پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سیزدهم، شماره ۲، پاییز ۱۴۰۳
صص. ۱۰۵- ۸۹

بررسی رابطه بین سن مخروط‌افکنه‌ها و پارامترهای مقاومتی خاک‌های تجمع یافته در آن‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه‌های حاشیه طاقدیس دنه‌خشک)

امجد ملکی *– دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
کاظم بهرامی – دکتری مهندسی زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی.
سولماز مرادی – دانشجوی کارشناسی ارشد، ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۰۶ تائید نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

چکیده

فرآیندهای ژئومورفولوژی با تأثیر در ویژگی رسوبات موجود در مخروط‌افکنه‌ها باعث تغییر در پارامترهای مقاومتی خاک، ازجمله چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی می‌شوند. با توجه به هدف پژوهش حاضر ابتدا از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی، بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ایی مربوط به در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۵، سپس بر اساس شواهد ژئومورفولوژی دو مخروط‌افکنه حوضه قلعه شاهین و دیره که دارای بخش‌های قدیمی و جدید می‌باشد انتخاب گردید. نمونه‌برداری از سه بخش رأس، میانه و پایین‌دست بخش‌های قدیمی و جدید مخروط‌افکنه‌ها صورت گرفته است. نتایج بررسی شکل ذرات نشان می‌دهد از بالادست به سمت پایین‌دست ذرات متأثر از فرآیندهای ژئومورفولوژی به‌صورت گرد شده، هم بعد، ریزدانه و دارای بافت سطحی صاف هستند. با توجه به آزمایش برش مستقیم میزان زاویه اصطکاک داخلی از ۳۸,۱° در بالادست تا ۲۷,۴° در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها متغیر است. درنتیجه میزان زاویه اصطکاک داخلی از بالادست به سمت پایین‌دست رو به کاهش خواهد بود. همچنین مطابق با نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری میزان چسبندگی ذرات از ۴۵kpa در بالادست تا ۱۵۰kpa در پایین‌دست متغیر است. سپس از بالادست به سمت پایین‌دست، میزان چسبندگی ذرات خاک در مخروط‌افکنه‌ها بیش از ۳ برابر افزایش‌یافته است. درنتیجه پژوهش حاضر با بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و ژئوتکنیکی خاک‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند از روابط به‌دست‌آمده در مکان‌یابی بهترین گزینه‌ها برای طرح‌های توسعه‌ایی و اجرای پروژه‌های عمرانی ازجمله مباحث کلان مدیریت شهرسازی، شهرک‌های صنعتی موردتوجه و استفاده برنامه ریزان محیطی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید، فرآیندهای ژئومورفولوژی، چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: a.maleki@razi.ac.ir

مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها اشکال آبرفتی مثلثی شکل مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی هستند که در محل ورود آبراهه اصلی به داخل سطوح تقریباً هموار دشت‌ها شکل می‌گیرند (عابدینی و رجایی، ۱۳۸۵؛ ونترا و کلارک[۱]، ۲۰۱۸). مخروط‌افکنه‌ها ازنظر استقرار و فعالیت‌های انسانی و همچنین پژوهش‌های علمی دارای اهمیت زیادی هستند. به علت وجود منابع طبیعی باارزشی مانند خاک حاصلخیز و آب‌های زیرزمینی از گذشته‌های دور فعالیت‌های کشاورزی در سطح یا مجاور آن‌ها وجود دارد. امروزه بسیاری از شهرهای بزرگ، جاده‌ها و خطوط راه‌آهنی که شهرها را به هم وصل می‌کند در سطح مخروط‌افکنه‌ها به وجود آمده‌اند (شیک[۲]، ۱۹۷۴). مخروط‌افکنه‌ها به‌عنوان مجرای مهم آب زیرزمینی از کوه به کف دره عمل می‌کنند (هیوستون[۳]، ۲۰۰۲؛ لینه نگو[۴] و همکاران، ۲۰۲۴) و منبع بسیار بالقوه از رسوبات را تشکیل می‌دهند (امینی و همکاران، ۱۳۹۹؛ لیندزی و ملیک[۵]، ۲۰۰۲). این رسوبات شامل تخته‌سنگ‌های بزرگ، ریگ، ماسه، سیلت و رس هستند که در بخش‌های مختلفی از مخروط‌افکنه‌ها می‌توانند به‌عنوان مصالح ساختمانی مورداستفاده قرار بگیرند (لانگر و همکاران[۶]، ۲۰۰۴). مخروط‌افکنه‌ها ازنظر سنی به مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید تقسیم می‌شوند. بخش‌های مختلف یک مخروط-افکنه نیز ازنظر سن متفاوت‌اند. مخروط‌افکنه‌ها بر اساس شواهد ژئومورفولوژیکی از قبیل الگوی زهکشی، تن رنگ در تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت توپوگرافی، ورنی سطح دانه و سنگ‌ها، پوشش گیاهی و... به بخش‌های جدید و قدیم تقسیم‌بندی می‌شوند (هوس[۷]، ۲۰۰۵؛ فرانکل و دالان[۸]، ۲۰۰۷؛ بهرامی[۹]، ۲۰۱۵). ایجاد سطح جدید در مخروط‌افکنه‌ها و برجا ماندن مخروط‌افکنه‌های غیرفعال یا تقطیع شده به عوامل مختلفی ازجمله تغییرات اقلیمی (کاشا چن و همکاران[۱۰]، ۲۰۲۲)، تأثیر حرکات تکتونیکی (بل[۱۱]، ۲۰۰۹؛ کلارک[۱۲]، ۲۰۱۵؛ برجسته و همکاران، ۱۳۹۶) و تغییرات سطح اساس در حوضه آبریز (هاروی[۱۳]، ۲۰۰۲). بستگی دارد. تغییرات اقلیم موجب افزایش یا کاهش پوشش‌گیاهی، تغییر میزان رواناب، بار رسوبی رودخانه‌ها و فرآیندهای فرسایشی در سطح مخروط‌افکنه شده و تغییر لندفرم‌ها را در پی خواهد داشت (کویگلی و همکاران[۱۴]، ۲۰۰۷؛ کلر و پینتر[۱۵]، ۱۹۹۹؛ لاکوبوکی[۱۶] و همکاران، ۲۰۲۴). حرکات تکتونیک از طریق بالاآمدگی، شیب و ویژگی‌های سطح اساس را متأثر می‌سازد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱). درواقع باعث تغییر در فرآیندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری در سطح مخروط‌افکنه‌ها می‌گردد (صالحی پور میلانی و بشکنی، ۱۳۹۹؛ کوبر و همکاران[۱۷]، ۲۰۱۳). بخش‌های غیرفعال مخروط‌افکنه‌ها ممکن است صدها یا هزاران سال از سیلاب در امان باشند و تنها در صورت سیلاب‌های بسیار شدید در معرض جریان آب باشند (هوک[۱۸]، ۲۰۱۴). روند تکامل و تحول یک مخروط‌افکنه، با جابه‌جایی محل

[1] Ventra and Clarke
[2] Schick
[3] Houston
[4] Linh Ngo
[5] Lindsey and Melick
[6] Langer et al
[7] house
[8] frankel and dalan
[9] Bahrami
[10] Kasha chen et al
[11] Bull
[12] Clark
[13] Harvey
[14] Quigley
[15] Keller and Pinter
[16] Iacobucci
[17] Kober et al
[18] Hooke

فرسایش و رسوب‌گذاری شکل می‌گیرد. درواقع عدم رسوب‌گذاری در سطح مخروط‌افکنه، محل رسوب‌گذاری به نقطه دیگری در پایین‌دست یا بالادست انتقال می‌یابد. مخروط‌افکنه قبلی به‌صورت متروک باقی می‌ماند و مخروط‌افکنه جدید نیز در موقعیت دیگری شروع به گسترش می‌کند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ راچوکی[۱]، ۱۹۹۰). اگر بالاآمدگی کوهستان ناشی از تکتونیک باشد، افزایش شیب و قدرت حمل رسوبات منجر به جابه‌جایی مخروط‌افکنه جدید به قسمت پایین‌دست مخروط قدیمی می‌شود (ریتز و همکاران[۲]، ۲۰۱۲؛ هاروی[۳]، ۲۰۱۸؛ ونترا و کلارک، ۲۰۱۸)؛ اما با بالاآمدگی سطح اساس، رسوب‌گذاری به‌طرف جبهه‌ی کوهستان تغییر مکان می‌دهد ازاین‌رو رسوب‌گذاری در داخل کانال اصلی باعث تغییر مسیر جریان می‌شود (فیلد[۴]، ۲۰۰۱؛ هاروی[۵]، ۲۰۰۲). فرآیندهای ژئومورفولوژی باعث تغییر در ویژگی رسوبات در مخروط‌افکنه‌ها می‌گردد (بلر و مکپیرسون[۶]، ۲۰۰۹؛ چلی[۷] و همکاران، ۲۰۲۱). ویژگی ذرات رسوبی ازجمله اندازه و گرد شدگی آن‌ها با توجه به فرآیندهای ژئومورفولوژی در محیط‌های مختلف متفاوت است (اسکالی[۸]، ۲۰۰۵). سایش ذرات از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی اثرگذار بر رسوبات موجود در مخروط‌افکنه‌هاست (هوک، ۲۰۰۴). رسوبات حاصل از سیلاب در مخروط-افکنه‌های جدید عمدتاً ذراتی درشت‌دانه هستند که از حوضه آبریز بالادست ایجاد می‌شوند و یا از طریق فرسایش ذرات در کانال اصلی جریان حاصل می‌شوند (بلر[۹]، ۱۹۸۷). با افزایش مسافت حمل دانه، اندازه و شکل آن براثر فرآیند سایش و یا خوردگی و انحلال، بیشتر تغییر خواهد کرد (راهن[۱۰]، ۱۹۳۶؛ صادقی، ۱۳۸۲). در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های جدید، حمل ذرات در مسافت طولانی‌تری در یک شیب ملایم صورت می‌گیرد (هسو و پلتیر[۱۱]، ۲۰۰۴؛ مقصودی و محمد نژاد آروق، ۱۳۹۲)؛ بنابراین در مسیرهای طولانی با شیب ملایم رسوبات ریزدانه با بافت سطحی صاف و گرد شده هستند (صدوق و همکاران، ۱۳۹۷). گرد شدگی ذرات باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی می‌گردد (چشمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ شن و سانتامارینا[۱۲]، ۲۰۱۳). هوازدگی فرآیند اثرگذار ژئومورفولوژی است که مواد متراکم و پیوسته سطح زمین را به موادی نرم و ناپیوسته تبدیل می‌کند (گرزانتی و همکاران[۱۳]، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶). در پروفیل مخروط‌افکنه‌ها نمونه سطحی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی هوازدگی مورفولوژیکی باشد (آلبرت و همکاران[۱۴]، ۲۰۱۳؛ جین و همکاران[۱۵]، ۲۰۲۱). در سطح مخروط-افکنه‌ها فرآیندهای شیمیایی، اندازه و شکل خاک رس و سیلت را تعیین می‌کنند درحالی‌که فرآیندهای مکانیکی در ماسه‌ها و شن‌ها غالب هستند (چو و همکاران[۱۶]، ۲۰۰۶؛ بوش و همکاران[۱۷]، ۲۰۱۱؛ درفشی و همکاران، ۱۴۰۱). فرآیندهای ژئومورفولوژیکی با تأثیر بر ذرات ریزدانه رس و سیلت موجب تغییر در فعل‌وانفعالات ذرات درشت‌دانه می‌شوند و در مقیاس کلان نیز بر روی مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها اثرگذار هستند (من و همکاران[۱۸]، ۲۰۲۱؛ چلی و همکاران، ۲۰۲۱). رسوبات

[1] Rachok
[2] Ritz et al
[3] Harvey
[4] Field
[5] Harvey
[6] Blair and Mcpherson
[۷] Chelli
[8] Scally
[9] Blair
[10] Rahn
[11] Hsu and Pelletier
[12] shin and Santamarina
[13] Garzanti et al
[14] Alberti et al
[15] Jiang et al
[16] cho et al
[17] Bouches et al
[18] Man et al

در مخروط‌افکنه‌های قدیمی درنتیجه هوازدگی به قطعات ریزتری خرد می‌شوند درحالی‌که مخروط‌افکنه‌های جدید و فعال فرآیند هوازدگی کم است ذرات درشت‌دانه ترند (هوک، ۲۰۱۴). با توجه به اینکه فرآیند هوازدگی ذرات در امتداد لبه‌ها شروع می‌شود و به‌مرورزمان باعث گرد شدگی دانه‌ها می‌گردد (بلر، ۲۰۰۳)؛ بنابراین در مخروط‌افکنه‌های قدیمی متأثر از فرآیند هوازدگی، گرد گوشگی ذرات موجب کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود (سانتامارینا و چو[۱]، ۲۰۰۴). سطوح صاف ذرات در مخروط‌افکنه‌های قدیمی براثر هوازدگی از بین می‌رود، درنتیجه سطح هوازده و متخلخل ذرات براثر فرآیند رسوب‌گذاری زبر می‌شود (هوک، ۲۰۱۴). با توجه به اهمیت رسوبات مخروط‌افکنه‌ها و همچنین ذکر این موضوع که در دنیا پژوهش‌های زیادی در زمینه ویژگی‌های فرآیندهای ژئومورفولوژی در رابطه با مهندسی خاک صورت نگرفته است؛ بنابراین هدف این تحقیق بررسی تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی با تأکید بر ویژگی‌های مقاومتی خاک در مخروط‌افکنه-های قدیمی و جدید می‌باشد.

روش تحقیق

در این تحقیق سعی شده است با استفاده از روش‌های اسنادی، استقرایی-تجربی و مشاهدات و نمونه‌برداری‌های میدانی به مقایسه ساختار رسوبی مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید با ویژگی‌های ژئوتکنیک خاک‌های تجمع یافته در آن‌ها پرداخته می‌شود. ازاین‌جهت با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ایی و بازدیدهای میدانی در دو حوضه قلعه شاهین و دیره در غرب ایران و در محدوده‌ی شرق شهرستان سرپل ذهاب، استان کرمانشاه دو مخروط‌افکنه انتخاب‌شده که هر دو دارای بخش‌های قدیمی و جدید مشخص و مجزایی هستند. با توجه به اینکه در هر مخروط‌افکنه حوضه بالادست بخش قدیمی و جدید یکسان است، رسوبات موجود در هر مخروط‌افکنه ازنظر سنگ‌شناسی ترکیب نسبتاً یکسانی دارد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل‌شده و پس از دانه‌بندی کردن نمونه‌ها آزمایش برش مستقیم مطابق با استاندارد ASTM D3080 و آزمایش تراکم تک‌محوری مطابق با استاندار ASTM 2166 روی نمونه‌های بازسازی‌شده انجام‌گرفته است. به‌منظور حذف اثرات تراکم و رطوبت بر پارامترهای مقاومتی، نمونه‌های برداشت‌شده از همه مخروط‌افکنه در رطوبت و وزن واحد حجم یکسانی مورد آزمایش قرارگرفته‌اند. وزن واحد حجم خشک و درصد رطوبت بازسازی نمونه‌ها در آزمایش برش مستقیم به ترتیب g/cm^2 ۱٫۶ و ۱۸٪ بوده است. در آزمایش تراکم تک‌محوری نیز درصد رطوبت و وزن واحد حجم مرطوب نمونه‌های بازسازی‌شده به ترتیب برابر ۱۷٪ و g/cm^2 ۱٫۸۱ بوده است. از پارامترهای بسیار تأثیرگذار در ویژگی‌های مقاومتی خاک‌ها، دانه‌بندی ذرات است. دانه‌بندی درشت، زاویه اصطکاک داخلی[۲] بیشتر و چسبندگی[۳] خاک کمتری را نشان می‌دهد؛ بنابراین در بررسی ویژگی‌های مقاومتی خاک‌ها باید شرایط دانه‌بندی را در نظر داشت. در یک مقیاس بزرگ و کلی، اندازه ذرات خاک در مخروط‌افکنه‌ها از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد؛ اما مسیر جریان‌های اولیه دائماً در حال تغییر بوده و دانه‌بندی رسوبات نیز در جهت طول، عرضی و قائم متفاوت است. ازاین‌رو برداشت تنها یک نمونه از هر بخش، خصوصاً بخش‌های بالایی الزاماً نشان‌دهنده دانه‌بندی آن بخش نیست. در این راستا پژوهش حاضر با حذف اثر تغییرات دانه‌بندی و بر اساس میانگین دانه‌بندی خاک، نقاط نمونه‌برداری را در هر بخش از مخروط‌افکنه انتخاب کرده است. سپس برای هر محل انتخاب‌شده از ۵ نقطه بافاصله حداکثر ۱۰ متری نمونه‌برداری انجام‌گرفته است. نمونه‌ها باهم ادغام و از طریق روش چهار قسمت کردن نمونه معدل برداشت‌شده است. در این شرایط

---

[۱] Santamarina and Cho

[۲] زاویه اصطکاک داخلی: مقاومت توده خاک دربرابر لغزش

[۳] چسبندگی: مقاومت برشی خاکی که تحت تنش واقع نشده و متأثراز نیروی جاذبه مولکولی و وجود لایه‌های رطوبت می‌باشد

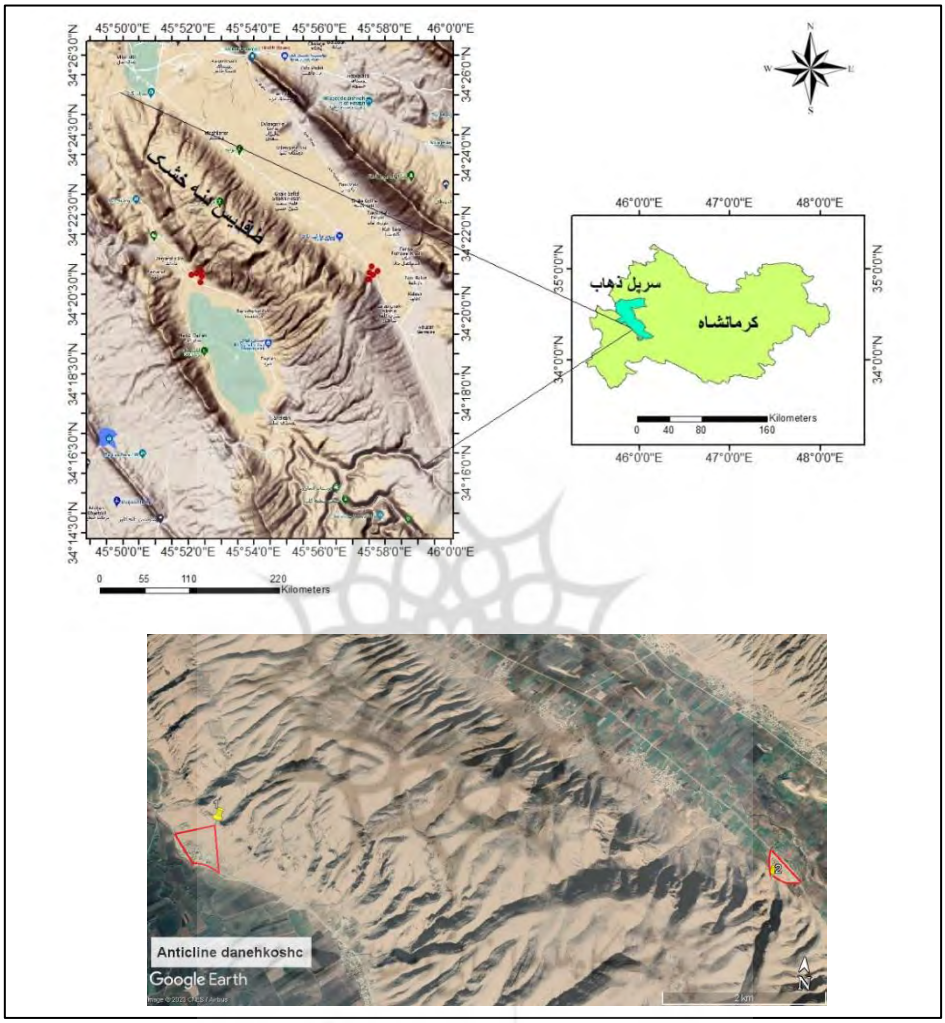
نمونه انتخاب‌شده تشابه بیشتری با دانه‌بندی خاک در هر محل دارد. شکل (۱) تصویر میدانی برداشت نمونه از منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.

شکل ۱: تصویر میدانی برداشت نمونه از منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش شامل ۲ مخروط‌افکنه در حاشیه طاقدیس دنه‌خشک بین طول جغرافیایی ۶ ′۵۰ °۴۵ تا ۳۴ ′۵۹ °۴۵ شرقی و عرض جغرافیایی ۵۷ ′۱۶ °۳۴ تا ۳ ′۲۵ °۳۴ شمالی واقع در شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه است. یکی از این مخروط‌افکنه‌ها در دامنه شمالی این طاقدیس و در دشت قلعه شاهین و دیگری در دامنه جنوب غربی و در دشت دیره واقع‌شده است. شکل (۲) موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه دشت دیره و قلعه شاهین را در شهرستان سرپل‌ذهاب و استان کرمانشاه نشان می‌دهد. این منطقه ازنظر تقسیم‌بندی زمین ساختی بخشی از زاگرس چین‌خورده است که از دوره میوسن میانی شروع به بالاآمدگی کرده است، در حال حاضر نیز تحت تأثیر بالاآمدگی تکتونیکی است (علائی طالقانی، ۱۳۸۱؛ بهرامی، ۲۰۱۳؛ بهرامی، ۲۰۱۸)؛ بنابراین طاقدیس مذکور ازنظر تکتونیکی همچنان فعال است. در ارتفاعات این طاقدیس مجموعه بسیار زیاد و منظمی از سیستم‌های شکستگی و گسل دیده می‌شود (حامی و همکاران، ۲۰۰۶؛ رامسی و همکاران، ۲۰۰۸؛ پیراسته و همکاران، ۲۰۱۱). مساحت منطقه موردمطالعه ۱۰۲٫۸ کیلومترمربع است. مرتفع‌ترین و هموارترین نقاط ارتفاعی با ابعاد ۱۳۵۲ متر و ۶۰۰ متر به ترتیب در مرکز و شمال غرب طاقدیس واقع‌شده‌اند. عرض طاقدیس دنه‌خشک در قسمت‌های جنوب شرق، مرکز و انتهای شمال غربی به ترتیب ۶۴۰۰ متر، ۵۰۰۰ متر و ۱۳۰۰ متر است. این طاقدیس دارای روند شمال غرب و جنوب شرق است. وجود دو گسل عرضی و یک گسل طولی در سمت جنوب غربی طاقدیس دنه‌خشک موجب شده است که از مرکز به سمت شمال غرب تغییرات جزئی به سمت غرب مشاهده شود. از طرفی فرود محوری دوطرفه در این طاقدیس باعث شده است که به سمت شمال غرب و جنوب شرق در حال پیشروی باشد. جنس سنگ‌های مخروط‌افکنه‌های منطقه موردمطالعه از آهک و پوشش اصلی این منطقه ازنظر چینه‌شناسی و زمین‌شناسی متشکل از سازند آسماری و رسوبات آبرفتی کواترنر است. مناطق مرتفع و کوهستانی منطقه از نوع سازند ضخیم آسماری می‌باشند. هوازدگی و فرسایش سازند آسماری در ارتفاعات این طاقدیس موجب شده رسوبات واقع در مناطق پست و ناودیسی از نوع رسوبات کواترنری باشد (بهرامی، ۲۰۱۵). ازنظر تقسیمات هیدرولوژیکی منطقه موردمطالعه بخشی از حوضه آبریز الوند است که آب‌های سطحی آن از طریق رودخانه الوند وارد عراق می‌شود (علائی طالقانی، ۱۳۸۱). منطقه موردمطالعه ازنظر اقلیمی دارای آب‌وهوای نسبتاً خشک تا مدیترانه‌ایی با زمستان‌هایی ملایم و تابستان‌هایی گرم

می‌باشد (کریمی، ۲۰۰۵). شکل (۳) و (۴) تصاویر گرفته‌شده از گوگل ارث موقعیت محل نمونه‌برداری در دو منطقه دشت دیره و قلعه شاهین را نشان می‌دهد.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه و محل نمونه‌برداری در منطقه طاقدیس دنه‌خشک

شکل ۳: محل نمونه‌برداری منطقه موردمطالعه حوضه دیره

شکل ۴: محل نمونه‌برداری منطقه موردمطالعه حوضه قلعه شاهین

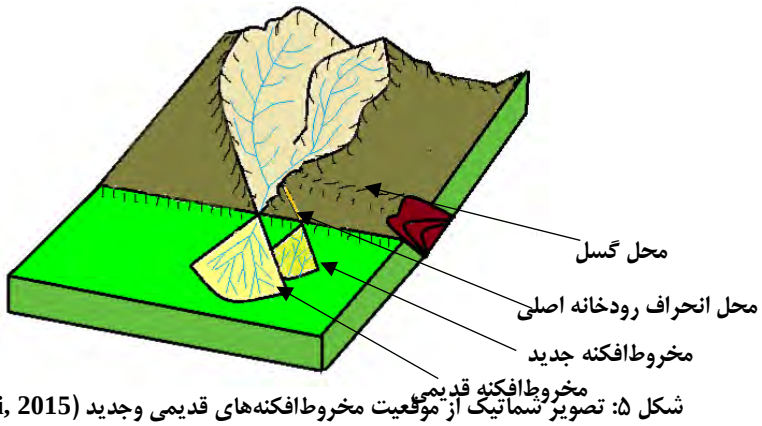
نتایج و بحث

تحقیق حاضر جهت شناسایی نقاط نمونه‌برداری شده که ازنظر مورفولوژی کاملاً متفاوت‌اند، بر اساس چند شاخص ژئومورفولوژیکی به تفکیک مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید پرداخته است. علاوه بر این با توجه به خصوصیات متفاوت ذرات در قسمت‌های مختلف مخروط‌افکنه در این پژوهش ویژگی‌های شکل ذرات، بافت سطحی و رسوب‌زایی[۱] نیز موردبررسی قرارگرفته است. با توجه به هدف تحقیق که به ارزیابی رابطه بین سن مخروط‌افکنه‌ها و پارامترهای مقاومتی خاک‌های تجمع یافته در آن‌ها می‌پردازد با انتخاب ۲ مخروط‌افکنه در حاشیه طاقدیس دنه‌خشک نمونه‌برداری از ۳ قسمت رأس، میانه و پایین‌دست قسمت‌های قدیمی و جدید مخروط-افکنه‌ها آن‌ها صورت گرفته است؛ بنابراین به‌منظور دست‌یابی و تخمین پارامتر زاویه اصطکاک داخلی به تعداد ۱۲ مرتبه آزمایش برش مستقیم و جهت دست‌یابی به پارامتر چسبندگی ذرات خاک در مخروط‌افکنه‌ها به تعداد ۱۲ مرتبه آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری انجام‌شده است.

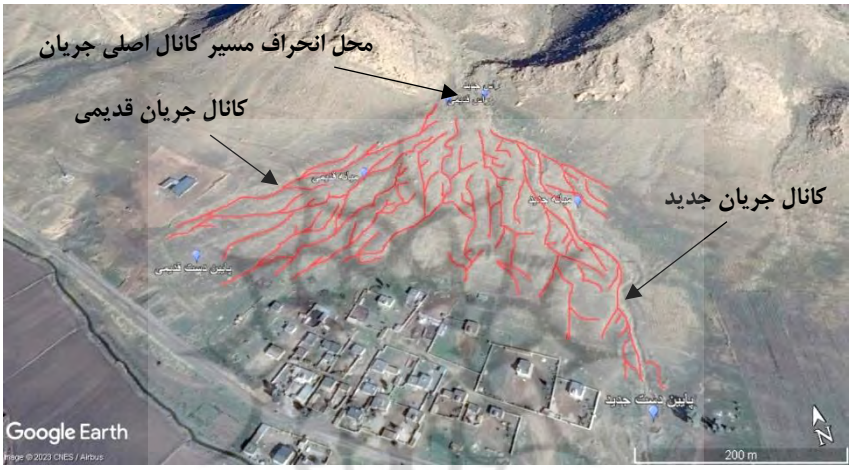
تفکیک مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید

با توجه به اینکه شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های جدید در بخش پایین‌دست مخروط‌افکنه قدیمی عمدتاً در ارتباط با تغییرات تکتونیکی می‌باشد. پژوهش حاضر با توجه به مطالعات پیشین و بر اساس شواهد ژئومورفولوژیکی، مخروط‌افکنه‌های محدوده موردمطالعه شناسایی و به‌صورت قسمت‌های قدیمی و جدید تفکیک کرده است. بر این اساس مطابق با شکل (۶) و (۷) در منطقه موردمطالعه مخروط‌افکنه‌های قدیمی به علت رسوبات هوازده در تصاویر ماهواره‌ایی تن رنگ تیره‌تر و براثر فرآیند رسوب‌گذاری و فرسایش مورفولوژی ناهموارتر و دارای تضاریس بیشتری هستند. مخروط‌افکنه‌های قدیمی و غیرفعال به علت غلبه فرسایش و انحلال بیشتر مقدار خاک بیشتر و پوشش هوازده تری نسبت به مخروط‌افکنه‌های جدید دارند. همچنین الگوی شبکه زهکشی در مخروط‌افکنه‌های قدیمی به دلیل فرسایش، به‌صورت همگرا یا شبکه درختی و در مخروط‌افکنه‌های فعال الگوی زهکشی واگرا یا توزیعی گسترش دارد. شکل (۵) تصویر شماتیک از موقعیت مخروط‌افکنه-های قدیمی وجدید را نشان می‌دهد.

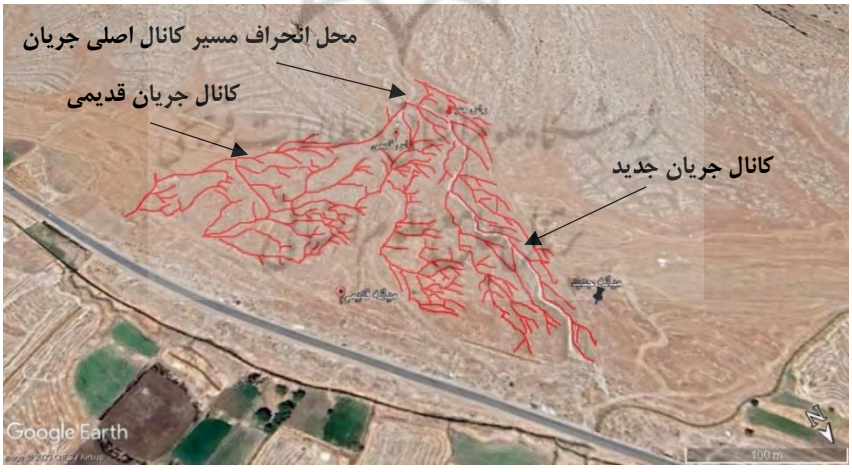
[۱] رسوب‌زایی یا سیمان‌شدگی: این عمل به کمک املاح مختلفی(آهک، سیلیس) که در لابه لای اجزاء ذرات خاک وجود دارد صورت می‌گیرد.



شکل ۵: تصویر شماتیک از موقعیت مخروط‌افکنه‌های قدیمی وجدید (Bahrami, 2015).



شکل ۶: الگوی زهکشی مخروط‌افکنه حوضه دیره



شکل ۷: الگوی زهکشی مخروط‌افکنه حوضه قلعه شاهین

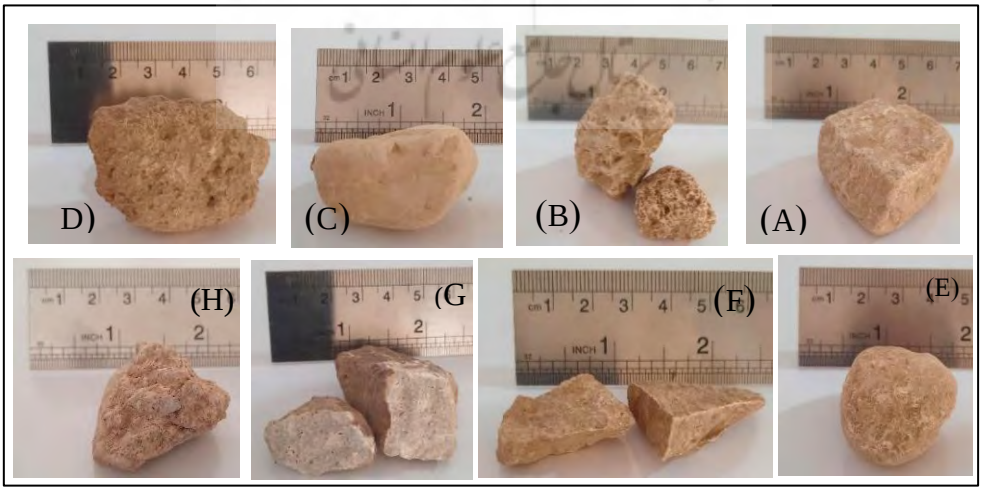
بررسی ویژگی‌های شکل ذرات در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید

مخروط‌افکنه‌ها تحت تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ویژگی‌های شکل ذرات آن‌ها در قسمت‌های رأس، میانه و پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید متغیر است. هوازدگی می‌تواند با ایجاد گرد شدگی باعث کاهش میزان زاویه اصطکاک داخلی خاک گردد و یا از طریق متخلخل کردن سطح رسوبات هوازده زمینه‌ای برای فرآیند رسوب‌گذاری و چسبندگی ذرات باشد. فرآیند سایش و حمل ذرات نیز با افزایش گرد شدگی و ایجاد بافت سطحی صاف، باعث کاهش میزان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی ذرات خاک می‌گردند.

شکل ذرات: بررسی و ارزیابی میزان گرد شدگی و کرویت ذرات در تحقیق حاضر به‌صورت چشمی خواهد بود. ارزیابی میزان کرویت ذرات شش طبقه به‌صورت کاملاً هم بعد، هم بعد، نسبتاً هم بعد، نسبتاً نا هم بعد، نا هم بعد و کاملاً نا هم بعد می‌باشد. هراندازه ذرات بیشتر در مسیر جریان حمل قرار گیرند، گرد شدگی و کرویت ذرات افزایش می‌یابد. در بالادست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید ذرات به‌صورت تیز گوشه و زاویه‌دار، ناهم بعد و درشت‌دانه هستند. به‌تدریج از بالادست به سمت پایین‌دست، حمل ذرات در مسیرهای طولانی باعث کاهش تیز گوشگی و نا هم بعد بودن ذرات می‌گردد؛ بنابراین در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها ذرات به‌صورت گرد شده، هم بعد و ریزدانه هستند. با توجه به اینکه ازنظر آماری برآورد میزان گرد شدگی ذرات بسیار مشکل و زمان‌بر است. با توجه به اینکه مطالعاتی در سال ۱۳۹۸ در محدوده موردمطالعه در خصوص شکل ذرات انجام‌شده است در این تحقیق از این نتایج استفاده‌شده است. مطابق با تقسیم‌بندی پورز (۱۹۵۳) که بر مبنای تقسیم‌بندی پتی‌جان (۱۹۴۹) است، میزان گرد شدگی ذرات در شش رده به‌صورت شدیداً گوشه‌دار، گوشه‌دار، نسبتاً گوشه‌دار، نسبتاً گرد شده، گرد شده، کاملاً گرد شده طبقه‌بندی‌شده است؛ بنابراین طبق نتایج به‌دست‌آمده میزان گردشدگی ذرات بین ۰,۲۴ درصد تا ۰,۴۰۶ درصد متغیر است. بیشترین میزان گردشدگی ذرات ۰,۴۰۶ درصد در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها با مساحت ۲,۴۹ کیلومترمربع و کمترین میزان گردشدگی ۰,۲۴ درصد در بالادست مخروط‌افکنه‌ها با مساحت ۱,۴۳ کیلومترمربع می‌باشد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۸).

بافت سطحی ذرات: ارزیابی و بررسی بافت سطحی ذرات در شش طبقه کاملاً صاف، صاف، نسبتاً صاف، نسبتاً مضرس، مضرس، خیلی مضرس دسته‌بندی می‌گردد. با توجه به اینکه مطالعاتی در سال ۱۳۹۸ در محدوده موردمطالعه در خصوص بافت سطحی ذرات انجام‌شده است در این تحقیق از این نتایج استفاده‌شده است. طی فرآیند حمل، از بالادست به سمت پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید، ذرات دچار ساییدگی می‌شوند و بافت سطحی صاف افزایش می‌یابد؛ اما در مخروط‌افکنه‌های قدیمی فرآیند هوازدگی با ایجاد سطح متخلخل و هوازده سطحی زبر و مضرس ایجاد می‌کند. از طرفی رسوب‌گذاری سطح ذرات نیز باعث افزایش بافت سطحی زبر می‌گردد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۸).

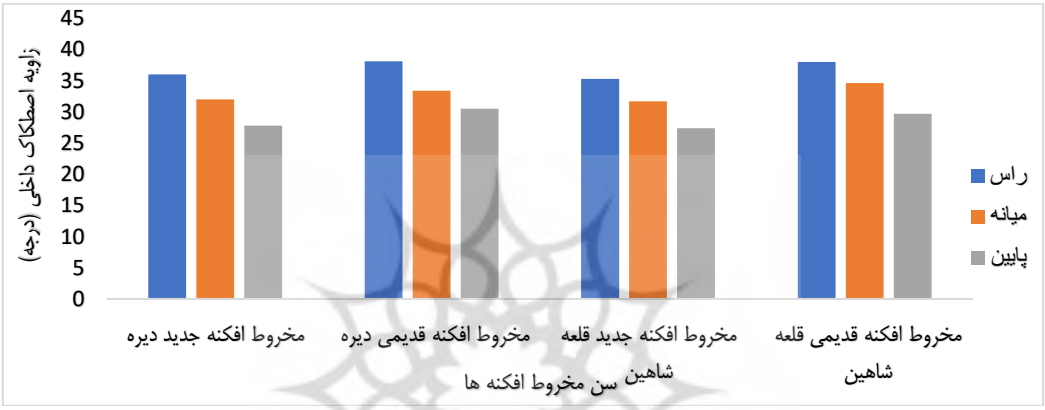
رسوب زایی سطح ذرات: منظور از رسوب زایی سطح ذرات سمنتاسیون یا سیمان شدگی ذرات به علت رسوب کربنات کلسیم در منطقه می‌باشد؛ بنابراین ایجاد یک قشر از سیمان کلسیتی باعث افزایش زبری و ایجاد تجانس بین رس و سنگ خواهد شد. از بالادست به سمت پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها با افزایش رسوب زایی ذرات کلسیتی بافت سطحی زبر و مضرس نیز افزایش می‌یابد. شکل (۸) تغییرات مربوط به شکل ذرات را نشان می‌دهد.



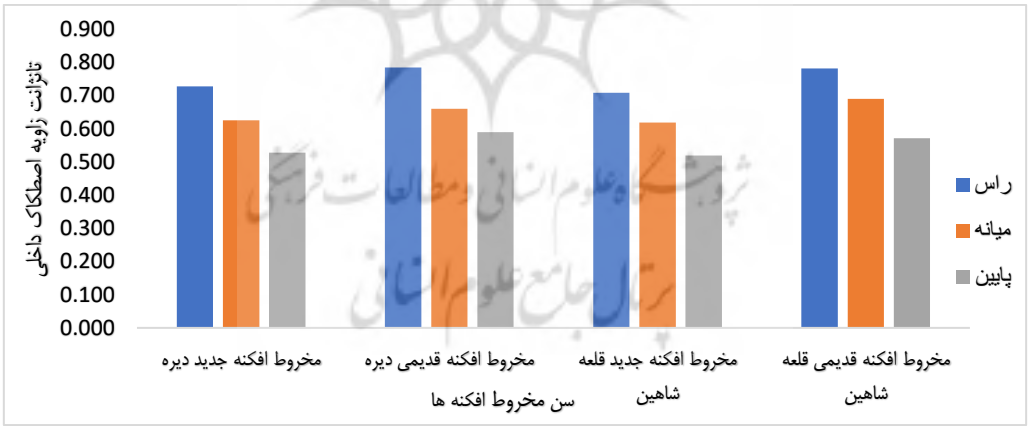
شکل ۸: (A) اثر هوازدگی- گرد گوشگی (B) سطح متخلخل و هوازده (C) بافت سطحی صاف. (D) بافت سطحی زبر و هوازده. (E) کرویت و هم بعد شدگی ذرات. (F) ذرات تیز گوشه و زاویه‌دار .(G) رسوب کربنات کلسیم. (H) رسوب زایی.

بررسی زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی ذرات در قسمت‌های رأس، میانه و پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید:

آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های بازسازی‌شده در بخش‌های قدیمی و جدید مخروط‌افکنه‌های واقع در دامنه شمالی و جنوبی طاقدیس دنه‌خشک نشان می‌دهد که نتایج آزمایش برش مستقیم و مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های مختلف مخروط‌افکنه‌های متفاوت است. به‌نحوی‌که با توجه به آزمایش برش مستقیم، میزان زاویه اصطکاک داخلی از ۳۸,۱° درجه در بالادست تا ۲۷,۴° درجه در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها متغیر است. نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۹ و ۱۰ قابل‌مشاهده است. همچنین مطابق با نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری در شکل(۱۱) میزان چسبندگی ذرات از ۴۵ kpa در بالادست تا ۱۵۰ kpa در پایین‌دست متغیر است.



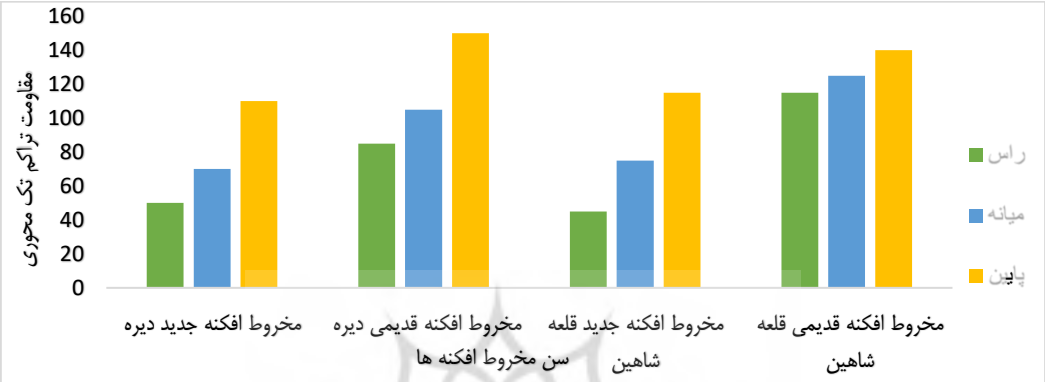
شکل ۹: نمودار ستونی بررسی زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های رأس، میانه و پایین‌دست مخروط‌افکنه قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره



شکل ۱۰: نمودار ستونی بررسی تانژانت زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های رأس، میانه و پایین‌دست مخروط‌افکنه قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره

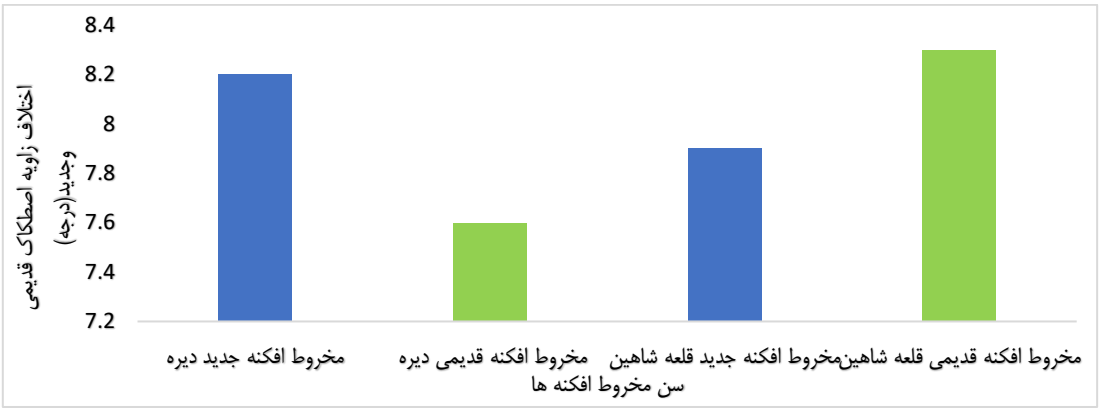
با توجه به این‌که در شرایط واقعی داده‌های به‌دست‌آمده خیلی دقیق نبوده و دارای پراکندگی‌اند. همچنین گراف‌های به‌دست‌آمده می‌تواند دارای خطا باشد؛ بنابراین با افزایش تعداد نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی، نتیجه بررسی به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود؛ بنابراین مطابق با رابطه مقاومت برشی $T=c+\acute{o}n(tan\phi)$ محاسبه میزان تانژانت فی مهم می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۹) و (۱۰) بیان می‌کند که زاویه اصطکاک داخلی از بالادست به سمت پایین‌دست مخروط-افکنه‌ها کاهش‌یافته است. درواقع روند تغییرات از بالادست به سمت پایین‌دست در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید متفاوت است. در رأس مخروط‌افکنه‌ها ذراتی که به‌تازگی از سنگ منشأ خود جداشده‌اند متأثر از فرآیند هوازدگی به‌صورت درشت‌دانه، تیز گوشه، ناهم بعد با بافت سطحی زبر موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شوند. در پایین‌دست

مخروط‌افکنه‌ها نیز به علت افزایش درصد ذرات ریزدانه رسی زاویه اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد. همچنین عدم تأثیرپذیری کانی رسی از فرآیند هوازدگی نیز موجب کاهش زاویه اصطکاک داخلی ذرات خاک می‌گردد. علاوه بر این به علت غلبه فرآیند سایش از بالادست به سمت پایین‌دست، وجود ذرات گرد شده و هم بعد با بافت سطحی صاف نیز موجب کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شوند. به‌طورکلی در مخروط‌افکنه‌های قدیمی نسبت به مخروط‌افکنه‌های جدید به علت فرآیند هوازدگی بیشتر ذرات گرد گوشه تر و ریزدانه‌تر با بافت سطحی زبر وجود دارد. همچنین در مخروط‌افکنه‌های قدیمی به علت فرآیند رسوب زایی ذرات، بافت سطحی زبر باعث افزایش زاویه اصطکاک داخلی می‌شود.



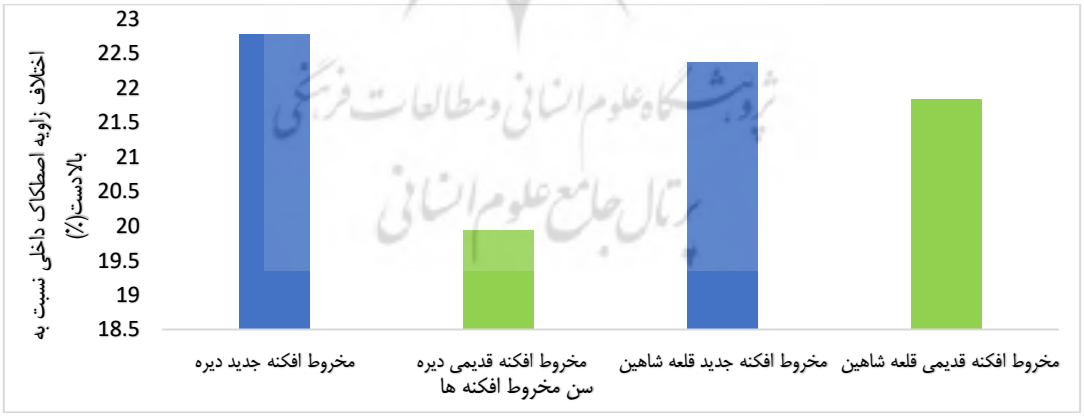
شکل ۱۱ :نمودار ستونی بررسی میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های رأس، میانه و پایین‌دست مخروط‌افکنه قدیمی و جدید حوضه دیره و قلعه شاهین

آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری نیز بر روی نمونه‌های برداشت‌شده از سطح مخروط‌افکنه‌ها انجام‌شده است که نتایج آن در شکل (۱۱) ارائه‌شده است. میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های مختلف مخروط‌افکنه متفاوت است. به‌نحوی‌که این میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری ذرات از بالادست به سمت پایین‌دست رو به افزایش است. مقاومت تراکمی تک‌محوری خاک می‌تواند متأثر از درصد ذرات رس باشد. چون ذرات رس دارای خاصیت چسبندگی هستند و باعث افزایش مقاومت تراکمی تک‌محوری می‌شوند. با توجه به اینکه درصد ذرات رسی از رأس به سمت پایین‌دست مخروط‌افکنه افزایش می‌یابد مقاومت تراکمی تک‌محوری یا چسبندگی خاک نیز افزایش می‌یابد در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها علاوه بر ذرات رس، بافت سطحی مضرس و تیز گوشه نیز جزء عوامل مهمی در چسبندگی ذرات خاک محسوب می‌شوند. در حالت بافت سطحی زبر وجود قشر زبر و هوازده منجر به مضرس شدن سطح سنگ‌دانه‌ها شده و باعث افزایش سطح تماس کانی‌های رسی بر روی آن‌ها می‌گردد. از طرفی تیز گوشه و ناهم بعد بودن ذرات نیز باعث افزایش نسبت سطح به حجم می‌شود. به‌طوری‌که ذرات رس در سطح بیشتری به ذرات زاویه‌دار و ناهم بعد متصل می‌شوند؛ بنابراین در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش می‌یابد. به‌طورکلی طبق نتایج به‌دست‌آمده فرآیند رسوب‌گذاری و هوازدگی ذرات در مخروط‌افکنه‌های قدیمی بیشتر از جدید است. همچنین به علت ریزدانه بودن ذرات در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها، چسبندگی ذرات در قسمت‌های پایین‌دست بیشتر از قسمت‌های رأس و میانه مخروط‌افکنه‌ها است. مقایسه مقدار اختلاف بین زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت تراکمی تک‌محوری در بالادست و پایین‌دست مخروط-افکنه‌های قدیمی وجدید در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ قابل‌مشاهده می‌باشد.

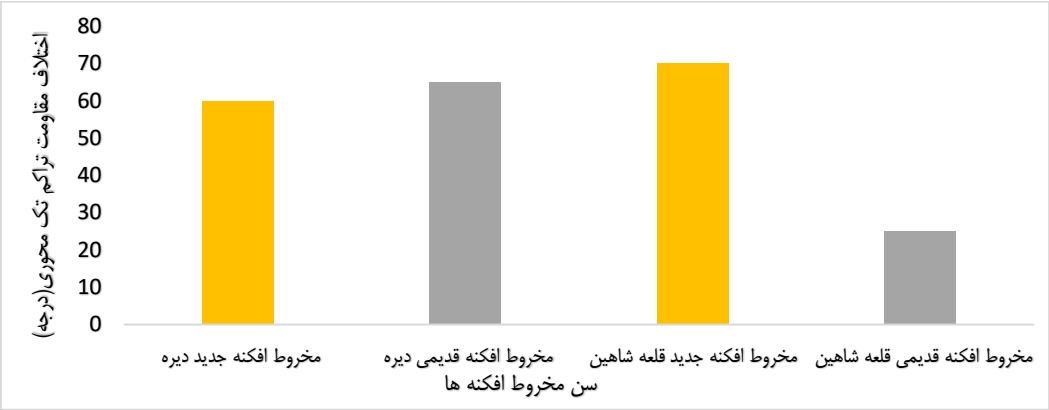


شکل ۱۲: نمودار ستونی بررسی مقدار اختلاف بین زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های بالادست و پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره

شکل ۱۳: نمودار ستونی بررسی مقدار اختلاف بین تانژانت زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های بالادست و پایین‌دست مخروط-افکنه‌های قدیمی وجدید قلعه شاهین و دیره



شکل ۱۴: نمودار ستونی بررسی اختلاف بین درصد زاویه اصطکاک داخلی نسبت به بالادست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید



شکل ۱۵: نمودار ستونی بررسی مقدار اختلاف بین مقاومت تراکم تک‌محوری در قسمت‌های بالادست و پایین‌دست مخروط-افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه دیره و قلعه شاهین

شکل ۱۶: نمودار ستونی بررسی درصد اختلاف بین مقاومت تراکم تک‌محوری در قسمت‌های بالادست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره

مطابق با شکل (۱۲) (۱۳) که ارتباط معنا دارای بین میزان زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های بالادست و پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره وجود ندارد.

آزمایش‌های انجام‌شده در نمودار شکل (۱۴) نشان می‌دهد که هرچند نتایج به‌دست‌آمده ارتباط قوی را بین پارامتر زاویه اصطکاک داخلی در بالادست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید را نشان نمی‌دهد؛ اما درمجموع روابط به‌دست‌آمده بیان می‌کند که درصد اختلاف زاویه اصطکاک داخلی در مخروط‌افکنه جدید بیشتر از قدیمی است.

نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۱۵) نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین پارامتر مقاومت تراکم تک‌محوری در بالادست و پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید وجود ندارد. این عدم معناداری می‌تواند ناشی از بی‌ارتباط بودن تغییرات پارامتر مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های بالادست و پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های ذکرشده باشد یا می‌تواند از عدم وجود داده کافی برای بررسی دقیق‌تر باشد.

نتایج آمایش‌های انجام‌شده در شکل (۱۶) نشان می‌دهد درصد مقاومت تراکمی تک‌محوری یا چسبندگی ذرات در مخروط-افکنه‌های جدید بیشتر از مخروط‌افکنه‌های قدیمی است. نتیجه به‌دست‌آمده عدم معناداری آزمون موردنظر را نشان می‌دهد و نمی‌تواند قطعیت لازم را داشته باشد.

نتیجه‌گیری

مخروط‌افکنه به‌عنوان یک محیط زمین‌شناسی، آمیخته با مسائل ژئوتکنیکی و ژئومورفولوژی است. مخروط‌افکنه‌ها متأثر از پارامترهای ژئومورفولوژیکی ازجمله فرسایش، هوازدگی، رسوب‌گذاری و وضعیت تکتونیکی می‌توانند باعث تغییر در

ویژگی‌های مقاومتی خاک در سطوح فعال و غیرفعال خود شوند. تحقیق حاضر علاوه بر بررسی شکل ذرات، بافت سطحی و رسوب زایی به ارزیابی پارامترهای مقاومتی خاک ازجمله چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید طاقدیس دنه‌خشک پرداخته است. میزان زاویه اصطکاک داخلی با توجه به آزمایش برش مستقیم و چسبندگی ذرات نیز مطابق با آزمایش مقاومت تراکم تک‌محوری انجام‌شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی شکل ذرات در مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهد که از بالادست به سمت پایین‌دست، ذرات تحت تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ازجمله هوازدگی و فرسایش به‌صورت گرد شده و هم بعداند. همچنین افزایش درصد سیمان در سطح ذرات نیز باعث مضرس شدن بافت سطحی و کاهش اندازه دانه‌ها می‌گردد.
نتایج بررسی‌های صورت گرفته در آزمایش برش مستقیم نشان می‌دهد میزان زاویه اصطکاک داخلی در مخروط‌افکنه‌های قدیمی به علت فرآیند رسوب زایی بیشتر از جدید بوده و زاویه اصطکاک داخلی از بالادست به سمت پایین‌دست در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید کاهش‌یافته است. این میزان زاویه اصطکاک داخلی از $^{\circ}$۳۸,۱ در بالادست تا $^{\circ}$۲۷,۴ در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها متغیر است.
نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری نیز نشان می‌دهد که میزان چسبندگی ذرات از ۴۵kpa در بالادست تا ۱۵۰kpa در پایین‌دست متغیر است. همچنین مطابق با تغییرات پارامترهای ژئومورفولوژیکی، چسبندگی ذرات در مخروط‌افکنه‌های قدیمی بیشتر از جدید است. به‌نحوی‌که چسبندگی ذرات از بالادست به سمت پایین‌دست در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید بیش از ۳ برابر افزایش می‌یابد. علاوه بر این مخروط‌افکنه‌های قدیمی به دلیل بافت سطحی مضرس‌تر و درصد بیشتر ذرات رسی، میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری بیشتر از مخروط‌افکنه‌های جدید است.

منابع

- امینی، س، صدوق، ح، بهرامی، ش، محرابیان، الف، نصرتی، ک، ۱۳۹۹، بررسی رابطه پراکنش جوامع گیاهی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در لندفرم‌های سطح مخروط‌افکنه‌های جنوب غربی میامی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۲، صص ۴۳-۲۱.
- برجسته، ص، عابدینی، م، اصغری، ص، ۱۳۹۶، بررسی پیدایش و تحول مخروط‌افکنه‌های دامنه جنوبی میشو داغ آذربایجان شرقی با تأکید بر فعالیت‌های نیوتکتونیکی، سومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری و اولین کنفرانس هنر، معماری و مدیریت شهری تهران. https://civilica.com/doc/688568
- بهرامی، ک، فاطمی عقدا، س، نورزاد، ع، تلخابلو، م، ۱۳۹۸، بررسی ارتباط بین ویژگی‌های گوشه‌داری، بافت سطحی و وجود ریزترک در سنگ‌دانه‌های طبیعی با مساحت، شیب و طول آبراهه اصلی در حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌های واقع در شمال دشت دیره، نشریه پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۱۰، شماره ۳۸، صص ۲۱۲-۱۹۶.
- چشمی، ا، خان محمدی، ن، نصیری، الف، ۱۳۹۰، بررسی رابطه زاویه اصطکاک داخلی و شکل ذرات با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی و عکس‌برداری، از دانه‌ها، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد ۴، شماره ۱ و ۲، صص ۳۸-۲۷.
- درفشی، خ، شعبانی نیا، ح، ۱۴۰۱، میکرو مورفولوژی رسوبات آبرفتی متأثر از فرآیندهای خاک‌زایی، تکنیکی نو در مطالعات ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سقز)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۱، شماره ۴، صص ۱۳۱-۱۴۶.
- صادقی، ح، ۱۳۸۲، زمین‌شناسی مهندس، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین (ع) تهران، صص ۴۱۸

- صالحی‌پورمیلانی، ع، بشکنی، زا، ۱۳۹۹، تحلیل روابط کمی بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌های ساحلی با حوضه آبخیز (مطالعه موردی؛ واحد ژئومورفولوژیکی تالش)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۴، صص ۱۱۲-۱۳۰.
- صدوق، ح، حسین زاده، م، رضایی، خ، رحمانی، ا، چزغه، س، ۱۳۹۷، تأثیرات ناشی از ساختار رسوبی مخروط‌افکنه‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی و مهندسی خاک (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه‌های چیتگر و کن)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱-۱۷.
- عابدینی، م، رجایی، ع، ۱۳۸۵، بررسی نقش عوامل مؤثر در گسترش و تکامل مخروط‌افکنه‌های ارتفاعات دره دیز-دیوان داغی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۵، صص ۸۹-۷۳.
- علائی طالقانی، م، ۱۳۸۱، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، صص ۱۴۷.
- مقصودی، م، محمد نژاد آروق، و، ۱۳۹۲، ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۲۲۳.
- موسوی، م، خطیب، م، یوسفی، م، ۱۳۹۶، تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های شمال بیرجند، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۶، شماره ۳، صص ۶۰-۷۳.
- یمانی، م، مقصودی، م، قاسمی، م، محمد نژاد، و، ۱۳۹۱، شواهد مورفولوژیکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط‌افکنه‌های شمال دامغان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲، پیاپی ۸۰، صص ۱-۱۸.
- *Alberti, A.P.E.R., Gomes, A., Trenhail, A., (2013). Correlating river terrace remnant using an Equotip hardness tester: an example from the Mino River, northwestern Iberian Peninsula. Geomorphology, 192, 59-70.*
- *Bahrami, K., Fatemi Aghda, S.M., Noorzad, A., Talkhablou., (2018). Investigation of abrasion and impact resistance of aggregates in different environments in Direh, Kermanshah, Iran, Geomorphology, 37, 2015-2028.*
- *Bahrami, K., Fatemi Aghda, S.M., Noorzad, A., Talkhablou., (2019). Effect of morphometric characteristics of catchments on the aggregates resistance of freeze- thaw and sodium sulfate soundness: a case study of alluvial fans of Direh, Kermanshah, Iran, Iranian Journal of Science and Technology, 2, 137-155.*
- *Bahrami, Sh., (2013). Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danehkoshk anticline, Zagros, Iran, Geomorphology, 180, 217-230.*
- *Bahrami, Sh., Fatemi Aghda, S.M., Bahrami, K., Motamedi Rad, M. and Poorhashemi, S., (2015). Effects of weathering and Litology on the quality of aggregate in the alluvial fans of northeast Rivand, Sabzevar, Iran, Geomorphology, 241, 19-30.*
- *Blair, T.C., (2003). Features and origin of the giant Cucomungo canyon alluvial fans, eureka calley, California. in: Chan MA, Archer AW (eds.) Extreme depositional environments: mega end members in geologic time. Geological Society of America Special Paper, 370, 105-126.*
- *Blair, T.C., Mcpherson, J.G., (2009). Processes and frams of alluvial fans. Chapter 14 in: Parsons, A.J., Abrahams, A.D. (Eds), Geomorphology and Desert, Environments, 413-467.*
- *Blair,T.C., (1987). Tectonic and hydrologic controls on cyclic alluvial fan, fluvial, and lacustrine rift-basin sedimentation, Jurassic-lowermost Cretaceous Todos santos formation, chiapas mexico. Journal of Sedimentary Petrology, 57, 845-862.*
- *Bland, W., Rolls, D. (1993). Weathering Arnold, London, 281.*
- *Bouchez, J., Gaillardet, J., France- Lanord, C., (2011). Grain size control of river suspended sediment geochemistry: clues from Amazon River depth profiles. G-cubed, 12(3), 1-24.*
- *Bull, W. B., (2009). Tectonically active landscape, John Wiley & Sons Publication, New York.*

- *Chelli, A., Bordoni, M., Cappadoni, C., Pepe, G., Rotigliano, E., Smith, M., (2021). Geomorphological tools for mapping natural hazards, Journal of Maps, 17(3), 1-4.*
- *Cho, G. C., Dodds, J., Santamarina, J. C., (2006). Particle shape effects on packing density, stiffness, and strength: natural and crushed sands. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 591-601.*
- *Field. John., (2001). Channel avulsion on alluvial fans in southern Arizon. Geomorphology, 37, 93-104.*
- *Frankel, K.L., Dolan, J.F., (2007). Characterizing arid region alluvial fans surface roughness with airborne Iaser swath mapping digital topographic data. Journal of Geophysical Research, 112, 25.*
- *Garzanti, E., Padoan, M., Ando, S., (2013). Weathering and relative durability of detrital minerals in equatorial climat: sand petrology and geochemistry in the east african rift. Journal Geol, 121(6), 547-580*
- *Garzanti, E., Resentini, A., (2016). Provenance control on chemical indices of weathering (Taiwan river sands). Sediment. Geol, 336, 81-95.*
- *Harvey, A., (2018). Alluvial fans. In: Reference module in earth systems and environmental scienes.*
- *Harvey, A.M., (2002). The role of base- Level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada. Geomorphology, 45, 67-87.*
- *Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C.J., (2006). Active deformation within the Zagros mountains deduced from GPS measurements. Journal of the Geological Society, London, 163, 143-148.*
- *Hillel, D., Rosenzweig, C., Powlson, D., Scow, K., Singer, M., Sparks, D., (2004). Encyclopedia of soils in the environment. Columbia University.*
- *Hooke. Rogerleb., (2014). Process on arid-region alluvial fans, the university of chicago. The Journal of Gelogg, 438-460.*
- *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, 41 (6),1431-1447.*
- *Houston. J., (2002). Groundwater recharge through an alluvial fan in the Atacama Desert, northern Chile: mechanisms, magnitudes and causes. Hydrological Processes, 16, 3019-3035.*
- *Hsu. L., Pelletier. J., (2004). Correlation and dating of quaternary alluvial fans surface using scarp diffusion. Geomorphology, 60, 319-335.*
- *Iacoboucci, G., Delchiaro, M., Troiani, F., Davide, N., (2024). Land-surfac quantitative analysis for mapping and deciphering the construction processes of piedmont alluvial fans in the Anti-Lebanon Mountains, Geomorphology, 453, 1-18.*
- *Jiang, D. Zhang, S. Ding, R., (2021). Weathering process of the alluvial fans in western sichuan basin, eastern margin of the Tibetan plateau, Natural Hazards Research, 1, 36-47.*
- *Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz., M.,(2005). Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, Northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. Hydrogeology Journal, 13, 787-799.*
- *Kasha Chen, T.Y, Hung, C.Y, Mullenach, J, Hill, K., (2022). Influence of fine particle content in debris flows on alluvial fan morphology. Nature Portfolio, 2730, 11.*
- *Keller, E.A. & Pinter, N., (1999). Active tectonics- earthquakes, uplift, and landscape, New Jersey, 338.*
- *Kober, F., Zeilinger, G., Ivy-Ochs, S., Dolati, A., Smit, J. and Kubik, P.W., (2013). Climatic and tectonic control on fluvial and alluvial fan sequence formation in the Central Makran Range, SE-Iran: Global and planetary change, 111, 133-149.*

- *Langer, W.H., Drew, L.J., & Sachs, J.S., (2004), Aggregate and the environment: American Geological Insitue Environmental Awareness Series, No, 8, 64.*
- *Lindsey, D.W., & 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 020314, 44.*
- *Linh Ngo, T.M, Wang, S.J., Chen, P.Y., (2024). Assessment of future climate change impacts on groundwater recharge using hydrological modeling in the choushui river alluvial fan, Taiwan, Water, 16, 419, 1-17.*
- *Lucy E. Clarke., (2015). Experimental alluvial fans: advances in understanding of fan dynamics and processes. Geomorphology, 244, 135-145.*
- *Man, T., Le, J.L., Marasteanu, M., Hill, K. (2021). Two-scale discrete element modeling of gyratory compaction of hot mix asphalt. Journal Eng. Mech, 1061, 1943-7889.*
- *Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S.M.,(2011). Tectonic processanalysis in Zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950-2001 in GIS. Arabian Journal of Geoscience, 4(1-2), 171-180.*
- *Quigley. M.C., Sandiford. M, Cupper. M.L. (2007). Distinguishing tectonic from climatic controls on range-front sedimentation. Basin Research, 19(4), 491-505.*
- *Rachoki. A.H., & Church.M, (1990). alluvial fan: a field approach, John Wiley and Sons.*
- *Rahan, P.H., (1936). Engineering geology: an environmental approach.*
- *Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., (2008). Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SEIran. Basin Research, 20. 23-48.*
- *Ritz, J.F., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Ghassemi, A., Shafei, A., Ghorashi, M., and Saidi, A., (2012). Paleoearthquakes of the past 30,000 years along the North Tehran Fault (Iran): Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 117, B06305.*
- *Santamarina, J.C., & Cho, G.C., (2004). Soil behavior: the role of particle shape proc. Skempton confect., march, London, 14.*
- *Scally, F. A; Owens. I.F.(2005). Depositional processes and particle characteristics on fans in the Sooithern Alps. New Zealand; Geomorphology, 69, 46-56.*
- *Schick, A.P., (1999). Hydrologic processes and Geomorphic constraints on urbanization of alluvial fans slopes, Geomorphology, 31, 325-335.*
- *Shin, H, & Santamarina, J.C., (2013). Role of particle angularity on the mechanical behavior of granular Mixtures. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 353-555.*
- *Ventra, D., Clarke, L., (2018). Geology and geomorphology of alluvial and fluvial fans:terrestrial and planetary perspectives. Geological Society, London, Special Publications, 440, 1 - 21.*