

تأثیر وزش همگرای بادها در مورفولوژی و استقرار ریگ‌های پیرامون دشت کویر

مجتبی یمانی*، استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

چکیده

دشت کویر با شرایط اقلیمی بسیار خشک، قلمرو وسیعی را در ایران مرکزی پوشش می‌دهد. توپوگرافی نسبتاً هموار و پست و خشکی محیط موجب تسلط فرسایش و نقل و انتقال بادی در این قلمرو شده است. انباشت توده‌های بزرگی از ماسه‌های بادی شامل ریگ‌های جن، سرگردان، خارتوران و چاه جم مشخص‌ترین اشکال ناهمواری در این منطقه است. این توده‌های ماسه‌ای الگوی حلقوی ناپیوسته‌ای را به دور دشت کویر تشکیل داده‌اند. به نظر می‌رسد حلقوی بودن آن‌ها نتیجه راستای چرخشی وزش بادها در این قلمروست. به عنوان فرضیه، این چرخش حلقوی تسلط سامانه‌ای حرارتی را در مرکز دشت کویر بازسازی می‌کند. هدف بررسی علل استقرار این ریگ‌ها و مورفولوژی خاص آن‌هاست. تکنیک پژوهش مقایسه مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای به عنوان شاخصی برای تعیین جهت وزش باد غالب از طریق ابزارهای مشاهده غیرمستقیم بوده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و گلبادهای منطقه، نشانگر وجود راستای همگرای وزش باد نسبت به مرکز دشت کویر است. همچنین، تصویر فضایی مورفولوژی این ریگ‌ها الگویی را ارائه می‌کند که از طریق آن می‌توان موقعیت سامانه کم‌فشار همرفتی گسترده را بر بخش مرکزی دشت کویر بازسازی کرد. انطباق این سامانه کم‌فشار محلی موجب مکان‌گزینی این توده‌های ماسه‌ای به صورت هاله‌ای به دور این دشت شده است.

کلیدواژه‌ها: توده ماسه‌ای، دشت کویر، ریگ، سامانه همرفتی، فرسایش بادی.

مقدمه

در مناطق بیابانی، دمای بالا و خشکی محیط دو عامل محدودکننده رشد و گسترش گیاهان به شمار می‌روند (مانیک، ۱۹۸۴: ۱۵۱). تحت این شرایط، باد به مهم‌ترین عامل مؤثر در فرسایش و جابه‌جایی مواد در این مناطق تبدیل می‌شود (احمدی، ۱۳۷۷: ۳۳). در حال حاضر، حدود ۳۶ درصد سطح خشکی‌های زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته که ۱۹ درصد از این سطوح کاملاً خشک و فاقد حیات گیاهی است. در کشور ایران نیز بین یک‌سوم تا یک‌چهارم سطوح خشک ایران با ماسه‌های روان پوشیده شده است (اختصاصی، ۱۳۷۵: ۹۷). تخمین زده می‌شود که هر ساله بر اثر فرسایش خاک ۵۰۰ میلیون تن غبار تولید و در هوا پراکنده می‌شود (معتد، ۱۳۷۰: ۱۷۱). در ایران نیز حدود دوسوم از وسعت آن در قلمرو مناطق خشک واقع شده است (مقصودی، ۱۳۸۵: ۱۴۹). شرایط خشک و فراخشک حاکم بر بخش وسیعی از ایران با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر در سال موجب شده است که حدود ۸۰ میلیون هکتار از مساحت ایران را مناطق کویری، تپه‌های ماسه‌ای و مناطقی با پوشش گیاهی ناچیز بیوشاند (رفاهی، ۱۳۸۴: ۸).

در این پژوهش، دشت کویر مطالعه موردی انتخاب شده است. چنانچه نقشه زمین‌شناسی ایران و بخش مرکزی دشت کویر بررسی شود، بیش از چهار توده بزرگ ماسه‌ای با عنوان ریگ‌های جن، سرگردان (شتری یا حلوان)، خارتوران

و چاه جم در پیرامون آن دیده می‌شود. این توده‌های بزرگ ماسه‌ای الگوی خاصی را نشان می‌دهند، به طوری که همگی تقریباً به صورت حلقه‌ای نامنظم در پیرامون دشت کویر استقرار یافته‌اند. مورفولوژی حلقوی آن‌ها به گونه‌ای است که چرخش آن‌ها را به دور دشت کویر در ذهن تداعی می‌کند. آنچه مهم است تاکنون مکان‌گزینی این توده‌های ماسه‌ای را عامل توپوگرافی و بادپناهی عوارض موجود در اطراف دشت کویر عنوان کرده‌اند. لیکن کشیدگی و انحناهای این توده‌های ماسه‌ای و از طرفی موقعیت نسبی آن‌ها با عوارض یادشده انطباقی نشان نمی‌دهد. بر این اساس این سؤال مطرح می‌شود که مکان‌گزینی دایره‌ای و متمرکز توده‌های ریگ مستقر در حاشیه دشت کویر نتیجه کدام عوامل است و الگوی وزش بادهای در سطح دشت کویر چه ارتباطی را با مکان‌گزینی این توده‌های ریگ در سطح دشت کویر نشان می‌دهد؟ در پاسخ به این سؤال، به طور اجمال، مشاهدات مقدماتی و غیرمستقیم این ایده را در ذهن تداعی می‌کند که پراکندگی و توزیع مکانی توده‌های ریگ محدوده دشت کویر علاوه بر توپوگرافی عمدتاً از سیستم‌های فشار محلی تأثیر پذیرفته‌اند. توزیع و مورفولوژی این ریگ‌ها در پیرامون دشت کویر نتیجه وزش همگرای بادهای، تحت تأثیر تسلط سامانه کم‌فشار حرارتی در طول دوره گرم سال است. این موضوع فرضیه اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهد.

می‌توان پیشینه مطالعات در مورد فرسایش را در سه گروه عمده طبقه‌بندی کرد. گروه اول مطالعاتی در مورد منشأیابی ماسه‌های بادی است. از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیق معتمد (۱۳۶۷: ۱۶) با عنوان «بررسی منشأ و نحوه انتشار ماسه‌ها در حوزه شمال کاشان و بررسی مورفولوژی عمومی تپه‌های ماسه‌ای در این ناحیه» اشاره کرد. معتمد (۱۳۷۰: ۱۷۴) با استفاده از مطالعات مربوط به کانی‌شناسی و مقایسه عکس‌های هوایی در منطقه یزد-اردکان، به منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای این منطقه پرداخت. وی منشأ تپه‌های ماسه‌ای را به زمین‌های زراعی، سنگ‌های آذرین همچون سیل و دایک و رسوبات تبخیری گذشته در منطقه نسبت داد.

گروه دوم مطالعات، در خصوص رسوب‌شناسی و مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای است، از جمله تحقیقات توماس (۱۹۸۸: ۵۴۹) در بیابان کالاهاری، تحقیقات ویلسون و همکاران (۱۹۷۱: ۲۰۲) در بیابان تهران هندوستان، تحقیقات گوانگ و همکاران (۲۰۰۴: ۱۲۱) در مورد منشأ تپه‌های ماسه‌ای بر اساس دانه‌سنجی ماسه‌ها، لانکاستر (۱۹۸۹: ۳۵) در مورد ماسه‌های بادی بیابان نامیب، بورک و همکاران (۲۰۰۹: ۱۵۲) در مورد حرکت تپه‌های ماسه‌ای در دره ویکتوریا، محمودی (۱۳۸۱: ۱۵۰) در مورد ریگزارهای ایران، و قانعی بافقی و یاراحمدی (۱۳۸۹: ۵۴) در مورد ویژگی‌های رسوب‌شناسی ماسه‌های بادی منطقه حسن‌آباد بافق. بعد از اولین تحقیقات انجام شده در ارتباط با پارامترهای مربوط به اندازه ذرات ماسه در دهه ۱۹۳۰، در دهه‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفت. بیشتر این تحقیقات به منظور درک ویژگی‌های ذرات ماسه مثل درشتی و ریز بودن ماسه‌ها انجام شده است (فولک، ۱۹۷۱: ۳۲). اما به‌طور کلی، اولین مطالعات جدی در ارتباط با تپه‌های ماسه‌ای مربوط به بگنولد (۱۹۴۱: ۱۵۴) است. وی نشان داد که اشکال تپه‌های ماسه‌ای اعم از عوارض خیلی سطحی و کوچک تا عوارض خیلی مرتفع، تحت تأثیر قطر ذرات و شرایط حاکم بر باد آن ناحیه است و از آنجا که مورفولوژی و رفتار تپه‌های ماسه‌ای با یکدیگر شباهت دارند، در این زمینه می‌توان از مدل‌های مختلف استفاده کرد.

در خصوص ایران مرکزی نیز موسوی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۱۲) را می‌توان نام برد که به بررسی مدل‌های آماری مربوط به پارامترهای مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای برخانی در ریگ چاه جم سمنان پرداختند. آن‌ها با شناخت اقلیم منطقه و روش‌های اندازه‌گیری کمی مدل‌های آماری، ارتباط بین پارامترهای مورفومتری و مورفودینامیکی تپه‌های برخانی در ریگ چاه جم را مطالعه کردند. سپس، با استفاده از مدل‌های ریاضی و روش‌های آماری به توصیف ویژگی‌های مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای برخانی با توجه به ویژگی‌های اقلیم حاکم بر منطقه پرداختند.

سرانجام، گروه سوم مطالعاتی را شامل می‌شود که عمدتاً تأثیر ویژگی‌های باد را در نقل و انتقال و تشکیل انباشت‌های بادی بررسی می‌کند، از جمله آن‌ها پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۰۲: ۱۸۶) است که به بررسی محیط‌های تحت سیطره انرژی بادی و میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در سواحل چین در دهه ۹۰ میلادی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تپه‌های ماسه‌ای در بیشتر بیابان‌های این منطقه، تحت تأثیر رژیم‌های بادی ضعیف توسعه و کنترل می‌شود. اگرچه مورفولوژی بیشتر تپه‌های ماسه‌ای متقاطع منطقه تحت تأثیر رژیم بادی است، ولی در بعضی نقاط ارتباط نزدیکی بین مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و جهت بادهای منطقه وجود ندارد، بلکه عوامل کنترل‌کننده دیگری در این امر نقش دارند.

مشهدی و همکاران (۲۰۰۷: ۷۲) در ریگ خارتوران، با استفاده از اطلاعات حاصل از جهت باد حاکم بر منطقه و دانه‌بندی ماسه‌ها، به منشأیابی ماسه پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل‌های ریاضی ارتباط بین مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و جهت باد را مشخص کردند، به طوری که جهت باد غالب را شمال شرقی - جنوب غربی و جهت باد شدید منطقه را به صورت بادهای شمالی - جنوبی برآورد کردند که مورفولوژی و مسیر تپه‌های برخانی نیز مؤید جهت باد غالب در منطقه بود. یمانی (۱۳۷۹: ۱۲۵) با دانه‌سنجی ۴۲ نمونه ماسه و مقایسه ارتباط بین قطر ذرات ماسه و سرعت‌های آستانه باد، به بررسی ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه بند ریگ کاشان پرداخت. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که قطر ذرات ماسه در محور شرقی بند ریگ درشت‌تر از آستانه بادهای ثبت شده در ایستگاه کاشان بود و نسبت به ذرات ماسه در حاشیه غربی و جنوب غربی انسجام کمتری داشت. یمانی، در تحقیق دیگری، به بررسی نقش سلول‌های کم‌فشار محلی در استقرار بند ریگ بلند کاشان پرداخت. وی علاوه بر باد و عامل توپوگرافی، عامل اصلی تشکیل تپه‌های ماسه‌ای این منطقه را به وجود سلول کم‌فشار محلی در دوره گرم سال، در قسمت جنوبی دریاچه مسیله مربوط دانست و مهم‌ترین دلیل این امر را انطباق مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در راستای خطوط گرادیان فشار، نسبت به نقطه مرکزی در این منطقه دانست و وجود این سلول کم‌فشار ترمال را عامل همگرایی بادهای اطراف و تجمع ماسه در این منطقه عنوان کرد (یمانی، ۱۳۸۱: ۸۱).

علاوه بر کارهای مورد اشاره، پژوهش‌هایی است که از دیدگاه شناخت ویژگی‌های محیطی انجام شده است، نظیر پژوهشی که بوبک (۱۹۵۹) در معرفی ویژگی‌های دشت کویر و مسیله انجام داد. همچنین، مطالعات بسیار زیادی نیز با اهداف تثبیت ماسه‌های بادی عمدتاً از سوی سازمان‌های مرتبط انجام شده است که زمینه مشترک این پژوهش‌ها بیشتر در سه محور مورد اشاره خلاصه شده‌اند. این پژوهش نیز از دیدگاهی نو به منشأ و ارتباط شرایط اقلیمی و جهت وزش بادها در تمرکز ماسه‌های بادی پرداخته است. اهداف آن نیز در دو محور کلی خلاصه شده است. یکی تعیین جهت وزش بادهای غالب منطقه بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی پیرامون دشت کویر، سپس بررسی ارتباط جهت وزش بادها و مورفولوژی عمومی و تعیین جهت غالب نقل و انتقال ماسه‌های بادی و دوم تعیین عوامل تأثیرگذار در مکان‌گزینی و استقرار توده‌های ماسه‌ای محدوده دشت کویر و بازسازی الگوها و سامانه‌های جوی مؤثر در تحول و استقرار ریگزارها و نقش آن‌ها در مورفولوژی کلی ریگ‌های مورد مطالعه.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌های کتابخانه‌ای را گزارش‌ها و طرح‌های پژوهشی نهادها و سازمان‌های تشکیل داده‌اند. داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی جهت تحلیل باد و الگوهای فشار در سطح زمین استفاده شد. داده‌های مربوط به عکس‌های هوایی و انواع تصاویر ماهواره‌ای جهت تعیین موقعیت ریگزارها و مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای استفاده شد. علاوه بر این بخشی از داده‌ها مستند به کارهای میدانی محدود بوده است. به منظور بررسی، شناخت و تحلیل اقلیم به خصوص باد منطقه، گلبادها برای دوره‌های زمانی مختلف تهیه شده‌اند. همچنین، برای شناخت فشار در سطح زمین نقشه‌های سینوپتیک، به خصوص نقشه‌های ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در محدوده دشت کویر تهیه شد. ابزارهای فیزیکی پژوهش را عمدتاً نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۳۴، و تصاویر ماهواره‌های لندست سنجنده TM، ETM، IRS و تصاویر Google Earth تشکیل داده‌اند.

به منظور شناسایی ریگ‌های محدوده دشت کویر و شناخت تأثیر باد بر تغییرات مورفومتری این ریگزارها، عمدتاً از مشاهده غیرمستقیم آن‌ها از طریق ابزارهای مذکور استفاده شد. برای شناسایی عوارض، تطبیق نقشه‌ها و تصاویر با سطح زمین، ثبت اطلاعات مکانی با GPS اقدام به انجام عملیات صحرایی محدود شده است. از نرم‌افزارهای رایانه‌ای برای تهیه نقشه مقیاس بزرگ منطقه، از نرم‌افزار ENVI برای تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، از نرم‌افزار Freehand برای کارهای گرافیکی و ترسیم نقشه‌ها استفاده شده است. همچنین، از نرم‌افزار Google Earth به طور گسترده برای مشاهده غیرمستقیم موقعیت عوارض استفاده شد.

به منظور تحلیل نقش باد در تحول هر یک از ریگ‌های محدوده دشت کویر ابتدا با استفاده از نرم‌افزار WRplot اقدام به ترسیم گلبادهای سالانه، فصلی و روزانه در هر منطقه و تحلیل تداوم و شدت وزش باد شده است. سپس، داده‌های حاصل از گلبادها با مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه برازش و تطبیق داده شد. از آنجا که نیمرخ نامتقارن

تپه‌های ماسه‌ای و نیز مورفولوژی عمومی آن‌ها تعیین‌کننده جهت وزش بادهای غالب و مؤثر است، بنابراین تکنیک کار پژوهش، تعیین جهت وزش بادهای غالب هر منطقه از طریق بررسی مورفومتری اشکال ماسه‌ای بوده است. در این میان از مورفولوژی برخان‌ها به‌عنوان شاخص‌ترین لندفرم بادی در تعیین جهت بادهای غالب هر توده ماسه‌ای کمک گرفته شده است.

با توجه به نقش فشار به‌عنوان مهم‌ترین عنصر جوی و تأثیر مستقیم آن بر ایجاد، شدت و تغییر جهت باد، مطالعه سیستم‌های جوی و الگوهای فشار در نقشه‌های سینوپتیک اهمیت پیدا می‌کند. از این‌رو، داده‌های مربوط به الگوهای فشار و باد در سه سطح ۸۵۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال اخذ و با استفاده از نرم‌افزار Grads نقشه‌های موجود ترسیم شد. با توجه به نوع الگوهای جوی، نوع سیستم‌های جوی و نقش آن‌ها بر پراکندگی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای شناسایی شده است.

محدوده مورد مطالعه

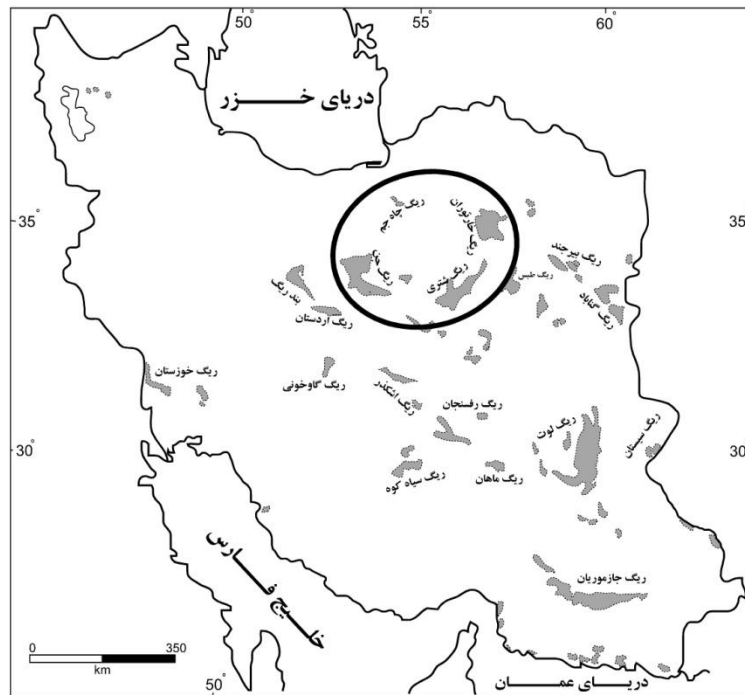
دشت کویر در واحد زمین‌ساختی ایران مرکزی واقع شده است. این محدوده بین ۵۳ تا ۵۸ درجه طول جغرافیایی و ۳۲ تا ۳۶ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد. این دشت در نیمه دوم دوران سوم از رسوبات ضخیم تخریبی و تبخیری انباشته شد، اما به دلیل وجود مقاومت نسبی توده‌های نیمه‌سخت در زیر این رسوبات، حرکات زمین‌ساختی دوران سوم جز انعکاس‌های محدود به‌صورت گسل‌های محلی یا تغییر شکل‌هایی با انحنای بسیار وسیع، تغییر شکل دیگری در آن ایجاد نکرده است (محمودی، ۱۳۶۷: ۲۷). از این رو، توپوگرافی عمومی این دشت نسبتاً هموار و بسیار گسترده است. شرایط اقلیمی بسیار خشک و فقر پوشش گیاهی موجب شده است که فرسایش بادی غلبه یابد و چشم‌انداز ژئومورفولوژیکی آن را شکل بخشد. از مظاهر مشخص فرسایش بادی در این گستره تشکیل چهار توده ماسه‌ای بزرگ (جدول ۱) و نیز سطوح کویری گسترده است. این چهار توده ماسه‌ای به نام ریگ‌های سرگردان، شتری (حلوان)، خارتوران و چاه جم شناخته می‌شوند (شکل ۱).

اقلیم دشت کویر

به طور کلی، جریان گردش عمومی جو حاکم بر منطقه در تابستان تحت تأثیر سیستم پرفشار جنب حاره قرار می‌گیرد که بدین لحاظ میزان بارندگی بسیار کم و ناچیز است. در این منطقه، بارندگی‌ها بیشتر تحت تأثیر عبور سیستم‌های کم‌فشار دینامیکی سرد است که از نواحی شمالی ایران عبور می‌کند. عبور این جریان‌ها از روی شیب‌های شمالی جبال البرز گاهی تا خط‌الرأس حوضه مورد مطالعه کشیده شده و بارش‌هایی را در قسمت‌های شمالی این منطقه سبب می‌شود. در بعضی از موارد جریان‌های گرم و مرطوب موسمی اقیانوس هند در ارتفاعات ۲ تا ۳ کیلومتری از سطح زمین تأثیر می‌گذارد که چنانچه با امواج سامانه‌های کم‌فشار عرض‌های میانی تداخل کند، ضمن ایجاد ناپایداری، رگبارهای تنیدی را به دنبال می‌آورد. در دوره سرد سال نیز که سیستم پرفشار جنب‌حاره‌ای، ایران را به‌سوی عرض‌های جغرافیایی پایین (زیر عرض‌های ۲۰ درجه شمالی) ترک می‌کند، فضای کشور جهت عبور جریان‌های کم‌فشار و پرفشار عرض‌های میانی مدیترانه‌ای مساعد می‌شود. نتیجه این تحولات بارش‌هایی است که در فصل زمستان اتفاق می‌افتد.

جدول ۱. ویژگی‌های ریگ‌های مورد مطالعه

| نام ریگ | موقعیت نسبی | مساحت تقریبی (هکتار) |
|---------------------|------------------------------------|----------------------|
| ریگ جن | در نیمه جنوبی دشت کویر | ۴۵۱۰۰۰ |
| ریگ سرگردان - حلوان | حدافاصل کوهستان‌های خور و طبس | ۲۵۳۰۰۰ |
| ریگ خارتوران | جنوب‌شرقی شاهرود و جنوب‌غرب سبزوار | ۱۷۵۲۰۰ |
| ریگ چاه جم | جنوب شرقی کویر حاج علی‌قلی | ۳۴۰۰ |



شکل ۱. موقعیت ریگ‌های بزرگ دشت کویر

از نظر دما، تابش شدید خورشید در دشت کویر، کم بودن بارش و رطوبت نسبی موجب خشکی گسترده در این منطقه شده است. به خصوص در تابستان، روزها خیلی گرم و شب‌ها تقریباً خنک است. به این ترتیب، اختلاف درجه حرارت در طول شبانه‌روز زیاد است و در مناطق خشک تا ۹۵ درصد تشعشعات خورشید به زمین می‌رسد. تحت تأثیر این شرایط، اختلاف درجه حرارت زیاد بین نقاط مرکزی دشت کویر و حاشیه کوهستانی آن موجب ایجاد اختلاف فشار بین این دو منطقه می‌شود. در نتیجه، ناپایداری شدید همرفتی و وزش بادهای شدید بین دو منطقه را در پی دارد (شهریار، ۱۳۹۲: ۷۵).

ویژگی‌های عمومی باد در دشت کویر

از مهم‌ترین ویژگی‌های باد، جهت و سرعت آن است. با توجه به اینکه مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و میزان تغییر و تحولات آن‌ها ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های باد منطقه از قبیل سرعت و جهت و تغییرات زمانی باد در فصول مختلف دارد و تنها ایستگاه موجود در پهنه دشت کویر، ایستگاه هواشناسی خور است، بنابراین داده‌های باد دوازده ایستگاه هواشناسی در اطراف دشت کویر اخذ و گلبادهای سالانه، فصلی و ماهانه آن‌ها رسم شد. در این میان روی داده‌های سرعت و جهت وزش باد ایستگاه‌های موجود در چهار منطقه خارتوران، چاه جم، حلوان و خور و بیابانک تأکید شده و جهت وزش بادهای غالب به دست آمد، به ویژه بادهایی که از سرعت آستانه لازم برای حمل ماسه برخوردار بودند. برای منطقه خارتوران از داده‌های باد ایستگاه سبزواری و برای باد ریگ چاه جم از آمار ایستگاه شاهرود و برای ریگ سرگردان از آمار باد ایستگاه طبس، سپس برای قسمت جنوبی دشت کویر یعنی محدوده ریگ جن نیز از آمار باد ایستگاه هواشناسی خور استفاده شده است. از آنجا که درج گلبادهای ایستگاه‌های مورد اشاره حجم زیادی را می‌طلبد، برای نمایش نتایج صرفاً به گلبادهای سالانه چهار ایستگاه مذکور در شکل ۶ اکتفا شده است.

یافته‌ها و بحث

تطبیق مورفولوژی ریگ‌ها و بازسازی جهت بادهای غالب از طریق گلبادهای سالانه دشت کویر با توجه به اهمیت نقش باد در تغییرات مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، شناخت نوع باد حاکم بر منطقه در طول سال

وضعیت باد غالب بر منطقه را مشخص می‌کند. از این رو، با استفاده از داده‌های مربوط به سرعت و جهت باد سالانه در ایستگاه‌های مورد نظر، و با استفاده از نرم‌افزار WRPLOT گلبادهای سالانه محدوده دشت کویر، بر اساس داده‌های باد ایستگاه‌های پیرامون آن، به صورت هم‌زمان در روی دشت کویر نشان داده شده است.

وضعیت باد سالانه نشان می‌دهد که جریان باد غالب منطقه به‌طور کلی بر جهت خلاف عقربه‌های ساعت چرخشی را به دور دشت کویر نشان می‌دهد، به طوری که در ایستگاه سبزوار باد غالب با جهت شرقی-غربی می‌وزد و در سمت شمال غربی دشت کویر و ایستگاه‌های شاهرود، سمنان و فیروزکوه به صورت بادهای شمال شرقی-جنوب غربی و شمالی-جنوبی تغییر جهت می‌دهد و در قسمت جنوب و جنوب غربی دشت کویر به شکل بادهای غربی-شرقی مشاهده می‌شود.

تنها منطقه شرق و جنوب شرقی دشت کویر تا حدودی از این سیستم تبعیت نکرده و جهت باد غالب منطقه به صورت بادهای شمالی-جنوبی یا در ایستگاهی مثل خور دارای جهت شمال شرقی-جنوب غربی است. لیکن بررسی‌ها نشان می‌دهد که این بادهای از سرعت‌های آستانه لازم برای حمل و نقل ماسه برخوردار نیست و معمولاً در سرعت‌های زیر آستانه تداوم دارد. سرعت باد در ایستگاه‌هایی مثل سبزوار در شمال شرق دشت کویر نیز در ۲۵ درصد سال بین ۱۷ تا ۲۱ گره و با جهت شرقی است، در حالی که در بیارجمند که باد غالب آن هم جهت با قرارگیری تپه‌های ماسه‌ای خارتوران است، حدود ۴۵ درصد بادهای منطقه دارای سرعتی بیش از ۲۲ گره است. در قسمت شمال غربی دشت کویر و در ایستگاه شاهرود جهت باد غالب، شمال شرقی-جنوب غربی است و از نظر سرعت تقریباً در ۸۵ درصد طول سال بادهایی با سرعت بین ۱۱-۱۷ گره در منطقه حاکم است که نسبت به شمال شرق دشت کویر دارای سرعت کمتری است. شاید یکی از دلایل کوچک بودن ریگ چاه جم در قسمت شمال غربی دشت کویر نسبت به ریگ خارتوران در شمال شرق دشت کویر، قدرت پایین‌تر باد در زمینه نقل و انتقال ماسه در این منطقه باشد.

در قسمت غرب و جنوب غربی دشت کویر یعنی محدوده ریگ جن نیز در بخش شمالی این ریگ جهت قرارگیری تپه‌های ماسه‌ای شمالی-جنوبی است، ولی در قسمت جنوبی ریگ جن، مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای جهت غربی-شرقی را نشان می‌دهد. با مشاهده وضعیت باد غالب در ایستگاه‌های هواشناسی واقع در این منطقه مشاهده می‌شود که جهت قرارگیری ریگزارها در بخش غربی دشت کویر هم جهت با بادهای ایستگاه سمنان یعنی شمالی-جنوبی است و ریگزارهای قسمت جنوبی ریگ جن نیز هم جهت با بادهای ایستگاه‌های این منطقه همچون نائین دارای جهت غربی-شرقی است.

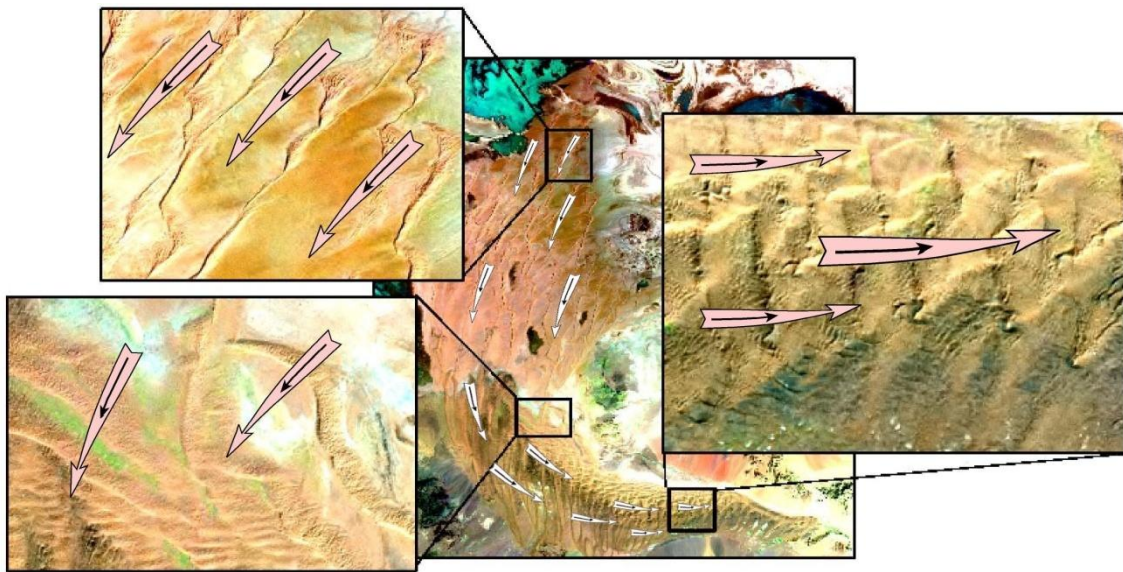
با تطبیق نقشه محدوده دشت کویر و جهت باد غالب سالانه، مشاهده می‌شود که در تمام موارد مورفولوژی کلی ریگزارهای مورد مطالعه با جهت باد غالب سالانه ایستگاه‌ها منطبق است (شکل ۶).

تطبیق مورفولوژی ریگ‌ها و بازسازی جهت بادهای غالب منطقه

از آنجا که نیمرخ عرضی نامتقارن تپه‌های ماسه‌ای تعیین‌کننده جهت وزش باد قالب است، با بررسی تصاویر محدوده دشت کویر، مورفولوژی عمومی ریگ‌ها و تپه‌های ماسه‌ای پیرامون آن‌ها با جهت بادهای غالب تطبیق داده شده است. بدیهی است، وزش بادهای غالب باید سرعت آستانه لازم را برای نقل و انتقال ماسه دارا باشد. از این رو، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده جهت نقل و انتقال‌های ماسه در بالاتر از حد آستانه، مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای موجود در سطح ریگ‌ها و شکل عمومی ریگزارهای مورد مطالعه است. برای این منظور جهت حرکت ماسه در ریگ‌های بررسی به شرح زیر مقایسه شد.

ریگ جن

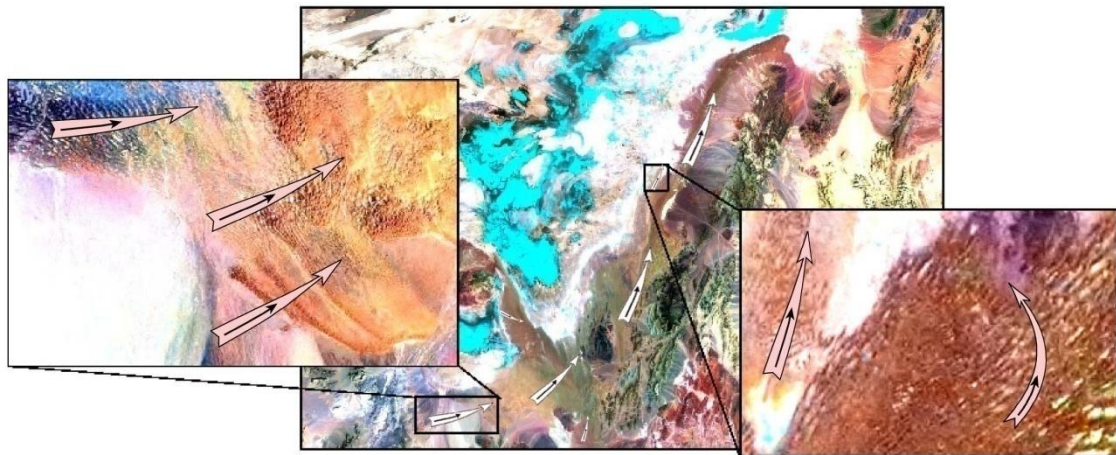
ریگ جن در قسمت جنوب غربی دشت کویر قرار گرفته است. مورفولوژی این ریگ دو روند کلی را نشان می‌دهد. در قسمت غربی ریگ، یعنی از جنوب سمنان تا شمال انارک، تپه‌های ماسه‌ای جهت باد را شمالی نشان می‌دهند. لیکن در بخش جنوبی ریگ، یعنی از انارک تا آبادی چوپانان، جهت باد با پیچش ۹۰ درجه‌ای شرقی می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲. جهت بادهای غالب در شمال ریگ جن شمالی است و به سمت جنوب، غربی می‌شود.

ریگ سرگردان (ریگ حلوان یا ریگ شتری)

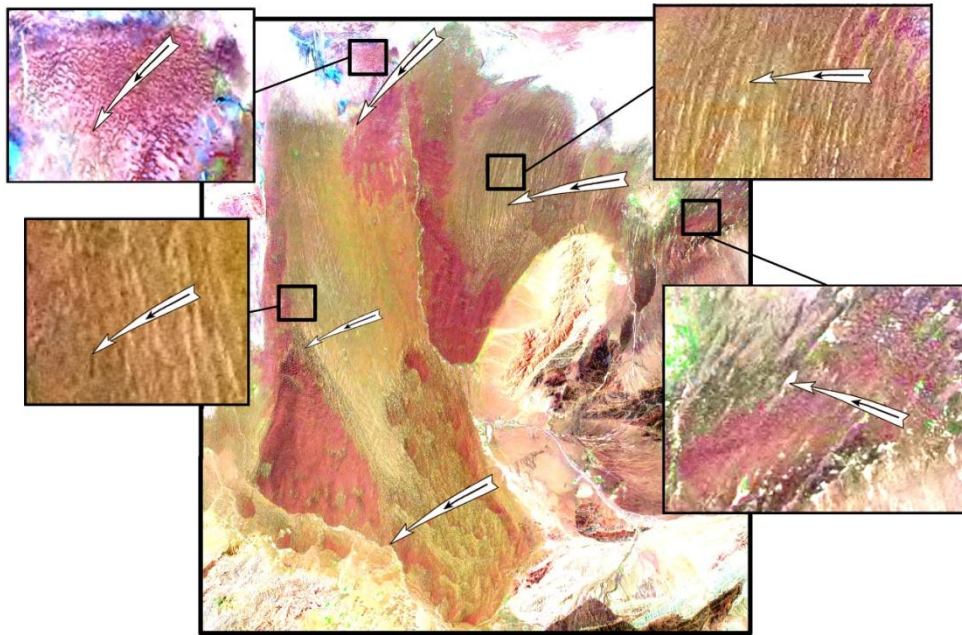
ریگ سرگردان با مساحتی بیش از ۲۵۳ هزار هکتار در بخش جنوب شرقی دشت کویر قرار گرفته و به ارتفاعات شرقی دشت کویر از سمت جنوب و جنوب شرق محدود شده است. جهت‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در ریگ سرگردان از وجود رژیم بادی پیچیده و متغیر در منطقه مورد نظر حکایت دارد. در بخش جنوبی ریگ، نیمرخ تپه‌های ماسه‌ای طولی وزش باد جنوب غربی را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که این جریان در برخورد به ارتفاعات حاشیة شرقی ریگ امتداد شمالی پیدا کرده و موجب شده است این رشته ماسه‌ای به صورت ریگ طویل و باریکی به سمت شمال شرق کشیده شود. فلش‌های ترسیم شده در شکل ۳ جهت بادهای غالب را در این ریگ نشان می‌دهد.



شکل ۳. جهت وزش باد در جنوب ریگ سرگردان غربی و جنوب غربی است، اما به سمت مشرق به سمت شمال تمایل پیدا می‌کند.

ریگ خارتوران

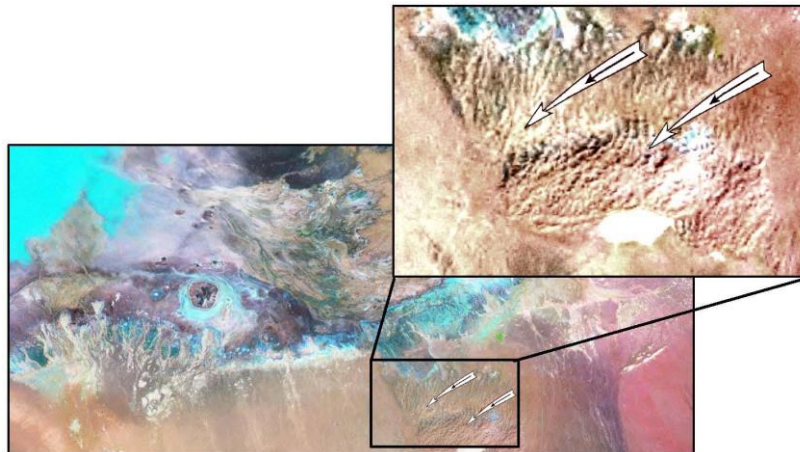
ریگ خارتوران با مساحت ۱۷۵ هزار هکتار در قسمت شمال شرقی دشت کویر واقع شده است. بادهای مؤثر در این ریگ، غالباً جهت شرقی و شمال شرقی را نشان می‌دهند. برخان‌های متراکم در بخش شمالی این ریگ امتداد وزش شرقی باد را نشان می‌دهند. رشته‌های موازی در بخش شرقی ریگ مشخص‌ترین نمونه تپه‌های ماسه‌ای است که با وزش باد شرقی برآزش یافته است (شکل ۴).



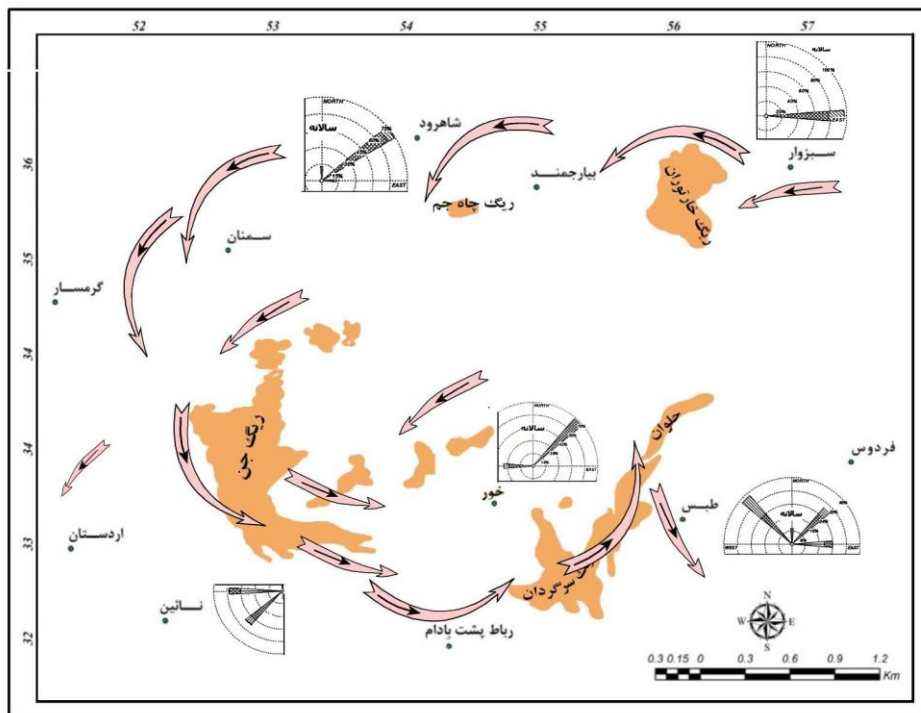
شکل ۴. جهت وزش باد غالب در مشرق ریگ خارتوران شرقی است، اما به سوی مغرب تمایل به شمال شرقی پیدا می کند.

ریگ چاه جم

این ریگ با مساحت ۳۴۰۰ هکتار در شمال دشت کویر قرار گرفته و با توجه به وسعت کمتر این ریگ نسبت به سایر ریگزارها، اشکال مورفولوژیکی نیز در این پهنه از وسعت و تنوع کمتری برخوردار است. مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در این ریگ نیز وزش باد غالب را از شمال شرق به جنوب غرب نشان می‌دهد که با داده‌های باد غالب ایستگاه سبزواری انطباق کامل دارد (شکل ۵).



شکل ۵. جهت وزش باد غالب در ریگ چاه جم از شمال شرقی است.



شکل ۶. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و تطبیق گلباد میانگین سالانه روی توده‌های ماسه‌ای مورد مطالعه

الگوهای جوی دشت کویر و وضعیت چرخندگی در دوره گرم سال

در ماه‌های گرم سال مرکز کم‌فشار حرارتی^۱ روی کویر مرکزی ایران تشکیل می‌شود. در حقیقت، این کویر در فصل گرم، مولد توده‌های هوای گرم و خشک مناطق جنب حاره‌ای است. این جریان‌ها خلاف چرخش عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند و مناطق وسیعی را تحت سیطره خود دارند (مفیدی، ۱۳۸۹: ۱۲).

در فصل بهار، سطح دشت کویر تحت سلطه سیستم چرخندگی مثبت یا سیکلونی است، به طوری که در فروردین ماه تمام ریگزارهای مورد مطالعه در سطح دشت کویر تحت تأثیر این جریان چرخندگی قرار دارد. در بین ریگزارها، ریگ جن و ریگ سرگردان بیشترین میزان چرخندگی را به خود اختصاص داده‌اند. در ماه می نیز این میزان چرخندگی مثبت شدت بیشتری گرفته و بر اساس نقشه‌های سینوپتیک موجود، مرکز آن دقیقاً روی ریگ خارتوران واقع است. از این رو، بیشینه چرخندگی در ماه آوریل در ریگ خارتوران و سرگردان مشاهده می‌شود و ریگ جن و چاه جم نیز با شدت کمتر تحت تأثیر این نوع چرخندگی قرار دارند. در ماه ژوئن نیز همچنان دشت کویر تحت سلطه این نوع چرخندگی سیکلونی قرار دارد و مرکز چرخندگی سیکلونی دشت کویر، دقیقاً روی ریگ خارتوران واقع شده است و از نظر میزان تأثیر چرخش سیکلونی در ماه ژوئن، ریگ جن کمترین شدت را دارد.

در فصل تابستان و در ماه جولای نیز همچنان سطح دشت کویر در سلطه جریان چرخشی سیکلونی، با مرکزیت ریگ خارتوران قرار دارد، به طوری که به تدریج به سمت ریگ جن از شدت چرخندگی کاسته می‌شود. این وضعیت چرخندگی در ماه‌های آگوست و سپتامبر نیز مشاهده شده است و از شدت چرخندگی آن به مرور در ماه سپتامبر کاسته می‌شود. بنابراین، در دوره گرم سال سیستم چرخندگی حاکم بر دشت کویر به صورت چرخش سیکلونی است و بیشترین شدت چرخندگی این سیستم در قسمت شمال شرق دشت کویر و در ریگ خارتوران مشاهده می‌شود. البته، به تدریج با حرکت به سمت غرب و جنوب غربی از شدت این چرخندگی کاسته می‌شود.

وضعیت چرخندگی در نیمه سرد سال

در اوایل فصل پاییز میزان چرخندگی سیکلونی شدت خود را از دست می‌دهد و نسبت به تابستان ضعیف می‌شود؛ به این

۱. thermal low

صورت که در ماه اکتبر مرکز چرخندگی واقع در ریگ خارتوران به سمت چپ منحرف می‌شود و شدت زیادی ندارد. در ماه نوامبر، چرخندگی سیکلونی به تدریج در غرب دشت کویر ضعیف می‌شود، به طوری که در حاشیه غربی دشت کویر تا حدودی در این ماه شاهد ظهور آنتی سیکلون بود. در ماه دسامبر نیز سیستم‌های چرخش آنتی سیکلونی به داخل دشت کویر راه پیدا می‌کند که یکی دقیقاً روی ریگ جن در غرب دشت کویر قرار دارد و دیگری در جنوب ریگ خارتوران واقع است. در این ماه فقط قسمت‌های جنوبی ریگ سرگردان و قسمت‌هایی از ریگ چاه جم، چرخش سیکلونی دارد و بقیه قسمت‌های دشت کویر تا حدودی در تسلط سیستم پرفشارند.

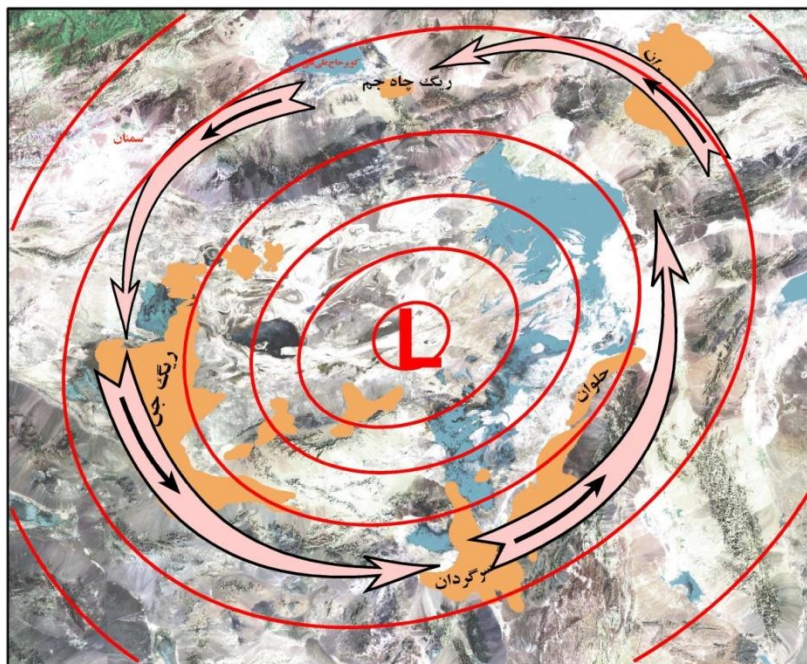
در فصل زمستان و ماه به خصوص ژانویه، نیمه شرقی دشت کویر شامل ریگ‌های خارتوران و نیمه شمالی ریگ سرگردان به طور کامل تحت سلطه پرفشار و چرخندگی منفی است. در حالی که در ریگ جن و چاه جم و قسمت‌های جنوبی ریگ سرگردان، چرخندگی به صورت مثبت است.

نتیجه‌گیری و بحث

رفت و روب بادی و لندفرم‌های حاصل از آن، مشخص‌ترین و غالب‌ترین اشکال ژئومورفولوژی مناطق خشک به شمار می‌روند. بیش از چهار توده ماسه‌ای بزرگ در پیرامون دشت کویر استقرار یافته است. هدف از این پژوهش بررسی ارتباط جهت وزش بادهای غالب در این پهنه و موقعیت انباشت و تراکم این توده‌های ماسه‌ای بوده است. دیدگاه این پژوهش دیدگاهی بنیادی است و بر آن است تا ارتباط ویژگی‌های باد و سایر شرایط محیطی را با مورفولوژی توده‌های ماسه‌ای موجود برقرار کند. آنچه مهم است، توده‌های ماسه‌ای مذکور الگویی حلقوی و ناپیوسته را دورتادور دشت کویر تشکیل داده‌اند. به عنوان فرضیه پژوهش، به نظر می‌رسد این الگو با حاکمیت و تسلط سامانه ناپایدار حرارتی تابستانی انطباق داشته باشد.

انطباق راستای وزش باد با مورفولوژی ریگ‌های مورد مطالعه

آنچه مسلم است مورفولوژی ریگزارهای منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر بادهای غالبی شکل گرفته است که از سرعت آستانه لازم برای حمل ماسه برخوردارند. بررسی ویژگی‌های باد فصلی و سالانه منطقه و نیز تطبیق آن‌ها با مورفولوژی و نیمرخ عرضی لندفرم‌های ماسه‌ای موجود در سطح این ریگ‌ها نشان داد که مورفولوژی عمومی هر کدام از این ریگ‌ها مستقل نیست و از روندی عمومی پیروی می‌کند. شکل ۷ این روند را در قالب منحنی‌های هم‌فشار نشان می‌دهد.



شکل ۷. ترسیم الگوی کلی جهت باد سالانه در محدوده دشت کویر

نتایج حاصل از مطالعه الگوهای جوی

در فصل تابستان در سطح دشت کویر بادهای مداری با جهت شرقی - غربی کل سطح دشت را پوشانده است. اما از نظر شدت فراوانترین بادهای شدید مداری در ماه جولای مشاهده و به تدریج در ماههای آگوست و سپتامبر از شدت آنها کاسته می شود. در فصل پاییز نیز، کم کم دامنه نفوذ بادهای مداری شرقی کاهش می یابد و در این فصل علاوه بر بادهای مداری شرقی، بادهای مداری غربی نیز مشاهده می شود، به طوری که در ماه اکتبر در قسمت های مربوط به ریگ سرگردان، جریان های مداری به صورت بادهای مداری غربی - شرقی ظاهر می گردد. به تدریج، در ماه نوامبر توسعه بادهای مداری غربی شدت می گیرد و ریگ های چاه جم و سرگردان را کاملاً پوشش می دهد. در ماه دسامبر در شرق دشت کویر و ریگ خارتوران جریان بادهای مداری به صورت شرقی و در سه ریگزار دیگر به صورت وزش بادهای مداری غربی مشاهده می شود.

در دوره گرم سال (بهار و تابستان) در سطوح بالای جو سیستم پرفشار آزور بر منطقه حاکم می شود. ولی در سطوح پایین جو در اثر گرم شدن سطح زمین، سیستم کم فشار حرارتی در سطح زمین ایجاد می شود. بنابراین، در دوره گرم سال در سطوح بالای جو چرخندگی به صورت منفی ولی در سطوح پایین به علت وجود کم فشار حرارتی چرخندگی مثبت و سیکلونی در منطقه حاکم است که با توجه به مطالعه ریگزارهای سطح دشت می توان سیستم تلاوایی دوره گرم سال را از نوع چرخندگی مثبت، در اثر وجود کم فشار حرارتی سطح زمین به حساب آورد. پراکندگی و جهت گیری ریگزارها در محدوده دشت کویر و نوع مورفولوژی آنها حکایت از انطباق بیشتر این نوع تلاوایی با جهت مورفولوژی ریگزارهای مورد مطالعه در دشت کویر دارد.

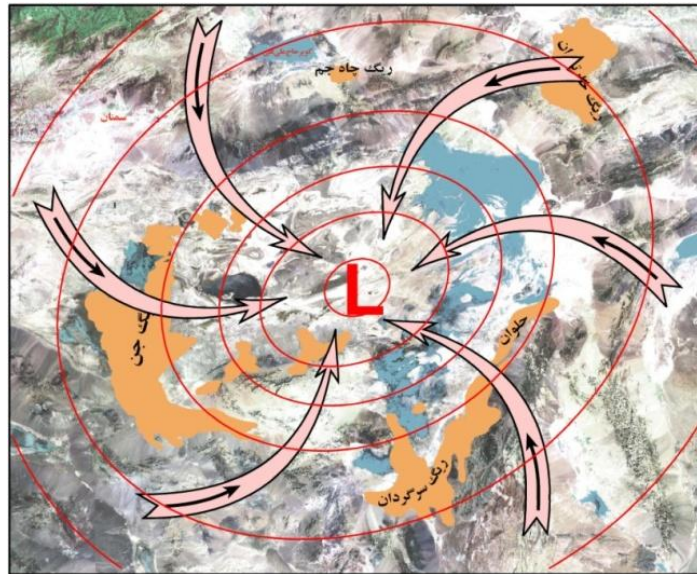
در دوره سرد سال (پاییز و زمستان) در نتیجه عقب نشینی پرفشار آزور و توسعه بادهای غربی در سطوح بالای جو اغتشاش های جوی از نوع چرخندی استقرار می یابد، در حالی که در سطح زمین به علت از دست رفتن گرما، همچنین به علت توسعه پرفشار سرد و خشک سبیری از قسمت شمال شرقی به داخل دشت کویر و در نتیجه ایجاد پرفشار حرارتی در سطح دشت کویر، چرخندگی به صورت منفی یا آنتی سیکلونی شکل می گیرد. بنابراین، چرخندگی دوره سرد سال در سطح دشت کویر به صورت آنتی سیکلونی یا چرخندگی منفی است.

نتایج حاصل از تحلیل وزش بادها

تحلیل گلبادها نشان می دهد که جهت وزش بادهای غالب در طول دوره گرم سال در نیمه شمالی دشت کویر اغلب شرقی است. در مغرب دشت کویر این بادها امتداد شمالی پیدا می کنند. سپس، در نیمه جنوبی دشت کویر نیز امتداد وزش بادهای غالب غربی است و به سوی مشرق دشت کویر امتداد جنوبی پیدا می کند. آنچه مهم است مورفولوژی عوارض ماسه ای با جهت مورد اشاره انطباق کاملی نشان می دهد. بررسی و مقایسه گلبادهای فصلی و مورفولوژی ریگزارهای دشت کویر مشخص می کند که گلبادهای فصل تابستان بیشترین انطباق را با جهت مورفولوژی عوارض ماسه ای در سطح دشت کویر دارد. بر این اساس مورفولوژی ریگزارهای دشت کویر عمدتاً تحت تأثیر رژیم بادهای فصل تابستان، به خصوص ماه های جولای و آگوست شکل می گیرد. از سویی دیگر، در دوره سرد سال، سیستم وزش بادها دست خوش تغییرات عمده ای می شود. جریان های مذکور در این دوره از سرعت های کمتر و بی نظمی زیادی برخوردار است و جهت های ناپایدارتری را نشان می دهد. بنابراین، تأثیر عمده ای در نقل و انتقال ماسه ها در این فصل ندارد و در شکل عمومی ریگ ها چندان تأثیر گذار نیست.

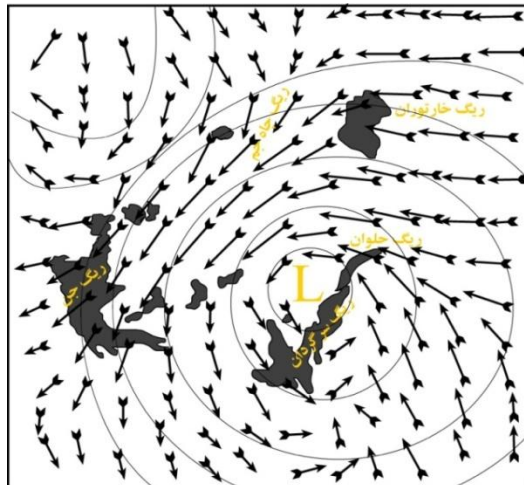
با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل باد و مورفولوژی ماسه های بادی می توان نتیجه گرفت که ارتفاع کم و پستی دشت کویر از سویی و از سویی دیگر، خشکی محیط و همواری نسبی آن موجب می شود که در فصل تابستان سلول کم فشار حرارتی همرفتی در سطح دشت کویر حاکمیت پیدا کند. جریان هوا به صورت باد در این کم فشار حرارتی و در جهت خلاف عقربه های ساعت به حرکت درآمده و در نهایت به سوی شرق و شمال شرق از سطح زمین ارتفاع می گیرد. به طور خاص، ریگ خارتوران در شمال شرق دشت کویر با وضعیت سیستم تلاوایی در دوره گرم سال انطباق پیدا می کند. مورفولوژی عمومی این ریگ موقعیت مرکزی سیستم چرخندی را در تابستان و دقیقاً منطبق بر بخش شرقی ریگ خارتوران نشان می دهد. این وضعیت آن چنان روشن است که مورفولوژی عمومی عوارض موجود در ریگ خارتوران و نیمرخ طولی تپه های ماسه ای موجود در سطح آن جریان باد را برخلاف حرکت عقربه های ساعت بازسازی می کند

(شکل ۸). هر چند در فصل زمستان الگوی فشار و تاوایی سطح دشت کویر به صورت پرفشار و در جهت عقربه‌های ساعت است، ولی با توجه به نقش افزایش رطوبت در دوره سرد سال، این سیستم همانند کم‌فشار تابستانی در تعیین مورفولوژی عمومی ریگزارها مؤثر نیست، زیرا بادهای زمستانی سرعت آستانه لازم را برای نقل و انتقال ماسه کسب نمی‌کنند. در این میان شکل ناهمگون چهار توده ماسه‌ای مورد مطالعه و عدم پیوستگی آن‌ها قطعاً نتیجه شرایط توپوگرافی و موقعیت پلایه‌های موجود در پیرامون آن‌هاست. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عوارض لندفرمی موجود تنها به طور محلی توانسته‌اند در شکل‌دهی به ریگ‌ها مؤثر باشند. لیکن در روند عمومی و خطی آن‌ها تأثیر زیادی ندارند. شکل ۸ موقعیت عمومی این سامانه همرفتی را نشان می‌دهد.



شکل ۸. موقعیت تقریبی مرکز کم‌فشار همرفتی تابستانی در بخش غربی ریگ سرگردان

از طرفی، همان‌گونه که قبلاً مطرح شد و نیز گلبادهای منطقه نشان داد، وجود باد غالب شمال شرقی به همراه باد شدید با جهت شمالی در بخش شمالی دشت کویر در طول تابستان تسلط دارد. این باد سرعت‌های آستانه لازم را برای نقل و انتقال ماسه‌های بادی در مقیاس گسترده داراست. همچنین، مطالعه روند جریان هوا در سطح زمین در دوره گرم سال نشان می‌دهد که ریگ سرگردان در موقعیتی قرار دارد که معمولاً در دوره گرم سال، در آنجا نیمه جنوبی مرکز چرخندی دشت کویر تسلط دارد و نیمه غربی این هسته کم‌فشار با جهت شمالی - جنوبی روی ریگ سرگردان قرار دارد. این جریان به شکل بادهایی با سرعت حدود ۵ متر بر ثانیه از جهت شمال شرقی به سمت جنوب و جنوب شرقی ریگ سرگردان در حرکت است. این امر نقش مؤثری در ایجاد مورفولوژی عمومی ریگزارهای دشت کویر دارد (شکل ۹). همچنین، بادهای شرقی به محض ورود به دشت کویر، از حالت شرقی - غربی، تقریباً ۹۰ درجه تغییر جهت می‌دهند و به شکل بادهای شمال غربی - جنوب شرقی، همچنین شمالی - جنوبی ظاهر می‌شوند که با توجه به طول پیکان‌ها مشخص می‌شود که این تغییر جهت ناگهانی با افزایش سرعت باد همراه است. این امر تغییرات مورفولوژیکی ریگ سرگردان را در راستای جنوب غربی - شمال شرقی توجیه می‌کند.



شکل ۹. وجود مرکز چرخند در غرب ریگ سرگردان و تغییر جهت بادهای شرقی به شمال شرقی در سطح زمین مربوط به تیر ماه (۲ جولای ۲۰۰۳)

تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب طرح پژوهشی شماره ۴/۱/۴/۴۱۰۷۰۰۴ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است. بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه تهران قدردانی می‌نماید.

منابع

- احمدی، ح. و همکاران (۱۳۷۷). بررسی اشکال و نوع تپه‌های ماسه‌ای به منظور مبارزه با فرسایش بادی در ریگ دامغان، مجله بیابان، شماره ۲. اختصاصی، م.ر. (۱۳۷۵). منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای در حوزه دشت یزد- اردکان، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، چاپ اول، تهران، شماره ۱۴۵.
- رفاهی، ح. (۱۳۸۴). فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۴۱۸، چاپ سوم، تهران.
- شهریار، ع. (۱۳۹۲). نقش باد و الگوهای جوی در مکان‌گزینی و مورفولوژی ریگزارهای محدوده دشت کویر، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، ص ۱۵۹.
- قانع بافقی، م.ج.، یاراحمدی، ع.ر. (۱۳۸۹). بررسی رابطه دانه‌بندی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای حسن‌آباد بافق با جهت باد فرساینده با استفاده از زمین‌آمار، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی، شماره ۲، تابستان.
- محمودی، ف. (۱۳۸۱). پراکندگی جغرافیایی ریگزارهای مهم ایران، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مؤسسه جنگل‌ها و مراتع، ص ۱۸۷. معتمد، ا. (۱۳۶۷). بررسی منشأ و نحوه انتشار ماسه‌ها در حوزه شمال کاشان، پژوهشنامه خبری دانشگاه تهران.
- محمودی، ا. (۱۳۷۰). بررسی منشأ ماسه‌های منطقه یزد- اردکان، مجله بیابان، شماره ۲۰، نشریه علمی مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۶۹.
- مقصودی، م. (۱۳۸۵). شناخت فرایندهای مؤثر بر توسعه و تحول عوارض ماسه‌ای (مطالعه موردی: عوارض ماسه‌ای چاله سیرجان)، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، ص ۱۴۹-۱۶۰.
- محمودی، ف. (۱۳۶۷). تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۲۰، شماره ۲۳، ص ۷-۴۸.
- موسوی، ح. و همکاران، (۱۳۸۹). تأثیر مؤلفه‌های مورفومتری برخان بر میزان جابه‌جایی آن (مطالعه موردی: ریگ چاه جم). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۳۸، شماره ۲، ص ۱۰۱-۱۱۸.
- مفیدی، ع. و همکاران (۱۳۸۹)، گردش جو تابستانه در وردسپهر فوقانی بر روی جنوب غرب آسیا و وردایی زمانی آن در طی نیم قرن گذشته، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- یمانی، م. (۱۳۸۱). نقش سلول‌های کم‌فشار محلی در استقرار مجموعه‌های ماسه‌ای ایران (مطالعه موردی: بند ریگ کاشان)، مجله مدرس، دوره ۶، شماره ۴، زمستان.
- یمانی، م. (۱۳۷۹). ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه بندریگ کاشان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۸، ص ۱۱۵-۱۳۲.

Ahmadi, H. et al. (1999). The morphology and type of sand dunes to combat with wind erosion in the Damghan Erg, Desert Magazine, No 2.

Bagnold, R.A. (1941). The physics of blown sand and desert dunes, Methuen.

- Bobek, H. (1959). Features and Formation of the Great Kavir and Masileh, Arid Zone Research Center, University of Tehran, Pub. No 2.
- Bourke, M.C., Ewing, R.C., Finnegan, D. and McGowan, H.A. (2009). 'Sand dune movement in the Victoria Valley, Antarctica', *Geomorph.* 109, 148–160.
- Cooke, R.U. and Warren, A. (1973). *Geomorphology in deserts*. Batsford, London, 394 pp.
- Ekhtesasi, M. (1997). Source routing sand dunes in the Yazd- ardakan desert, Research Institute of Forests and Rangelands, Vol. 1, No 145, Tehran.
- 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.
- Ghanei Bafghi, M. J. and Yarahmadi, A.R. (2011). Investigation on Relationship between Granulometric Characteristics of Sand Dune Deposits and Erosive Wind Direction using Geostatistics in Hasan Abad of Bafgh, *Journal of Range and Watershed Management, Natural Resources Journal*, No. 2
- Guang Han et al. (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.
- Lancaster, N. (1989). *The Namib Sand Sea: Dune Forms, Processes and Sediments*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Mashhadi, N., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Feiznia, S. and Fegghi, G. (2007). Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: Khartooran Erg, Iran). *BIABAN* 12, 69-75.
- Mashhadi, N., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Feiznia, S. and Fegghi, G. (2007). Analysis of sand dunes to determine wind direction and detect sand source sites (case study: Khartooran Erg, Iran), *BIABAN*, No. 12, pp 69-75.
- Mahmoudi, F. (2003). Geographical distribution of important Ergs in Iran, Final Report of the Research Institute of Forests and Rangelands, p.187.
- Motamed, A. (1989). Investigate the origin and distribution of the sand dunes in north of Kashan, Tehran University research news.
- Motamed, A. (1992). The origin of the sand Dunes in ardakan- Yazd area, *Desert Magazine*, No. 20, *Journal of Desert Research and Arid Zone of Iran*, University of Tehran Press, p 169.
- Maghsoudi, M. (2007). Understanding of the processes affecting the development of sandy Dunes (Case study: Sand Dunes in Sirjan Playa), *Geographical Research Magazine*, No. 56, pp. 149-160.
- Mahmoudi, F. (2003). The Evolution of Iran Relifs in the Quaternary, *Geographical Research*, Year 20, No. 23, pp. 7-48.
- Monique, M. (1984). A classification of dunes based on Aeolian dynamics and the sand budget. *Deserts and arid lands*, Netherlands.
- Mofidi, A., Zarrin, A. and Fasolou, J. (2010). Upper tropospheric atmospheric circulation on the South West Asia and variance summer time in the past half century, The fourth regional conference on climate change, Meteorological Organization of Iran, Tehran.
- Mousavi, S.H. et al. (2011). The Effect of Morphometric parameters of Barkhan on the amount of displacement of them (Case study: Chah e Jam Erg), *Journal of Geography and Environmental Planning*, S. N. 38, No. 2, pp. 101-118.
- Refahi, H. (2011). *Wind Erosion and its control*, University of Tehran Press, Vol. 3, No 2418, Tehran.
- Shahriar, A. (2013). The wind role and atmospheric patterns on localization and morphology of the Ergs in Dasht-E-Kavir area, Ph.D. dissertation, University of Tehran, Faculty of Geography, p 159.
- Thomas, D.S.G. (1988). Analysis of linear dune sediment-form relationships in the Kalahari Dune Desert. *Earth Surface Processes and Landforms* 13, pp. 545–553.
- Wang, X., Zhibao, D., Jiawu, Z., Guangting, Ch. (2002). Geomorphology of sand dunes in the Northeast Taklimakan Desert. *Geomorphology* 42, pp. 183– 195.
- Wilson, I.G. (1971). Desert sandflow basins and a model for the development of ergs, *Geographical Journal*, 137, pp. 180–199.
- Yamani, M. (2033). The role of Termal low pressure cells in the Locationo Ergs of Iran (Case Study: Band- E-Rig of Kashan), *Modarres Journal*, Vol. 6, No 4.
- Yamani, M. (2011). Relationship sand particle size and threshold of frequency wind speeds in the Band-E-Rig of Kashan, *Geographical Research*, No. 38, pp. 132-115.