پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹٤
صص. ۷٤-۵۹

جهات انتقال ماسه‌های بادی منطقه اردستان از طریق مقایسه زمانی مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای و ویژگی‌های باد

شیرین محمدخان*- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
فهیمه‌سادات کشفی – کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۵/۱۵

چکیده

فرسایش بادی یکی از فرایندهای مؤثر شکل ساز در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. هرگونه برنامه‌ریزی جهت کنترل و تثبیت ماسه‌های روان مستلزم شناخت ویژگی‌های باد و سپس جهات نقل‌وانتقال آن‌ها در هر منطقه است. بدیهی است جهت حرکت ماسه‌های روان تابع جهت وزش باد و حجم نقل‌وانتقال ماسه‌ها به‌سرعت و تداوم وزش باد یک منطقه وابسته می‌باشد. در این پژوهش منشأ وجهت نقل‌وانتقال ماسه‌های بادی منطقه اردستان در شمال شرقی کاشان موردبررسی قرارگرفته است. علاوه بر این شناخت نقاط برداشت، روند تغییرات زمانی تپه‌های ماسه‌ای طی یک دوره سی‌ساله اهداف دیگر این تحقیق را تشکیل داده‌اند. به‌منظور انجام این بررسی آمار باد، داده‌های میدانی، اطلاعات عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین اطلاعات حاصل از انجام کارهای آزمایشگاهی(مورفومتری، مورفوسکوپی) داده‌ها و ابزارهای اصلی این پژوهش را تشکیل داده‌اند. برای تجزیه‌وتحلیل از نرم‌افزارهای GRADISTATv4.0وWRPLOT view, GIS9 , به‌عنوان ابزارهای مفهومی استفاده‌شده است. برای انجام کارهای میدانی نیز نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه تعیین و با استفاده از GPS موقعیت آن‌ها در روی زمین تطبیق داده‌شده و داده‌ها به آزمایشگاه منتقل و مورد تجزیه تحلیل قرارگرفته است. در این راستا از بینوکلر برای تعیین ضرایب سایش دانه‌های نمونه‌برداری شده استفاده‌شده و با توجه به درصد ماتی یا شفافیت آن‌ها، منشأ فرسایش آبی یا بادی دانه‌ها استخراج‌شده است. درنهایت با استفاده از نرم‌افزارهای مذکور نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب و سطوح ارتفاعی منطقه تهیه و با داده‌های حاصل از کارهای آزمایشگاهی تلفیق‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که غالب نمونه‌ها از عمدتاً مخروط افکنه های حاشیه جنوبی چاله منشأ گرفته و جهات غالب نقل‌وانتقال آن‌ها نیز به‌سوی شمال شرق و سپس مشرق می‌باشد. بدیهی است برای هرگونه برنامه‌ریزی به‌منظور بهره‌برداری و تثبیت ماسه‌ها باید منشأ و جهات غالب نقل‌وانتقال آن‌ها مدنظر قرارداد.

واژگان کلیدی: ریگ اردستان، فرسایش بادی، تپه ماسه‌ای، مورفومتری.

* نویسنده مسئول: ۰۲۱۶۱۱۱۳۳۶۷
E-mail: mohamadkh@ut.ac.ir

مقدمه

بیش از نیمی از مساحت ایران را اراضی خشک و فرا خشک در برگرفته است. نقصان رطوبت در این مناطق از یک‌سو باعث کاهش تنوع زیستی و از سوی دیگر باعث کاهش پوشش‌گیاهی شده است. اگرچه پایین بودن بارش تا حدی باعث کمبود فرسایش آبی در این مناطق شده اما نقصان پوشش گیاهی به باد این اجازه را می‌دهد که به‌راحتی بر سطح زمین کاوش کرده و سالانه مقادیر فراوانی از رسوب سطحی را با خود از نقطه‌ای به نقطه دیگر حمل کند. به علت گستردگی دامنه عملکرد باد، درمجموع مقادیر رسوب حمل شده به‌وسیله آن بیش از مقداری است که در مساحت مشابه توسط آب حمل می‌شود. به‌عنوان‌مثال بنا به بررسی انجام‌شده در صحرای نیجر سالانه ۶۰ تا۲۰۰میلیون تن غبار تولید می‌شود درصورتی‌که رودخانه اصلی نیجر در سطح زهکشی به همین مقدار مساحت، ۱۵میلیون تن رسوب را در سال حمل می‌شود (دهواری، ۱۳۷۳، ص۳).

فرسایش بادی ابتدا خاک سست و بدون پوشش گیاهی را برداشت نموده و در طی مسیر حمل، برخورد ذرات حملش ده توسط باد باعث تشدید فرسایش و افزایش خسارت گردیده است و بالاخره مواد حمل شده را به‌صورت پهنه‌ها و تپه-های ماسه‌ای برجای می‌گذارد. بنابراین فرسایش خسارات زیادی را به منابع انسانی و زیستی اعم از تأسیسات، راه‌ها، راه-آهن، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی می‌گذارد. پس شناخت نقاط برداشت یا منشأ تپه‌های ماسه‌ای مهم‌ترین راه مبارزه با فرسایش بادی و کاهش خسارات مربوطه است.

مطالعات زیادی در سایر کشورها بر روی موضوع فرسایش بادی انجام‌شده است ازجمله مهم‌ترین آن‌ها کارهایی است که در مورد فرسایش بادی و حمل‌ونقل رسوبات ناشی از آن، توسط بگنولد[1] (۱۹۵۳-۱۹۴۱) انجام‌شده است. همچنین افرادی چون سامر فیلد[2](۱۹۹۱) و یا سیلوستر[3] و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در شرق منطقه تاماسیا[4] توانستند مسیر حمل ماسه و مناطق احتمالی منشأ را شناسایی کرده و دریابند که تغییرات شدید در رژیم باد منجر به پیچیدگی الگوی تل‌ماسه‌ها می‌شود. اریک و همکاران[5] (۲۰۰۹) نقش بادهای دوجهته را در شکل‌گیری تل‌ماسه‌ها در صحرای سینا(مصر) موردبررسی قراردادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بادهای دوجهته باعث ایجاد تل‌ماسه‌های سیف می‌شوند. به نقل از دهواری، مری‌ام[6] در سال۱۹۶۹ با استفاده از کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی منشأ تپه‌های ماسه-ای وسیعی که در جنوب شرقی کالیفرنیا و شمال کرد (دهواری، ۱۳۷۳، ۲۷). ژیباودونگ[7] و همکاران در سال۲۰۰۰میلادی به پایش حرکت و توسعه تپه‌های ماسه‌ای در بیابان تکله‌مکان پرداختند. نتایج نشان داد که جهت حرکت تپه‌ها به سمت جنوب غرب و تقریباً منطبق بر برآیند محلی جهت باد منطقه است. آن‌ها بیان داشتند که سرعت حرکت تپه‌ها به‌وسیله رژیم‌های محلی باد و مورفومتری آن‌ها کنترل می‌شود (ژیباودونگ،۲۰۰۰، ۲۱۹). لانکاستر و باس[8] در سال۱۹۹۸ در آونزلیک کالیفرنیا به بررسی اثر پوشش گیاهی بر روی سرعت آستانه فرسایش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی در این منطقه سرعت آستانه فرسایش را نسبت به سطوح بدون پوشش دو برابر کرده است. نتایج کار ایشان منجر به ارائه یک فرمول تجربی برای برآورد میزان پوشش‌گیاهی‌گراس لازم برای انتقال ماسه تا مقدار مطلوب شد (لانکاستر و باس،۱۹۹۸، ۶۹). سرعت‌های متفاوت باد رابطه معینی با قطر ذراتی که حمل می‌کنند، نشان می‌دهند(کریستوفر سون[9]، ۱۹۹۷: ۴۵۹). از طرفی تفاوت در فرسایش بالقوه به تفاوت‌های منطقه‌ای بافت خاک سطحی

1-Bagnold
2 -Summerfield
3-Silvestro et. S. et al, 2010
4-Thaumasia
5 Eric et al
6 Meriam
7 Zhibao Dong
8 Lanchaster & Bass
9 Robert W. Christopherson

وابسته است(Zebeck، 2000). به گفته استوت[1] ویژگی‌های بافت ماسه بر اساس طبیعت و فاصله از منشأ دارای تفاوت‌های زیادی می‌باشد.(۲۰۰۷).

در حال حاضر در ایران در حدود ۱۳ میلیون هکتار پهنه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای وجود دارد که از این مقدار بیش از۵ میلیون هکتار را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه فعال تشکیل می‌دهند (احمدی، ۱۳۸۷، ص۲۴۳). فرسایش بادی عموماً از غالب‌ترین نوع فرسایش در مناطق خشک به شمار می‌رود. در مناطق مرکزی ایران نیز اراضی زیادی تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند(رفاهی، ۱۳۸۰: ۶-۴). فرسایش بادی حاصل دخالت نیرویی است که از جریان هوا نشات می‌گیرد (محمودی، ۱۳۸۳، ص۲۲۶). در مقیاس جهانی نیز اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی می‌باشد اما گاهی ابعاد و عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر است (رفاهی، ۱۳۸۵، ص۳). در مناطق خشک و نیمه‌خشک فرسایش بادی عامل اصلی فرسایش بوده و آثار نامطلوب آن را می‌توان به‌صورت کویر و بیابان مشاهده کرد. طبق بررسی‌های انجام‌گرفته، خسارت حاصل از فرسایش بادی در سال‌های خشک‌سالی شدیدتر است. جهت حرکت ماسه‌های روان تابع جهت وزش باد و حجم نقل‌وانتقال ماسه‌ها به‌سرعت و تداوم وزش باد یک منطقه می‌باشد و از سوی ویژگی‌های رسوب سطحی و به‌ویژه قطر آن‌ها است (یمانی، مجتبی، ۱۳۷۹). در ایران کارهای زیادی درزمینه فرسایش بادی صورت گرفته که بیشتر به بررسی منشأ ماسه‌ها پرداخته‌اند. ازجمله قانعی بافقی(۱۳۷۵، ۸۸) در بررسی رابطه گرانولومتری دانه‌های تپه‌های ماسه‌ای با جهت بادهای فرساینده منطقه (مورد مطالعاتی ارگ جنوب بافق) با بررسی وضعیت گرانولومتری دانه‌های ماسه در نقاط مختلف تپه‌های ماسه‌ای ارگ جنوب بافق جهت بادهای غالب و فرساینده منطقه را تعیین کرده است. وی این جهات را با داده‌های هواشناسی و اشکال تپه‌های ماسه‌ای که مؤید جهت باد است مقایسه کرده و قابل‌اطمینان بودن شاخص‌های گرانولومتری در تعیین جهت بادهای فرساینده و غالب منطقه ر ا اثبات کرده است. یمانی(۱۳۷۹) در مقاله ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه بند ریگ کاشان، بررسی کرده است که میزان فرسایش بادی و حجم نقل‌وانتقال مواد وابسته به ویژگی‌های رسوب و ویژگی‌های باد اعم از سرعت، جهت و فراوانی باد می‌باشد و نتایج را از طریق مقایسه ارتباط قطر ذرات ماسه و سرعت‌های آستانه باد موردمطالعه قرارداده است سپس با توجه به درشت‌تر بودن متوسط قطر ذرات ماسه در حاشیه شرقی بند ریگ نسبت به حاشیه غربی باد نتیجه گرفته است که باد از سرعت و فراوانی بیشتری در بخش شرقی و برخلاف جهات غالب داده‌های باد ایستگاه کاشان برخوردار است و این موضوع نشان می‌دهد که جهات و سرعت وزش بادهای غالب در مسیرهای کوتاه می‌تواند تغییر پیدا کند.همچنین معماریان خلیل‌آباد و همکاران(۱۳۸۴) در منشأ یابی رسوبات بادی منطقه رفسنجان از روش گام‌به‌گام در منشایابی استفاده کردند.که یکی از مراحل آن بررسی نقش خصوصیات باد در نقل‌وانتقال ماسه‌ها می‌باشد و همگی مؤید جهت اصلی برداشت مواد در جهت بادهای فرساینده می‌باشد. محمودی در کتاب پراکندگی جغرافیایی ریگزارهای مهم ایران به بررسی ویژگی‌های کلی ریگ‌زارهای بزرگ ایران ازجمله ریگ کرمان پرداخته است (محمودی، ۱۳۸۱: ۹۶-۹۵). وی تأثیر خصوصیات توپوگرافی مناطق خشک و شرایط و جهات وزش باد را عوامل اصلی در موقعیت استقرار ریگ‌های ایران برشمرده و وسعت دشت‌ها و طول سطح بادگیر را در تقویت فرسایش بادی و از سویی فقر پوشش گیاهی دانسته است. همچنین قانعی بافقی و یاراحمدی (۱۳۷۵)، به‌منظور بررسی رابطه دانه‌بندی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای حسن‌آباد بافق با جهت باد فرساینده از علم زمین‌آمار استفاده کردند. هدف اصلی آنان ارائه شاخصی علاوه بر شاخص‌های موجود برای تعیین جهت باد فرساینده در منطقه ارگ حسن‌آباد بافق بود. بدین منظور با کمک آمار ایستگاه سینوپتیک بافق، گل بادهای ماهانه و فصلی و سالانه رسم گردید، مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای بر اساس تصاویر ماهواره‌ای منطقه و بازدید صحرایی بررسی و بادهای غالب تعیین گردید. در این مطالعه واریوگرام خوش‌منظر برازش شده و کنترل‌شده دانه‌بندی

[1] Stout

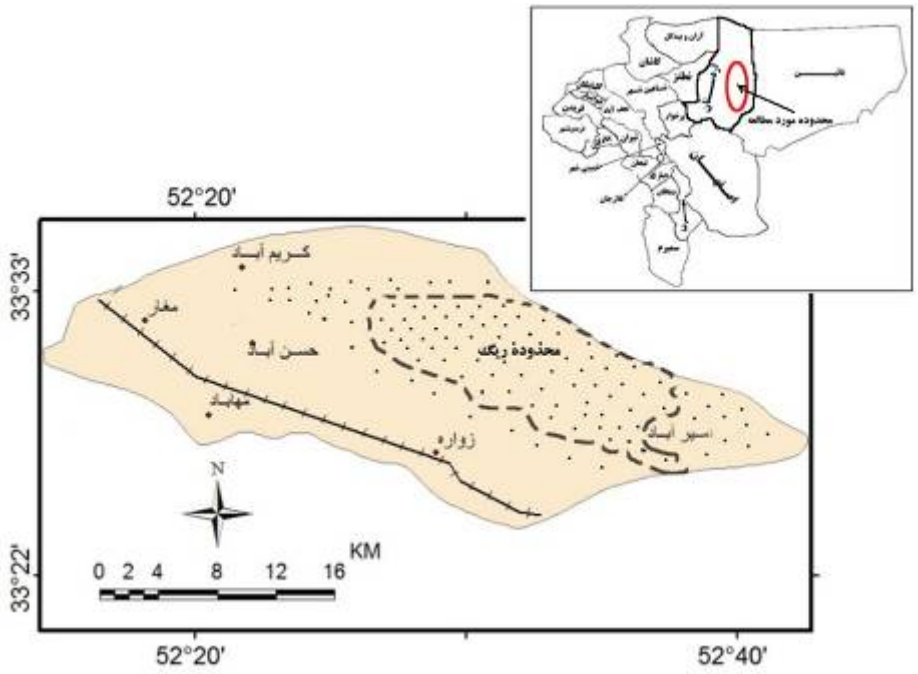
ارگ علاوه بر اثبات صدق فرضیه پایایی درجه‌دو در منطقه، ثابت می‌نماید که جهت‌داری با بیش‌ترین وابستگی فضایی مربوط به آزیموت صفر درجه (جهت جنوب – شمال) می‌باشد. در ایران پهنه‌های گسترده‌ای از ماسه‌های بادی وجود دارد که در این پژوهش ریگ اردستان موردبررسی قرارگرفته است. به نظر می‌رسد جهت عمومی نقل‌وانتقال ماسه با بادهای غالب و باد حداکثر منطقه برازش داشته و راستای وزش این بادها نیز از توپوگرافی عمومی منطقه پیروی نموده و ناهمواری‌ها در کانالیزه شدن بادهای منطقه نقش اساسی را ایفا می‌کنند. مهم‌تر از آن تغییر راستای وزش بادها در دو جهت شمالی و غربی به ترتیب در دو فصل زمستان و تابستان نتیجه گسترش ابعاد تابستانی کم‌فشار حرارتی استقراریافته در چاله دق سرخ در طول دوره گرم سال می‌باشد و این موضوع فرضیه تحقیق را تشکیل داده است.

شاید وجود این پهنه ماسه‌ای وسیع بیش از سایر نقاط ایران فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرارداده باشد. زیرا دسترسی نزدیک‌تری به مراکز جمعیتی داشته و از تراکم بیشتر سکونتگاهی و زراعی برخوردار است. نقل‌وانتقال ماسه از گذشته تاکنون فعالیت‌های مذکور را تحت تأثیر قرارداده است و این مسئله اصلی پژوهش را تشکیل داده است. ازاین‌رو با توجه موضوع توسعه و مکان‌گزینی فعالیت‌ها چارچوب این تحقیق برای شناخت منشأ و جهات حرکت ماسه‌های بادی موجود در منطقه، شناخت نقاط برداشت و روند تغییر تپه‌های ماسه‌ای از گذشته تاکنون می‌باشد. اهداف کلی این تحقیق آن است که بر اساس داده‌های باد ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف اردستان، راستای وزش بادهای غالب منطقه را تعیین و نیز قطر ذرات ماسه بر اساس نمونه‌برداری‌های انجام‌شده در محدوده ریگ اردستان و برازش آن‌ها با شاخص‌های موجود (شکل شماره۳) بتواند ارتباط بین متغیرهای تأثیرگذار را در راستای نقل‌وانتقال و منشأ ماسه‌های بادی، مکان‌گزینی و تمرکز آن‌ها را در مقیاس زمانی ۳۰ساله بررسی کرد. درنهایت ارائه پیشنهادات به‌منظور کاهش فرسایش بادی و خسارات ناشی از آن است.

منطقه موردمطالعه:

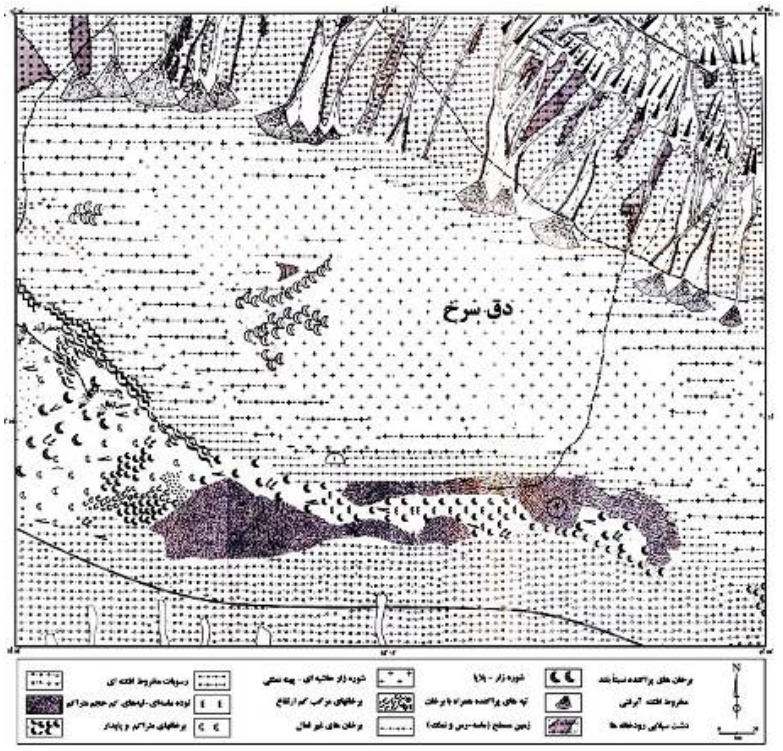
شهرستان اردستان با مساحت ۱۱۵۹۱ کیلومترمربع و جمعیتی بالغبر ۴۵۱۵۰ نفر در فاصله ۱۱۸ کیلومتری شمال شرق مرکز استان اصفهان قرار دارد. این شهرستان از ۲ بخش، ۳ شهر، ۷ دهستان و ۳۰۶ روستای دارای سکنه تشکیل گردیده. مرکز این شهرستان شهر اردستان است. ازنظر موقعیت جغرافیایی شهرستان اردستان در فاصله بین ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار قرار دارد.

(شکل شماره۱) این شهرستان از شمال به استان سمنان، از غرب به شهرستان‌های کاشان و نطنز، از شرق به شهرستان نائین و از جنوب به استان اصفهان و نائین محدود است(خلیفه و همکاران ۱۳۸۶)



شکل ۱: موقعیت شهرستان و ریگ اردستان در استان اصفهان

دشت اردستان عموماً توسط ارتفاعاتی احاطه‌شده است که عمدتاً از سنگ‌های رسوبی آهکی، ماسه‌سنگی و سنگ‌های آذرین تشکیل‌شده است. میانگین بارش سالانه ناحیه ۱۴۷ میلی‌متر می‌باشد که از آذرماه شروع و در فروردین‌ماه خاتمه می‌یابد. متوسط دمای سالانه منطقه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن ۳۵/۷٪ می‌باشد(گزارش آمار هواشناسی۱۳۸۳-۱۳۴۹). تغییرات زمانی و مکانی رطوبت نسبی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در ماه‌های دی و آذر و کمترین آن در ماه‌های خرداد و شهریور روی می‌دهد(سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۴: ۶۰-۱). بر این اساس با حاکمیت شرایط خشک اقلیمی، همواری سطح زمین، خشک بودن نسبی خاک و فراهم بودن مواد ریزدانه، فرایندهای بادی باعث تشدید فرسایش بادی در جنوب دشت شده‌اند.



شکل -۲:نقشه ژئومورفولوژی منطقه و ارتفاعات اطراف ارگ(مقیمی، ۱۳۶۸)

مواد و روش‌ها

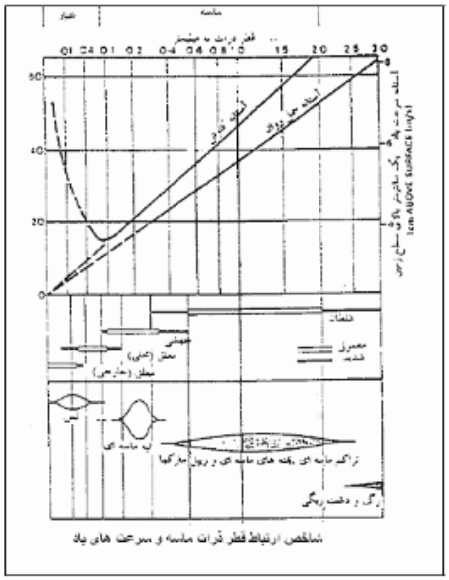
باد توسط سه ویژگی خود، یعنی سرعت، فراوانی و جهت، موجب جابه‌جایی و نقل‌وانتقال ماسه و مواد ریزدانه‌تر می‌شود. اگرچه بادهای بسیار قوی دارای تداوم کم می‌باشند اما نقش غالبی در حمل ماسه‌های بادی ایفا می‌کنند (لیو[1] و همکاران،۲۰۰۵). همچنین در مناطق متفاوت ژئومورفیک، فرسایش‌پذیری در اثر تغییرپذیری وزش باد تفاوت‌های زیادی نشان می‌دهد. علاوه بر این مشاهدات وزش باد در یک پهنه نمی‌تواند نشانگر یکسان بودن رفت‌وروب یکسان در تمامی آن منطقه باشد و اغلب تفاوت‌های مکانی خاصی را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها ناشی از تغییرات فاکتورهای غالب فرسایش پذیر چون ویژگی‌های خاک، خشونت سطح، توپوگرافی، پوشش گیاهی، پوسته خاک و مدیریت زمین می‌باشد (سوسکیا[2]، ۲۰۰۳). ازآنجاکه در این تحقیق هدف بررسی رابطه جهت باد و نقل‌وانتقال ماسه‌ها در محدوده ریگ اردستان و علل تغییرات فصلی جهات وزش باد می‌باشد، بنابراین ابتدا با استناد به آمار باد روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک پیرامون منطقه اردستان برای تعیین حدود منطقه و قلمرو ماسه‌های بادی از نقشه‌های توپوگرافی برای تعیین حدود منطقه و قلمرو ماسه‌های بادی از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان ابزارهای مشاهده غیرمستقیم استفاده‌شده است. برای بررسی ارتباط ویژگی‌های باد و قطر ذرات ماسه مستلزم گذراندن چند مرحله در طرح پژوهش بوده است. ابتدا داده‌ها که عمدتاً شامل داده‌های آماری باد و داده‌های رسوبی بوده‌اند گردآوری‌شده‌اند. داده‌های رسوبی نیز طی کارهای میدانی گسترده و طی سه مرحله گردآوری‌شده‌اند. برای این منظور ابتدا طی مشاهده مقدماتی حدود اراضی تحت پوشش ماسه در روی نقشه‌ها تعیین‌شده است. سپس در مرحله دوم نقاط نمونه‌برداری تعیین‌شده و موقعیت آن‌ها با استفاده از GPS ثبت و به روی نقشه انتقال داده‌شده و همزمان نمونه‌برداری ماسه بر اساس ضوابط و معیارهای پیش‌بینی‌شده انجام‌گرفته است. در مرحله بعد نمونه‌های رسوب برای انجام کارهای آزمایشگاهی انتقال

[1] Lio
[2] Suskia

داده‌شده و بر روی آن‌ها کارهای مورفوسکوپی برای تعیین درجه سایش و منشأ بر اساس ویژگی‌های رسوب‌شناسی انجام‌شده است. همچنین برای ارتباط دادن نیروی حمل و آستانه فرسایش بادی نمونه‌ها با دستگاه شیکر گرانولومتری شده و در نرم‌افزار Gradistate تجزیه‌وتحلیل شده‌اند.

به‌منظور امکان دست بابی به تجزیه‌وتحلیل دقیق‌تر وضعیت باد ناکی و شرایط دینامیکی باد در منطقه گل بادهای ایستگاه سینوپتیک ترسیم گردیده است. زیرا گل باد، خاصه گل بادهای سمت و جهت اطلاعات اولیه قابل‌توجهی در رابطه با شناسایی بادها و باد ناکی منطقه ارائه می‌دهند.(احمدی، ۱۳۸۰،۹۱) با توجه به حجم زیاد داده‌های بادسنجی از نرم‌افزارWR plot استفاده‌شده است. سرانجام داده‌های باد و سایر ویژگی‌های محیطی با یکدیگر تلفیق داده‌شده و جهات نقل‌وانتقال و منشأ رسوبات بادی تعیین‌شده است

برای بررسی شرایط باد منطقه از داده‌های آماری باد ایستگاه سینوپتیک کاشان به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به محدوده موردبررسی استفاده‌شده و بر اساس آن گل‌بادهای سالانه، ماهانه و فصلی منطقه ترسیم‌شده است (شکل ۲تا ۴). علاوه بر این گل بادهای میانگین ساعتی و روزانه برای تعیین جهات و وضعیت وزش بادهای روزانه تهیه‌شده و مورد تحلیل قرارگرفته است. در مرحله بعد با توجه به نیازمندی تحقیق ۱۴ نمونه ماسه به‌طور انتخابی از نقاط مختلف منطقه برداشت‌شده است. این نمونه‌ها به‌منظور بررسی بافت نمونه‌ها با کنار زدن لایه سطحی برداشت‌شده‌اند. برای این منظور نمونه‌ها دانه سنجی شده و نمودارها و شاخص‌های موردنظر از طریق برنامه نرم‌افزاری [1] مربوطه رسم شده است. همچنین مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و جهات باد غالب منطقه از طریق برازش با گل بادهای ایستگاه سینوپتیک کرمان تطبیق داده‌شده‌اند. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل ارتباط قطر ذرات ماسه و سرعت‌های آستانه باد از شاخص قطر ذرات و سرعت‌های آستانه سیال و آستانه فشار(وایت[2] ۱۹۹۲ :۳۴۷)استفاده‌شده است(شکل ۴)



شکل ۳ :شاخص ارتباط قطر ذرات ماسه و سرعت‌های آستانه باد (وایت ۱۹۹۲ :۳۴۷)

ازآنجاکه در شاخص موجود سرعت‌های اندازه‌گیری شده برای حداقل قطر ۱۲۵ میکرون، حدود ۵ گره در ساعت می‌باشد در رسم گل بادها برای سرعت‌های زیر ۵ گره، شرایط آرام یا بدون وزش باد در نظر گرفته‌شده است. در مرحله نهایی استخراج نتایج و تحلیل، بین سرعت‌های آستانه باد و قطر ذرات ماسه تجزیه‌وتحلیل و ارتباط کمی برقرارشده است. لازم به ذکر است که اقدامات تثبیت ماسه و فعالیت‌های کشاورزی پهنه‌های متفاوتی را ازنظر

2 Gradistat
[2] I. D. White

دینامیک باد در سال‌های اخیر در سطح ریگ ایجاد نموده است. همچنین برای دست‌یابی به علل تغییرات فصلی جهات وزش بادها ، آمار باد ایستگاه‌های هم‌جوار چاله لوت تهیه و پس از ترسیم گل بادهای آن‌ها بین جهات وزش باد فصلی این ایستگاه‌ها و موقعیت مرکزی چاله لوت ارتباط برقرارشده است. برای اثبات نتایج نیز از تصاویر ماهواره‌ای ترمال و داده‌های ماهواره‌ای لندست بهره‌گیری شده است. از دیدگاه کاربردی نیز پهنه ریگ کرمان با توجه به همگونی مورفولوژی عمومی و از طرفی نحوه و درجه فعالیت ماسه‌های بادی به ۴ پهنه مخروط افکنه های فعال حاشیه ریگ، زمین‌های زراعی در درون پهنه ماسه‌ای، سطوح تاغ کاری شده و ماسه‌های نیمه فعال طبقه‌بندی‌شده است. برای این منظور پراکندگی نمونه‌های برداشت‌شده با ۴ پهنه مذکور تطبیق داده‌شده‌اند. در مراحل بعد پس از دانه سنجی با پراکندگی و ویژگی‌های باد انطباق و مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته و منشأ و جهات نقل‌وانتقال آن‌ها تعیین‌شده است.

بحث و یافته‌ها

قطر ذرات ماسه و منشأ آن‌ها

چنانچه اندازه ذرات ماسه‌های بادی در نقاط مختلف یک تلماسه و نیز در انواع تلماسه ها اندازه‌گیری و مقایسه شوند تا حدی با یکدیگر اختلاف نشان می‌دهند. این اختلاف نتیجه اختلاف نیروی باد در این مکان‌ها است (کوک[1] و همکاران،۱۹۹۳). به‌منظور تجزیه‌وتحلیل بافت ذرات ماسه از هشت محدوده در پیرامون ریگ کرمان نمونه‌برداری شده است. هدف از این نمونه‌برداری یافتن ارتباط بین قطر ذرات ماسه و نیروی باد است زیرا بر اساس مبانی نظری و شاخص‌های موجود (شکل شماره۴)هرقدر نیروی باد بیشتر باشد، بنابراین می‌تواند ذرات درشت‌تری را حمل نماید. این چهار محدوده شامل سطوح مخروط افکنه های فعال، زمین‌های مزروعی، مناطق تاغ کاری شده و ماسه‌های نیمه فعال حاشیه‌ای بوده‌اند. (به ترتیب شامل نمونه‌های۵۴، ۶۱،۷۱، ۷۹،۷۵،۵۳،۷۶،۷۷) جدول ۱ میانگین قطر ذرات این هشت محدوده و میانگین قطر ذرات نمونه‌های برداشت‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: درصد وزن قطر ذرات نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه ارگ اردستان

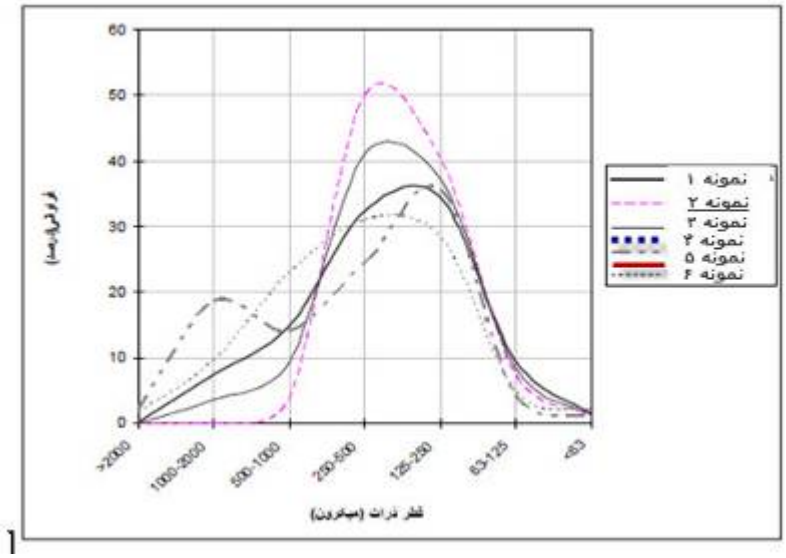
شماره نمونه‌ها	شماره روی GPS	>۶۳	۱۲۵-۶۳	۲۵۰-۱۲۵	۵۰۰-۲۵۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۰۰۰_۱۰۰۰	<۲۰۰۰
۱	۶۱	۱۸/۴۲	۲/۱۱	۳۸/۷۸	۲۹/۲۳	۱۰/۳۱	۱/۱۹	۰
۲	۷۱	۱۵/۵۴	۳/۷۳	۴۳/۱۷	۱۶/۸۱	۱۹/۶۲	۱/۰۱	۰
۳	۵۳	۱۲/۵۰	۲/۳۷	۵۲/۴۱	۲۸/۹۱	۳/۰۹	۰/۱۳	۰
۴	۵۴	۱۲/۹۹	۱/۹۶	۴۲/۴۸	۳۶/۳۲	۶/۲۵	۰/۱۵	۰
۵	۷۵	۱۰/۹۴	۲/۰۶	۵۵/۶۹	۲۹/۱۲	۱/۶۱	۰/۴۰	۰
۶	۷۶	۱۰/۷۳	۰/۷۹	۱۴/۰۱	۵۵/۹۴	۱۸/۴۰	۰/۳۰	۰
۷	۷۷	۱۴/۷۸	۱/۴۹	۱۰/۱۴	۱۲/۰۴	۵۴/۲۶	۷/۰۴	۰
۸	۵۸	۲۸/۸۰	۳/۱۶	۳۳/۳۲	۱۷/۳۲	۵/۱۳	۱/۹۳	۰

قطر اکثر ذرات در تمامی نمونه‌ها بین ۱۲۵ تا ۵۰۰ میکرون می‌باشد. این مسئله می‌تواند تا حدی نشانگر کوتاه بودن مسیر حمل‌ونقل ماسه باشد و برازش نسبتاً خوبی را با باد غالب منطقه نشان می‌دهد.

[1] Cook

مناطق منشأ ماسه‌های بادی

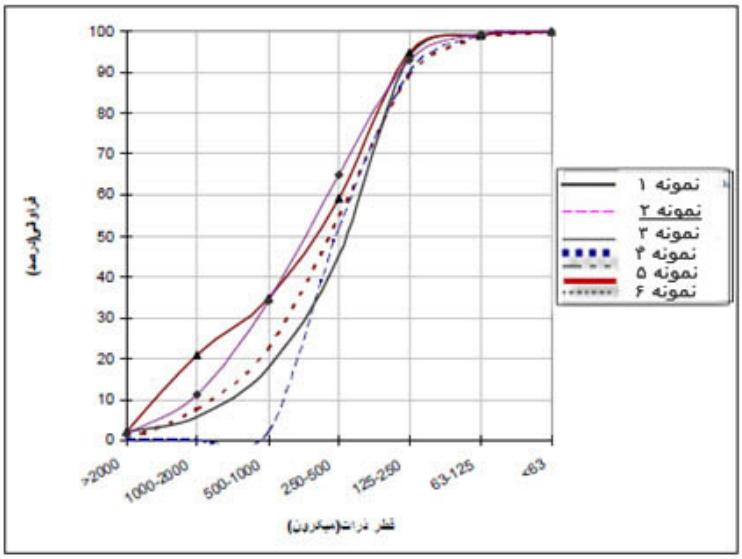
از سال ۱۳۴۵ فعالیت‌های تثبیت ماسه در محدوده ماسه‌های جنوب شهر اصفهان آغازشده است (احمدی، جعفریان جلودار، ۱۳۸۳: ۲۰۷) تاغ کاری و فعالیت‌های کشاورزی صورت گرفته موجب تغییر روند عادی فرسایش بادی در این منطقه شده است. به‌گونه‌ای که منحنی‌های زنگی و فراوانی تجمعی (شکل‌های شماره ۵ و۴) نمونه‌های برداشت‌شده از محدوده‌های چهارگانه در مقایسه با یکدیگر، تفاوت‌های قابل‌توجهی را نشان می‌دهند. تحلیل نمودارها، فراوانی تجمعی و شاخص‌های مورفومتری تفاوت بافت ذرات را در این نقاط نشان می‌دهد.



شکل ۴ : منحنی‌های توزیع نرمال ماسه‌های نمونه‌برداری شده

چنانچه داده‌های جدول ۱ مورد مقایسه قرار گیرد، مشخص می‌شود که بیشترین فراوانی متعلق به ذرات با قطر ۵۰۰-۱۲۵ میکرون و با فراوانی ۷۴/۰۶ درصد می‌باشد و ذرات بزرگ‌تر از ۵۰۰ میکرون نیز ۱۷/۹۶ درصد فراوانی دارند. منحنی توزیع نرمال ماسه‌ها، توزیع نسبتاً متقارن و جورشدگی متوسط آن‌ها را نشان می‌دهد. میانگین قطر ذرات ۲۵۹/۴ میکرون می‌باشد و نشان‌دهنده ماسه متوسط است. بنابراین چنانچه راستای بادهای غالب با سرعت‌های آستانه بالا را در محدوده تحت بررسی با موقعیت مخروط افکنه که در قسمت جنوب غرب تا غرب محدوده ارگ اردستان واقع‌شده است تطبیق دهیم، اجمالاً می‌توان نتیجه گرفت که مواد ریزدانه‌ای که در بخش قاعده مخروط افکنه انباشته‌شده‌اند می‌تواند منشأ اصلی ماسه‌های دشت اردستان به‌حساب آیند.

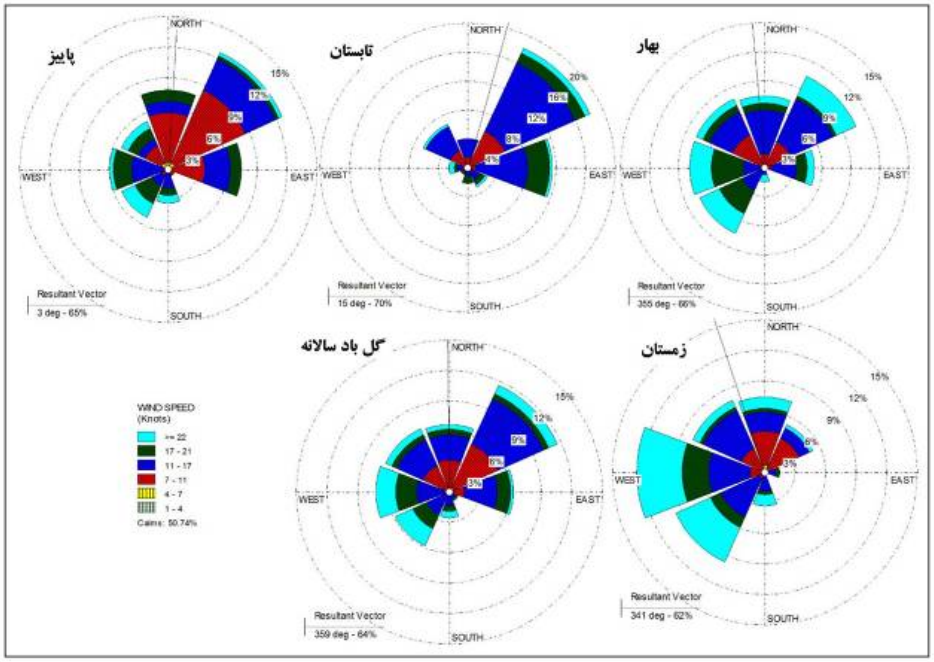
همچنین منحنی زنگی با ضریب ۱۷۱/۱ جورشدگی بد ذرات و با چولگی منفی (۰.۱۱۹-) میل به دانه‌درشت بودن ذرات را نشان می‌دهد. افزایش ذرات بالای قطر ۵۰۰ میکرون تا ۲۵/۴۸ درصد و ذرات کوچک‌تر از ۱۲۵ میکرون تا ۹/۷۵ درصد نسبت به بقیه نمونه‌ها مربوط به پوشش گیاهی (تاغ کاری) می‌باشد که ازیک‌طرف با افزایش رطوبت خاک باعث افزایش چسبندگی بین ذرات ریز و تراکم آن‌ها و از طرف دیگر با کاهش نیروی باد باعث توقف نسبی ذرات درشت‌تر می‌شود.



شکل ۵: منحنی‌های فراوانی تجمعی ماسه‌های نمونه‌برداری شده

ماسه‌های نیمه فعال

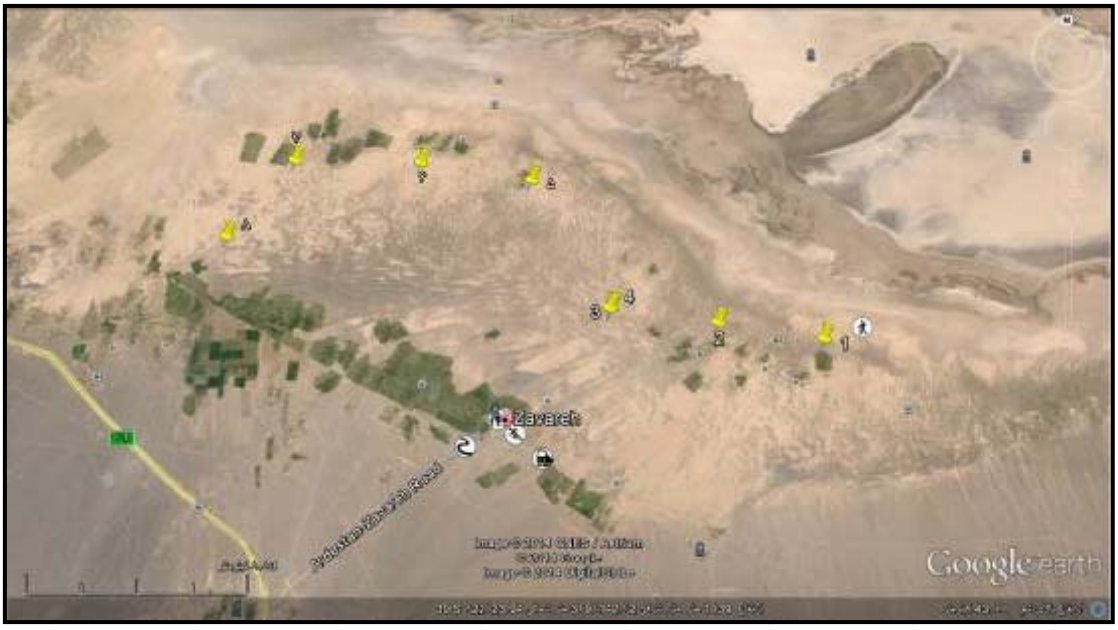
در این محدوده، ذرات بین۵۰۰ تا ۱۲۵ میکرون ۹۰/۱۳ درصد کل ذرات را به خود اختصاص می‌دهند. افزایش فراوانی ذرات۲۵۰–۱۲۵ میکرون تا ۵۰ درصد نشان‌دهنده نزدیکی نقاط برداشت می‌باشد. در این نمونه‌ها ذرات بالای ۵۰۰ میکرون تنها ۱/۶۶ درصد از کل فراوانی را تشکیل می‌دهند که با بادهای حداکثر منطقه برازش خوبی را نشان می‌دهند. قطر میانگین ذرات ۲۹۶/۴ میکرون می‌باشد و نشان‌دهنده ماسه متوسط است. جورشدگی میانه و چولگی مثبت منحنی زنگی نشان‌دهنده تمایل به ریزدانه بودن رسوبات دارد. ازآنجاکه بر اساس شاخص آزمایشگاهی، حداقل سرعت موردنیاز برای حمل و انتقال ماسه‌های بسیار ریزدانه و سیلت، سرعت‌های ۵ گره و بیشتر لازم است، بنابراین برای ترسیم گل بادها، سرعت‌های ۵ گره و بالاتر موردمحاسبه قرارگرفته و سرعت‌های زیر ۵ گره به‌عنوان شرایط آرام در نظر گرفته‌شده‌اند. زیرا سرعت‌های زیر ۵ گره نقش چندانی در انتقال ماسه‌های بادی ندارند.



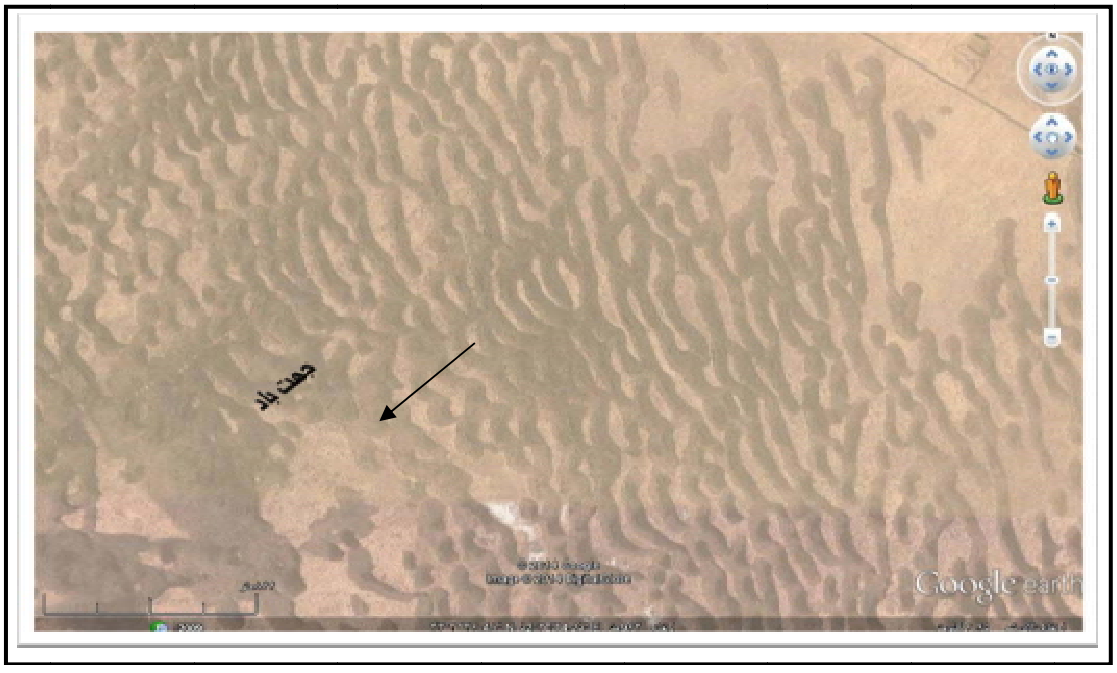
شکل۶: گل بادهای ماهانه و فصلی ایستگاه سینوپتیک کاشان

بررسی تطبیقی جهات باد و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه

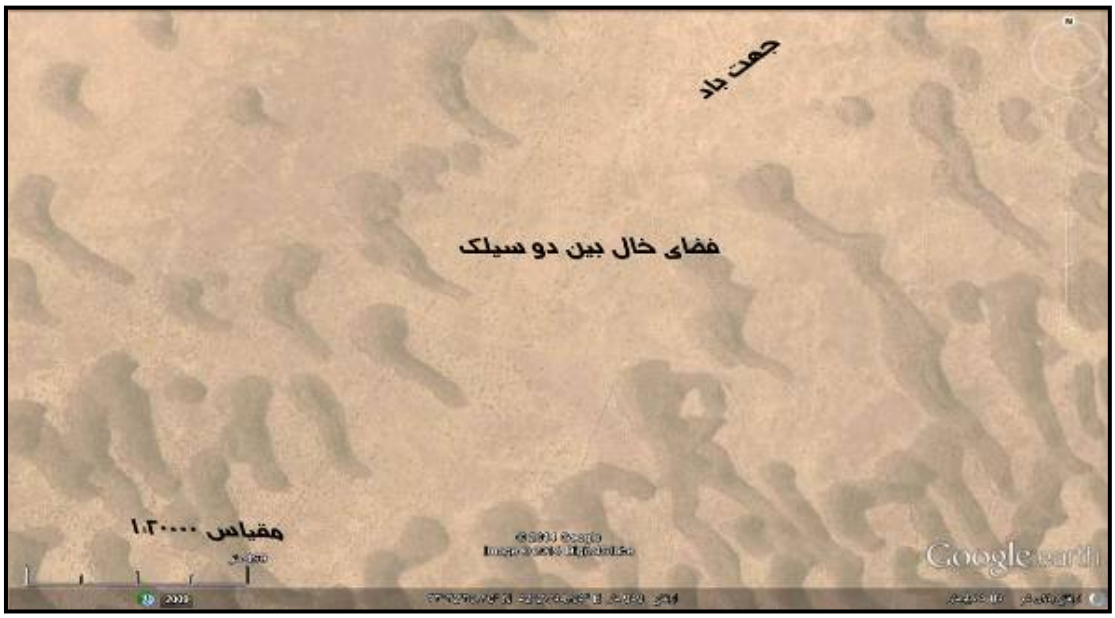
اشکال ماسه‌ای عمدتاً به مقدار ماسه در دسترس و تغییرات جهات باد در طول سال وابسته‌اند(Hermann, ۲۰۰۰،). جهت کشیدگی کلی محدوده ماسه‌ای منطقه ارگ اردستان از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد که عمود بر باد غالب شمال غربی و غربی منطقه مطابق می‌باشد.اشکال عمده ماسه‌ای که در تصویرEarth Google منطقه مشاهده می‌شود، عمدتاً تپه‌هایی با جهت کشیدگی جنوب غربی، شمال شرقی در قسمت غرب منطقه و در شرق منطقه تپه‌های سیف و توالی برخان های نامتقارن است که بازوی نامتقارن آن‌ها به سمت جنوب غرب کشیده شده است و حاکی از وجود باد غالب شمال غربی و غربی و باد مغلوب شمال شرقی- شمالی می‌باشد.



شکل -۷-تجمع اشکال ماسه‌ای در قسمت مرکز و جنوب شرق



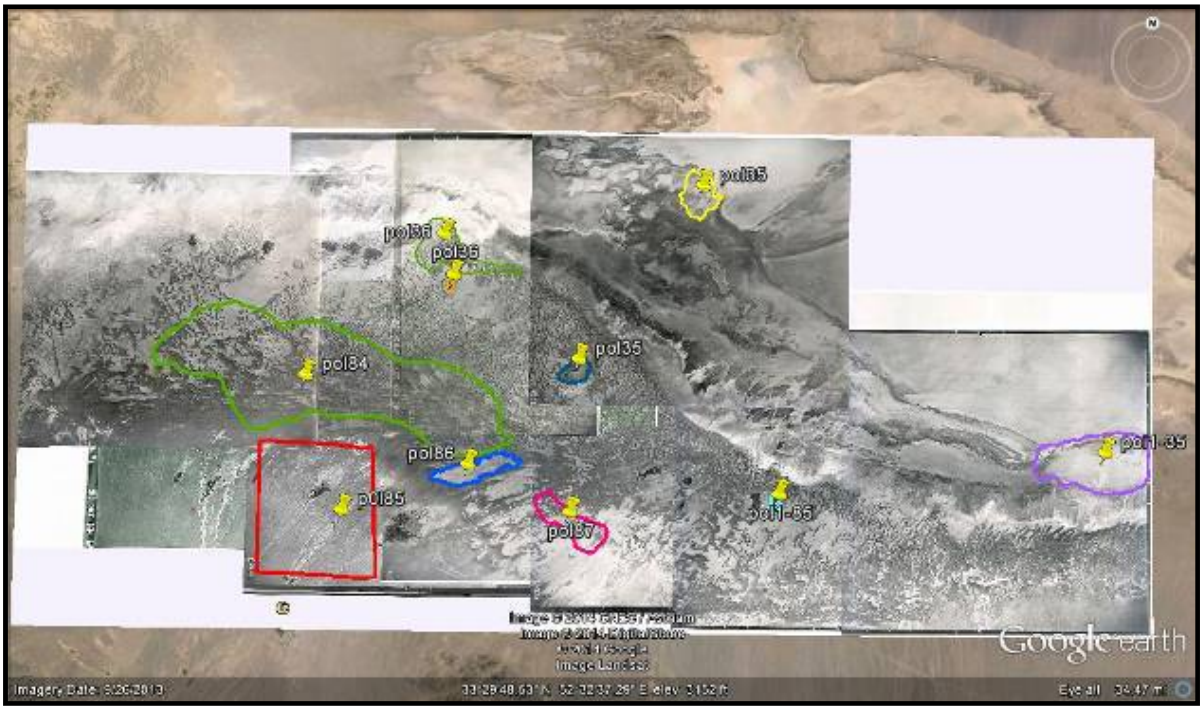
شکل ۸-تجمعی از سیلک مارپیچی و جهات باد از شمال غربی منطقه (تصویر گوگل ارث، ۲۰۰۹)



شکل ۹:اشکال نامتقارن سیف‌های طولی و وجود فضاهای خالی درشمال شرق منطقه (تصویر گوگل ارث، ۲۰۰۹)

اشکال ماسه‌ای سمت شرق با طول‌موج بزرگ و تراکم بالا حاکی از دسترسی زیاد به مواد ریزدانه و دانه‌درشت بودن ذرات ماسه دارند، درحالی‌که برخان های نامتقارن متوالی و تپه‌های سیف در سمت غربی محدوده با تراکم و طول‌موج کمتر حاکی از دسترسی کمتر به ماسه می‌باشند.

در مرحله بعد برای مقایسه پیشروی اشکال و تپه‌های دشت اردستان به مقایسه زمانی بین دو دوره پرداخته‌شده است. برای این منظور ابتدا در عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ با مشخص کردن نقاط مشترک بین عکس‌های حال و گذشته به همپوشانی آن‌ها پرداخته‌شده است. سپس نقشه کامل شده از عکس‌ها با تصاویر گوگل ارث مقایسه شده و به نتایج کلی به‌دست‌آمده ست.



شکل۱۰: همپوشانی عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ در دشت اردستان

نتایج

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به بادهای منطقه با استفاده از تکمیل ضرایب سایش و انجام آزمایش‌های متعدد بر روی نمونه‌ها و تعیین بادهای اصلی با رسم گل باد در اطراف ارگ انجام شد. با تجزیه‌وتحلیل دانه‌بندی ماسه‌های ۸ پهنه شامل: مخروط افکنه فعال جنوب غربی (مخروط چاری)، زمین‌های زراعی، مناطق تاغ کاری شده و ماسه‌های نیمه فعال و مقایسه آن‌ها با شاخص آستانه باد در نقل‌وانتقال ماسه‌ها نتایج زیر به‌دست‌آمده است:

۱- ذرات ماسه در مناطق تثبیت‌شده و مناطق مزروعی میل به درشت‌دانه بودن دارد درحالی‌که در مخروط افکنه های فعال حاشیه جنوب غربی منحنی زنگی ذرات نسبتاً متقارن بوده و در ماسه‌های نیمه فعال میل به ریزدانه بودن دارد. همچنین قطر میانگین ذرات در مخروط افکنه ۲۹۵/۴ میکرون می‌باشد که به قطر میانگین ماسه‌های نیمه فعال که ۲۴۶/۹ میکرون می‌باشد نزدیک است این مطلب نشان‌دهنده مناطق فعال برداشت در مخروط افکنه می‌باشد که با توجه به باد غالب غربی و جنوب غربی به سمت شرق و شمال شرق منطقه انتقال می‌یابند.

۲- افزایش نسبی فراوانی ذرات بزرگ‌تر از ۵۰۰ میکرون و کوچک‌تر از ۱۲۵ میکرون در ماسه‌های تثبیت‌شده در مقایسه با ماسه‌های نیمه فعال و مخروط‌افکنه‌ها تحت تأثیر پوشش گیاهی می‌باشد که با کاهش سرعت باد باعث توقف نسبی ذرات درشت و از طرفی با افزایش رطوبت ماسه‌ها باعث چسبندگی ذرات ریز می‌شود.

۳- ماسه‌های نیمه فعال دارای جور شدگی میانه می‌باشند که با باد منطقه برازش خوبی را نشان می‌دهند. این مکان تنها قسمتی می‌باشد که ذرات ۱۲۵ تا ۵۰۰ میکرون بیش از ۹۰ درصد فراوانی دارند. منحنی زنگی ذرات دارای کج شدگی مثبت می‌باشد و نشان‌دهنده حرکت ذرات دانه‌ریز توسط باد و بر جای ماندن ذرات دانه‌درشتی است که باد قادر به حمل آن‌ها نبوده است می‌باشد.

۴- ماسه‌های نیمه فعال دارای جور شدگی میانه می‌باشند که با باد منطقه برازش خوبی را نشان می‌دهند. این مکان تنها قسمتی می‌باشد که ذرات ۱۲۵ تا ۵۰۰ میکرون بیش از ۹۰ درصد فراوانی دارند. منحنی زنگی ذرات دارای کج شدگی مثبت می‌باشد و نشان‌دهنده حرکت ذرات دانه‌ریز توسط باد و بر جای ماندن ذرات دانه‌درشتی است که باد قادر به حمل آن‌ها نبوده است.

ب) بررسی تطبیقی جهات باد و مورفولوژی ماسه‌های منطقه نشان از تطابق جهات باد غالب با جهات کشیدگی تپه‌ها دارد، در سمت غرب منطقه باد غالب شمال غربی باعث کشیدگی تپه‌ها به سمت جنوب شرق و در سمت شرقی منطقه باد مغلوب شمال شرقی که در فصل گرم حاکم است باعث نامتقارنی اشکال ماسه‌ای شده است

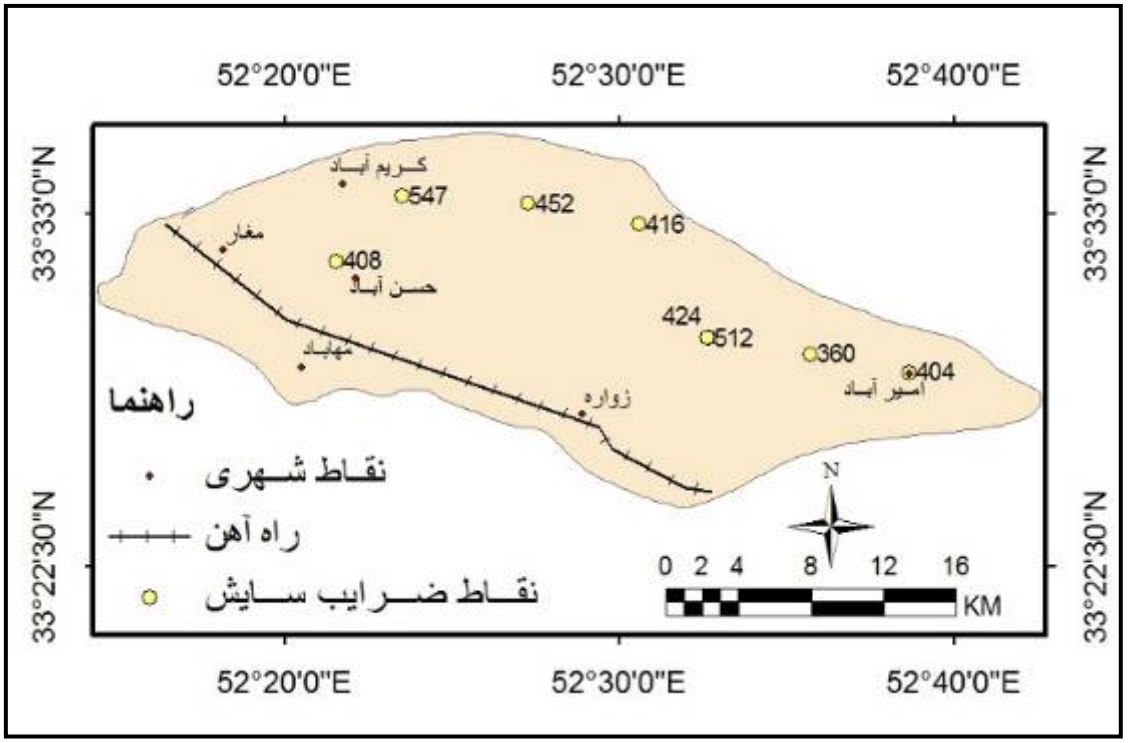
۵- بررسی و مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره‌های مختلف زمانی منطقه نشان‌دهنده فعال بودن تپه‌های ماسه‌ای (اکثراً اشکال سیف) در بخش‌های جنوبی، غربی و شمال شرقی است. در بخش جنوب غربی منطقه اکثر تپه‌های ماسه‌ای تثبیت‌شده است. بررسی و مطالعه مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد که منطقه به‌صورت یک خوشه سیلک بوده، به‌طوری‌که ساقه آن‌که در ابتدای منطقه (قسمت جنوب شرقی منطقه) قرار دارد جوان‌تر و فعال‌تر می‌باشد. همان‌طوری که در بررسی مورفولوژی گفته شد، بخش انتهایی منطقه (شمال غربی و غربی) دارای تپه‌های هلالی شکل (برخان و تپه‌های عرضی برخان) می‌باشد که این نوع تپه‌ها در اثر وزش بادهایی با یک‌جهت غالب به وجود می‌آیند.

۶-وجود پیکان‌های ماسه‌ای در بخش غربی منطقه نشانگر وزش باد از جهت شمال غرب می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که در بخش‌های شرقی منطقه منبع ماسه‌ها از سمت شمال غربی تأمین می‌گردد.

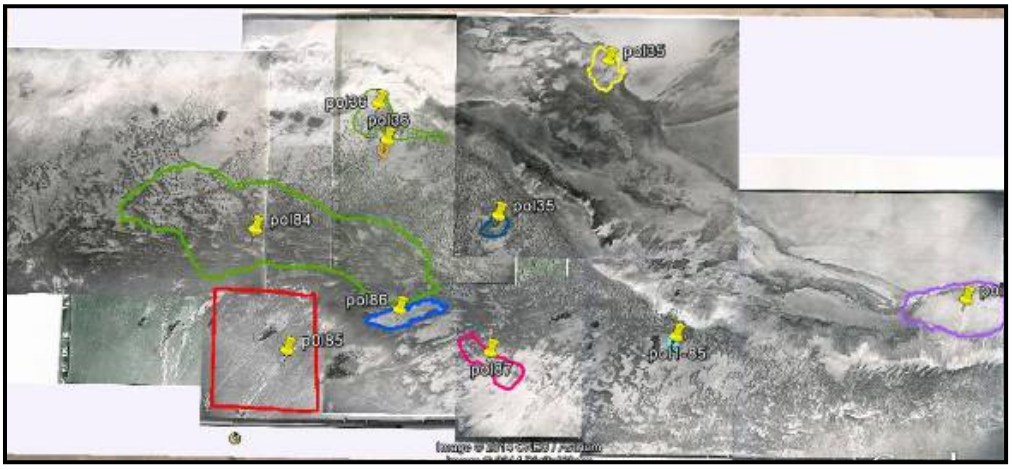
۷-پیشروی چشمگیر فرسایش بادی طی مدت ۳۰ سال و افزایش زمین‌های ماسه‌ای در قسمت غرب ارگ، افزایش ضریب سایش، که به این منظور در طی سال‌های اخیر برای جلوگیری از پیشروی ماسه‌ها اقدام به کشت تاغ و نهال‌های گون شده و در قسمت شرقی ارگ مزارع و باغات توسعه پیداکرده و پیرو این امر شهرها و روستاها هم حول باغات و مزارع دایر شدند.

جدول ۲: میزان ضرایب سایش در نقاط نمونه‌برداری شده ارگ اردستان

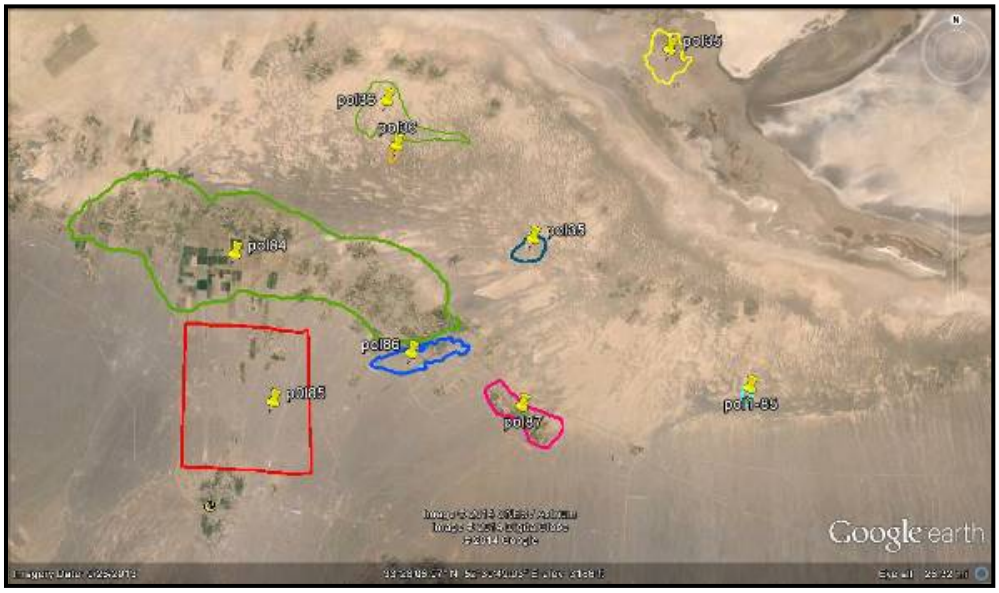
شماره نمونه	شماره روی Gps	ضریب سایش
۱	۶۱	۴۰۴
۲	۷۱	۳۶۰
۳	۵۳	۴۲۴
۴	۵۴	۵۱۲
۵	۷۵	۴۱۶
۶	۷۶	۴۵۲
۷	۷۷	۵۴۷
۸	۵۸	۴۰۸



شکل ۱۱: میزان ضرایب سایش در طول ارگ



شکل ۱۲: اشکال ماسه‌ای در سال ۱۳۳۴



شکل۱۳: تغییرات اشکال ماسه‌ای در طی دوره ۳۰ ساله در دشت اردستان سال ۲۰۱۳

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم، بیابان– فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران.
- احمدی،حسن،جعفریان جلودار، زینب،۱۳۸۳، تأثیر عملیات بیابان‌زدایی در وضعیت اجتماعی و اقتصادی شهر کرمـان، بیابان،شماره۲، ص۲۲۵ص–۲۰۷.
- خلیفه و همکاران، ۱۳۸۶، روش پردازش تصاویر ماهواره و تحلیل باد در شناسایی منابع ماسه تپه‌های ماسه‌ای (منطقه مطالعاتی اردستان)، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران،جلد ۱۴، شماره۲،ص۲۰۴–۲۲۱.
- دهواری، عبدالحمید، ۱۳۷۳، بررسی رسوبات بادی در سراوان بلوچستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه احیای مناطق– مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۵۱، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.
- سازمان هواشناسی، داده‌های باد روزانه ایستگاه سینوپتیک کاشان ۱۳۸۵.
- سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۸۴، گزارش هواشناسی محدوده شهر زواره.

- صلاحی، برومند، ۱۳۷۶، معرفی نرم‌افزار رسم گل باد(WR plot 3.50) به زبان ساده، سپهر، شماره ۵۵، ص ۲۲.
- قانعی بافقی، محمدجواد، ۱۳۷۵، منشأ یابی تپه‌های ماسه‌ای جنوب بافق و بررسی شیوه‌های کنترل آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه احیای مناطق- مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- رفاهی،حسینقلی، ۱۳۸۰،فرسایش بادی و کنترل آن، چاپ دوم، دانشگاه تهران، ۳۲۰ص.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۸۳، فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، شماره۲۴۱۸.
- مقیمی،ابراهیم، ۱۳۶۸، تحول ژئومورفولوژی بیابان شرقی اردستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- معماریان خلیل‌آباد، هادی، ۱۳۸۳، منشأ یابی رخساره‌های فرسایش بادی و روش‌های کنترل آن (مطالعه موردی: منطقه رفسنجان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه احیای مناطق- مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- محمودی، فرج‌الله، ۱۳۸۱، پراکندگی جغرافیایی ریگزارهای مهم ایران، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۱۸۷ ص.
- یمانی، مجتبی، ۱۳۷۹، ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت‌های آستانه باد در منطقه بند ریگ، پژوهش‌های جغرافیایی،شماره ۳۸، ص۱۳۲-۱۱۵.
- تصاویر ماهواره‌ای، *Earth google*، ۲۰۱۱.
- *Bagnold, R. A. (1941). The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London: Methuen. pp. 265*
- *Eric J. R. Partelia, Orencio Duránb, Haim Tsoarc, Veit Schwämmled, and Hans J. Herrmanna, Dune formation under bimodal winds,December 29, 2009 vol. 106 no. 52.*
- *Silvestro S., G. Di Achille , G.G. Ori. (2010).Dune morphology, sand transport pathways and possible source areas in east Thaumasia Region (Mars), Geomorphology 121,PP 84–97.*
- *Lancaster , N. 1994. dune morphology and dynamics in: Geomorphology of desert environment, ed. By:A. D.A brahams and A.J. parsons, chapman and Hall, London, PP.474-505.*
- *Michael,A,Sumerfield. 1991, Global Geomorphology, Departmant of Geology, university of Edinburgh. 537.*
- *Zebeck.T.M, Parker. N.M, Haskell. S and Guoding. K, 2000, Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field _ scale wind erosion model and GIS, Agriculture,Ecosystemsδ Environment, 82, PP 247-259.*
- *Chiristopherson W.Robert, 1997, Geosystems An Introduction to Physical Geography, Prentice Hall. Third Edition, pp459.*
- *Liu.LY, Skidmore.E, Hasi,E, Wagner.L, Tatarko.J, 2005, Dune sand transport as influenced by wind directions , speed and frequencies in the Ordoss Plateau, China,Geomorphology, 67, PP 283-297.*
- *Suskia,M,Visser,Geert Sterk, Judith J.J.C. Snepuangeres, 2004. Spatial variation in wind_blown sediment transport in geomorphic units in northern Burkinafaso using geostatistical mapping. Geoderma, 120, PP 95-107.*
- *White. I. D & Et All, 1992, Environmental Systems ; An Introductory text, Chapman & Hall, PP 347-356.*
- *Cook,R,U.,A.Warren , and A. Goudie, 1993, Desert geomorphology, UCL press,London ,PP 526.*
- *Herrmanna, Dune formation under bimodal winds,December 29, 2009 vol. 1*