

# بررسی نقش اراضی مختلف در توفان‌های ماسه‌ای با استفاده از گلباد و گل توفان (مطالعه‌ی موردی: کاشان)

اصغر توکلی فرد<sup>۱\*</sup>، هدی قاسمیه<sup>۲</sup>، علی اکبر نظری سامانی<sup>۳</sup>، ناصر مشهدی<sup>۴</sup>، محمد  
میرزاوند<sup>۵</sup>

## چکیده:

هدف از این تحقیق، تجزیه و تحلیل مناسب داده‌های بادسنجی به منظور مطالعه‌ی رژیم بادی کاشان و نیز بررسی نقش اراضی مختلف در توفان‌های ماسه‌ای است. بدین منظور، داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک کاشان طی یک دوره‌ی آماری ۴۰ ساله (۱۹۶۶-۲۰۰۵) به روش‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار **WRPlot**، گلبادها و گل توفان‌های فصلی و سالانه برای اراضی مختلف (با در نظر گرفتن سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی متفاوت برای هر یک از اراضی) ترسیم گردید. در نهایت گلباد سالانه نشان داد که جهت بادهای غالب در کاشان، شمال شرقی است و بادهای شمال و شمال غرب، در درجه‌ی دوم اهمیت قرار می‌گیرند. همچنین مشخص گردید که فراوانی بادهای آرام، ۸/۸٪ است. ترسیم گل توفان‌های مربوط به اراضی مختلف نشان داد که در اراضی مرتعی، بادهای شمال شرق، شمال و غرب و در اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال، بادهای شمال شرق و غرب بیشترین نقش را در فرسایش بادی داشته‌اند. همچنین در اراضی کشاورزی، تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده و دشت ریگ، خطر فرسایش بادی محسوس نیست. ترسیم گل توفان‌های فصلی در هر یک از اراضی مورد مطالعه نشان داد که بادهای فرساینده در بهار بیشترین میزان فراوانی را داشته و فرساینده‌ترین بادهای با سرعت بیشتر از ۲۵ متر بر ثانیه در این فصل می‌وزند.

## واژه های کلیدی

گلباد، گل توفان، فرسایش بادی، سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی، کاشان

۱- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، [Tavakkoli\\_65@yahoo.com](mailto:Tavakkoli_65@yahoo.com)

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان [Ghasmieh\\_3859@yahoo.com](mailto:Ghasmieh_3859@yahoo.com)

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران [aknazari@ut.ac.ir](mailto:aknazari@ut.ac.ir)

۴- استادیار مرکز تحقیقات بین المللی همزیستی با کویر، دانشگاه تهران [nmashhad@ut.ac.ir](mailto:nmashhad@ut.ac.ir)

۵- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان [mmirzavand23@yahoo.com](mailto:mmirzavand23@yahoo.com)

**Investigation of role of different land uses in the sand storm by using wind  
rose and storm rose.(Case Study: Kashan)**

**Abstract:**

The purpose of this research is an appropriate analysis of the anemometer data to study the wind regime in Kashan and to investigate the role of different land uses in the sand storms. Therefore, anemometer data obtained from synoptic station of Kashan were analyzed during a 40-year period (1966-2005) using different methods and were drawn seasonal and annual wind roses and storm roses for different lands using WRPlot software (considering the various threshold wind velocity for each area). Finally, the annual wind rose showed that direction of prevailing wind in Kashan is the northeast and then north and north-west winds will be in the next rank. Moreover it was shown that the frequency of calm winds is 8/84%. Storm roses of relating to the different lands showed that in the pasture lands, the winds of the northeast, north and west and in incult crop lands and active sand dunes, the winds of northeast, north and west have the most role in wind erosion. Also, the risk of soil erosion is not tangible in agriculture lands, sand dunes covered with *Haloxylon* and reg. The drawing of seasonal storm roses in each of studied lands showed that the erosive winds have the highest frequency in spring and in this season, the most erosive winds blow with the speed more than 25 m/s.

**Key words:**

Wind rose, storm rose, wind erosion, threshold velocity of wind erosion, Kashan.

<sup>a</sup> MSc, Faculty of natural resources and Geoscience, University of Kashan, Iran.:Tavakkoli\_65@yahoo.com

<sup>b</sup> Assistant professor, Faculty of natural resources and Geoscience, University of Kashan, Iran.:Ghasemieh\_3859@yahoo.com

<sup>c</sup> Assistant professor, Faculty of natural resources, University of Tehran, Iran:aknazari@ut.ac.ir

<sup>d</sup> Assistant professor, International Desert Research Center, University of Tehran, Iran:nmashhad@ut.ac.ir

<sup>e</sup> MSc, Faculty of natural resources and Geoscience, University of Kashan, Iran.:mmirzavand23@yahoo.com

**۱-مقدمه**

یکی از مهمترین فرآیندهای طبیعی در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک، فرسایش بادی است (عظیم‌زاده و اختصاصی، ۱۳۸۲).

باد سیالی است که حدود ۲۸ درصد از خشکی‌های جهان را تحت سیطره‌ی خود دارد (Webb & et al, 2006). حدود ۳۶ درصد سطح خشکی‌های کره‌ی زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌است و ۱۹ درصد این

سطوح، کاملاً فاقد حیات گیاهی است و هر ساله بر اثر فرسایش خاک، ۵۰۰ میلیون تن غبار تولید و در هوا پراکنده می‌شود (معمد، ۱۳۷۹). بنابراین می‌توان گفت که فرسایش بادی مسأله‌ی اساسی تمامی قاره‌هاست و در مقیاس جهانی، اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی نیست. توفان‌های ماسه‌ای و گرد و خاک نه تنها در ایران بلکه در سایر کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکایی نیز موجب بروز خسارات مالی و جانی می‌شوند (Lin, 2002). نیروهای باد در طول سال و حتی در طول روز به مقدار زیادی تغییر می‌کنند (Zobeck, 1991). به منظور تعیین سهم بادهای شدید و توفانی، دانستن ویژگی‌های باد منطقه (سرعت و جهت) در طول شبانه‌روز، توزیع فراوانی سرعت باد در منطقه (Stewart & Essenwanger, 1987)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، توپوگرافی منطقه، وضعیت پوشش گیاهی و ضروری هستند که کلیه‌ی آنها در ارتباط با هم بوده و به اتفاق منجر به افزایش یا کاهش شدت فرسایش بادی در یک منطقه می‌شوند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹).

به منظور تجزیه و تحلیل دقیق‌تر از وضعیت بادناکی و شرایط دینامیک آن، روش‌ها، پارامترها، شاخص‌ها و نمودارهای متفاوتی ارائه شده‌اند که از جمله‌ی آنها می‌توان به نمودارهای گلباد و گل‌توفان اشاره کرد (احمدی، ۱۳۸۷).

گلباد<sup>۱</sup>، ساده‌ترین روش آماری برای نمایش داده‌های بادسنجی است که در آن‌ها، اطلاعات مربوط به فراوانی کلاس‌های مختلف سرعت باد در هر جهت نمایش داده می‌شود. در حقیقت، گلباد صرفاً تحلیل سینوپتیک و هواشناسی باد است و از طریق آن می‌توان تا حدی به جهت و فراوانی شدیدترین بادهای موجود در منطقه پی برد، اما شاخص مناسب برای بررسی و تحلیل توفان‌ها نیست (احمدی، ۱۳۸۷). گل‌توفان<sup>۲</sup>، به منظور در نظر گرفتن همزمان سرعت و جهت باد و سرعت آستانه‌ی فرسایش (شرایط خاک) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت، تحلیل قوی‌تری از شرایط گرد و غبار هوا به دست می‌آید. در واقع گل‌توفان نوعی گلباد است که در آن، شرایط مربوط به سرعت آستانه‌ی فرسایش و زمین در نظر گرفته شده‌است. در این حالت با دخالت سرعت آستانه‌ی حمل در منطقه، بادهای مؤثر در ایجاد توفان‌ها و گرد و غبار از سایر موارد تفکیک می‌شود و عملیات تعیین فراوانی و رسم منحنی روی این داده‌ها انجام می‌شود (اختصاصی، ۱۳۸۳).

کاشان نیز که در ناحیه‌ی مرکزی ایران و کمربند بیابانی قرار گرفته، همواره به عنوان یکی از مناطق مبتلا به فرسایش بادی و توفان‌های گرد و خاک در عرصه‌ی ایران شناخته شده‌است.

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی توفان‌های گرد و خاک در جهان و ایران صورت گرفته‌است. اورلوسکی (۱۹۶۲) در تحقیقی در ترکمنستان، توزیع مکانی و زمانی توفان‌های گرد و خاک را به وسیله‌ی داده‌های ۴۲ ایستگاه هواشناسی در دوره‌ی آماری ۱۹۳۶-۱۹۶۰ ثبت کرد (Orlovsky & et al, 2004).

اشتری (۱۳۸۰)، مطالعاتی را در زمینه‌ی باد در منطقه‌ی کاشان انجام داد و ضمن برآورد مقادیر DP، جهت عمومی وزش شدیدترین و پرانرژی‌ترین بادهای این منطقه را غرب جنوب غرب (WSW) معرفی نمود (صارمی نایینی و همکاران، ۱۳۸۵).

---

<sup>۱</sup> Wind Rose

<sup>۲</sup> Storm Rose

اختصاصی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی در منطقه یزد، کاربرد گلباد، گل توفان و گل ماسه را در فرسایش بادی مورد مطالعه قرار دادند و به کمک آن‌ها، جهت بادهای غالب یزد را تعیین کردند (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۵). در این تحقیق نیز تلاش شده است رژیم بادی کاشان با استفاده از گلباد و گل توفان مورد مطالعه قرارگیرد و به بررسی نقش اراضی مختلف در ایجاد توفان‌های گرد و خاک پرداخته شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

کاشان در ناحیه‌ی مرکزی ایران قرار گرفته است که از یک سو به کوهستان و از سوی دیگر به دشت کویر منتهی می‌شود. ارتفاع این منطقه از سطح دریا، ۹۴۵ متر و دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه‌ی طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه‌ی عرض شمالی است. شهر کاشان در پهنه‌ی اقلیمی با زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های خیلی گرم و خشک قرار گرفته است. وزش بادهای کویری که از صبح تا شام جریان دارد، موجب حرارت و خشکی هوا شده و از شام تا بام که نسیم خشکی از جهت کوهستان جریان پیدا می‌کند، باعث تعدیل هوای منطقه می‌شود. بادهای موسوم به باد سرخ، باد شهریاری، باد سام، باد شمال و باد قبله از بادهای معروف این منطقه است که اکثراً از کویر به سمت کاشان می‌وزند. در شکل ۱، منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- عکس ماهواره‌ای کاشان

### ۲-۲- روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق به شرح زیر است:

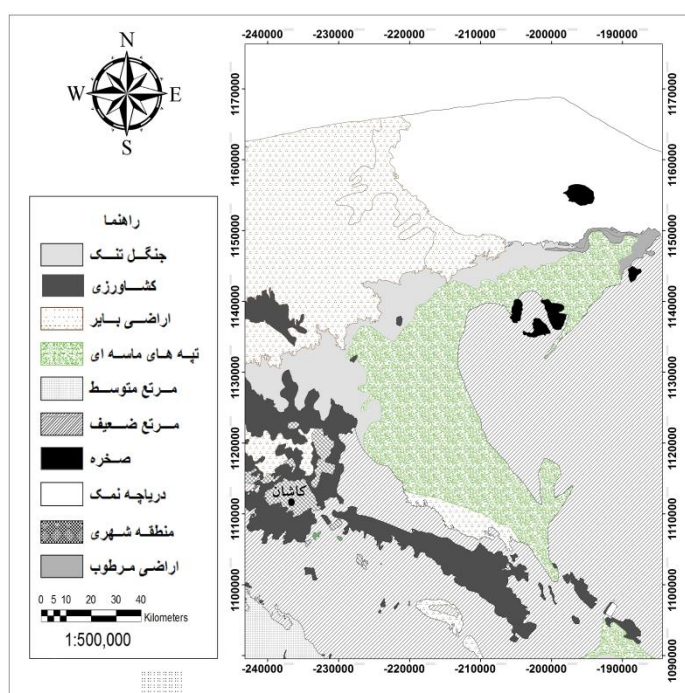
- ۱- اخذ آمار روزانه‌ی باد کاشان شامل سرعت و جهت باد و نیز تعداد روزهای همراه با گرد و غبار از سازمان هواشناسی در دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵
- ۲- تحلیل آماری فراوانی وقوع پدیده‌ی گرد و غبار در کاشان
- ۳- ترسیم گلبادهای سالانه و فصلی ایستگاه سینوپتیک کاشان
- ۴- ترسیم گل توفان‌های سالانه و فصلی برای هر یک از رخدادهای مورد مطالعه شامل اراضی زراعی بایر، اراضی کشاورزی، مراتع، تپه‌های ماسه‌ای فعال، تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده و دشت ریگ

۵- محاسبه‌ی شاخص بادناکی در کلاس‌های مختلف سرعت باد برای اراضی مورد مطالعه

۶- مقایسه‌ی نتایج حاصل از ترسیم گلبادها و گل‌توفان‌های فصلی با فراوانی وقوع پدیده‌ی گرد و غبار در فصول مختلف سال

در این تحقیق ترسیم گلباد و گل‌توفان با استفاده از نرم‌افزار **WRPlot** صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی در هر یک از رخصاره‌های مورد مطالعه به منظور ترسیم گل‌توفان مورد نیاز است. با استناد به تحقیقات پیشین (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۵ و یمانی، ۱۳۷۹)، سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی اراضی زراعی بایر و نیز تپه‌های ماسه‌ای فعال، برابر ۶/۵ متر بر ثانیه و همچنین سرعت آستانه‌ی فرسایش برای اراضی کشاورزی، مراتع، دشت ریگ و تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده به ترتیب برابر ۲۵، ۶، ۳۰ و ۲۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

در شکل ۲، نقشه‌ی کاربری اراضی در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده‌است.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی

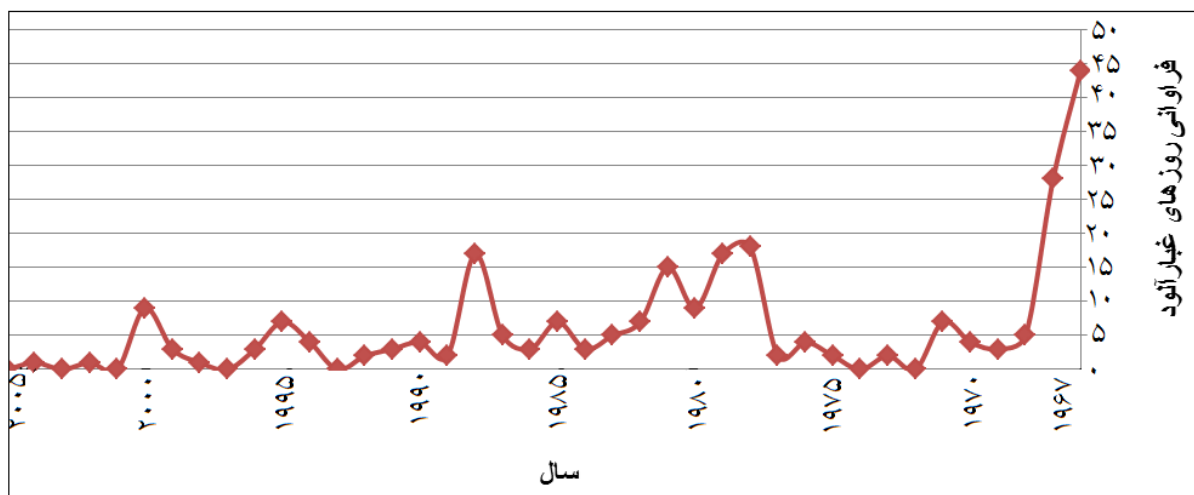
همچنین برای در نظر گرفتن همزمان سرعت و فراوانی باد در وقوع فرسایش بادی، شاخص بادناکی به صورت رابطه‌ی ۱ محاسبه شد:

درصد فراوانی کلاس‌های سرعت باد  $\times$  سرعت باد = شاخص بادناکی: رابطه (۱)

### ۳- نتایج و بحث

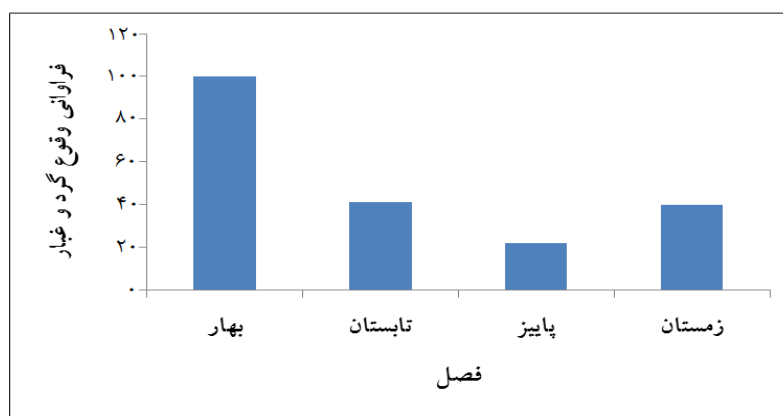
### ۱-۳- تحلیل آماری پدیده‌ی گرد و خاک

مطالعات صورت گرفته در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داد که در طول دوره‌ی آماری ۴۰ ساله (۱۹۶۶-۲۰۰۵)، در مجموع ۲۴۷ روز توسط ایستگاه هواشناسی کاشان به عنوان روز همراه با پدیده‌ی گرد و خاک گزارش شده است. بنابراین به طور میانگین ۶/۲ روز در سال پدیده‌ی گرد و خاک روی می‌دهد (شکل ۳).



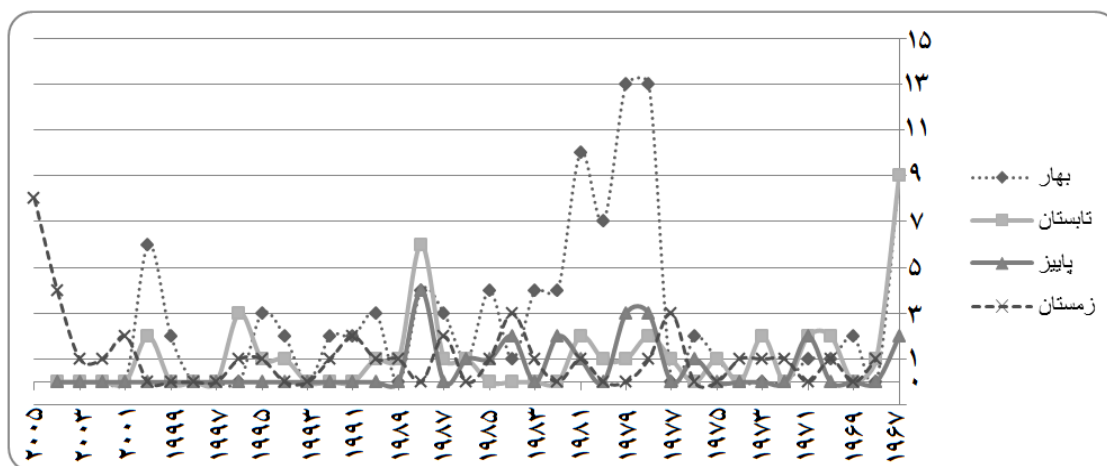
شکل ۳- فراوانی و روند سالانه‌ی روزهای همراه با گرد و خاک در کاشان طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، سال ۱۹۹۶ با ۴۴ روز بیشترین پدیده‌ی گرد و خاک را داشته و این پدیده، در تعداد کمی از سال‌ها مشاهده شده است. با توجه به تلاش‌هایی که در زمینه‌ی کنترل و مهار این پدیده با اجرای طرح تثبیت تپه‌های ماسه‌ای در اطراف کاشان توسط اداره‌ی منابع طبیعی انجام شده است، ملاحظه می‌شود که وقوع روزهای همراه با گرد و خاک طی دوره‌ی آماری مذکور، روند کاهشی داشته است. در این تحقیق، فراوانی وقوع روزهای همراه با پدیده‌ی گرد و خاک به صورت فصلی نیز مورد مطالعه قرار گرفت که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- فراوانی فصلی وقوع روزهای همراه با گرد و خاک در کاشان طی دوری آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

با توجه به شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت که در کاشان، بیشترین فراوانی وقوع پدیده‌ی گرد و غبار در فصل بهار اتفاق افتاده که حدود ۵۰ درصد از کل تعداد روزهای همراه با گرد و غبار را به خود اختصاص داده‌است. در شکل ۵، فراوانی فصلی پدیده‌ی گرد و خاک در دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵ با یکدیگر مقایسه شده است.

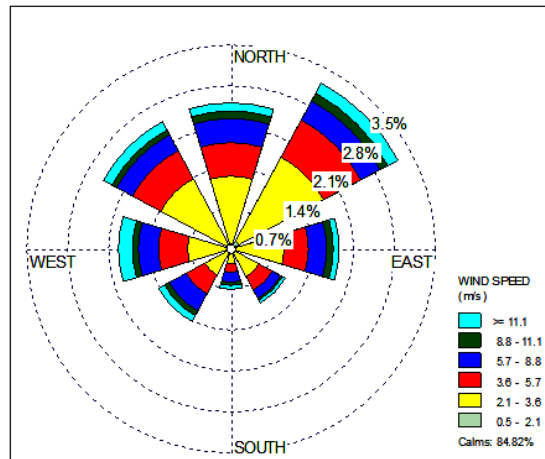


شکل ۵- مقایسه‌ی فراوانی فصلی وقوع روزهای همراه با گرد و غبار در کاشان طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در سال‌های مختلف نظم مشخصی در وقوع فصلی این پدیده وجود ندارد و این مسأله مبین این نکته است که عوامل مؤثر در ایجاد این پدیده، از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، شرایط اقلیمی و سیستم‌های هوایی نقش مهمتر و پررنگتری در بروز این پدیده نسبت به شرایط محلی دارند (امیدوار و نکونام، ۱۳۹۰).

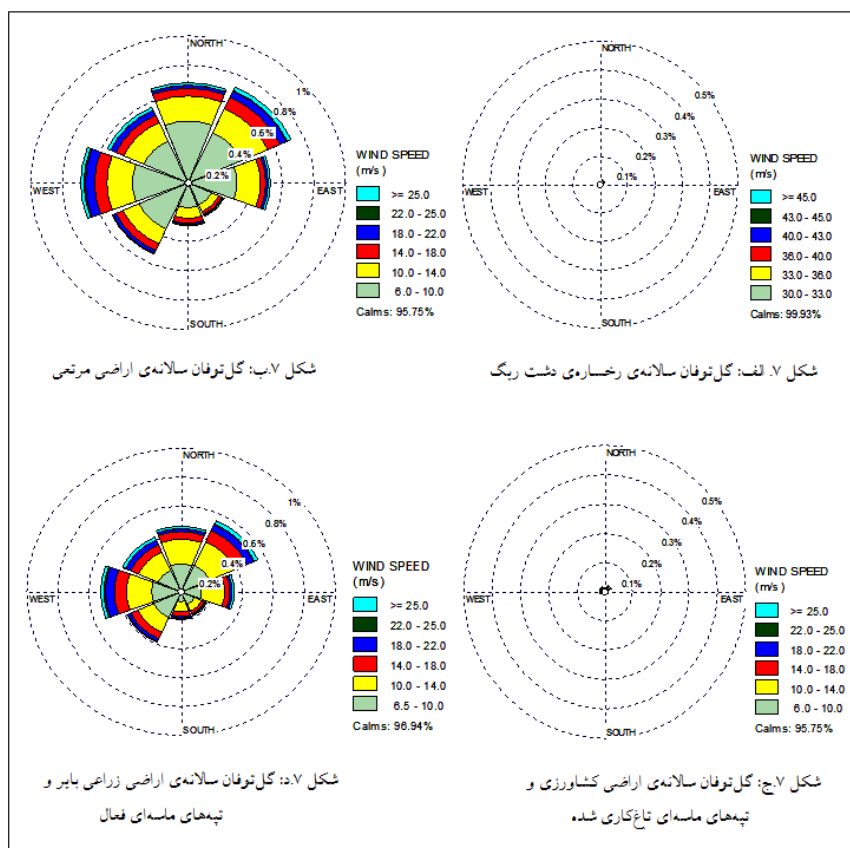
### ۳-۲- مطالعه‌ی گلباده‌ها و گل‌توفان‌های سالانه:

در شکل ۶، گلبادهای سالانه و فصلی ایستگاه سینوپتیک کاشان در طول دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۶- گلباد سالانه‌ی ایستگاه سینوپتیک کاشان در دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

در شکل ۷، گل‌توفان‌های سالانه‌ی ایستگاه سینوپتیک کاشان در طول دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵ برای هر یک از رخصاره‌های موجود نشان داده شده‌است.



شکل ۷- گل‌توفان‌های سالانه‌ی رخصاره‌های مورد مطالعه در ایستگاه سینوپتیک کاشان

بنابراین با توجه به شکل‌های ۶ و ۷، نتایج زیر به دست می‌آید:

۱- در ۸۴/۸ درصد از کل ساعات دیده‌بانی سالانه، هوا آرام است. به عبارت دیگر، از کل بادهای وزیده شده، فقط ۱۵/۲ درصد از بادهای دارای سرعتی بیش از ۰/۵ متر بر ثانیه هستند که این موضوع، نشان‌دهنده‌ی عدم بادخیز بودن کاشان است.

۲- با توجه به شکل ۶، نتیجه گرفته می‌شود که جهت باد غالب، شمال شرقی است و حدود ۳/۲۳ درصد از کل ساعات وزش باد را در طول سال شامل می‌شود. در شکل ۷.ب، جهت باد غالب شمال شرقی بوده و بادهای شمال و غرب با فراوانی یکسان در رتبه‌ی بعدی قرار دارند. این بادهای ۲/۰۸ درصد از کل ساعات وزش باد را به خود اختصاص داده‌اند. در شکل ۷.د، جهت باد غالب شمال شرقی و غرب بوده و ۱/۰۷ درصد از کل بادهای شامل می‌شوند. بنابراین نتایج به دست آمده نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که در اراضی مرتعی، بادهای شمال شرق، شمال و غرب و در اراضی زراعی بایر و نیز تپه‌های ماسه‌ای فعال، بادهای شمال شرق و غرب، بیشترین نقش را در فرسایش بادی به خود اختصاص داده‌اند. همچنین با توجه به شکل ۷.الف و ۷.ج نتیجه گرفته می‌شود که فقط ۰/۱ درصد از بادهای در اراضی کشاورزی، تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده و نیز دشت ریگ، باعث ایجاد فرسایش شده و در واقع در این مناطق، مشکل فرسایش بادی وجود ندارد.

در جدول ۱، کلاس‌های سرعت باد در هر یک از گلبادهای و گل توفان‌های ترسیم شده با هم مقایسه شده‌است. در این جدول، مجموع درصد طبقات باد ۱۰۰٪ است.

جدول ۱- درصد توزیع طبقه‌های سرعت باد و بادهای فرساینده در هر یک از رخساره‌های موجود در ایستگاه

سینوپتیک کاشان در طول دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

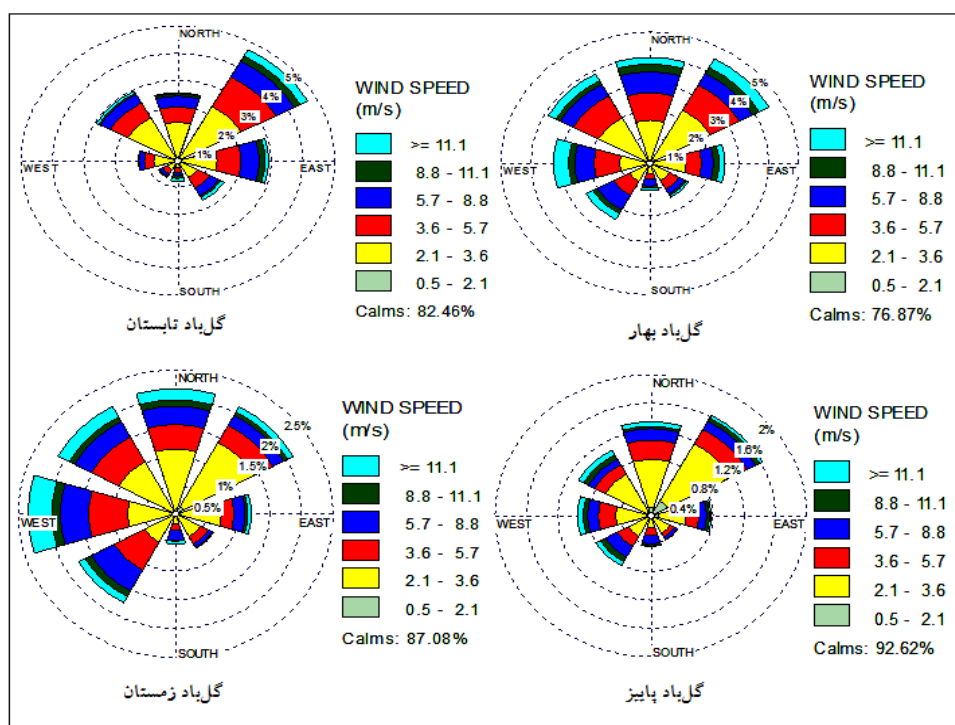
| طبقه‌ی سرعت (m/s)                                        | درصد باد آرام | ۲/۱-۰/۵ | ۳/۶-۲/۱ | ۵/۷-۳/۶ | ۸/۸-۵/۷ | ۱۱/۱-۸/۸ | ۱۱/۱< |
|----------------------------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| کل بادهای وزیده                                          | ۸۴/۸          | ۰/۶     | ۶/۸     | ۳/۵     | ۲/۴     | ۰/۸      | ۱/۱   |
| شاخص بادناکی                                             | -             | ۰/۷۸    | ۱۹/۳۸   | ۱۶/۲۷   | ۱۷/۴    | ۷/۹۶     | -     |
| طبقه سرعت (m/s)                                          | درصد باد آرام | ۱۰-۶/۵  | ۱۴-۱۰   | ۱۸-۱۴   | ۲۲-۱۸   | ۲۵-۲۲    | ۲۵<   |
| بادهای فرسایش‌زا در اراضی زراعی بایر و تپه‌های فعال      | ۹۶/۹          | ۱/۳     | ۱/۰     | ۰/۴     | ۰/۲     | ۰/۰      | ۰/۱   |
| شاخص بادناکی                                             | -             | ۱۰/۷۲   | ۱۲      | ۶/۴     | ۴       | ۰        | -     |
| طبقه سرعت (m/s)                                          | درصد باد آرام | ۱۰-۶    | ۱۴-۱۰   | ۱۸-۱۴   | ۲۲-۱۸   | ۲۵-۲۲    | ۲۵<   |
| بادهای فرسایش‌زا در اراضی مرتعی                          | ۹۵/۸          | ۲/۵     | ۱/۰     | ۰/۴     | ۰/۲     | ۰        | ۰/۱   |
| شاخص بادناکی                                             | -             | ۲۰      | ۱۲      | ۶/۴     | ۴       | ۰        | -     |
| طبقه سرعت (m/s)                                          | درصد باد آرام | ۲۸-۲۵   | ۳۱-۲۸   | ۳۴-۳۱   | ۳۷-۳۴   | ۴۰-۳۷    | ۴۰<   |
| بادهای فرسایش‌زا در اراضی کشاورزی و تپه‌های تاغ‌کاری شده | ۹۹/۹          | ۰       | ۰       | ۰/۱     | ۰       | ۰        | ۰     |

|     |       |       |       |       |       |               |                                   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-----------------------------------|
| -   | ۰     | ۰     | ۳/۲۵  | ۰     | ۰     | -             | شاخص بادناکی                      |
| ۴۵< | ۴۵-۴۳ | ۴۳-۴۰ | ۴۰-۳۶ | ۳۶-۳۳ | ۳۳-۳۰ | درصد باد آرام | طبقه‌ی سرعت (m/s)                 |
| ۰   | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰/۱   | ۹۹/۹          | بادهای فرسایش‌زا در اراضی دشت ریگ |
| -   | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۳/۱۵  | -             | شاخص بادناکی                      |

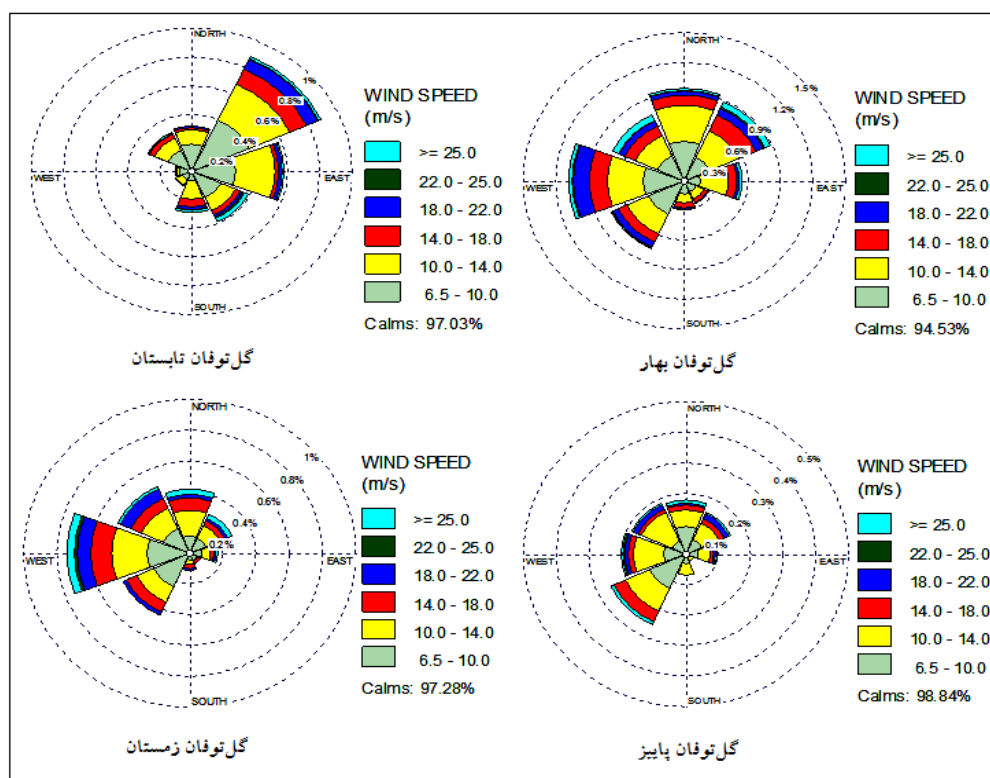
لازم به ذکر است که در محاسبه‌ی شاخص بادناکی، سرعت و فراوانی باد همزمان در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین هر چه این شاخص در هر یک از کلاس‌های سرعت باد بیشتر باشد، قدرت فرساینده‌ی باد نیز بیشتر است. نتایج به دست آمده از جدول ۱، این موضوع را تأیید می‌کند، زیرا نتایج نشان دهنده‌ی این است که بیشترین فراوانی وقوع بادهای فرساینده مربوط به کلاس سرعت ۶-۱۰ متر بر ثانیه است، در صورتی که محاسبه‌ی شاخص بادناکی نشان می‌دهد که در اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال، بادهای با سرعت ۱۰-۱۴ متر بر ثانیه، در اراضی کشاورزی، تپه‌های ماسه‌ای تاغ‌کاری شده و دشت ریگ، بادهای با سرعت ۳۰-۳۴ متر بر ثانیه و در اراضی مرتعی، بادهای با سرعت ۶-۱۰ متر بر ثانیه بیشترین نقش را در وقوع فرسایش بادی به خود اختصاص می‌دهند.

### ۳-۳- مطالعه‌ی گل‌بادها و گل‌توفان‌های فصلی کاشان:

با توجه به شکل ۷، مشخص گردید که در اراضی زراعی بایر، مراتع و تپه‌های ماسه‌ای فعال، فرسایش بادی به وقوع می‌پیوندد. بنابراین به منظور تحلیل دقیق‌تر، گلبادها و گل‌توفان‌های فصلی برای هر یک از این رخساره‌ها در دوره‌ی آماری ۴۰ ساله (۱۹۶۶-۲۰۰۵)، ترسیم گردید. در شکل ۸، گلبادهای فصلی ایستگاه سینوپتیک کاشان و در شکل ۹، گل‌توفان‌های فصلی برای اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال نشان داده شده است.



شکل ۸- گلبادهای فصلی ایستگاه سینوپتیک کاشان در دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵



شکل ۹- گل‌توفان‌های فصلی برای اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال در دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

با توجه به شکل ۸، نتیجه گرفته می‌شود که جهت باد غالب در بهار، تابستان و پاییز، شمال شرق و در فصل زمستان، غرب است. همچنین نتایج حاصل از ترسیم گل‌توفان‌های فصلی در رخساره‌های مختلف نشان داد که در

فصل بهار، جهت غالب بادهای فرساینده برای اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال، غرب و در اراضی مرتعی به نسبت مساوی از سمت غرب و شمال است. همچنین این بادهای در فصل تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب از سمت شمال شرق، جنوب غرب و غرب می‌وزند.

در جدول ۲، درصد توزیع طبقه‌های سرعت بادهای فرساینده در فصول مختلف سال در رخصاره‌های مختلف نشان داده شده‌است.

جدول ۲- درصد توزیع طبقات سرعت بادهای فرساینده در هر یک از رخصاره‌ها در فصول مختلف

| درصد بادهای فرسایش‌زا در هر طبقه (متر بر ثانیه) |       |       |       |       |        |          | فصل     | رخصاره                                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|----------------------------------------------|
| ۲۵<                                             | ۲۵-۲۲ | ۲۲-۱۸ | ۱۸-۱۴ | ۱۴-۱۰ | ۱۰-۶/۵ | باد آرام |         |                                              |
| ۰/۲                                             | ۰/۰   | ۰/۴   | ۰/۸   | ۱/۹   | ۲/۱    | ۹۴/۵     | بهار    | اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال      |
| ۰/۱                                             | ۰/۰   | ۰/۲   | ۰/۳   | ۱/۰   | ۱/۴۹   | ۹۷/۰     | تابستان |                                              |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۱   | ۰/۱   | ۰/۵   | ۰/۵    | ۹۸/۸     | پاییز   |                                              |
| ۰/۱                                             | ۰/۰   | ۰/۲   | ۰/۴   | ۰/۸   | ۱/۱    | ۹۷/۳     | زمستان  |                                              |
| ۲۵<                                             | ۲۵-۲۲ | ۲۲-۱۸ | ۱۸-۱۴ | ۱۴-۱۰ | ۱۰-۶   | باد آرام | فصل     | رخصاره                                       |
| ۰/۲                                             | ۰/۰   | ۰/۴   | ۰/۸   | ۱/۹   | ۴/۰    | ۹۲/۶     | بهار    | اراضی مرتعی                                  |
| ۰/۱                                             | ۰/۰   | ۰/۲   | ۰/۳   | ۱/۰   | ۲/۷    | ۹۵/۷     | تابستان |                                              |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۱   | ۰/۱   | ۰/۵   | ۰/۱    | ۹۸/۳     | پاییز   |                                              |
| ۰/۱                                             | ۰/۰   | ۰/۲   | ۰/۴   | ۰/۸   | ۲/۱    | ۹۶/۲     | زمستان  |                                              |
| ۴۰<                                             | ۴۰-۳۷ | ۳۷-۳۴ | ۳۴-۳۱ | ۳۱-۲۸ | ۲۸-۲۵  | باد آرام | فصل     | رخصاره                                       |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۱   | ۰/۰   | ۰/۱    | ۹۹/۸     | بهار    | اراضی کشاورزی و تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۱   | ۰/۰   | ۰/۰    | ۹۹/۹     | تابستان |                                              |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰    | ۱۰۰      | پاییز   |                                              |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۱    | ۹۹/۹     | زمستان  |                                              |
| ۴۵<                                             | ۴۵-۴۳ | ۴۳-۴۰ | ۴۰-۳۶ | ۳۶-۳۳ | ۳۳-۳۰  | باد آرام | فصل     | رخصاره                                       |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۱   | ۰/۱    | ۹۹/۹     | بهار    | دشت ریگ                                      |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۱    | ۹۹/۹     | تابستان |                                              |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰    | ۱۰۰      | پاییز   |                                              |
| ۰/۰                                             | ۰/۰   | ۰/۰   | ۰/۰۱  | ۰/۰   | ۰/۰۳   | ۹۹/۹     | زمستان  |                                              |

با توجه به جدول ۲ نتیجه گرفته می‌شود که بیشترین فراوانی وقوع بادهای فرساینده، مربوط به فصل بهار است. همچنین وزش بادهای فرساینده با کلاس سرعت ۱۰-۶ متر بر ثانیه، در تمام فصول سال بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند.

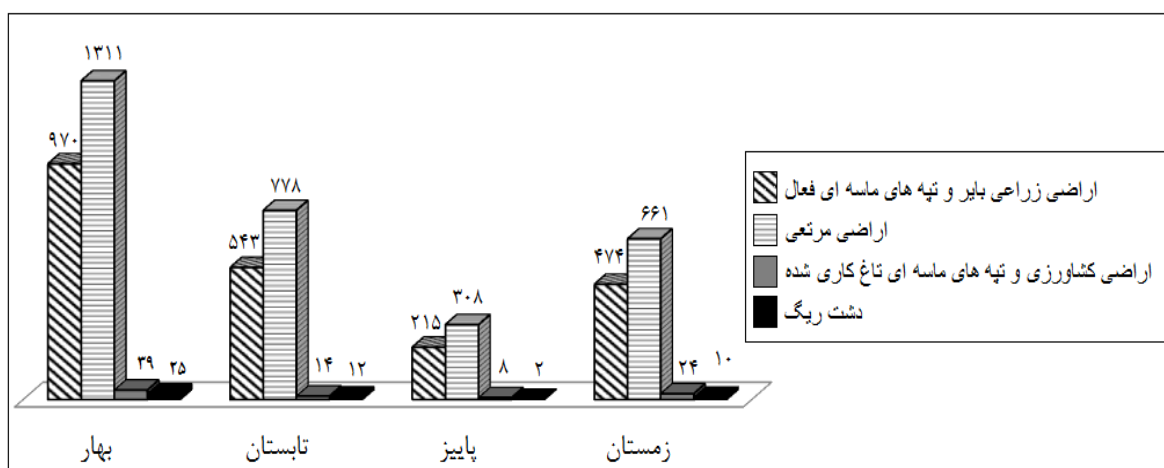
در جدول ۳، تعداد بادهای فرساینده در رخصاره‌های مورد مطالعه در فصول مختلف سال نشان داده شده است.

جدول ۳- تعداد بادهای فرساینده در هر یک از رخصاره‌ها در فصول مختلف سال در ایستگاه سینوپتیک کاشان طی

دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

| فصل‌های سال                          | بهار | تابستان | پاییز | زمستان |
|--------------------------------------|------|---------|-------|--------|
| اراضی زراعی بایر و تپه‌های فعال      | ۹۷۰  | ۵۴۳     | ۲۱۵   | ۴۷۴    |
| اراضی مرتعی                          | ۱۳۱۱ | ۷۷۸     | ۳۰۸   | ۶۶۱    |
| اراضی کشاورزی و تپه‌های تاغ کاری شده | ۳۹   | ۱۴      | ۸     | ۲۴     |
| اراضی دشت ریگ                        | ۲۵   | ۱۲      | ۲     | ۱۰     |

در شکل ۱۰، نمودار ستونی تعداد بادهای فرساینده در رخصاره‌های مختلف نشان داده شده است.



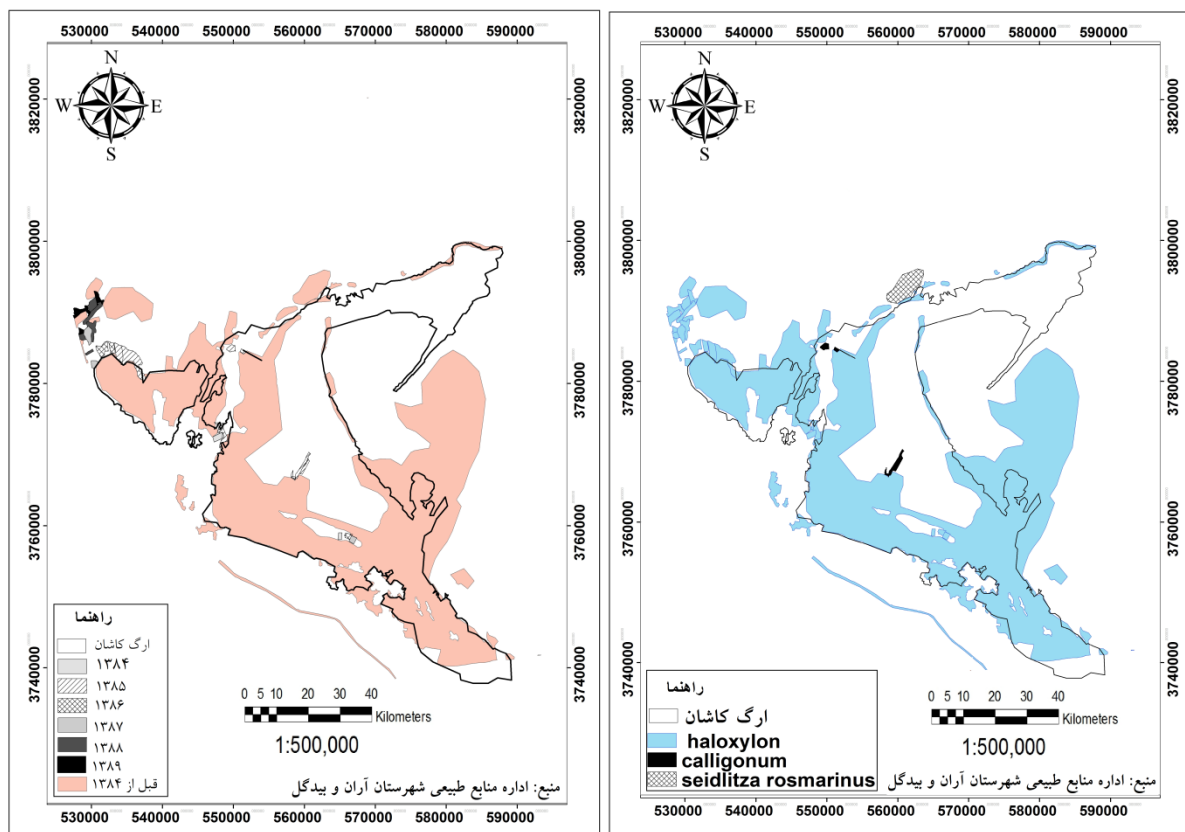
شکل ۱۰- نمودار تعداد بادهای فرساینده در رخصاره‌های مختلف در دوره‌ی آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵

با توجه به شکل ۱۰، نتیجه گرفته می‌شود که در دوره‌ی آماری مذکور و در رخصاره‌های مورد مطالعه، تعداد بادهای فرساینده ۵۳۹۴ مورد است که حدود ۴۴٪ از این بادهای فصل بهار رخ داده است. همچنین وزش بادهای فرساینده در تابستان و زمستان در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی نقش اراضی مختلف در وقوع فرسایش بادی پرداخته شد. نتایج به دست آمده از گل توفان سالانه در اراضی زراعی بایر و تپه‌های ماسه‌ای فعال نشان داد که بادهای فرساینده در این مناطق از سمت شمال شرق و غرب می‌وزند (شکل ۷.د). بنابراین با توجه به اینکه ارگ ریگ‌بلند، دقیقاً در شمال شرقی کاشان قرار دارد

(شکل ۱)، لازم است با اعمال مدیریت صحیح در مورد منشأیابی و تثبیت تپه‌های ماسه‌ای از مشکلات ناشی از انتقال ماسه‌های روان به اراضی حاشیه‌ای ارگ جلوگیری به عمل آید. البته در این زمینه، طرح‌هایی صورت پذیرفته است که بارزترین آن، احداث جنگل دست کاشت تاغ به مساحت ۱۲۰۰۰۰ هکتار است. در شکل ۱۱، نقشه‌ی تثبیت ارگ کاشان به تفکیک نوع پوشش و سال اجرا نشان داده شده‌است.



شکل ۱۱ الف- نقشه‌ی تثبیت ارگ (به تفکیک نوع پوشش) و شکل ۱۱ ب- نقشه‌ی تثبیت ارگ (به تفکیک سال)

همچنین نتایج حاصل از شکل ۴ نشان داد که بیشترین هوای غبارآلود در فصل بهار و سپس در فصول تابستان و زمستان رخ داده‌است. با توجه به موقعیت ارگ نسبت به کاشان و مقایسه‌ی نتایج حاصل از شکل‌های ۴ و ۹، ملاحظه شد که در نگاه اول، نتایج با هم همخوانی نداشتند، ولی با بررسی بادهای با سرعت بیش از ۲۵ m/s مشخص شد که کاملاً یکدیگر را تأیید می‌نمایند. بیشترین میزان بادهای شدید (با سرعت بیش از ۲۵ m/s) در فصل بهار، از سمت شمال شرق می‌وزند. همچنین در فصل زمستان با وجود این که جهت غالب بادهای فرساینده از سمت غرب است، ولی به دلیل وزش بادهای شدید از شمال شرق، هوای غبار آلود مشاهده می‌شود. گل توفان تابستان نیز با شکل ۴ کاملاً همخوانی دارد.

بنابراین از نتایج حاصل از گلبادهای و گل توفان‌ها در فصول مختلف می‌توان در طراحی بادشکن‌ها استفاده نمود، بدین ترتیب که بادشکن باید عمود بر جهت باد غالب طراحی گردد تا بیشترین کارایی و اثربخشی را داشته‌باشد. بنابراین با توجه به زمان کشت و کار در فصل بهار و زمان برداشت محصول در تابستان، می‌توان با توجه به جهت باد

غالب در این فصول با طراحی و احداث بادشکن‌ها، مانع از بروز خسارات باد به محصولات کشاورزی گردید و بازدهی کشاورزی را افزایش داد.

به طور کلی باد در نتیجه‌ی اختلاف فشار و یا درجه‌ی حرارت بین دو نقطه حاصل می‌شود. با توجه به این که کاشان از شمال شرق به مناطق پست و بیابانی و از جنوب غرب به مناطق کوهستانی ختم می‌شود، در نتیجه‌ی اختلاف بافت خاک که به ترتیب خاک و سنگ است، اختلاف دما در شب و روز ایجاد شده و بدین ترتیب در روز، جهت وزش باد از شمال شرق به جنوب غرب و در شب، برعکس خواهد بود. ترسیم گلباد سالانه‌ی کاشان بین ساعات ۶-۱۸ و نیز ۱۸-۲۴ به خوبی نشان داد که بین ساعات ۶-۱۸، جهت باد غالب از شمال شرق و بین ساعات ۱۸-۲۴، جهت باد غالب کاملاً برعکس شده و از سمت جنوب غرب است.

از دیگر عوامل ایجاد کننده‌ی اختلاف فشار و یا اختلاف درجه‌ی حرارت در منطقه‌ی مطالعاتی، می‌توان مالچ پاشی، کشاورزی، تغییر کاربری اراضی و ... را نام برد که منجر به وزش باد می‌شوند. با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، ملاحظه شد که به طور کلی کاشان بادخیز نبوده و اغلب بادهای منطقه آرام هستند. همچنین به طور کلی فصل بهار با داشتن کمترین میزان بادهای آرام، بادخیزترین فصل سال بوده و از طرف دیگر پاییز، آرام‌ترین فصل سال است. عزتیان نیز در مطالعات خود راجع به انرژی باد در پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران به این نتیجه رسید که به طور کلی کاشان بادخیز نبوده و سریع‌ترین بادهای فصل بهار، اوایل تابستان و زمستان روی می‌دهند. همچنین جهت باد غالب، شمال شرقی است. وی در مطالعات خود به این نتیجه رسید که در سطح استان اصفهان، بادهای ۴ تا ۶ متر بر ثانیه بیشترین فراوانی وقوع را دارند که نتایج این تحقیق نشان داد این بادهای در کاشان بعد از بادهای با سرعت ۲ تا ۴ متر بر ثانیه در رتبه‌ی دوم قرار دارند.

#### ۱- منابع:

- ۱- احمدی، حسن، ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش بادی)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۷۰۶ ص.
- ۲- اختصاصی، محمدرضا، ۱۳۸۳. بررسی مورفومتری و مورفودینامیک رخساره‌های فرسایش بادی دشت یزد-اردکان و تعیین شاخص‌های این فرایند جهت کاربرد در مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی، رساله‌ی دکتری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۳- اختصاصی، محمدرضا، حسن احمدی، علی خلیلی، محمدعلی صارمی نایینی و محمدرضا رجبی، ۱۳۸۵. کاربرد گلباد، گل‌طوفان و گلماسه در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان (مطالعه‌ی موردی، حوزه‌ی دشت یزد-اردکان)، نشریه‌ی دانشکده‌ی منابع طبیعی، ۵۹ (۳): ۵۳۳-۵۴۱.
- ۴- امیدوار، کمال و زری نکونام، کاربرد گلباد و گل‌غبار در تحلیل پدیده‌ی گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه‌ی موردی: شهر سبزوار)، ۱۳۹۰. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۷۶: ۸۵-۱۰۴.

- ۵- حسینی، سید محمود، محمدرضا اختصاصی، علیرضا شهریار و حامد شفیعی، ۱۳۸۹. بررسی وضعیت بالفعل و بالقوه بیابان‌زایی با تأکید بر معیار فرسایش بادی به روش MICD (بررسی موردی: منطقه‌ی نیاتک سیستان)، نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، ۱۶۵-۱۸۱.
- ۶- صارمی نایینی، محمدعلی، حسن احمدی، علی خلیلی و محمدرضا اختصاصی، ۱۳۸۵. تحلیل مقایسه‌ای بر توزیع مکانی گلباد، گل‌طوفان و گلماسه در مطالعات فرسایش بادی با استفاده از تکنیک GIS (مطالعه‌ی موردی: دشت یزد- اردکان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۷- عزتیان، ویکتوریا و محمدباقر بهیار، برآورد انرژی بالقوه‌ی باد در پهنه‌های اقلیمی ایران جهت طراحی و به کارگیری انرژی پاک، اداره‌ی کل هواشناسی استان اصفهان.
- ۸- عظیم‌زاده، حمیدرضا و محمدرضا اختصاصی، ۱۳۸۳، فرسایش بادی: بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی (مطالعه‌ی موردی: دشت یزد- اردکان)، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۲): ۲۲۵-۲۳۵.
- ۹- معتمد، احمد، ۱۳۷۹. ژئومورفولوژی، انتشارات سازمان سمت، جلد سوم.
- ۱۰- نگارش حسین و لیلا لطیفی، ۱۳۸۷. تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در سال‌های اخیر، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، ۱۲: ۴۳-۶۰.
- 11- Lin, G., 2002. Dust bowl in the 1930, sand storms in the USA, Global Alarm :Dust and sand storms from the world's dry lands, United Nations.
- 12- Orlovsky, L., Orlovsky, N., Durdyev, A., 2004. Dust Storms in Turkmenistan, Journal of Arid Environments, Vol. 60, pp. 83-97.
- 13- P. Webb, N., H. A. McGowan, S. R. Phinn & G. H. McTainsh, 2006. AUSLEM (Australian Land Erodibility Model) :A tool for identifying wind erosion hazard in Australia, Geomorphology, volume 78
- 14- Stewart, D. A and Essenwanger. O.M. 1987. Frequency distribution of wind speed near the surface . j . Appl. Meteor . 17:633-642
- 15- Zobeck, T.M. 1991. Soil properties affecting wind erosion. J. Soil water conserve. 46:112-11.