

## بررسی رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه به منظور شناسایی اشکال تپه‌های ماسه‌ای

• علی اکبر نظری سامانی

دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

• حسن خسروی

استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

• طیبه مصباح زاده

استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

• محمدرضا راهداری

دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: شهریور ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: بهمن ماه ۱۳۹۳

Email: Rahdari@ut.ac.ir

### چکیده

رسوبات بادی در حدود ۶ درصد از سطح زمین را تحت گستره خود قرار داده است که حدود ۹۷ درصد آن در مناطق خشک قرار گرفته است و به طور متوسط حدود ۲۰ درصد از مناطق خشک جهان به وسیله این رسوبات پوشیده شده است. شدت و جهت باد غالب می‌تواند در رسوب‌گذاری تاثیرگذار باشد و در نهایت در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای بسیار مهم است. با توجه به این که رسوبات حمل شده توسط باد خسارات و اثرات زیان‌باری دارد لزوم بررسی آن‌ها از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق از روش فرایبرگر و با استفاده از نرم‌افزارهای WR PLOT 7.0 و MATLAB 2013 به ارزیابی رژیم بادی در منطقه ارگ بلند کاشان پرداخته شده است و از داده‌های بادسنجی پنج ایستگاه نزدیک به منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج (برآیند پنج ایستگاه) بیانگر حاکمیت بادهای شرقی-غربی می‌باشد و هر یک از ایستگاه‌ها یک نوع رژیم بادی را نشان می‌دهند. درصد فراوانی بادهای آرام به ترتیب در ایستگاه‌های جنگل‌بانی (۳۲/۷۷)، قم (۴۰/۰۵)، گرمسار (۴۴/۸۳)، اردستان (۵۰/۱۵) و کاشان (۷۷/۰۴) افزایش می‌یابد. بعد از بادهای آرام در منطقه بیشترین فراوانی مربوط به کلاس ۱۱-۷ نات است در حالیکه کلاس ۱۷-۱۱ نات (شاخص فرساینده‌گی ۹۹۲/۶) موثرترین کلاس فرسایش بادی در منطقه است. ایستگاه جنگل‌بانی بادرود با ۴۴۱/۸۱ واحد برداری و ایستگاه کاشان با ۴۰/۰۲ به ترتیب بیشترین و کمترین پتانسیل حمل ماسه را نشان دادند. مقایسه تطبیقی یافته‌های این پژوهش با بررسی‌های دیگر مناطق جهان بیانگر این است که پتانسیل حمل ماسه در محدوده ارگ بلند کاشان زیاد نیست و در حالت کلی می‌توان گفت که در کلاس کم-متوسط قرار گرفته و بیشترین تطابق نوع رژیم بادی (UDI و Dpt) در نزدیکی ایستگاه کاشان و جنگل‌بانی بادرود در قالب تپه‌های خطی و عرضی مشاهده شد. همچنین یافته‌ها نشان دهنده این است که بین نتایج حاصل از محاسبات به شیوه فرایبرگر و کلاس‌های سرعت نسبت به نرم افزار گلماسه‌نما (Sand Rose Graph 3.0) به صورت کامل تطابق وجود ندارد.

کلمات کلیدی: پتانسیل حمل ماسه، تپه‌های ماسه‌ای، رژیم بادی، فرایبرگر، کاشان.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 111 pp: 19-33

### Investigate of Wind Regime and Sand Drift Potential in Order to Identify of Sand Dunes Forms

By: A. A. Nazari Samani, Associate Professor, Natural resource faulty, University of Tehran. H. Khosravi, Assistance Professor, Natural resource faulty, University of Tehran. T. Mesbahzadeh, Assistance Professor, Natural resource faulty, University of Tehran. M. R. Rahdari, Ph.D student of combating desertification, Natural resource faulty, University of Tehran (Corresponding Author).

Aeolian sediments are in 6 percent of land and 97 percent of them are in arid land. On average, about 20 percent of the arid regions of the world are covered by these. Prevailing winds can shift sand dunes and affect their accumulation. According to sediments have damage and harmful effects on the living then study of this subject is significant importance. In this research with Fryberger method and used of WR PLOT 7.0 and MATLAB 2013 software in order to assessment of wind regime as well as used from anemometer data of five station near Kashan ERG. Results indicate that east-west winds are dominant and each station shows a kind of wind regime. The frequency of calm winds increases respectively in station of Jngalbani (32.77), Qom (40.05), Garmsar (44.83), Ardestan (50.15) and Kashan (77.04). After calm winds in the area, the most of class is 11-7 Knot, while the most effective class is 17-11 knots (992.6 Erode Index) for wind erosion in the region. Jangalbani station with 441.81 VU and kashan station with 40.02 VU are the highest and lowest quantity of sand drift potential in the region. Comparative studies on various stations in the world according to sand drift potential in the area indicated that kashan ERG is not hazardous then in general, could say that it located in the low-middle class. And the formed of linear and transverse dunes near Kashan and Jangalbani station following a global trend. Result show taht there is note full compliance beatwen Fryberger method and Sand Rosr Graph 3.0 software.

Keywords: Sand Drift Potential; Sand Dunes; Wind Regime; Fryberger; Kashan.

Lancaster, ۱۹۹۰). رژیم بادی و میزان انتقال رسوبات بادی دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشند (McKee, ۱۹۷۹). تشکیل تپه‌های ماسه‌ای در یک منطقه تابعی از دسترس بودن رسوبات بادی، تبخیر و بارش موجود در یک منطقه و در نهایت شدت و تنوع بادهای موجود است (Lancaster, ۱۹۹۵). بنابراین تفسیر اطلاعات بادسنجی ارتباط مستقیمی با رخدادهای بادی و همچنین توالی‌های رسوبات در دوره‌های قدیمی دارد (Paul, ۲۰۱۱). بدست آوردن اطلاعات پتانسیل حمل ماسه به طور دقیق بسیار مشکل است و روش‌های متعددی بر اساس مفروضات محیطی به کار برده شده است (Awadhi, ۲۰۰۵; Greeley, ۱۹۸۵). از آن جمله می‌توان به معادلات بگنولد (Bagnold, ۱۹۴۱)، کاوامورا (Kawamura, ۱۹۵۱)، زینگ (Zingg, ۱۹۵۳) و لتو-لتو (Fryberger, ۱۹۷۹) نام برد که با استفاده از تونل باد به وسیله بلی (Belly, ۱۹۶۴) مورد آزمایش قرار گرفته است و معادله ارائه شده توسط لتو-لتو با مطالعات بلی همخوانی نزدیکی را نشان داد (Fryberger, ۱۹۷۹).

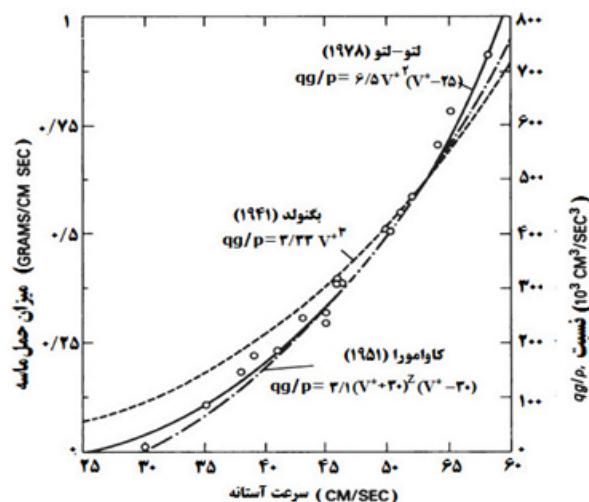
#### مقدمه

از نیمه دوم قرن نوزدهم فرسایش به عنوان یکی از مهمترین مشکلات گسترده زیست محیطی تشخیص داده شده است به طور خاص در مناطقی که دارای اقلیم فصلی متضاد می‌باشند و فعالیت‌های انسانی فشار زیادی بر منابع پایه (آب، خاک و گیاه) وارد می‌کنند (Bullard, ۲۰۰۷). این فرایند در تمام مناطق جهان حتی در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب رخ می‌دهد و اثرات خطرناکی را ایجاد می‌کند و به واقع می‌توان گفت که فرسایش بادی یک فرایند اصلی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد و چشم‌اندازهای ایجاد شده از آن شامل ماسه‌زارها و اشکال مختلف تپه‌های ماسه‌ای است (Yaping, ۲۰۰۸). در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است ولی گاهی ابعاد و عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر است (Refahi, ۲۰۰۹). انتقال رسوبات بادی برای تحول چشم‌اندازهای بیابانی دارای اهمیت می‌باشد به طوریکه رژیم بادی و همچنین ساختار تپه‌های ماسه‌ای یک پارامتر تاثیر گذار در میزان رسوبات بادی است (Tchekarian, ۲۰۰۲).

شامل سرعت باد، جهت چیره باد و فراوانی باد (گلباد) و همچنین بررسی و مطالعه گل طوفان ۲ و گلماسه ۳ است. (Ahmadi, ۲۰۰۸) فرایبرگر (Fryberger, ۱۹۷۹) با استفاده از معادلات لتو-لتو (Fryberger, ۱۹۷۹) به محاسبه پتانسیل حمل ماسه در مناطق مختلف دنیا پرداخته است به طوریکه روش فرایبرگر به طور گسترده در محیط‌های بیابانی پذیرفته شده است (Carson, ۱۹۸۶; Havholm, ۱۹۸۸; Kalma, ۱۹۸۸; Tsoar, ۱۹۹۰; Sweet, ۱۹۹۲; Muhs, ۱۹۹۳; Wall, ۱۹۹۳; Nickling, ۱۹۹۴; Anthonsen, ۱۹۹۶; Bullard, ۱۹۹۶; Greeley, ۲۰۰۲; Wang, ۲۰۰۵; Pearce, ۲۰۰۶; Anderson, ۲۰۱۱; Jewell, ۲۰۱۴; Stout, ۲۰۱۴; Levin et al, ۲۰۱۴). در این تحقیق تلاش شده که به بررسی رژیم بادی و همچنین پتانسیل حمل ماسه در ارگ ۴ (مجموعه تپه‌های ماسه‌ای) بلند کاشان با استفاده از روش فرایبرگر (Fryberger, ۱۹۷۹) و کلاس‌های سرعت پرداخته شود و تاثیر آن را در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد واکاوی قرار گیرد.

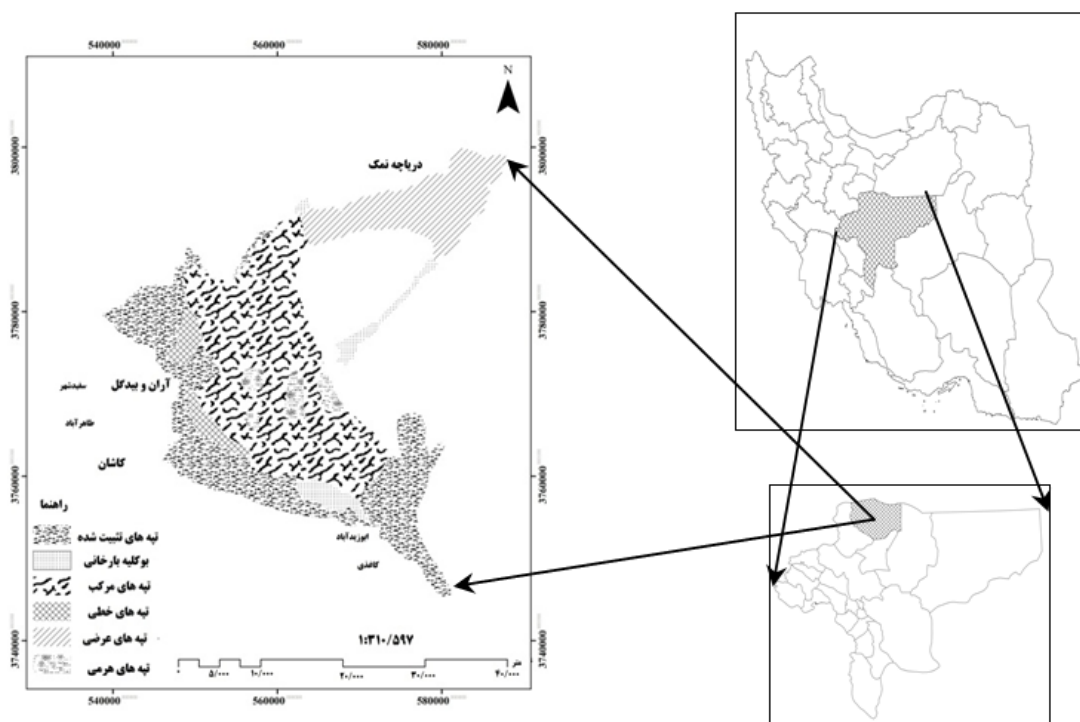
### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بندریگ یا 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 می‌رود. شهرهایی چون کاشان، آران و بیدگل، راوند و تعداد زیادی آبادی‌های کوچک و بزرگ دیگر همراه با اراضی زراعی پیرامون آن‌ها با سایر خدمات حاشیه‌ای درست در مجاور و یا بعضاً در درون این توده بزرگ ماسه‌ای استقرار پیدا کرده‌اند. این مجموعه ماسه‌ای در جنوب دریاچه نمک قرار گرفته است و دارای قوس هلالی شکل می‌باشد (Yamani, ۲۰۰۰) که تحدب آن به سمت غرب است (شکل ۱). مجموعه ماسه‌ای بندریگ در عرض جغرافیایی ۳۳° ۴۵' تا ۳۴° ۱۵' و طول جغرافیایی ۵۱° ۳۰' تا ۵۱° ۴۵' قرار گرفته و مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۹۵۳/۶ کیلومتر مربع برآورد گردیده است. (Rahdari, ۲۰۱۴) رژیم بارش این منطقه مدیترانه‌ای است به این مفهوم که فصل خشک مطلقاً منطبق به فصل تابستان و فصل بارندگی متمرکز به فصل زمستان است. آمار بلند مدت ایستگاه سینوپتیک کاشان دمای متوسط سالانه را ۱۹/۱ درجه سانتیگراد، میانگین رطوبت نسبی ۴۰ درصد، میانگین بلند مدت بارش سالانه ۱۳۸/۴ میلی‌متر را گزارش کرده است. ارتفاعات منطقه کاشان شامل رشته کوه‌های قهرود بوده و بخشی از کمربند آتشفشانی ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد که به موازات زون سندانج، سیرجان و تراست بزرگ زاگرس قرار دارند. قدیمی‌ترین سازندهای آن متعلق به تریاس و از آن زمان تا عهد حاضر رسوبات مختلفی نهشته شده است. گزارشات بلند مدت ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به ارگ بیانگر حاکمیت بادهای شرقی-غربی است و میانگین سرعت باد مطالعه شده در منطقه بین ۷/۴۷-۱/۶۲ نات برآورد گردیده است و از سویی بادهای آرام در منطقه از فراوانی بالایی برخوردار است.



شکل ۱- مقایسه روابط بگنولد، کاوامورا و لتو-لتو (Fryberger, ۱۹۷۹)

داده‌های باد بدون استاندارد ممکن است اندکی بر روی محاسبات پتانسیل حمل ماسه تاثیرگذار باشند (Fryberger, ۱۹۷۹). شرایط سطحی نیز علاوه بر سرعت آستانه پتانسیل حمل ماسه را کنترل می‌کند و چهار فاکتور میانگین اندازه ذرات (Bagnold, ۱۹۴۱; Belly, ۱۹۶۴; Chepil, ۱۹۶۳; Bagnold, ۱۹۴۱) و پوشش گیاهی (Bagnold, ۱۹۴۱) و رطوبت ماسه بر روی پتانسیل حمل ماسه تاثیرگذار می‌باشند. در مطالعات مربوط به فرسایش دو نوع شاخص وجود دارد که شامل فاکتورهای فرساینده و فرسایش پذیری می‌شوند (Ahmadi, ۲۰۰۸). باد به عنوان یک فاکتور فرساینده دارای جهت برداری، اندازه و نیرو می‌باشد. سرعت و قدرت باد یک عنصر کلیدی در توانایی فرسایش بادی است و مطالعات نشان داده که فرسایش بادی همبستگی مثبتی با سرعت باد دارد (Ekhtesasi, ۲۰۰۴). بررسی‌ها حاکی از این بوده است که باد غالب می‌تواند در تپه‌های ماسه‌ای تغییر شکل ایجاد کند و رسوب‌گذاری ذرات را تحت تاثیر قرار دهد. همچنین رژیم بادی حرکت شن‌های روان را تعیین می‌کند (Mesbahzadeh, ۲۰۱۲b). باد معادل یک چهارم سطح بیابان‌های کره زمین را به وسیله شن پوشش داده است و هر ساله صدها میلیون تن خاک را از آن‌ها کنده و جابه‌جا می‌کند (Summerfield, ۱۹۹۱). سه پارامتر شامل فرکانس، اندازه و جهت فرایندهای بادی تاثیر مهمی بر روی مورفودینامیک و شکل تپه‌های ماسه‌ای دارند (pearce, ۲۰۰۵). مشکلات ناشی از تحرک تپه‌های ماسه‌ای که ممکن است تاثیر مخرب روی زیر ساخت‌ها و مناطق پر جمعیت داشته باشد به دانش منطقه‌ای در ارتباط با فرایندهای بادی نیازمند است (Fryberger, ۱۹۷۹). به علت اینکه باد عامل اصلی تخریب و فرسایش در مناطق بیابانی محسوب می‌گردد برای جلوگیری از اثرات تخریبی آن باید شناخت کافی داشت. بنابراین لازم است طی یک دوره آماری، منطقه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد و مهمترین عواملی که در این مورد باید توجه قرار گیرند



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه

### روش تحقیق

از مطالعات سامرفیلد (Summerfield, ۱۹۹۱) و با توجه به طبقه‌بندی مک‌کی (McKee, ۱۹۷۹) به صورت بصری استفاده شد.

به منظور مشخص کردن تیپ‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای در منطقه

جدول ۱- مطالعات سامرفیلد در ارتباط با ارزیابی تپه‌های ماسه‌ای (Summerfield, ۱۹۹۱)

تعداد دامنه خلاف جهت باد (جهت‌گیری هندسی)	رژیم بادی	نوع تپه‌های ماسه‌ای	مرفولوژی
یک (یک جهت)	یک جهت	اشکال عرضی	نامتقارن (مواج)
			اشکال منحنی شکل پیوسته
دو (مخالف)	دو جهت - مخالف	اشکال عرضی	منحنی (مواج)
			نامتقارن
دو (مخالف)	دو طرفه - مورب همگرا	خطی	سیستماتیک - مستقیم تا غیر مستقیم
سه یا بیشتر (چند جهت)	چند جهت	ستاره‌ای	و بیش از سه بازو راس در مرکز
نامشخص	-	گنبدی	تپه ماهورهای مدور یا بیضوی

به طوریکه Rx برآیند برداری در امتداد محور طول و Ry برآیند برداری در امتداد محور عرض است. در مرحله بعد به منظور بدست آوردن جهت حمل نهایی ماسه ۱۰ با استفاده از نتایج مرحله قبل و با توجه به آزمایشات جهت حمل نهایی ماسه سنجیده شد (رابطه ۵ الی رابطه ۸). سمت یا آزمایشات در ستاره‌شناسی یک زاویه اندازه‌گیری در دستگاه مختصات کروی و بخصوص دستگاه مختصات سماوی است. سمت شمال صفر درجه، شرق ۹۰ درجه، جنوب ۱۸۰ درجه و غرب ۲۷۰ درجه است.

$$RDD_{(90-0)} = \text{Arc tan} (Rx / Ry) \quad (5)$$

$$RDD_{(180-90)} = 90 + \text{Arc tan} (Ry / Rx) \quad (6)$$

$$RDD_{(270-180)} = 180 + \text{Arc tan}(Rx / Ry) \quad (7)$$

$$RDD_{(0-270)} = 270 + \text{Arc tan}(Ry / Rx) \quad (8)$$

به منظور بدست آوردن نسبت برآیند برداری به برآیند جبری ۱۱ از تقسیم این دو پارامتر که در مراحل قبل بدست آمده، استفاده گردید (رابطه ۹):

$$UDI = \frac{RDP}{DP} \quad (9)$$

با توجه به جدول ۲ پتانسیل فرسایش بادی به سه گروه کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد و در نهایت وضعت حمل ماسه با توجه به ایستگاه‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### نتایج

گلباد سالانه ایستگاه کاشان نشان دهنده یک سیستم بادی چند جهته، حاکمیت بادهای شرقی در ایستگاه گرمسار و اردستان و همچنین حاکمیت بادهای غربی در ایستگاه‌های قم و جنگلانی است. فراوانی بادهای آرام (درصد) به ترتیب در ایستگاه‌های جنگلانی، قم، گرمسار، اردستان و کاشان افزایش می‌یابد (شکل ۴). گل‌طوفان‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه بیانگر حاکمیت بادهای شرقی-غربی در ایستگاه‌های گرمسار و قم، حاکمیت بادهای شمالی در ایستگاه جنگلانی، حاکمیت بادهای شرقی-جنوبی در ایستگاه اردستان است و حاکمیت بادهای چند جهته با غالبیت بادهای جنوب غرب در ایستگاه کاشان را شاهد هستیم (شکل ۵). اطلاعات بادسنجی ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز در جدول ۳ آورده شده است. در مجموع پنج ایستگاه، بادهای شرقی بیشترین فراوانی را نسبت به سایر جهات دارا هستند و بعد از آن به ترتیب جهات غرب، شمال غرب، جنوب شرق، شمال، شرق و در نهایت جنوب غرب دارای بیشترین فراوانی هستند. با توجه به این نکات می‌توان ذکر نمود که منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر بادهای شرقی و غربی قرار دارد به طوریکه بادهای شرقی دارای تاثیرگذاری بیشتری هستند (شکل ۶).

ترکیب تپه‌ها به طور کلی در دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول تپه‌های مرکب ۵ که از دو یا چند تپه هم نوع تشکیل شده است و گروه دوم تپه‌های مجتمع ۶ که از دو و یا چند نوع مختلف از تپه تشکیل گردیده است ((McKee, ۱۹۷۹). یکی از شاخص‌های مورد محاسبه در گلباد، بردار برآیند ۷ است که میانگین فراوانی جهات باد در ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به طوریکه در محاسبه آن فقط فراوانی هر یک از جهات باد در ایستگاه مورد مطالعه در نظر گرفته شده و برای محاسبه آن از سرعت و یا فراوانی کلاس‌های سرعت استفاده نگردیده و جهات بادهای آرام نیز در آن دخیل بوده است. برای انجام محاسبات فرض بر این است که تپه‌های ماسه‌ای از ذرات ماسه با اندازه میانگین ۰/۳۰-۰/۲۵ میلی‌متر تشکیل شده است (Fryberger, ۱۹۷۹). چنین فرضی برای اکثر مناطق بیابانی دنیا در نظر گرفته شده است (Ahlbrandt, ۱۹۷۹) و از سوی دیگر نتایج مطالعات میدانی در منطقه ارگ بلند کاشان نیز حاکی این فرض بود (Tavakkolifard, ۲۰۱۴). این فرض شاید نتواند با دقت زیادی پتانسیل حمل ماسه را پیش‌بینی کند اما به منظور مقایسه مناطق مختلف دنیا می‌تواند مناسب باشد (Fryberger, ۱۹۷۹). سرعت آستانه با توجه به مطالعات بلی (Belly, ۱۹۶۴) برای میانگین ذرات ۰/۳۰ میلی‌متر و فاکتور زبری سطح، در ارتفاع ۱۰ متری معادل ۱۱/۶ نات برآورد گردیده است و با توجه به مطالعات فرایبرگر (Fryberger, ۱۹۷۹) ۱۲ نات در نظر گرفته شده است. در این تحقیق نیز سرعت آستانه معادل ۱۲ نات منظور گردید و برای انجام تحلیل‌های مربوطه از نرم‌افزارهای WR Plot view ۷,۰ و همچنین MATLAB 2013 استفاده شد.

$$DP \propto V^2 (V - V_t) \times T \quad (1)$$

در رابطه ۱ سرعت باد اندازه‌گیری شده با V نشان داده شده است و Vt سرعت آستانه در منطقه مورد مطالعه است (در این تحقیق ۱۲ نات) و T فراوانی کلاس‌های سرعت باد در جهات هشت گانه در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت توانایی حمل ماسه ۸ در تمام جهات در یک زمان مشخص (به عنوان مثال ماهانه و یا سالانه) با توجه به مطالعات فرایبرگر (Fryberger, ۱۹۷۹) بدست آمد. به منظور بدست آوردن برآیند برداری (رابطه ۲) در جهات مختلف بعد از تجزیه در امتداد محور طولی (رابطه ۳) و محور عرضی (رابطه ۴) و با توجه به اندازه برداری در هر یک از جهات به این مورد دست پیدا کردیم و بدین صورت عمل نمودیم:

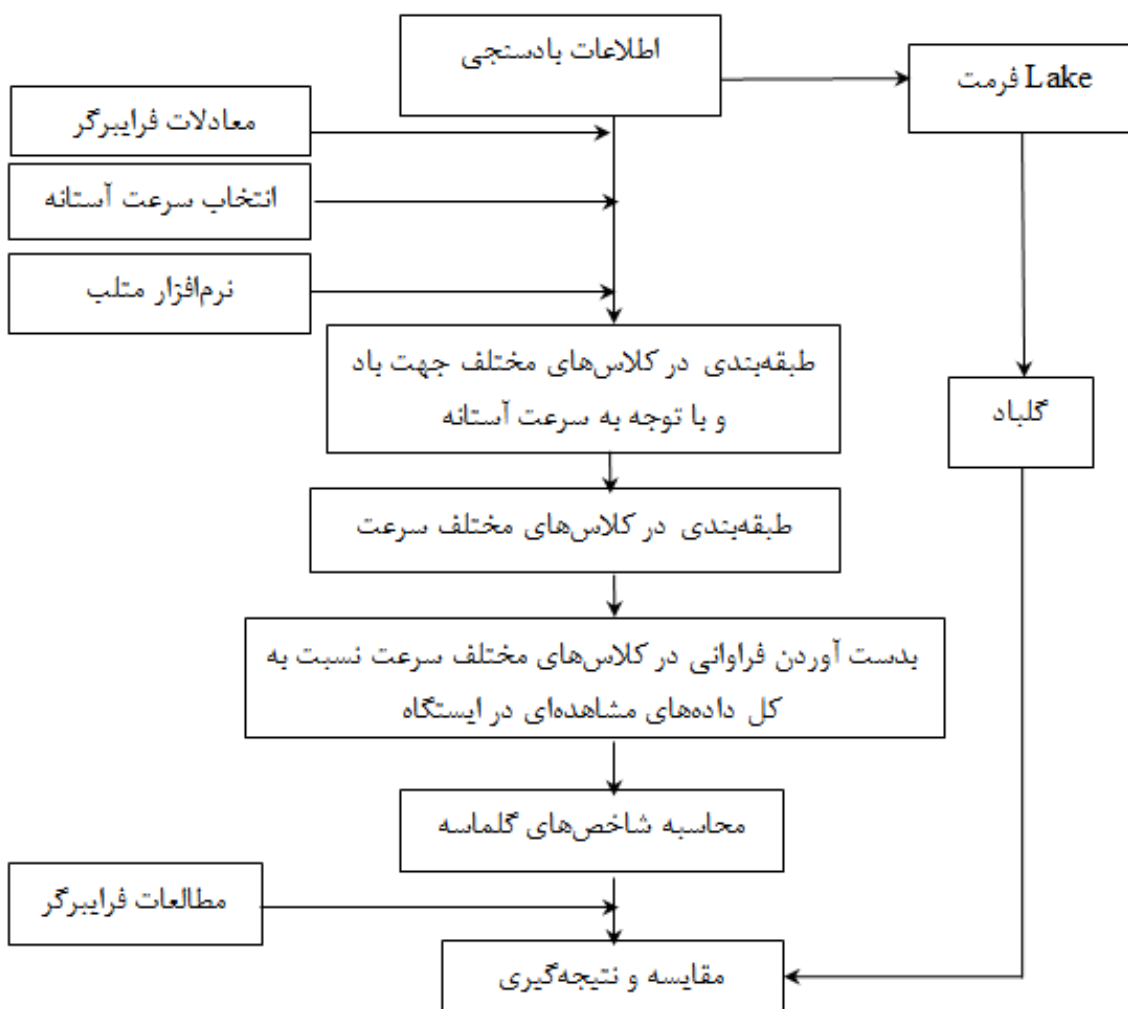
$$RDP = \sqrt{Rx^2 + Ry^2} \quad (2)$$

$$Rx = W - E + \text{COS}45(NW + SW - SE - NE) \quad (3)$$

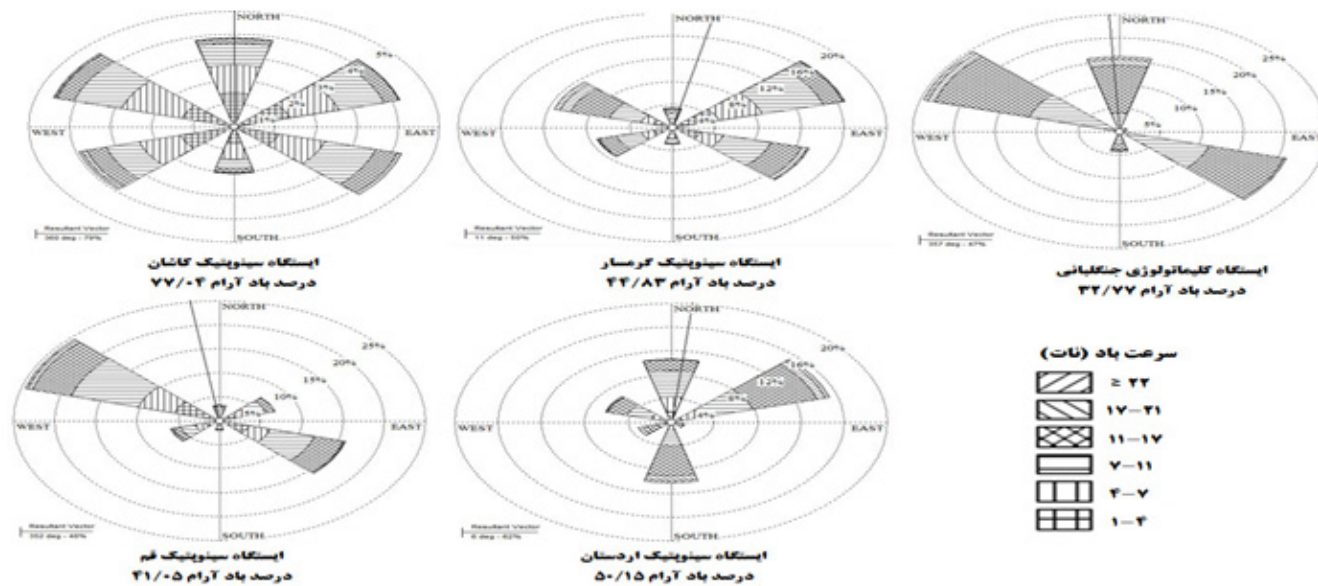
$$Ry = S - N + \text{COS}45(SW + SE - NW - NE) \quad (4)$$

جدول ۱- مطالعات سامرفیلد در ارتباط با ارزیابی تپه‌های ماسه‌ای (Summerfield, ۱۹۹۱)

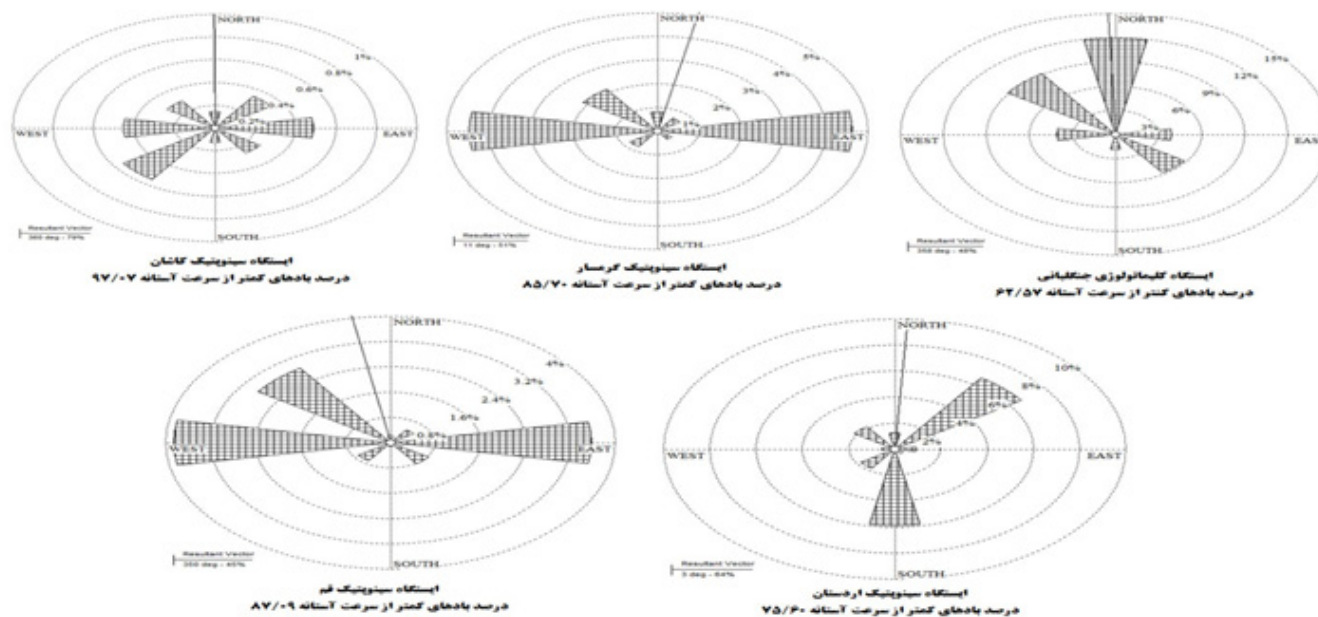
پتانسیل فرسایش بادی	نسبت برآیند برداری به برآیند جبری	برآیند جبری پتانسیل حمل ماسه
کم	$UDI < 0.13$	$DP_i < 200$
متوسط	$0.13 < UDI < 0.18$	$200 < DP_i < 400$
زیاد	$UDI > 0.18$	$DP_i > 400$



شکل ۳- طرح شماتیک مراحل انجام پژوهش



شکل ۴- گلباد سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه



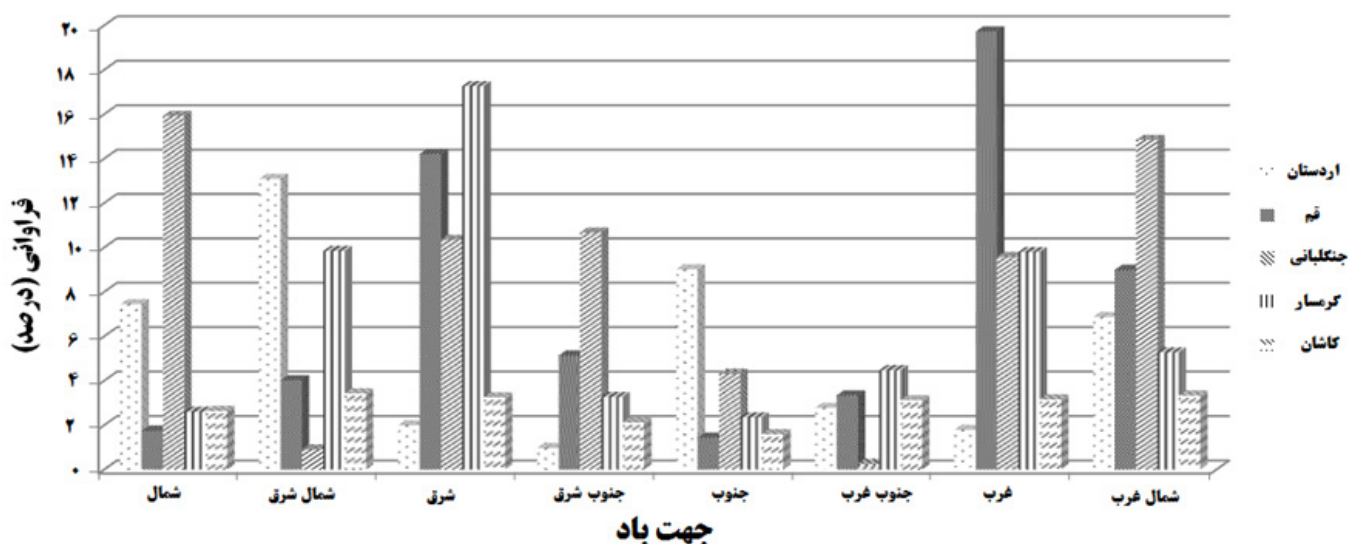
شکل ۵- گل طوفان سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۳: اطلاعات بادسنجی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	سرعت میانگین باد (نات)	بردار برآیند		درصد بادهای آرام	درصد بادهای کمتر از سرعت آستانه
		فرآوانی (درصد)	جهت (درجه)		
اردستان	۵	۶۴	۳	۵۰/۱۵	۸۲/۷۴
قم	۴/۹۱	۴۵	۳۵۰	۴۰/۰۵	۹۲/۵۱
گرمسار	۴/۸۸	۵۱	۱۱	۴۴/۸۲	۹۰/۵۷
جنگلبانی	۷/۴۷	۴۸	۳۵۸	۳۲/۷۷	۸۸/۹۰
کاشان	۱/۶۲	۷۹	۳۶۰	۷۷/۰۴	۹۸/۱۵

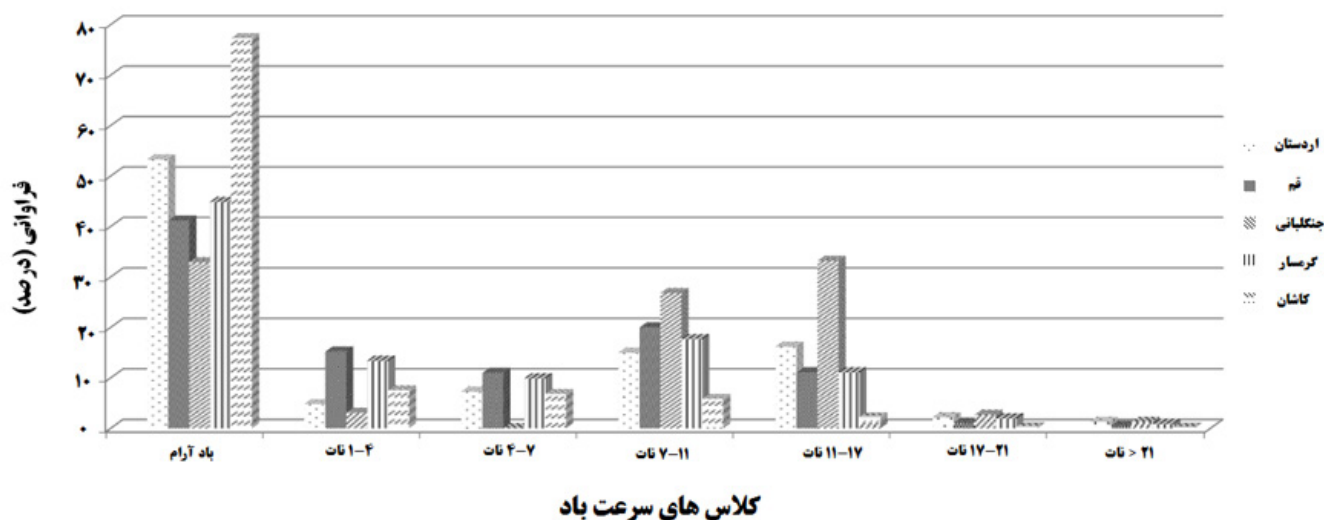
در دینامیک تپه‌های ماسه‌ای بسیار تاثیرگذار خواهند بود. برآورد شاخص فرساینده‌گی در منطقه بیانگر این است که کلاس ۱۷-۱۱ نات موثرترین کلاس فرسایش بادی در منطقه است و بعد از آن نیز کلاس ۱۱-۷ نات تاثیرگذاری بیشتری را دارد و کلاس ۴-۱ نات نیز دارای کمترین شاخص فرساینده‌گی در منطقه می‌باشد (جدول ۴).

با توجه به شکل ۷ می‌توان نتیجه گرفت که بادهای آرام دارای بیشترین فرآوانی می‌باشند که این موضوع نشان دهنده بحرانی نبودن فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه است. بعد از بادهای آرام در منطقه بیشترین فرآوانی مربوط به کلاس ۱۱-۷ نات است و بعد از آن هم کلاس ۱۷-۱۱ نات دارای بیشترین فرآوانی می‌باشد که با توجه به سرعت آستانه فرسایش بادی،



شکل ۶- مقایسه ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به جهات باد





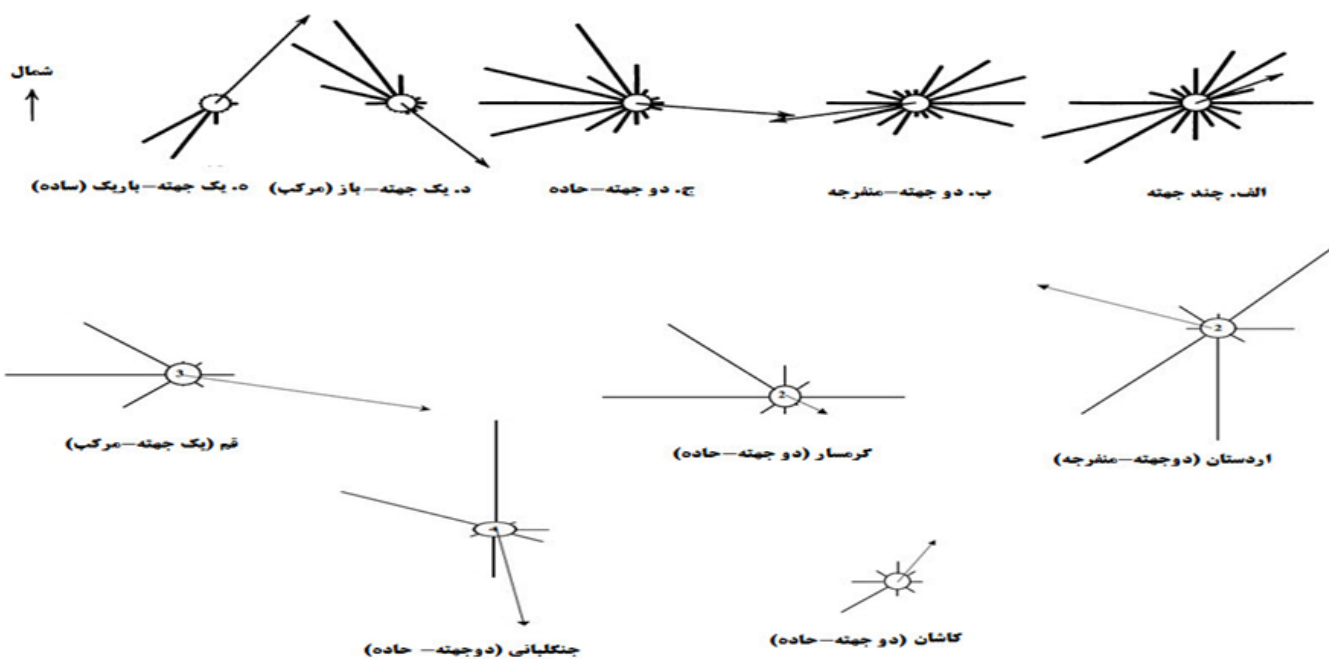
شکل ۷- مقایسه ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به کلاس‌های سرعت باد

جدول ۴- شاخص فرساینده‌گی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

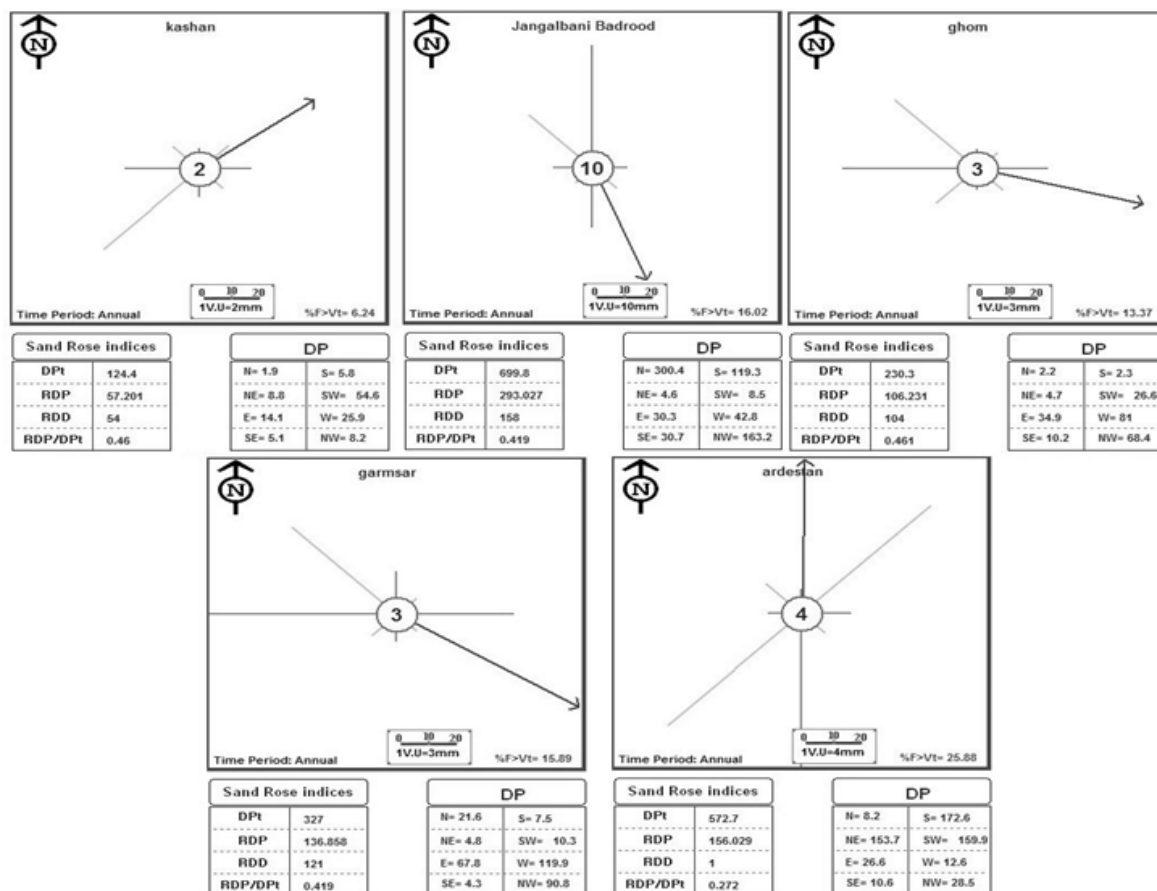
کلاس	۱-۴	۴-۷	۷-۱۱	۱۱-۱۷	۱۷-۲۱	>۲۱
اردستان	۱۲	۴۰/۱۵	۱۳۵	۲۲۶/۸	۴۱/۸	۳۳/۸
قم	۳۸	۶۰/۵	۱۸۰	۱۵۵/۴	۲۰/۹	۱۳
جنگلباتی	۷/۷۵	۰	۲۴۱/۲	۴۵۰/۸	۵۱/۳	۳۳/۸
گرمسار	۳۳/۵	۵۴/۴۵	۱۵۹/۳	۱۵۵/۴	۳۸	۲۴/۹
کاشان	۱۸/۷۵	۳۷/۴	۵۲/۲	۴/۲	۵/۷	۵/۲
مجموع	۱۱۰	۱۹۲/۵	۷۶۷/۷	۹۹۲/۶	۱۵۷/۷	۱۱۰/۷

کلاس‌های سرعت باد به صورت خلاصه در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ایستگاه جنگلبانی دارای برآیند حمل ماسه بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌باشد و همچنین ایستگاه کاشان نیز دارای کمترین مقدار در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه است (شکل ۱۰). وضعیت هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به پتانسیل فرسایش بادی (Fryberger, ۱۹۷۹) در جدول ۶ آورده شده است.

مقایسه رژیم بادی در ارگ بلند کاشان با نتایج فرایبرگر نشان دهنده این بود که هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه از رژیم بادی متفاوت برخوردار است. به طوریکه هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای رژیم بادی خاص خود است و در این منطقه چندین سیستم بادی مشاهده شد (شکل ۸). نتایج حاصل از نرم‌افزار گلماسه‌نما نیز به صورت شماتیک در شکل ۹ قابل مشاهده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های گلماسه در هر یک از جهات و



شکل ۸- رژیم بادی در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۹- نتایج حاصل از نرم افزار گلماسه‌نما (Sand Rose Graph)

جدول ۵- برآورد شاخص‌های گلماسه در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	برآیند جبری حمل		برآیند برداری حمل		جهت نهایی حمل		نسبت برآیند برداری به برآیند جبری	
	روش فرایبرگر	گلماسه- نما	روش فرایبرگر	گلماسه-نما	روش فرایبرگر	گلماسه-نما	روش فرایبرگر	گلماسه-نما
اردستان	۲۶۲/۶۶	۵۷۲/۷	۷۲	۱۵۶/۰۲	۲۷۷	۱	۰/۲۷۲	۰/۲۷۲
گرمسار	۱۹۹/۸۴	۳۲۷	۱۲	۱۳۶/۸۵	۱۱۶	۱۲۱	۰/۰۸	۰/۴۱۹
قم	۲۳۲/۸۹	۲۳۰/۳	۱۳۹	۱۰۶/۲۳	۹۹	۱۰۴	۰/۶۲۳	۰/۴۶۱
جنگلبانی بادرود	۴۴۱/۸۱	۶۹۹/۸	۱۸۸	۳۹۳/۲۰	۱۶۶	۱۵۸	۰/۴۲	۰/۴۱۹
کاشان	۴۰/۰۲	۱۲۴/۴	۱۴	۵۷/۲۰	۲۶	۵۴	۰/۳۵	۰/۴۶

### بحث و نتیجه‌گیری

حاکمیت بادهای شرقی-غربی در منطقه را می‌توان در الگوی شکل‌گیری تپه‌ها در تیپ‌های مختلف به راحتی دید. منطقه مورد مطالعه از یک سیستم با رژیم بادی چندگانه برخوردار است و نشان‌دهنده تیپ‌های مختلف می‌باشد که هر یک با توجه به رژیم بادی مربوطه قابل تفسیر است. با توجه به نزدیکی ایستگاه کاشان به ارگ و همچنین مجاورت تیپ تپه‌های خطی در این ایستگاه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رژیم بادی با توجه به یک جهت بودن به سمت تشکیل تپه‌های خطی پیش رود که از سوی دیگر نتایج مورد مطالعه نیز این روند را نشان داده‌اند. مقایسه مطالعات فرایبرگر در ایستگاه‌های متعدد در جهان با توجه به پتانسیل حمل ماسه در منطقه نشان داد که ارگ بلند کاشان در ارتباط با پتانسیل حمل ماسه بسیار خطرناک نیست و در حالت کلی می‌توان گفت که در کلاس کم-متوسط قرار گیرد. از سوی دیگر می‌توان ذکر نمود که در هر منطقه با توجه به شرایط محلی، زمین‌شناسی، عوامل انسانی و سایر پارامترهای دخیل در فرسایش بادی تقسیم‌بندی پتانسیل حمل ماسه توسط باد در محیط‌های بیابانی (Fryberger, ۱۹۷۹) می‌تواند از محلی به محل دیگر متفاوت باشد (شکل ۱۱). از سوی دیگر مقایسه مطالعات فرایبرگر در ارگ بلند کاشان با توجه به پتانسیل حمل ماسه و نوع تیپ تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده بیانگر این بود که در ایستگاه کاشان تشکیل تپه‌های خطی درای یک روند جهانی می‌باشد (شکل ۱۲). با توجه به اینکه ایستگاه قم پتانسیل تشکیل تپه‌های خطی و همچنین تپه‌های عرضی را دارد، این موضوع نیز به وضوح قابل مشاهده و توجیه می‌باشد. مطالعات نشان داده‌اند که لکه مشاهده شده از تپه‌های ستاره‌ای شکل را می‌توان به ایستگاه گرمسار نسبت داد. از آنجایی که این ایستگاه با فاصله زیادی نسبت به ارگ بلند کاشان قرار گرفته است، نمی‌تواند به طور کامل بر منطقه حاکم گردد و در تشکیل تیپ خاصی



شکل ۱۰- نمودار تار عنکبوتی برآیند حمل ماسه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

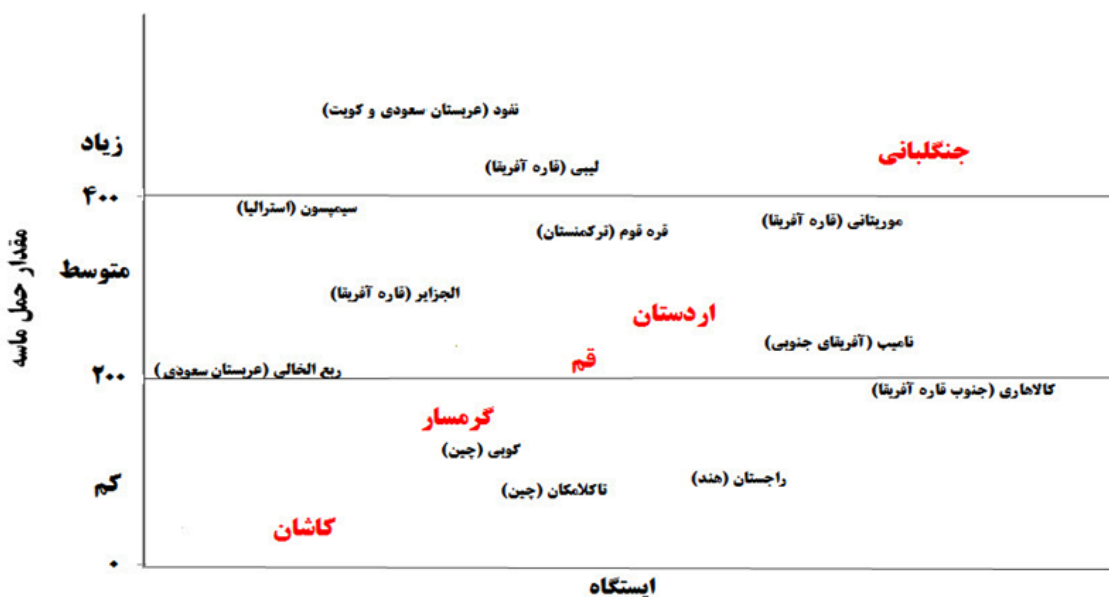
جدول ۶- وضعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به پتانسیل فرسایش بادی

(Fryberger, ۱۹۷۹)

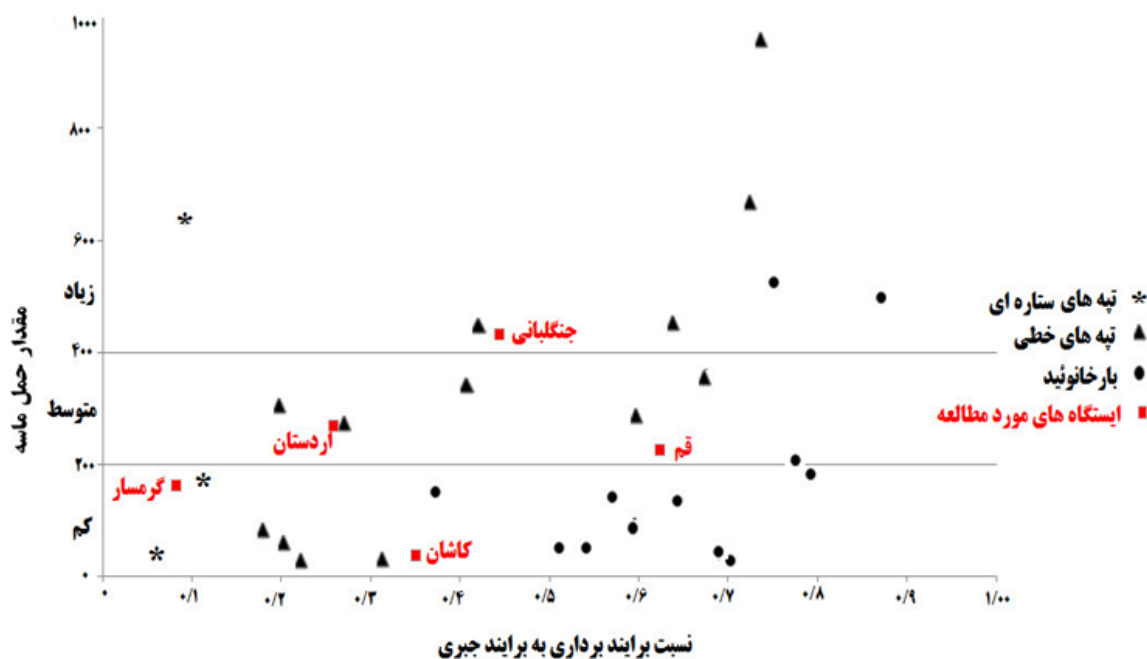
ایستگاه	برآیند جبری حمل ماسه	نسبت برآیند برداری به برآیند جبری
اردستان	متوسط	کم
گرمسار	کم	کم
قم	متوسط	متوسط
جنگلبانی	زیاد	متوسط
کاشان	کم	متوسط

جهات را به عنوان جهات باد حاکم بر منطقه نشان می‌دهد. همچنین مطالعات گذشته در این منطقه همبستگی بالایی را بین سرعت-های اندازه‌گیری شده با ایستگاه‌های کاشان و اردستان نشان داده است که با توجه به این موضوع می‌توان ذکر نمود که منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل فرسایش بادی (Fryberger, 1979) در رده کم-متوسط قرار گرفته و حمل ماسه در منطقه مخاطره آمیز نیست.

تاثیر گذار باشد و از سوی دیگر نیز می‌توان مشاهده تپه‌های ستاره‌ای شکل مرتفع در منطقه را با توجه به رژیم‌های بادی گذشته در منطقه توجیه نمود. مطالعات گذشته (Ahmadibirgani, 2008) نیز در منطقه ارگ بلند کاشان همبستگی بالایی را با ایستگاه قم در ارتباط با جهت باد نشان داده است که با توجه به این ایستگاه باید بادهای غربی و شرقی حاکم باشند، که رژیم بادی منطقه نیز به صورت عمومی این



شکل ۱۱- مقایسه پتانسیل حمل ماسه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به موقعیت جهانی



شکل ۱۲- مقایسه ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به مقدار حمل ماسه و تپه‌های ماسه‌ای در موقعیت جهانی

- Journal of Earth Sciences, 958-949 : (3)102.
6. Anderson, J. L. and Walker, I. J. (2006). Airflow and sand transport variations within a backshore-parabolic dune plain complex: NE Graham Island, British Columbia, Canada. *Geomorphology*, 34-17, (1)77.
7. Anthonsen, K. L., Clemmensen, L. B. and Jensen, J. H. (1996). Evolution of a dune from crescentic to parabolic form in response to short-term climatic changes: Råbjerg Mile, Skagen Odde, Denmark. *Geomorphology*, (1)17 77-63.
8. Bagnold, R.A. (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen, London.
9. Bakker, M.M., Govers, G., Jones, R.A. and Rounsevell, M.D.A. (2007). The effect of soil erosion on Europe's crop yields. *Journal of Ecosystems*, 1219-1209. Desert and western Great Basin of North America. *Quaternary Science Reviews*, 810-799, 21.
10. Belly, P.Y. (1964). Sand movement by wind. US Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center Technical Memo 1, Berkeley, CA.
11. Bullard, J. E., Thomas, D. S. G., Livingstone, I. and Wiggs, G. F. S. (1996). Wind energy variations in the southwestern Kalahari Desert and implications for linear dune field activity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 278-263, (3)21.
12. Carson, M. A. and MacLean, P. A. (1986). Development of hybrid aeolian dunes: the William River dune field, northwest Saskatchewan, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1990-1974, (12)23.
13. Chepil, W. S. and Woodruff, N. P. (1963). The physics of wind erosion and its control. *Advances in agronomy*, 302-211, 15.
14. Ekhtesasi, M.R. (2004). Study of morphometric and morphodynamic of wind erosion facies in Yazd plain. Ph.d thesis, Natural Resource Faculty, University of Tehran. Iran.
15. Fryberger, S.G. (1979). Dune forms and wind regime. U.S. Geological Survey Professional Paper -1052F, 169-137.
16. Fryberger, S.G., Ahlbrandt, T.S. (1979). Mechanisms for the formation of eolian sand seas. *Geomorphology*, 460-23:440.
17. Greeley, R. and Iversen, J.D. (1985). *Wind as Geological Process*. Cambridge University Press, Cambridge. Fryberger, S.G., 1978. *Techniques for the*

از سویی نتایج پتانسیل حمل ماسه با مطالعات انجام شده در کاشان (Mesbahzadeh, 2012) از نظر جهت نهایی حمل ماسه دارای همخوانی است ولی از نظر مقدار عددی همخوانی نشان نداد و با مطالعه دیگر (Tavakolifard, 2013) در منطقه کاشان از نظر مقدار عددی و همچنین جهت نهایی حمل ماسه همخوانی ندارد که این موضوع را به خاستگاه روش مورد استفاده می‌توان نسبت داد اما با نتایج فرایبرگر در مقایسه با سایر مناطق دنیا قابل توجیه می‌باشد و از یک روند منطقی برخوردار است. در نهایت باید اشاره نمود که نتایج حاصل از نرم‌افزار گلماسه‌نما (۳,۰ Sand Rose Graph) با نتایج روش فرایبرگر در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق و همچنین در سایر پژوهش‌های انجام شده در این منطقه (Tavakolifard, Mesbahzadeh, 2013) به طور کامل دارای تطابق نمی‌باشد و فقط نسبت برآیند برداری به برآیند جبری دارای تطابق عددی قابل قبولی می‌باشد.

### پاورقی

1. Wind Rose
2. Wind Storm
3. Sand Rose
4. ERG
5. Compound
6. Complex
7. Resultant Vector
8. DP
9. RDP
10. RDD
11. UDI

### منابع مورد استفاده

1. Ahlbrandt, T. S. (1979). Textural parameters of aeolian deposits. A Study of Global Sand Seas: Washington, United States Geological Survey, Professional Paper, 58-21, 1052.
2. Ahmadi, H. (2008). *Applied Geomorphology*. Tehran: University of Tehran, Iran.
3. Ahmadibirgani, H., (2008). Simulate the movement of sand dune based on numerical and experimental methods (case study; Kashan ERG). M.Sc Thesis, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Iran.
4. Al-Awadhi, J. M., Al-Helal, A. and Al-Enezi, A. (2005). Sand drift potential in the desert of Kuwait. *Journal of arid environments*, 438-425, (2)63.
5. Al-Awadhi, J. M., and Al-Dousari, A. M. (2013). Morphological characteristics and development of coastal nabkhas, north-east Kuwait. *International*

Journal of Arid Environments, 361-351 ,(4)25.

30. Nickling, W. G. and Wolfe, S. A. (1994). The morphology and origin of nabkhas, region of Mopti, Mali, West Africa. *Journal of Arid Environments*, (1)28 30-13.

31. Paul W. Jewell and Kathleen, N. (2011). Wind regimes and aeolian transport in the Great Basin, U.S.A.. *Journal of Geomorphology*, 13-1 ,129.

32. Pearce, K. I. and Walker, I. J. (2005). Frequency and magnitude biases in the 'Fryberger' model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. *Journal of Geomorphology*, 55-39 ,(1)68.

33. Rahdari, M.R. (2014). Classification of sand dunes base on the geomorphometric characteristics. M.Sc Thesis, Natural Resource Faculty, University of Tehran, Iran.

34. Refahi, H. Gh. (2009). Wind erosion and control. Tehran: University of Tehran. Iran.

35. Stout, J. E. (2014). Detecting patterns of aeolian transport direction. *Journal of Arid Environments*, :107 25-18.

36. Summerfield M. (1991). *Global Geomorphology (An introduction to the study of landforms)*. University of Edinburgh.

37. Sweet, M. L. (1992). Lee-face airflow, surface processes, and stratification types: Their significance for refining the use of aeolian cross-strata as paleocurrent indicators. *Geological Society of America Bulletin*, 1538-1528 ,(11)104.

38. Tavakkolifard, A., Ghasemieh, H., Nazari Samani, A.A. and Mashhadi, N. (2013). Determining the Risk of Sand Transportation to Residential Areas around Kashan Erg using Anemometry Data Analysis. *DESERT*, 172-18:163.

39. Tavakkolifard, A., Nazari Samani, A.A., Mashhadi, N., Ghasemieh, H. and Arani, M. (2014). Evaluation of Grading in wind sediment with relation on sand dune morphology (case study; Kashan ERG). *Journal of Range and Watershed Management*, 202-189:(2)67. (In Farsi)

40. Tchakerian, V. P. and Lancaster, N. (2002). Late Quaternary arid/humid cycles in the Mojave Desert and western Great Basin of North America. *Quaternary Science Reviews*, 810-799 ,(7)21.

41. Tsoar, H. (1990). Trends in the development of

evaluation of surface wind data in term of aeolian sand drift. US Geological Survey open file Report 24 ,405-78.

18. Greeley, R., Blumberg, D. G. and Williams, S. H. (1996). Field measurements of the flux and speed of wind-blown sand. *Sedimentology*, 52-41 ,(1)43.

19. Havholm, K. G. and Kocurek, G. (1988). A preliminary study of the dynamics of a modern draa, Algodones, southeastern California, USA. *Sedimentology*, 669-649 ,(4)35.

20. Jewell, P. W. and Nicoll, K. (2011). Wind regimes and aeolian transport in the Great Basin, USA. *Geomorphology*, 13-1 ,(1)129.

21. Kalma, J. D., Speight, J. G. and Wasson, R. J. (1988). Potential wind erosion in Australia: A continental perspective. *Journal of Climatology*, 428-411 ,(4)8.

22. Kawamura, R. (1951). Study on sand movement by wind (Relationship between sand flow and wind friction, and vertical density distribution of sand). Tokyo Daigaku Rikogaku Kenkyusho Hokoku,(Tokyo), 112-95 ,(3)5.

23. Lancaster, N. (1995). *Geomorphology of Desert Dunes*. Physical Environment Series, Routledge, New York.

24. Lancaster, N.R., (1990). Paleoclimatic evidence from sand seas. *Paleoceanography, Paleoclimatology, Paleoecology* 290-279 ,76.

25. Levin, N., Neil, D. and Syktus, J. (2014). Spatial variability of dune form on Moreton Island, Australia, and its correspondence with wind regime derived from observing stations and reanalyses. *Aeolian Research*, 300-15:289.

26. McKee. (1979). Introduction to a study of global sand seas. In: McKee ED (ed) *A Study of Global Sand Seas*, Prof. Pap. U.S. Geol. Surv., 17-1 ,1052.

27. Mesbahzadeh, T. and Ahmadi, H. (2012a). Investigate the potential movement of sands in Kashan region. *Journal of Range and Watershed Management*, 422-411:(5)3. (In Farsi).

28. Mesbahzadeh, T. and Ahmadi, H. (2012b). Investigation of Sand Drift Potential (Case Study:Yazd - Ardakan Plain). *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 928-14:919.

29. Muhs, D. R. and Maat, P. B. (1993). The potential response of eolian sands to greenhouse warming and precipitation reduction on the Great Plains of the USA.

44. Yamani, M. (2000), Relationship between particle diameter of sand and wind frequency threshold in Kashan ERG, Geographical Research, 132-115 :38. (In Farsi).
45. Yaping, S. (2008). Physics and modeling of wind erosion, Cologne: Springer publisher, Germany.
46. Zingg, A.W. (1953). Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. In Proceedings of the 5th Hydraulic Conference Bulletin, pp. 135-111. 281-2.
42. Wal, A. and McManus, J. (1993). Wind regime and sand transport on a coastal beach-dune complex, Tentsmuir, eastern Scotland. Geological Society, London, Special Publications, 171-159 ,(1)72.
43. Wang, X., Dong, Z., Zhang, J. and Chen, G. (2002). Geomorphology of sand dunes in the Northeast Taklimakan Desert. Journal of Geomorphology, ,(3)42 195-183.

