

پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت

مهران مقصودی^۱

محمد فتح‌الزاده^۲

حمید گنجائیان^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

چکیده

یکی از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژی مناطق بیابانی، فراوانی وزش باد به دلیل توپوگرافی نسبتاً هموار و فقر پوشش گیاهی و کمبود رطوبت در این مناطق است. در این پژوهش به بررسی خصوصیات باد و تأثیرات آن بر مورفولوژی و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای بخشی از ریگ لوت پرداخته می‌شود. برای این امر ابتدا داده‌های ساعتی مربوط به سرعت و جهت باد در چهار ایستگاه اطراف این منطقه تهیه و با ترسیم نمودار گلباد و گلماسه در بازه‌های زمانی مختلف، روند تغییرات و خصوصیات باد از نظر جهت و سرعت مورد بررسی قرار گرفت و بدین وسیله بادهای مؤثر بر مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت و همچنین پتانسیل راندگی، برآیند پتانسیل راندگی، بردار برآیند مسیر راندگی شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهد بادهایی که از سمت ایستگاه‌های نهبندان و دهسلم و نصرت آباد جریان دارند در این شکل‌دهی اثر بیشتری دارند. از طرفی برای پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در این ناحیه و تعیین مقدار و نحوه‌ی تغییرات از تصاویر اپتیک Sentinel_2 و راداری Sentinel_1 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. بررسی تصاویر اپتیک منطقه با استفاده از باندهای با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری بیانگر آن است که بیشترین میزان تغییرات و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های مختلف در نواحی مختلف ریگ اتفاق افتاده است و روند مشخص و ثابتی ندارد. همچنین بررسی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از تصاویر راداری Sentinel_1 و روش سری زمانی SBAS^۴ نیز در این ناحیه انجام شد و مقادیر تغییرات برای هر سال مشخص و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در پایان نتایج حاصل از آنالیز داده‌های مربوط به باد و دورسنجی با یکدیگر تلفیق و روند تغییرات کلی و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای و جهت غالب تغییرات آن‌ها تعیین و مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش بادی، تپه‌های ماسه‌ای، ریگ لوت، سنجش از دور

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران maghsoud@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) fathallahzadeh.m@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران h.ganjaeian@ut.ac.ir

مقدمه

فعال در شکل‌گیری اشکال ماسه‌ای محسوب می‌شود که شرایط لازم برای شکل‌گیری آن وجود ذرات ماسه فراوان، وزش باد مؤثر، توپوگرافی مناسب برای گسترش باد و وجود شرایط آب و هوایی مناسب که رطوبت کم از خصوصیات آن است، می‌باشد (Pye and Tsoar, 2009). ماسه‌های موجود در ریگ‌ها ناشی از رسوبات قابل حمل با منشأ محیط‌های رودخانه‌ای و دریاچه‌ای و ساحلی هستند (Lancaster, 2009). به دلیل شرایط آب و هوایی گرم و خشک و بیابانی که در عرض‌های ۳۰ تا ۳۵ درجه وجود دارد اکثر ریگ‌ها نیز در این نواحی شکل می‌گیرند چرا که دما و تبخیر بالا موجب کاهش شدید رطوبت در سطح شده که همین امر موجب افزایش فعالیت ماسه‌ها می‌شود (Dong et al, 2002; Wang et al, 2007). ایران در کمربند خشک و بیابانی دنیا قرار دارد به طوری که دو سوم از وسعت آن در قلمرو مناطق خشک واقع شده است (مقصودی، ۱۳۸۵). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد ۱۷ استان کشور تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند که در این بین استان کرمان دارای شرایط حادثتری نسبت به دیگر مناطق است. در ایران بیش از ۲۰ ریگ نسبتاً بزرگ و همچنین ریگ‌های کوچک متعددی با مساحت تقریبی ۳۶۰۰۰ کیلومتر مربع وجود دارد (محمودی، ۱۳۷۰). ریگ‌زارهای کوچک معمولاً از پویایی و فعالیت بیشتری نسبت به ریگ‌زارهای بزرگ‌تر برخوردارند. یکی از فعال‌ترین و شاخص‌ترین اشکال نهشته شده در ریگ‌ها، تپه‌های ماسه‌ای است که در معرض نیروی کاوشی باد و یا نهشته‌گذاری رسوبات بادی دچار تغییر شکل و ارتفاع می‌شوند. به دلیل اهمیت این تغییرات و بررسی ویژگی‌های مختلف آن‌ها، مطالعات متعددی در سراسر جهان و ایران انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(Hersen, 2004) در پژوهشی به مطالعه مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای برخانی پرداخت و در کار خود پس از معرفی مدل مورد استفاده که 3D نام داشت به بررسی انحرافات که در اشکال برخان‌ها تحت تأثیر پارامترهای

بادهای سطحی تأثیر زیادی در شدت فرسایش از طریق جابه‌جایی و حمل ذرات خاک در سطح زمین دارند (Tage Din et al, 1986: 118). بررسی‌ها نشان می‌دهد سرعت متوسط باد در سطح جهانی در ارتفاع میانگین ۱۰ متری از سطح زمین، از دهه ۱۹۶۰ تاکنون روند کاهشی ۰/۱۴ تا ۱ متر بر ثانیه را داشته است (McVicar et al, 2008).

مطالعات فراوانی روند کاهشی سرعت باد سطحی در نقاط مختلف جهان را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که این کاهش بیشتر در عرض‌های جغرافیایی میانی گزارش شده است (McVicar et al, 2008). برخلاف روند کاهش جهانی سرعت بادهای سطحی، در برخی مناطق نیز روند صعودی سرعت باد برقرار است.

خشکسالی یکی از عواملی است که چنانچه برای چند سال متوالی در یک منطقه اتفاق بیفتد می‌تواند رشد پوشش گیاهی را به دلیل کاهش رطوبت خاک متوقف کند. از طرفی با کاهش رطوبت، به هم پیوستگی ذرات خاک نیز تضعیف می‌شود که شرایط را برای رخداد فرسایش بادی فراهم می‌کند (Hereher et al, 2009). فعالیت بادها در انجام فرسایش به طور قابل ملاحظه‌ای در ارتباط با شرایط اقلیمی هر منطقه هستند و شاخص‌ترین لندفرم در مناطق بیابانی برای پایش این فعالیت‌ها تپه‌های ماسه‌ای است که براساس میزان فعالیت به دو دسته فعال و تثبیت شده یا ثابت تقسیم‌بندی می‌شوند (Fryberger, 1979). (Tsoar et al, 2005). انواع تپه‌های ماسه‌ای را براساس حالت‌های باد غالب که شامل یونی مدال، بای مدال و پیچیده هستند تقسیم‌بندی می‌کند.

بادهای یونی مدال معمولاً موجب شکل‌گیری تپه‌های عرضی می‌شوند، بادهای بای مدال یا دو طرفه موجب تشکیل تپه‌های خطی و طولی و بادهای پیچیده یا کمپلکس موجب تشکیل تپه‌های ستاره‌ای شکل می‌شوند. به طور کلی مکانی که در آن رسوبات ناشی از فرسایش بادی جابه‌جا و نهشته می‌شوند ریگ نام دارد. ریگ به عنوان یک محیط

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۹۲)
پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و ... / ۱۱۵

مورفولوژی نتیجه عملکرد یک سلول کم‌فشار حرارتی در مقیاس محلی در چاله لوت می‌باشد.

(امیرموشنگ احسانی، ۱۳۹۳) در پژوهشی به استخراج اتوماتیک تپه‌های بزرگ ماسه‌ای ریگ یلان با استفاده از نقشه‌های خودسازمانده پرداخت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شبکه‌ی خودسازمانده به‌عنوان یک الگوریتم نظارت نشده شبکه‌های عصبی مصنوعی در تلفیق پارامترهای مورفومتریکی و داده‌های ماهواره لندست برای آنالیز لندفرم‌های بیابان با مقیاس‌ها و توان‌های تفکیک متفاوت بسیار کارآمد می‌باشد.

(مقصودی و همکاران، ۱۳۹۶) در پژوهشی به پایش جابه‌جایی برخان‌های غرب ریگ لوت (پشوئیه) پرداختند و با استفاده از سله‌های موجود در سطح و مقایسه آن با عکس‌های هوایی سال‌های مختلف، میزان حرکت و جابه‌جایی ریگ و برخان‌ها را مشخص کردند. بر این اساس مشخص شد ریگ مورد نظر به سمت جنوب و جنوب‌شرق در حال جابه‌جایی است که این امر در مطالعات میدانی انجام شده نیز تأیید شد. در این پژوهش به منظور تعیین نحوه تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت به بررسی خصوصیات باد و تأثیرات آن بر مورفولوژی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت می‌پردازیم.

منطقه مورد مطالعه

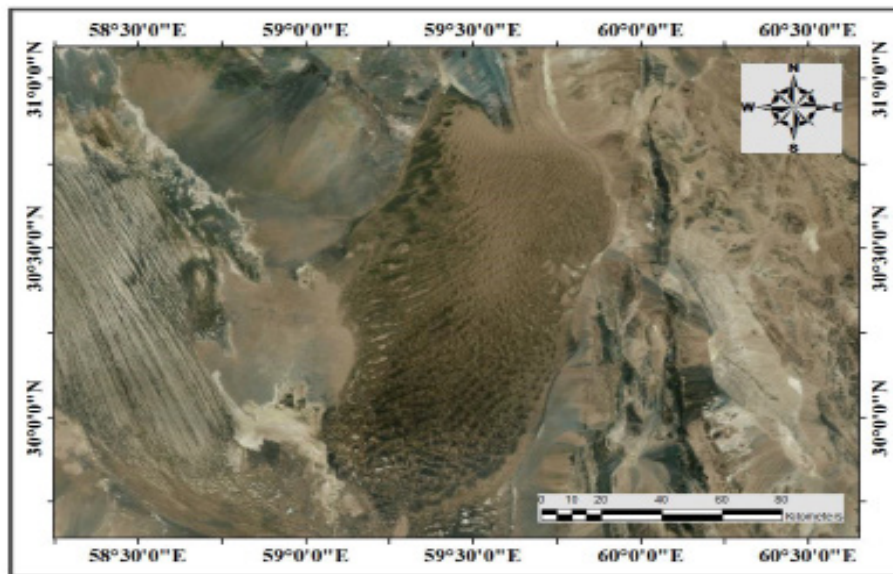
ریگ لوت پهنه ماسه‌ای وسیعی است که در شرق استان کرمان، شمال‌غربی استان سیستان و بلوچستان و جنوب استان خراسان جنوبی و در حد وسط ۲۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در ریگ لوت، شکلی شبیه به مستطیل و گستره‌ای شمالی - جنوبی دارد. فاصله شمال تا جنوب این منطقه حدود ۱۵۰ کیلومتر و فاصله شرقی - غربی آن حدود ۷۰ کیلومتر است. این ریگ از غرب به چاله مرکزی لوت، از شمال به دهسلم، از شرق به نصرت‌آباد، ارتفاعات اسپی و اوخوران و از جنوب و جنوب‌غربی به لوت زنگی احمد و کال‌شور لوت محدود می‌گردد. ارتفاع کف دشت

مختلف محیط طبیعی ایجاد می‌شود اقدام کرد.

(Schwammle and Herrmann, 2005) به معرفی مدل برش جانبی در مطالعه برخان‌ها پرداختند و پس از معرفی مدل بیان کردند که نتایج نهایی حاصل از مدل با اندازه‌گیری‌های میدانی منطقه، به‌طور کامل مورد تأیید است و مدل مورد نظر کارآیی مناسبی برای بررسی اشکال برخان‌ها را دارد. (Hereher, 2018) در پژوهشی به بررسی ژئومورفولوژی و پتانسیل فرسایش بادی در حمل رسوبات ماسه‌ای در ریگ‌های مصر پرداخت و با محاسبه مقادیر پتانسیل حمل ماسه، بردار برآیند مسیر جابه‌جایی و تعیین انرژی باد در مناطق مختلف مصر به یک الگوی جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در آن ریگ‌ها دست یافت.

(Zhang et al, 2019) در پژوهشی به شبیه‌سازی تغییرپذیری فرسایش بادی و مقادیر تخریب دینامیکی ناشی از آن در مناطق زراعی و کشاورزی شمال چین در بازه زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۶ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد سرعت باد نزدیک سطح زمین به‌طور سالیانه ۰/۰۰۷ متر بر ثانیه کاهش یافته که این کاهش در فصل بهار ۰/۰۱ متر بر ثانیه و در فصل پاییز ۰/۰۰۹ متر بر ثانیه در سال بوده است. در ایران به‌دلیل اهمیت و جایگاه دشت لوت از نظر داشتن ژئوفرم‌های تیپیک و کم‌نظر بادی همواره مورد توجه محققان مختلف بوده است. از اولین کسانی که بیابان لوت را مورد مطالعه قرار دادند می‌توان به استراتر ایزونر، هانس بوبک و الفون اسکاپیل اشاره کرد که گزارش‌های خود را غالباً به‌صورت سفرنامه ارائه کرده‌اند. اما مهم‌ترین و جامع‌ترین گزارش از بیابان لوت توسط دکتر احمد مستوفی و همکارانش تحت عنوان گزارش‌های جغرافیایی بیابان لوت در سال ۱۳۵۱ منتشر شده است که هنوز هم از اعتبار و ارزش بالایی برخوردار است.

(یمانی، ۱۳۹۲) در پژوهشی سیکلون‌های حرارتی لوت و تأثیر آن در لندفرم‌های بادی ریگ لوت را مورد بررسی قرار داد و با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه توپوگرافی و تحلیل مورفومتری و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای به این نتیجه رسید که شکل‌گیری چنین سیستم



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

گلماسه) می باشد. در این تحقیق پس از جمع آوری داده ها و اطلاعات مورد نیاز، تجزیه و تحلیل اطلاعات در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن ها پرداخته شده است. (مأخذ: سازمان هواشناسی کشور)

- مرحله اول: ابتدا داده های مربوط به جهت و سرعت باد در مقیاس زمانی سه ساعته در منطقه مورد بررسی قرار می گیرد. برای این امر به علت عدم وجود ایستگاه سینوپتیک در ریگ لوت از داده های مربوط به ۴ ایستگاه دهسلم، شهداد، نصرت آباد و نهبندان که در اطراف این منطقه قرار گرفته اند استفاده شده است. برای تهیه گلباد ایستگاه های مورد مطالعه و تعیین روند باد غالب در ریگ لوت داده های ساعتی در دسترس مربوط به جهت و سرعت باد به صورت جدول ۱ تهیه شده است. پس از جمع آوری و آماده سازی داده های مربوط به سرعت و جهت باد در محیط اکسل با استفاده از نرم افزارهای WR Plot و Sand Rose Graph به ترتیب نمودار گلباد و گلماسه برای هر یک از ایستگاه ها ترسیم و بدین وسیله جهت و سرعت باد غالب و پتانسیل

از سطح آب های آزاد در نواحی حاشیه غربی ریگ لوت، در حدود ۵۵۰ متر و در نواحی شرقی در حدود ۸۳۰ متر است. تپه های ماسه ای این منطقه از خانواده تپه های عرضی بوده و اساساً از رشته های نامتقارن تشکیل شده اند؛ و تقریباً اکثر اشکال تراکمی ماسه ای مانند برخان در شرق ریگ، رپیل مارک ها، تپه های طولی در جنوب غرب ریگ و تپه های عرضی در شرق ریگ، هرم های ماسه ای به هم پیوسته (جنوب ریگ) و تپه های ماسه ای قیفی شکل در وسط ریگ دیده می شود (نگاره ۱).

مواد و روش ها

این تحقیق بر مبنای روش های کمی و تحلیلی می باشد. داده های مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات اقلیمی منطقه، مدل رقومی ارتفاعی ۵/۱۲ متر و تصاویر ماهواره ای سنتینل ۱ و ۲ می باشد. نرم افزارهای مورد استفاده در تحقیق نیز شامل Arc GIS (برای تهیه نقشه های خروجی)، ENVI (به منظور تهیه نقشه های تغییرات ریگزارها) و GMT (به منظور اجرای تداخل سنجی راداری و روش سری زمانی) WR Plot، SBAS (تهیه گلباد) و Sand Rose Graph (تهیه

جدول ۱: ایستگاه ها و دوره های زمانی مورد استفاده برای بررسی خصوصیات باد منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	نهبندان	نصرت آباد	دهسلم	شهداد
ابتدای دوره	۱۹۸۶/۰۱/۰۱	۲۰۱۱/۰۱/۰۱	۲۰۱۱/۱۱/۲۳	۲۰۰۳/۰۵/۲۵
انتهای دوره	۲۰۲۰/۰۸/۰۱	۲۰۱۳/۰۳/۰۲	۲۰۱۳/۱۲/۳۱	۲۰۱۳/۱۲/۳۱

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۷)
پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و ... / ۱۱۷

ثابت از یک جهت می‌وزد این نسبت به ۱ نزدیک است و تپه‌های ماسه‌ای حاصل مانند برخان‌های موجود در صحرای افریقا از نوع عرضی می‌باشند (Fryberger, 1979). در کنار تعیین گلباد و گلماسه در هر ایستگاه، روند تغییرات سرعت باد نیز در طول سال‌های گذشته در ایستگاه نهبندان به دلیل داشتن داده‌های بلندمدت مورد بررسی قرار گرفت.

- مرحله دوم: پس از بررسی خصوصیات باد در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر اپتیک Sentinel-2 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ نحوه تغییرات و جهت جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای بررسی و مشخص شد. ماهواره Sentinel-2 بخشی از برنامه کوپرنیک اتحادیه اروپا است که در تاریخ ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد. این سنجنده قابلیت تصویربرداری نوری با قدرت تفکیک مکانی بالا نسبت به سایر سنجنده‌های مشابه را دارا می‌باشد. داده‌های چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی مختلف (۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر) از ویژگی‌های این سنجنده است که تفکیک و شناسایی عوارض مختلف سطح زمین را ممکن می‌کند. دوره زمانی ۵ روزه از دیگر ویژگی‌های منحصر به فرد این سنجنده است که امکان پایش دقیق سطح زمین را فراهم می‌کند.

- مرحله سوم: در این مرحله به منظور بررسی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه از روش تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی SBAS استفاده شده است. روش تداخل‌سنجی راداری یکی از ابزارهای توانمند برای پایش پدیده تغییرات سطح زمین است. این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به تعیین تغییرات سطح زمین در آن بازه زمانی می‌باشد. در یک تداخل‌نگار اطلاعات اختلاف فاز دو تصویر که گویای اختلاف فاصله عارضه تا سنجنده در دو زمان تصویربرداری است، وجود دارد. اما با توجه به اینکه هر تداخل‌نگار شامل منطقه بزرگی با همبستگی پایین است، بنابراین نتایج آن قابل اعتماد نیست به همین دلیل روش تداخل‌سنجی راداری به‌تنهایی نمی‌تواند تغییرات صورت گرفته را نشان دهد. در این راستا برای حل مشکل، روش‌های مختلفی پیشنهاد

راندگی در اطراف ریگ مورد نظر تعیین و بردار نیروی برآیند در جابه‌جایی ماسه‌ها و شکل‌دهی لندفرم‌های ریگ لوت تعیین و مشخص شد. اصطلاح پتانسیل راندگی (DP) اولین بار توسط (Fryberger, 1979) برای اندازه‌گیری توان باد سطحی در جابه‌جایی ماسه‌ها در طول یک بیابان خشک مورد استفاده قرار گرفت. این اصطلاح به‌طور گسترده برای توصیف فعالیت و جابه‌جایی ماسه در مناطق بیابانی و ریگ‌ها در ارتباط با قدرت باد غالب، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fryberger et al, 1984; Al-Awadh et al, 2005; Tsoar et al, 2005; Yao et al, 2007; Hereher, 2010; et al, Zhang et 2015). براساس یافته‌های (Fryberger, 1979) پتانسیل راندگی ماسه توسط باد از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$DP = V^2(V - V_0) \times t \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن DP پتانسیل جابه‌جایی ماسه کل، V میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین بر حسب کیلونات، Vt آستانه سرعت فرسایش بادی که معمولاً ۱۲ کیلونات در نظر گرفته می‌شود و t درصد رخداد باد در جهات مختلف است. چنانچه مقدار DP در یک منطقه کمتر از ۲۰۰ باشد، باد در آن منطقه دارای ویژگی انرژی کم است، در صورتی که مقدار DP بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ باشد باد دارای انرژی متوسط و چنانچه بیشتر از ۴۰۰ باشد باد در منطقه دارای انرژی زیاد است (فرایبرگر، ۱۹۷۹). اصطلاحات دیگری نیز در جابه‌جایی ماسه‌ها استفاده می‌شود که از آن جمله RDP^۱ یا برآیند پتانسیل راندگی که میزان پتانسیل جابه‌جایی ماسه در جهت بردار برآیند باد را اندازه‌گیری می‌کند و RDD^۲ یا بردار برآیند مسیر راندگی که جهت برآیند حرکت ماسه‌ها را تعیین می‌کند. به‌صورت کمی پتانسیل راندگی برابر ۱ بر حسب مقیاس برداری برابر با ۰/۰۷ مترمکعب بر متر در سال است. همچنین نسبت RDP/DP نیز عددی است که برای تفسیر شکل تپه‌های ماسه‌ای در بیابان به‌کار می‌رود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). هنگامی که باد غالب به‌طور

1- Drift Potential

2- Resultant Drift Potential

3- Resultant Drift Direction

جدول ۲: مشخصات تصاویر راداری مورد استفاده در سری زمانی

Date	Product Type	Pass	Polarization	Date	Product Type	Pass	Polarization
2017/01/24	SLC	Descending	VV	2018/08/11	SLC	Descending	VV
2017/02/17	SLC	Descending	VV	2018/09/04	SLC	Descending	VV
2017/03/13	SLC	Descending	VV	2019/09/28	SLC	Descending	VV
2017/04/06	SLC	Descending	VV	2019/10/22	SLC	Descending	VV
2017/04/30	SLC	Descending	VV	2018/11/15	SLC	Descending	VV
2017/05/24	SLC	Descending	VV	2018/12/09	SLC	Descending	VV
2017/06/17	SLC	Descending	VV	2019/01/02	SLC	Descending	VV
2017/07/11	SLC	Descending	VV	2019/01/26	SLC	Descending	VV
2017/08/04	SLC	Descending	VV	2019/02/19	SLC	Descending	VV
2017/08/28	SLC	Descending	VV	2019/03/15	SLC	Descending	VV
2017/09/21	SLC	Descending	VV	2019/04/08	SLC	Descending	VV
2017/10/15	SLC	Descending	VV	2019/05/02	SLC	Descending	VV
2017/11/08	SLC	Descending	VV	2019/05/26	SLC	Descending	VV
2017/12/02	SLC	Descending	VV	2019/06/19	SLC	Descending	VV
2017/12/26	SLC	Descending	VV	2019/07/13	SLC	Descending	VV
2018/01/19	SLC	Descending	VV	2019/08/06	SLC	Descending	VV
2018/02/12	SLC	Descending	VV	2019/08/30	SLC	Descending	VV
2018/03/08	SLC	Descending	VV	2019/09/23	SLC	Descending	VV
2018/04/01	SLC	Descending	VV	2019/10/17	SLC	Descending	VV
2018/04/25	SLC	Descending	VV	2019/11/10	SLC	Descending	VV
2018/05/19	SLC	Descending	VV	2019/12/04	SLC	Descending	VV
2018/06/12	SLC	Descending	VV	2019/12/28	SLC	Descending	VV
2018/07/18	SLC	Descending	VV				

۴۵ تصویر راداری Sentinel_1 استفاده شده که در جدول ۲ مشخصات تصاویر نشان داده شده است.

بحث و نتایج

پس از آماده‌سازی داده‌های ساعتی، سرعت و جهت باد مربوط به هر ایستگاه در محیط اکسل، با استفاده از نرم‌افزار WR Plot، گلباد مربوط به هر ایستگاه رسم شد (نگاره‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). همانطور که در تصاویر مربوط به گلباد مشخص است در هر ایستگاه جهت وزش باد غالب به یک سمت مشخص می‌باشد که با توجه به موقعیت قرارگیری هر ایستگاه نسبت به ریگ لوت می‌توان تأثیر باد غالب در اطراف آن ایستگاه را بر ریگ لوت تفسیر و بررسی کرد (نگاره ۶).

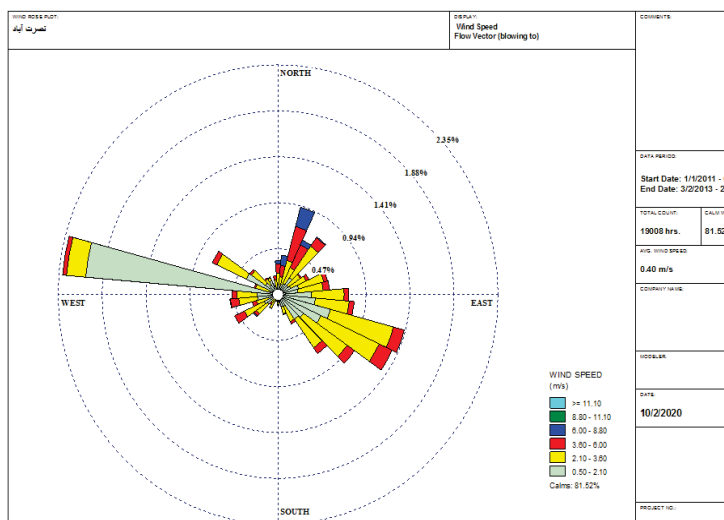
شده است که یکی از آن‌ها روش سری زمانی SBAS است (ژنو، ۲۰۱۳). در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنای باشد، همچنین خط مبنای زمانی آن‌ها نیز همزمان کمینه باشد.

به این ترتیب، فقط تداخل نگارهایی تشکیل می‌شوند که کیفیت مناسبی داشته باشند. پس از تشکیل این تداخل - نگارها، یک شبکه از تصاویر ایجاد می‌شود، سپس با استفاده از روش کمترین مربعات، مقدار جابجایی هر پیکسل تخمین زده می‌شود (دونگ، ۲۰۱۴).

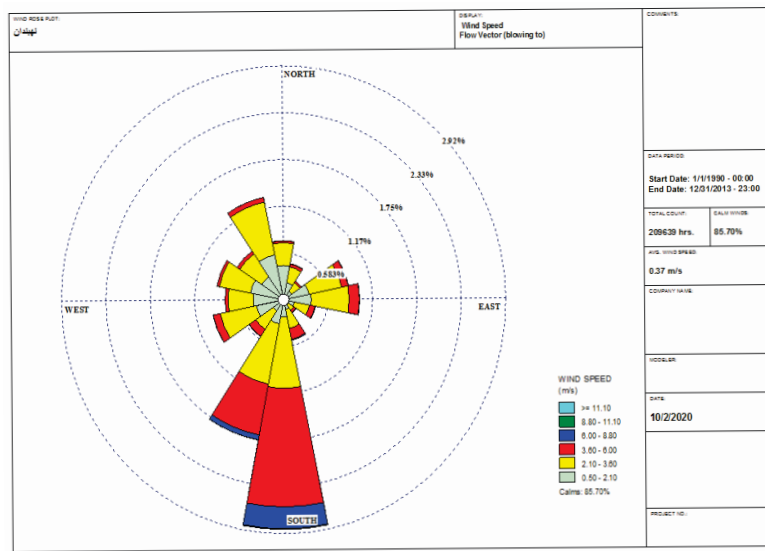
در این تحقیق به منظور انجام تداخل‌سنجی راداری از

1- Zhou
 2- Temporal baseline
 3- Dong

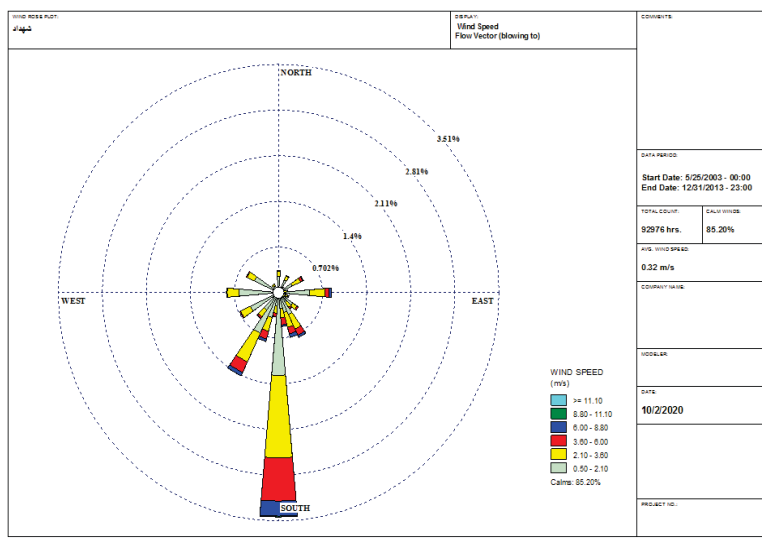
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و ... / ۱۱۹



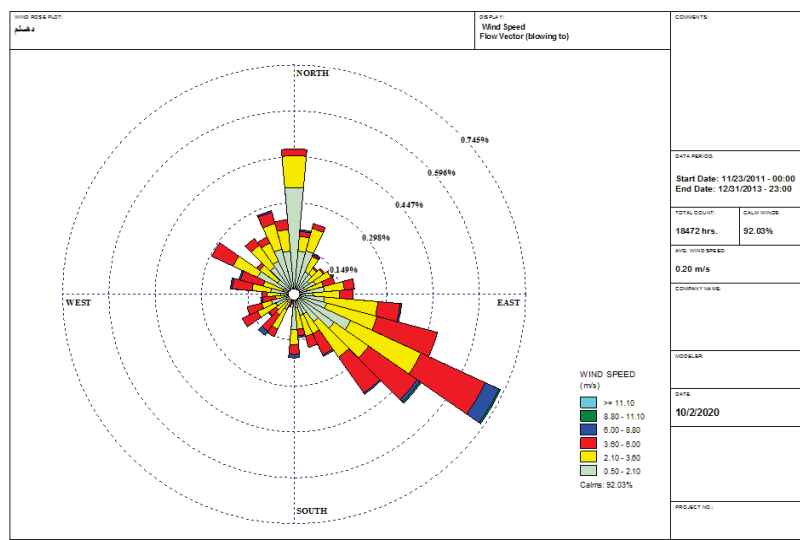
نگاره ۲: گلباد سالانه ایستگاه نصرت آباد



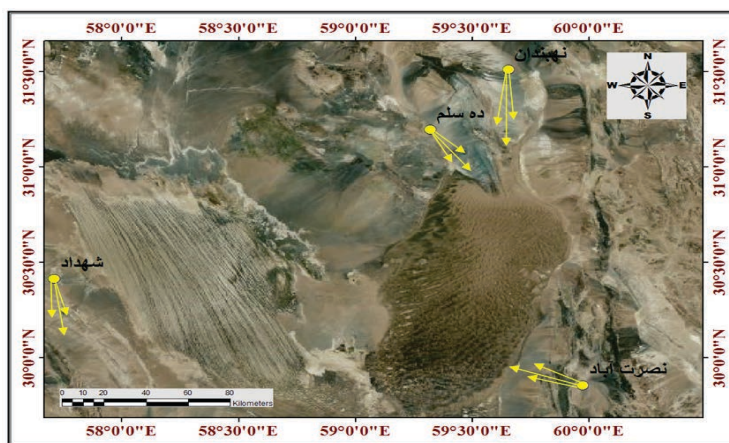
نگاره ۳: گلباد سالانه ایستگاه نهبندان



نگاره ۴: گلباد سالانه ایستگاه شهداد



نگاره ۵: گلباد سالانه ایستگاه دهسلم



نگاره ۶: موقعیت قرارگیری و جهت باد غالب در ایستگاه‌های ۴ گانه نسبت به ریگ لوت

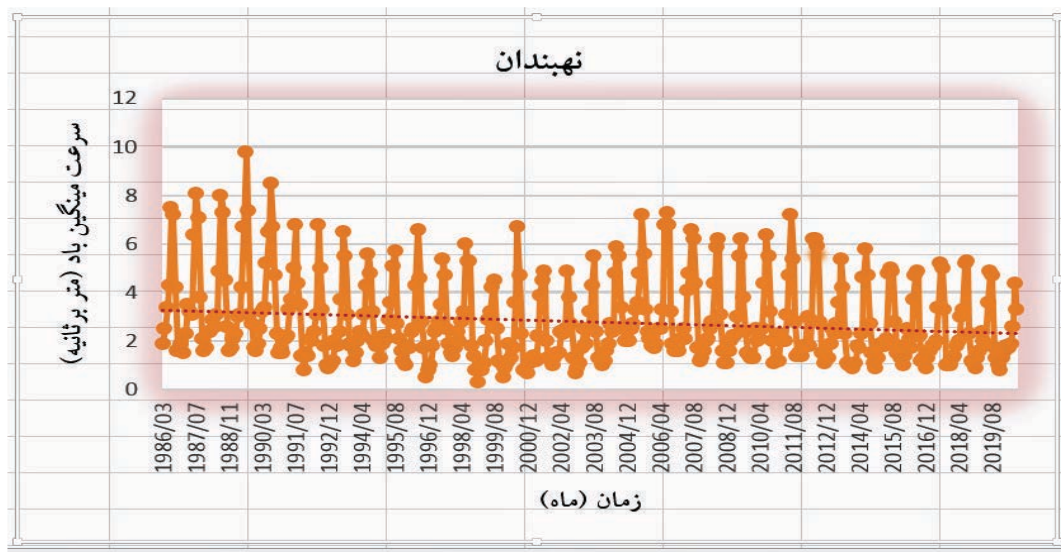
نصرت آباد و دهسلم به ترتیب حدود ۳ و ۲/۷ درصد بادهای غالب سرعتی بیشتر از آستانه فرسایش (۶ متر بر ثانیه) دارند. در کنار اطلاعات مربوط به داده‌های باد غالب در این سه ایستگاه، روند تغییرات سرعت در ایستگاه نهبندان در بازه زمانی ۳۴ ساله بررسی شد و نتایج به صورت نگاره ۷ به دست آمد (داده‌های ایستگاه‌های نصرت آباد و دهسلم به علت اینکه از سال ۲۰۱۱ به بعد موجودند قابل استناد در بررسی روند تغییرات بلند مدت نیستند).

همانطور که در نمودار تغییرات سرعت باد ماهیانه در ایستگاه نهبندان مشخص است روند تغییرات سرعت در این ایستگاه کاهشی است به طوری که از سرعت میانگین باد ۳/۷ متر بر ثانیه در ماه در سال ۱۹۸۶ به سرعت میانگین حدود ۲/۲ متر بر ثانیه در ماه در سال ۲۰۲۰ رسیده است که

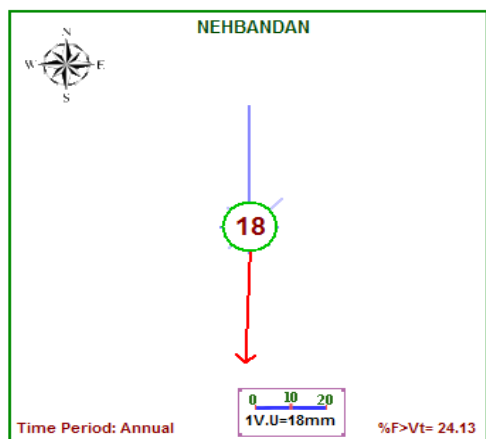
با توجه به جهت باد غالب که برای هر ایستگاه بر روی نگاره ۷ نمایش داده شده است مشخص می‌شود داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سه ایستگاه دهسلم و نهبندان و نصرت آباد جزء بادهای تأثیرگذار بر ریگ لوت می‌باشند که با توجه به نگاره ۶ باد غالب ایستگاه دهسلم از شمال غرب به جنوب شرق ریگ لوت می‌وزد و باد غالب در ایستگاه نهبندان از سمت شمال به سمت جنوب ریگ و باد غالب در ایستگاه نصرت آباد از سمت جنوب شرق به سمت شمال شرق حرکت می‌کند.

همانطور که در گلباد ایستگاه نهبندان مشخص است نزدیک به ۵/۶ درصد بادهای غالب این ایستگاه سرعتی مساوی یا بیشتر از ۶ متر بر ثانیه دارند که بیانگر عبور از سرعت آستانه فرسایش بادی است. همچنین در ایستگاه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و ... / ۱۲۱



نگاره ۷: روند تغییرات سرعت باد در ایستگاه نهبندان

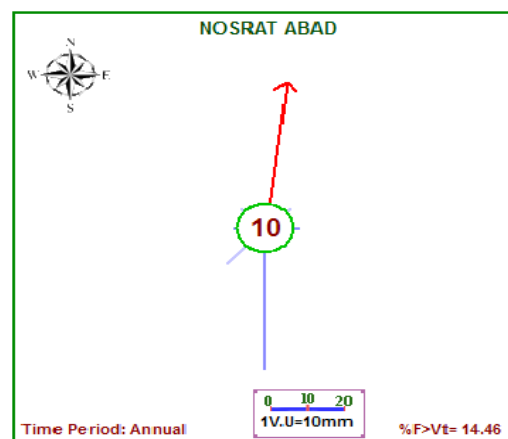


Sand Rose indices	
DPt	484.2
RDP	409.353
RDD	182
RDP/DPt	0.845

Qs= 217.58 Kg/m.s
 RQs= 12.51 Kg/m.s

DP	
N= 363.8	S= 4.4
NE= 65.2	SW= 12.6
E= 2.8	W= 10.6
SE= 3.9	NW= 20.9

TsF= 635342.9 Kg/m.Year
 DSF= 36533.47 Kg/m.Year



Sand Rose indices	
DPt	325.8
RDP	255.65
RDD	7
RDP/DPt	0.785

Qs= 179.56 Kg/m.s
 RQs= 10.09 Kg/m.s

DP	
N= 0.5	S= 236.1
NE= 12.7	SW= 47.6
E= 9.1	W= 7.3
SE= 1.6	NW= 10.9

TsF= 524304.8 Kg/m.Year
 DSF= 29469.45 Kg/m.Year

نگاره ۸: نمودار گلماسه مربوط به ایستگاه‌های نصرت آباد (سمت راست) و نهبندان (سمت چپ)

با توجه به گلماسه‌های ترسیم شده در سه ایستگاه مورد نظر و مقادیری که برای پتانسیل جابه‌جایی ماسه (DPt)، برآیند پتانسیل راندگی (RDP)، بردار برآیند مسیر راندگی (RDD) و نسبت RDP/DPt برای تعیین شکل تپه‌های ماسه‌ای مشخص شده است که می‌توان تپه‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه را تفسیر کرد.

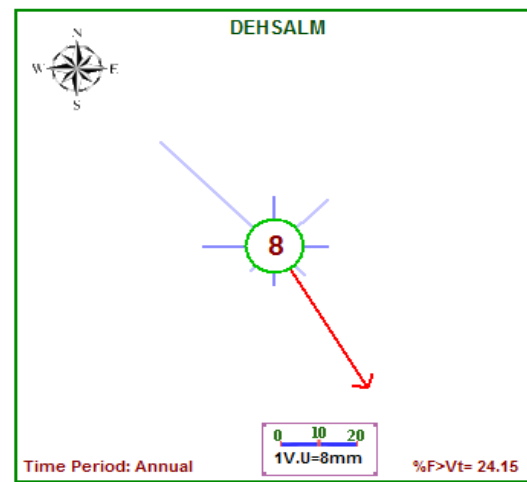
کاهش ۱/۵ متر بر ثانیه را در مدت ۳۴ سال نشان می‌دهد (نگاره ۷). پس از بررسی خصوصیات جهت و سرعت باد در منطقه مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار Sand Rose Graph خصوصیات حمل ماسه در سه ایستگاه تأثیرگذار یعنی نهبندان، دهسلم و نصرت‌آباد مورد بررسی قرار گرفت (نگاره ۸ و ۹).

جابه‌جایی ماسه در این ایستگاه بالا می‌باشد. برآیند پتانسیل راندگی یا RDP در ایستگاه نهبندان برابر ۴۰۹/۳۵۳ است که نشان می‌دهد در جهت بردار برآیند باد غالب، انرژی و پتانسیل جابه‌جایی ماسه زیاد است. مقدار RDD برابر ۱۸۲ درجه است که همانگونه که در نمودار گلماسه مشخص است جهت برآیند حمل ماسه با زاویه ۱۸۲ درجه نسبت به شمال جغرافیایی (جنوب) قرار دارد. مقدار RDP/DPt در ایستگاه نهبندان برابر ۰/۸۴۵ است که مقداری نزدیک به ۱ دارد و بیانگر شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای عرضی شکل در امتداد ایستگاه نهبندان است.

برای ایستگاه نصرت‌آباد مقدار DPt برابر ۳۲۵/۸ است که با توجه به این‌که مقدار شاخص از ۴۰۰ کمتر است بنابراین باد در منطقه دارای انرژی کم است و در نتیجه پتانسیل جابه‌جایی ماسه در این ایستگاه پایین می‌باشد. برآیند پتانسیل راندگی یا RDP در ایستگاه نصرت‌آباد برابر ۲۵۵/۶۵ است که نشان می‌دهد در جهت بردار برآیند باد غالب، انرژی و پتانسیل جابه‌جایی ماسه کم است. مقدار RDD برابر ۷ درجه است که همانگونه که در نمودار گلماسه مشخص است جهت برآیند حمل ماسه با زاویه ۷ درجه نسبت به شمال جغرافیایی (شمال شرق) قرار دارد. مقدار RDP/DPt در ایستگاه دهسلم برابر ۰/۷۸۵ است که مقداری نزدیک به ۱ دارد و بیانگر شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای عرضی شکل در امتداد ایستگاه نصرت‌آباد است.

پس از تعیین شرایط باد و حمل ماسه در منطقه مورد مطالعه، بررسی تغییرات تپه‌های ماسه‌ای منطقه توسط تصاویر ماهواره‌ای در دستور کار قرار گرفت که برای این امر تصاویر اپتیک Sentinel-2 در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ مربوط به ماه آوریل تهیه و در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3.1 مورد پردازش قرار گرفت. سپس براساس طبقه‌بندی انجام شده تصویر هر سال با سال قبل از خود، مقایسه و مقدار تغییرات براساس شدت و به‌صورت کیفی در ریگ‌لوت تعیین و مشخص شد (نگاره ۱۰).

برای تقسیم‌بندی میزان تغییرات در قسمت‌های مختلف



Sand Rose indices		DP	
DPt	422.6	N= 36.6	S= 15.5
RDP	205.973	NE= 63.4	SW= 9.8
RDD	149	E= 32.3	W= 60.3
RDP/DPt	0.487	SE= 19.9	NW= 184.8
Qs= 173.75 Kg/m.s		TSF= 507363.5 Kg/m.Year	
RQs= 5.45 Kg/m.s		DSF= 15925.52 Kg/m.Year	

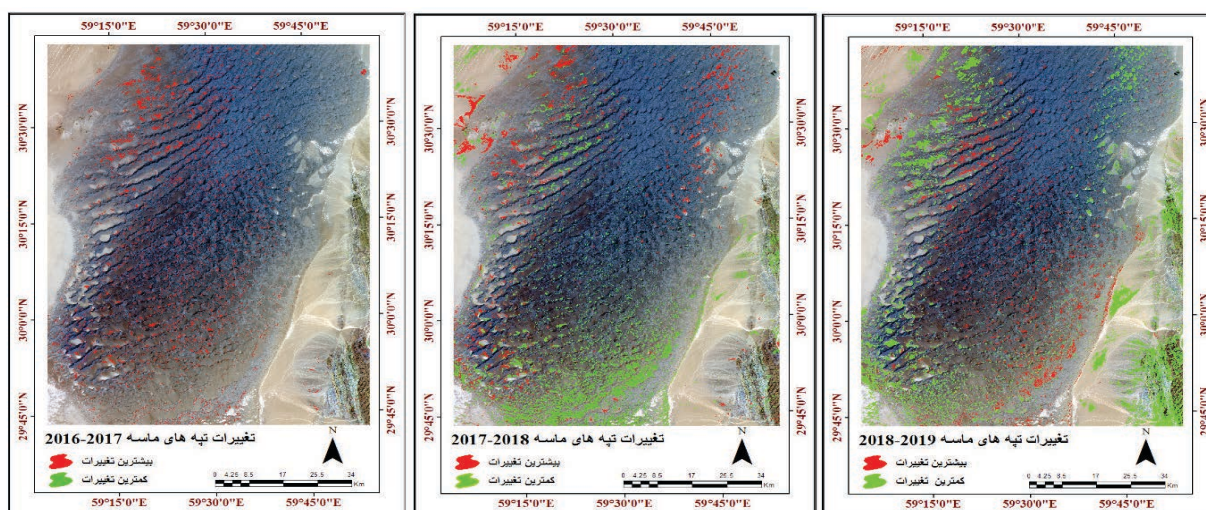
نگاره ۹: نمودار گلماسه مربوط به ایستگاه دهسلم

براین اساس در ایستگاه دهسلم مقدار DPt برابر ۴۲۲/۶ است که با توجه به اینکه مقدار شاخص از ۴۰۰ بیشتر است بنابراین باد در منطقه دارای انرژی زیاد است و در نتیجه پتانسیل جابه‌جایی ماسه بالا می‌باشد.

برآیند پتانسیل راندگی یا RDP در ایستگاه دهسلم برابر ۲۰۵/۹۷۳ است که نشان می‌دهد در جهت بردار برآیند باد غالب، انرژی و پتانسیل جابه‌جایی ماسه متوسط است. مقدار RDD برابر ۱۴۹ درجه است که همانگونه که در نمودار گلماسه مشخص است جهت بردار برآیند حمل ماسه با زاویه ۱۴۹ درجه نسبت به شمال جغرافیایی (جنوب شرق) قرار دارد. مقدار RDP/DPt در ایستگاه دهسلم برابر ۰/۴۸۷ است که مقداری کمتر از ۰/۵ بیانگر شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای شکل است.

برای ایستگاه نهبندان مقدار DPt برابر ۴۸۴/۲ است که با توجه به اینکه مقدار شاخص از ۴۰۰ بیشتر است بنابراین باد در منطقه دارای انرژی زیاد است و در نتیجه پتانسیل

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (SID)
 پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و ... / ۱۲۳



نگاره ۱۰: تغییرات تپه‌های ماسه ریگ لوت در بازه‌های یک ساله از ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹

عمودی منطقه طی ۳ دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۷، ۲۰۱۸-۲۰۱۷ و ۲۰۱۹-۲۰۱۸ تهیه شده است. به منظور ارزیابی میزان جابه‌جایی منطقه، پس از تهیه تصاویر ابتدا وضعیت خط تفکیک زمانی و مکانی تصاویر بررسی شد و براساس آن زوج تصاویر برای تشکیل تداخل نگار انتخاب شده است که در جدول ۳ نشان داده شده است.

پس از تهیه نقشه‌های تداخل نگار و انجام پیش‌پردازش‌های لازم، با استفاده از روش سری زمانی SBAS، نقشه میزان جابه‌جایی منطقه برای ۳ دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۷، ۲۰۱۸-۲۰۱۷ و ۲۰۱۹-۲۰۱۸ تهیه شد (نگاره ۱۱).

با توجه به نقشه نهایی، محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷، تغییرات ارتفاعی بین ۶۱ میلی‌متر بالآمدگی و ۷۳ میلی‌متر کاهش ارتفاع بوده است. در طی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸، تغییرات ارتفاعی بین ۱۵ میلی‌متر بالآمدگی و ۱۱۴ میلی‌متر کاهش ارتفاع بوده است. در طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، تغییرات ارتفاعی بین ۵۴ میلی‌متر بالآمدگی و ۳۹ میلی‌متر کاهش ارتفاع بوده است. ارزیابی روند مکانی جابه‌جایی عمودی در محدوده مطالعاتی بیانگر آن است که به‌طور کلی مناطق جنوبی ریگ لوت و مشخصاً تپه‌های ماسه‌ای این نواحی با بالآمدگی و افزایش ارتفاع همراه بوده‌اند و مناطق شمالی ریگ با کاهش ارتفاع مواجه شده است. ارزیابی روند مکانی جابه‌جایی عمودی در

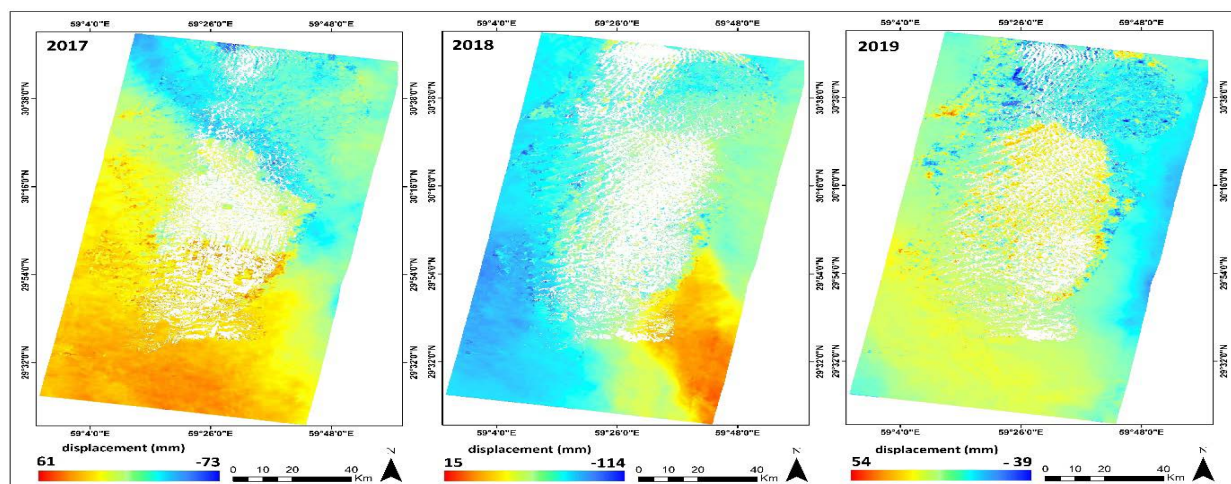
ریگ لوت از یک حد آستانه مشخص استفاده شد که براین اساس بیشترین تغییرات در حد فاصل ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ در تپه‌های ماسه‌ای قسمت‌های شمال‌غربی و جنوبی ریگ لوت اتفاق افتاده است. در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ تغییرات بیشتر در تپه‌های ماسه‌ای شمال‌غرب و شمال‌شرق و بخش حاشیه‌ای آن رخ داده و در نهایت در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ تغییرات بیشتر در شمال‌غربی و جنوب شرقی ریگ اتفاق افتاده است. نتایج به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای نیز به نوعی روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای را در ریگ لوت تحت‌تأثیر بردار نیروی باد از جهت شمال‌غرب و جنوب‌شرق نشان می‌دهد که با جهت بردار حمل ماسه در گمسه‌های رسم شده برای سه ایستگاه مورد نظر تطابق دارد. براین اساس تپه‌های ماسه‌ای بخش جنوب‌شرقی ریگ توسط بادهایی که از سمت نصرت‌آباد می‌وزد و تپه‌های ماسه‌ای بخش شمالی و شمال‌غربی ریگ نیز تحت‌تأثیر بادهایی که از سمت نهبندان و دهسلم می‌وزد قرار می‌گیرد و دچار تغییر می‌شوند.

ارزیابی میزان جابه‌جایی و تغییرات عمودی منطقه

در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه و تطبیق نتایج حاصله با نتایج مراحل قبل، از روش سری زمانی SBAS استفاده شده است و میزان جابه‌جایی

جدول ۳: زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل تداخل نگار

Row	Interferogram	Row	Interferogram	Row	Interferogram
1	2017/01/24-2017/02/17	16	2018/01/19-2018/02/12	31	2019/01/26-2019/02/19
2	2017/02/17-2017/03/13	17	2018/02/12-2018/03/08	32	2019/02/19-2019/03/15
3	2017/03/13-2017/04/06	18	2018/03/08-2018/04/01	33	2019/03/15-2019/04/08
4	2017/04/06-2017/04/30	19	2018/04/01-2018/04/25	34	2019/04/08-2019/05/02
5	2017/04/30-2017/05/24	20	2018/04/25-2018/05/19	35	2019/05/02-2019/05/26
6	2017/05/24-2017/06/17	21	2018/05/19-2018/06/12	36	2019/05/26-2019/06/19
7	2017/06/17-2017/07/11	22	2018/06/12-2018/07/18	37	2019/06/19-2019/07/13
8	2017/07/11-2017/08/04	23	2018/07/18-2018/08/11	38	2019/07/13-2019/08/06
9	2017/08/04-2017/08/28	24	2018/08/11-2018/09/04	39	2019/08/06-2019/08/30
10	2017/08/28-2017/09/21	25	2018/09/04-2019/09/28	40	2019/08/30-2019/09/23
11	2017/09/21-2017/10/15	26	2019/09/28-2019/10/22	41	2019/09/23-2019/10/17
12	2017/10/15-2017/11/08	27	2019/10/22-2018/11/15	42	2019/10/17-2019/11/10
13	2017/11/08-2017/12/02	28	2018/11/15-2018/12/09	43	2019/11/10-2019/12/04
14	2017/12/02-2017/12/26	29	2018/12/09-2019/01/02	44	2019/12/04-2019/12/28
15	2017/12/26-2018/01/19	30	2019/01/02-2019/01/26		



نگاره ۱۱: نقشه میزان جابه‌جایی عمودی منطقه در طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی بیانگر آن است که به‌طور کلی مناطق جنوبی ریگ لوت و مشخصاً تپه‌های ماسه‌ای این نواحی با بالآمدگی و افزایش ارتفاع همراه بوده‌اند و مناطق شمالی ریگ با کاهش ارتفاع مواجه شده است. این تغییرات را می‌توان با فرسایش در مناطق شمالی ریگ و نهشته‌گذاری رسوبات ناشی از آن در مناطق جنوبی ریگ لوت مرتبط دانست که با نتایج حاصل از بررسی خصوصیات گلباد و گلماسه‌های منطقه مطابقت دارد.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۲۵)
پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و ... / ۱۲۵

جابه‌جایی عمودی سطح ریگ طی دوره‌های زمانی ۴ ساله نیز مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت و براساس آن طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷، تغییرات ارتفاعی بین ۶۱ میلی‌متر بالاآمدگی و ۷۳ میلی‌متر کاهش ارتفاع، در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸، تغییرات ارتفاعی بین ۱۵ میلی‌متر بالاآمدگی و ۱۱۴ میلی‌متر کاهش ارتفاع و در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، تغییرات ارتفاعی بین ۵۴ میلی‌متر بالاآمدگی و ۳۹ میلی‌متر کاهش ارتفاع بوده است.

ارزیابی روند مکانی جابه‌جایی عمودی در محدوده مطالعاتی بیانگر آن است که به‌طور کلی مناطق جنوبی ریگ لوت و مشخصاً تپه‌های ماسه‌ای این نواحی با بالاآمدگی و افزایش ارتفاع همراه بوده‌اند و مناطق شمالی ریگ با کاهش ارتفاع مواجه شده است. این تغییرات را می‌توان با فرسایش در مناطق شمالی ریگ و نهشته‌گذاری رسوبات ناشی از آن در مناطق جنوبی ریگ لوت مرتبط دانست که با نتایج حاصل از بررسی خصوصیات گلباد و گلماسه‌های منطقه مطابقت دارد.

منابع و مأخذ

- ۱- احسانی، الف. ژئومورفومتری مگایاردانگ‌های لوت، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صص ۷۸-۶۳، ۱۳۸۹.
- ۲- سازمان هواشناسی کشور، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های نصرت آباد، دهسلم، زابل، بم، شهداد و نهبندان، ۱۳۹۸.
- ۳- محمودی، ف. ارگ‌های مهم ایران، گزارش تحقیقی معاونت پژوهشی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۰.
- ۴- مقصودی، م. شناخت فرآیندهای مؤثر بر توسعه و تحول عوارض ماسه‌ای (مطالعه موردی: عوارض ماسه‌ای چاله‌ی سیرجان)، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، صص ۱۶۰-۱۴۹، ۱۳۸۵.
- ۵- مقصودی، م. محمدی، الف. خانابائی، ز. محبوبی، ص. بهاروند، م. حاجی‌زاده، ع. پایش جابه‌جایی ریگ و برخان‌های غرب لوت (پشوئیه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۱، صص ۱۸۹-۱۷۶، ۱۳۹۶.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییرات ژئومورفولوژی ریگ لوت، داده‌های ساعتی مربوط به سرعت و جهت باد در ایستگاه‌های نهبندان و دهسلم و نصرت‌آباد که تأثیر مستقیم بر تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت دارند مورد بررسی و واکاوی قرار گرفت. نتایج حاصل از ترسیم گلباد در این سه ایستگاه بیانگر آن است که جهت باد غالب به ترتیب از شمال و شمال‌غربی و جنوب‌شرقی به سمت ریگ لوت می‌باشد. از طرفی، بررسی روند تغییرات سرعت باد در ایستگاه نهبندان نشان می‌دهد در طول ۳۴ سال گذشته متوسط سرعت باد در ایستگاه نهبندان رو به کاهش است. به طوری که از سرعت میانگین باد ۳/۷ متر بر ثانیه در ماه در سال ۱۹۸۶ به سرعت حدود ۲/۲ متر بر ثانیه در ماه در سال ۲۰۲۰ رسیده است که کاهش ۱/۵ متر بر ثانیه را در این مدت نشان می‌دهد. در کنار بررسی داده‌های مربوط به سرعت و جهت باد از تصاویر اپتیک Sentinel-2 نیز برای پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت استفاده شد که نتایج این بررسی نشان می‌دهد بیشترین تغییرات درحد فاصل ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ در تپه‌های ماسه‌ای قسمت‌های شمال‌غربی و جنوبی ریگ لوت اتفاق افتاده است. در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ تغییرات بیشتر در تپه‌های ماسه‌ای شمال‌غرب و شمال‌شرق و بخش حاشیه‌ای آن رخ داده و در نهایت در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ تغییرات بیشتر در شمال‌غربی و جنوب‌شرقی ریگ اتفاق افتاده است. نتایج به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای را در ریگ لوت تحت‌تأثیر بردار نیروی باد از جهت شمال‌غرب و جنوب‌شرق نشان می‌دهد که با جهت بردار حمل ماسه در گلماسه‌های رسم شده برای سه ایستگاه نهبندان، دهسلم و نصرت‌آباد تطابق دارد.

در کنار نتایج به‌دست آمده از واکاوی جهت و سرعت باد و دورسنجی با استفاده از تصاویر اپتیک، به منظور صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده، با استفاده از تصاویر راداری Sentinel_1 و روش سری زمانی SBAS، میزان

- 18- Lancaster, N. Dune morphology and dynamics. In: Parsons, A.J., Abrahams, A.D. (Eds.), *Geomorphology of Desert Environments*, 2nd ed Springer Science+Business Media B.V, p: 557, 2009.
- 19- Lancaster, N. Sand seas and dune fields. In: Shroder, John F. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*, Academic Press, San Diego, V: 11, pp: 219–245, 2013.
- 20- McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Li, L.T., Roderick, M.L., Rayner, D.P., Ricciardulli, L., Donohue, R.J. Wind speed climatology and trends for Australia, 1975–2006: capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output. *Geophys. Res. Lett.* 35. <https://doi.org/10.1029/2008GL035627>, 2008.
- 21- Pye, K., Tsoar, H. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 2009.
- 22- Schwammle, V. and H.J. Herrmann. A model of Barchan dunes including lateral shear stress. *Eur. Phys. J. E*, V: 16, pp: 57–65, 2005.
- 23- Tage Din, S.S. Some aspect of sand stabilization in Egypt. In: El-Baz, F., Hassan, M.F.A. (Eds.), *Physics of Desertification*. Martinus-Nijhoff, Dordrecht, pp: 118–126, 1986.
- 24- Tsoar, H. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Phys. A*, V: 357, pp: 50–56, 2005.
- 25- Wang, X., Eerdun, H., Zhou, Z., Liu, X. Significance of variations in the wind energy environment over the past 50 years with respect to dune activity and desertification in arid and semiarid northern China, *Geomorphology*, V: 86, pp:252–266, 2007.
- 26- Yao, Z.Y., Wang, T., Han, Z.W., Zhang, W.M., Zhao, A.G. Migration of sand dunes on the northern Alxa Plateau, Inner Mongolia, China. *J. Arid Environ*, V: 70, pp: 80–93, 2007.
- 27- Zhang, Z., Dong, Z., Li, C. Wind regime and sand transport in China's Badain Jaran Desert. *Aeolian Res*, V: 17, pp: 1–13, 2015.
- 28- Zhang, G., Azorin-Molinac, C., Shia, P., Lina, D., Guijarro, J.A., Kongh, F., Chenc, D. Impact of near-surface wind speed variability on wind erosion in the eastern agro-pastoral transitional zone of Northern China, 1982–2016, *Agricultural and Forest Meteorology*, V: 271, pp:102–115, 2019.
- 29- Zhou, Z. The applications of InSAR time series analysis for monitoring long-term surface change in peatlands, University of Glasgow, 2013.
- ۶- یمانی، م. سیکلون حرارتی لوت و تأثیر آن در لندفرم‌های بادی (ایده‌ای در حوزه دانش ژئومورفولوژی ایران)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و پنجم، پیاپی ۵۳، شماره ۱، ۱۳۹۳.
- 7- Al-Awadhi, J.M., Al-Helal, A., Al-Enezi, A. Sand drift potential in the desert of Kuwait. *J. Arid Environ*, V: 63, pp: 425–438, 2005.
- 8- Dong, S. Time-series analysis of subsidence associated with rapid urbanization in Shanghai, China measured with SBAS InSAR method. *Environmental earth sciences*, V: 72(3), pp: 677-691, 2014.
- 9- Dong, Z.B., Liu, X.P., Wang, X.M. Wind initiation thresholds of the moistened sands. *Geophys. Res. Lett*, V: 29 (12), pp: 1585, 2002.
- 10- Fryberger, S.G., Ahlbrandt, T. Mechanisms for the formation of eolian sand seas. *Z. Geomorphol*, V: 23, pp:440–460, 1979.
- 11- Fryberger, S.G., Al-Sari, A.M., Clisham, T.J., Rizvi, S.R., Al-Hinai, K.G. Wind sedimentation in the Jafurah Sand Sea, Saudi Arabia, *Sedimentology*, V: 31, pp: 413–431, 1984.
- 12- Fryberger, S.G. Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*, Geological Survey Professional Paper, 1052. United States Geological Survey, Washington DC, pp: 137–169, 1979.
- 13- Gangfeng Zhang, Cesar Azorin-Molina, Peijun Shi, Degen Lin, Jose A. Guijarro, Feng Kong, Deliang Chen. Impact of near-surface wind speed variability on wind erosion in the eastern agro-pastoral transitional zone of Northern China(1982–2016), *Agricultural and Forest Meteorology*, V: 271, pp: 102–115, 2019.
- 14- Hereher, M. Geomorphology and drift potential of major aeolian sand deposits in Egypt, *Geomorphology*, V: 304, pp: 113-120, 2018.
- 15- Hereher, M. Sand drift potential along the coastal area between Baltim and Gamasa, the Nile Delta, Egypt. *Sedimentology Egypt*, V: 17, pp: 143–151, 2009.
- 16- Hereher, M., 2010. Sand movement patterns in the Western Desert of Egypt: an environmental concern. *Environ. Earth Sci*, V: 59, pp: 1119–1127, 2010.
- 17- Hersen, P., K. H. Andersen, H. Elbelrhiti, B. Andreotti, P. Claudin, S. Douady. Corridors of barchan dunes:Stability and size selection, *PHYSICAL REVIEW E* 69; 011304, 2004.