

طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله و ارزیابی تغییرات آن‌ها

مهران مقصودی*؛ استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

حمید گنجائیان؛ دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

چکیده

ریگزارها از مجموعه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده است بخشی از مناطق بیابانی هستند که به دلیل وضعیت مورفولوژیکی و دینامیکی، تاثیر زیادی بر وضعیت زیست‌محیطی و فعالیت‌های انسانی از جمله تخریب اراضی کشاورزی دارند. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله و ارزیابی تغییرات آن‌ها پرداخته شده است. در این تحقیق از اطلاعات آماری ۱۲ ایستگاه هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. همچنین نرم‌افزارهای گوگل ارث، ArcGIS و WRplot، مهم‌ترین ابزارهای تحقیق بوده است. در این تحقیق ابتدا به طبقه‌بندی ریگزارها از نظر شکل ظاهری و ارزیابی وضعیت حرکت آن‌ها با استفاده روش‌های سنجش از دوری و روش درونیایی IDW پرداخته شده است و سپس ارتباط آن‌ها با سرعت و جهت بادهای منطقه تحلیل شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، ریگزارهای این منطقه با مساحت ۱۳۰۸۱ کیلومترمربع، از اشکال متنوعی از توده‌های ماسه‌ای تشکیل شده است و حدود ۷۸ درصد از آن‌ها دارای وضعیت فعالی هستند به طوری که میزان جابجایی توده‌های ماسه‌ای این ریگزارها در طی سال-های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ بین ۵ تا ۶۵ متر بوده است. همچنین بر اساس نتایج حاصله، بین سرعت و جهت بادهای منطقه با میزان جابجایی توده‌های ماسه‌ای در مناطق شرقی ریگ جن ارتباط معناداری وجود دارد ولی در مناطق شمالی بند ریگ کاشان به دلیل وضعیت مورفولوژیکی و تثبیت توده‌های ماسه‌ای توسط پوشش گیاهی، ارتباط معناداری وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: مورفولوژی توده‌های ماسه‌ای، دینامیک توده‌های ماسه‌ای، ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله.

مقدمه

مناطق بیابانی به دلیل اکوسیستم و مورفولوژی حساسی که دارند، با تغییرات زیادی مواجه می‌شوند (Maghsoudi et al, 2021). تغییرات مناطق بیابانی متأثر از عوامل مختلف طبیعی و انسانی از جمله عوامل هیدرواقليمی، سرعت و جهت بادهای منطقه، تخریب و یا ایجاد پوشش گیاهی و غیره است (Dammala et al, 2025). از جمله فرم‌های مناطق بیابانی که با تغییرات زیادی مواجه است و در بسیاری از مواقع نیز باعث ایجاد مخاطره و بحران می‌شود، تپه‌های ماسه‌ای یا ریگزارها هستند (Sparavigna et al, 2013., Maghsoudi et al, 2017). در واقع، ریگزارهای مناطق بیابانی از مجموعه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده است که دارای مورفولوژی متنوع و دینامیک فعالی هستند. ریگزارها در کنار پتانسیل‌های مثبتی که در زمینه توسعه گردشگری و غیره دارند، با پیامدها و مشکلات زیست‌محیطی زیادی نیز همراه هستند. با توجه به اینکه اغلب ریگزارها از نظر دینامیکی دارای وضعیت فعالی هستند، تپه‌های ماسه‌ای موجود در ریگزارها هر ساله دارای پیشروی قابل توجهی به سمت اراضی کشاورزی و زیرساخت‌های هستند و می‌توانند به صورت مستقیم باعث تخریب این کاربری‌ها شوند. همچنین در بسیاری از مواقع نیز ریگزارها به عنوان کانون‌های گردوغبار محسوب می‌شوند و با توجه به سرعت و جهت بادهای منطقه می‌توانند باعث ایجاد طوفان‌های گردوغبار و در نتیجه ایجاد بحران برای مناطق مختلف شوند (Maghsoudi et al, 2020). با توجه به اینکه سرعت و جهت بادهای منطقه در طی فصول مختلف سال و همچنین تحت تاثیر عوامل مختلف توپوگرافی با تغییرات زیادی همراه است، بنابراین مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای نیز بسیار متغیر است (Taniguchi et al, 2012., Sharifi Paichoon et al, 2020). بر این اساس، بین وضعیت مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و رژیم بادی حاکم بر منطقه رابطه معناداری وجود دارد (Qian et al, 2024). در واقع، با استفاده از شکل تپه‌های ماسه‌ای منطقه می‌توان سرعت و جهت بادهای منطقه را تشخیص داد. همچنین سرعت و جهت بادهای منطقه، عامل اصلی شکل و وضعیت جابجایی تپه‌های ماسه‌ای هستند (Wasson & Hyde, 1983).

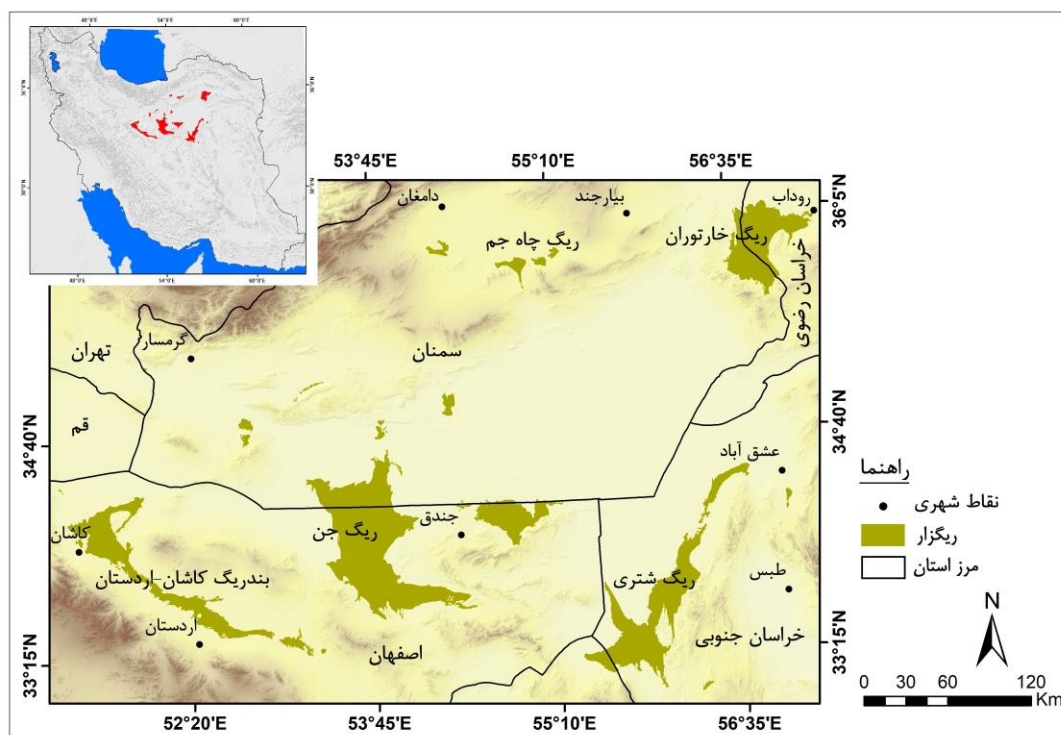
ریگزارها پراکنش زیادی در جهان و خصوصاً کمربند پرفشار جنب‌حاره دارند. موقعیت جغرافیایی ایران نیز سبب شده است تا بخش زیادی از مساحت آن را مناطق بیابانی دربرگیرد و در مناطق بیابانی ایران نیز ریگزارها گستردگی قابل توجهی داشته باشند. از جمله ریگزارهای ایران، ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله است. این ریگزارها که شامل ریگ‌های مختلفی از جمله بندریگ کاشان-اردستان، ریگ جن، ریگ شتری، ریگ خارتوران، ریگ چاه جم و غیره است، دارای گستردگی زیادی هستند و با توجه به اینکه بسیاری از آن‌ها در نزدیکی نواحی سکونتگاهی هستند، می‌توانند باعث بروز مخاطرات زیادی برای کاربری‌های انسانی شوند. با توجه به اینکه وضعیت دینامیکی ریگزارها متأثر از عوامل مختلف طبیعی و انسانی است، لازم است تا مطالعات جامعی در ارتباط با آن‌ها صورت گیرد. با توجه به اهمیت موضوع و همچنین به دلیل اینکه در ارتباط با ریگزارهای واقع در مناطق اطراف دشت کویر و چاله مسیله، مطالعات جامعی صورت نگرفته است، در این پژوهش به بررسی وضعیت مورفولوژی و دینامیکی ریگزارهای این منطقه پرداخته شده است.

در ارتباط با موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان (Daniell & Hughes 2007) اشاره کرد که با استفاده از روش‌های آماری و سنجش از دوری به بررسی وضعیت مورفولوژی برخان‌های ریگزارهای استرالیا پرداختند و نشان دادند که جهت غالب و تقریباً ثابت باد از یک جهت باعث شکل‌گیری برخان‌های این منطقه شده است. (Herms et al (2012) با استفاده از روش‌های سنجش از دوری وضعیت حرکت تپه‌های ماسه‌ای در شمال غربی صحرای مصر را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق بیانگر جابجایی تپه‌های ماسه‌ای به سمت شرق و جنوب شرق است. (Maghsoudi et al (2020) با استفاده از روش‌های سنجش از دوری، به پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ زهک در شرق دشت سیستان پرداختند. نتایج این

تحقیق بیانگر تغییرات تپه‌های ماسه‌ای منطقه از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق و انطباق آن با سرعت و جهت بادهای منطقه است. (Lorestani & Shahriar (2022) به ارزیابی وضعیت دینامیکی برخان‌های بند ریگ کاشان در طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که میانگین جابجایی برخان‌های منطقه ۶/۷ متر در سال بوده است. (Mashhadi et al (2024) با استفاده از روش‌های آماری و سنجش از دوری به بررسی مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای بادهای جنوب شرق بم پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که روند تکامل تپه ماسه‌ای منطقه، تحت تاثیر بادهای قوی شمال غرب ابتدا تپه سپر تشکیل و سپس تبدیل به بارخان دو وجهی می‌شود. (Ma et al (2024) با استفاده از اطلاعات آماری و روش‌های سنجش از دوری به بررسی وضعیت مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در جنوب شرقی صحرای تاکلامکان پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر این است که بادهای شرقی و شمالی شرقی منطقه، نقش اصلی را در جابجایی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه داشته است. (Ge et al (2025) به بررسی روش‌های خودکار استخراج محدوده تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر دقت بیش از ۹۰ درصدی روش‌های مورد استفاده بوده است. (Guan et al (2025) با استفاده از روش‌های میدانی و سنجش از دوری، به تحلیل ارتباط بین اندازه رسوبات و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر این است که اندازه رسوبات از پای تپه‌های ماسه‌ای به سمت راس آن‌ها ریزتر و منظم‌تر می‌شود. بررسی تحقیقات پیشین بیانگر این است که در بیش‌تر این تحقیقات به بررسی وضعیت مورفولوژی یا جابجایی تپه‌های ماسه‌ای پرداخته شده است. اما در این تحقیق علاوه بر طبقه‌بندی توده‌های ماسه‌ای منطقه بر اساس مورفولوژی، به بررسی وضعیت جابجایی توده‌های ماسه‌ای و تاثیر وضعیت بادهای منطقه بر آن‌ها پرداخته شده است. همچنین در تحقیقات پیشین، ریگزارهای منطقه به صورت موردی و ناقص بررسی شده‌اند در حالی که در این تحقیق، موقعیت دقیق ریگزارها ترسیم شده است و با توجه به موضوع مورد مطالعه، هدف از این تحقیق، تعیین دقیق محدوده ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله، بررسی وضعیت جابجایی آن‌ها و سپس تحلیل عوامل موثر بر آن‌ها است.

موقعیت ریگزارهای مورد مطالعه

ریگزارهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله است که از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده استان‌های اصفهان، سمنان، خراسان رضوی و خراسان جنوبی قرار دارند. این ریگزارها با مساحت ۱۳۰۸۱ کیلومترمربع، از ریگ‌های بزرگ و کوچکی از جمله بند ریگ کاشان و اردستان، ریگ جن، ریگ شتری، ریگ خارتوران و ریگ چاه جم تشکیل شده است. در شکل ۱ نقشه موقعیت ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله نشان داده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت ریگزارهای اطراف دشت کویبر و چاله مسیله

روش تحقیق

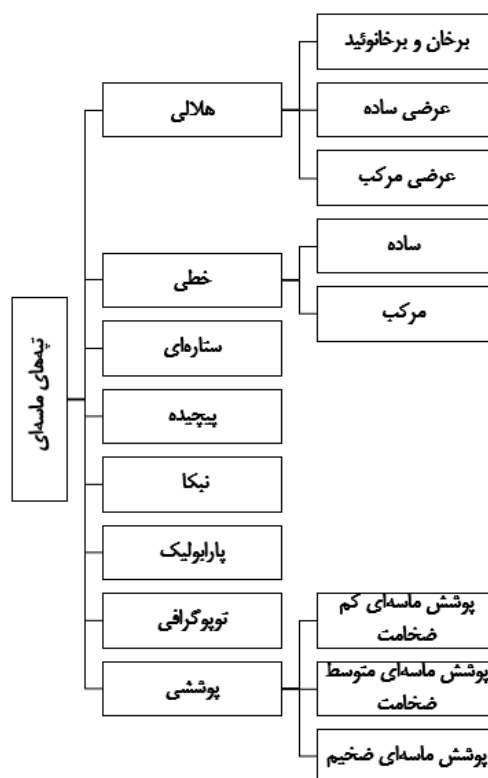
این تحقیق بر مبنای داده‌های سنجش از دوری و آماری بوده است و به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از روش‌های توصیفی-تحلیلی استفاده شده است. در این تحقیق از داده‌های مختلفی شامل اطلاعات آماری مربوط به سرعت و جهت بادهای ۱۲ ایستگاه هواشناسی مجاور ریگزارها (جدول ۱) و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث (به‌منظور ترسیم دقیق محدوده ریگزارها) و لندست ۸ (به‌منظور تطبیق با تصاویر گوگل ارث) به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. همچنین نرم‌افزارهای گوگل ارث (به‌منظور ترسیم محدوده دقیق ریگزارها و پایش میزان جابجایی آن‌ها)، ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر) و WRplot (به‌منظور آنالیز وضعیت سرعت و جهت بادهای منطقه)، مهم‌ترین ابزارهای تحقیق بوده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، این تحقیق در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

جدول ۱: اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری
۱	سلفچگان	۵۰° ۲۸'	۳۴° ۲۹'	۲۰۰۳-۲۰۰۰
۲	کهک	۵۰° ۵۲'	۳۴° ۲۴'	۲۰۰۳-۲۰۰۰
۳	کاشان	۵۱° ۲۷'	۳۳° ۵۹'	۲۰۰۳-۱۹۷۶
۴	اردستان	۵۲° ۲۳'	۳۳° ۲۳'	۲۰۰۳-۱۹۹۲
۵	عقدا	۵۳° ۳۷'	۳۲° ۲۶'	۲۰۰۳-۲۰۰۰
۶	رباط پشت بادام	۵۵° ۳۳'	۳۳° ۰۲'	۲۰۱۳-۱۹۹۲
۷	طیس	۵۶° ۵۵'	۳۳° ۳۶'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۸	خور و بیابانک	۵۵° ۰۵'	۳۳° ۴۷'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۹	کاشمر	۵۸° ۲۸'	۳۵° ۱۲'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۱۰	سبزواری	۵۷° ۴۳'	۳۶° ۱۲'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۱۱	شاهرود	۵۳° ۰۰'	۳۶° ۳۳'	۲۰۰۳-۱۹۹۶
۱۲	سمنان	۵۳° ۳۳'	۳۵° ۳۵'	۲۰۱۳-۱۹۶۵

-مرحله اول (ترسیم محدوده ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله): در این مرحله با استفاده از تصاویر گوگل ارث، محدوده دقیق ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله ترسیم شده است و سپس به بررسی وضعیت کلی آن‌ها پرداخته شده است.

-مرحله دوم (طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله): در این مرحله به منظور طبقه‌بندی ریگزارهای منطقه، از مطالعات کتابخانه‌ای (Lancaster, 1983., Mainguet, 1984., Frayberger, 1979., Lancaster, 1995.,) (Lancaster, 2009) و نظرات کارشناسان (۵ کارشناس ژئومورفولوژی) استفاده شده است و بر اساس مورفولوژی سطحی توده‌های ماسه‌ای، یک طبقه‌بندی برای ریگزارهای منطقه ارائه شده است (شکل ۲) و سپس توده‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه بر مبنای آن، طبقه‌بندی شده است.



شکل ۲: طبقه‌بندی ارائه شده برای ریگزارهای منطقه

-مرحله سوم (پایش میزان حرکت توده‌های ماسه‌ای در ریگزارهای مورد مطالعه): در این مرحله به‌منظور ارزیابی وضعیت جابجایی توده‌های ماسه‌ای، از ۲۰۳ نقطه نمونه استفاده شده است. انتخاب نقاط نمونه به‌صورت انتخابی و بر مبنای وضعیت مورفولوژی توده‌های ماسه‌ای بوده است. در واقع، در مناطقی که از نظر مورفولوژی دارای تنوع زیادی است، از نقاط بیش‌تری استفاده شده است. در این مرحله با استفاده از تصاویر گوگل ارث، ۲۰۳ تپه ماسه‌ای انتخاب شده است و سپس میزان جابجایی آن‌ها در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ ارزیابی شده است. پس از اندازه‌گیری میزان جابجایی نقاط نمونه، با استفاده از روش درونیایی IDW، نقشه میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در محدوده ریگزارهای مورد مطالعه تهیه شده است. لازم به ذکر است که وسعت زیاد منطقه، تنوع مورفولوژی ریگزارها و همچنین دخالت عوامل انسانی به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت‌های ارزیابی دقیق میزان جابجایی توده‌های ماسه‌ای منطقه محسوب می‌شود.

-مرحله چهارم (آنالیز وضعیت سرعت و جهت بادهای منطقه): در این مرحله بر مبنای اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه، وضعیت سرعت و جهت بادهای منطقه ارزیابی شده است. در این مرحله، ابتدا میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) فصلی و سالانه ایستگاه‌ها محاسبه شده و سپس با استفاده از روش درونیایی IDW، نقشه سرعت بادهای منطقه در محدوده ریگزارها تهیه شده است. همچنین در ادامه با استفاده از نرم‌افزار WRplot، گلباد سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه و سپس ارتباط آن با وضعیت مورفولوژی و جابجایی توده‌های ماسه‌ای منطقه تحلیل شده است. لازم به ذکر است که نبود ایستگاه‌های بادسنجی در بخش‌هایی از منطقه از جمله در مناطق مجاور ریگ جن و همچنین در دسترس نبودن اطلاعات آماری جدید، به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت‌های این بخش از تحقیق محسوب می‌شود.

بحث و نتایج

- مورفومتری ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

از جمله بزرگ‌ترین ریگزارهای ایران، ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله است. این مجموعه ریگزارها دارای ۱۳۰۸۱ کیلومترمربع وسعت و ۴۰۸۷ طول محیط است. منطقه اطراف دشت کویر و چاله مسیله دارای ۵ ریگ بزرگ شامل بندریگ کاشان و اردستان (دارای ۲۱۳۴ کیلومترمربع وسعت)، ریگ جن (دارای ۴۸۴۴ کیلومترمربع وسعت)، ریگ شتری (دارای ۲۸۲۳ کیلومترمربع وسعت)، ریگ خارتوران (دارای ۱۸۸۶ کیلومترمربع وسعت)، ریگ جاه جم (دارای ۳۰۴ کیلومترمربع وسعت) و چندین ریگ کوچک است (جدول ۲). با توجه به موارد مذکور، ریگ جن به‌عنوان بزرگ‌ترین ریگزار منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود.

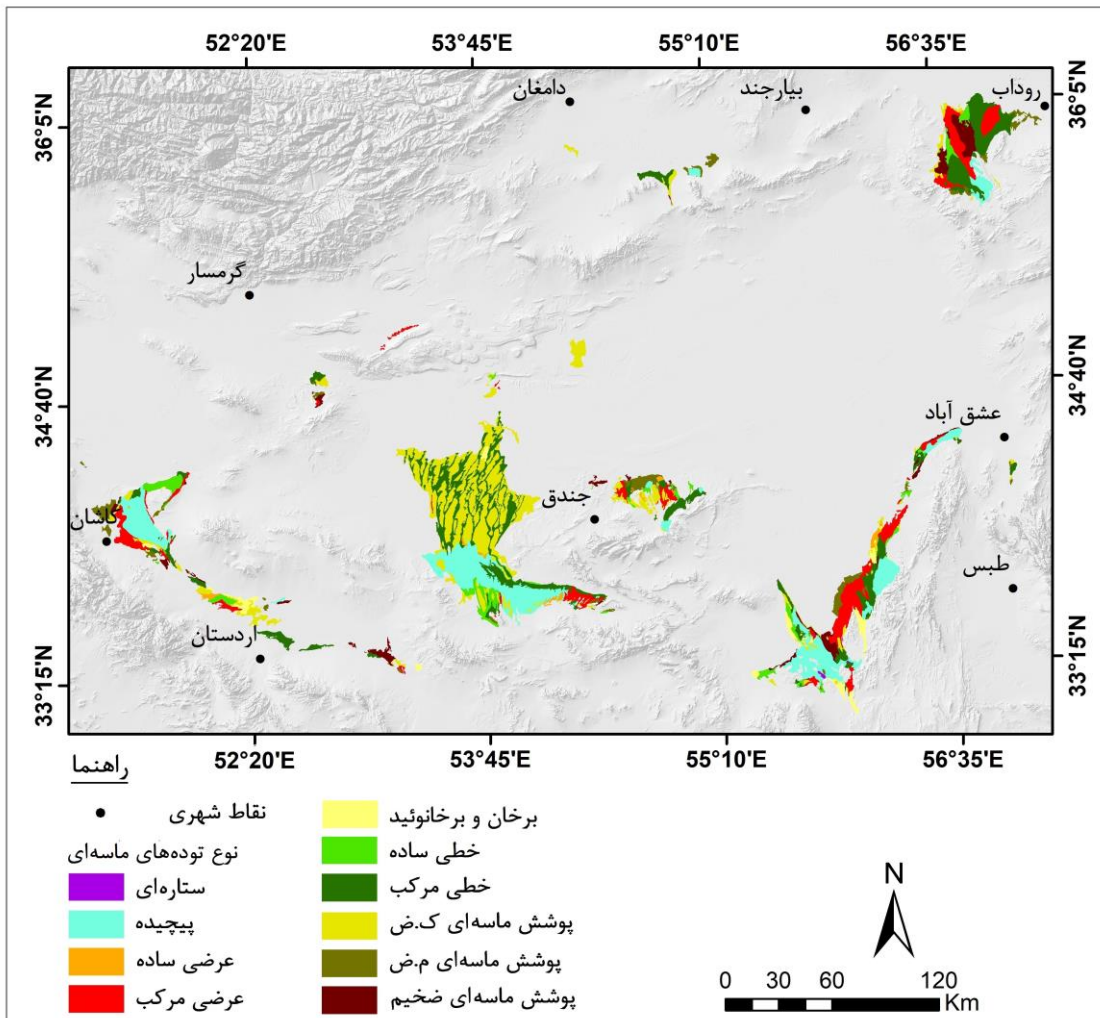
جدول ۲: مساحت و درصد مساحت ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

ردیف	ریگ	مساحت	درصد مساحت
۱	بندریگ کاشان و اردستان	۲۱۳۴	۱۶/۳
۲	ریگ جن	۴۷۴۴	۳۶/۳
۳	ریگ شتری	۲۸۲۳	۲۱/۶
۴	ریگ خارتوران	۱۸۸۶	۱۴/۴
۵	ریگ چاه جم	۳۰۴	۲/۳
۶	سایر ریگ‌های منطقه	۱۱۹۰	۹/۱

- طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

توده‌های ماسه‌ای با توجه به تاثیرگذاری عوامل مختلف، می‌توانند به‌صورت اشکال مختلفی ظاهر شوند و همچنین تحت تاثیر عوامل دینامیک، می‌توانند به‌صورت فعال و غیرفعال باشند. در این پژوهش، پس از شناسایی ریگزارها و ترسیم محدوده آن‌ها، دو نوع طبقه‌بندی صورت گرفته است. ابتدا با توجه به شکل ظاهری به ۱۰ طبقه تقسیم شده‌اند و در ادامه با توجه به میزان فعالیت که در طی سال‌های اخیر داشته‌اند به ۳ طبقه فعال، نیمه‌فعال و غیرفعال تقسیم شده‌اند.

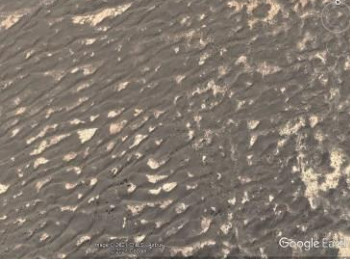
الف) طبقه‌بندی ریگزارها بر اساس شکل ظاهری: ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله از توده‌های ماسه‌ای مختلفی تشکیل شده است که به دلیل تفاوت در شرایط مورفولوژی و خصوصیات بادهای منطقه، دارای تنوع زیادی هستند. در این پژوهش بر مبنای تصاویر گوگل ارث، ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله به ۱۰ طبقه شامل توده‌های ماسه‌ای ستاره‌ای، پیچیده، خطی ساده، خطی مرکب، برخان و برخانوئید، عرضی ساده، عرضی مرکب، پوشش ماسه‌ای کم ضخامت، پوشش ماسه‌ای متوسط ضخامت و پوشش ماسه‌ای ضخیم تقسیم شده است (شکل ۳). بررسی وضعیت پراکنش طبقات بیانگر این است که بخش زیادی از ریگ جن را پوشش ماسه‌ای کم ضخامت، پیچیده و خطی مرکب دربرگرفته است. ریگ کاشان دارای تنوع زیادی است و علاوه بر توده‌های ماسه‌ای خطی و عرضی، دارای توده‌های ماسه‌ای ترکیبی نیز هست. ریگ شتری نیز دارای تنوع زیادی از توده‌های ماسه‌ای از جمله پیچیده، خطی و عرضی است. همچنین ریگ خارتوران نیز عمدتاً از پوشش‌های ماسه‌ای ضخیم، پیچیده و عرضی مرکب تشکیل شده است.







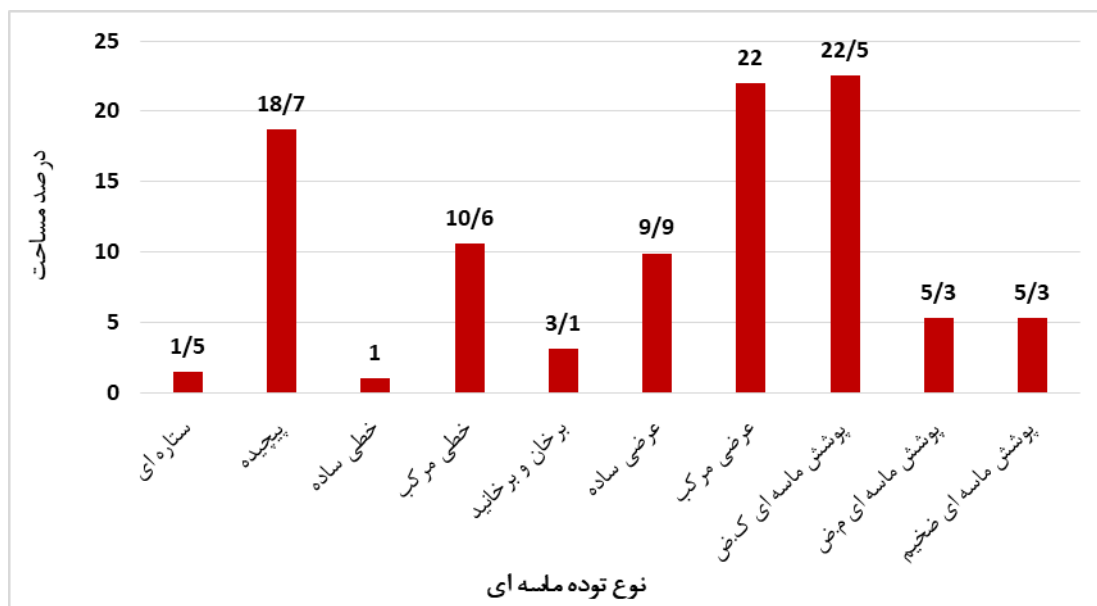
شکل ۳: نقشه طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

در جدول ۳ و شکل ۴ مساحت و درصد مساحت طبقات نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، بخش زیادی از مساحت ریگزارها را پوشش ماسه‌ای کم ضخامت دربرگرفته است به طوری که این طبقه با ۲۹۴۴ کیلومترمربع وسعت، ۲۲/۵ درصد از وسعت ریگزارهای این منطقه را دربرگرفته است که عمدتاً شامل ریگ جن می-شود. توده‌های ماسه‌ای عرضی مرکب با ۲۸۷۶ کیلومترمربع وسعت، ۲۲ درصد از ریگزارهای منطقه را شامل می‌شود و عمدتاً در مناطق میانی ریگ شتری و مناطق شمالی بند ریگ کاشان قابل مشاهده هستند. همچنین توده‌های ماسه‌ای پیچیده با ۲۴۴۷ کیلومترمربع، ۱۸/۷ درصد از وسعت ریگزارهای این منطقه را دربرگرفته است که عمدتاً شامل مناطق جنوب ریگ جن، مناطق شمالی بند ریگ کاشان و همچنین ریگ شتری است.

جدول ۳: مساحت و درصد مساحت طبقات توده‌های ماسه‌ای ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

درصد مساحت	مساحت	تصویر ماهواره‌ای	نوع توده‌های ماسه‌ای	ردیف
۱/۵	۱۹۷		ستاره‌ای	۱
۱۸/۷	۲۴۴۷		پیچیده	۲
۱	۱۳۳		خطی ساده	۳
۱۰/۶	۱۳۹۱		خطی مرکب	۴
۳/۱	۴۱۲		برخان و برخانید	۵
۹/۹	۱۲۹۶		عرضی ساده	۶

۲۲	۲۸۷۶		عرضی مرکب	۷
۲۲/۵	۲۹۴۴		پوشش ماسه‌ای کم ضخامت	۸
۵/۳	۶۸۸		پوشش ماسه‌ای متوسط ضخامت	۹
۵/۳	۶۹۷		پوشش ماسه‌ای ضخیم	۱۰

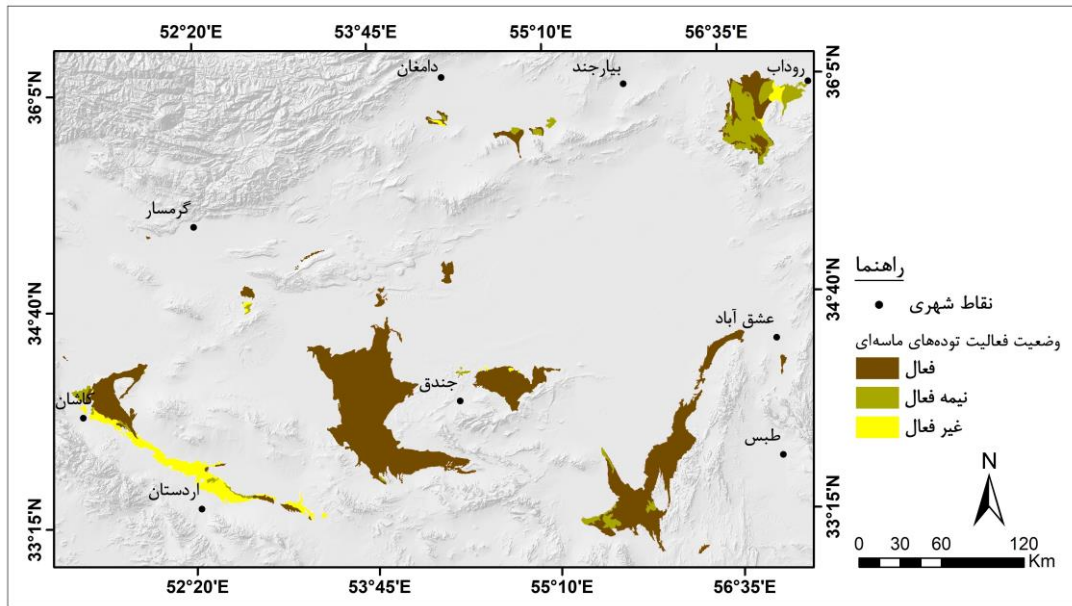


شکل ۴: نمودار درصد مساحت توده‌های ماسه‌ای

ب) طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله بر اساس فعالیت: بررسی وضعیت فعالیت ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله بیانگر این است که میران فعالیت در مناطق مختلف ریگزارها متفاوت است. در این پژوهش بر مبنای تصاویر گوگل ارث، وضعیت فعالیت مناطق مختلف ریگزارها بررسی شده است. بر اساس نتایج حاصله، ۱۰۱۶۲ کیلومترمربع از این ریگزارها (معادل ۷۷/۷ درصد از کل مساحت ریگزارها) دارای وضعیت فعال است که عمدتاً شامل ریگ جن و شتری است. ۱۷۰۴ کیلومترمربع (معادل ۱۳ درصد از کل مساحت ریگزار) از آن به صورت نیمه‌فعال است و همچنین ۱۲۱۴ کیلومترمربع (معادل ۹/۳ درصد از مساحت آن) به صورت غیرفعال است که عمدتاً شامل بند ریگ کاشان است (جدول ۴ و شکل ۵).

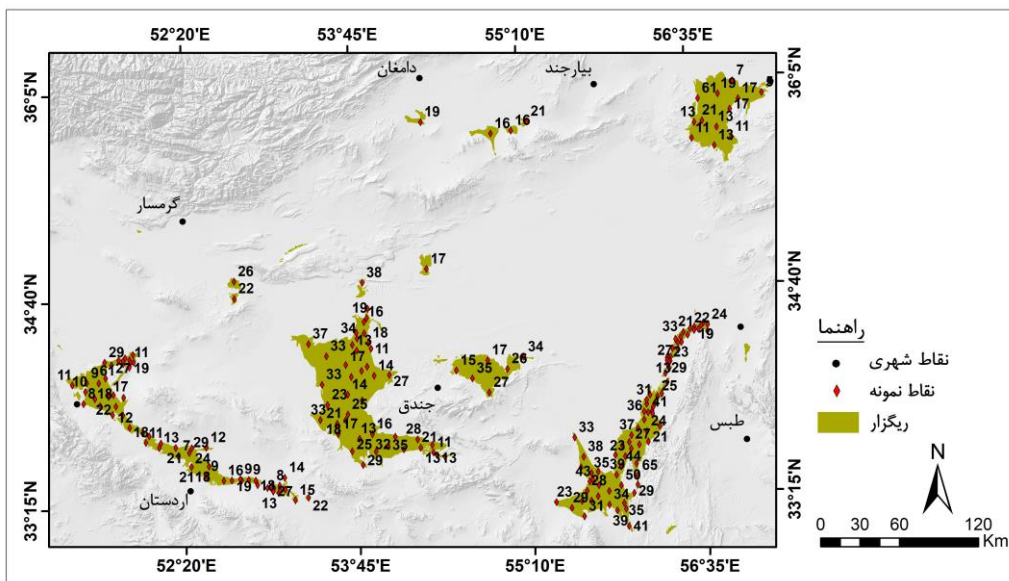
جدول ۴: مساحت و درصد مساحت ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله بر اساس وضعیت فعالیت

ردیف	وضعیت فعالیت	مساحت	درصد مساحت
۱	فعال	۱۰۱۶۲	۷۷/۷
۲	نیمه فعال	۱۷۰۴	۱۳
۳	غیرفعال	۱۲۱۴	۹/۳

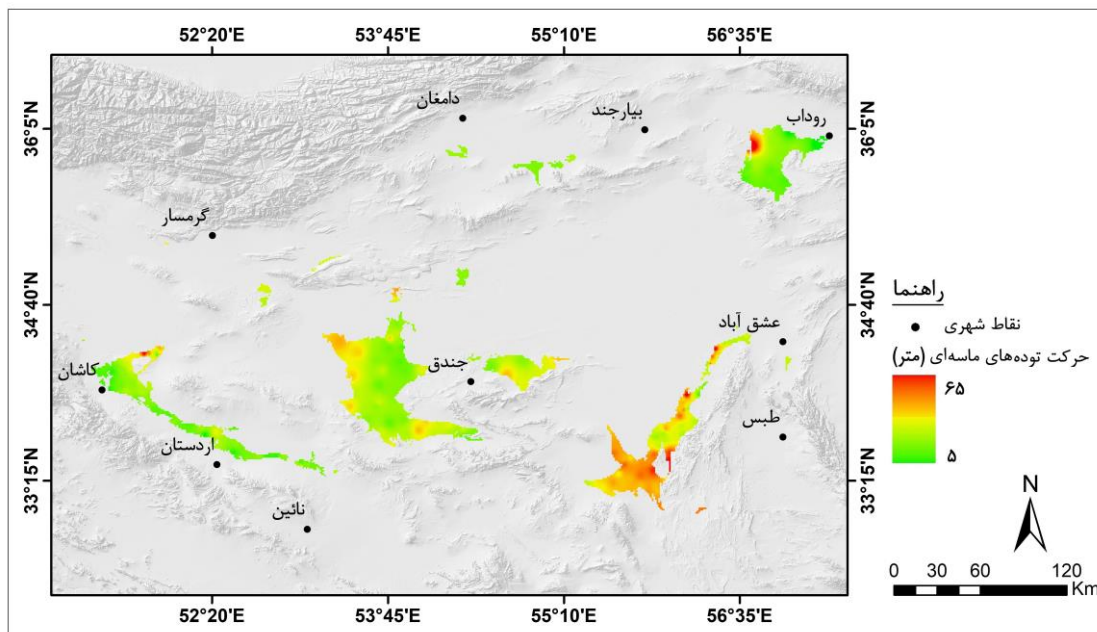


شکل ۵: نقشه طبقه‌بندی ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله بر اساس وضعیت فعالیت

- پایش تغییرات ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله
 به منظور پایش میزان حرکت توده‌های ماسه‌ای در ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله از ۲۰۳ نقطه نمونه استفاده شده است (شکل ۶) و سپس با استفاده از روش درونیابی IDW، نقشه میزان حرکت توده‌های ماسه‌ای ریگزارهای مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۷). بر اساس نقشه تهیه شده، توده‌های ماسه‌ای منطقه بین ۵ تا ۶۵ متر (در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰) حرکت داشته است که بیش‌ترین میزان حرکت با بیش از ۶۰ متر، مربوط به توده‌های ماسه‌ای جنوب ریگ شتری بوده است. همچنین کم‌ترین میزان حرکت نیز با حدود ۵ متر مربوط به توده‌های ماسه‌ای اطراف کاشان بوده است.

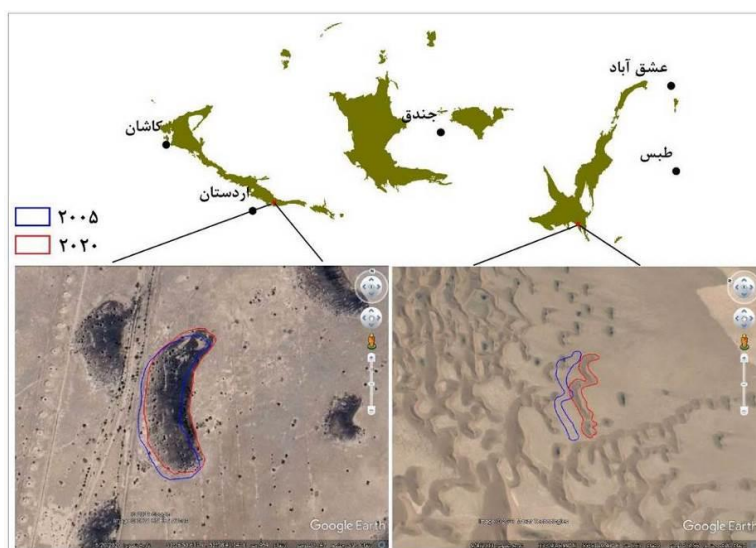


شکل ۶: نقشه موقعیت نقاط نمونه برداری در ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله



شکل ۷: نقشه میزان حرکت توده‌های ماسه‌ای در ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

بررسی وضعیت حرکت توده‌های ماسه‌ای بیانگر این است که به دلیل تنوع در وضعیت مورفولوژی، خصوصیات باد و همچنین وجود تنوع وجود پوشش گیاهی تثبیت‌کننده در مجاور توده‌های ماسه‌ای، میزان حرکت در مناطق مختلف ریگزارهای مورد مطالعه متفاوت بوده است. در این بخش دو نمونه از حرکات تپه‌های ماسه‌ای در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله، تپه ماسه‌ای واقع شده در جنوب ریگ شتری در طی دوره زمانی ۱۵ ساله حدود ۴۷ متر حرکت داشته است و تپه ماسه‌ای واقع شده در بند ریگ کاشان نیز حدود ۱۲ متر حرکت داشته است (شکل ۸).



شکل ۸: محدوده تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰

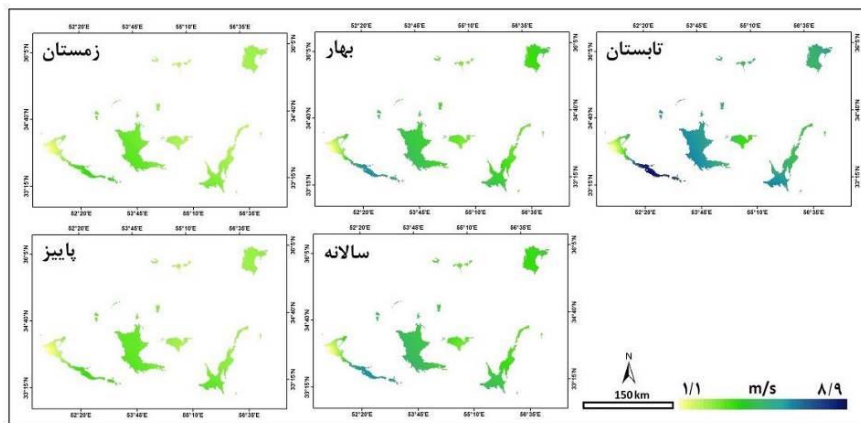
- آنالیز وضعیت بادهای منطقه و تاثیرات آن بر ریگزارها

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت دینامیک ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله، از اطلاعات ۱۲ ایستگاه هواشناسی مجاور این ریگ استفاده شده است. بررسی موقعیت ایستگاه‌ها بیانگر این است که ایستگاه‌های سلفچگان، کهک، کاشان، اردستان، عقدا، رباط پشت بادام، طبس، خور و بیابانک، کاشمر، سبزوار، شاهرود، سمنان در مجاورت ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله قرار دارند که در ادامه به تشریح وضعیت سرعت و جهت بادهای این ایستگاه‌ها پرداخته شده است.

الف) سرعت باد: نتایج بررسی میانگین فصلی سرعت باد ایستگاه‌های مورد مطالعه بیانگر این است که در فصل زمستان میانگین سرعت باد بین ۱/۷ تا ۶/۶ متر بر ثانیه، در فصل بهار بین ۲/۱ تا ۸/۵ متر بر ثانیه، در فصل تابستان بین ۱/۵ تا ۸/۹ متر بر ثانیه، در فصل پاییز بین ۱/۱ تا ۵/۳ متر بر ثانیه و میانگین سرعت باد سالانه نیز بین ۱/۷ تا ۷/۴ متر بر ثانیه بوده است (جدول ۵). بررسی پراکنش مکانی سرعت باد در نقشه‌های مذکور بیانگر این است که بیشترین میزان سرعت در بخش‌های جنوبی ریگزارها شتری و بند ریگ کاشان بوده است و کمترین میزان آن نیز مربوط به شمال شرقی این ریگزار بوده است (شکل ۹).

جدول ۵: سرعت باد فصلی و سالانه ایستگاه‌های مجاور ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

ردیف	ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه	درصد باد بیش از ۶/۲ متر بر ثانیه
۱	سلفچگان	۹/۷	۹/۸	۹/۱	۶/۵	۸/۸	۶۷/۸
۲	کهک	۹/۵	۱۱/۲	۱۱/۲	۷/۸	۱۰/۱	۸۵/۱
۳	کاشان	۱/۷	۲/۱	۱/۵	۱/۱	۱/۷	۴/۶
۴	اردستان	۶/۵	۸/۶	۹	۵/۳	۷/۵	۵۷
۵	عقدا	۹	۸/۱	۸/۱	۶/۷	۸	۷۲/۳
۶	رباط پشت بادام	۵/۲	۶/۵	۶/۹	۴/۷	۵/۹	۶۳/۳
۷	طبس	۲/۸	۳/۹	۴/۱	۲/۸	۳/۶	۱۲/۷
۸	خور و بیابانک	۳/۵	۴/۱	۳/۵	۲/۸	۳/۶	۱۲/۱
۹	کاشمر	۲/۷	۳/۱	۲/۷	۲/۲	۲/۸	۵/۵
۱۰	سبزوار	۴/۶	۶/۵	۶/۵	۳/۷	۵/۴	۳۳/۸
۱۱	شاهرود	۲/۸	۳/۷	۴/۷	۲/۲	۳/۶	۱۳/۳
۱۲	سمنان	۵	۵/۸	۶/۶	۵/۱	۵/۶	۳۰/۹



شکل ۹: نقشه درونیابی سرعت باد در محدوده ریگزارهای اطراف دشت کویر و چاله مسیله

ب) سرعت باد و تداوم آن: با توجه به اینکه سرعت و تداوم سرعت باد به عنوان عامل اصلی در حرکت توده‌های ماسه‌ای محسوب می‌شود، در این بخش به بررسی وضعیت بادهای با سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه (سرعت آستانه فرسایش بادی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شده است (جدول ۶). بر اساس نتایج حاصله، در ایستگاه سلفچگان $67/8$ درصد از بادهای دارای سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه هستند که این میزان در ایستگاه کهک $85/1$ ، در ایستگاه کاشان $4/6$ ، در ایستگاه اردستان 57 ، در ایستگاه عقدا $72/3$ ، در ایستگاه رباط پشت بادام $63/3$ ، در ایستگاه طبس $12/7$ ، در ایستگاه خور و بیابانک، در ایستگاه کاشمر $5/5$ ، در ایستگاه سبزوار $33/8$ ، در ایستگاه شاهرود $13/3$ و در ایستگاه سمنان $30/9$ درصد بوده است. بررسی وضعیت میانگین تعداد روزهای باد با سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه بیانگر این است که بیش‌ترین تعداد این نوع باد با 309 روز در سال مربوط به ایستگاه کهک بوده است و کم‌ترین آن نیز با 6 روز در سال مربوط به ایستگاه کاشان بوده است. همچنین بالاترین سرعت باد ثبت شده در منطقه با $28/4$ متر بر ثانیه مربوط به ایستگاه اردستان بوده است.

جدول ۶: محاسبه سرعت آستانه باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	درصد باد بیش از $6/2$ متر بر ثانیه	میانگین سالانه تعداد روزهای با سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه	بالاترین سرعت باد در طی دوره زمانی مورد مطالعه
۱	سلفچگان	$67/8$	۲۴۲	$28/2$
۲	کهک	$85/1$	۳۰۹	۲۸
۳	کاشان	$4/6$	۶	$14/5$
۴	اردستان	57	۲۰۳	$28/4$
۵	عقدا	$72/3$	۲۶۱	$22/6$
۶	رباط پشت بادام	$63/3$	$8/3$	۱۹
۷	طبس	$12/7$	$36/5$	$15/3$
۸	خور و بیابانک	$12/1$	۳۴	$15/5$
۹	کاشمر	$5/5$	۹	$15/5$
۱۰	سبزوار	$33/8$	$115/8$	$19/4$
۱۱	شاهرود	$13/3$	$38/5$	$16/3$
۱۲	سمنان	$30/9$	$104/8$	$22/8$

- تحلیل ارتباط بین ویژگی‌های سرعت و جهت غالب باد و توده‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه دارای ریگزارهای کوچک و بزرگ زیادی است. این ریگزارها نیز همانند ریگزارهای بخش مرکزی به دلیل تفاوت در شرایط محیطی حاکم بر منطقه، دارای تنوع اشکال زیادی است. بررسی وضعیت باد و شاخص‌های مختلف آن در ایستگاه‌های مجاور این ریگزار نشان داده است که وضعیت سرعت و جهت غالب باد در مناطق مختلف این ریگزارها متفاوت است که این مسئله در کنار تفاوت وضعیت ژئومورفولوژی و هیدرواقليمی و همچنین دخالت عوامل انسانی سبب شده تا علاوه بر تنوع توده‌های ماسه‌ای، عوامل موثر بر ریگزارهای منطقه متفاوت باشد. بررسی وضعیت خصوصیات بادهای منطقه بیانگر این است بیش‌ترین میزان سرعت باد مربوط به مناطق جنوبی ریگ‌های جن و بند ریگ کاشان بوده است و با توجه به اینکه در این مناطق نیز بیش‌ترین میزان جابجایی توده‌های ماسه‌ای رخ داده است، بنابراین بین سرعت باد و میزان جابجایی توده‌های ماسه‌ای در این منطقه ارتباط معناداری وجود دارد.

در این پژوهش همچنین به منظور ارزیابی رابطه بین میزان حرکت توده‌های ماسه‌ای و همچنین خصوصیات باد منطقه، ضریب همبستگی بین آن‌ها در طی دوره‌های زمانی مختلف محاسبه شده است (جدول ۸). بر اساس نتایج بدست آمده، میزان همبستگی بین حرکت توده‌های ماسه‌ای با سرعت باد سالانه ۰/۳۵۹ بوده است و از نظر همبستگی فصلی بالاترین همبستگی با ضریب ۰/۳۸۸ مربوط به فصل پاییز بوده است. با توجه به نتایج حاصله، بین حرکت توده‌های ماسه‌ای و سرعت بادهای منطقه، ارتباط زیاد قوی وجود ندارد که دلیل اصلی آن وضعیت مورفولوژی و پوشش گیاهی بوده است به طوری که بعضی از مناطق مانند مناطق جنوبی بند ریگ کاشان دارای بالاترین میانگین سرعت باد است ولی به دلیل تثبیت توده‌های ماسه‌ای توسط پوشش گیاهی، دارای میزان حرکت کم‌تری نسبت به سایر مناطق بوده است و همین مسئله سبب شده تا در این منطقه بین حرکت توده‌های ماسه‌ای و سرعت باد، ارتباط قوی وجود نداشته باشد.

جدول ۸: نتایج ارزیابی ضریب همبستگی بین سرعت باد و حرکت توده‌های ماسه‌ای

دوره	همبستگی بین حرکت توده‌های ماسه‌ای و سرعت باد
زمستان	۰/۳۴۳
بهار	۰/۲۷۹
تابستان	۰/۳۰۴
پاییز	۰/۳۸۸
سالانه	۰/۳۵۹

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داده است که در محدوده اطراف دشت کویر و چاله مسیله ریگزارهای کوچک و بزرگ زیادی وجود دارد که مجموع مساحت آن‌ها ۱۳۰۸۱ کیلومترمربع است. با توجه به وسعت زیاد، تنوع توپوگرافی و جهات غالب بادهای منطقه، ریگزارهای مورد مطالعه همانند ریگ زرین (Sharifi Paichoon et al, 2020) و ریگ جوان جنوب شرقی قم (Mashhadi, 2024) از توده‌های ماسه‌ای متنوعی تشکیل شده است و با توجه به تنوع مورفولوژیکی توده‌های ماسه‌ای و همچنین فعالیت‌های انسانی، میزان جابجایی و تغییرات توده‌های ماسه‌ای در مناطق مختلف متفاوت بوده است. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که تاثیرات متقابل ریگزارها و

فعالیت‌های انسانی در مناطق مختلف متفاوت بوده است. در واقع، در بخش‌هایی از محدوده از جمله در مناطق جنوبی توده‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان، فعالیت‌های انسانی شامل تثبیت توده‌های ماسه‌ای توسط پوشش گیاهی مانع از حرکت توده‌های ماسه‌ای شده است و این مسئله سبب شده است تا بین وضعیت سرعت و جهت بادهای منطقه با میزان جابجایی توده‌های ماسه‌ای، ارتباط معناداری وجود نداشته باشد که بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های انسانی منطقه، نقش موثر در تثبیت توده‌های ماسه‌ای منطقه داشته است. همچنین در بخش‌هایی از محدوده از جمله در مناطق جنوبی ریگ شتری، میزان حرکت توده‌های ماسه‌ای بیش از ۶۰ متر در طول ۱۵ سال بوده است که این مسئله بیانگر تاثیر سرعت و تداوم سرعت بادهای منطقه، نبود موانع توپوگرافی و عدم تثبیت توده‌های ماسه‌ای است. مجموع نتایج این تحقیق نشان داده است که توده‌های ماسه‌ای منطقه از نظر مورفولوژی دارای تنوع زیادی هستند که می‌توانند در اهداف مختلف از جمله اهداف توسعه گردشگری مورد استفاده قرار گیرند. همچنین حدود ۷۸ درصد از آن‌ها از نظر دینامیکی نیز دارای وضعیت فعالی هستند و با توجه به اینکه بعضی از آن‌ها از جمله توده‌های ماسه‌ای مناطق شمالی بندریگ کاشان و مناطق جنوبی ریگ شتری در نزدیکی نقاط جمعیتی هستند، می‌تواند باعث تخریب اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌های انسان‌ساخت شوند، بنابراین لازم است تا اقدامات لازم از جمله تثبیت آن‌ها با استفاده از پوشش گیاهی صورت گیرد.

منابع

- شرفی پیچون، محمد؛ امیدوار، کمال؛ میری، زینب. (۱۳۹۹). بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و انطباق آن با داده‌های باد در منطقه ریگ زرین. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۸ (۱)، ۱-۲۷.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1399.8.1.1.6>
- لرستانی، قاسم؛ شهریار، علی. (۱۴۰۱). ارزیابی دینامیک برخان‌های بند ریگ کاشان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱۰ (۱)، ۱-۱۸.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1401.10.1.1.0>
- مشهدی، ناصر. (۱۴۰۳). مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای و الگوهای باد (مطالعه موردی: ارگ جدید و جوان جنوب شرق قم). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳ (۱)، ۳۱۷-۳۳۸.
<https://doi.org/10.22067/geoh.2022.76706.1227>
- مقصودی، مهران؛ فتح‌اله‌زاده، محمد؛ گنجائیان، حمید. (۱۴۰۰). پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابجایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت. سپهر، ۳۰ (۱۱۸)، ۱۲۶-۱۱۳.
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.246137>
- مقصودی، مهران؛ قوجه‌زاده هلانی، ابوالفضل؛ الله‌ویسی، آریب و براتی، زینب. (۱۴۰۳). مطالعه مورفولوژی و تغییرات مکانی ریگ‌های آذربایجان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل بادهای فرساینده (مطالعه موردی: ریگ قوم‌تپه و مقصدلو). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۵ (۵۷)، ۱-۲۲.
<https://doi.org/10.22034/jargs.2024.403993.1044>
- مقصودی، مهران؛ گراوند، فاطمه؛ عبدی‌نژاد، بایرامعلی؛ پیرانی، پریسا. (۱۳۹۹). پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه بادسنجی نمونه پژوهش: محدوده ریگ زهک در شرق دشت سیستان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۱ (۳)، ۱۴۸-۱۳۱.
<https://doi.org/10.22108/gep.2020.123597.1317>
- Dammala, P.K., Kolli, S., Garaga, R., Reddy, K.R., & Kumar, P. 2025. Aeolian sand dune fixation – critical review of measures, challenges and future perspectives with a case study on Thar Desert. CATENA, 250. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108786>
- Daniell, J., & Hughes, M. 2007. The morphology of barchan-shaped sand banks from western Torres Strait. Northern Australia. Sedimentary Geology, 202, 638-652.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.07.007>
- Fryberger, S.G. 1979. Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), A Study of Global Sand Seas. Geological Survey Professional Paper, 137-169.
<https://www.researchgate.net/publication/349216893>
- Ge, M., Li, F., Ma, J., Yu, F., & Cui, L. 2025. An automatic method for extracting sand dunes based on slope cost distance from digital elevation models. Advances in Space Research, 75(1), 248-263. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.09.034>
- Guan, C., Hasi, E., & Tang, K. 2025. Grain size characteristics of the reticulate dunes of the Hobq Desert. Arid Environments, 226. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105279>
- Hermas, E., Leprince, S., & El-Magd, I.A. 2012. Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. Remote Sensing of Environment, 121, 51-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.002>
- Lancaster, N. 1983. Controls of dune morphology in the Namib sand sea. Sage Journals, 13 (1). <https://www.researchgate.net/publication/237080660>
- Lancaster, N. 1995. The Geomorphology of Desert Dunes. Routledge, London, 290 P.
<http://dx.doi.org/10.4324/9780203413128>
- Lancaster, N. 2009. Dune morphology and dynamics. In: Parsons A J, Abrahams AD (eds) Geomorphology of desert environments. Springer, 824 P. https://10.0.3.239/978-1-4020-5719-9_18
- Lojestani, G., & Shahriar, A. 2022. Dynamic Evaluation of Barchans in Band-e-Rig Kashan in the Period 2013 to 2019. The Journal of Geographical Research on Desert Areas, 10(1), 1-18.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1401.10.1.1.0> [In Persian]
- Ma, F., Lu, P., Cao, M., Yu, J., & Xia, Z. 2024. Morphological and sedimentary characteristics of raked linear dunes in the southeastern Taklimakan Desert, China. Aeolian Research, 67-69.
<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2024.100923>

- Maghsoudi, M., Fathollahzadeh, M., & Ganjaeian, H. 2021. Monitoring changes in windspeed and their effect on the displacement of sand dunes in the Lut Desert. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(118), 113-126. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.246137> [In Persian]
- Maghsoudi, M., Garavand, F., Abdinejad, B., & Pirani, P. 2020. Monitoring sand dune changes by analyzing satellite images and anemometer station data. Research sample: Zehak sand dune area in the east of Sistan plain. *Geography and Environmental Planning*, 31(3), 148-131. <https://doi.org/10.22108/gep.2020.123597.1317> [In Persian]
- Maghsoudi, M., Ghojehzadeh Helani, A., Allahveisi, A., & Barati, Z. 2024. Study of morphology and spatial changes of sand dunes in Azerbaijan using satellite images and analysis of erosive winds (case study: Qom-Tepéh and Maghsoudlo sand dunes). *Geographical Studies of Arid Regions*, 15 (57), 22-1. <https://doi.org/10.22034/jargs.2024.403993.1044> [In Persian]
- Maghsoudi, M., Navidfar, A., & Mohammadian, A. 2017. The sand dunes migration patterns in Mesr Erg region using satellite imagery analysis and wind data. *Natural Environment Change*, 3(1), 33-43. <https://doi.org/10.22059/jnec.2017.225011.62>
- Mainguet, M. 1984. A classification of dunes based on aeolian dynamics and the sand budget. In: El-Baz, F. (ed.), *Deserts and Arid Lands*. Martinus Nijhoff Publishers the Hague, 31-58. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-6080-0_2
- Mashhadi, N. 2024. Morphodynamics of sand dunes and wind patterns (Case study: New and Young Citadel of Southeast Qom). *Geography and Environmental Hazards*, 13 (1), 338-317. <https://doi.org/10.22067/geoh.2022.76706.1227> [In Persian]
- Qian, G., Yang, Z., Xuegang, X., Dong, Z., & Guo, Y. 2024. Seasonal morphological evolution and migration of granule ripples in the Sanlongsha Dune Field, northern Kumtagh Sand Sea, China. *Geomorphology*, 444. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108951>
- Sharifi Paichoon, M., Omidvar, K., & Miri, Z. 2020. Morphological study of the sand dunes in Zarrin Erg and its adaptation to the regional wind data. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(1), 1-27. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1399.8.1.1.6> [In Persian]
- Sparavigna, A.C. 2013. A Study of Moving Sand Dunes by Means of Satellite Images. *International Journal of Sciences* 2, 33-42. <https://doi.org/10.18483/ijSci.229>
- Taniguchi, K., Endo, N., & Sekiguchi, H. 2012. The effect of periodic changes in wind direction on the deformation and morphology of isolated sand dunes based on flume experiments and field data from the Western Sahara. *Geomorphology*, 179 (15), 286-299. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.019>
- Wasson, R. J., & Hyde, R. 1983. Factors Determining Desert Dune Type. *Nature*, 304, 337- 339. <http://dx.doi.org/10.1038/304337a0>