ۲۰ نمونه انتخاب گردید و آزمایش بار نقطه‌ای بر روی آنها انجام شد. نتایج به‌دست آمده در جداول ۲ و شکل ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که دیده می‌شود درصد جذب آب، تخلخل و پوکی سنگدانه‌ها از مخروطه‌افکنه جدید به مخروطه‌افکنه متروک کمی افزایش یافته و چگالی سنگدانه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در این سه مخروطه‌افکنه، تنها متغیر، مدت زمان هوازگی است می‌توان گفت که عامل این کاهش چگالی و افزایش تخلخل، فرایندهای هوازگی است. تغییرات درصد جذب آب در حالت<sup>۱</sup> SSD به میزان کمتری است. با توجه به اینکه هوازگی همیشه از سطح سنگدانه‌ها شروع می‌شود و قسمت‌های مرکزی سنگدانه‌ها کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند، تغییرات

1 - Saturated surface-dry

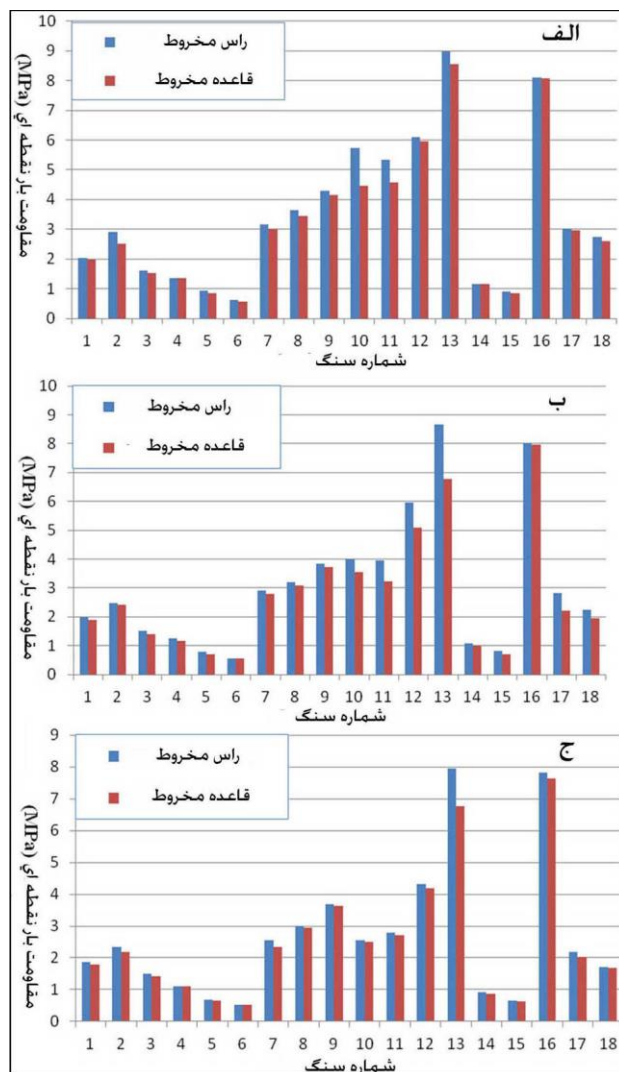
جدول ۲: نتایج آزمایش شاخص بار نقطه‌ای در سه مخروطه‌افکنه متروکه و قدیمی و جدید

ردیف	جنس سنگ	مخروطه‌افکنه متروک		مخروطه‌افکنه قدیمی		مخروطه‌افکنه جدید		درصد کاهش در مقاومت بار نقطه‌ای
		قسمت بالادست	قسمت پایین‌دست	قسمت بالادست	قسمت پایین‌دست	قسمت بالادست	قسمت پایین‌دست	
۱	پیروکسن گابرو	۱/۷۸۷	۱/۸۶۱	۱/۸۹۵	۱/۹۹۶	۱/۹۸	۲/۰۱۹	۱۱/۵
۲	پیروکسن گابرو با دگرسانی پروپیلیتی	۲/۱۸۵	۲/۳۳۵	۲/۴۱۹	۲/۴۶۹	۲/۵۲۵	۲/۹	۲۴/۶۵
۳	گابرو دگرسان	۱/۴۲۹	۱/۵۰۲	۱/۴۰۵	۱/۵۲۲	۱/۵۳۴	۱/۶۱۹	۱۳/۲
۴	گابرو	۱/۰۹۴	۱/۱۱۴	۱/۱۵۴	۱/۲۵۴	۱/۳۴۲	۱/۳۵۳	۱۹/۱۵
۵	پیروکسن گابرو شدیداً دگرسان شده	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۱۲	۰/۷۷۷	۰/۸۴۵	۰/۹۲۴	۲۸/۵
۶	گابرو با دگرسانی شدید سرپانتینیتی	۰/۵۲۴	۰/۵۳۵	۰/۵۴۷	۰/۵۶۲	۰/۵۵۸	۰/۶۱۲	۱۴/۴
۷	گابرو سرپانتینیتی	۲/۳۵۳	۲/۵۶۳	۲/۷۹	۲/۹۲۳	۳	۳/۱۷۴	۲۵/۸۵
۸	پیروکسن گابرو سرپانتینیتی شده	۲/۹۶	۳	۳/۰۷۵	۳/۱۹	۳/۴۴۹	۳/۶۵	۱۸/۹
۹	گابرو سرپانتینیتی با رگه‌های سیلیسی	۳/۶۲۵	۳/۶۸۲	۳/۷۳	۳/۸۲۵	۴/۱۵۱	۴/۲۸	۱۵/۳
۱۰	گرانو دیوریت	۲/۴۹	۲/۵۵	۳/۳۴۵	۳/۹۷۲	۴/۴۵	۵/۷۴۳	۵۶/۶۵
۱۱	میکرو گرانو دیوریت	۲/۷۰۸	۲/۷۸	۳/۲۴۳	۳/۹۶	۴/۵۷	۵/۳۴۷	۴۹/۳۵
۱۲	توف کریستالی	۴/۱۷۵	۴/۳۲۱	۵/۰۸	۵/۹۷۵	۵/۹۵۷	۶/۱۰۲	۳۱/۵۵
۱۳	توف سیلیسی	۶/۷۷۶	۷/۹۴	۶/۷۸۷	۸/۶۵۷	۸/۵۶۴	۸/۹۸۷	۲۴/۶
۱۴	توف متخلخل	۰/۸۶۴	۰/۹۱۶	۰/۹۸۳	۱/۰۸۲	۱/۱۴۵	۱/۱۶	۲۵/۵
۱۵	توف دگرسان شده	۰/۶۲	۰/۶۵۵	۰/۷۱۳	۰/۸۱۸	۰/۸۵۴	۰/۹۰۷	۳۱/۶۵
۱۶	میکرو کوارتز دیوریت	۷/۶۴۳	۷/۸۳۲	۷/۹۶۴	۸/۰۱۳	۸/۰۸۷	۸/۱۱۳	۵/۸
۱۷	داسیت پورفیری تاربوداسیت پورفیری	۲/۰۳	۲/۱۹	۲/۲۲۵	۲/۸۳	۲/۹۷	۳/۰۱۱	۳۲/۶
۱۸	آندزیت	۱/۶۹۳	۱/۷۱۲	۱/۹۳۷	۲/۲۴۵	۲/۵۹۵	۲/۷۲۵	۳۷/۹

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

نسبت کاهش مقاومت در سنگ‌های مختلف یکسان نیست. شکل ۶ مقادیر بار نقطه‌ای را در بالادست و پایین‌دست سطح مخروطه‌افکنه‌ها به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. شکل مذکور نشان می‌دهد که در هر سه نوع مخروطه‌افکنه، مقاومت سنگدانه‌ها در رأس مخروطه‌افکنه‌ها بیشتر از پایین‌دست مخروطه‌افکنه‌ها است.

هر چند سنگ‌های مختلف در مقابل فرایندهای هوازدگی، مقاومت‌های متفاوتی دارند لیکن برای تمام سنگ‌های آزمایش شده، یک روند کاهشی کاملاً مشخص در شاخص بار نقطه‌ای با افزایش سن مخروطه‌افکنه‌ها وجود دارد. به گونه‌ای که در مخروط‌های با سن بیشتر (متروک و قدیمی) مقاومت سنگدانه کمتر از مخروط جدید است. با این وجود،



شکل ۶: مقایسه مقدار مقاومت بار نقطه‌ای در بالادست و پایین‌دست مخروطه‌افکنه‌های جدید (الف)، قدیمی (ب) و متروک (ج).

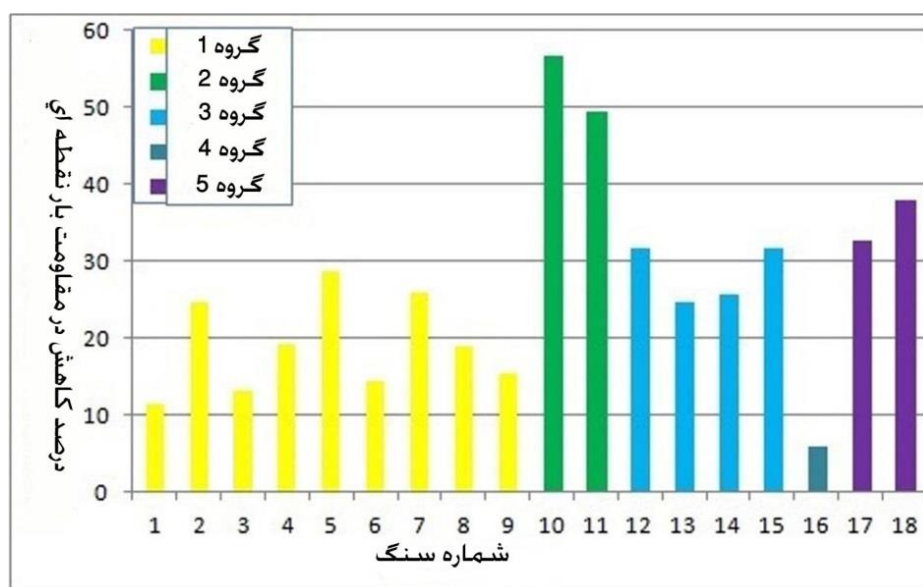
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

سنگ‌های آذرین درونی دارای کانی میکا هستند. میکاها جزو کانی‌هایی هستند که یک سری رخ کاملاً مشخص دارند و در امتداد این سطوح، ورقه‌های نازک کانی میکا به راحتی می‌توانند از هم جدا شوند. بنابراین این کانی‌ها در طی سیکل‌های یخ‌زدگی و آب‌شدگی به راحتی در امتداد صفحات رخ از هم جدا شوند. مکانیسم مذکور باعث کاهش زیاد مقاومت سنگ‌ها در مخروطه‌افکنه‌های متروک و قدیمی می‌شود. به همین دلیل، درصد کاهش مقاومت در این گروه بیشتر است (جدول ۲). سنگ‌های گروه ۳ (۱۲)

جهت درک بهتر تغییرات مقاومت در سنگدانه‌ها، ۱۸ نوع سنگ مطالعه شده در این تحقیق به ۵ گروه تقسیم شدند. گروه ۱ (سنگ‌های شماره ۱ تا ۹) جزء سنگ‌های آذرین درونی هستند که نسبت به فرسایش مقاوم هستند. همچنانکه جدول ۲ و شکل ۷ نشان می‌دهد، تفاوت زیادی در مقاومت سنگ‌های این گروه در بالادست و پایین‌دست مخروطه‌افکنه‌ها دیده نمی‌شود. به عبارتی دیگر به علت مقاومت زیاد سنگ‌های گروه ۱، درصد کاهش مقاومت در این گروه کمتر است. گروه ۲ (سنگ‌های شماره ۱۰ و ۱۱) جزء

مخروط‌های متروک و قدیمی تأثیر چندانی روی کاهش مقاومت آن نداشته و بنابراین، درصد کاهش مقاومت در آن ناچیز است. سنگ‌های گروه ۵ (شماره ۱۷ و ۱۸) شامل سنگ‌های آذرین بیرونی هستند که به علت سردشدگی سریع، دارای کریستال‌های کوچک یا فاقد کریستال هستند و به همین دلیل به هوازدگی بسیار حساس هستند. به همین دلیل هوازدگی طولانی مدت مخروط‌های متروک و قدیمی باعث کاهش مقاومت در سنگ‌های این گروه شده است، به طوری که درصد کاهش مقاومت در این گروه نیز بالا است (شکل ۷).

تا ۱۵) شامل توفها هستند. سنگ‌های آذرآواری گروه ۳ نفوذپذیری بالایی دارند و بنابراین به راحتی توسط هوازدگی فیزیکی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بنابراین سنگ‌های این گروه در سطح مخروط‌های متروک و قدیمی که سالیان زیادی در معرض هوازدگی فیزیکی قرار گرفته‌اند، دارای مقاومت پایینی نسبت به مخروط جدید هستند. به همین دلیل، درصد کاهش مقاومت در سنگ‌های این گروه نیز بالا است (شکل ۷). گروه ۴ (سنگ شماره ۱۶) که سنگ میکروگرانودیوریت است، سنگی سخت و مقاوم به هوازدگی است. مقاومت آن در مخروط‌های متروک، قدیمی و جدید تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارد. هوازدگی طولانی مدت در



شکل ۷: مقایسه درصد کاهش مقاومت بار نقطه‌ای در ۵ گروه سنگ مورد مطالعه

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۳

مخروط‌های متروک و قدیمی و جدید) را به سن مخروطه‌افکنه‌ها و میزان هوازدگی آنها نسبت داد. داده‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در همه سنگ‌ها، مقاومت سنگدانه‌ها در رأس مخروطه‌افکنه‌ها بیشتر از قاعده آنها است. در توجیه این موضوع می‌توان اظهار کرد که، تحت تأثیر سیلاب، ذرات سطح

با توجه به این که منطقه مورد مطالعه، اقلیمی نیمه خشک با زمستان‌های سرد دارد، هوازدگی فیزیکی عامل اصلی در تغییر سنگدانه‌های منطقه است. به علت اینکه سنگ‌های گروه ۲، ۳ و ۵ به هوازدگی فیزیکی بسیار حساس هستند، می‌توان تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقاومت این سنگ‌ها (در سطح

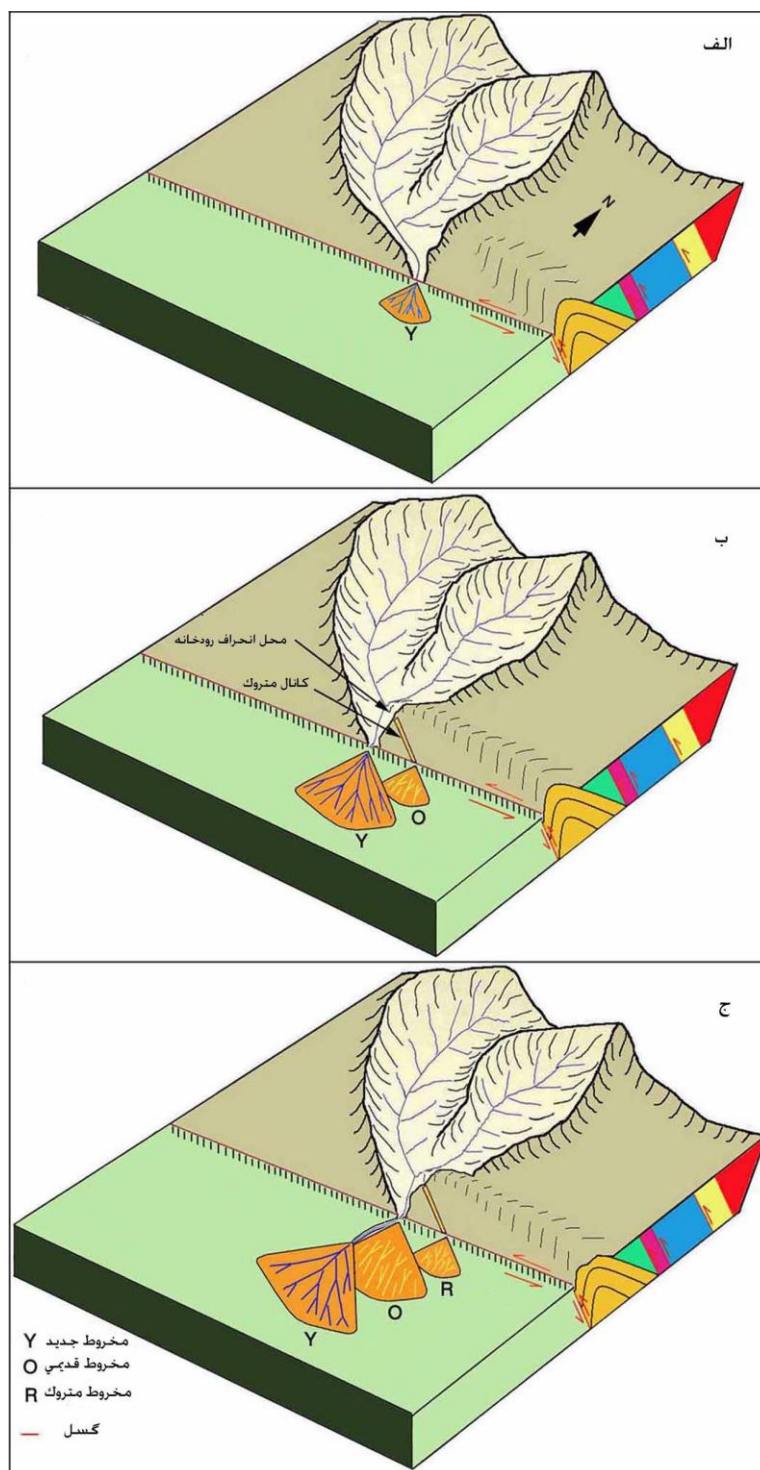
است (شکل ۸، ب). با رشد بیشتر طاق‌دیس به سمت غرب و فعالیت احتمالی گسل امتداد لغز در خروجی حوضه، مخروط فعال نیز متروک شده و یک مخروط جدید تشکیل شده است که دو مخروط متروک و قدیمی در سمت راست آن قرار دارند؛ بنابراین، تحت تأثیر عملکرد طاق‌دیس در حال رشد و حرکت احتمالی گسل امتداد لغز و انحراف رودخانه، سه نسل از مخروطه‌افکنه‌ها (به ترتیب از غرب به شرق: جدید و قدیمی و متروک) ایجاد شده است که مخروط سمت راست (متروک) مدت زمان طولانی‌تری تحت تأثیر هوازگی قرار داشته و سنگدانه‌های آن کیفیت پایین‌تری دارد.

بررسی مخروطه‌افکنه‌های مورد مطالعه همچنین نشان می‌دهد که با گذشت زمان محل مخروطه‌افکنه‌ها به سمت پایین‌دست نیز جابه‌جا شده است (شکل ۸). همانگونه که بلیر<sup>۱</sup> (۱۹۸۷، ۵۸۷) اظهار می‌کند، در طول دوره‌های فعال تکتونیک که حوضه‌ها جوان‌تر و پیر شیب‌تر هستند (حالت الف در شکل ۸)، رسوب‌گذاری در رأس مخروطه‌افکنه اتفاق می‌افتد. با گذشت زمان و پیرتر شدن حوضه‌ها (حالت‌های ب و ج در شکل ۸) شیب حوضه‌ها کاهش یافته و بالادست مخروطه‌افکنه‌ها برش یافته و محل رسوب‌گذاری به سمت پایین‌دست منتقل می‌شود که این وضعیت در منطقه مورد مطالعه به وضوح دیده می‌شود.

بررسی داده‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تفاوت در میزان هوازگی سطح مخروطه‌افکنه‌ها عامل اصلی تفاوت در مقاومت سنگدانه‌ها است. با این وجود، به علت اینکه سنگدانه‌های برداشت شده در این تحقیق از سطح مخروطه‌ها انتخاب شده‌اند، نمی‌توان نتیجه این تحقیق را به رسوبات اعماق مخروطه‌ها تعمیم داد؛ بنابراین کاربرد این مطالعه، محدود به رسوبات قشر سطحی مخروطه‌افکنه‌ها است.

مخروط از قسمت‌های بالادست در گذر زمان به سمت پایین‌دست مخروطه‌افکنه‌ها حمل می‌شوند. ذراتی که در بالادست مخروطه‌افکنه‌ها قرار دارند سن کمتری از ذرات واقع در پایین‌دست مخروطه‌افکنه‌ها دارند. بنابراین هر ذره‌ای که در قسمت بالادست مخروطه‌افکنه‌ها قرار دارد مدت زمان کمتری در معرض هوازگی قرار گرفته و معمولاً تازه‌تر و دارای هوازگی کمتری است. به همین دلیل مقاومت سنگدانه‌های رأس مخروط در هر سه نوع مخروط بیشتر است.

تکتونیک و اقلیم از مهمترین عوامل تأثیرگذار در تکامل مخروطه‌افکنه‌ها و همچنین در محل رسوب‌گذاری و برش سطح مخروطه‌ها هستند (Bull, 1977; Viseras et al., 2003; Robustelli et al., 2005; Bahrami, 2013). به نظر می‌رسد که تکامل مخروطه‌های مورد مطالعه بیشتر متأثر از تکتونیک باشد. در ابتدا یک طاق‌دیس (دارای گسل معکوس در دامنه جنوبی آن) در خروجی حوضه و بالادست مخروطه‌افکنه‌ها تشکیل شده است. تشکیل سه نسل از مخروطه‌افکنه‌ها (متروک و قدیمی و جدید) را می‌توان به رشد جانبی طاق‌دیس مذکور نسبت داد. شکل ۸ نقش طاق‌دیس در حال رشد به سمت غرب را در انحراف رودخانه و متروک شدن مخروطه‌های مورد مطالعه به طور نمادین نشان می‌دهد. در ابتدا، یک مخروط فعال با الگوی زهکشی واگرا یا توزیعی تشکیل شده است (شکل ۸، الف). با گذشت زمان و رشد طاق‌دیس به سمت غرب، یک انحراف به سمت راست رودخانه (در خروجی حوضه) اتفاق افتاده و در نتیجه مخروط، متروک شده و یک مخروط جدید در سمت چپ مخروط متروک ایجاد شده است. مخروطی که قبلاً فعال بود (تحت تأثیر سیلاب بود)، اکنون متروک شده و عملکرد فرسایش قهقرایی و توسعه بدلندها باعث ایجاد کانال‌های همگرا در سطح آن شده، در حالی که مخروط جدید دارای الگوی زهکشی واگرا



فعالیت احتمالی گسل، انحراف به سمت راست رودخانه (در خروجی حوضه) اتفاق افتاده و در نتیجه مخروط، متروک شده و یک مخروط جدید در سمت چپ مخروط متروک ایجاد شده است. مخروط قدیمی

شکل ۸: نمایش نمادین اثر تکتونیک بر تکامل مخروطه‌افکنه‌های مورد مطالعه، (الف): مخروط فعال با الگوی زهکشی توزیعی در جبهه کوهستان تشکیل شده است، (ب): تحت تأثیر رشد جانبی طاقدیس و

اکنون بدون سیلاب بوده و عملکرد فرسایش فله‌قراایی باعث ایجاد گالی‌ها و کانال‌های همگرا بر سطح آن شده است، (ج): با حرکت بیشتر طاق‌دیس به سمت غرب، کانال تغذیه‌کننده مخروط فعال (جدید) به سمت غرب جابه‌جا شده و در نتیجه مخروط مذکور نیز غیر فعال شده و یک مخروط جدید در سمت چپ آن تشکیل شده است. دو مخروط متروک و قدیمی در سمت راست مخروط جدید، کانال‌های همگرا دارند که بیانگر عملکرد فرسایش در آنها است نگارندگان، ۱۳۹۳.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق کیفیت سنگدانه‌ها در سه مخروطه‌افکنه متروک و قدیمی و جدید در شمال شرق ریوند بررسی شده است. کیفیت سنگدانه‌ها با استفاده از شاخص‌های کمی مانند بار نقطه‌ای و خصوصیات فیزیکی آن‌ها ارزیابی شده است. فرایندهایی مانند هوازگی، میزان فرسایش و انتقال مواد آواری، تخریب فیزیکی و شیمیایی و همچنین عوامل زمین‌ساختی نقش بسیار مهمی در تشکیل و کیفیت سنگدانه‌ها دارند. از میان فرایندهای ژئومورفولوژی، هوازگی تأثیر بسیار بیشتری در کیفیت سنگدانه‌ها دارد. هوازگی با تأثیر بر روی جنس سنگدانه‌ها، بافت، تغییر حجم و ایجاد ترک و ناپیوستگی تأثیر زیادی در کاهش مقاومت سنگدانه‌ها و شاخص بار نقطه‌ای دارد. مخروطه‌افکنه‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع برداشت سنگدانه‌ها، تحت تأثیر فرایندهای هوازگی قرار دارند و با گذشت زمان خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سنگدانه‌ها تغییر می‌یابد. با توجه به اینکه فرایند هوازگی رسوبات از سطح زمین شروع می‌شود، با افزایش عمق رسوبات، تأثیر هوازگی نیز کمتر می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که در عمق‌های بیشتر با گذشت زمان، هوازگی تأثیر کمتری در کیفیت سنگدانه‌ها داشته باشد. نتایج آزمایش‌های

انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که پارامترهایی مانند شاخص بار نقطه‌ای رابطه معکوسی با سن مخروطه‌افکنه‌ها دارند و با افزایش سن مخروطه‌افکنه‌ها، شاخص بار نقطه‌ای کاهش می‌یابد. هوازگی با تغییر در بافت سنگدانه‌ها بر روی تخلخل و چگالی آن‌ها تأثیر دارد و باعث افزایش تخلخل و کاهش چگالی سنگدانه‌ها می‌شود. شدت هوازگی فیزیکی در سنگدانه‌های با جنس مختلف، متفاوت است، بنابراین فرایندهای هوازگی تأثیر کاهشی متفاوتی را بر روی شاخص بار نقطه‌ای در سنگ‌های با جنس مختلف دارند. با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده، به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش مقاومت و شاخص بار نقطه‌ای در مخروطه‌افکنه‌های قدیمی و متروک، افزایش تخلخل و کاهش چگالی سنگدانه و ایجاد ناپیوستگی در درون سنگدانه‌ها تحت تأثیر هوازگی طولانی مدت است.

بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که در سطح تمام مخروط‌های مورد مطالعه، مقاومت سنگدانه‌ها در رأس مخروطه‌افکنه‌ها بیشتر از قاعده آن‌ها است. این وضعیت ناشی از این واقعیت است که تحت تأثیر سیلاب، رسوبات سطح مخروط از قسمت‌های بالادست در گذر زمان به سمت پایین‌دست حمل می‌شوند. ذراتی که در بالادست مخروطه‌افکنه‌ها قرار دارند سن کمتری از ذرات واقع در پایین‌دست مخروطه‌افکنه‌ها دارند، بنابراین دارای هوازگی کمتری هستند. به همین دلیل مقاومت سنگدانه‌های سطح رأس مخروط در هر سه نوع مخروط بیشتر است.

به طور کلی مخروطه‌افکنه‌ها از جمله مهم‌ترین منابع تهیه سنگدانه‌ها هستند. فرایند غالب در سطح آن‌ها نقش مهمی در کیفیت سنگدانه‌ها ایفا می‌کند. مخروط‌های فعال و جدید تحت تأثیر سیلاب قرار دارند در حالی که مخروط‌های متروک و قدیمی متأثر از هوازگی هستند. سن این لندفرم‌ها و مدت زمان

مهندسی سنگ‌ها و پیشنهاد معیار انتخاب مصالح سنگی برای احداث موج‌شکن‌های توده سنگی در سواحل جنوبی ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۶، صص ۸۶-۱۰۷.

حسنلی، حمیدرضا؛ شفیعی فر، مهدی؛ نیکودل، محمدرضا (۱۳۸۵)، بررسی عملکرد سنگ‌های آرمور در موج‌شکن‌های توده سنگی سواحل شمال خلیج فارس. فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۱، صص ۷۸-۹۱.

رامشت، محمد حسین؛ شاه‌زیدی، سمیه‌سادات؛ سیف، عبدالله؛ انتظاری، مژگان (۱۳۸۸). تأثیر تکتونیک جنبا بر مورفولوژی مخروطه‌افکنه‌های درختگان در منطقه شهداد کرمان. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صص ۲۹-۴۶.

روستایی، شهرام و همکاران (۱۳۸۸)، نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروطه‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۱۳۷-۱۵۶.

زمردیان، محمدجعفر؛ برومند، ریحانه (۱۳۹۱)، تجزیه و تحلیل مورفونز و تفاوت‌های کمی و کیفی مخروطه‌افکنه‌های رشته کوه بینالود با رویکرد هیدرومورفوتکتونیکی. فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص ۵۳-۷۲.

شایان، سیاوش؛ زارع، غلامرضا (۱۳۹۲)، تعیین محدوده‌های خطر زمین لرزه در مخروطه‌افکنه‌های فعال با روش تحلیل فضایی بربریان، مطالعه موردی: مخروطه‌افکنه گرمسار. فصلنامه مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره هفدهم، شماره ۲، صص ۹۳-۱۲۰.

شریفی، جواد (۱۳۸۷)، بررسی اثر جنس سنگدانه‌های مختلف بر خواص مقاومتی بتن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

مختاری‌کشیکی، داوود؛ کرمی، فریبا؛ بیاتی‌خطیبی، مریم (۱۳۸۶)، اشکال مختلف مخروطه‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آنها. فصلنامه مدرس، بهار ۱۳۸۶، صص ۲۵۷-۲۹۲.

معماربان، حسین (۱۳۹۲)، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

مقصودی، مهران (۱۳۸۷)، بررسی نقش عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروطه‌افکنه‌ها: مطالعه موردی: مخروطه‌افکنه

سپری شده از وقوع آخرین سیلاب بر روی آن‌ها، در میزان هوازگی سنگ‌های آن تأثیرگذار است. میزان و شدت هوازگی، به علت تأثیر بر بافت و ترکیب سنگ، در مقاومت سنگ تأثیرگذار است. بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات در مقاومت سنگدانه‌های سطح مخروطه‌ها، ناشی از سن مخروطه‌افکنه‌ها و میزان هوازگی است به طوری که سنگدانه‌های با کیفیت کمتر در سطح مخروطه‌های متروک و قدیمی ناشی از هوازگی طولانی مدت آن‌ها است. البته به نظر می‌رسد به علت کاهش شدت هوازگی با افزایش عمق، مقاومت سنگدانه‌ها در اعماق زیاد نیز کاهش کمتری را متحمل شود. با توجه به اینکه سنگدانه‌های آزمایش شده در این بررسی از سطح مخروطه‌افکنه‌ها هستند، نتیجه و کاربرد این تحقیق نمی‌تواند به رسوبات اعماق مخروطه‌افکنه‌ها تعمیم داده شود.

## منابع

بهرامی، شهرام؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ عزیزی‌پور، گوهر؛ بهرامی، کاظم (۱۳۹۰)، بررسی نقش اشکال و فرایندهای ژئومورفولوژی در کیفیت سنگدانه‌ها در حوضه آبخیز خرم‌آباد. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صص ۶۹-۸۲.

بهرامی، شهرام؛ مقصودی، مهران؛ بهرامی، کاظم (۱۳۹۱)، ارزیابی نقش تکتونیک در میزان برش رأس مخروطه‌افکنه‌های واقع در حاشیه طاق‌دیس دنه خشک. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۳-۴۰، صص ۲۳-۴۰.

بهرامی، شهرام؛ زنگنه‌اسدی، محمدعلی؛ بهرامی، کاظم؛ حسینی، رضا (۱۳۹۲)، نقش ژئومورفولوژی در تشکیل و کیفیت سنگدانه‌ها در حوضه‌های پاتاق و قلعه شاهین. فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۹، صص ۱-۱۶.

پاکرایی، احد؛ اجل لوثیان، رسول؛ صلواتی، مژگان (۱۳۸۹)، ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی مصالح خرده سنگی مصرفی سد روبال شهرستان داراب، فصلنامه زمین و منابع لاهیجان، سال سوم، شماره ۳، صص ۴۳-۴۹.

تلخابلو، مهدی؛ حافظی مقدس، ناصر؛ نیکودل، محمدرضا؛ ارومیه‌ای، علی؛ شفیعی فر، مهدی (۱۳۸۶)، ارزیابی ویژگی‌های

- Fookes, P.G., 1980. An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 123, 207-229.
- Frankel, K.L., Dolan, J.F., 2007. Characterizing arid region alluvial fan surface roughness with airborne laser swath mapping digital topographic data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, F02025
- Gondal, M.M.I., Ahsan, N., Javaid, A.Z., 2008. Evaluation of Shaki Sarwar and Rajan Pur aggregates for construction in southern Punjab Province, Pakistan. *Geological Bulletin of the Punjab University*, Vol. 43, 101- 107.
- House, P.K., 2005. Using geology to improve flood hazard management on alluvial fans; an example from Laughlin, Nevada. *Journal of American Water Resources Association*, Vol. 41, 1431-1447.
- Kennedy, k., Froese, D., 2008. Aggregate resource exploration using a process depositional model of meltwater channel development in the eagle plains area, northern Yukon. In: Emond, D.S., Blackburn, L.R., Hill, R.P., and L.H. Weston (editors), *Yukon Exploration and Geology 2007*. Yukon Geological Survey, pp. 169-178.
- Khalatbari Jafari, M., Babaie, H.A., Gani, M., 2013. Geochemical evidence for Late Cretaceous marginal arc-to-backarc transition in the Sabzevar ophiolitic extrusive sequence, northeast Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 70-71, 209-230.
- Langer, W.H., Drew, L.J., and Sachs, J.S., 2004. Aggregate and the environment: American Geological Institute Environmental Awareness, Series No. 8, 64 pp.
- Lindsey, D.A., and Melick, R., 2002. Reconnaissance of Alluvial Fans as Potential Sources of Gravel Aggregate, Santa Cruz River Valley, Southeast Arizona: U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0314, 44 pp.
- Meddah, M.S., Zitouni, S., Belaabes, S., 2010. Effect of content and particle size distribution of coarse aggregate on the compressive strength of concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 24, 505-512.
- Thomas, M.F., 1988. Superficial deposits as resources for development-some implications for applied geomorphology. *Scottish Geographical Journal*, Vol. 104, 72-83.
- Tshwenyego, A.M., Poulin, R., 1997. Mineral aggregate production in Botswana. *International*
- جارجرود. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۷۳-۹۲.
- یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران (۱۳۸۲). بررسی و تحول کانال‌های گیسویی در سطح مخروطه‌افکنه‌ها. مطالعه موردی: مخروطه‌افکنه تنگ‌تویه در چاله سیرجان. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۵، صص ۷۳-۹۲.
- ASTM C 127, 2004. Standard test method for density, relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregates. ASTM International, United States.
- ASTM C 29, 2004. Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate. American Society for Testing Materials, Philadelphia, USA.
- ASTM D 5731, 2005. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock. American Society for Testing Materials, Philadelphia, USA.
- Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhshokh anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*, Vol. 180-181, 217-230.
- Blair, T. C., 1987. Tectonic and hydrologic controls on cyclic alluvial fan, fluvial, and lacustrine rift-basin sedimentation, Jurassic-Lowermost Cretaceous Todos Los Santos Formation, Chiapas, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 57, 845-862.
- Bryan, D.P., Castor, S.B., Johnson, G.L., 2000. Aggregate resource study, western portion of the Carson City BLM District, Nevada, with addendum, economic potential, NBMG Open-file report 2000-3. 34 pp.
- Bull, W. B., 1977. The alluvial fan environment. *Progress in Physical Geography*, Vol. 1, 222-270.
- Duan, Z. H., kou, S. S., Poon, C. S., 2013. Prediction of compressive strength of recycled aggregate concrete using artificial neural networks. *Construction and Building Materials*, Vol. 40, 1200-1206.
- Field, J.J., 1994. Surficial processes, channel change, and geological methods of flood-hazard assessment on fluvially dominated alluvial fans in Arizona. Ph.D thesis, University of Arizona. 258pp.

space. Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*, Vol. 50, 181-202

Wu, K.R., Chen, B., Yao, W., Zhang, D., 2001. Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, 1421-1425.

*Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 11, 129-134.

Viseras, C., Calvache, M.L., Soria, J.M., Fernández, J., 2003. Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation