

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

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      تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

### چکیده

فرآیندهای ژئومورفولوژی با تأثیر در ویژگی رسوبات موجود در مخروط‌افکنه‌ها باعث تغییر در پارامترهای مقاومتی خاک، از جمله چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی می‌شوند. با توجه به هدف پژوهش حاضر ابتدا از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی، بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای 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 پایین دست بخش‌های قدیمی و جدید مخروط‌افکنه‌ها صورت گرفته است. نتایج بررسی شکل ذرات نشان می‌دهد از بالادست به سمت پایین دست ذرات متأثر از فرآیندهای ژئومورفولوژی به صورت گرد شده، هم بعد، ریزدانه و دارای بافت سطحی صاف هستند. با توجه به آزمایش برش مستقیم میزان زاویه اصطکاک داخلی از  $38,1^\circ$  در بالادست تا  $27,4^\circ$  در پایین دست مخروط‌افکنه‌ها متغیر است. در نتیجه میزان زاویه اصطکاک داخلی از بالادست به سمت پایین دست رو به کاهش خواهد بود. همچنین مطابق با نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری میزان چسبندگی ذرات از  $45 \text{ kpa}$  در بالادست تا  $15 \text{ kpa}$  در پایین دست متغیر است. سپس از بالادست به سمت پایین دست، میزان چسبندگی ذرات خاک در مخروط‌افکنه‌ها بیش از ۳ برابر افزایش یافته است. در نتیجه پژوهش حاضر با بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژی و ژئوتکنیکی خاک‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند از روابط به دست آمده در مکان‌یابی بهترین گزینه‌ها برای طرح‌های توسعه‌ای و اجرای پروژه‌های عمرانی از جمله مباحث کلان مدیریت شهرسازی، شهرک‌های صنعتی مورد توجه و استفاده برنامه ریزان محیطی قرار گیرد.

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

## 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<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸). مخروط‌افکنه‌ها از نظر استقرار و فعالیت‌های انسانی و همچنین پژوهش‌های علمی دارای اهمیت زیادی هستند. به علت وجود منابع طبیعی بارزشی 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<sup>۲</sup>، ۱۹۷۴). مخروط‌افکنه‌ها به‌عنوان مجرای مهم آب زیرزمینی از کوه به کف دره عمل می‌کنند (هیوستون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲؛ لینه‌نگو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۴) و منبع بسیار بالقوه از رسوبات را تشکیل می‌دهند (امینی و همکاران، ۱۳۹۹؛ لیندزی و ملیک<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲). این رسوبات شامل تخته‌سنگ‌های بزرگ، ریگ، ماسه، سیلت و رس هستند که در بخش‌های مختلفی از مخروط‌افکنه‌ها می‌توانند به‌عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار بگیرند (لانگر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴). مخروط‌افکنه‌ها از نظر سنی به مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید تقسیم می‌شوند. بخش‌های مختلف یک مخروط‌افکنه نیز از نظر 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<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵؛ فرانکل و دالان<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷؛ بهرامی<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵). ایجاد سطح جدید در مخروط‌افکنه‌ها و برجا ماندن مخروط‌افکنه‌های غیرفعال یا تقطیع شده به عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیمی (کاشا چن و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۲۲)، تأثیر حرکات تکتونیکی (بل<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۹؛ کلارک<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۵؛ برجسته و همکاران، ۱۳۹۶) و تغییرات سطح اساس در حوضه آبریز (هاروی<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۲). بستگی دارد. تغییرات اقلیم موجب افزایش یا کاهش پوشش گیاهی، تغییر میزان رواناب، بار رسوبی رودخانه‌ها و فرآیندهای فرسایشی در سطح مخروط‌افکنه شده و تغییر لندفرم‌ها را در پی خواهد داشت (کویگلی و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۷؛ کلر و پینتر<sup>۱۵</sup>، ۱۹۹۹؛ لاکوبوکی<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). حرکات تکتونیک از طریق بالاآمدگی، شیب و ویژگی‌های سطح اساس را متأثر می‌سازد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱). در واقع باعث تغییر در فرآیندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری در سطح مخروط‌افکنه‌ها می‌گردد (صالحی پور میلانی و بشکنی، ۱۳۹۹؛ کوبر و همکاران<sup>۱۷</sup>، 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<sup>۱۸</sup>، ۲۰۱۴). روند تکامل و تحول یک مخروط‌افکنه، با جابه‌جایی محل

<sup>1</sup> Ventra and Clarke

<sup>2</sup> Schick

<sup>3</sup> Houston

<sup>4</sup> Linh Ngo

<sup>5</sup> Lindsey and Melick

<sup>6</sup> Langer et al

<sup>7</sup> house

<sup>8</sup> frankel and dalan

<sup>9</sup> Bahrami

<sup>10</sup> Kasha chen et al

<sup>11</sup> Bull

<sup>12</sup> Clark

<sup>13</sup> Harvey

<sup>14</sup> Quigley

<sup>15</sup> Keller and Pinter

<sup>16</sup> Iacobucci

<sup>17</sup> Kober et al

<sup>18</sup> Hooke

فرسایش و رسوب‌گذاری شکل می‌گیرد. در واقع عدم رسوب‌گذاری در سطح مخروط‌افکنه، محل رسوب‌گذاری به نقطه دیگری در پایین‌دست یا بالادست انتقال می‌یابد. مخروط‌افکنه قبلی به صورت متروک باقی می‌ماند و مخروط‌افکنه جدید نیز در موقعیت دیگری شروع به گسترش می‌کند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۶؛ راجوکی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۰). اگر بالآمدگی 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<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲؛ هاروی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸؛ ونترا و کلارک، ۲۰۱۸)؛ اما با بالآمدگی سطح اساس، رسوب‌گذاری به طرف جبهه‌ی کوهستان تغییر مکان می‌دهد از این‌رو رسوب‌گذاری در داخل کانال اصلی باعث تغییر مسیر جریان می‌شود (فیلد<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱؛ هاروی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲). فرآیندهای ژئومورفولوژی باعث تغییر در ویژگی رسوبات در مخروط‌افکنه‌ها می‌گردد (بلر و مکپرسون<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹؛ چلی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). ویژگی ذرات رسوبی از جمله اندازه و گرد شدگی آن‌ها با توجه به فرآیندهای ژئومورفولوژی در محیط‌های مختلف متفاوت است (اسکالی<sup>۸</sup>، 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<sup>۹</sup>، ۱۹۸۷). با افزایش مسافت حمل دانه، اندازه و شکل آن بر اثر فرآیند سایش و یا خوردگی و انحلال، بیشتر تغییر خواهد کرد (راهن<sup>۱۰</sup>، ۱۹۳۶؛ صادقی، ۱۳۸۲). در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌های جدید، حمل ذرات در مسافت طولانی‌تری در یک شیب ملایم صورت می‌گیرد (هسو و پلتیر<sup>۱۱</sup>، 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<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۳). هوازگی فرآیند اثرگذار ژئومورفولوژی است که مواد متراکم و پیوسته سطح زمین را به موادی نرم و ناپیوسته تبدیل می‌کند (گرزانتی و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶). در پروفیل مخروط‌افکنه‌ها نمونه سطحی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی هوازگی مورفولوژیکی باشد (آلبرت و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۳؛ جین و همکاران<sup>۱۵</sup>، 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<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۶؛ بوش و همکاران<sup>۱۷</sup>، 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<sup>۱۸</sup>، ۲۰۲۱؛ چلی و همکاران، ۲۰۲۱). رسوبات

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

در مخروط‌افکنه‌های قدیمی در نتیجه 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 به‌مرور زمان 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، ۲۰۰۴). سطوح صاف ذرات در مخروط‌افکنه‌های قدیمی بر اثر هوازدگی از بین می‌رود، در نتیجه سطح هوازده و متخلخل ذرات بر اثر 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 مخروط‌افکنه‌های 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. از این جهت با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی در دو حوضه قلعه شاهین و دیره در غرب ایران و در محدوده‌ی شرق شهرستان سرپل ذهاب، استان کرمانشاه دو مخروط‌افکنه انتخاب شده 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 از نظر سنگ‌شناسی ترکیب نسبتاً یکسانی دارد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و پس از دانه‌بندی کردن نمونه‌ها آزمایش برش مستقیم مطابق با استاندارد ASTM D3080 و آزمایش تراکم تک‌محوری مطابق با استاندارد ASTM 2166 روی نمونه‌های بازسازی شده انجام گرفته است. به‌منظور حذف اثرات تراکم و رطوبت بر پارامترهای مقاومتی، نمونه‌های برداشت شده از همه مخروط‌افکنه در رطوبت و وزن واحد حجم یکسانی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. وزن واحد حجم خشک و درصد رطوبت بازسازی نمونه‌ها در آزمایش برش مستقیم به ترتیب  $1.6 \text{ g/cm}^3$  و  $18\%$  بوده است. در آزمایش تراکم تک‌محوری نیز درصد رطوبت و وزن واحد حجم مرطوب نمونه‌های بازسازی شده به ترتیب برابر  $1.7\%$  و  $1.81 \text{ g/cm}^3$  بوده است. از پارامترهای بسیار تأثیرگذار در ویژگی‌های مقاومتی خاک‌ها، دانه‌بندی ذرات است. دانه‌بندی درشت، زاویه اصطکاک داخلی<sup>۲</sup> بیشتر و چسبندگی<sup>۳</sup> 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 پایین دست کاهش می‌یابد؛ اما مسیر جریان‌های اولیه دائماً در حال تغییر بوده و دانه‌بندی رسوبات نیز در جهت طول، عرضی و قائم متفاوت است. از این رو 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 انتخاب شده از ۵ نقطه بافاصله حداکثر ۱۰ متری نمونه‌برداری انجام گرفته است. نمونه‌ها باهم ادغام و از طریق روش چهار قسمت کردن نمونه معدل برداشت شده است. در این شرایط

<sup>۱</sup> Santamarina and Cho

<sup>۲</sup> زاویه اصطکاک داخلی: مقاومت توده خاک در برابر لغزش

<sup>۳</sup> چسبندگی: مقاومت برشی خاکی که تحت تنش واقع نشده و متأثر از 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 مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

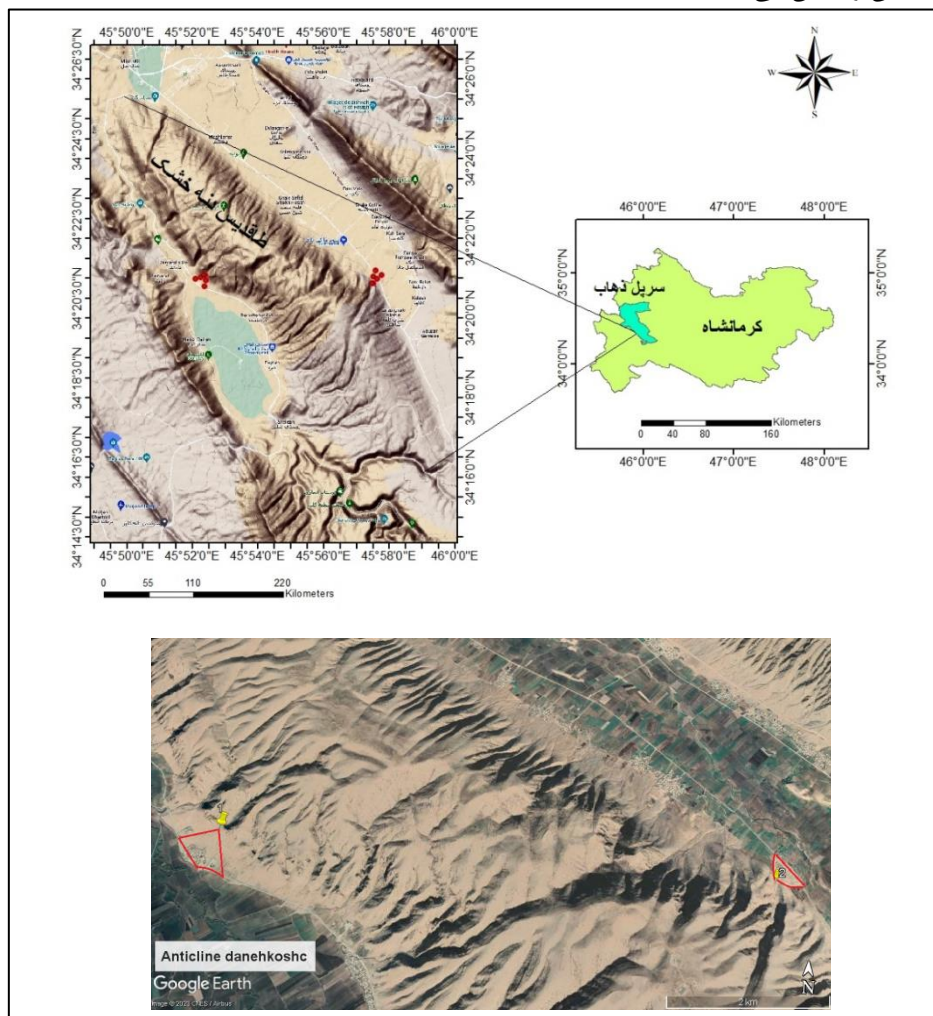


شکل ۱: تصویر میدانی برداشت نمونه از منطقه مورد مطالعه

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۲ مخروط‌افکنه در حاشیه طاق‌دیس دانه‌خشک بین طول جغرافیایی  $۴۵^{\circ}۵۰'۶''$  تا  $۳۴^{\circ}۵۹'۳۴''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $۳۴^{\circ}۱۶'۵۷''$  تا  $۳۴^{\circ}۲۵'۳۰''$  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 واقع شده است. شکل (۲) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه دشت دیره و قلعه شاهین را در شهرستان سرپل ذهاب و استان کرمانشاه نشان می‌دهد. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی زمین ساختی بخشی از زاگرس چین‌خورده است که از دوره میوسن میانی شروع به بالا آمدگی کرده است، در حال حاضر نیز تحت تأثیر بالا آمدگی تکتونیکی است (علائی طالقانی، ۱۳۸۱؛ بهرامی، ۲۰۱۳؛ بهرامی، ۲۰۱۸)؛ بنابراین طاق‌دیس مذکور از نظر 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 مورد مطالعه  $۱۰۲٫۸$  کیلومتر مربع است. مرتفع‌ترین و هموارترین نقاط ارتفاعی با ابعاد  $۱۳۵۲$  متر و  $۶۰۰$  متر به ترتیب در مرکز و شمال غرب طاق‌دیس واقع شده‌اند. عرض طاق‌دیس دانه‌خشک 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 دانه‌خشک 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 مورد مطالعه از آهک و پوشش اصلی این منطقه از نظر چینه‌شناسی و زمین‌شناسی متشکل از سازند آسماری و رسوبات آبرفتی کواترن 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 ناودسی از نوع رسوبات کواترنری باشد (بهرامی، ۲۰۱۵). از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز الوند است که آب‌های سطحی آن از طریق رودخانه الوند وارد عراق می‌شود (علائی طالقانی، ۱۳۸۱). منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی دارای آب‌وهوای نسبتاً خشک تا مدیترانه‌ای 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 دنه خشک



شکل ۳: محل نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه حوضه دیره



شکل ۴: محل نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه حوضه قلعه شاهین

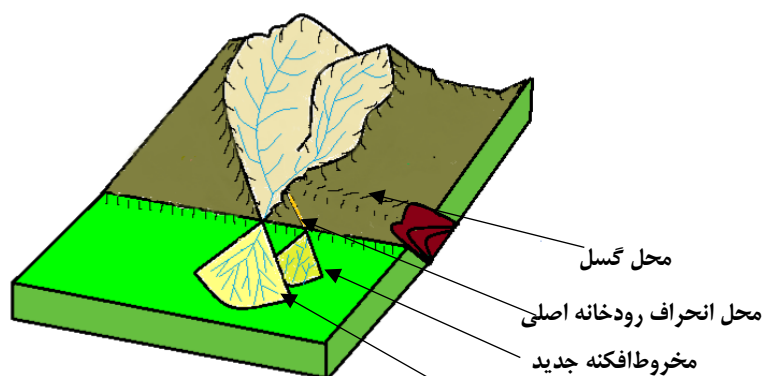
### نتایج و بحث

تحقیق حاضر جهت شناسایی نقاط نمونه‌برداری شده که از نظر 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<sup>۱</sup> نیز مورد بررسی قرار گرفته 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 پایین دست قسمت‌های قدیمی و جدید مخروط‌افکنه‌ها آن‌ها صورت گرفته است؛ بنابراین به منظور 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 انجام شده است.

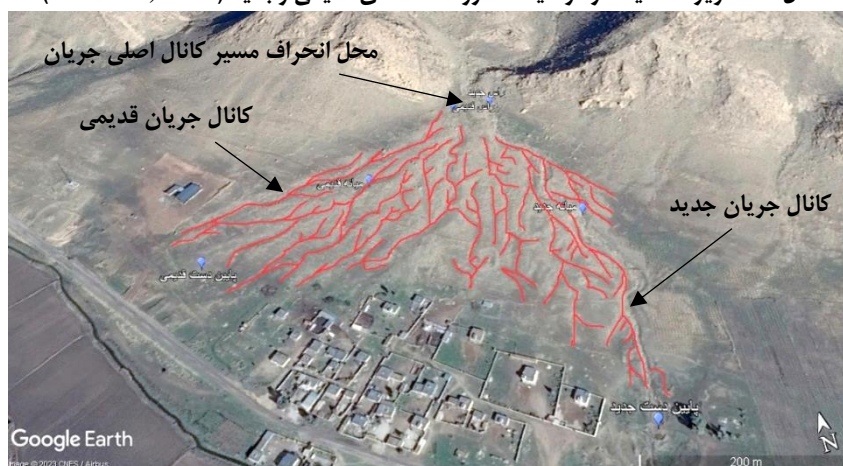
### تفکیک مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید

با توجه به اینکه شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های جدید در بخش پایین دست مخروط‌افکنه قدیمی عمدتاً در ارتباط با تغییرات تکنونیک می‌باشد. پژوهش حاضر با توجه به مطالعات پیشین و بر اساس شواهد ژئومورفولوژیکی، مخروط‌افکنه‌های محدوده مورد مطالعه شناسایی و به صورت قسمت‌های قدیمی و جدید تفکیک کرده است. بر این اساس مطابق با شکل (۶) و (۷) در منطقه مورد مطالعه مخروط‌افکنه‌های قدیمی به علت رسوبات هوازده در تصاویر ماهواره‌ای تن رنگ تیره‌تر و بر اثر 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، به صورت همگرا یا شبکه درختی و در مخروط‌افکنه‌های فعال الگوی شبکه زهکشی واگرا یا توزیعی گسترش دارد. شکل (۵) تصویر شماتیک از موقعیت مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید را نشان می‌دهد.

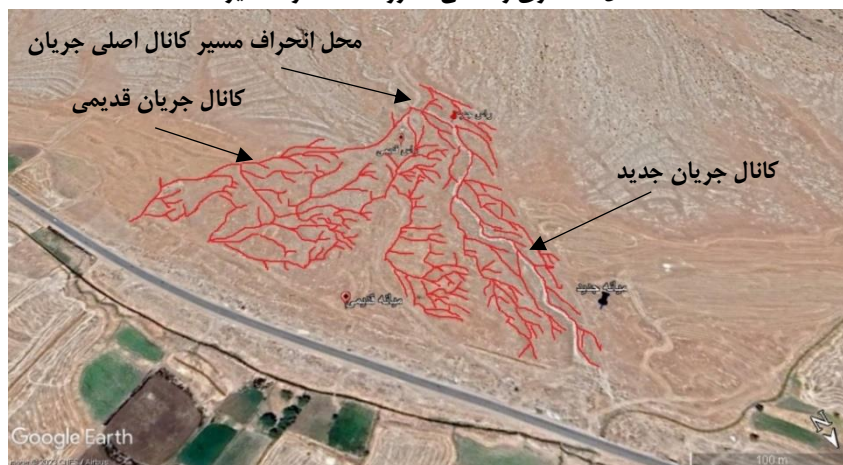
<sup>۱</sup> رسوب‌زایی یا سیمان‌شدگی: این عمل به کمک املاح مختلفی (آهک، سیلیس) که در لایه لای اجزاء ذرات خاک وجود دارد صورت می‌گیرد.



شکل ۵: تصویر شماتیک از موقعیت مخروط افکنه قدیمی مخروط افکنه جدید (Bahrami, 2015).



شکل ۶: الگوی زهکشی مخروط افکنه حوضه دیره



شکل ۷: الگوی زهکشی مخروط افکنه حوضه قلعه شاهین

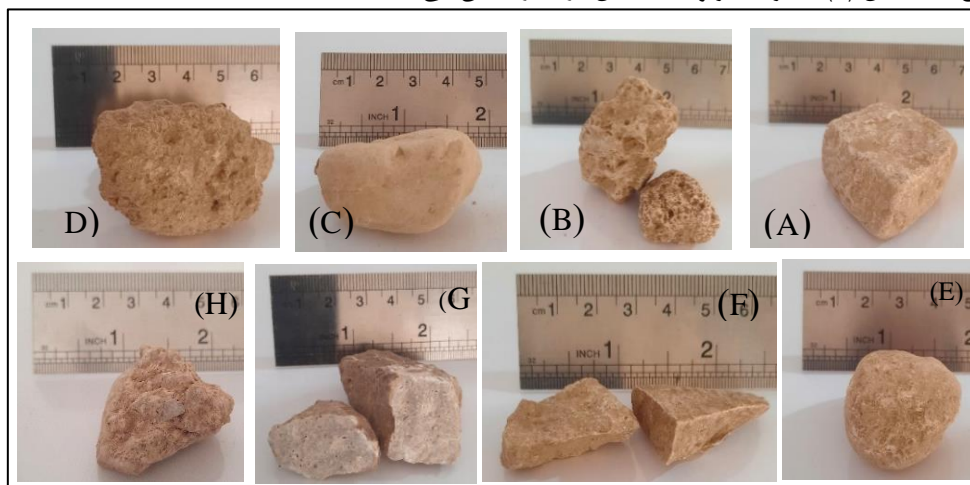
#### بررسی ویژگی‌های شکل ذرات در مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید

مخروط افکنه‌ها تحت تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ویژگی‌های شکل ذرات آن‌ها در قسمت‌های رأس، میانه و پایین دست مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید متغیر است. هوازگی 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 به صورت چشمی خواهد بود. ارزیابی میزان کرویت ذرات شش طبقه به صورت 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 به صورت تیز گوشه و زاویه‌دار، ناهم بعد و درشت‌دانه هستند. به تدریج از بالادست به سمت پایین دست، حمل ذرات در مسیرهای طولانی باعث کاهش تیز گوشگی و نا هم بعد بودن ذرات می‌گردد؛ بنابراین در پایین دست مخروط‌افکنه‌ها ذرات به صورت گرد شده، هم بعد و ریزدانه هستند. با توجه به اینکه از نظر آماری برآورد میزان گرد شدگی ذرات بسیار مشکل و زمان‌بر است. با توجه به اینکه مطالعاتی در سال ۱۳۹۸ در محدوده مورد مطالعه در خصوص شکل ذرات انجام شده است در این تحقیق از این نتایج استفاده شده است. مطابق با تقسیم‌بندی پورز (۱۹۵۳) که بر مبنای تقسیم‌بندی پتی‌جان (۱۹۴۹) است، میزان گرد شدگی ذرات در شش رده به صورت شدیداً گوشه‌دار، گوشه‌دار، نسبتاً گوشه‌دار، نسبتاً گرد شده، گرد شده، کاملاً گرد شده طبقه‌بندی شده است؛ بنابراین طبق نتایج به دست آمده میزان گرد شدگی ذرات بین ۰٫۲۴ درصد تا ۰٫۴۰۶ درصد متغیر است. بیشترین میزان گرد شدگی ذرات ۰٫۴۰۶ درصد در پایین دست مخروط‌افکنه‌ها با مساحت ۲٫۴۹ کیلومتر مربع و کمترین میزان گرد شدگی ۰٫۲۴ درصد در بالادست مخروط‌افکنه‌ها با مساحت ۱٫۴۳ کیلومتر مربع 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 مورد مطالعه در خصوص بافت سطحی ذرات انجام شده است در این تحقیق از این نتایج استفاده شده است. طی فرآیند حمل، از بالادست به سمت پایین دست 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 رسوب گذاری سطح ذرات نیز باعث افزایش بافت سطحی زبر می‌گردد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۸).

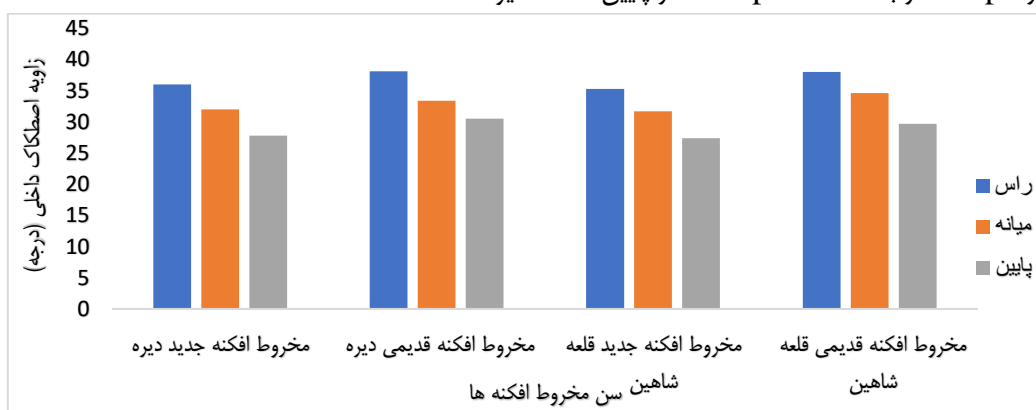
**رسوب زایی سطح ذرات:** منظور از رسوب زایی سطح ذرات سمناسیون یا سیمان شدگی ذرات به علت رسوب کربنات کلسیم در منطقه می‌باشد؛ بنابراین ایجاد یک قشر از سیمان کلسیتی باعث افزایش زبری و ایجاد تجانس بین رس و سنگ خواهد شد. از بالادست به سمت پایین دست مخروط‌افکنه‌ها با افزایش رسوب زایی ذرات کلسیتی بافت سطحی زبر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



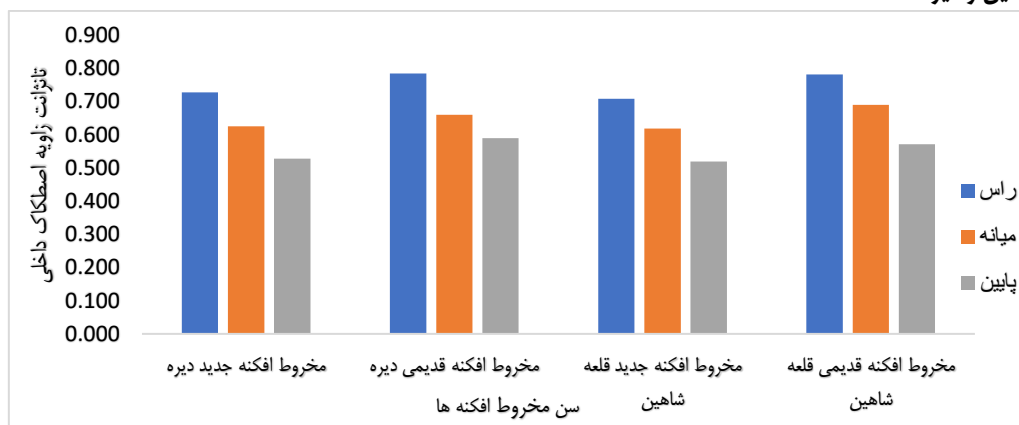
شکل ۸: (A) اثر هوازدگی - گرد گوشگی (B) سطح متخلخل و هوازده (C) بافت سطحی صاف. (D) بافت سطحی زبر و هوازده. (E) کرویت و هم بعد شدگی ذرات. (F) ذرات تیز گوشه و زاویه‌دار. (G) رسوب کربنات کلسیم. (H) رسوب زایی.

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

آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های بازسازی شده در بخش‌های قدیمی و جدید مخروط‌افکنه‌های واقع در دامنه شمالی و جنوبی طاق‌دیس دانه‌خشک نشان می‌دهد که نتایج آزمایش برش مستقیم و مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های مختلف مخروط‌افکنه‌های متفاوت است. به نحوی که با توجه به آزمایش برش مستقیم، میزان زاویه اصطکاک داخلی از  $38,1^\circ$  درجه در بالادست تا  $27,4^\circ$  درجه در پایین دست مخروط‌افکنه‌ها متغیر است. نتایج به دست آمده در شکل ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است. همچنین مطابق با نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری در شکل (۱۱) میزان چسبندگی ذرات از ۴۵ kpa در بالادست تا ۱۵۰ kpa در پایین دست متغیر است.



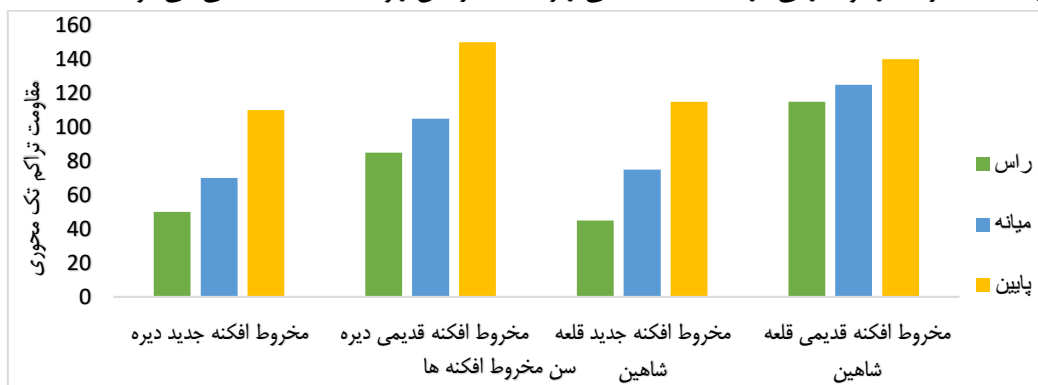
شکل ۹: نمودار ستونی بررسی زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های رأس، میانه و پایین دست مخروط‌افکنه قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره



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

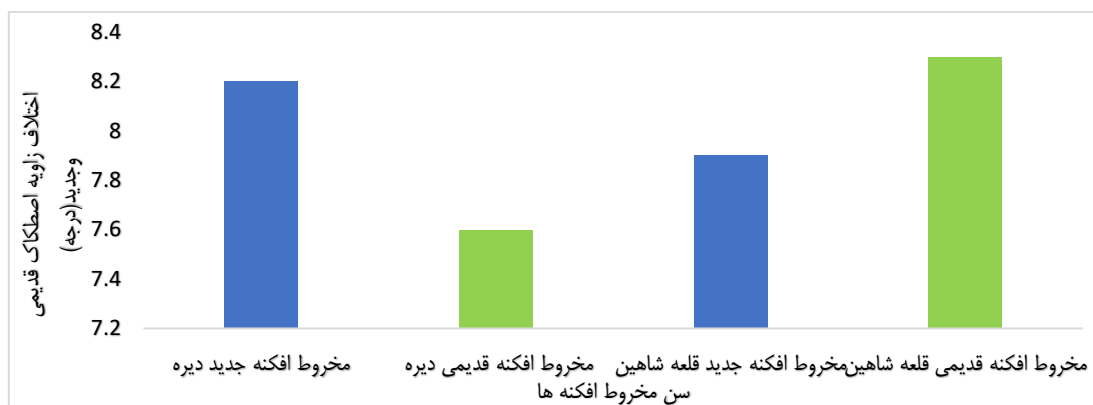
با توجه به این که در شرایط واقعی داده‌های به دست آمده خیلی دقیق نبوده و دارای پراکندگی‌اند. همچنین گراف‌های به دست آمده می‌تواند دارای خطا باشد؛ بنابراین با افزایش تعداد نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی، نتیجه بررسی به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود؛ بنابراین مطابق با رابطه مقاومت برشی  $T=c+\sigma n(\tan\phi)$  محاسبه میزان تانژانت فی مهم می‌باشد. نتایج به دست آمده در شکل (۹) و (۱۰) بیان می‌کند که زاویه اصطکاک داخلی از بالادست به سمت پایین دست مخروط‌افکنه‌ها کاهش یافته است. در واقع روند تغییرات از بالادست به سمت پایین دست در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید متفاوت است. در رأس مخروط‌افکنه‌ها ذراتی که به تازگی از سنگ منشأ خود جدا شده‌اند متأثر از فرآیند هوازدگی به صورت درشت‌دانه، تیز گوشه، ناهم بعد با بافت سطحی زبر موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شوند. در پایین دست

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. به‌طور کلی در مخروط‌افکنه‌های قدیمی نسبت به مخروط‌افکنه‌های جدید به علت فرآیند هوازدگی بیشتر ذرات گرد گوشه‌تر 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.

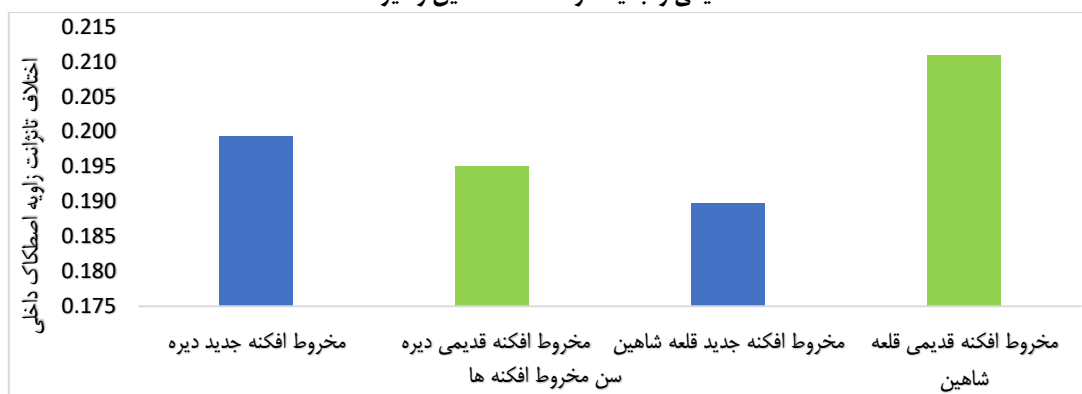


شکل ۱۱: نمودار ستونی بررسی میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های رأس، میان‌ه و پایین‌دست مخروط‌افکنه قدیمی و جدید حوضه دیره و قلعه شاهین

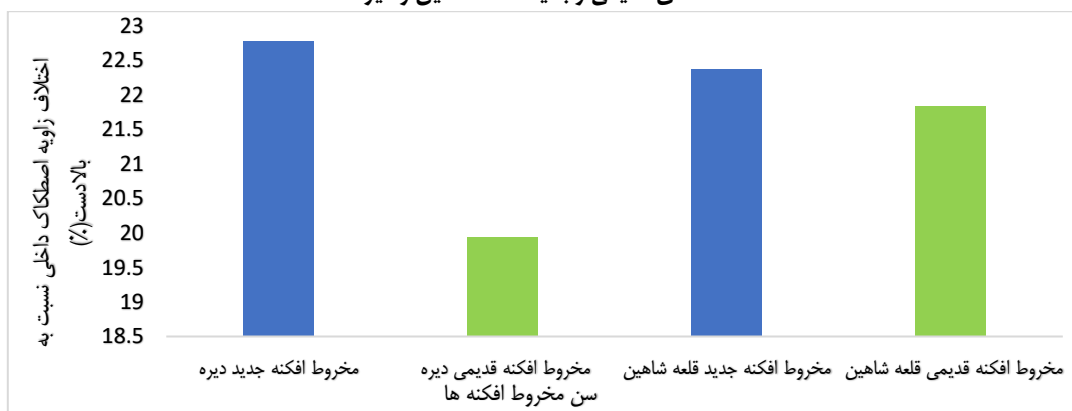
آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری نیز بر روی نمونه‌های برداشت‌شده از سطح مخروط‌افکنه‌ها انجام شده است که نتایج آن در شکل (۱۱) ارائه شده است. میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری در قسمت‌های مختلف مخروط‌افکنه متفاوت است. به‌نحوی که این میزان مقاومت تراکمی تک‌محوری ذرات از بالادست به سمت پایین‌دست رو به افزایش است. 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. به‌طوری که 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. به‌طور کلی 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 مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ قابل مشاهده می‌باشد.



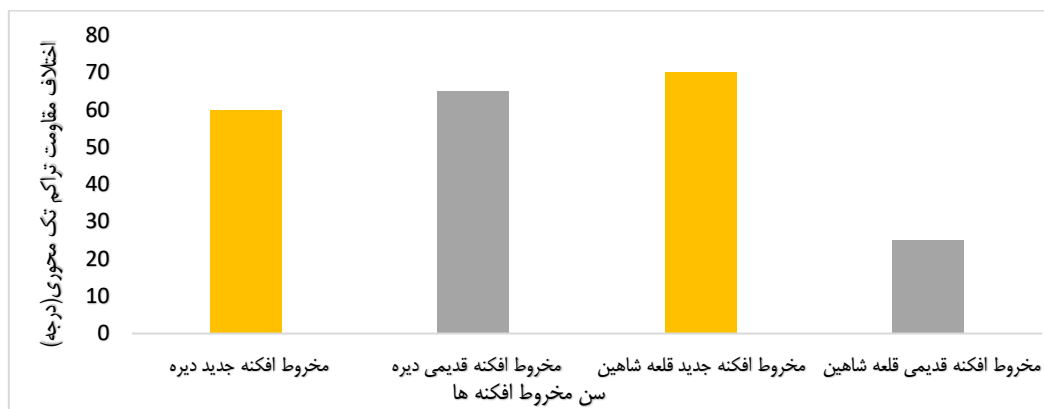
شکل ۱۲: نمودار ستونی بررسی مقدار اختلاف بین زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های بالادست و پایین دست مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره



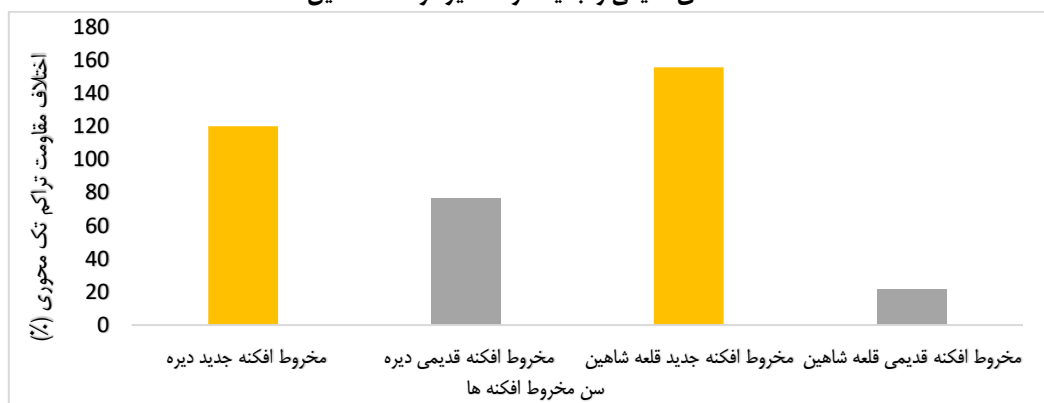
شکل ۱۳: نمودار ستونی بررسی مقدار اختلاف بین تانژانت زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های بالادست و پایین دست مخروط-افکنه‌های قدیمی و جدید قلعه شاهین و دیره



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



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



شکل ۱۶: نمودار ستونی بررسی درصد اختلاف بین مقاومت تراکم تک محوری در قسمت‌های بالادست مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره

مطابق با شکل (۱۲) (۱۳) که ارتباط معنا داری بین میزان زاویه اصطکاک داخلی در قسمت‌های بالادست و پایین دست مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید حوضه قلعه شاهین و دیره وجود ندارد.

آزمایش‌های انجام شده در نمودار شکل (۱۴) نشان می‌دهد که هر چند نتایج به دست آمده ارتباط قوی را بین پارامتر زاویه اصطکاک داخلی در بالادست مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید را نشان نمی‌دهد؛ اما در مجموع روابط به دست آمده بیان می‌کند که درصد اختلاف زاویه اصطکاک داخلی در مخروط افکنه جدید بیشتر از قدیمی است.

نتایج به دست آمده در شکل (۱۵) نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین پارامتر مقاومت تراکم تک محوری در بالادست و پایین دست مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید وجود ندارد. این عدم معناداری می‌تواند ناشی از بی‌ارتباط بودن تغییرات پارامتر مقاومت تراکمی تک محوری در قسمت‌های بالادست و پایین دست مخروط افکنه‌های ذکر شده باشد یا می‌تواند از عدم وجود داده کافی برای بررسی دقیق‌تر باشد.

نتایج آزمایش‌های انجام شده در شکل (۱۶) نشان می‌دهد درصد مقاومت تراکمی تک محوری یا چسبندگی ذرات در مخروط افکنه‌های جدید بیشتر از مخروط افکنه‌های قدیمی است. نتیجه به دست آمده عدم معناداری آزمون مورد نظر را نشان می‌دهد و نمی‌تواند قطعیت لازم را داشته باشد.

### نتیجه گیری

مخروط افکنه به عنوان یک محیط زمین شناسی، آمیخته با مسائل ژئوتکنیکی و ژئومورفولوژی است. مخروط افکنه‌ها متأثر از پارامترهای ژئومورفولوژیکی از جمله فرسایش، هوازدگی، رسوب گذاری 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 از جمله چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک در مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید طاق‌دیس دانه‌خشک پرداخته است. میزان زاویه اصطکاک داخلی با توجه به آزمایش برش مستقیم و چسبندگی ذرات نیز مطابق با آزمایش مقاومت تراکم تک‌محوری انجام شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی شکل ذرات در مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهد که از بالادست به سمت پایین‌دست، ذرات تحت تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی از جمله 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 کاهش یافته است. این میزان زاویه اصطکاک داخلی از  $38,1^\circ$  در بالادست تا  $27,4^\circ$  در پایین‌دست مخروط‌افکنه‌ها متغیر است.

نتایج آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری نیز نشان می‌دهد که میزان چسبندگی ذرات از  $45 \text{ kpa}$  در بالادست تا  $15 \text{ kpa}$  در پایین‌دست متغیر است. همچنین مطابق با تغییرات پارامترهای ژئومورفولوژیکی، چسبندگی ذرات در مخروط‌افکنه‌های قدیمی بیشتر از جدید است. به‌نحوی که 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 نیوتکتونیک، 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

- صالحی پورمیلانی، 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 ۷۳-۸۹.
- 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 تکتونیک 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 laser 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 sciences*.
- 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.