

## جهت 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  
فهمیه‌سادات 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 شکل‌ساز 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 به سرعت و تداوم وزش باد یک منطقه وابسته می‌باشد. در این پژوهش منشأ و جهت نقل‌وانتقال ماسه‌های بادی منطقه اردستان در شمال شرقی کاشان مورد بررسی قرار گرفته 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 تجزیه و تحلیل از نرم‌افزارهای GRADISTAT v4.0, WRPLOT view, GIS9, به‌عنوان ابزارهای مفهومی استفاده شده است. برای انجام کارهای میدانی نیز نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه تعیین و با استفاده از GPS موقعیت آن‌ها در روی زمین تطبیق داده شده و داده‌ها به آزمایشگاه منتقل و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است. در این راستا از بینوکلر برای تعیین ضرایب سایش دانه‌های نمونه‌برداری شده استفاده شده و با توجه به درصد ماتی یا شفافیت آن‌ها، منشأ فرسایش آبی یا بادی دانه‌ها استخراج شده است. در نهایت با استفاده از نرم‌افزارهای مذکور نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب و سطوح ارتفاعی منطقه تهیه و با داده‌های حاصل از کارهای آزمایشگاهی تلفیق شده است. نتایج نشان می‌دهد که غالب نمونه‌ها از عمدتاً مخروط افکنه‌های 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 قرار داد.

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

## مقدمه

بیش از نیمی از مساحت ایران را اراضی خشک و فرا خشک در بر گرفته است. نقصان رطوبت در این مناطق از یک سو باعث کاهش تنوع زیستی و از سوی دیگر باعث کاهش پوشش گیاهی 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 به راحتی 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، در مجموع مقادیر رسوب حمل شده به وسیله آن بیش از مقداری است که در مساحت مشابه توسط آب حمل می‌شود. به عنوان مثال بنا به بررسی انجام شده در صحرای نیجر سالانه ۶۰ تا ۲۰۰ میلیون تن غبار تولید می‌شود در صورتی که رودخانه اصلی نیجر در سطح زهکشی به همین مقدار مساحت، ۱۵ میلیون تن رسوب را در سال حمل می‌شود (دهواری، ۱۳۷۳، ص ۳).

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 به صورت پهنه‌ها و تپه‌های 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 انجام شده است از جمله مهم‌ترین آن‌ها کارهایی است که در مورد فرسایش بادی و حمل و نقل رسوبات ناشی از آن، توسط بگنولد<sup>۱</sup> (۱۹۵۳-۱۹۴۱) انجام شده است. همچنین افرادی چون سامر فیلد<sup>۲</sup> (۱۹۹۱) و یا سیلوستر<sup>۳</sup> و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) با بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در شرق منطقه تاماسیا<sup>۴</sup> توانستند مسیر حمل ماسه و مناطق احتمالی منشأ را شناسایی کرده و دریابند که تغییرات شدید در رژیم باد منجر به پیچیدگی الگوی تل ماسه‌ها می‌شود. اریک و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) نقش بادهای دوجبهته را در شکل‌گیری تل ماسه‌ها در صحرای سینا (مصر) مورد بررسی قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بادهای دوجبهته باعث ایجاد تل ماسه‌های سیف می‌شوند. به نقل از دهواری، مری‌ام<sup>۶</sup> در سال ۱۹۶۹ با استفاده از کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی منشأ تپه‌های ماسه-ای وسیعی که در جنوب شرقی کالیفرنیا و شمال کرد (دهواری، ۱۳۷۳، ۲۷). ژیبو دونگ<sup>۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۰ میلادی 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 به وسیله رژیم‌های محلی باد و مورفومتری آن‌ها کنترل می‌شود (ژیبو دونگ، ۲۰۰۰، ۲۱۹). لانکاستر و باس<sup>۸</sup> در سال ۱۹۹۸ 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 پوشش گیاهی گراس 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<sup>۹</sup>، ۱۹۹۷: ۴۵۹). از طرفی تفاوت در فرسایش بالقوه به تفاوت‌های منطقه‌ای بافت خاک سطحی

<sup>1</sup>-Bagnold

<sup>2</sup>-Summerfield

<sup>3</sup>-Silvestro et. S. et al, 2010

<sup>4</sup>-Thaumasia

<sup>5</sup>Eric et al

<sup>6</sup>Meriam

<sup>7</sup>Zhibao Dong

<sup>8</sup>Lanchaster & Bass

<sup>9</sup>Robert W. Christopherson

وابسته است (Zebeck, 2000). به گفته استوت<sup>۱</sup> 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 از ۵ میلیون هکتار را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه فعال تشکیل می‌دهند (احمدی، ۱۳۸۷، ص ۲۴۳). 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: ۴-۶). فرسایش بادی حاصل دخالت نیرویی است که از جریان هوا نشأت می‌گیرد (محمودی، ۱۳۸۳، ص ۲۲۶). 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، ص ۳). در مناطق خشک و نیمه‌خشک فرسایش بادی عامل اصلی فرسایش بوده و آثار نامطلوب آن را می‌توان به صورت 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 نقل و انتقال ماسه‌ها به سرعت 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 در زمینه فرسایش بادی صورت گرفته که بیشتر به بررسی منشأ ماسه‌ها پرداخته‌اند. از جمله 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 را 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 نقل و انتقال 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 مورد مطالعه 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 جهت 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 منشایی استفاده کردند که یکی از مراحل آن بررسی نقش خصوصیات باد در نقل و انتقال 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 از جمله 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)، به منظور 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 صحرائی بررسی و بادهای غالب تعیین گردید. در این مطالعه واریوگرام خوش‌منظر برآزش شده و کنترل شده دانه‌بندی

<sup>1</sup> Stout

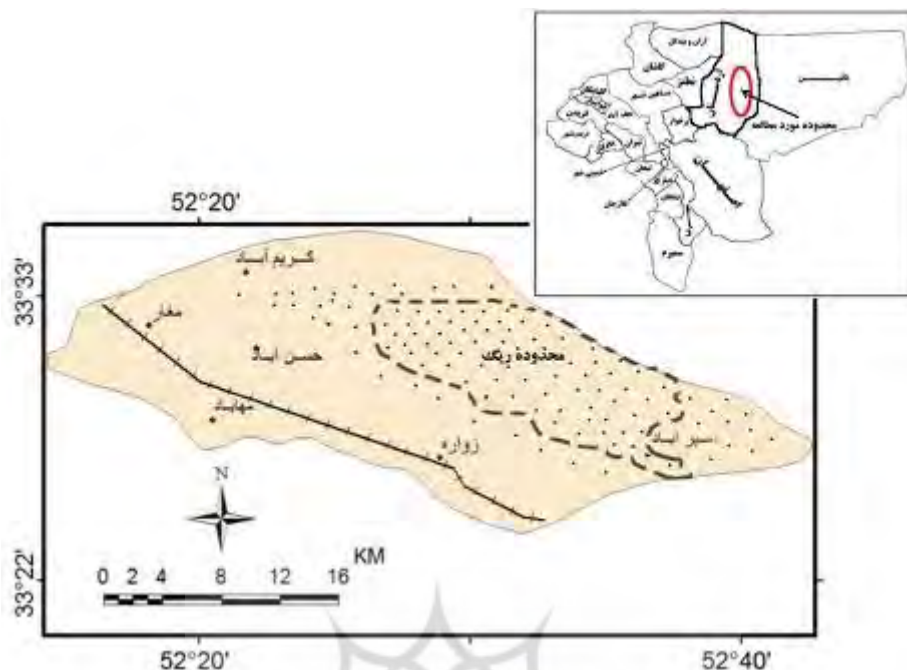
ارگ علاوه بر اثبات صدق فرضیه پایایی درجه‌دو در منطقه، ثابت می‌نماید که جهت‌داری با بیش‌ترین وابستگی فضایی مربوط به آزیموت صفر درجه (جهت جنوب - شمال) می‌باشد. در ایران پهنه‌های گسترده‌ای از ماسه‌های بادی وجود دارد که در این پژوهش ریگ اردستان مورد بررسی قرار گرفته است. به نظر می‌رسد جهت عمومی نقل‌وانتقال ماسه با بادهای غالب و باد حداکثر منطقه برازش داشته و راستای وزش این بادهای 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 بادهای در دو جهت شمالی و غربی به ترتیب در دو فصل زمستان و تابستان نتیجه گسترش ابعاد تابستانی کم‌فشار حرارتی استقرار یافته 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 قراردادده 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 قراردادده است و این مسئله اصلی پژوهش را تشکیل داده است. از این رو 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 شماره ۳) بتواند ارتباط بین متغیرهای تأثیرگذار را در راستای نقل‌وانتقال و منشأ ماسه‌های بادی، مکان‌گزینی و تمرکز آن‌ها را در مقیاس زمانی ۳۰ ساله بررسی کرد. در نهایت ارائه پیشنهاد به منظور کاهش فرسایش بادی و خسارات ناشی از آن است.

### منطقه مورد مطالعه:

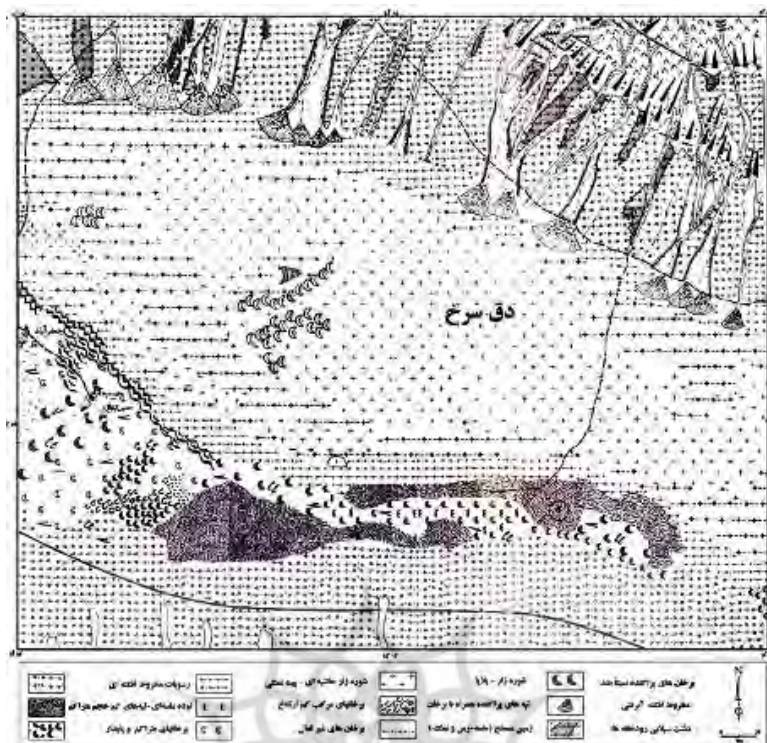
شهرستان اردستان با مساحت ۱۱۵۹۱ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۴۵۱۵۰ نفر در فاصله ۱۱۸ کیلومتری شمال شرق مرکز استان اصفهان قرار دارد. این شهرستان از ۲ بخش، ۳ شهر، ۷ دهستان و ۳۰۶ روستای دارای سکنه تشکیل گردیده. مرکز این شهرستان شهر اردستان است. از نظر موقعیت جغرافیایی شهرستان اردستان در فاصله بین ۵۱ درجه 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 شماره ۱) 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 احاطه شده است که عمدتاً از سنگ‌های رسوبی آهکی، ماسه‌سنگی و سنگ‌های آذرین تشکیل شده 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 هواشناسی ۱۳۸۳-۱۳۴۹). 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 نقل و انتقال ماسه و مواد ریزدانه‌تر می‌شود. اگرچه بادهای بسیار قوی دارای تداوم کم می‌باشند اما نقش غالبی در حمل ماسه‌های بادی ایفا می‌کنند (لیو<sup>۱</sup> 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 رفت و روب یکسان در تمامی آن منطقه باشد و اغلب تفاوت‌های مکانی خاصی را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها ناشی از تغییرات فاکتورهای غالب فرسایش‌پذیر چون ویژگی‌های خاک، خشونت سطح، توپوگرافی، پوشش گیاهی، پوسته خاک و مدیریت زمین می‌باشد (سوسکیا<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳). از آنجاکه در این تحقیق هدف بررسی رابطه جهت باد و نقل و انتقال 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 استفاده شده 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 گردآوری شده‌اند. داده‌های رسوبی نیز طی کارهای میدانی گسترده و طی سه مرحله گردآوری شده‌اند. برای این منظور ابتدا طی مشاهده مقدماتی حدود اراضی تحت پوشش ماسه در روی نقشه‌ها تعیین شده است. سپس در مرحله دوم نقاط نمونه‌برداری تعیین شده و موقعیت آن‌ها با استفاده از GPS ثبت و به روی نقشه انتقال داده شده و همزمان نمونه‌برداری ماسه بر اساس ضوابط و معیارهای پیش‌بینی شده انجام گرفته است. در مرحله بعد نمونه‌های رسوب برای انجام کارهای آزمایشگاهی انتقال

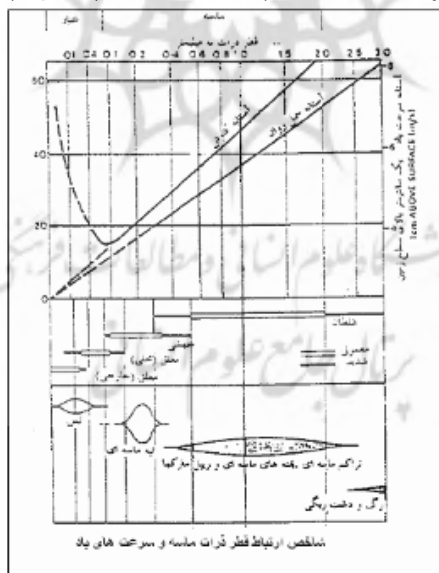
<sup>1</sup> Lio

<sup>2</sup> Suskia

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

به منظور امکان دست‌بازی به تجزیه و تحلیل دقیق‌تر وضعیت باد ناکی و شرایط دینامیکی باد در منطقه گل‌بادهای ایستگاه سینوپتیک ترسیم گردیده است. زیرا گل‌باد، خاصه گل‌بادهای سمت و جهت اطلاعات اولیه قابل‌توجهی در رابطه با شناسایی بادهای و باد ناکی منطقه ارائه می‌دهند. (احمدی، ۱۳۸۰، ۹۱) با توجه به حجم زیاد داده‌های بادسنجی از نرم‌افزار WR plot استفاده شده است. سرانجام داده‌های باد و سایر ویژگی‌های محیطی با یکدیگر تلفیق داده‌شده و جهات نقل و انتقال و منشأ رسوبات بادی تعیین شده است.

برای بررسی شرایط باد منطقه از داده‌های آماری باد ایستگاه سینوپتیک کاشان به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به محدوده مورد بررسی استفاده شده و بر اساس آن گل‌بادهای سالانه، ماهانه و فصلی منطقه ترسیم شده است (شکل ۲ تا ۴). علاوه بر این گل‌بادهای میانگین ساعتی و روزانه برای تعیین جهات و وضعیت وزش بادهای روزانه تهیه شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. در مرحله بعد با توجه به نیازمندی تحقیق ۱۴ نمونه ماسه به‌طور انتخابی از نقاط مختلف منطقه برداشت شده است. این نمونه‌ها به منظور بررسی بافت نمونه‌ها با کنار زدن لایه سطحی برداشت شده‌اند. برای این منظور نمونه‌ها دانه‌سنجی شده و نمودارها و شاخص‌های موردنظر از طریق برنامه نرم‌افزاری<sup>۱</sup> مربوطه رسم شده است. همچنین مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و جهات باد غالب منطقه از طریق برازش با گل‌بادهای ایستگاه سینوپتیک کرمان تطبیق داده شده‌اند. به منظور تجزیه و تحلیل ارتباط قطر ذرات ماسه و سرعت‌های آستانه باد از شاخص قطر ذرات و سرعت‌های آستانه سیال و آستانه فشار<sup>۲</sup> (وایت<sup>۲</sup> ۱۹۹۲: ۳۴۷) استفاده شده است (شکل ۴)



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

از آنجاکه در شاخص موجود سرعت‌های اندازه‌گیری شده برای حداقل قطر ۱۲۵ میکرون، حدود ۵ گره در ساعت می‌باشد در رسم گل‌بادهای برای سرعت‌های زیر ۵ گره، شرایط آرام یا بدون وزش باد در نظر گرفته شده است. در مرحله نهایی استخراج نتایج و تحلیل، بین سرعت‌های آستانه باد و قطر ذرات ماسه تجزیه و تحلیل و ارتباط کمی برقرار شده است. لازم به ذکر است که اقدامات تثبیت ماسه و فعالیت‌های کشاورزی پهنه‌های متفاوتی را از نظر

<sup>1</sup> Gradistat

<sup>2</sup> 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 برقرار شده 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 افکنه‌های فعال حاشیه ریگ، زمین‌های زراعی در درون پهنه ماسه‌ای، سطوح تاغ کاری شده و ماسه‌های نیمه فعال طبقه‌بندی شده است. برای این منظور پراکندگی نمونه‌های برداشت‌شده با ۴ پهنه مذکور تطبیق داده شده‌اند. در مراحل بعد پس از دانه‌سنجی با پراکندگی و ویژگی‌های باد انطباق و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و منشأ و جهات نقل و انتقال آن‌ها تعیین شده است.

### بحث و یافته‌ها

قطر ذرات ماسه و منشأ آن‌ها

چنانچه اندازه ذرات ماسه‌های بادی در نقاط مختلف یک تلماسه و نیز در انواع تلماسه‌ها اندازه‌گیری و مقایسه شوند تا حدی با یکدیگر اختلاف نشان می‌دهند. این اختلاف نتیجه اختلاف نیروی باد در این مکان‌ها است (کوک<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۳). به منظور تجزیه و تحلیل 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 شماره ۴) هر قدر نیروی باد بیشتر باشد، بنابراین می‌تواند ذرات درشت‌تری را حمل نماید. این چهار محدوده شامل سطوح مخروط افکنه‌های فعال، زمین‌های مزروعی، مناطق تاغ کاری شده و ماسه‌های نیمه فعال حاشیه‌ای بوده‌اند. (به ترتیب شامل نمونه‌های ۵۴، ۶۱، ۷۱، ۷۶، ۷۷، ۷۵، ۷۸) 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	۱۰/۴۱	۱/۱۹	.
۲	۷۱	۱۵/۵۴	۳/۷۳	۴۳/۱۷	۱۶/۸۱	۱۹/۶۲	۱/۰۱	.
۳	۵۳	۱۲/۵۰	۲/۳۷	۵۲/۴۱	۲۸/۹۱	۳/۰۹	۰/۱۳	.
۴	۵۴	۱۲/۹۹	۱/۹۶	۴۲/۴۸	۳۶/۳۲	۶/۲۵	۰/۱۵	.
۵	۷۵	۱۰/۹۴	۲/۰۶	۵۵/۶۹	۲۹/۱۲	۱/۶۱	۰/۴۰	.
۶	۷۶	۱۰/۷۳	۰/۷۹	۱۴/۰۱	۵۵/۹۴	۱۸/۴۰	۰/۳۰	.
۷	۷۷	۱۴/۷۸	۱/۴۹	۱۰/۱۴	۱۲/۰۴	۵۴/۲۶	۷/۰۴	.
۸	۵۸	۲۸/۸۰	۳/۱۶	۳۳/۳۲	۱۷/۳۲	۵/۱۳	۱/۹۳	.

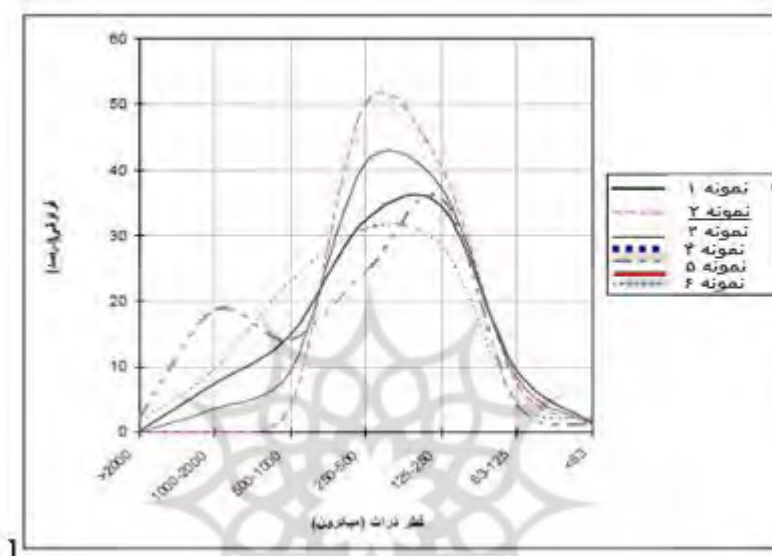
قطر اکثر ذرات در تمامی نمونه‌ها بین ۱۲۵ تا ۵۰۰ میکرون می‌باشد. این مسئله می‌تواند تا حدی نشانگر کوتاه بودن مسیر حمل و نقل ماسه باشد و برآزش نسبتاً خوبی را با باد غالب منطقه نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Cook



## مناطق منشأ ماسه‌های بادی

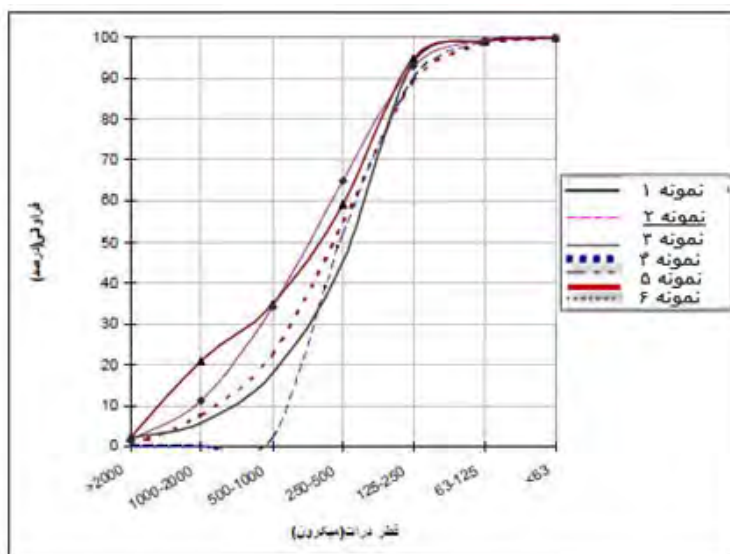
از سال ۱۳۴۵ فعالیت‌های تثبیت ماسه در محدوده ماسه‌های جنوب شهر اصفهان آغاز شده است ( احمدی، جعفریان جلودار، ۱۳۸۳: ۲۰۷) تاغ کاری و فعالیت‌های کشاورزی صورت گرفته موجب تغییر روند عادی فرسایش بادی در این منطقه شده است. به گونه‌ای که منحنی‌های زنگی و فراوانی تجمعی (شکل‌های شماره ۵ و ۴) نمونه‌های برداشت شده از محدوده‌های چهارگانه در مقایسه با یکدیگر، تفاوت‌های قابل توجهی 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 واقع شده است تطبیق دهیم، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت که مواد ریزدانه‌ای که در بخش قاعده مخروط افکنه انباشته شده‌اند می‌تواند منشأ اصلی ماسه‌های دشت اردستان به حساب آیند.

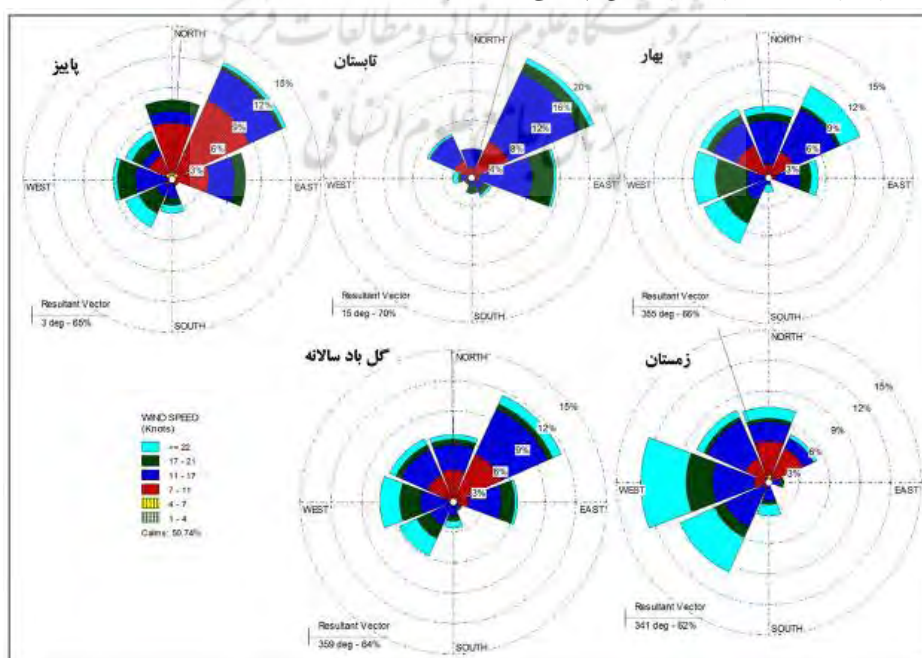
همچنین منحنی زنگی با ضریب ۱۷۱/۱ جورشدگی بد ذرات و با چولگی منفی (۰.۱۱۹-) میل به دانه‌درشت بودن ذرات را نشان می‌دهد. افزایش ذرات بالای قطر ۵۰۰ میکرون تا ۲۵/۴۸ درصد و ذرات کوچک‌تر از ۱۲۵ میکرون تا ۹/۷۵ درصد نسبت به بقیه نمونه‌ها مربوط به پوشش گیاهی (تاغ کاری) می‌باشد که از یک طرف با افزایش رطوبت خاک باعث 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 نمونه برداری شده

### ماسه‌های نیمه فعال

در این محدوده، ذرات بین ۵۰۰ تا ۱۲۵ میکرون ۹۰/۱۳ درصد کل ذرات را به خود اختصاص می‌دهند. افزایش فراوانی ذرات ۱۲۵-۲۵۰ 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. جورشدهگی میانه و چولگی مثبت منحنی زنگی نشان‌دهنده تمایل به ریزدانه بودن رسوبات دارد. از آنجاکه 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 بادهای، سرعت‌های ۵ گره و بالاتر مورد محاسبه قرار گرفته و سرعت‌های زیر ۵ گره به‌عنوان شرایط آرام در نظر گرفته شده‌اند. زیرا سرعت‌های زیر ۵ گره نقش چندانی در انتقال ماسه‌های بادی ندارند.



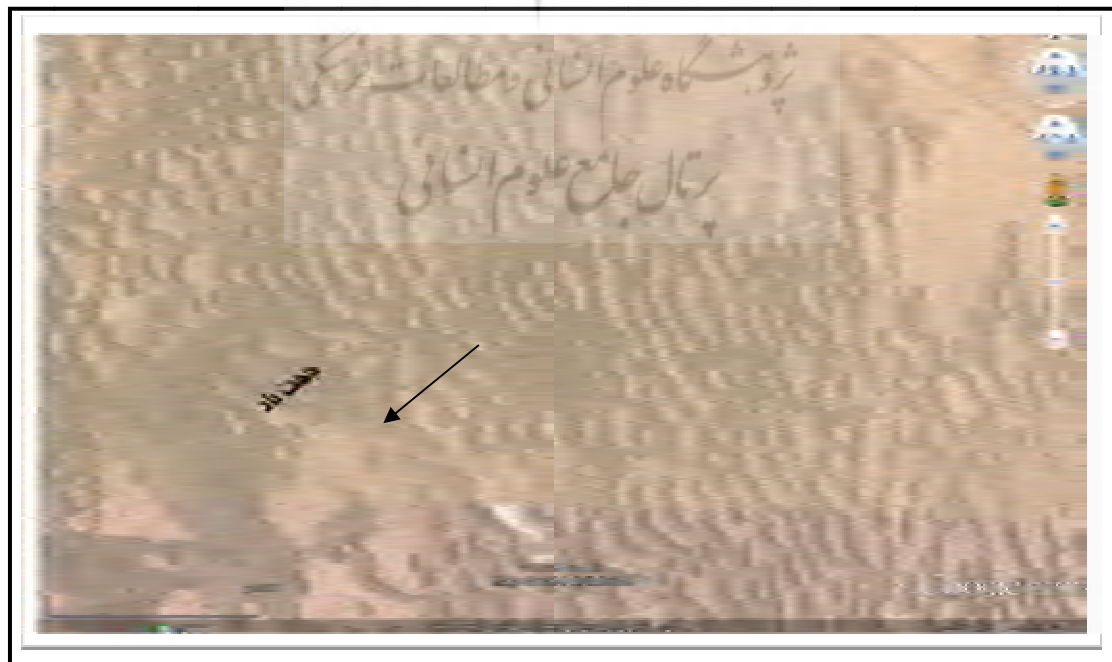
شکل ۶: گل بادهای ماهانه و فصلی ایستگاه سینوپتیک کاشان

### بررسی تطبیقی جهات باد و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه

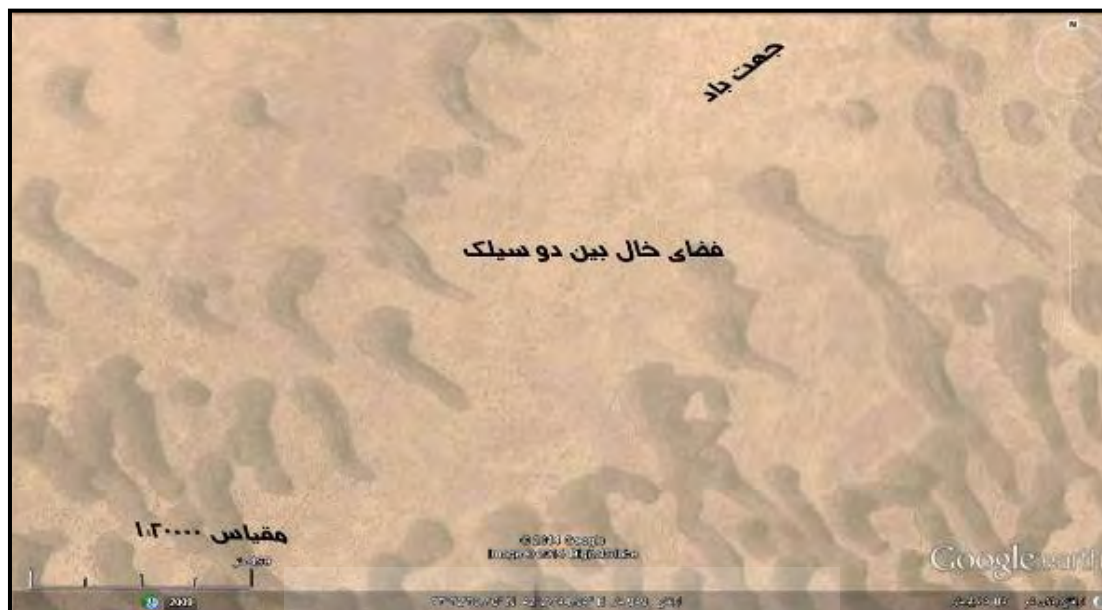
اشکال ماسه‌ای عمدتاً به مقدار ماسه در دسترس و تغییرات جهات باد در طول سال وابسته‌اند (Hermann, ۲۰۰۰). جهت کشیدگی کلی محدوده ماسه‌ای منطقه ارگ اردستان از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد که عمود بر باد غالب شمال غربی و غربی منطقه مطابق می‌باشد. اشکال عمده ماسه‌ای که در تصویر Earth Google مشاهده می‌شود، عمدتاً تپه‌هایی با جهت کشیدگی جنوب غربی، شمال شرقی در قسمت غرب منطقه و در شرق منطقه تپه‌های سیف و توالی برخان‌های 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



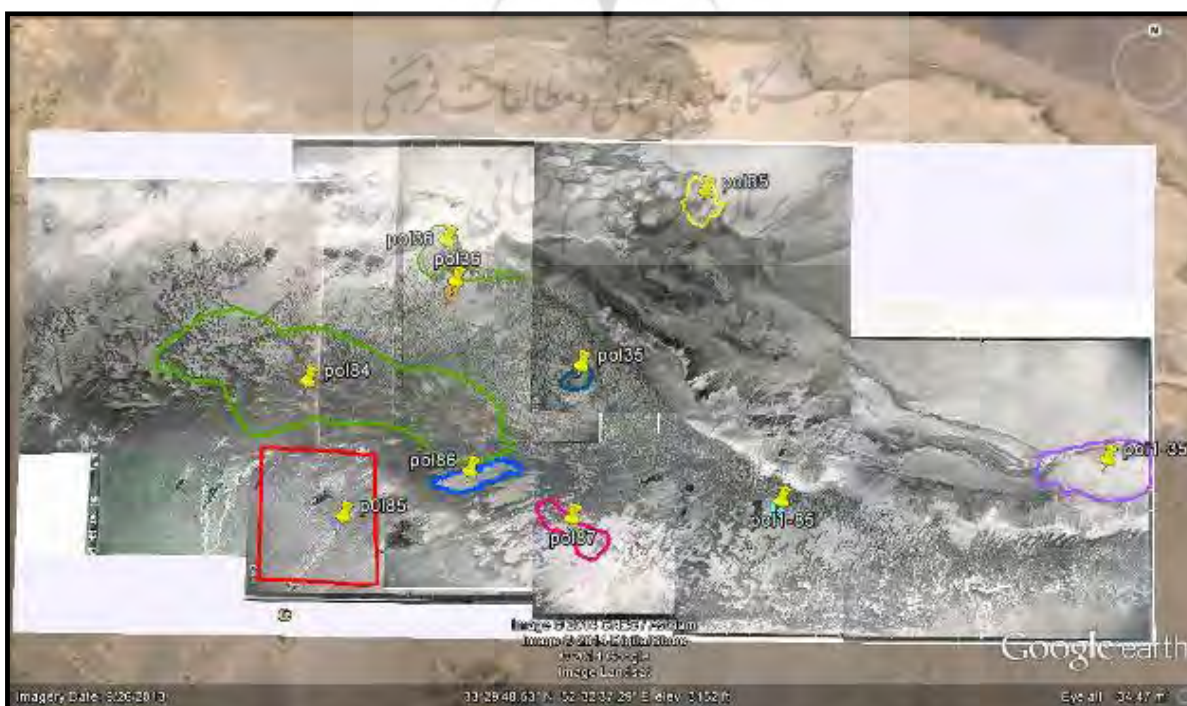
شکل ۸- تجمعی از سیلک ماریچی و جهات باد از شمال غربی منطقه (تصویر گوگل ارث، ۲۰۰۹)



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

اشکال ماسه‌ای سمت شرق با طول موج بزرگ و تراکم بالا حاکی از دسترسی زیاد به مواد ریزدانه و دانه‌درشت بودن ذرات ماسه دارند، درحالی‌که برخان‌های نامتقارن متوالی و تپه‌های سیف در سمت غربی محدوده با تراکم و طول موج 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 پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا در عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ با مشخص کردن نقاط مشترک بین عکس‌های حال و گذشته به همپوشانی آن‌ها پرداخته شده است. سپس نقشه کامل شده از عکس‌ها با تصاویر گوگل ارث مقایسه شده و به نتایج کلی به دست آمده است.



شکل ۱۰: 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 تجزیه و تحلیل دانه‌بندی ماسه‌های ۸ پهله 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 نقل و انتقال ماسه‌ها نتایج زیر به دست آمده است:

۱- ذرات ماسه در مناطق تثبیت شده 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 تثبیت شده در مقایسه با ماسه‌های نیمه فعال و مخروط افکنه‌ها 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 برآزش 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.

۴- ماسه‌های نیمه فعال دارای جور شدگی میانه می‌باشند که با باد منطقه برآزش 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

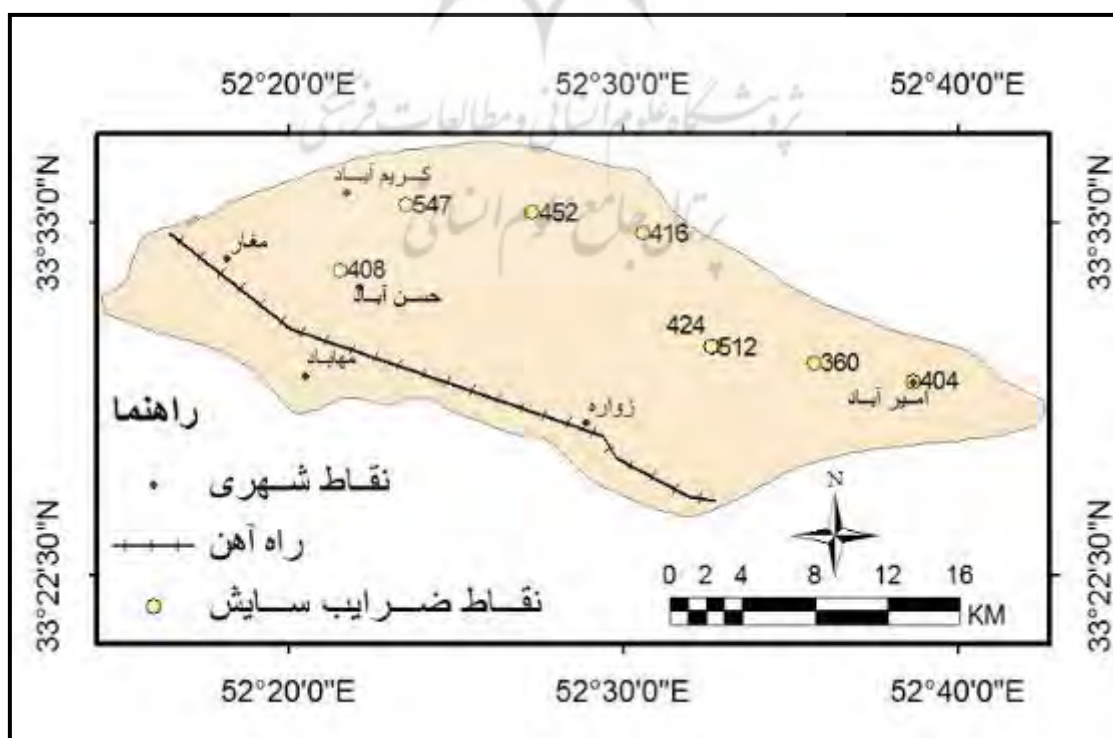
۵- بررسی و مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره‌های مختلف زمانی منطقه نشان‌دهنده فعال بودن تپه‌های ماسه‌ای (اکثراً اشکال سیف) در بخش‌های جنوبی، غربی و شمال شرقی است. در بخش جنوب غربی منطقه اکثر تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده است. بررسی و مطالعه مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد که منطقه به صورت یک خوشه سیلک بوده، به طوری که ساقه آن که 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 یک جهت 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 پیدا کرده 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



شکل ۱۳: 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 کرمان، بیابان، شماره ۲، ص ۲۲۵-۲۰۷.
- 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، شماره ۲، ص ۲۰۴-۲۲۱.
- 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، ۳۲۰ ص.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۸۳، فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، شماره ۲۴۱۸.
- 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، ص ۱۳۲-۱۱۵.
- 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. Herrmann, *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*, Department 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, Ecosystems & 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.
- Herrmann, *Dune formation under bimodal winds*, December 29, 2009 vol. 1