

## تحلیل آماری قطر رسوبات برخان‌های غرب بیابان لوت و بررسی نوع و منشأ آنها

مهران مقصودی\*: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران

صدیقه محبوبی: دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

مهدی بهاروند: دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

زهرا خان‌بابایی: دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

ابوطالب محمدی: دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۹)

### چکیده

یکی از فراوان‌ترین و مشخص‌ترین نوع تپه‌های ماسه‌ای - که حاصل تراکم ماسه در نواحی بیابانی‌اند - تپه‌های هلالی شکلی هستند که به برخان شهرت دارند. در این پژوهش، مؤلفه‌های گرانولومتری ۷ برخان از جمله میانگین، انحراف معیار، کشیدگی، چولگی و ... در منطقه‌ی پشوئیه، در غرب بیابان لوت، بررسی شد؛ تابع، دانه‌بندی و منشأ رسوبات این برخان‌ها مشخص شود. ابتدا ۴۲ نمونه از قسمت‌های مختلف این برخان‌ها برداشت شد که عبارت بودند از: نمونه‌گیری از بازوی راست، بازوی چپ، دامنه‌ی پشت به باد، دو نمونه از دامنه‌ی رو به باد و یک نمونه از رأس برخان. در آزمایشگاه ژئومورفولوژی، از هر نمونه ۱۰۰ گرم انتخاب و توسط دستگاه شیکر الک و نمونه‌های هر الک وزن شد و پس از انجام کارهای آزمایشگاهی، اعداد و ارقام آنها به نرم‌افزار *GRADISTAT* منتقل و در این نرم-افزار، تحلیل و تفسیر شد و جداول و نمودارها از آن استخراج گردید. در انتها نیز تعدادی از دانه‌ها برای مقایسه‌ی نتایج با یکدیگر مرفوسکوپی شدند. نتایج حاصل شده نشان داد که بیشترین میانگین قطر رسوب در برخان‌ها، مربوط به برخان شماره‌ی ۳ با ۲/۵۰۲ فی است که از قرار گرفتن برخان در معرض مخروط‌افکنه حاصل می‌شود. بیشترین درصد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده‌ی لایه‌ها، ماسه است. بیشتر برخان‌ها جور شدگی نسبتاً بالا دارند و با توجه به اینکه بافت رسوبات برخان‌ها، غالباً ماسه‌ای و ریزدانه و اغلب به سمت ذرات ریزدانه یا متقاضان کچ شدگی دارند. همان‌طور که نتایج بررسی‌ها از جمله ضریب کرومباين نیز نشان داد؛ رسوبات برخان‌ها بیشتر منشأ رودخانه‌ای دارد و چون در انتهای مخروط‌افکنه‌ها واقع شده، اغلب ریزدانه‌اند.

واژگان کلیدی: برخان، پشوئیه، ریگ لوت، گرانولومتری، مورفولوژی.

### ۱- مقدمه

طبقه‌بندی دانه‌های یک رسوب با قطرهای مختلف را دانه‌بندی یا گرانولومتری می‌گویند. با اندازه گیری قطر ذرات در رسوبات ناپیوسته، می‌توان تغییرات قطر دانه‌ها و تراکم (نسبت درصد هر یک از دانه‌ها) آن را تعیین کرد (Ahmadi, 1998).

تحلیل‌های گرانولومتریک، یکی از ابزارهای متداول در تعیین منشأ، شناخت ماسه‌های بادی و تحقیقات کویرزایی به شمار می‌رود که برای رسیدن به این امر، از پارامترهای مربوط به اندازه‌ی ذرات ماسه و تحلیل‌های آماری همچون میانگین، انحراف معیار، کشیدگی، چولگی و ... استفاده می‌شود (Guang et al, 2004). بعد از اولین تحقیقات در زمینه‌ی پارامترهای مربوط به اندازه‌ی ذرات در دهه‌ی 1930، 1950 و 1960 قرن بیستم، تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شد که در بیشتر این تحقیقات به منظور درک ویژگی‌های ذرات ماسه، بر درشتی و ریز بودن ماسه‌ها تأکید شده‌است (Folk, 1974). در اکثر این تحقیقات، به بررسی الگوهای انتقال رسوبات بادی و رفتار دینامیکی رسوبات می‌پرداختند تا اینکه در اوایل دهه‌ی 1980، این‌گونه مطالعات بیشتر بر روی پارامترهای McLaren مشخصی از قبیل میانگین قطر ذرات، جورشدگی و کشیدگی دانه‌های رسوبر مرکز شد؛ به طوری که (1981) اولین مدل را در زمینه‌ی انتقال رسوبر ارائه داد که بیشتر براساس مطالعه و ترکیب پارامترهای آماری استوار بود.

تغییر در اندازه‌ی ذرات ماسه، فاکتور مهمی به منظور درک مورفولوژی در ماسه‌های در دسترس و فرایندهای دینامیک شکل دهنده‌ی تپه‌های ماسه‌ای از قبیل پوشش گیاهی و ... و فاصله‌ی آنها از منابع ماسه است (Barndorff, Bagnold, 1937 & Lancaster, 1985 & Tsoar, 1986 & and Bagnold, 1980).

مهمنترین ویژگی تپه‌های ماسه‌ای، پویایی و تحرکات جانبی آنهاست که بخشی از آنها کانون‌های بحران و تهدید‌کننده‌ی حریم مراکز مسکونی شهری و روستایی، مراکز اقتصادی، نظامی و شریان‌های ارتباطی هستند (Mahmudi, 2011). تپه‌های ماسه‌ای از کشش متقابل جریان باد و بستر ماسه نشأت می‌گیرد. بر اساس ویژگی‌های باد و قابلیت دسترسی به ماسه، آنها می‌توانند به اشکال متفاوتی درآیند؛ گسترهای از تپه‌های ستاره‌ای شکل بزرگ و کم-تحرک تا تپه‌های برخانی پرتحرک و کوچک. نوع دوم، هلالی شکل هستند و تحت بادهای مستقیم و با منبع ماسه‌ای کم و اندک پدیدار می‌شوند. برخان به موجب شکل هلالی و هوایگرد خود، به انحراف جریان باد منجر می‌شود که این جریان ممکن است از ماسه‌ی اشیاع شده یا اشیاع نشده باشد. به طور کلی برخان، شکل هلالی خود را از فرآیندهای غیر خطی به دست می‌آورد (Hersen, 2004).

این عوارض در نواحی‌ای تشکیل می‌شوند که ماسه برای پوشاندن کامل سطح وجود نداشته و باد در اغلب طول سال، از جهت یکسانی برخوردار باشد (Sauermann et al, 2003). جایگاه اصلی تپه‌های برخانی در حد فاصل بین خاستگاه باد و محل اصلی تمرکز ارگ قرار دارد (Mahmudi, 2003). شکل هندسی این عارضه، شبیه به هلال و از دو بازوی کشیده در امتداد باد تشکیل شده‌است و دو دامنه با شیب‌های متفاوت دارد. حدفاصل و جداکننده‌ی این دو دامنه، خط الرأس نامیده می‌شود که ممکن است گاهی با حداکثر ارتفاع برخان، مقارن شده یا از آن فاصله بگیرد (Sauerman et al, 2000).

عارض برخانی که از ماسه‌ی متحرک تشکیل شده‌اند، در امتداد باد غالب، با حفظ شکل هلالی و سه بعدی خود جایجا می‌شوند؛ بنابراین از مهمترین ویژگی این عارضه، پویایی و تحرکات جانبی آن با روند مشخص سالیانه است. طبق مطالعات انجام گرفته، میانگین اندازه‌ی ذرات ماسه‌های بادی، با مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای بادی تغییر می‌کند؛ به عنوان مثال در تحقیقات انجام شده توسط Folk (1971), Wasson (1986), Livingstone (1987) و

Lancaster (1989)، تاج برخان از ذرات درشت‌تری نسبت به پهلوهای برخان برخوردار است. در حالی که در Thomas (1988) و Wasson (1983) تاج برخان نسبت به پهلوهای یک برخان، ریزتر هستند.

Zaady و همکاران (2008)، با استفاده از روش‌های گرانولومتری و میکرومورفولوژی به مطالعه‌ی ماسه‌ها در دشت یامین، واقع در قسمت شرقی بیابان نقب اسرائیل پرداختند. آنها برای این منظور از پارامترهای مختلفی از قبیل شکل، اندازه‌ی ذرات و مقدار کشیدگی ذرات ماسه استفاده کردند و با استفاده از روش‌های توزیع آماری در تحلیل داده‌ها، به بررسی دقیق تفاوت‌های گرانولومتری شکل برخان پرداختند که این امر تفاوت معناداری را بین اندازه‌ی ذرات برخان و فرایندهای بادی در فصول مختلف نشان داد.

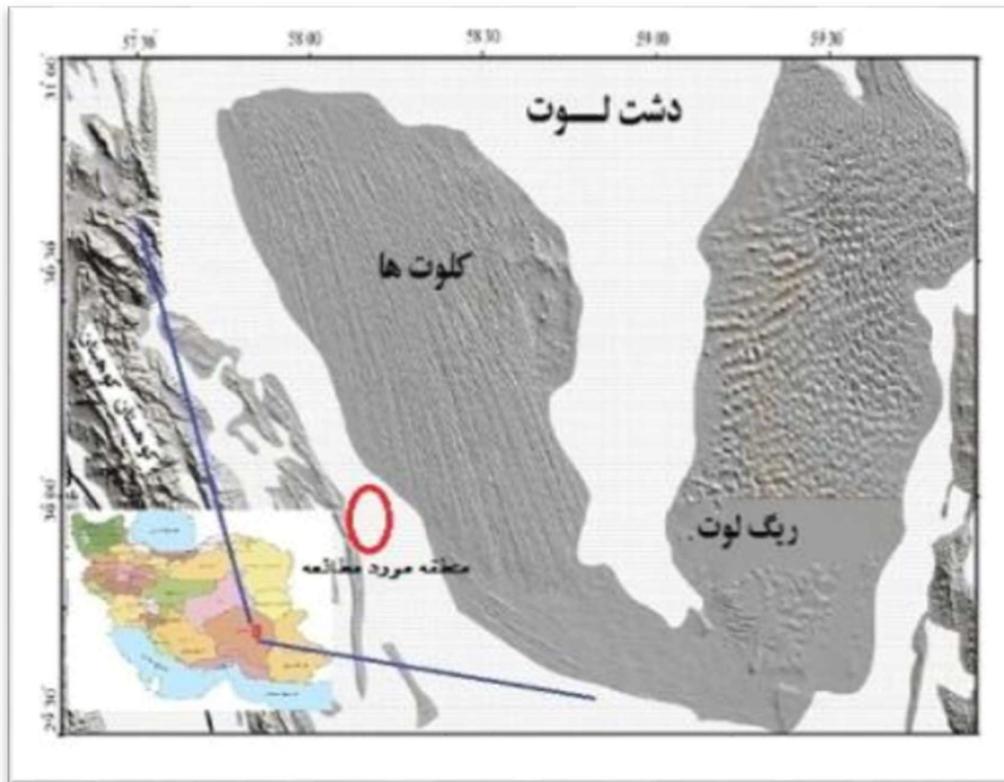
Maghsudi و همکاران (2010) در پژوهشی، ارتباط بین پارامترهای مؤثر در شکل برخان را با توجه به ویژگی-های گرانولومتری و مورفومتری آنها در منطقه‌ی مرنجاب، بررسی کردند و به نتایج جدیدی دست یافتدند. از جمله افراد دیگری که به بررسی‌های گرانولومتری برخان‌ها پرداخته‌اند، می‌توان به پژوهش Lorestani و همکاران (2011) اشاره کرد که با بررسی مورفومتری ۳۰ برخان در بند ریگ کاشان، در دو مرحله‌ی زمانی و با استفاده از تکنیک گرانولومتری و دانه‌سنگی ذرات ماسه، طبقه‌بندی و فراوانی آنها را تجزیه و تحلیل کردند. در پژوهشی دیگر، Maghsudi و همکاران (2011) گرانولومتری و مورفومتری ذرات ماسه در ارگ نوق را به منظور شناسایی منابع ماسه-های بادی، مورد مطالعه قرار دادند.

در بیشتر پژوهش‌هایی که درباره‌ی تپه‌های ماسه‌ای صورت گرفته‌است؛ یا فقط به بررسی انواع تپه‌ها از جمله تپه‌های برخانی پرداخته شده، یا به مورفومتری و گرانولومتری آنها بسته شده است. بیشتر این مطالعات، منشأ رسوبات بیشتر تپه‌های بیابانی را بادی می‌داند، ولی در این پژوهش سعی شد این مسئله نادیده گرفته شود تا نتایج جدیدی حاصل شود. در این پژوهش، مؤلفه‌های گرانولومتری ۴۲ نمونه از ۷ برخان از جمله میانگین، انحراف معیار، کشیدگی، چولگی و ... در منطقه‌ی پشوئیه، در غرب بیابان لوت، بررسی شد تا نوع، دانه‌بندی و منشأ رسوبات این برخان‌ها یعنی بادی یا آبی بودن آنها، مشخص شود.

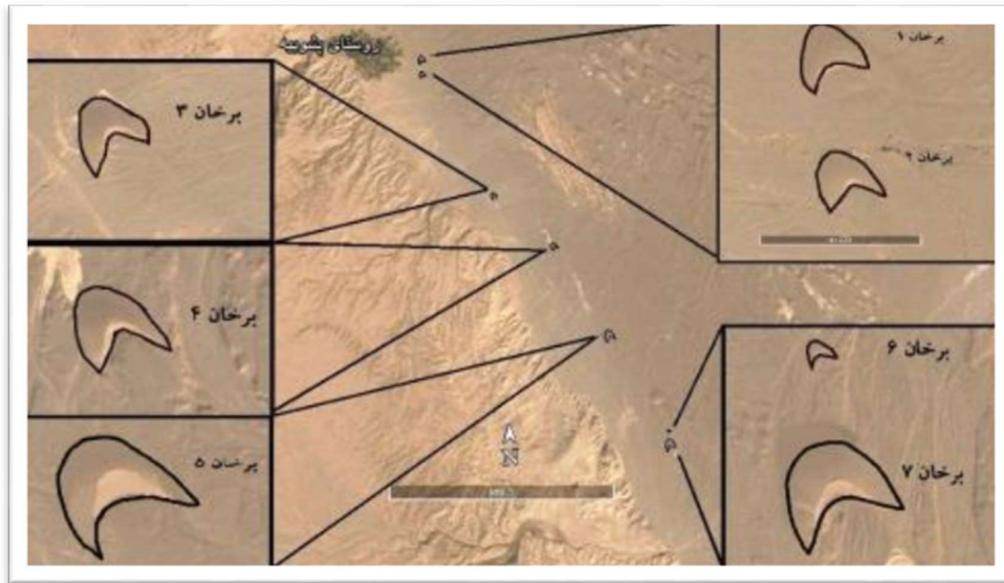
## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

روستای پشوئیه، در استان کرمان و شرق این شهر با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲ دقیقه و عرض ۳۰ درجه و ۳ دقیقه واقع شده است. روستای پشوئیه، در بیابان لوت و در ضلع شرقی گسل ناییند قرار دارد. در جنوب آن، روستای کشیت؛ در شمال غربی آن، شهرستان اندوهجرد؛ در شرق آن، کلوت‌ها و در غرب آن، شهرستان ماهان قرار دارد. لندرم‌های غالب این منطقه کلوت‌های دشت لوت، برخان‌ها و کوه‌های جوپار و جغتان استان کرمان است. شکل ۱۱ و .(۲)



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۲: برخان‌های مورد مطالعه

این پژوهش در چند مرحله انجام شد:

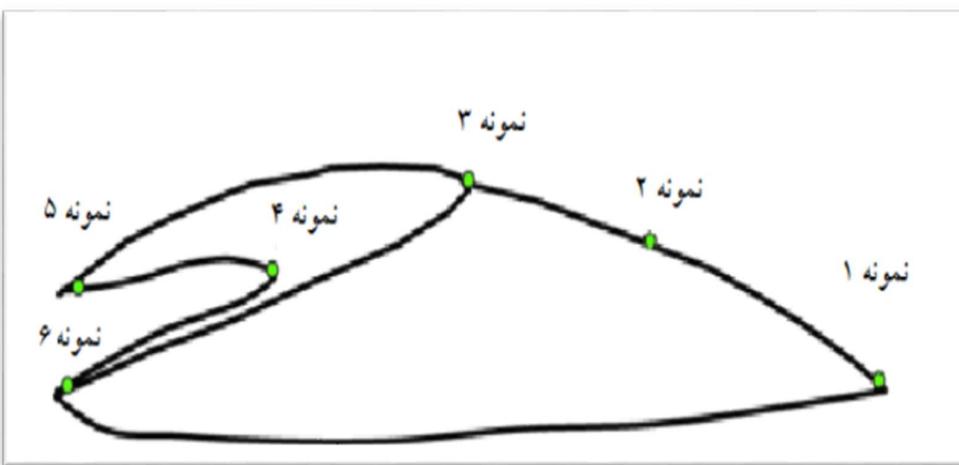
- ۱- استفاده از مدارک و منابع کتابخانه‌ای: این بخش شامل تمام منابع نوشتاری از قبیل کتاب‌ها، مقالات فارسی و انگلیسی و پایان‌نامه‌ها است که در مراحل مختلف تحقیق استفاده شده‌است.

۲- استفاده از داده‌های تصویری: در این مرحله از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ توپوگرافی و عکس‌های هوایی مربوط به منطقه، همچنین تصاویر Google Earth استفاده شد.

۳- انتخاب برخان‌ها و نمونه‌گیری از آنها: ابتدا منطقه‌ی مورد مطالعه، از نظر برخان‌ها و عوارض دیگر موجود در منطقه بررسی، سپس ۷ برخان متولی در منطقه‌ی پشوئیه کرمان انتخاب شد. نمونه‌گیری از رسوب در قسمت‌های مختلف هر کدام از این برخان‌ها، انجام و جمعاً ۴۲ نمونه برداشت شد که عبارتند از: نمونه‌گیری از بازوی راست، بازوی چپ، دامنه‌ی پشت به باد و دو نمونه از دامنه‌ی رو به باد و نمونه‌ای از رأس برخان. از آنجا که برای بررسی‌های رسوبی در برخان‌ها، مناسب‌ترین قسمت، برش طولی مرکز آنها است که بیشترین اطلاعات را درباره‌ی برخان‌ها روشن می‌سازد (Zang et al, 2014); بنابراین، نمونه‌گیری‌ها در راستای طولی برخان‌ها انجام و دو نمونه نیز از بازوی‌های هر برخان، به دلیل تفاوت قطر و نوع رسوب در بازوی‌ها برداشت شد. این نمونه‌ها در پاکت‌های مخصوص نمونه‌گیری و با عنوان و شماره‌ی مشخص، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳: اجزای مختلف یک برخان



شکل ۴: مکان نمونه‌های برداشت شده از هر برخان

۴- کارهای آزمایشگاهی: در آزمایشگاه ژئومورفولوژی از هر نمونه برداشت شده، ۱۰۰ گرم وزن و توسط دستگاه شیکر الک شد و نمونه‌های باقیمانده در هر الک، مجدداً وزن و ارقام به دست آمد، به نرم افزار *GRADISTAT* منتقل شد. تعدادی از نمونه‌ها نیز برای مقایسه‌ی نتایج، مورد مورفوسکوپی قرار گرفت.

۵- استفاده از نرم افزار *GRADISTAT*: از این نرم افزار برای تجزیه و تحلیل ارقام به دست آمد، استفاده شد. سپس نتایج به دست آمد، تحلیل و جداول و نمودارها از آن استخراج شد. در این مرحله، از ضرایب مختلف و مؤلفه‌های گرانولومتری دانه‌ها استفاده شد؛ از جمله ضریب کو-دو-اف (شاخص جورشدگی کرومباين)، درصد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده، یکنواختی یا جورشدگی، میانه، میانگین اندازه‌ی ذرات، کج شدگی و کشیدگی ذرات با استفاده از روابط آماری فولک و وارد (1957).

#### ۲-۲- شاخص **qdepth** یا شاخص کرومباين

شاخص کرومباين KRUMBEIN از رابطه‌ی زیر به دست می‌آيد.

$$Qdepth = (\phi 75 - \phi 25) / 2$$

در این رابطه،  $\phi 25$  اندازه‌ی ذراتی است که ۲۵ درصد رسوب را مشخص می‌کند و  $\phi 75$ ، ۷۵ درصد قطر ذرات را نشان می‌دهد؛ بنابراین، ( $\phi 75 - \phi 25$ ) اندازه‌ی طولی بین دو حد ۷۵ و ۲۵ درصد رسوب است. هر چه فاکتور به دست آمد کوچکتر باشد، رسوب منظم‌تر است و هر چه این فاکتور بزرگتر باشد، رسوب نامنظم‌تر است (Ahmadi, 1998). از روی این ضریب، سه نوع رسوب را می‌توان مشخص کرد:

الف- اگر ضریب کو-دو-اف بین ۰/۸ تا ۱ و ۱/۵ به دست آید، نشان‌دهنده‌ی سایش کم در رسوب است.

ب- اگر ضریب کو-دو-اف بین ۰/۴ تا ۰/۷ به دست آید، نشان‌دهنده‌ی رسوب رودخانه‌ای است.

ج- اگر ضریب کو-دو-اف بین ۰/۰ تا ۰/۳ به دست آید، سایش شدید در رسوب را نشان می‌دهد و احتمالاً رسوب بادی است (Ahmadi, 1998).

#### ۲-۳- یکنواختی یا جورشدگی

یکنواختی یا جورشدگی بدین معنی است که ذرات تشکیل‌دهنده‌ی رسوب تا چه میزان از نظر اندازه، یکسان یا متفاوت است. هر چه اندازه‌ی ذرات رسوب یکسان‌تر باشد، رسوب جورشدگی خوب است؛ هر چه اندازه ذرات رسوب نایکنواخت‌تر باشد رسوب جورنشده یا دارای جورشدگی ضعیف است. برای محاسبه‌ی جورشدگی، روش‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش ضریب جورشدگی تراسک، اندیس کسودفی فرانسوی، انحراف معيار معمولی، انحراف معيار جامع یا انحراف استاندارد اشاره کرد. در اینجا جورشدگی به روش انحراف معيار جامع محاسبه شد (Feyz Nia, 2008).

$$SDI = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

براساس مقدار انحراف معيار در رسوبات، فولک، جدولی را برای میزان جورشدگی ارائه داده‌است (جدول ۱) (Mousavi Harami, 1998).

جدول ۱: جورشدگی رسوبات با استفاده از روش فولک

جورشدگی	انحراف معیار استاندارد
جورشدگی خیلی خوب	کمتر از ۰/۳۵ فی
جورشدگی خوب	۰/۰-۰/۳۵ فی
جورشدگی خوب - متوسط	۰/۰-۰/۵ فی
جورشدگی متوسط	-۱/۰/۷۱ فی
جورشدگی ضعیف	۰/۱ فی
جورشدگی خیلی ضعیف	۰/۴ فی
جورشدگی فوق العاده ضعیف	بیش از ۰/۴ فی

## ۲-۴- کچ شدگی

کچ شدگی، نامتقارن بودن و تمایل منحنی دانه‌بندی رسوب به سمت ذرات ریز یا درشت‌دانه است. در منحنی‌های متقارن، مقدار کچ شدگی صفر است. منحنی بعضی رسوبات به سمت چپ و مواد دانه‌ریز متمایل شده‌است که میزان کچ شدگی، مثبت می‌شود. منحنی بعضی دیگر از رسوبات، به سمت راست و مواد دانه‌درشت متمایل می‌شود که میزان کچ شدگی منفی است (Mousavi Harami, 1998).

$$SKI = \frac{\varnothing_{16} + \varnothing_{84} - 2\varnothing_{50}}{2(\varnothing_{84} - \varnothing_{16})} + \frac{\varnothing_5 + \varnothing_{95} - 2\varnothing_{50}}{2(\varnothing_{95} - \varnothing_5)}$$

فولک در سال 1980، مقیاسی برای کچ شدگی ارائه و به شرح زیر آن را طبقه‌بندی کرده‌است (جدول ۲).

جدول ۲: میزان کچ شدگی (فولک، 1980)

نتیجه	کچ شدگی
کچ شدگی شدید به سمت ذرات دانه ریز	۰/۳ تا ۰/۰
کچ شدگی به سمت ذرات ریز	۰/۰ تا ۰/۰
تقریباً متقارن	-۰/۰ تا -۰/۰
کچ شدگی به سمت ذرات دانه درشت	-۰/۰ تا -۰/۰
کچ شدگی شدید به سمت ذرات دانه درشت	-۰/۰ تا -۰/۰

## ۲-۵- کشیدگی

کشیدگی عبارت است از اندازه‌گیری نوک تیزی یا کشیدگی منحنی توزیع ذرات که از نسبت جورشدگی دنباله‌ی منحنی به جورشدگی قسمت وسط منحنی به دست می‌آید و با فرمول زیر محاسبه می‌شود (Feyz Nia, 2008).

$$Ku = \frac{\varnothing_{95} - \varnothing_5}{2.44(\varnothing_{75} - \varnothing_{25})}$$

این فرمول توسط فولک ارائه می‌شود و مقدار بلندی منحنی به طریقه‌ی ترسیمی به دست می‌آید. اگر قسمت وسط دارای جورشدگی بهتر باشد، منحنی کشیده‌تر و به نام لپتوکورتیک و اگر دنباله دارای جورشدگی بهتر از قسمت وسط

باشد، منحنی پهن‌تر و پلی کورتیک نامیده می‌شود. Folk (1980)، مقیاسی برای طبقه‌بندی کشیدگی منحنی‌ها به شرح زیر ارائه کرده است (جدول ۳).

جدول ۳: انواع و میزان کشیدگی (فولک، ۱۹۸۰)

نتیجه	کشیدگی
خیلی پهن	کمتر از ۰/۶۷
پهن	۰/۹ تا ۰/۶۷
متوسط	۱/۱۱ تا ۰/۹
کشیده	۱/۵ تا ۱/۱۱
خیلی کشیده	۳ تا ۱/۵
فوق العاده کشیده	بیش از ۳

### ۳- یافته‌ها (نتایج)

#### ۳-۱- یافته‌ها و نتایج حاصل از گرانولومتری دانه‌ها

پس از انجام کارهای آزمایشگاهی بر روی ۴۲ نمونه برداشت شده از ۷ برخان مورد نظر، مؤلفه‌های گرانولومتری دانه‌ها از جمله جورشدگی، میانه، نما، میانگین اندازه ذرات، کچشیدگی و کشیدگی ذرات با استفاده از روابط آماری فولک و وارد (1957) و نرم‌افزار آماری GRADISTAT به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴: مؤلفه‌های گرانولومتری دانه‌ها در برخان‌های مورد مطالعه

نمونه	نوع نمونه	نوع بافت	کچشیدگی	میانگین اندازه ذرات (نما)	میانه	مد(نما)	(نما)
برخان ۱	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	کچشیدگی به سمت ذرات ریزدانه	پهن	۲/۰۰۳	۱/۵	۱/۹۴۸	(فی)
برخان ۲	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	متقارن	کشیده	۲/۴۴۹	۲/۵	۲/۴۹۹	(فی)
برخان ۳	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	متقارن	کشیده	۲/۵۰۲	۲/۵	۲/۵۰۲	(فی)
برخان ۴	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	کچشیدگی به سمت ذرات ریزدانه	بسیار کشیده	۲/۴۶۴	۲/۵	۲/۴۶۴	(فی)
برخان ۵	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	متقارن	بسیار کشیده	۲/۴۳۶	۲/۵	۲/۴۵۹	(فی)
برخان ۶	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	کشیدگی خیلی خوب	متوسط	۲/۰۴۶	۱/۵	۱/۸۷۲	(فی)
برخان ۷	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	متقارن	کشیده	۲/۳۱۸	۲/۵	۲/۳۹۲	(فی)

## ۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری پراکندگی ذرات

همان طور که در جدول شماره‌ی (۴) مشاهده می‌شود: همه‌ی برخان‌ها از نظر منشأ، تک‌منشأ با جورشدگی نسبتاً خوب هستند و نوع بافت همگی ماسه است. در همه‌ی نمونه‌ها، کج شدگی به سمت ذرات ریزدانه است، یا اینکه متقارن هستند که این موارد به تفصیل در قسمت‌های بعد آمده‌است. در مورد اجزای برخان‌ها نیز همه‌ی اجزاء، تک‌منشأ هستند (تک‌منشأ بودن دانه‌ها به این مفهوم است که رسوبات تنها از یک منشأ، یا آبی یا بادی نشأت گرفته‌اند).

**مد:** اندازه‌ی ذره که بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌است، مد نام دارد. میزان محاسبه شده‌ی مد در برخان‌های ۲، ۴، ۳، ۵ و ۷، میزان  $2/5$  فی و در برخان‌های ۱ و ۶ برابر با  $1/5$  فی محاسبه شده‌است. در نمونه‌ها، فقط یک مد وجود دارد که بیانگر این است که رسوبات همه‌ی برخان‌ها، احتمالاً از یک منشأ نشأت گرفته‌اند. در مورد اجزای برخان، همه‌ی برخان‌ها یک مد دارند که میزان آن در همه‌ی آنها  $2/5$  فی است.

**میانگین:** میانگین ذرات در رسوب‌ها، به نوع منبع رسوب، نوع عامل حمل و شرایط رسوب‌گذاری بستگی دارد. میانگین ذرات، متوسط دانه‌های رسوبی و شاخص شرایط انرژی را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول شماره‌ی (۴) مشاهده می‌شود، میانگین‌ها بسیار به هم نزدیک است، ولی بیشترین میانگین سایز رسوب، مربوط به برخان شماره‌ی ۳ با  $2/502$  فی و کمترین میزان آن، مربوط به برخان شماره‌ی ۱ با  $2/003$  فی است.

جدول ۵: ویژگی‌های مختلف اجزای برخان‌ها

نمونه	نوع نمونه	نوع بافت	کج شدگی	کشیدگی	میانگین اندازه ذرات (فی)	مد (فی)	میانگین اندازه ذرات (فی)	میانگین (فی)
بازوی چپ	تک منشأ، جورشدگی متوسط	ماسه	متقارن	متوسط	۲/۲۴۷	۲/۵	۲/۳۱۱	۲/۳۱۱
بازوی راست	تک منشأ، جورشدگی متوسط	ماسه	متقارن	متوسط	۲/۱۸۰	۲/۵	۲/۲۵۹	۲/۲۵۹
انتهای رو به باد	تک منشأ، جورشدگی ضعیف	ماسه	به سمت ذرات- ریزدانه	کشیده	۲/۲۶۲	۲/۵	۲/۲۵۳	۲/۲۵۳
دامنه پشت به باد	تک منشأ، جورشدگی ضعیف	ماسه	متقارن	متوسط	۲/۰۲۱	۲/۵	۲/۰۵۲	۲/۰۵۲
رأس دامنه رو به باد	تک منشأ، جورشدگی متوسط	ماسه	متقارن	متوسط	۲/۲۲۷	۲/۵	۲/۳۰۷	۲/۳۰۷
وسط دامنه رو به باد	تک منشأ، جورشدگی نسبتاً خوب	ماسه	به سمت ذرات درشت	کشیده	۲/۳۲۰	۲/۵	۲/۳۸۹	۲/۳۸۹

در مورد اجزای برخان‌ها، همان طور که در جدول شماره‌ی ۵ مشاهده می‌شود: بیشترین میانگین اندازه رسوبات اجزاء، متعلق به نمونه‌ی وسط رو به باد با  $2/32$  فی و کمترین میانگین اندازه رسوبات، متعلق به دامنه‌ی پشت به باد با  $2/002$  است.

میانه: اندازه‌ی قطر دانه‌ای که در ۵۰ درصد منحنی رسوب مشخص می‌شود، م迪ان یا میانه نام دارد. هر اندازه میانه بیشتر باشد، رسوب درشت‌تر است و بر عکس هر چه میانه کوچک‌تر باشد، رسوب ریزتر است. اندازه‌ی میانه برای ذرات مختلف متفاوت است، ولی برای برخی از دانه‌ها مثل دانه‌های تشکیل دهنده‌ی ناهمواری‌های ماسه‌ای، تا حدودی یکسان است. همان طور که در جدول شماره (۴) نیز مشاهده می‌شود، بیشترین میانه مربوط به برخان شماره ۳ با ۲/۵۰۲ فی و کمترین آن، مربوط به برخان شماره ۶ با ۱/۸۷۲ فی است. پس برخان سوم، رسوبی درشت‌تر و برخان ششم، رسوب ریزتری نسبت به بقیه‌ی برخان‌ها دارد که البته همان طور که گفته شد، در ناهمواری‌های ماسه‌ای، این ضریب خیلی به هم نزدیک است.

در مورد اجزای برخان‌ها، بیشترین میانه مربوط به نمونه‌ی وسط رو به باد با ۲/۳۸۹ فی و کمترین آن، مربوط به دامنه‌ی پشت به باد با ۲/۰۵۲ فی است. پس نمونه‌ی وسط رو به باد در همه‌ی برخان‌ها، رسوب درشت‌تر و دامنه‌ی پشت به باد، رسوب ریزتری نسبت به بقیه‌ی اجزاء دارد.

### ۳-۳- ضریب کو-دو-اف (شاخص جورشدگی کرومباين)

ضریب کرومباين برای برخان‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، محاسبه شد که به صورت جدول زیر ارائه می‌شود. جدول (۶).

جدول ۶: ضریب کرومباين برخان‌های مورد مطالعه

نمونه	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)/۲	نوع رسوب
برخان ۱	۱/۰۶۸	۰/۵۳	رسوب رودخانه‌ای
برخان ۲	۰/۶۷۵	۰/۳۳	رسوب بادی
برخان ۳	۰/۶۳۱	۰/۳۱	رسوب بادی
برخان ۴	۰/۶۷۸	۰/۳۳	رسوب بادی
برخان ۵	۰/۷۱۱	۰/۳۵	رسوب بادی- رودخانه‌ای
برخان ۶	۱/۲۳۵	۰/۶۱	رسوب رودخانه‌ای
برخان ۷	۰/۸۰۴	۰/۴	رسوب رودخانه‌ای

جدول ۷: ضریب کرومباين اجزای برخان‌های مورد مطالعه

نمونه	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)	(ϕ۷۵-ϕ۲۵)/۲	نوع رسوب
بازوی چپ	۱/۰۴۷	۰/۵۲	رودخانه‌ای
بازوی راست	۱/۰۰۶	۰/۵	رودخانه‌ای
انتهای رو به باد	۱/۲۷۵	۰/۶۳	رودخانه‌ای
دامنه پشت به باد	۱/۲۰۵	۰/۶	رودخانه‌ای
رأس دامنه رو به باد	۰/۹۲۷	۰/۴۶	رودخانه‌ای
وسط رو به باد	۰/۷۲۰	۰/۳۶	تقریباً رودخانه‌ای

همان طور که در جدول مشاهده می‌شود، ضریب کرومباین در برخان شماره‌ی دوم  $0/33$  و در برخان چهارم  $0/33$  است که همه‌ی آنها سایش شدید و بادی بودن رسوبات را نشان می‌دهد.

ضریب کرومباین در برخان پنجم،  $0/35$  است که از رسوبات بادی-رودخانه‌ای حکایت می‌کند.

این ضریب در برخان اول  $0/53$ ، در برخان ششم  $0/61$  و در برخان هفتم  $0/4$  است که ضریب کرومباین در این سه برخان، نشان‌دهنده‌ی رودخانه‌ای بودن رسوبات است. سیلاب‌هایی که از کوهستان‌های غرب به سمت کلوت‌ها حرکت می‌کند، در منطقه جریان‌هایی را به وجود می‌آورد که در مسیر آنها، نیکاها تشکیل می‌شود و رسوبات ریزدانه‌ی آنها، بخشی از منابع رسوب برخان‌ها را نیز تشکیل می‌دهد؛ به همین دلیل، ضریب کرومباین نیز مبتنی بر رودخانه‌ای بودن رسوبات است.

در مورد اجزای برخان‌ها نیز تمام ضرایب کرومباين، به خوبی رودخانه‌ای بودن اجزای برخان‌ها را نشان می‌دهد.

فقط نمونه‌ی وسط رو به باد، کمی متفاوت است که آن هم نزدیک به رودخانه‌ای است.

برای تأیید این نتایج، تعدادی از نمونه‌ها نیز مورفوگلوبینی شد که آبی و رودخانه‌ای بودن نمونه‌ها را به خوبی تأیید کرد.

#### ۴-۳- درصد اندازه ذرات تشکیل دهنده لایه‌ها

آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد بافت غالب نمونه‌های مورد آزمایش، ماسه‌ای بوده که میانگین  $96/5$  درصدی آن مؤید این مطلب است. بخش دیگر نمونه‌ها، متشکل از گل است که قسمتی بسیار اندک از آن را در بر می‌گیرد ( $3/5$  درصد به طور میانگین). (جدول ۸ و ۹).

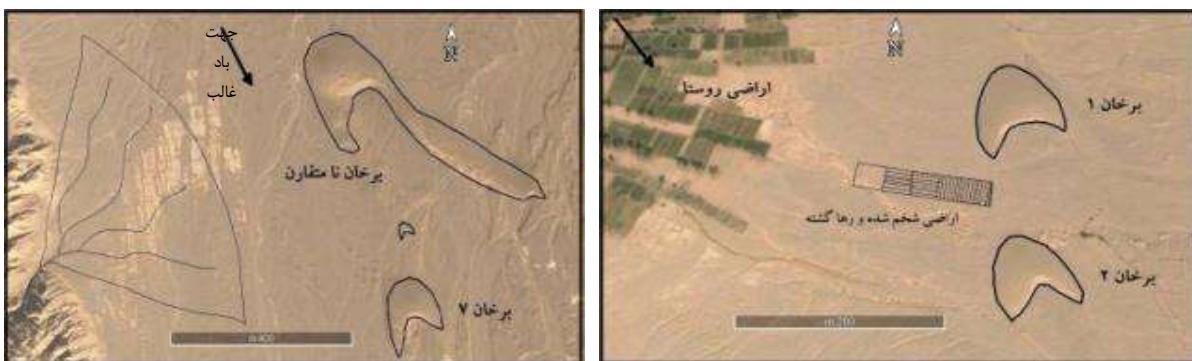
جدول ۸: درصد اندازه ذرات برخان‌های مورد مطالعه

نمونه	شن	ماسه	گل
برخان ۱	۰	$98/6$	$1/4$
برخان ۲	۰	$99/2$	$0/8$
برخان ۳	۰	$98/6$	$1/4$
برخان ۴	۰	$91/2$	$8/8$
برخان ۵	۰	$93/5$	$6/5$
برخان ۶	۰	$95/3$	$4/7$
برخان ۷	۰	$99/2$	$0/8$

جدول ۶: درصد اندازه ذرات اجزای برخان‌ها

نمونه	شن	ماشه	گل
بازوی چپ	۰	۹۶/۶	۴/۴
بازوی راست	۰	۹۹/۵	۰/۵
انتهای رو به باد	۰	۹۲/۱	۷/۹
دامنه پشت به باد	۰	۹۹/۴	۰/۶
رأس رو به باد	۰	۹۶/۷	۳/۳
وسط دامنه رو به باد	۰	۹۸/۷	۱/۳

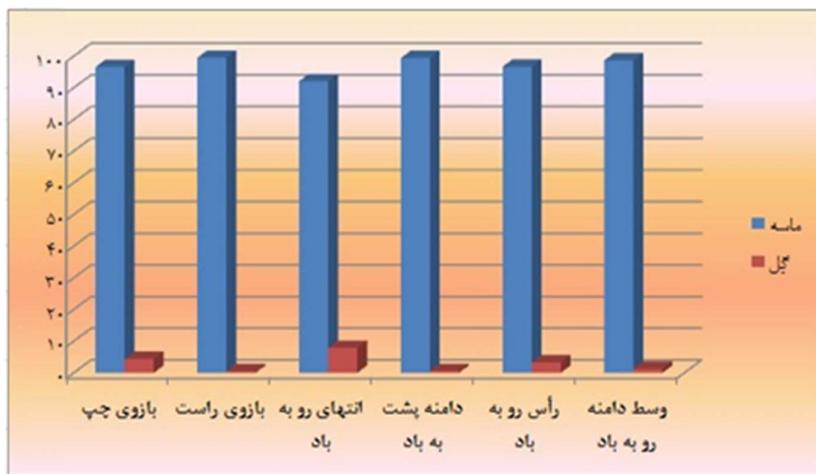
همان طور که در جدول نیز مشاهده می‌شود، برخان‌های شماره‌ی ۲ و ۷ بیشترین میزان ماشه را در بردارند که دلیل آن را در برخان ۲ می‌توان اراضی شخم شده و رها شده در اطراف روستا دانست که نمونه‌ای از آن در تصویر زیر به صورت برجسته نشان داده شده است. این اراضی که قشر سخت سنگفرش بیابان را تخریب کرده و رها شده‌اند، منبع بسیار خوبی از ماشه را در دسترس باد منطقه – که جهت آن هم از شمال غرب است – قرار داده است. این وضعیت برای برخان‌های دیگر وجود ندارد. در مورد برخان ۷ همان طور که در تصویر نیز مشاهده می‌شود، علاوه بر قرار گرفتن در مسیر سیالاب‌ها، برخان نامتقارنی با حجم زیادی از ماشه قبل از این برخان وجود دارد که می‌تواند منبع خوبی از ماشه را برای این برخان فراهم سازد. این ویژگی در مورد برخان‌های دیگر وجود ندارد (شکل ۵ و ۶).



شکل ۵ و ۶: موقعیت برخان‌های ۲ و ۷

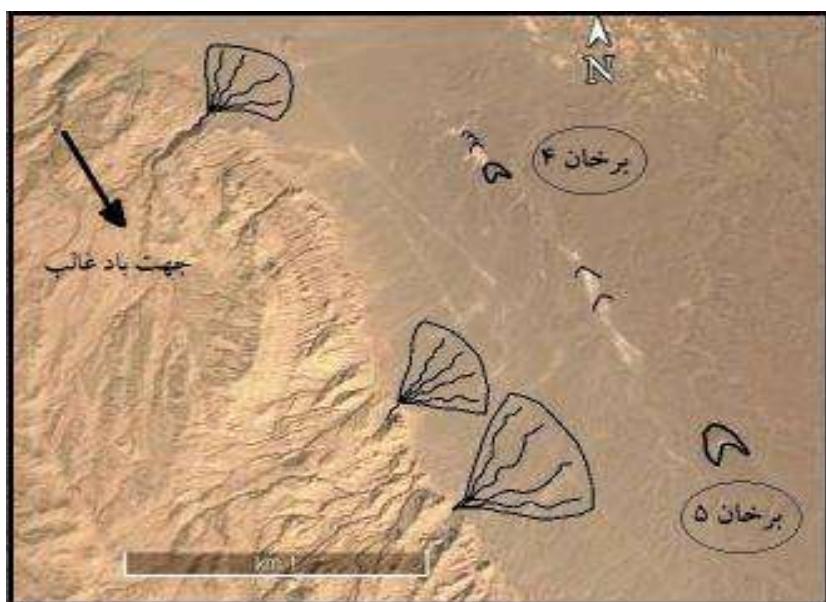


شکل ۷: اندازه‌ی ذرات تشکیل‌دهنده‌ی برخان‌ها



شکل ۸: اندازه‌ی ذرات تشکیل‌دهنده‌ی اجزای برخان‌ها

همان طور که در نمودار (شکل ۷) مشاهده می‌شود، کمترین میزان ماسه، متعلق به برخان ۴ و پس از آن متعلق به برخان ۵ است. دلیل آن را می‌توان در تصویر زیر مشاهده کرد؛ این برخان‌ها در معرض خشک‌رودهای اصلی و بزرگ منطقه قرار دارند و به همین دلیل، مواد ریزدانه‌تری از ماسه به میزان زیاد برای آن فراهم شده است که وجود سله‌های مواد گلی و ریزدانه، آن را تایید می‌کند. شکل (۹).



شکل ۹: موقعیت برخان (۴-۵-۳).

در مورد اجزای برخان‌ها (شکل ۸) بیشترین میزان ماسه، مربوط به بازوهای راست و دامنه‌ی پشت به باد با  $99/5$  درصد و  $99/4$  درصد و کمترین میزان ماسه، مربوط به انتهای رو به باد برخان‌ها با  $92/1$  درصد است.

### ۵-۳- جورشدگی (sorting)

از طریق شاخص جورشدگی، می‌توان به نوع و مکانیسم رسوبرگداری و ویژگی‌های جریان پی‌برد.

جدول ۱۰ : میزان جورشدگی رسوبات برخان‌ها

نمونه	جورشدگی	نوع جورشدگی
برخان ۱	۰/۶۸۹	جورشدگی نسبتاً بالا
برخان ۲	۰/۵۷۲	جورشدگی نسبتاً بالا
برخان ۳	۰/۵۳۵	جورشدگی نسبتاً بالا
برخان ۴	۰/۷۰۳	جورشدگی نسبتاً بالا
برخان ۵	۰/۷۰۶	جورشدگی نسبتاً بالا
برخان ۶	۰/۸۷۱	جورشدگی متوسط
برخان ۷	۰/۶۹۲	جورشدگی نسبتاً بالا

جدول ۱۱ : میزان جورشدگی رسوبات اجزای برخان‌ها

نمونه	جورشدگی	نوع جورشدگی
بازوی چپ	۰/۷۵۳	جورشدگی متوسط
بازوی راست	۰/۷۰۵	جورشدگی متوسط
انتهای رو به باد	۱/۰۲۰	جورشدگی ضعیف
دامنه پشت به باد	۰/۸۴۴	جورشدگی متوسط
رأس دامنه رو به باد	۰/۷۲۰	جورشدگی متوسط
وسط دامنه رو به باد	۰/۶۲۹	جورشدگی نسبتاً خوب



شکل ۱۰: میزان جورشدگی رسوبات برخان‌ها



شکل ۱۱: میزان جورشدگی رسوبات اجزای برخانها

همان طور که در جدول ۱۰ و شکل ۱۰ مشاهده می‌شود به جز برخان شماره‌ی ۶، سایر برخان‌ها از جورشدگی نسبتاً بالایی برخوردار هستند که اندازه‌ی تقریباً یکسان رسوبات و جورشدگی مناسب آنها را نشان می‌دهد و برخان شماره‌ی ۶ با اندکی تفاوت، دارای جورشدگی متوسط است.

در مورد اجزای برخان‌ها (جدول ۱۱ و شکل ۱۱)، رسوبات انتهای دامنه‌ی پشت به باد، دارای جورشدگی ضعیف و بقیه‌ی اجزاء دارای جورشدگی متوسط یا نسبتاً خوب هستند.

### ۶-۳- کج شدگی (skew)

میزان کج شدگی در برخان‌های مورد مطالعه محاسبه شد و با توجه به اینکه بافت رسوبات برخان‌ها ماسه‌ای است، اغلب کج شدگی مثبت یا متقارن دارند. برخان‌های شماره‌ی ۲، ۳، ۵ و ۷ متقارن هستند؛ یعنی میزان ذرات دانه‌ریز و دانه‌درشت تقریباً به یک میزان است. برخان ۱، ۴ و ۶ به سمت ذرات ریزدانه کج شدگی دارد که این امر، نشان از این دارد که در این برخان‌ها، ذرات ریزدانه بیش از ذرات درشت‌دانه وجود دارد.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر برخان‌های مورد بررسی، در محیطی با رسووب ریزدانه شکل گرفته‌اند و دارای کج شدگی مثبت یا متقارن هستند. همان طور که نتایج بررسی‌ها از جمله ضریب کرومباین نیز نشان داد، رسوبات برخان‌ها بیشتر منشأ رودخانه‌ای داشته و چون در انتهای مخروطافکنه‌ها واقع شده‌اند، اغلب ریزدانه‌اند.

جدول ۱۲: میزان کج شدگی رسوبات برخان‌ها

نوع	کج شدگی	نمونه
کج شدگی زیاد به سمت ذرات ریزدانه	۰/۱۵۷	برخان ۱
کج شدگی متقارن	۰/۰۰۷	برخان ۲
کج شدگی متقارن	۰/۰۲۱	برخان ۳
کج شدگی زیاد به سمت ذرات ریزدانه	۰/۱۳۲	برخان ۴
کج شدگی متقارن	۰/۰۶۷	برخان ۵
کج شدگی زیاد به سمت ذرات ریزدانه	۰/۳۷۵	برخان ۶
کج شدگی متقارن	-۰/۰۸۱	برخان ۷

جدول ۱۳: میزان کج شدگی رسوبات اجزای برخان‌ها

نوع	کج شدگی	نمونه
کج شدگی متقارن	-۰/۰۳۱	بازوی چپ
کج شدگی متقارن	-۰/۰۹۱	بازوی راست
کج شدگی زیاد به سمت ذرات ریزدانه	۰/۰۲۱	انتهای رو به باد
کج شدگی متقارن	-۰/۰۴۷	دامنه پشت به باد
کج شدگی متقارن	-۰/۰۵۱	رأس دامنه رو به باد
کج شدگی به سمت ذرات درشت	-۰/۱۲۴	وسط دامنه رو به باد

**۷-۳- کشیدگی (kurtosis)**

میزان کشیدگی در رسوبر خان‌های موردمطالعه، محاسبه و به صورت جدول زیر ارائه شد:

جدول کشیدگی ۱۴: میزان رسوبات برخان‌ها

نوع	کشیدگی	نمونه
پهن	۰/۸۲۱	برخان ۱
کشیده	۱/۳۷۳	برخان ۲
کشیده	۱/۳۷۳	برخان ۳
بسیار کشیده	۱/۸۸۵	برخان ۴
بسیار کشیده	۱/۷۰۰	برخان ۵
متوسط	۰/۹۶۱	برخان ۶
کشیده	۱/۲۳۱	برخان ۷

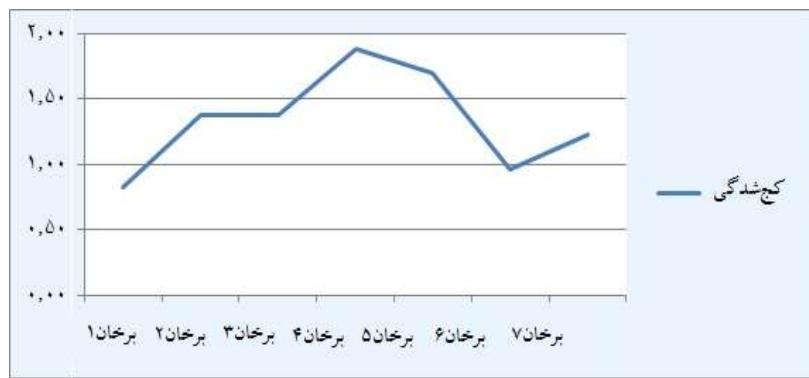
کشیدگی منحنی، درباره‌ی جورشدگی و اندازه‌ی دانه‌ها اطلاعات زیادی می‌دهد که این اطلاعات برای تعبیر و تفسیر محیط رسویی، همچنین فرایندهای رسوگذاری از اهمیت خاصی برخوردار است. بیشتر اختلافات در منحنی‌ها، در زمینه‌ی دنباله‌ی آنهاست که این خود، مقدار ذرات دانه‌ریز یا درشت را در رسوبات نشان می‌دهد.

جدول ۱۵: میزان کشیدگی رسوبات اجزای برخان‌ها

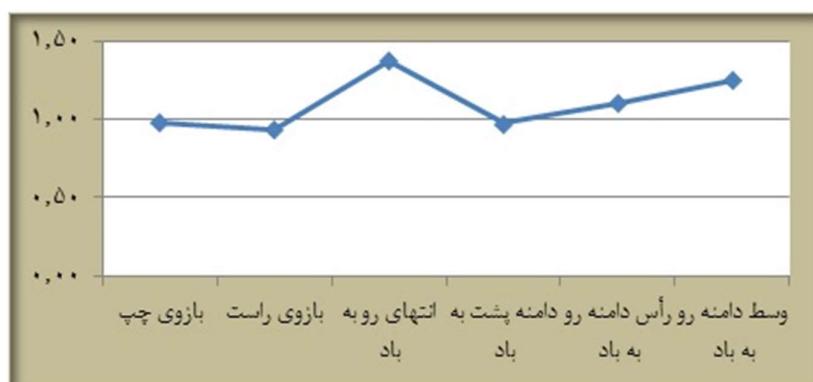
نمونه	کشیدگی	نوع
بازوی چپ	۰/۹۸۳	متوسط
بازوی راست	۰/۹۳۳	متوسط
انتهای رو به باد	۱/۳۷۳	کشیده
دامنه پشت به باد	۰/۹۷۳	متوسط
رأس دامنه رو به باد	۱/۱۰۵	متوسط
وسط دامنه رو به باد	۱/۲۵۱	کشیده

جدول ۱۶: میزان جورشدگی و کچ شدگی و کشیدگی رسوبات برخان‌ها

نمونه	کشیدگی	کچ شدگی	جورشدگی
برخان ۱	۰/۸۲۱	۰/۱۵۷	۰/۶۸۹
برخان ۲	۱/۳۷۳	۰/۰۰۷	۰/۵۷۲
برخان ۳	۱/۳۷۳	۰/۰۲۱	۰/۵۳۵
برخان ۴	۱/۸۸۵	۰/۱۳۲	۰/۷۰۳
برخان ۵	۱/۷۰۰	۰/۰۶۷	۰/۷۰۶
برخان ۶	۰/۹۶۱	۰/۳۷۵	۰/۸۷۱
برخان ۷	۱/۲۳۱	-۰/۰۸۱	۰/۶۹۲



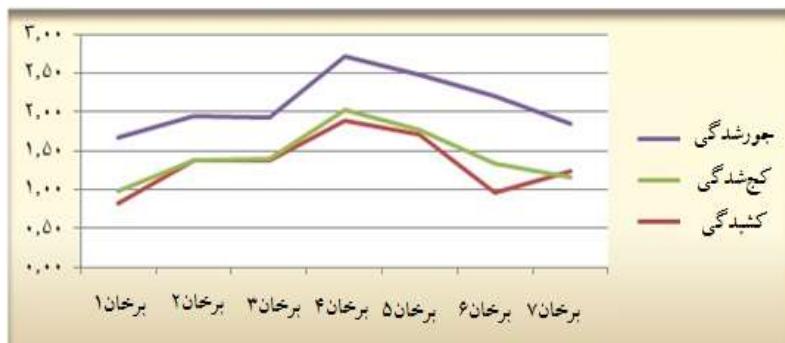
شکل ۱۲: میزان کچ شدگی رسوبات برخان‌ها



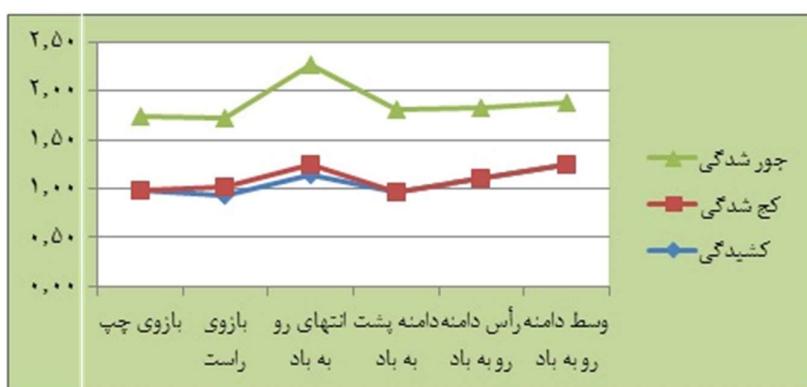
شکل ۱۳: میزان کچ شدگی میانگین رسوبات اجزای برخان‌ها

جدول ۱۷: میزان جورشدگی و کج شدگی میانگین رسوبات اجزای برخان‌ها

نمونه	کشیدگی	کج شدگی	جورشدگی
بازوی چپ	۰/۹۸۳	-۰/۰۳۱	۰/۷۵۳
بازوی راست	۰/۹۳۳	-۰/۰۹۱	۰/۷۰۵
انتهای رو به باد	۱/۳۷۳	۰/۰۲۱	۱/۰۲۰
دامنه پشت به باد	۰/۹۷۳	-۰/۰۴۷	۰/۸۴۴
رأس دامنه رو به باد	۱/۱۰۵	-۰/۰۵۱	۰/۷۲۰
وسط دامنه رو به باد	۱/۲۵۱	-۰/۱۲۴	۰/۶۲۹



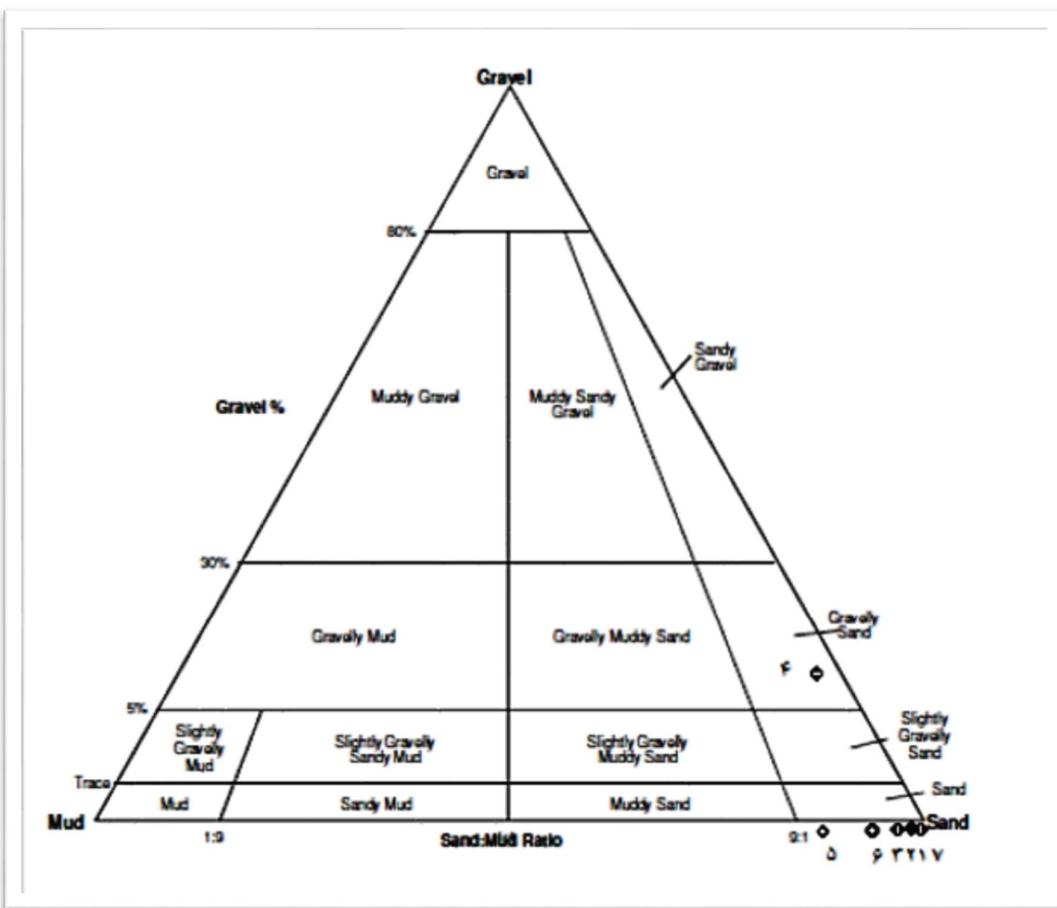
شکل ۱۴: میزان جورشدگی و کج شدگی رسوبات برخان‌ها



شکل ۱۵: میزان جورشدگی و کج شدگی میانگین رسوبات اجزای برخان‌ها

### ۸-۳- نام‌گذاری رسوبات براساس اندازه‌ی دانه‌ها

با تعیین درصد ذرات با قطرهای مختلف، می‌توان رسوپ را نام‌گذاری کرد. یکی از روش‌های متداول برای نام‌گذاری رسوبات، روش فولک (1954) است که در این زمینه دو مثلث وجود دارد (Mousavi Harami, 1998). با توجه به نتایج حاصل شده از آنالیزهای آزمایشگاهی و نرم‌افزار Gradistat، بافت رسوبات به صورت زیر مشخص شد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: اندازه‌ی دانه‌ی رسوبات به روش فولک

همان طور که در شکل شماره‌ی ۱۶ آمده است؛ برخان اول دارای  $98/6$  درصد ماسه،  $1/4$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ی متوسط با جورشدگی نسبتاً خوب است. برخان دوم دارای  $99/2$  درصد ماسه،  $0/8$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ریز با جورشدگی نسبتاً خوب است. برخان سوم دارای  $98/6$  درصد ماسه،  $1/4$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ریز با جورشدگی نسبتاً خوب است. برخان چهارم دارای  $91/2$  درصد ماسه،  $8/8$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ریز با جورشدگی مناسب است. برخان پنجم دارای  $93/5$  درصد ماسه،  $6/5$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ریز با جورشدگی مناسب است. برخان ششم دارای  $95/3$  درصد ماسه،  $4/7$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ریز با جورشدگی مناسب است. برخان هفتم دارای  $99/2$  درصد ماسه،  $0/8$  درصد گل و صفر درصد گراول؛ بافت رسوب، ماسه و نام رسوب، ماسه‌ریز با جورشدگی نسبتاً خوب است.

همان گونه که مشاهده می‌شود، همه‌ی برخان‌ها بالای  $90$  درصد ماسه دارند، بافت همگی آنها از ماسه است و دارای جورشدگی مناسبی هستند، ولی برخان ۴ با اینکه بافت آن ماسه است، نسبت به برخان‌های دیگر، میزان بیشتری گل

(۸/۸ درصد) دارد که دلیل آن، قرار گرفتن این برخان در معرض رودخانه‌های فصلی منطقه و رسوبات ریزدانه است. پس در دسترس بودن این رسوبات برای برخان چهارم و به نسبت کمتر برای برخان پنجم، باعث شده‌است که میزان گل و رسوبات ریزدانه در این برخان‌ها بیش از سایر برخان‌ها باشد.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا با بررسی و تحلیل آماری قطر رسوپ در اجزای برخان‌های غرب بیابان لوت و برداشت ۴۲ نمونه از ۷ برخان در منطقه‌ی پشوئیه‌ی کرمان، به بررسی شاخص‌های گرانولومتری آنها همچون میانگین، انحراف معیار، کشیدگی، چولگی و ... پرداخته شود تا نتایج تازه‌ای در زمینه‌ی برخان‌ها حاصل شود؛ از جمله اینکه نوع رسوبات برخان‌های منطقه چیست و منشأ آنها بادی است یا آبی؟ در این راست، کارهای آزمایشگاهی و آماری نشان داد که بیشترین درصد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده‌ی برخان‌ها، ماسه است که میانگین  $6/5$  درصدی آن مؤید این مطلب است. در این بین، برخان‌های شماره‌ی ۲ و ۷ بیشترین میزان ماسه را در بردارد. به جز برخان شماره‌ی ۶، سایر برخان‌ها نیز دارای جورشدگی نسبتاً بالا هستند که این امر اندازه‌ی تقریباً یکسان رسوبات و جورشدگی مناسب آنها را نشان می‌دهد. برخان شماره ۶ نیز با اندکی تفاوت، دارای جورشدگی متوسط است. با توجه به اینکه بافت رسوبات برخان‌ها غالباً ماسه‌ای و ریزدانه هستند، کچشیدگی مثبتی به سمت ذرات ریزدانه دارند یا اینکه متقارن هستند. رسوبات در برخان شماره‌ی ۷، کچشیدگی منفی دارد، ولی درنهایت، کچشیدگی آن نیز تقریباً نزدیک متقارن است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر رسوپ برخان‌های مورد بررسی، ناشی از سیلان‌ها است. اغلب این برخان‌ها، در انتهای مخروط‌افکنه‌ها شکل گرفته‌اند و دارای کچشیدگی مثبت به سمت ذرات دانه‌ریز یا متقارن هستند.

تقریباً تمام ۷ برخان مورد مطالعه، دارای یک مد است که تکمنشأ بودن آنها را نشان می‌دهد. همان گونه که در محاسبه‌ی ضریب کرومباين نیز مشاهده می‌شود، منشأ این رسوبات رودخانه‌ای محاسبه شده‌است.

این ضریب در برخان اول  $53/0$  و در برخان ششم  $61/0$  و در برخان هفتم  $4/0$  است که ضریب کرومباين در این سه برخان، نشان می‌دهد این رسوبات از نوع رودخانه‌ای است.

در مورد اجزای برخان‌ها نیز ضرایب کرومباين، به خوبی رودخانه‌ای بودن اجزای برخان‌ها را نشان می‌دهد. فقط نمونه‌ی وسط رو به باد کمی متفاوت است که آن هم تقریباً رودخانه‌ای است.

از برایند کارهای آزمایشگاهی و نتایج آماری، تفاوت در رسوبات برخان‌های بروزی شده، مشهود است. بررسی‌های آماری نشان داد که رسوبات توسط جریان‌های سطحی آب حمل شده، سپس توسط باد جابجا شده‌اند. برای تأیید نتایج این آزمایشات، مورفوسکوپی تعدادی از نمونه‌ها انجام شد که نتایج حاصل شده، همان نتایج آزمایش‌ها و برآورد آماری را منعکس کرد؛ از این رو، با بررسی‌های میدانی و از روی داده‌های تصویری و نقشه‌ها مشخص شد که تمام برخان‌های بررسی‌شده، در منتهی‌الیه مخروط‌افکنه‌ها قرار گرفته‌اند، یا از بستر مسیلهای در حرکتند که این امر، دلیل وجود رسوبات آبی در برخان‌ها را تأیید می‌کند.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، میزان گل در برخان‌های ۴ و ۵ بیش از برخان‌های دیگر بود و دلیل اول آن، وجود سله‌های ناشی از سیلان‌ها و رسوبات ریزدانه‌ی آنها است که به افزایش مواد ریزدانه‌تر در این برخان‌ها منجر شده‌است. دلیل دوم اینکه، این برخان‌ها در مسیر یا پشت سر کلوتک‌ها قرار گرفته‌اند که جنس آنها

عموماً ریزدانه است. رسوباتی که از این مسیر حرکت می‌کنند، موجب سایش کلوتک‌ها شده‌است و مواد لازم را برای برخان‌های مورد نظر فراهم می‌کند.

نتایج آماری نشان می‌دهد که برخان شماره‌ی ۱ و ۶ از همه ریزدانه‌تر هستند. برخان شماره‌ی ۶ از نظر اندازه از همه‌ی برخان‌ها کوچک‌تر است و دلیل آن، منشعب شدن این برخان از برخان نامتقارن پشت سر خود است. اما برخان شماره‌ی ۱ که حجم و بزرگی قابل توجهی دارد، ریزدانه بودن مواد آن نسبت به سایر برخان‌ها به سبب وجود روسایی پشوئیه در غرب این برخان است. خود بافت روسایی و روساییان، باعث هدایت سیلاب‌ها به سمت مزارع شده‌اند. علاوه‌بر آن، وجود خشک‌رود منطقه – که مواد رسوبی ناشی از سیلاب را به سمت بیابان لوت هدایت می‌کند – باعث شده‌است که مواد ریزدانه، به راحتی در اختیار این برخان قرار گیرد.

بیشترین میانگین سایز رسوبات برخان‌ها مربوط به برخان شماره‌ی ۳ با ۲/۵۰۲ فی است. بر اساس اندازه‌گیری و نتایج آماری، برخان شماره‌ی ۳ درشت‌دانه‌تر از سایر برخان‌ها است که این امر از قرار گرفتن برخان در معرض مخروط افکنه نشأت می‌گیرد. همان گونه که می‌دانیم، در مخروط افکنه‌ها مواد درشت‌دانه در رأس قرار می‌گیرند و هر چه به قاعده‌ی مخروط افکنه نزدیکتر شویم، مواد رسوبی ریزدانه‌تر می‌شوند. با مشاهده‌ی شکل ۶، برخان شماره‌ی ۳ را نسبت به سایر برخان‌ها به ارتفاعات نزدیک‌تر می‌بینیم؛ از این رو این برخان، از مسیر مواد درشت‌دانه‌تر مخروط افکنه در حرکت است.

برخان شماره‌ی ۲ و ۷، بیشترین میزان ماسه را به خود اختصاص داده‌اند که دلیل آن به خوبی در منطقه مشاهده می‌شود؛ در پشت برخان ۲، اراضی سخت‌زده و رها شده در اطراف روسایی قرار دارد که یک نمونه از آن در شکل شماره‌ی ۶ به صورت برجسته نشان داده شده است. این اراضی که قشر سخت سنگفرش بیابان را تغیریت کرده و رها شده‌اند، منبع بسیار خوبی از ماسه را در دسترس باد در منطقه – که جهت آن هم از شمال غرب است – قرار داده‌اند. این وضعیت برای برخان‌های دیگر وجود ندارد. مشاهده‌ی شکل شماره‌ی ۵ به خوبی نشان می‌دهد که برخان شماره‌ی ۷، علاوه‌بر قرار گرفتن در ادامه‌ی برخانی نامتقارن و بزرگ، در مسیر خشک‌رودهایی ناشی از مخروط افکنه وسیعی قرار دارد که این مسیر، رسوبات ماسه‌ای فراوانی را برای این برخان فراهم می‌کند.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر برخان‌های مورد بررسی، در محیطی با رسوب ریزدانه شکل گرفته‌اند و کج‌شدگی مثبت یا متقاضی دارند. همان گونه که نتایج بررسی‌ها از جمله ضریب کرومباین نیز نشان داد، رسوبات برخان‌ها بیشتر منشأ رودخانه‌ای دارند و چون در انتهای مخروط افکنه‌ها واقع شده، اغلب ریزدانه‌اند و قادر آشفتگی هستند؛ بدین معنا که باد غالب منطقه، بیش از یک جهت (شمال غرب) در جریان است.

در بیشتر پژوهش‌هایی که درباره‌ی تپه‌های ماسه‌ای صورت گرفته – همان گونه که در پیشینه هم مشخص است – یا فقط به بررسی انواع تپه‌ها از جمله تپه‌های برخانی پرداخته‌اند، یا به مورفومتری و گرانولومتری آنها بسته شده‌است. اکثر این مطالعات، منشأ رسوب بیشتر تپه‌های بیابانی را فقط بادی می‌دانند؛ به عنوان نمونه Zaady و همکاران (2008) با استفاده از روش‌های گرانولومتری و میکرومورفولوژی، به مطالعه‌ی ماسه‌ها در دشت یامین واقع در قسمت شرقی بیابان نقیب اسرائیل پرداختند و از پارامترهای مختلفی از قبیل شکل، اندازه‌ی ذرات و مقدار کشیدگی ذرات ماسه استفاده کردند و با استفاده از روش‌های توزیع آماری در تحلیل داده‌ها، به بررسی دقیق تفاوت‌های گرانولومتری شکل برخان

پرداختند که بین اندازه‌ی ذرات برخان و فرایندهای بادی تفاوت معناداری نشان می‌داد. در واقع تحقیقاتی از این دست، اصل را بر بادی بودن ذرات تشکیل دهنده‌ی برخان‌ها گذاشت و به مطالعه‌ی آنها پرداخته‌اند. در پژوهشی دیگر، Maghsudi و همکاران (2010)، ارتباط بین پارامترهای مؤثر در شکل برخان را با توجه به ویژگی‌های گرانولومتری و مورفومنتری آنها در منطقه‌ی مرنجاب بررسی کردند و Lorestani و همکاران (2011) نیز با بررسی مورفومنتری ۳۰ برخان در بند ریگ کاشان، در دو مرحله‌ی زمانی و با استفاده از تکنیک گرانولومتری و دانه سنجی ذرات ماسه، طبقه-بندی و فراوانی آنها را تجزیه و تحلیل کردند. این نمونه از پژوهش‌ها نیز فقط به گرانولومتری ذرات پرداخته و به تحلیل‌های آماری آنها بسته کرده‌اند.

ولی در این پژوهش سعی شد علاوه بر اینکه به بررسی‌های مورفومنتری و گرانولومتری برخان‌ها پرداخته شود، مسئله‌ی بادی بودن رسوبات این نوع از تپه‌ها نیز نادیده گرفته تا نتایج جدیدی حاصل شود که پس از اتمام کارهای آزمایشگاهی و نرم‌افزاری، به نتایج جالب و متفاوتی نسبت به آنچه اغلب در مورد تپه‌های ماسه‌ای بیابانی و نوع دانه-بندی و منشأ دانه‌ها تصور می‌شود، دست یافتیم و آن اینکه در منطقه‌ی مورد مطالعه، برخان‌ها به هیچ وجه منشأ بادی ندارند، بلکه منشأ آنها آبی و رودخانه‌ای است. این نتیجه پیش از پژوهش در آن منطقه‌ی بیابانی، بسیار تصویرناپذیر به نظر می‌رسید و دست یابی بدان نیز حاصل بررسی‌های جزئی و دقیق بر این نوع از تپه‌های ماسه‌ای در منطقه‌ی مورد نظر بود.

## ۵- سپاس‌گزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی شماره‌ی ۲۲۰/۸۰۵ به کارفرمایی سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری است. بدین وسیله از سازمان مذکور و تمامی کسانی که در اجرای این پژوهه همکاری داشته‌اند، تقدیر و تشکر می‌شود.

## منابع

1. Ahmadi, H., 1998. Applied Geomorphology. Tehran. University of Tehran Publication. Volume II: Desert - Wind Erosion. 425p. (in Persian)
2. Bagnold, R. A., 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen, London, 256 p.
3. Bagnold, R. A., 1937. The size-grading of sand by wind. Proceeding of the Royal Society of London, *The Royal Society, London*, 163, 250-64.
4. Bagnold, R. A., & O. E. Barndorff-Nielsen., 1980. The pattern of natural size distributions. *Sedimentology*. 27, 199–207.
5. Feyz Nia, S., 2008. Applied Sedimentology, Tehran, Forouzesh Publication, 116p. (in Persian)
6. Folk, R. L., 1971. Longitudinal dunes of the Northwestern edge of the Simpson Desert, Northern Territory, Australia, 1. *Geomorphology and grain size relationships, Sedimentology*, 16, 4–54.
7. Guang, h., 2004. A quantitative analysis on the sources of dune sand in the Hulun Buir Sandy Land: application of stepwise discriminant analysis (SDA) to the granulometric data, *Journal of Geographical Sciences*, 14(2), 177-186.
8. Hersen, P., 2004. On the crescentic shape of barchan dunes, *The European Physical Journal B*, 37, 507–514.

9. Lancaster, N., 1989. The Namib Sand Sea: Dune Forms, Processes, and Sediments. A.A. Balkema, Rotterdam pp. 433-444.
10. Lancaster, N., 1995. Geomorphology of Desert Dunes. Routledge, London. pp.505–515.
11. Livingstone, I ., 1987. Grain size variation on a complex linear dune in Namib Desert. In: 1017–1022.
12. Lorestani, Gh.; Shahriyar, E.; & M. Maghsoudi, 2011. The effect of distribution of diameter and abundance of sand particles on the deformation of the main components of barkhan dunes, Case study of Maranjab Barkhan dunes, *Geography & Development*, 25, 196-179. (in Persian)
13. Mc Laren, P., 1981. An interpretation of trends in grain size measures, *J. Sediment. Petrol*, 51 (2) , 611–624.
14. Mahmoudi, F., 2003. Climate geomorphology, Tehran, Payam Noor University Publication, Third edition, 91p. (in Persian)
15. Maghsoudi, M.; Lorestani ,G.; Shahriar ,A.; & A. Hosainzadeh, 2010. Relationships between Effective Parameters in Barchans' Shape (Case Study: South-West of Maranjab), *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 8 (3), 245-252.
16. Maghsoudi, M.; Negahban, S.; & S. Bagheri, 2011. Analysis of the hazards of running sand on the settlements in west Lut Plain (Case study: Hojjat Abad village – East Shahdad), *Geography & Environmental Hazards*, First edition, P. 43. (in Persian)
17. Maghsoudi, M.; Yamani, M.; Mashhadi, N.; Taghizadeh, M.; & S. Zahab Nazour, Sources of Nuq Citadel Wind Sands using wind & morphometric analysis, *Geography & Environmental Planning*, 22 cycle. No, 3 consecutive 43, 1-16. (in Persian)
18. Mousavi Harami, R., 1998. Sedimentology. Astan Qods Razavi Publication, Mashhad. P. 96. (in Persian)
19. Sauermann, G.; Andrade, J. S.; Maia, L. P.; Costa, U. M. S.; Araujo, A. D.; & H. J Herrmann, 2003. Wind velocity and sand transport on a barchan dune, *Geomorphology*, 54, 245 – 255.
20. Thomas, D. S. G., 1988. Analysis of linear dune sediment-form relationships in the Kalahari Dune Desert, *Earth Surface Processes and Landforms*, 13, 545-553.
21. Tsoar, H., 1986. Two-dimensional analysis of dune profiles and the effect of grain size on sand dune morphology, In: El-Baz, F,pp. 94-108.
22. Wasson, R. J., 1983. Dune sediment types, sand color, sediment provenance and hydrology in the Strzelecki–Simpson dunefield, Australia. In: Brookfield, M.E, Ahlbrandt, T.S. (Eds.), *Eolian Sediments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, pp.165–195.
23. Zaady, E., 2008. A comprehensive method for aeolian particle granulometry and micromorphology analyses, pp.169-175.
24. Zhang, D.; Yang, X.; Rozier, O.; & C. Narteau, 2014. Mean sediment residence time in barchan dunes J, *Geophys. Res. Earth Surf*, 119, 463-451.

# Statistical Analysis of Sediment Diameter of West Lut Desert Barchan and the Study of their Type and Origin

Mehran Maghsoudi<sup>1</sup>: Associate professor in Geomorphology, Tehran University

Sedigheh Mahboubi: Ph.D Student in Geomorphology, Tehran University

Mahdi Baharvand: Ph.D Student in Geomorphology, Tehran University

Zahra khanbabaei: Ph.D Student in Geomorphology, Tehran University

Abotaleb Mohammadi: Ph.D Student in Geomorphology, Tehran University

Article History (Received: 2017/1/1)

Accepted: 2017/02/07

## Extended abstract

### 1- Introduction

Granulometric analysis is a common tool used to understand and determine the origin of wind sands, and is applied in desertification studies; to realize such knowledge, the parameters of sand particles size as well as statistical analysis such as mean, standard deviation, kurtosis, skewness, etc. are used. One of the most common types of sand dunes formed by accumulation of sand in desert areas is crescent-shape dune known as Barchan. The most prominent features of such dunes are mobility and lateral movements which transform them into the heart of crisis and threat to the urban and rural residential areas as well as economic, army and communication centers. Barchans are produced in the lands where the sand fails to fully cover the surface area and the wind action is predominant from one direction. The main location of Barchan dunes is between the original wind source and the main dune concentration areas. They are crescent-shape, and possess two "horns" that face downwind and two gentle and sleeper slopes. There is a ridge in between the two slopes. Barchans are produced by the moving sands, appearing convex, and wind action predominately from one direction, and might gradually migrate. The most prominent features of this phenomenon are mobility and lateral movements with specific annual trends.

### 3- Methodology

The research have investigated the granulometric characteristics of 7 barchans in Pashuiyeh, western Lut. Up to 42 samples have been taken from different parts of the dunes. These parts are right horn, left horn, lee slope, two samples from windward slope, and the crest. From each sample, 100 g of sediments have been separately sieved by the shaker, and then weighed, and the measurements have been transferred into GRADISTAT to analyze the data. In this step, various coefficients and granulometric components of the grains, such as K2f coefficient (chromobin sorting index), percentage of component particle size, uniformity or alignment, middle, faces, mean particle size, bending and stretching of particles using statistical relationships of Folk and Ward (1957) were applied.

### 4- Results

The greatest mean size belongs to Barchan number 3 ( $2.502 \varphi$ ). This is because the dunes are located in alluvial fans. The greatest proportion of particle size refers to sand particles. All dunes have good sorting and due to fine grained particles they have also a symmetrical

<sup>1</sup> Corresponding Author: maghsoud@ut.ac.ir

skewness. All Barchans, from the origin point of view are single-origin with a relatively good particle size and the type of texture in all is sand. The components of Barchans are all single-origin (Single-origin grain stipulates that the sediment, the water, or the wind were single-origin). Flooding from the mountains of the west to the Yardang creates streams in the region with fine-grained sediments which form a part of the sedimentation of the Barchans. For this reason, the chromaticity coefficient is based on the river sediments. The statistical results indicate that Barchans number 1 and 6 are more of a microfiber. Barchan number 6 is smaller than all the others which might be attributed to the fact that it can be split from asymmetrical Barchan behind it. Barchans numbers 2 and 7 contain the highest amount of sand. The reason of this very fact in Barchan 2 might be attributed to the tilled and abandoned farmlands around the village. These lands, which have destroyed the hard surface of the desert and are abandoned, provide a very good source of sand accessible for regional wind, traveling from the northwest. Barchan number 7, in addition to being in line with an asymmetrical and large Barchan, is located in the dry path of the streams caused by a large conifer, which provides a lot of sandy sediments for this Barchan. The least amount of sand belongs to Barchans 4 and 5. These barchans are exposed to the dry, large rivers of the area, and therefore, it is provided with more fine-grained sand material, which confirms the presence of mud aggregates and fine-grains. The amount of mud in Barchans 4 and 5 was higher, first, due to the presence of floods stuck behind these Barchans with fine-grained sediments, leading to an increase in finer materials in these Barchans, and second, due to the fact that these Barchans are on the track or behind the clovers, which are generally fine-grained.

#### 4- Discussion and Conclusions

According to the results, including crumbin coefficient, despite common perceptions of the origin of Barchan sediments, the sediments of under-study Barchans were mostly water and river sediments and due to their location by the end of the alluvial fans, they are mostly fine-grained and mobile. In most of the studies of sand dunes, as it is already known in the background, either types of sand dunes including Barchans is studied in terms of their morphometric and granulometric measurements. Most of these studies consider the source of these desert sand dunes as wind sediments. However, in this research, in addition to the morphometric and granulometric studies of Barchans, the wind sediment element in these dunes was ignored to achieve new results; upon the completion of laboratory and software processes, interesting results were gained which were different from what is attained concerning desert dunes and particle size and grain origins. These results indicate that in the study area, the Barchans have no wind origin but are the results of water and stream sediments. This result, prior to this study, in the desert area of study was unperceivable and the result is achieved through in-depth studies and scrutiny over these sand dunes within the area.

**Key Words:** Barchans, Granulometry, Morphology, Pashuiyeh, Rig-e-Lut