

بررسی تلفیق داده‌های بادسنجی با ژئومرفولوژی ارگ کاشان

علی اکبر نظری سامانی^{۱*}، اصغر توکلی فرد^۲، هدی قاسمیه^۳، ناصر مشهدی^۴ و محمدرضا راهداری^۵

۱- نویسنده مسئول، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

پست الکترونیک: aknazari@ut.ac.ir

۲- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی علوم مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

۴- استادیار، مرکز تحقیقات بین‌المللی همزیستی با کویر، دانشگاه تهران، ایران

۵- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۰

چکیده

یکی از مهمترین فرایندهای طبیعی در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک فرسایش بادی است که در نتیجه وزش بادهای فرساینده بوقوع می‌پیوندد. در مطالعات مربوط به فرسایش بادی باید سرعت باد و همچنین فراوانی و تداوم وزش باد در نظر گرفته شود. ارگ کاشان یکی از معدود مجموعه‌های متنوع از انواع تپه‌های ماسه‌ای در ایران به‌شمار می‌آید. به‌منظور بررسی رابطه بین ویژگی‌های باد (نسبت یک جهته، شاخص بادناکی، تداوم و فراوانی باد) با مرفولوژی ارگ و همچنین بررسی میزان تغییرات توان انتقال ماسه در مناطق مختلف ارگ، داده ایستگاه‌های سینوپتیک کاشان، اردستان، جنگلبانی بادرود، گرمسار و قم اخذ و از تلفیق آنها در محیط GIS نقشه‌های هم‌توان انتقال ماسه، خطوط هم‌سرعت باد میانگین و باد حداکثر در ارگ کاشان ترسیم شد. از مقایسه نقشه‌های ترسیم شده با یکدیگر نتیجه گرفته شد که نقشه خطوط هم‌سرعت باد میانگین با نقشه هم‌توان انتقال ماسه همخوانی دارد و از شرق به غرب ارگ کاهش می‌یابد. بنابراین نتیجه گرفته شد که فراوانی وزش باد نسبت به سرعت آن، نقش مهمتری در انتقال ماسه‌ها و مرفولوژی ارگ به عهده داشته‌اند. همچنین مقایسه مرفولوژی ارگ و نتایج حاصل از بادسنجی در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که در شکل‌گیری مرفولوژی ارگ، نقش وزش بادهای بهار و تابستان بیشتر می‌باشد. همچنین عدم هماهنگی بین نوع رژیم بادی فعلی و حضور هرم‌ها در میان ارگ را می‌توان به شرایط بادی دوره‌های قبلی به‌ویژه آخرین دوره بیشینه یخچالی مرتبط دانست.

واژه‌های کلیدی: ژئومرفولوژی، ارگ کاشان، بادسنجی، فرسایش بادی، شاخص بادناکی.

مقدمه

می‌گیرد و سبب خسارت‌های جدی به محیط‌زیست می‌شود (Ekhtesasi & Azimzadeh, 2004). باد سیالی است که در حدود ۲۸ درصد از خشکی‌های جهان را تحت سیطره خود دارد (Webb et al., 2006) و پدیده‌ای است دینامیک و پویا که پرداختن به آن بخصوص با توجه به اطلاعات موجود در ایران کاری بسیار مشکل و طاقت‌فرسا می‌باشد.

یکی از مهمترین فرایندهای طبیعی در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک فرسایش بادی است. این فرایند در شرایطی رخ می‌دهد که علاوه بر وجود خاک حساس، باد دارای حاکمیت و سرعت قابل توجه باشد. انتقال ذرات خاک به صورت‌های مختلف معلق، جهشی و خزشی انجام

پرداختند و وزش بادهای شمالی در تابستان و بادهای غربی در زمستان را به عنوان بادهای اصلی در استقرار ریگ معرفی کردند. همچنین اریک و همکاران، در مطالعات خود در صحرای مصر وزش باد را عامل شکل‌گیری تلماسه‌های سیف معرفی کردند (Eric et al., 2009).

هدف از این تحقیق نیز، بررسی میزان تأثیر سرعت باد و همچنین فراوانی باد در میزان حمل ماسه در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد.

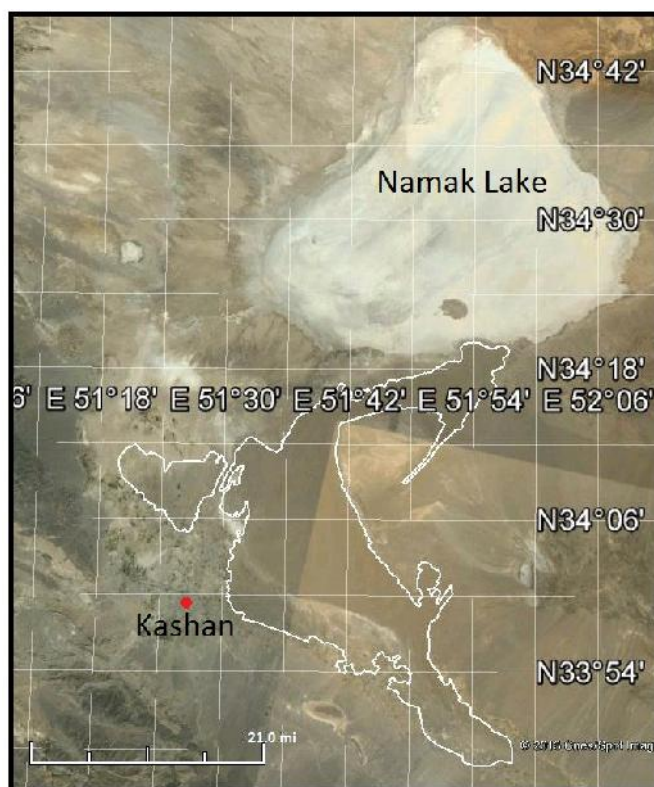
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بند ریگ کاشان یا دشت ریگ بلند کاشان نامیده می‌شود. این پهنه پوشیده از ماسه که از دیدگاه ژئومرفولوژی یک مجموعه ماسه‌ای محسوب می‌گردد، یکی از معدود مجموعه‌های ماسه‌ای مهم ایران به‌شمار می‌آید. این مجموعه ماسه‌ای درست در مجاور دریاچه نمک و داخل حوضه مسیله قرار گرفته است و دارای قوس‌های هلالی شکل است که تحدب آن به سمت غرب می‌باشد. طول تحدب خارجی آن با احتساب پیش تپه‌های ماسه‌ای شمال‌غربی حدود ۱۱۵ کیلومتر و طول قوس داخلی آن حدود ۶۰ کیلومتر است که شهر کاشان در غرب آن واقع شده است. این رشته از امتداد قوس جنوبی به مجموعه ماسه‌ای ریگ اردستان واقع در شرق اردستان می‌پیوندد و تا شمال نائین به صورت یک رشته باریک به عرض متوسط حدود ۶ تا ۸ کیلومتر و طول بیش از ۲۴۰ کیلومتر امتداد می‌یابد، با این تفاوت که به سمت جنوب‌شرق و مشرق، انسجام و پیوستگی خود را از دست می‌دهد. مجموعه ماسه‌ای بندریگ در عرض ۳۳°۴۵' تا ۳۴°۲۰' و طول ۵۱°۳۰' تا ۵۱°۴۵' قرار گرفته است (Yamani, 2000). در شکل ۱، محدوده منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.

در حقیقت وزش باد فرایندی است وابسته به زمان به گونه‌ای که در هر لحظه سرعت و جهت آن تحت تأثیر دیگر پدیده‌های جوی و اقلیمی و توپوگرافی تغییر کرده و وضعیتی متفاوت با لحظه قبل به خود می‌گیرد (Saremi Nainii, M., 2006). به عبارت دیگر نیروهای باد در طول سال و حتی در طول روز تا حد زیادی تغییر می‌کنند (Zobeck, 1991). توفان یکی از مخاطره‌آمیزترین بلاهای طبیعی است و در ردیف بلاهایی قرار دارد که منشأ آب و هوایی دارد (Tavoosi & Raiespour., 2011). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حدود ۹۰ درصد از بلاهای طبیعی در جهان در ارتباط با عوامل اقلیمی بوده و در میان آنها توفان بعد از سیل (۳۵ درصد)، حدود ۳۰ درصد از این بلاها را به خود اختصاص می‌دهد (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۵).

با توجه به اینکه هنگامی که سرعت باد از یک آستانه مشخص بیشتر شود، فعالیت تخریبی آن آغاز شده و منجر به وقوع توفان می‌گردد (Hangen, 1976). به‌منظور تعیین سهم بادهای شدید و طوفانی، دانستن ویژگی‌های باد منطقه (عمدتاً سرعت و جهت) در طول شبانه‌روز ضروری بوده، بنابراین توزیع فراوانی سرعت باد در هر منطقه حائز اهمیت است (Stewart & Essenwanger, 1987). در مناطق خشک بدلیل لخت بودن نسبی خاک سرعت باد از عوامل مهم فرسایش است. فراوانی باد نیز از عوامل مؤثر در فرسایش بادی می‌باشد و نشان‌دهنده تداوم باد با جهت مشخص می‌باشد. بنابراین می‌تواند در مطالعات بیابان‌زدایی راهنمای مفیدی محسوب شود. برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر از وضعیت بادناکی و شرایط دینامیک آن، روش‌ها، پارامترها، شاخص‌ها و نمودارهای متفاوتی ارائه شده‌اند که از جمله آنها می‌توان به نمودارهای گلباد، گل توفان، گل ماسه و شاخص‌هایی مانند توان حمل ماسه، شاخص غبارناکی و یا نقشه‌های هم‌سرعت جریان باد اشاره کرد (احمدی، ۱۳۸۵). یمانی و همکاران (۱۳۹۰)، با تحلیل ویژگی‌های باد و دانه‌سنجی ذرات ماسه به مطالعه علل استقرار ریگ کرمان



شکل ۱- ارگ ریگ بلند کاشان

روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق به شرح زیر می باشد:

- ۱- تهیه نقشه مرفولوژی ارگ با استفاده از نرم افزار Google earth، عکس های هوایی و نیز بازدیدهای میدانی.
- ۲- اخذ آمار بلندمدت روزانه سرعت و جهت باد در ایستگاه های سینوپتیک مجاور ارگ کاشان شامل ایستگاه های کاشان، اردستان، جنگلبانی بادرود، گرمسار و قم.

- ۳- تبدیل فرمت داده ها با استفاده از نرم افزار WDconvert، استفاده از نرم افزار WRPlot و تعیین شاخص بادناکی. چون نیروی باد تابعی از سرعت و فراوانی باد می باشد، برای در گرفتن همزمان تأثیر سرعت و فراوانی باد در نیروی آن از شاخص بادناکی استفاده گردید که از رابطه (۱) به دست می آید.

رابطه (۱)

درصد فراوانی کلاس های سرعت باد × سرعت باد = شاخص بادناکی

- ۴- برآورد شاخص های گلماسه در ایستگاه های مورد مطالعه به روش فرایبرگر (۱۹۷۹) و به طور دستی در نرم افزار اکسل و متلب بر پایه رابطه زیر انجام شد (Fryberger, 1979).

$$DP \propto V^2(V - V_t) \times T \quad (2)$$

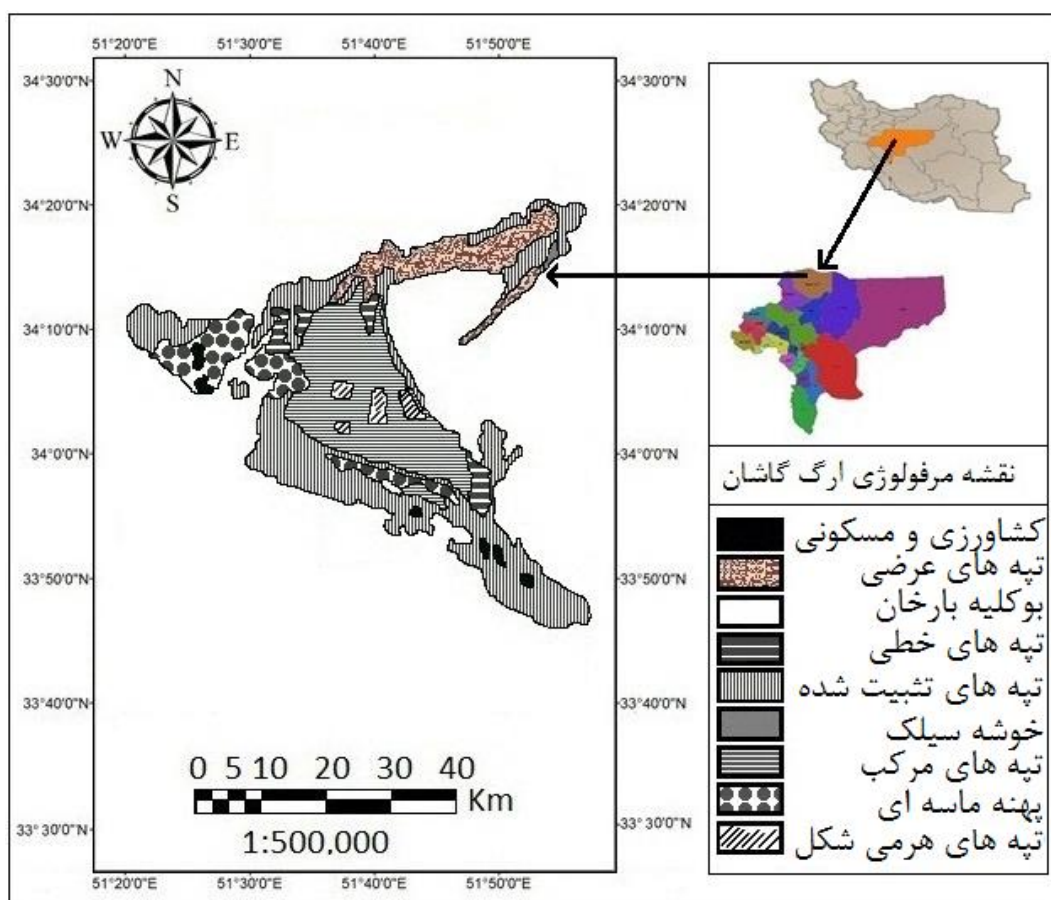
در رابطه (۲) V سرعت باد اندازه گیری شده و V_t سرعت آستانه است و T فراوانی طبقه های سرعت باد در جهت هشت گانه در هریک از ایستگاه های مورد مطالعه می باشد. در پایان توانایی حمل ماسه (Sand drift) در تمام جهات در یک زمان مشخص (به عنوان مثال ماهانه و سالانه) با توجه به مطالعات فرایبرگر (Fryberger, 1979) بدست آمد. انتخاب سرعت آستانه فرسایش بادی بالا با استناد به پژوهش های پیشین (Ekhtesasi et al., 2006 Yamani, 2000)، در تپه های ماسه ای فعال، برابر ۶/۵ متر بر ثانیه (۱۳ نات) در نظر گرفته شد. سپس برای ترسیم گلماسه های سالانه با

است. با توجه به شکل ۲، نتیجه گرفته می‌شود که انواع تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: تپه‌های تثبیت شده، تپه‌های عرضی، تپه‌های مرکب، تپه‌های طولی، تپه‌های هرمی شکل، خوشه سیلک و بوکلیه بارخان. پهنه‌های ماسه‌ای و اراضی کشاورزی و مسکونی، دیگر عوارضی است که در شکل ۲ نشان داده شده است. بازدیدهای صحرائی و استفاده از پایگاه Google Earth نشان داد که در حاشیه ارگ تپه‌های تثبیت شده، در جنوب و مرکز ارگ تپه‌های خطی و هرمی شکل و در بخش شمال شرق (نزدیک دریاچه نمک)، تپه‌های عرضی قرار گرفته‌اند. در بخش کوچکی در جنوب ارگ نیز (اطراف ابوزیدآباد)، بوکلیه بارخان مشاهده شد که در حال گسترش و تشکیل تپه‌های بارخانی است.

استفاده از نرم‌افزار Sand Rose Graph (Ekhtesasi *et al.*, 2006) و تهیه نقشه شاخص نسبت برآیند برداری به جبری حمل ماسه (شاخص UDI) در منطقه مورد مطالعه اقدام شد. ۵- مقایسه نقشه مرفولوژی ارگ با نقشه شاخص UDI. ۶- تعیین میانگین سرعت باد و همچنین میانگین حداکثر سرعت باد وزیده شده در جهات جغرافیایی مختلف در هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه و ترسیم نقشه‌های هم سرعت باد میانگین و باد حداکثر. ۷- تهیه نقشه هم‌توان انتقال ماسه در ارگ کاشان با استفاده از داده‌های شاخص گلماسه و مقایسه نتایج آن با نقشه‌های هم سرعت باد میانگین و باد حداکثر.

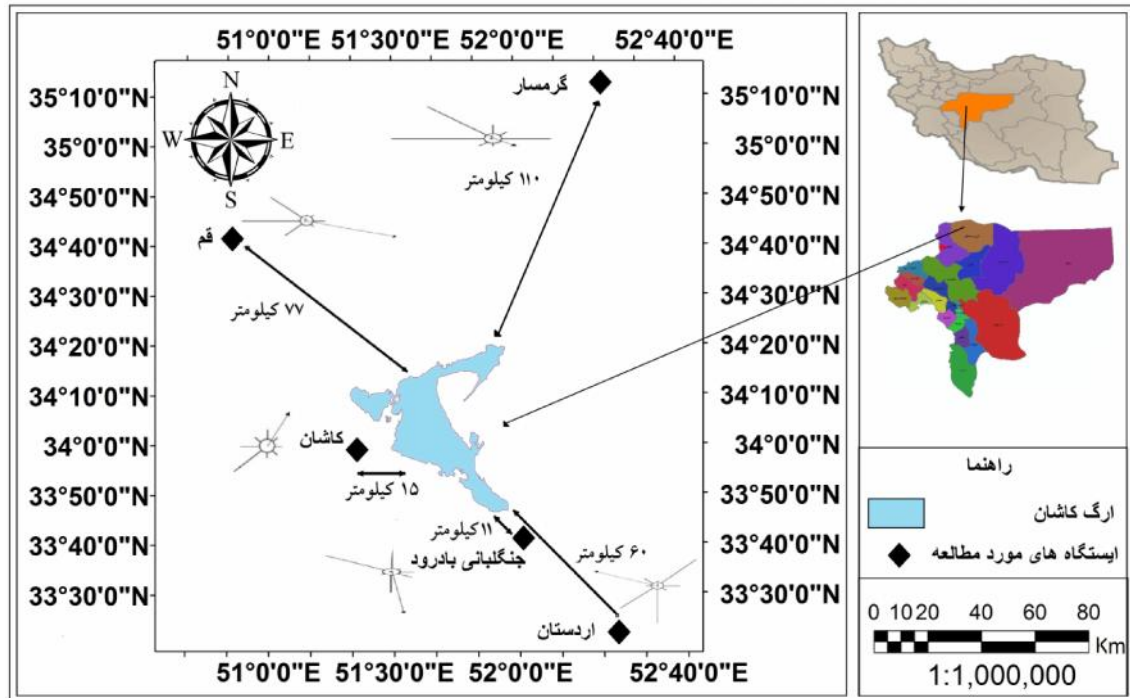
نتایج

در شکل ۲ نقشه مرفولوژی ارگ کاشان نشان داده شده



شکل ۲- نقشه مرفولوژی ارگ کاشان

در شکل ۳، ارگ کاشان و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به آن و در جدول ۱، مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۳- دشت ریگ بلند کاشان و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به آن

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه و فاصله آنها از ارگ کاشان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فاصله از ارگ (Km)	سرعت متوسط باد (نات)	میانگین حداکثر سرعت باد (نات)
کاشان	۵۴۱۵۶۷	۳۷۶۰۳۹۵	۱۵	۱/۶۲	۴۱/۶
اردستان	۶۲۸۶۶۸	۳۶۹۴۶۴۰	۶۰	۵	۳۳
قم	۴۸۶۲۶۰	۳۸۳۹۷۸۷	۷۷	۴/۹۱	۵۹/۴
جنگلیانی بادرود	۵۹۲۶۷۳	۳۸۹۹۷۵۹	۱۱۰	۷/۴۷	۳۸/۵
گرمسار	۶۲۲۸۳۸	۳۸۹۹۷۵۹	۱۱	۴/۸۸	۳۷/۶

در جدول ۲ شاخص بادناکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است (با توجه به اینکه بادهای کمتر از ۱۳ نات نقشی در انتقال ماسه‌های روان ندارند در محاسبه شاخص بادناکی از آنها صرف نظر شده است).

جدول ۲- شاخص بادناکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	> ۱۳ نات	۱۷-۱۳ نات	۲۱-۱۷ نات	۲۵-۲۱ نات	> ۲۵ نات
اردستان	-	۱۱۴	۵۳/۲	۲۵/۳	۱۶/۲
قم	-	۶۷/۵	۳۸	۹/۲	۸/۱
جنگلبانی	-	۱۰۰/۵	۵۱/۳	۱۳/۸	۱۸/۹
گرمسار	-	۷۹/۵	۴۷/۵	۱۸/۴	۱۳/۵
کاشان	-	۱۵	۷/۶	۲/۳	۲/۷
مجموع	-	۳۷۶/۵	۱۹۷/۶	۶۹	۵۹/۴

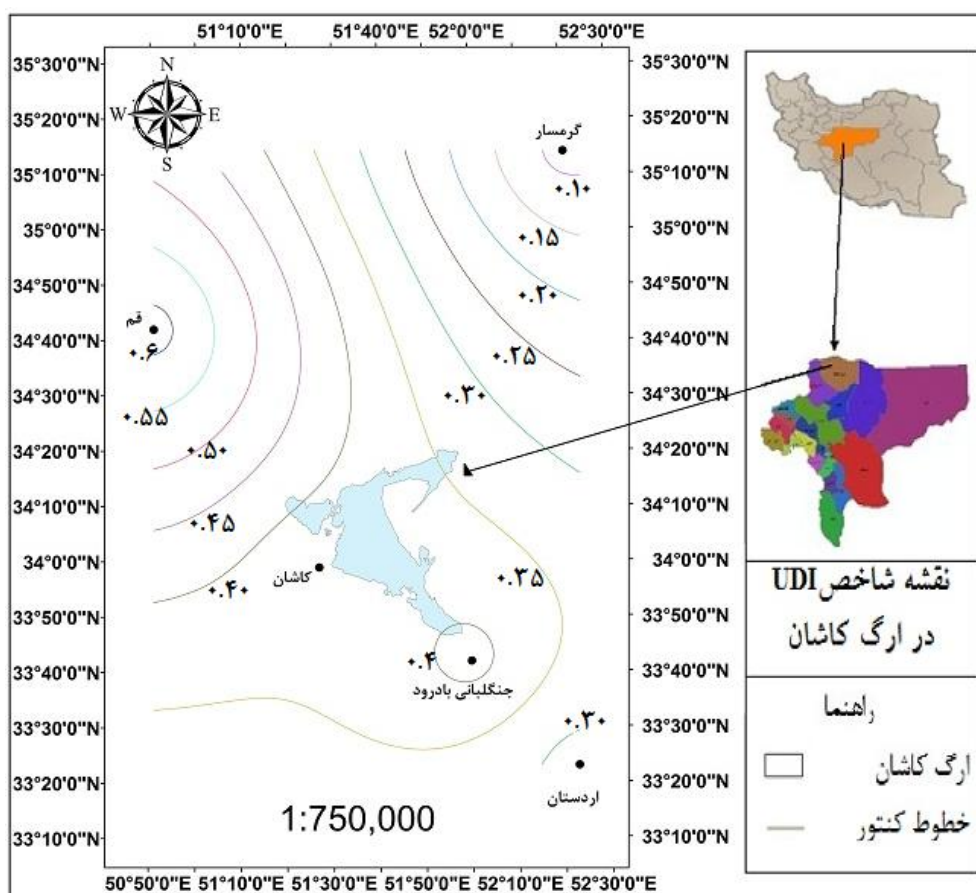
با توجه به جدول ۲، نتیجه گرفته می‌شود که بیشترین شاخص بادناکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به بادهای ۱۷-۱۳ نات می‌باشد. در واقع بادهای با سرعت کمتر و فراوانی بیشتر نقش مؤثرتری در انتفال ماسه‌های روان دارند.

به‌منظور ترسیم نقشه شاخص UDI، شاخص‌های

گلماسه به روش فرایبرگر و گلماسه‌نما تعیین گردید (جدول ۳). در این تحقیق از روش فرایبرگر استفاده گردید و با استفاده از نرم‌افزار GIS و با درون‌یابی مقادیر به‌دست آمده به روش IDW، نقشه شاخص UDI برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۴).

جدول ۳- برآورد شاخص‌های گلماسه در منطقه مورد مطالعه با روش فرایبرگر

ایستگاه	برایند جبری حمل ماسه (Dp_i)	برایند برداری حمل ماسه (RDP)	جهت نهایی حمل ماسه (RDD)	نسبت برایند برداری به جبری حمل ماسه (UDI)
اردستان	۲۶۳/۶۶	۷۲	۲۷۷	۰/۲۷۳
گرمسار	۱۹۹/۸۴	۱۳	۱۱۶	۰/۰۸
قم	۲۲۳/۸۹	۱۳۹	۹۹	۰/۶۲۳
جنگلبانی	۴۴۱/۸۱	۱۸۸	۱۶۶	۰/۴۲
بادرود				
کاشان	۴۰/۰۲	۱۴	۲۶	۰/۳۵



شکل ۴- نقشه شاخص UDI، در منطقه مورد مطالعه

در بررسی بادهای ارگ کاشان از داده‌های ایستگاه‌های مجاور استفاده شده است، شکل‌های ۲ و ۴ کاملاً با یکدیگر همخوانی ندارند. با توجه به ترسیم نقشه شاخص UDI و با در نظر گرفتن رژیم بادی فصلی، نتیجه گرفته می‌شود که وزش بادهای بهار و تابستان بیشترین نقش را در شکل‌گیری شکل‌های مختلف ماسه‌ای داشته‌اند.

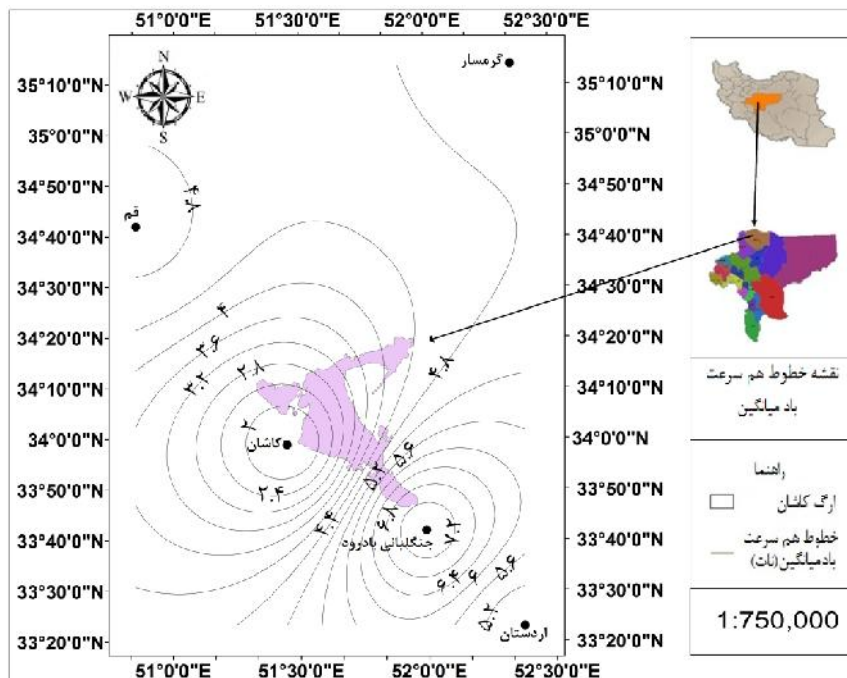
به منظور بررسی میزان تأثیر سرعت و فراوانی باد در شکل‌گیری مرفولوژی ارگ کاشان و با استفاده از جدول ۱، نقشه خطوط هم‌سرعت باد میانگین و باد حداکثر به روش IDW ترسیم گردید که در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۵، نتیجه گرفته می‌شود که هر چه از غرب به شرق ارگ کاشان می‌رویم میانگین سرعت باد افزایش می‌یابد. به طوری که در غرب ارگ و در نزدیکی

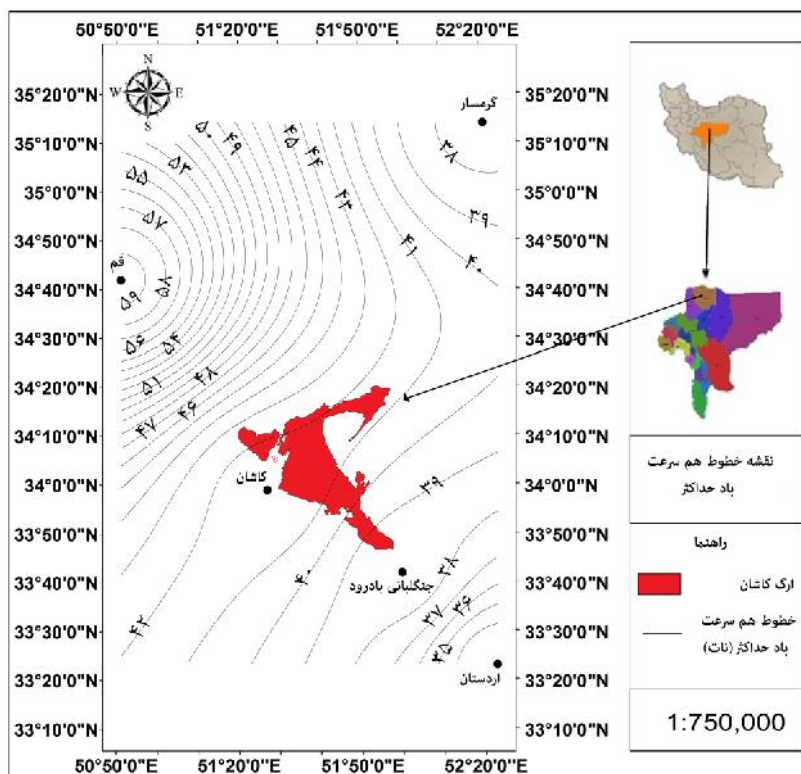
شاخص UDI عددی بین صفر و یک است. این شاخص هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده بادهای چند جهته و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده بادهای یک جهته در منطقه مورد مطالعه است. همچنین با توجه به این شاخص، می‌توان به نوع تپه‌های ماسه‌ای پی برد. به طور کلی اگر شاخص UDI، کوچک‌تر از ۰/۴ باشد، معرف تپه‌های ستاره‌ای شکل و اگر ۰/۴ تا ۰/۷ باشد، معرف تپه‌های خطی و اگر بیشتر از ۰/۷ باشد، معرف تپه‌های بارخان و پشته بارخان است.

با توجه به شکل ۴، نتیجه گرفته می‌شود که در منطقه مورد مطالعه این شاخص بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۰ بوده و شرایط برای تشکیل تپه‌های ستاره‌ای شکل و خطی فراهم می‌باشد که با مرفولوژی ارگ همخوانی دارد (تپه‌های خطی و هرمی شکل در مرکز و جنوب ارگ). البته با توجه به اینکه

کاشان، کمترین میانگین سرعت وجود دارد. همچنین با توجه به شکل ۶، نتیجه گرفته می‌شود که از غرب به شرق ارگ، سرعت باد به کمترین حد خود می‌رسد.



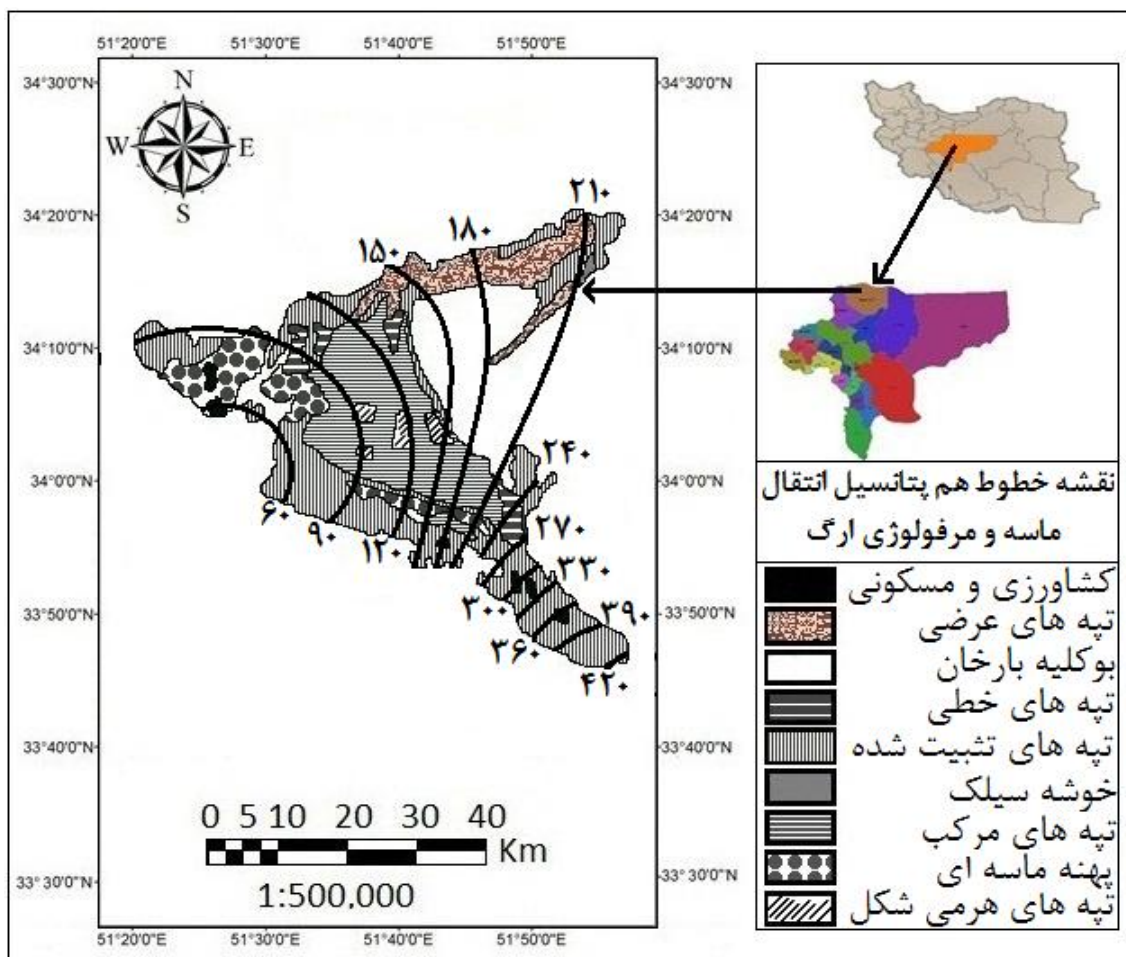
شکل ۵- نقشه خطوط هم‌سرعت باد میانگین در ارگ ریگ بلند کاشان



شکل ۶- نقشه خطوط هم‌سرعت باد حداکثر در ارگ ریگ بلند کاشان

انتقال ماسه در ارگ کاشان ترسیم گردید که در شکل ۷ و روی نقشه مرفولوژی منطقه نشان داده شده است.

با استفاده از نتایج جدول ۳ (مقادیر برآیند جبری حمل ماسه)، در ایستگاه‌های مورد مطالعه و با استفاده از درون‌یابی مقادیر به دست آمده به روش IDW، نقشه هم‌توان



شکل ۷- نقشه خطوط هم‌توان انتقال ماسه روی نقشه مرفولوژی ارگ کاشان

میانگین سرعت باد افزایش می‌یابد؛ بنابراین فراوانی وزش باد نسبت به سرعت آن، نقش مهمتری در انتقال ماسه‌ها و در نتیجه نقش بیشتری در شکل‌گیری مرفولوژی ارگ به عهده داشته‌اند. در واقع وزش بادهای شدید و ناگهانی نمی‌توانند تأثیر زیادی در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای منطقه داشته باشند.

با توجه به شکل ۷ نتیجه گرفته می‌شود که هرچه از غرب به شرق ارگ کاشان می‌رویم، توان انتقال ماسه افزایش می‌یابد. در واقع از غرب به شرق ارگ، میزان توان حمل رسوب توسط باد افزایش می‌یابد. با مقایسه شکل‌های ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که شکل‌های ۵ و ۷ کاملاً با یکدیگر همخوانی دارند. زیرا نتایج نشان داد که از غرب به شرق ارگ توان انتقال ماسه و نیز

بحث

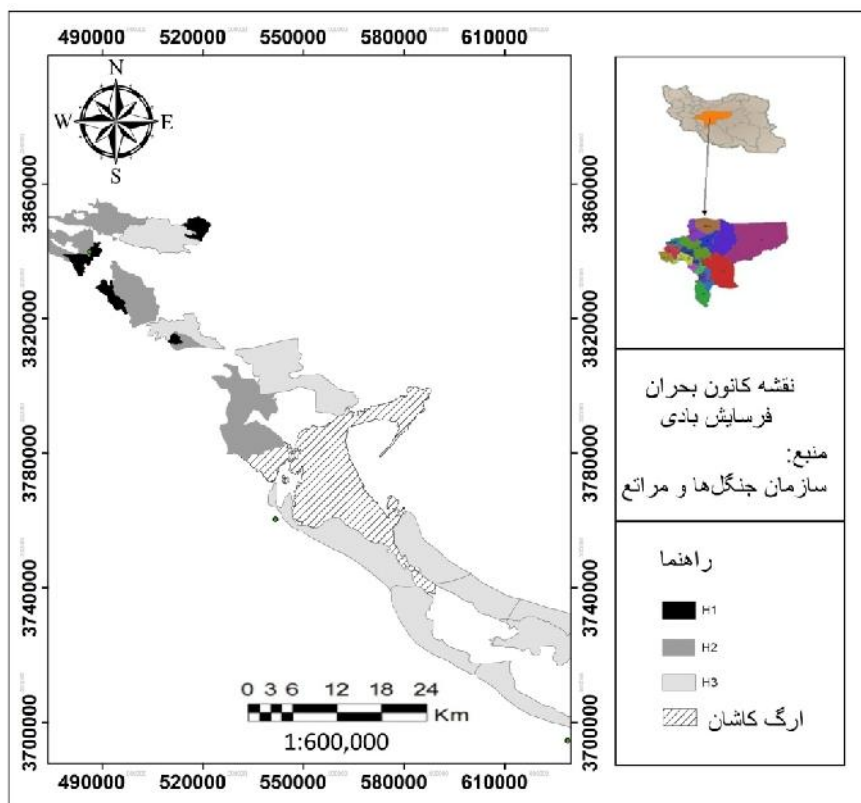
در این تحقیق به مطالعه میزان تأثیر سرعت باد و همچنین فراوانی وزش باد در انتقال ماسه‌های روان پرداخته شد. با توجه به همخوانی نقشه میزان توان انتقال ماسه با نقشه خطوط هم‌سرعت باد میانگین در ارگ کاشان مشخص گردید که وزش بادهای با سرعت کمتر ولی با تداوم بیشتر نسبت به بادهای با سرعت زیاد، نقش بسیار مهمتری را در انتقال ماسه‌های روان به خود اختصاص داده‌اند. نتایج جدول ۲ نیز تأیید کننده این نتیجه بود که نشان داد بادهای با سرعت ۷-۱۷ نات بیشترین شاخص بادناکی و در نهایت نقش مؤثرتری در انتقال ماسه‌های روان داشته‌اند. همچنین بررسی ویژگی‌های باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه (شاخص بادناکی و ...) در فصول مختلف و نیز مرفولوژی ارگ نشان داد که وزش بادهای بهار و تابستان، بیشترین نقش را در شکل‌گیری شکلهای مختلف ماسه‌ای به خود اختصاص داده‌اند.

با توجه به نقشه‌های مرفولوژی و خطوط هم‌توان انتقال ماسه، مشاهده می‌شود که تپه‌های مرکب در قسمتی از ارگ تشکیل شده‌اند که توان انتقال ماسه زیاد و در نتیجه انرژی باد بالاست. با توجه به اینکه تشکیل تپه‌های مرکب نیازمند بادهای پرانرژی می‌باشد، بنابراین با افزایش مقدار انرژی باد و مقدار دبی ماسه افزایش ارتفاع ماسه فراهم خواهد شد (Fryberger *et al.*, 1979). همچنین بخش اعظم تپه‌های مرکب و مرتفع در بخش میانی ارگ هستند و این مسئله

می‌تواند همراستا با نظر تکامل ارگ بر پایه مدل پورتر باشد (Ahmadi, 2006). همچنین مشاهده می‌شود که در حاشیه شمال‌شرق و جنوب‌غربی ارگ، توان انتقال ماسه نسبت به مرکز ارگ (محل تشکیل تپه‌های مرکب و ستاره‌ای شکل) بیشتر می‌باشد ولی به دلیل دخالت‌های انسان از قبیل مالچ‌پاشی و تثبیت تپه‌های ماسه‌ای، فرایند انتقال و جابجایی ماسه‌های روان تغییر کرده است.

فرابرگر و همکاران در سال ۱۹۷۹ در مطالعات خود راجع به شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و همچنین حمل ماسه‌های روان به این نتیجه رسیدند که باید یک منبع کافی از ماسه وجود داشته باشد، همچنین باد به اندازه کافی قوی و مداوم باشد تا بتواند ذرات ماسه را حرکت دهد و اگر این دو شرط برآورده شود مقادیر زیادی از ماسه، حتی هزاران مایل جابجا خواهد شد (Fryberger *et al.*, 1979). یمانی در سال ۱۳۷۹ مطالعاتی در رابطه با قطر ذرات ماسه در ارگ کاشان انجام داد و به این نتیجه رسید که قطر ذرات ماسه در محور شرقی ارگ درشت‌تر می‌باشد که این مسئله بیانگر وجود بادهای شدیدتر در این قسمت است که با نتایج حاصل از این تحقیق کاملاً همخوانی دارد.

همچنین به منظور بررسی صحت نتایج به دست آمده مبنی بر تأثیر بیشتر فراوانی باد نسبت به سرعت باد، نقشه کانون‌های بحران فرسایش بادی از سازمان جنگل‌ها و مراتع اخذ و با نتایج به دست آمده مقایسه شد (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه کانون‌های بحران فرسایش بادی

فرسایش بادی باشند.

همچنین وجود شکلهای متفاوت تپه‌های ماسه‌ای اعم از هرم‌ها و بارخان‌ها نشان‌دهنده تغییرات مکانی رژیم بادی و دبی ماسه در سطح ارگ کاشان است ولی می‌توان همچنین استنباط کرد که تشکیل هرم‌های ماسه‌ای می‌تواند به شرایط اقلیمی گذشته مرتبط باشد و هم اکنون تنها ظاهر آن دیده می‌شود و رژیم بادی فعلی نمی‌تواند در ایجاد آنها نقش مهمی داشته باشد. در واقع در شرایط گذشته شدت و فرسایش بادی و تأمین ماسه بیشتر از شرایط کنونی بوده است. بنابراین در تحلیل رابطه بین ویژگی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و نوع رژیم بادی در شرایط کنونی باید توجه داشت که برخی شکلهای بزرگ را نمی‌توان تنها به شرایط بادی فعلی نسبت داد و این شکلهای نماینده شرایط پیچیده بادی در گذشته می‌باشند، به‌ویژه آخرین دوره پیشینه یخچالی (LGM). این مسئله‌ای است که کمتر در پژوهش‌های رژیم بادی و شکل تپه‌ها در ایران مورد توجه بوده است و نیاز

با توجه به شکل ۸، نتیجه گرفته می‌شود که در شمال‌غرب و غرب و غرب ارگ کاشان، شدت کانون‌های بحران بیشتر می‌باشد (H1 و H2). به طور کلی از غرب به شرق ارگ، از شدت کانون‌های بحران فرسایش بادی کاسته می‌شود که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی ندارد. زیرا در تهیه نقشه کانون‌های بحران، عوامل متعددی از قبیل خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی، جمعیت و ... در نظر گرفته می‌شود و هرچه به سمت شرق ارگ می‌رویم سکونت انسانی کمتر می‌شود. البته این خود به نوعی می‌تواند نشان‌دهنده شدت فرسایش بادی باشد، به طوری که طی دوره‌های گذشته مردم ترجیح داده‌اند در قسمت‌های کم خطرتر و با توفان کمتر ساکن شوند و این مناطق بیشتر قسمت غربی ارگ را شامل می‌شود. بنابراین در پهنه‌بندی خطر فرسایش، احتمال دارد مناطقی یافت شود که نسبت به سایر مناطق کمتر تحت تأثیر فرایندهای بادی قرار داشته باشند ولی به دلیل شرایط خاص، جزء کانون‌های بحران

- Journal of Sedimentary Research, 49 (3): 733-746.
- Hagen, L. J., 1976. A wind erosion predication system to meet user needs. soil water conserve journal, 46(2):106-111.
- Saremi Nainii, M., 2006. Comparison analysis of spatial distribution of wind rose, storm rose and sand rose through GIS technique. (Case study: Yazd- Ardakan plain). M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- Stewart, D. A. and Essenwanger. O. M., 1987. Frequeuncy distribution of wind speed near the surface, Appl. Meteor journal, 17:1633-1642.
- Tavoosi, T. and Raeispoor, K. 2011. Statistical analysis and prediction of occurrence probability of violent Storms using partial – series analysis method (Case study: sistan area). Arid Regions Geographic Studies, 1(2):93-105.
- Webb, N. P., McGowan, H. A., Phinn, S. R. and McTainsh, G. H., 2006. AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. Geomorphology, 78(3):179-200.
- Yamani, M., 2000. Relationship between sand grain size and frequency of wind threshold velocity in band rig Kashan, Journal of geographical researches, 38: 115-132.
- Yamani, M., Nazouri, Z. and Gourabi, A., 2011. Morphometry and causes of Kerman Erg establishment through wind analysis and granolometry. Journal of arid region geographical studies. 1(4): 17-33.
- Zobeck, T. M., 1991. Soil properties affecting wind erosion. Soil and Water Conserve Journal, 46(2):112-118.

است تا در این زمینه پژوهش‌های بیشتری انجام شود.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H., 2006. Applied Geomorphology (wind erosion). University of Tehran Press, 706p.
- Ekhtesasi, M. R., Saremi Nainii, M. and Saremi Nainii, A., 2005. Preparation of sand rose graph 2.0 for soil erosion and sand drift potential. 1st National conference on wind erosion, Yazd University, 23-24 February:12p.
- Ekhtesasi, M. R., Ahmadi, H., Khalili, H., Saremi Nainii, M. and Rajabi, M. 2006. Application of wind rose, storm rose and sand rose for wind erosion analysis and sand movement direction (a case study: Yazd-Ardakan plain). Iranian Journal of Natural Resources, 59(3): 533-541.
- Ekhtesasi, M. R., Azimzadeh, H., 2004. Threshold velocity relation to soil physical and chemical properties in Iranian central plain (Case study: Yazd-Ardakan plain). Iranian Journal of Natural resources, 57(2):1-11.
- Eric j. R. P., Duranb, O., Tsoar, H., Schwammle, V. and Hermann, H. J., 2009. Dune formation under bimodal winds. Applied Physical Sciences, 106(52): 22085-22089.
- Fryberger, S. G., 1979. Dune forms and wind regime. 137-169 In: McKee, E. D. (Eds.), A study of global sand seas. United States Geological Survey, Washington, DC
- Fryberger, S. G., Ahlbrandt, T. S. and Andrews, S., 1979. Origin, sedimentary features, and significance of low-angle aeolian sand sheet deposits, Great Sand Dunes National Monument and vicinity, Colorado.

Integration of anemometers data and geomorphology of sand dunes in Kashan Erg

A. Nazari Samani^{1*}, A. Tavakkoli Fard², H. Ghasemieh³, N. Mashhadi⁴ and
M. R. Rahdari⁵

1*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: aknazari@ut.ac.ir

2-M.Sc., Department of Desert Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

4-Assistant professor, International Desert Research Center, University of Tehran, Iran

5- Ph.D. Student in Combat Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 1/26/2015

Accepted: 10/12/2015

Abstract

Wind erosion is one of the most important natural processes in arid and semi-arid areas, occurring as a result of erosive winds. Wind speed, frequency and duration should be considered in studies related to wind erosion. Kashan Erg is one of the most important sand dunes complexes in Iran. To study the relationship between the wind characteristics (Uni- directional index, windness index, wind duration and frequency) with Erg morphology and also study the changes of sand flow rate in various regions, anemometers data were obtained from synoptic stations of Kashan, Ardestan, Jangalbani Badrod, Garmsar and Qom. Then, the interpolation map of sand transport and interpolation map of average and maximum wind in Kashan Erg were drawn using GIS software. Finally, the analysis results showed that the interpolation map of sand transport corroborated the results obtained from interpolation map of average wind, because sand transport rate and average wind speed were reduced from east to west of the Erg. Therefore, it is found that wind frequency and duration have more important role in the sand transport and morphology of the study area as compared with the wind speed. In addition, the comparison of Erg morphology and anemometer results in different stations showed that the spring and summer winds had the highest role in the Erg morphology.

Keywords: Geomorphology, Kashan Erg, anemometers data, wind erosion, windness index.