



برآورد کمی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تصویربرداری با پهپاد در منطقه فراخشک سیستان



سعید پورمرتضی^۱، حمید غلامی^{۲*}، علیرضا راشکی^۳، نواز الله مرادی^۴

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

دشت سیستان با داشتن اقلیم فراخشک تبخیر و تعرق بالا بارندگی کم و وزش بادهای ۱۲۰ روزه زمینه لازم جهت فرسایش و رسوبات بادی را فراهم کرده است با توجه به شاخص بودن تپه‌های ماسه‌ای در منطقه ضرورت کمی سازی تپه‌ها جهت به دست آوردن حجم و مساحت سه‌بعدی که بستر ساز برنامه‌ریزی پروژه‌ای و مدیریت کنترل رسوبات است از اهداف این پژوهش است.

پس از شناسایی و تصویربرداری با پهپاد منطقه مطالعاتی مدل ارتفاعی رقومی با وضوح ۴ سانتی‌متر و تصویر آرتوفتوموزاییک با وضوح ۱ سانتی‌متر به منظور استخراج اطلاعات کمی تپه‌ها تهیه گردید با کمک تصویر آرتوفتوموزاییک و مدل ارتفاعی رقومی محدوده تپه‌ها مشخص و حجم‌ها و مساحت سه‌بعدی به دست آمد جهت بررسی بیشتر اجزای تپه (بادخیز و بادپناه) در بررسی متقابل مدل ارتفاعی رقومی با درصد شیب، درصد زبری و جهت شیب نشان داد که در بادخیز و بادپناه بیشترین میانگین رسوب در شیب ۷۰-۱۰۰ درصد وجود دارد بیشترین میانگین رسوب در بادخیز در زبری ۰-۲۰ درصد و بیشترین در بادپناه در زبری ۷۰-۱۰۰ درصد وجود دارد در بررسی جهت شیب مشخص شد که بیشترین میانگین رسوب در بادخیز در جهت شمال‌شرقی و در بادپناه در جهت شرقی است.

زمینه و هدف:

دشت سیستان با داشتن اقلیم فراخشک تبخیر و تعرق بالا بارندگی کم و وزش بادهای ۱۲۰ روزه زمینه لازم جهت فرسایش و رسوبات بادی را فراهم کرده است با توجه به شاخص بودن تپه‌های ماسه‌ای در منطقه ضرورت کمی سازی تپه‌ها جهت به دست آوردن حجم و

سعید پورمرتضی^۱، حمید غلامی^{۲*} (✉)، علیرضا راشکی^۳، نواز الله مرادی^۴

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده

کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

هرمزگان، هرمزگان، ایران

۳. دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و

محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۴. استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

هرمزگان، هرمزگان، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.691225

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: hadesert64@gmail.com

بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش اندازه‌گیری کمی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه سیستان در واحد تپه و اجزای آن بادخیز و بادپناه صورت گرفت مدل ارتفاعی رقمی ۴ سانتی‌متری با وضوح بالا به ما امکان احتساب حجم و مساحت سه‌بعدی، ارتفاع رسوب، درصد زبری، درصد شیب، و جهت شیب را داد. نتایج ما در این پژوهش ۴ بخش داشت.

در بخش اندازه‌گیری کمی تپه‌ها تاکنون در پژوهش‌هایی که توسط محققین (۴) با تصاویر ماهواره‌ای بر روی مساحت تپه‌های ماسه‌ای انجام گرفته است در واقع سطح تپه‌های ماسه‌ای در ابعاد وسیع مطالعه گردیده است نتایج در مطالعه (۲۱) نشان داد که امکان تفکیک مکانی در محدوده تپه و اجزای آن با تصاویر ماهواره‌ای وجود ندارد ولی در این مطالعه با استفاده از پهپاد اندازه‌گیری کمی تپه‌ها انجام شد و با توجه به اینکه تپه‌های ماسه‌ای با داشتن شکل هندسی و ابعاد مختلف امکان اندازه‌گیری دقیق آنها توسط ابزارهای متداول که تاکنون استفاده شده است وجود ندارد و اندازه سطح مقطع سه‌بعدی تپه‌ها با داشتن ابعاد انحنای و زوایای مختلفی که دارند همواره از یک سطح صاف و هموار بیشتر است ولی با استفاده از پهپاد می‌توان این ابعاد را به خوبی مشخص و حجم‌ها و مساحت‌های سه‌بعدی را به دست آورد؛ و دانستن این مهم در برنامه‌ریزی پروژه‌های منابع طبیعی بسیار مهم است با توجه به هزینه بالای تهیه و اجرا و پاشش مالچ‌های تثبیت‌کننده خاک که بر اساس مساحت احتساب می‌گردد با تعیین درست سطح می‌توان برنامه‌ریزی مناسب جهت پاشش به‌اندازه مالچ‌ها نمود همچنین دانستن حجم‌های سه‌بعدی تپه‌ها و وزن آنها در پروژه‌های آب‌و‌خاک کاربرد زیادی دارد و یکی از معضلات اصلی در پروژه‌های تسطیح اراضی احتساب دقیق حجم و وزن تپه‌های ماسه‌ای هست که در این پژوهش وزن تپه‌ها با استفاده از حجم سه‌بعدی و وزن مخصوص ظاهری به دست آمد.

در بخش شیب و زبری تپه‌ها محققین در بررسی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تونل باد دریافتند که با افزایش مقدار ماسه و شیب جریان باد در آن مناطق بیشتر می‌شود و همچنین مشخص شد که زبری در تپه‌های ماسه‌ای باعث افزایش مقدار ماسه می‌گردد (۶). در مطالعه‌ای دیگر با افزایش سرعت باد سبب حمل و نقل و تجمع ماسه شد که با افزایش مقدار ارتفاع و شیب تپه‌های ماسه‌ای همراه بود و همچنین با تجمع ماسه زبری در تپه‌های ماسه‌ای بیشتر شد (۲۴) در این مطالعه نتیجه افزایش ماسه با افزایش شیب، با نتایج محققین دیگر مطابقت

مساحت سه‌بعدی که بستر ساز برنامه‌ریزی پروژه‌ای و مدیریت کنترل رسوبات است از اهداف این پژوهش است. پس از شناسایی و تصویربرداری با پهپاد منطقه مطالعاتی مدل ارتفاعی رقمی با وضوح ۴ سانتی‌متر و تصویر آرتوفتوموزاییک با وضوح ۱ سانتی‌متر به منظور استخراج اطلاعات کمی تپه‌ها تهیه گردید با کمک تصویر آرتوفتوموزاییک و مدل ارتفاعی رقمی محدوده تپه‌ها مشخص و حجم‌ها و مساحت سه‌بعدی به دست آمد جهت بررسی بیشتر اجزای تپه (بادخیز و بادپناه) در بررسی متقابل مدل ارتفاعی رقمی با درصد شیب، درصد زبری و جهت شیب نشان داد که در بادخیز و بادپناه بیشترین میانگین رسوب در شیب ۷۰-۱۰۰ درصد وجود دارد بیشترین میانگین رسوب در بادخیز در زبری ۰-۲۰ درصد و بیشترین در بادپناه در زبری ۷۰-۱۰۰ درصد وجود دارد در بررسی جهت شیب مشخص شد که بیشترین میانگین رسوب در بادخیز در جهت شمال‌شرقی و در بادپناه در جهت شرقی است.

مواد و روش‌ها:

تصاویر منطقه مورد مطالعه با استفاده از پهپاد فانتوم ۴ پرو در ارتفاع پرواز ۶۰ متری در ۳۱ شهریور ۱۳۹۸ برداشت شد این نوع پهپاد که کوچک و سبک است امکان تهیه تصاویر با کیفیت بالا را دارد و استفاده از این نوع پهپاد برای کارهای فتوگرامتری بسیار رایج است تعدادی نقاط کنترل زمینی نیز به منظور ژئورفرنس کردن با برداشت توسط سیستم مکان‌یاب ماهواره‌ای سه فرکانسه استفاده گردید تولید مدل با استفاده از نرم‌افزار (Agi soft metashap) صورت گرفت و مدل ارتفاعی دیجیتال ۴ سانتی‌متری و آرتوفتوموزاییک ۱ سانتی‌متری تهیه شد با استفاده از نرم‌افزار (Arc Map) محدوده تپه‌ها و قسمت‌های تپه‌ها تفکیک گردید پس از مشخص شدن محدوده تپه‌ها حجم و مساحت سه بعدی حساب گردید برای به دست آوردن وزن تپه‌ها بعد از بدست آمدن وزن مخصوص ظاهری خاک به مقدار ۱/۶۳ در حجم تپه‌ها ضرب می‌شود پس از جداسازی قسمت‌های بادخیز و بادپناه در ۵ تپه قسمت‌های جدا شده بادخیز و بادپناه در دو گروه مجزا با نقشه‌های درصد شیب، درصد زبری و جهت شیب که طبقه بندی شده بودند سنجیده شدند تا اثر متقابل آنها بر مقدار رسوب مشخص گردد.

این تحقیق همخوانی ندارد از آنجاکه جهت وزش باد غالب از شمال غرب به جنوب شرق است، در بادخیز تپه‌ها در قسمت شمالی شروع دامنه است و در قسمت جنوبی بیشترین مقدار تجمع رسوبات را دارند و کمترین مقدار رسوب در شمال و شمال شرق و بیشترین مقدار رسوبات در جنوب و جنوب غرب بادخیز است بیشترین مساحت بادخیز نیز در جهت شمال شرقی در بادخیز است در قسمت بادپناه نیز اثر وزش باد شمال غربی سبب شده است که تجمع رسوبات در شرق بادپناه زیاد شود و بیشترین مساحت بادپناه نیز در جهت جنوبی و در قسمت میانی بادپناه که سطح وسیع‌تری را دارد شامل می‌شود.

نتیجه‌گیری:

زمینه و هدف: تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین رخساره‌های فرسایش بادی محسوب می‌شوند درک ما از فعل و انفعالات پیچیده تپه‌های ماسه‌ای اغلب به دلیل فقدان داده‌های مورفولوژیکی دقیق محدود می‌شود فرآیند فرسایش و رسوب بسیار اهمیت دارد و در حال حاضر کمبود داده‌های میدانی برای انجام پروژه‌های اجرایی، طرح‌های مطالعاتی و اعتبار سنجی مدل‌های فرسایش و رسوب وجود دارد. به‌تازگی پهنادهایی که از سالیان گذشته در کاربردهای نظامی و استراتژیک مورد استفاده قرار می‌گرفتند، امروزه در تحقیقات میدانی و علمی ابزاری جذاب شناخته می‌شوند و به‌عنوان یک نتیجه از پیشرفت‌های تکنولوژی سریع و کم‌هزینه از وسایل نقلیه بدون سرنشین است؛ که سطح بالایی از انعطاف‌پذیری عملیاتی را دارا هستند و قادر به استفاده در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی هستند.

کلمات کلیدی: تپه ماسه‌ای، پهناد، کمی‌سازی، دشت سیستان

دارد و مشخص شد که با افزایش شیب بین ۷۰-۱۰۰ درصد در قسمت بادخیز و بادپناه تپه‌های ماسه‌ای ارتفاع رسوب نیز زیاد شده است. اما با توجه به اینکه تپه‌های ماسه‌ای در مقیاس کوچک‌تر و در واحد بادخیز و بادپناه در این مطالعه بررسی شدند نتایج زبری با نتایج سایر محققین در قسمت بادخیز متفاوت بود و در قسمت بادپناه مطابقت داشت در واقع در بادخیز با حرکت امواج ماسه‌ای بر روی آن به سمت بالا از ناهمواری و زبری آنها کاسته می‌شود و بیشترین زبری در قسمت پایین دامنه بادخیز بود و کمترین زبری در قسمت بالای دامنه واقع می‌شود به همین علت بیشترین رسوب در بادخیز در زبری ۰-۲۰ درصد که در قسمت مرتفع بادخیز قرار می‌گیرد مشخص گردید. در قسمت بادپناه و با شروع ریزش امواج ماسه‌ای در قسمت بالای آن زبری نیز زیاد می‌شود و به همین علت بیشترین زبری در قسمت بالای بادپناه بین ۷۰-۱۰۰ درصد قرار می‌گیرد و هر چه این ریزش به سمت پایین بادپناه ادامه پیدا می‌کند از مقدار زبری نیز کاسته می‌شود.

در بخش چهارم این مطالعه محققین در بررسی جهت شیب تپه‌ها مشخص کردند که جهت شیب رو به شمال همواره دمای پایین‌تر و رطوبت بیشتری دارد و جهت شیب رو به جنوب به علت دمای بیشتر و رطوبت کمتر فرسایش‌پذیرتر است و حرکت ماسه در آنها بیشتر اتفاق می‌افتاد. (۵) در مطالعه‌ای دیگر بر روی اثر جهت شیب بر روی تثبیت تپه‌ها نشان دادند که در اثر حذف پوشش گیاهی در جهت شیب تپه‌ها در جهت شمالی و در جهت جنوبی تفاوت وجود دارد در جهت شمالی به دلیل رطوبت بیشتر امکان احیا وجود دارد ولی در جهت جنوبی به دلیل خشکی بیشتر امکان احیا بسیار کمی وجود دارد و به همین دلیل در این جهت فرسایش بیشتر می‌شود (۱۹). در این مطالعه با توجه به اقلیم منطقه و در نظر گرفتن جهت باد غالب که از شمال غرب به جنوب شرق است مشخص گردید که همواره در جهت شمال در تپه‌ها به علت دمای کمتر و رطوبت بیشتر دارای فرسایش کمتری نیست و نتایج محققین با نتیجه

مقدمه

بیابان‌ها یکی از اصلی‌ترین مناطق روی زمین هستند و حدود یک پنجم سطح زمین را شامل می‌شوند اراضی بیابانی همواره در حال گسترش هستند (۲۳) تپه‌های ماسه‌ای یکی از مناطق بیابانی ایران هستند و گستره قابل توجهی از مساحت بیابان‌های ایران را به خود اختصاص داده‌اند (۱) نتایج مطالعات در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در ایران نشان می‌دهد که تپه‌های ماسه‌ای تقریباً ۴/۶ میلیون هکتار مساحت را پوشش می‌دهد (۲) یکی از نشانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود تپه‌های ماسه‌ای است تپه‌های ماسه‌ای یک سیستم منحصربه‌فرد را تشکیل می‌دهند که متحرک یا ثابت هستند شاخص‌های متداول تحرک تپه‌های ماسه‌ای مربوط به باد و میزان بارندگی است (۲۲) شکل تپه‌های ماسه‌ای از اثر نیروی باد و ترکیب ماسه‌های در دسترس حاصل می‌شود (۸) مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در مناطق خشک عمدتاً توسط رژیم بادهای تک‌جهتی و چندجهتی، در دسترس بودن ماسه و توپوگرافی و موانع بستر آنها و وضعیت پوشش گیاهی بستگی دارد (۲۵) درک ما از فعل‌وانفعالات پیچیده بین جریان باد و حمل‌ونقل ماسه اغلب به دلیل فقدان داده‌های مورفولوژیکی دقیق محدود می‌شود (۱۲). مطالعات رخساره‌های فرسایش بادی و کنترل ماسه‌های روان نیاز به یک دانش متناسب دارد (۷) تفکیک تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از ابزارهای میدانی معمولاً دشوار است زیرا داده‌های پراکنده تولید می‌کنند (۲۳) درعین حال بررسی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور یکی از مهم‌ترین روش‌ها در طول چهار دهه گذشته بوده است (۱۰)؛ از دهه ۱۹۷۰ سنجش‌ازدور امکان بررسی سطح‌های وسیع تپه‌های ماسه‌ای را با هزینه‌های نسبتاً کم و با مشاهدات موقتی مداوم فراهم کرده است و نقش مهمی در درک چگونگی تکامل محیط‌های بادی ایفا می‌کند و دانش ما را در مورد سیستم‌های بادی به میزان زیادی ارتقا می‌دهد در زمینه سنجش‌ازدور پیشرفت‌ها در سه موضوع تحقیقاتی عبارت بوده‌اند از (۱) نقشه‌برداری وسیع از مناطق تپه‌ای؛ و تشخیص انواع تپه که موردتوجه ژئومورفولوژیست-

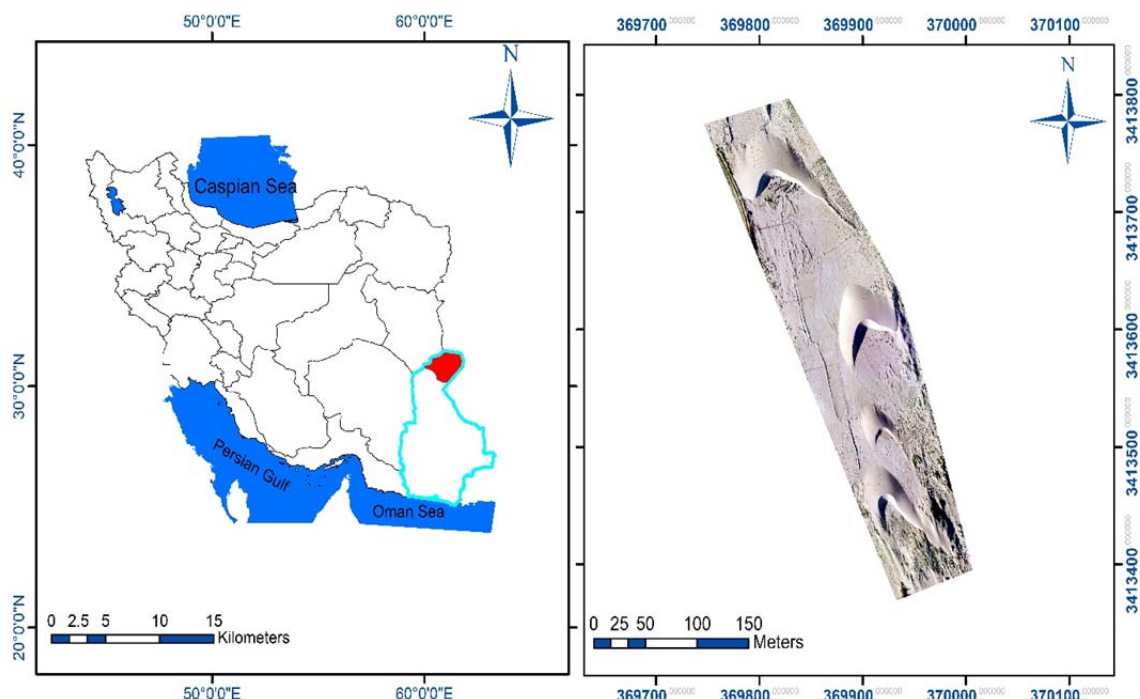
های فرسایش بادی بوده و پیشرفت‌های مستمری در اصلاح طرح‌های طبقه‌بندی و توسعه تکنیک‌های طبقه‌بندی صورت گرفته است (۲) کمی‌سازی الگوی تپه‌ها؛ که برای دست یافتن به این مهم وضوح تصویر و کیفیت داده‌ها ضروری بوده است (۳) نظارت بر دینامیک تپه‌ها؛ که معمولاً به‌صورت جابجایی تپه‌ها، فعل‌وانفعالات تپه‌ها و مورفودینامیک آنها نشان داده می‌شود. درحالی‌که جهت‌گیری‌های آینده سنجش‌ازدور تپه‌ها در چند حوزه کاری در حال برجسته شدن هستند یکسان کردن مدل‌های طبقه‌بندی در رابطه با مرفولوژی تپه‌ها، توسعه روش‌هایی که قادر به تشخیص اشکال متنوع تپه‌ها در گستره فضایی بزرگ هستند، طراحی مدل‌هایی با قوانین تطبیقی پیچیده‌تر برای تعیین جابجایی تپه‌ها، و بهبود تجزیه‌وتحلیل کمی تپه‌ها است (۲۶). و از این روش بر روی سطح گسترش تپه‌ها دینامیک و پویایی آنها استفاده کرده‌اند (۳) درک فرآیند فرسایش و رسوب بسیار اهمیت دارد و در حال حاضر کمبود داده‌های میدانی برای انجام پروژه‌های اجرایی، طرح‌های مطالعاتی و اعتبار سنجی مدل‌های فرسایش و رسوب وجود دارد. به‌تازگی پهپادهایی که از سالیان گذشته در کاربردهای نظامی و استراتژیک مورد استفاده قرار می‌گرفتند، امروزه در تحقیقات میدانی و علمی ابزاری جذاب شناخته می‌شوند و به‌عنوان یک نتیجه از پیشرفت‌های تکنولوژی سریع و کم‌هزینه از وسایل نقلیه بدون سرنشین هستند؛ که سطح بالایی از انعطاف‌پذیری عملیاتی را دارند و با عنایت به مجهز شدن به سیستم مکان‌یاب ماهواره‌ای و دوربین‌هایی با دقت و کیفیت بالا قادر به استفاده در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی هستند؛ که این حوزه تحقیقاتی بسیار بالقوه است زیرا پردازش این تصاویر جدید و گسترده است (۱۷) و محققین با استفاده از پهپاد اندازه‌گیری پوشش گیاهی تپه‌های ساحلی (۱۳) و تغییرات ژئومورفولوژیکی تپه‌ها (۹) مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای (۱۲) اندازه‌گیری تغییرات در تپه‌های ساحلی (۱۱) و عوامل مؤثر بر حرکت تپه‌ها (۱۶) را انجام داده‌اند مطالعه با استفاده از تصاویر پهپادی و تهیه توپوگرافی سه‌بعدی دقیق اغلب مبنایی را برای مطالعه تکامل بادی فراهم کرده

خشک با میانگین بارش سالیانه ۵۵ میلی‌متر که در زمستان رخ می‌دهد که مقدار تبخیر و تعرق بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال است (۱۴) این منطقه دشتی هموار با ارتفاع ۴۸۰ متری از سطح دریا است و یکی از فعال‌ترین کانون‌های بحرانی به دلیل بادهای ۱۲۰ روزه در ایران است (۱۸).

است. (۲۰) و تصاویر هوایی جایگزین مناسبی برای روش‌های اندازه‌گیری هست (۱۵) و هدف این مطالعه کمی سازی تپه‌ها و اجزای آنها است.

منطقه مورد مطالعه

سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان و جنوب شرقی ایران واقع شده است (شکل ۱). آب‌وهوای سیستان بسیار



شکل ۱. موقعیت سیستان در استان سیستان و بلوچستان و کشور ایران و تصویر آرتوفتوموزاییک منطقه مورد مطالعه

Fig1. Location of Sistan in Sistan and Baluchestan province and Iran and orthophoto mosaics image of the study area

مدل با استفاده از نرم‌افزار (Agi soft metashap) صورت گرفت و مدل ارتفاعی دیجیتال ۴ سانتی‌متری و آرتوفتوموزاییک ۱ سانتی‌متری تهیه شد با استفاده از نرم‌افزار (Arc Map) محدوده تپه‌ها و قسمت بادخیز و بادپناه تفکیک گردید پس از مشخص شدن محدوده تپه‌ها حجم و مساحت سه‌بعدی حساب گردید برای به دست آوردن وزن تپه‌ها بعد از به دست آمدن وزن مخصوص ظاهری خاک به مقدار ۱/۶۳ از حاصل ضرب آن با حجم تپه وزن تپه‌ها مشخص گردید پس از جداسازی قسمت‌های بادخیز و بادپناه در ۵ تپه قسمت‌های

عملیات تصویربرداری و پردازش

تصاویر منطقه مورد مطالعه با استفاده از پهپاد فانتوم ۴ پرو در ارتفاع پرواز ۶۰ متری در ۳۱ شهریور ۱۳۹۸ برداشت شد این نوع پهپاد که کوچک و سبک است با داشتن لرزش گیر و دوربین ۲۰ مگا پیکسلی و مکان‌یاب ماهواره‌ای امکان تهیه تصاویر با کیفیت و مختصات دار را دارد و استفاده از این نوع پهپاد برای کارهای فتوگرامتری بسیار رایج است تعدادی نقاط کنترل زمینی نیز به منظور ژئورفرنس کردن با برداشت توسط سیستم مکان‌یاب ماهواره‌ای سه فرکانسه استفاده گردید تولید

نتایج

پس از تفکیک و جداسازی تپه‌ها بر اساس جدول (۱) مساحت سه‌بعدی برحسب مترمربع و حجم برحسب مترمکعب به دست آمد و از حاصل ضرب مقدار کمی وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب سانتی‌مترمکعب و حجم تپه‌ها برحسب مترمکعب مقدار وزنی تپه‌ها بر حسب تن به دست آمد.

جدا شده بادخیز و بادپناه در دو گروه مجزا با نقشه‌های درصد شیب، درصد زبری و جهت شیب که طبقه‌بندی شده بودند سنجیده شدند تا اثر متقابل آنها بر مقدار رسوب مشخص گردد.

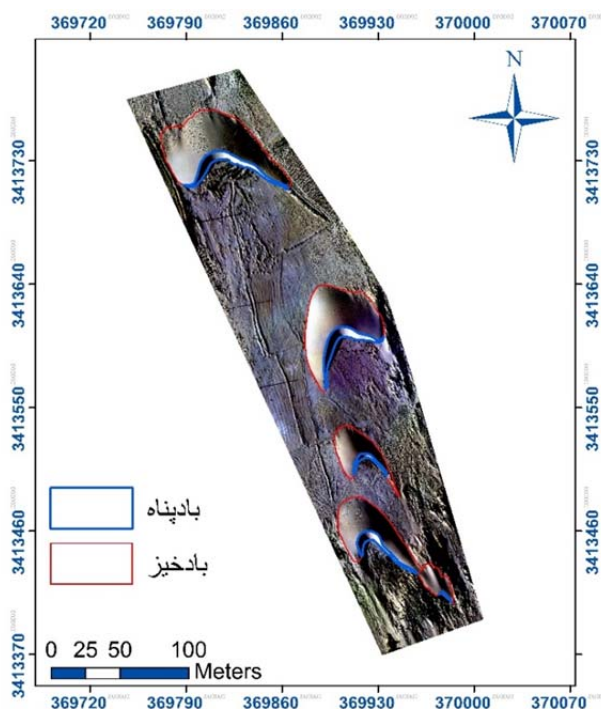
جدول ۱. نتایج حجم و مساحت سه‌بعدی و وزن هر تپه به تفکیک

Table 1. Results of 3-d volume and area and weight of each dune separately

تپه‌ها	مساحت سه‌بعدی (مترمربع)	حجم (مترمکعب)	وزن (تن)
تپه (A)	۱۹۱۳	۳۴/۶۵	۵۶/۴۷۹۵
تپه (B)	۱۸۳۵/۷	۳۱/۹۱	۵۲/۰۱۳۳
تپه (C)	۸۴۲/۱	۲۹/۵۵	۴۸/۱۶۶۵
تپه (D)	۱۴۱۱/۲۱	۴۰/۷۳	۶۶/۳۸۹۹
تپه (E)	۲۵۹۴/۰۴	۳۲/۰۳	۵۲/۲۰۸۹

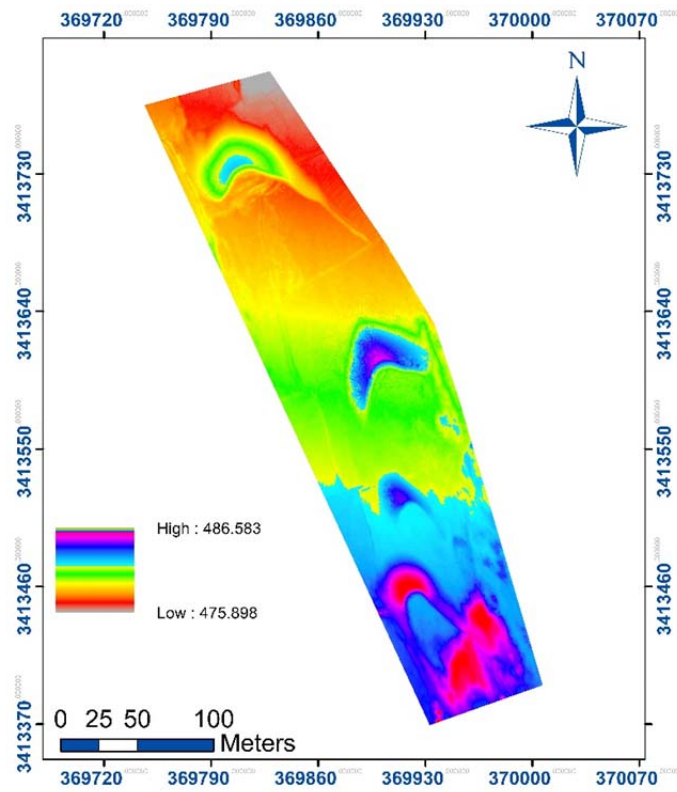
(شکل ۴) جهت شیب که به ۹ جهت طبقه‌بندی شده است و در (شکل ۵) و (شکل ۶) نقشه شیب و زبری که بر اساس درصد در ۷ گروه طبقه‌بندی شده نشان داده شده است.

در نقشه آرتوفتوموزاییک (شکل ۲) نحوه جداسازی قسمت‌های مختلف تپه (بادخیز و بادپناه) مشخص شده است در (شکل ۳) مدل ارتفاعی رقمی منطقه آورده شده است

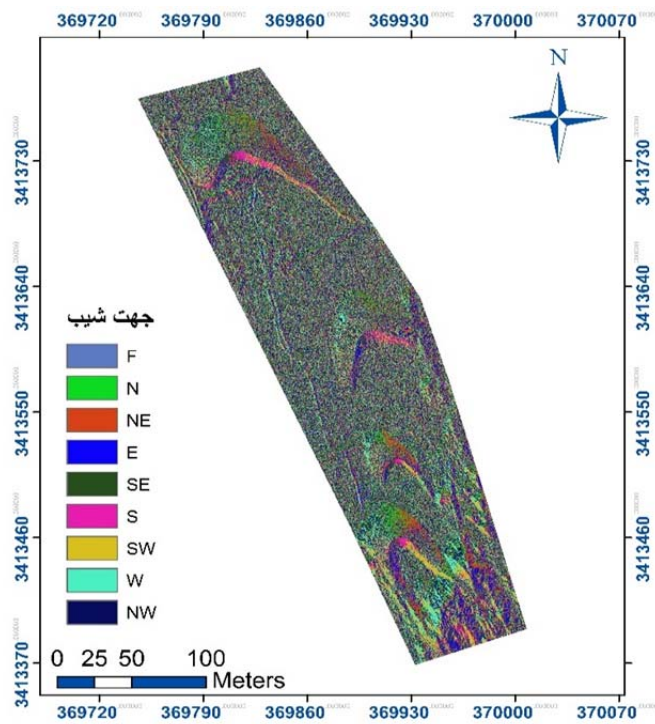


شکل ۲. نقشه آرتوفتوموزاییک و نحوه جداسازی تپه و قسمت باخیز و بادپناه

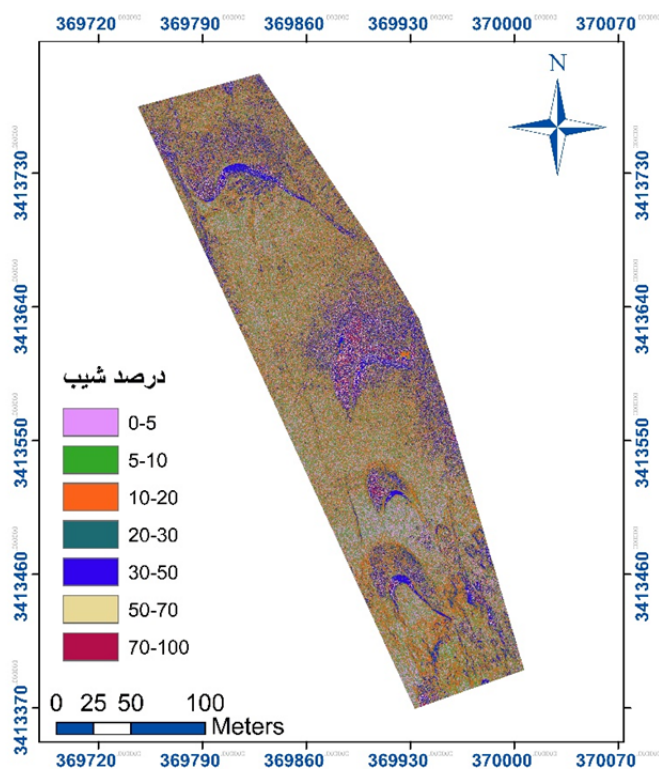
Fig2. Orthophoto mosaic map and how to separate the dune and the part wind ward and wind shelter



شکل ۳. مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه
Fig3. Digital elevation model of the study area

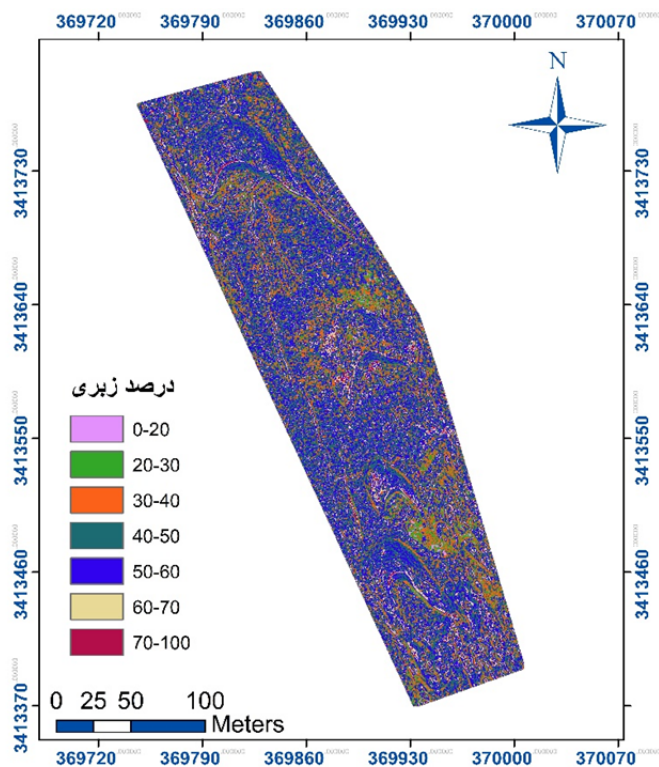


شکل ۴. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه
Fig4. Map of the aspect of the study area



شکل ۵. نقشه درصد شیب منطقه مورد مطالعه

Fig5. Map of the slope percentage of the study area



شکل ۶. نقشه درصد زبری منطقه مورد مطالعه

Fig6. Map of roughness percentage of the study area

در بررسی درصد زبری و ارتفاع رسوب بر اساس (شکل ۳)، (شکل ۶) و (جدول ۳) در قسمت بادخیز و بادپناه تپه مشخص گردید که بیشترین مساحت بادخیز در زبری ۴۰-۵۰ درصد بود و بیشترین رسوب در زبری ۰-۲۰ درصد هست و در قسمت بادپناه بیشترین مساحت در زبری ۴۰-۵۰ درصد بود و بیشترین رسوب نیز در زبری ۷۰-۱۰۰ درصد مشخص گردید.

در بررسی درصد شیب و ارتفاع رسوب بر اساس (شکل ۳)، (شکل ۵) و (جدول ۲) در قسمت بادخیز و بادپناه تپه مشخص گردید که بیشترین مساحت بادخیز در شیب ۱۰-۲۰ درصد بود و بیشترین رسوب در شیب ۷۰-۱۰۰ درصد هست و در قسمت بادپناه بیشترین مساحت در شیب ۳۰-۵۰ درصد بود و بیشترین رسوب نیز در شیب ۷۰-۱۰۰ درصد مشخص گردید.

جدول ۲. بررسی ارتفاع رسوب در درصد شیب طبقه‌بندی شده در اجزای تپه (بادخیز و بادپناه)

Table2. Investigation of sediment height as a percentage of slope classified in dune components (wind ward and wind shelter)

درصد شیب بادخیز	مساحت (مترمربع)	میانگین (متر)	درصد شیب بادپناه	مساحت (مترمربع)	میانگین ارتفاع رسوب (متر)
۵-۰	۵۷۹/۷۹۵۷	۵/۴۵۶۰۲۱	۵-۰	۱۵/۲۶۷۵۴	۴/۰۸۵۶۹
۱۰-۵	۱۰۵۹/۰۵۱	۵/۳۱۰۷۸۲	۱۰-۵	۳۵/۶۸۹۷۱	۴/۱۵۸۷۴۷
۲۰-۱۰	۲۰۴۴/۸۶۵	۵/۰۶۸۷۸۴	۲۰-۱۰	۱۱۲/۱۱۸۷	۴/۱۸۷۹۷۸
۳۰-۲۰	۱۴۹۹/۰۵۳	۴/۹۷۳۵۸۲	۳۰-۲۰	۱۸۷/۴۴۶۹	۴/۰۶۶۳۲۱
۵۰-۳۰	۱۲۴۳/۵۸۵	۵/۰۴۲۲۲۵	۵۰-۳۰	۴۳۳/۱۴۳۶	۴/۰۴۷۸۸۱
۷۰-۵۰	۴۶۷/۴۰۹۳	۵/۴۷۳۵۳۸	۷۰-۵۰	۱۳۲/۵۸۸۴	۴/۲۴۱۸۷۳
۱۰۰-۷۰	۲۵۳/۵۶۸۵	۵/۸۳۸۸۰۵	۱۰۰-۷۰	۳۸/۹۴۰۳۶	۴/۶۵۸۷۷۹

جدول ۳. بررسی ارتفاع رسوب در درصد زبری طبقه‌بندی شده در اجزای تپه (بادخیز و بادپناه)

Table3. Investigation of sediment height in the percentage of roughness classified in dune components (wind ward and wind shelter)

درصد زبری بادخیز	مساحت (مترمربع)	میانگین (متر)	درصد زبری بادپناه	مساحت (مترمربع)	میانگین (متر)
۲۰-۰	۱۰/۰۹۱۱	۶/۱۱۵۸۷۹	۲۰-۰	۱/۰۸۲۸۸۹	۵/۰۸۷۵۹۷
۳۰-۲۰	۱۵۲/۱۲۴۱	۵/۱۰۳۴۸۲	۳۰-۲۰	۱۹/۴۵۸۲۸	۴/۷۲۳۴۶
۴۰-۳۰	۸۷۴/۸۰۷۵	۵/۱۳۴۸۱۶	۴۰-۳۰	۹۱/۷۶۷۸۸	۳/۸۰۶۳۶۶
۵۰-۴۰	۲۷۸۶/۸۰۶	۴/۹۹۹۱۴۷	۵۰-۴۰	۳۷۵/۶۹۸۹	۳/۶۷۸۹۶
۶۰-۵۰	۲۵۵۳/۵۱۵	۵/۱۹۰۰۵۷	۶۰-۵۰	۳۱۵/۱۲۸۶	۴/۳۲۳۰۰۷
۷۰-۶۰	۶۳۶/۷۲۲۷	۵/۶۵۲۹۸۲	۷۰-۶۰	۱۱۸/۳۵۶۲	۴/۸۵۵۷۶۳
۱۰۰-۷۰	۱۳۳/۲۶۰۸	۶/۰۳۱۶۶۵	۱۰۰-۷۰	۳۳/۷۰۲۴۳	۵/۱۵۷۱۴۹

بیشترین رسوب در جهت جنوب هست و در قسمت بادپناه بیشترین مساحت در جهت جنوب بود و بیشترین رسوب نیز در جهت شرقی مشخص گردید.

در بررسی جهت شیب و ارتفاع رسوب بر اساس (شکل ۳)، (شکل ۴) و (جدول ۴) در بادخیز و بادپناه تپه مشخص گردید که بیشترین مساحت بادخیز در جهت شمال شرقی بود و

جدول ۴. بررسی ارتفاع رسوب در جهت شیب طبقه‌بندی شده در اجزای تپه (بادخیز و بادپناه)

Table 4. Investigation of sediment height in the aspect classified in the dune components (wind ward and wind shelter)

جهت شیب بادخیز	مساحت (مترمربع)	میانگین (متر)	جهت شیب بادپناه	مساحت (مترمربع)	میانگین (متر)
F	۱۰۷۲۹۷۲	۵/۰۲۵۰۵	F	۰/۰۱۵۸۶۷	۳/۵۲۵۹۰۶
N	۱۲۵۳/۳۵۵	۴/۹۳۱۸۳۲	N	۱۸/۸۰۵۷۷	۴/۱۳۹۰۳۹
NE	۱۳۲۹/۳۴۳	۴/۸۰۶۵۸۱	NE	۳۹/۲۱۰۰۹	۴/۲۸۳۸۴۵
E	۸۰۶/۰۹۹۶	۵/۰۵۹۴۶۱	E	۱۱۲/۹۱	۴/۳۵۲۶۱۹
SE	۵۵۴/۲۲۶۸	۵/۵۳۶۱۰۸	SE	۲۲۰/۸۲۴	۴/۳۱۳۴۱۱
S	۵۳۸/۷۳۱۲	۵/۶۹۲۹۴۷	S	۲۹۹/۹۴۶۳	۳/۸۲۱۰۴۴
SW	۷۱۰/۳۳۷۴	۵/۶۸۸۸۲۵	SW	۲۱۲/۳۹۸۹	۴/۱۶۶۹۵۳
W	۸۵۶/۶۳۰۵	۵/۲۶۳۸۳۸	W	۳۴/۱۲۴۸۸	۴/۲۷۶۲۵
NW	۱۰۹۷/۵۳۲	۵/۰۸۱۹۸۳	NW	۱۶/۹۵۹۳۱	۴/۲۹۳۲۵۷

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش اندازه‌گیری کمی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه سیستان در واحد تپه و اجزای آن بادخیز و بادپناه صورت گرفت مدل ارتفاعی رقومی ۴ سانتی‌متری با وضوح بالا به ما امکان احتساب حجم و مساحت سه‌بعدی، ارتفاع رسوب، درصد زبری، درصد شیب، و جهت شیب را داد. نتایج ما در این پژوهش ۴ بخش داشت.

در بخش اندازه‌گیری کمی تپه‌ها تاکنون در پژوهش‌هایی که توسط محققین (۴) با تصاویر ماهواره‌ای بر روی مساحت تپه‌های ماسه‌ای انجام گرفته است در واقع سطح تپه‌های ماسه‌ای در ابعاد وسیع مطالعه گردیده است نتایج در مطالعه (۲۱) نشان داد که امکان تفکیک مکانی در محدوده تپه و اجزای آن با تصاویر ماهواره‌ای وجود ندارد ولی در این مطالعه با استفاده از پهپاد اندازه‌گیری کمی تپه‌ها انجام شد و با توجه به اینکه تپه‌های ماسه‌ای با داشتن شکل هندسی و ابعاد مختلف امکان اندازه‌گیری دقیق آنها توسط ابزارهای متداول که تاکنون استفاده شده است وجود ندارد و اندازه سطح مقطع سه‌بعدی تپه‌ها با داشتن ابعاد انحنا و زوایای مختلفی که دارند همواره از یک سطح صاف و هموار بیشتر است ولی با استفاده از پهپاد می‌توان این ابعاد را به خوبی مشخص و حجم‌ها و مساحت‌های سه‌بعدی را به دست آوریم؛ و دانستن این مهم در برنامه‌ریزی پروژه‌های منابع طبیعی بسیار مهم است با توجه به هزینه بالای

تهیه و اجرا و پاشش مالچ‌های تثبیت‌کننده خاک که بر اساس مساحت احتساب می‌گردد با تعیین درست سطح می‌توان برنامه‌ریزی مناسب جهت پاشش به اندازه مالچ‌ها نمود همچنین دانستن حجم‌های سه‌بعدی تپه‌ها و وزن آنها در پروژه‌های آب‌و خاک کاربرد زیادی دارد و یکی از معضلات اصلی در پروژه‌های تسطیح اراضی احتساب دقیق حجم و وزن تپه‌های ماسه‌ای هست که در این پژوهش وزن تپه‌ها با استفاده از حجم سه‌بعدی و وزن مخصوص ظاهری به دست آمد.

در بخش شیب و زبری تپه‌ها محققین در بررسی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تونل باد دریافتند که با افزایش مقدار ماسه و شیب جریان باد در آن مناطق بیشتر می‌شود و همچنین مشخص شد که زبری در تپه‌های ماسه‌ای باعث افزایش مقدار ماسه می‌گردد (۶). در مطالعه‌ای دیگر با افزایش سرعت باد سبب حمل و نقل و تجمع ماسه شد که با افزایش مقدار ارتفاع و شیب تپه‌های ماسه‌ای همراه بود و همچنین با تجمع ماسه زبری در تپه‌های ماسه‌ای بیشتر شد (۲۴) در این مطالعه نتیجه افزایش ماسه با افزایش شیب، با نتایج محققین دیگر مطابقت دارد و مشخص شد که با افزایش شیب بین ۷۰-۱۰۰ درصد در قسمت بادخیز و بادپناه تپه‌های ماسه‌ای ارتفاع رسوب نیز زیاد شده است. اما با توجه به اینکه تپه‌های ماسه‌ای در مقیاس کوچک‌تر و در واحد بادخیز و بادپناه در این مطالعه بررسی شدند نتایج زبری با نتایج سایر محققین در قسمت بادخیز

می‌شود (۱۹). در این مطالعه با توجه به اقلیم منطقه و در نظر گرفتن جهت باد غالب که از شمال غرب به جنوب شرق است مشخص گردید که همواره در جهت شمال در تپه‌ها به علت دمای کمتر و رطوبت بیشتر دارای فرسایش کمتری نیست و نتایج محققین با نتیجه این تحقیق همخوانی ندارد از آنجاکه جهت وزش باد غالب از شمال غرب به جنوب شرق است، در بادخیز تپه‌ها در قسمت شمالی شروع دامنه است و در قسمت جنوبی بیشترین مقدار تجمع رسوبات را دارند و کمترین مقدار رسوب در شمال و شمال شرق و بیشترین مقدار رسوبات در جنوب و جنوب غرب بادخیز است بیشترین مساحت بادخیز نیز در جهت شمال شرقی در بادخیز است در قسمت بادپناه نیز اثر وزش باد شمال غربی سبب شده است که تجمع رسوبات در شرق بادپناه زیاد شود و بیشترین مساحت بادپناه نیز در جهت جنوبی و در قسمت میانی بادپناه که سطح وسیع‌تری را دارد شامل می‌شود.

تقدیر و تشکر:

این مقاله حاصل رساله با عنوان برآورد نرخ فرسایش بادی و میزان حرکت تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان با استفاده از تصاویر UAV در مقطع دکتری در سال ۱۴۰۱ است که با حمایت دانشگاه هرمزگان اجرا شده است.

متفاوت بود و در قسمت بادپناه مطابقت داشت در واقع در بادخیز با حرکت امواج ماسه‌ای بر روی آن به سمت بالا از ناهمواری و زبری آنها کاسته می‌شود و بیشترین زبری در قسمت پایین دامنه بادخیز بود و کمترین زبری در قسمت بالای دامنه واقع می‌شود به همین علت بیشترین رسوب در بادخیز در زبری ۰-۲۰ درصد که در قسمت مرتفع بادخیز قرار می‌گیرد مشخص گردید. در قسمت بادپناه و با شروع ریزش امواج ماسه‌ای در قسمت بالای آن زبری نیز زیاد می‌شود و به همین علت بیشترین زبری در قسمت بالای بادپناه بین ۷۰-۱۰۰ درصد قرار می‌گیرد و هر چه این ریزش به سمت پایین بادپناه ادامه پیدا می‌کند از مقدار زبری نیز کاسته می‌شود.

در بخش چهارم این مطالعه محققین در بررسی جهت شیب تپه‌ها مشخص کردند که جهت شیب رو به شمال همواره دمای پایین‌تر و رطوبت بیشتری دارد و جهت شیب رو به جنوب به علت دمای بیشتر و رطوبت کمتر فرسایش‌پذیرتر است و حرکت ماسه در آنها بیشتر اتفاق می‌افتاد. (۵) در مطالعه‌ای دیگر بر روی اثر جهت شیب بر روی تثبیت تپه‌ها نشان دادند که در اثر حذف پوشش گیاهی در جهت شیب تپه‌ها در جهت شمالی و در جهت جنوبی تفاوت وجود دارد در جهت شمالی به دلیل رطوبت بیشتر امکان احیا وجود دارد ولی در جهت جنوبی به دلیل خشکی بیشتر امکان احیا بسیار کمی وجود دارد و به همین دلیل در این جهت فرسایش بیشتر

منابع

- 1) Aliabad FA, Shojaei S. 2019. The impact of drought and decline in groundwater levels on the spread of sand dunes in the plain in Iran. *Sustainable Water Resources Management*, 5(2), 541-555. doi: <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0204-6>.
- 2) Abbasi H R, Opp C, Groll M, Rohipour H, Gohardoust A. 2019. Assessment of the distribution and activity of dunes in Iran based on mobility indices and ground data. *Aeolian Research*, 41, 100539. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.07.005>.
- 3) Azzaoui MA, Adnani M, El Belrhiti H, Chaouki I E, Masmoudi L. 2019. Detection of crescent sand dunes contours in satellite images using an active shape model with a cascade classifier. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 17-24. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-4-w12-17-2019>.
- 4) Austrich A, Mapelli FJ, Mora MS, Kittlein MJ. 2021. Landscape Change and Associated Increase in Habitat Fragmentation During the Last 30 Years in Coastal Sand Dunes of Buenos Aires Province, Argentina. *Estuaries and Coasts*, 44(3), 643-656.. doi: <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00798-x>.
- 5) Begum F, Bajracharya R M, Sharma S, Sitaula BK. 2010. Influence of slope aspect on soil physico-chemical and biological properties in the mid hills of central Nepal. *International Journal of Sustainable Development World Ecology*, 17(5), 438-443. doi: <https://doi.org/10.1080/13504509.2010.499034>.
- 6) Cao S, Wang T, Ge Y, Tamura Y. 2012. Numerical study on turbulent boundary layers over two-dimensional hills—effects of surface roughness

- and slope. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 104, 342-349.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.02.022>.
- 7) Dong Z, Qian G, Lv P, Hu G. 2013. Investigation of the sand sea with the tallest dunes on Earth: China's Badain Jaran Sand Sea. *Earth-Science Reviews*, 120, 20-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.003>.
 - 8) Dandabathula G, Sitiraju SR, Jha CS. 2021. Morphological Profiles of Sand Dunes from ICESat-2 Geolocated Photons. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9(2), 71-91. doi: <https://doi.org/10.4236/gep.2021.92005>.
 - 9) Fabbri S, Grottoli E, Armaroli C, Ciavola P. 2021. Using High-Spatial Resolution UAV-Derived Data to Evaluate Vegetation and Geomorphological Changes on a Dune Field Involved in a Restoration Endeavour. *remote sensing*, 13(10), 1987. doi: <https://doi.org/10.3390/rs13101987>.
 - 10) Hugenholtz C H, Levin N, Barchyn TE, Baddock MC. 2012. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. *Earth-science reviews*, 111(3-4), 319-334. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.006>.
 - 11) Laporte-Fauret Q, Marieu V, Castelle B, Michalet R, Bujan S, Rosebery D. 2019. Low-cost UAV for high-resolution and large-scale coastal dune change monitoring using photogrammetry. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3), 63. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse7030063>.
 - 12) Luo W, Shao M, Che X, Hesp PA, Bryant RG, Yan C, Xing Z. 2020. Optimization of UAVs-SfM data collection in aeolian landform morphodynamics: a case study from the Gonghe Basin, China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(13), 3293-3312. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.4965>.
 - 13) Laporte-Fauret Q, Lubac B, Castelle B, Michalet R, Marieu V, Bombrun L, Rosebery D. 2020. Classification of atlantic coastal sand dune vegetation using in situ, uav, and airborne hyperspectral data. *Remote Sensing*, 12(14), 2222. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12142222>.
 - 14) Moghaddamnia A, Gousheh MG, Piri J, Amin S, Han D. 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Advances in Water Resources*, 32(1), 88-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.10.005>.
 - 15) Marzolf I, Ries JB, Poesen J. 2011. Short-term versus medium-term monitoring for detecting gully-erosion variability in a Mediterranean environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(12), 1604-1623. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.2172>.
 - 16) Madurapperuma B, Lamping J, McDermott M, Murphy B, McFarland J, Deyoung K, Mitchell S. 2020. Factors Influencing Movement of the Manila Dunes and Its Impact on Establishing Non-Native Species. *Remote Sensing*, 12(10), 1536. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12101536>.
 - 17) Pineux N., Lisein J, Swerts G, Bièdiers CL, Lejeune P, Colinet G, Degré A. 2017. Can DEM time series produced by UAV be used to quantify diffuse erosion in an agricultural watershed?. *Geomorphology*, 280, 122-136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.003>.
 - 18) Rashki A, Middleton NJ, Goudie AS. 2021. Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>.
 - 19) Sewerniak P. 2016. Differences in early dynamics and effects of slope aspect between naturally regenerated and planted *Pinus sylvestris* woodland on inland dunes in Poland. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(6), 875. doi: <https://doi.org/10.3832/ifer1728-009>.
 - 20) Sofia G, Hillier JK, Conway SJ. 2016. Frontiers in Geomorphometry and Earth Surface Dynamics: possibilities, limitations and perspectives. *Earth Surface Dynamics*, 4(3), 721-725. doi: <https://doi.org/10.5194/esurf-4-721-2016>, 2016.
 - 21) Solazzo D, Sankey JB, Sankey TT, Munson SM. 2018. Mapping and measuring aeolian sand dunes with photogrammetry and LiDAR from unmanned aerial vehicles (UAV) and multispectral satellite imagery on the Paria Plateau, AZ, USA. *Geomorphology*, 319, 174-185. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.07.023>.
 - 22) Tsoar H. 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 357(1), 50-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.05.067>.
 - 23) Varma S, Shah VA, Banerjee B, Buddhiraju KM. 2014. Change Detection of Desert Sand Dunes: A Remote Sensing Approach. *ARS*, 03, 10-22. doi: <https://doi.org/10.4236/ARS.2014.31002>.
 - 24) Zhang C, Li Q, Zhou N, Zhang J, Kang L, Shen Y, Jia W. 2016. Field observations of wind profiles and sand fluxes above the windward slope of a sand dune before and after the establishment of semi-buried straw checkerboard barriers. *Aeolian research*, 20, 59-70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.11.003>.
 - 25) Zhao Y, Gao X. 2021. Morphodynamics of shadow dunes. *Earth-Science Reviews*, 222, 103840. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103840>.
 - 26) Zheng Z, Du S, Taubenböck H, Zhang X. 2022. Remote sensing techniques in the investigation of aeolian sand dunes: A review of recent advances. *Remote Sensing of Environment*, 271, 112913. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112913>.



Original
paper

Quantitative estimation of sand dunes using UAV imaging in Sistan sub-arid region

Saeed pourmorteza¹, Hamid Gholami², Alireza Rashki³, Navaz Moradi⁴

Received: 2022-04-18 / Accepted: 2022-05-16 / Published: 2023-09-23

Abstract

Sistan plain, with its arid climate, high evapotranspiration, low rainfall and 120-day winds, has provided the necessary ground for erosion and wind sediments. Due to the index of sand dunes in the region, the need to quantify the hills to obtain the 3-d volume and area that is the basis for project planning and sediment control management is one of the objectives of this study. After identification and imaging by UAV, a digital elevation model with a resolution of 4 cm and an orthophotomosaic image with a resolution of 1 cm were prepared in order to extract quantitative

information about the dunes. With the help of orthophotomosaic image and digital elevation model, the range of hills was determined and volumes and three-dimensional area were obtained. In order to study more the components of the dune (windward and wind shelter) in the mutual study of digital elevation model with slope percentage, roughness percentage and slope aspect showed that between windward and wind shelter the highest average sediment is in the slope of 70-100%. The highest average sediment in windward is in 0-20% roughness and the highest in wind shelter is in 70-100% roughness. In the study of slope, aspect it was found that the highest average sediment is on the windward in the northeast and in the wind shelter in the east direction.

Saeed pourmorteza¹, Hamid Gholami²(✉), Alireza Rashki³, Navaz Moradi⁴

1. Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Hormozgan, Iran

2. Department of natural resources engineering, University of Hormozgan

3. Department of Desert and Arid zone Management, Faculty Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

4. Department of natural resources engineering, University of Hormozgan

DOI: 10.30495/girs.2023.691225

e-mail: hadesert64@gmail.com

Background and Objective: Sistan plain, with its arid climate, high evapotranspiration, low rainfall and 120-day winds, has provided the necessary ground for erosion and wind sediments. Due to the index of sand dunes in the region, the need to quantify the hills to obtain the 3-d volume and area that is the basis for project planning and sediment control management is one of the objectives of this study. After identification and imaging by UAV, a digital elevation model with a resolution of 4 cm

and an orthophotomosaic image with a resolution of 1 cm were prepared in order to extract quantitative information about the dunes. With the help of orthophotomosaic image and digital elevation model, the range of hills was determined and volumes and three-dimensional area were obtained. In order to study more the components of the dune (windward and wind shelter) in the mutual study of digital elevation model with slope percentage, roughness percentage and slope aspect showed that between windward and wind shelter the highest average sediment is in the slope of 70-100%. The highest average sediment in windward is in 0-20% roughness and the highest in wind shelter is in 70-100% roughness. In the study of slope, aspect it was found that the highest average sediment is on the windward in the northeast and in the wind shelter in the east direction.

Materials and Methods: Images of the study area were taken using a Phantom 4 Pro UAV at an altitude of 60 meters on September 22, 2019. This type of UAV, which is small and light, with its 20-megapixel camera and GPS, can provide high quality images. And the use of this type of UAV for photogrammetric work is very common. A number of GCP were also used for georeferencing by harvesting by the 3-frequency GPS. The model was produced using software (Agi soft metashap) and a 4 cm digital height model and a 1 cm orthophoto mosaic model were prepared. Using (Arc Map) software, the region of the dunes and the components of the dunes were separated. After determining the region of the dunes, the volume and area were calculated in 3-d. In order to obtain the weight of the dunes, after obtaining the bulk density of the soil in the amount of 1.63 of its, multiply by the volume of the dunes. After separating the components of the 5 dunes, the separating parts were measured in two separate groups with maps of slope percentage, roughness percentage and slope direction that were classified to determine their interaction on the amount of sediment

Results and Discussion: In this study, quantitative measurement of sand dunes in the study area of Sistan in the hill unit and its components was wind ward and wind sheltered. 4 cm digital elevation model with high resolution allows us to calculate 3-d volume and area, sediment height, roughness percentage, Gave the percentage of slope, and the direction of slope. Our results in this study had 4 sections.

In the field of quantitative measurement of dunes, so far, in some studies (4) with satellite images on the area of sand dunes. In fact, the surface of sand dunes has been studied in large dimensions (21). The results in the study showed that it is not possible to separate the area of the dune and its components with satellite images, but in this study using a UAV Quantitative measurement of the dunes was done and considering that the sand dunes with geometric shape and different dimensions, it is not possible to accurately measure them with common tools that have been used so far and the size of the cross section is 3d the dunes, with their different dimensions of curvature and angles, are always more than a smooth surface, but with the use of UAVs can be well defined and 3-d volumes and areas can be obtained; And knowing this is very important in planning, natural resource projects. Due to the high cost of preparing, implementing and spraying soil-stabilizing mulch, which is calculated based on the area, proper planning can be done by determining the right level, knowing the 3-d volumes of dunes and their weight is also used in soil and water projects, and one of the main problems in land leveling projects is the accurate calculation of the volume and weight of sand dunes. In this study, the weight of the dunes was obtained using 3-d volume and bulk density.

In the slope and roughness of the dunes, the researchers in the study of sand dunes using wind tunnels found that by increasing the amount of sand and slope, the wind flow in these areas increases and it was also found that the roughness in the sand dunes Increases the amount of sand (6). In another study, with increasing wind speed, it caused sand transport and accumulation, which was associated with increasing the height and slope of sand dunes, and also increased with the accumulation of roughness sand in sand dunes (24). The study of the result of increasing sand with increasing slope is consistent with the results of other researchers and it was found that with increasing slope between 70-100% in the windward part and the wind shelter of sand dunes, the sediment height has also increased. Smaller-scale dunes in the windward and wind shelter units were investigated in this study. The roughness results were different from the results of other researchers in the windward part and corresponded to the wind shelter part. And the lowest roughness are located in the upper part of the windward. Therefore, the highest sediment in windward was determined in 0-20% roughness, which is located

in the high part of windward. In the part of the wind shelter and with the beginning of the fall of sand waves in the upper part, the roughness also increases and for this reason, the maximum roughness are located in the upper part of the wind shelter between 70-100% and as this fall continues down the wind shelter Finds that the amount of roughness is also reduced.

In the 4 parts of this study, researchers in the aspect of the slope of the dunes found that the aspect of the slope to the north is always lower temperature and more humidity, and the aspect of the slope to the south is more erodible due to higher temperature and humidity and sand movement It was more common in them. (5) In another study on the effect of slope, aspect on the stabilization of dunes showed that due to the removal of vegetation in the aspect of the slope of the dunes in the north aspect and in the south aspect there is a difference There is a possibility of regeneration in the northern aspect due to more moisture, but in the southern aspect due to more drought, there is very little possibility of regeneration and therefore erosion increases in this aspect (19). In this study, considering the climate of the region and considering the direction of the prevailing wind, which is from northwest to southeast, it was found that always in the dunes due to lower temperature and higher humidity – cannot have less erosion. And the results of the researchers do not agree with the result of this study because the direction of the prevailing wind

is from northwest to southeast, in the wind ward dunes in the northern part is the beginning of the slope and in the southern part have the highest accumulation of sediment and the lowest sediment in North and northeast and most of the sediments in the south and southwest are windward. The most windward area is in the northeast direction of the wind. The area of the wind shelter is also included in the southern direction and in the middle part of the shelter, which has a wider area.

Conclusion: Sand dunes are one of the most important facies of wind erosion. Our understanding of the complex interactions of sand dunes is often limited by the lack of accurate morphological data. The erosion and sedimentation process is very important and there is currently a lack of field data for executing projects, study plans and validation of erosion and sedimentation models. Recently, UAVs, which have been used in military and strategic applications for many years, are now recognized as an attractive tool in the field and scientific research as a result of rapid and low-cost technological advances in unmanned vehicles; They have a high level of operational flexibility and can be used in agriculture and natural resources.

Keywords: Sand dune, UAV, quantification, Sistan plain