

دوره‌ی ۳۵، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۳۶، پاییز ۱۴۰۱، صفحه‌های ۹۵-۸۱
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2022.356732.1450

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخزرداری

تحلیل پدیده‌ی گردوغبار با شاخص‌های تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی و پیش‌بینی آن با تحلیل حساسیت در مرز شمال‌شرقی ایران

مریم نعیمی

(نویسنده‌ی مسئول)* عضو هیات علمی، بخش بیابان، مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران

محمد خسروشاهی

عضو هیات علمی، بخش بیابان، مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

حمیدرضا عباسی

عضو هیات علمی، بخش بیابان، مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

سمیرا زندی‌فر

عضو هیات علمی، بخش بیابان، مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: naeimi@rifr-ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۲ آذر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴ دی ۱۴۰۰

چکیده

پایش بلندمدت تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی و بررسی تغییر اقلیمی مؤثر بر آن ممکن است اثر مهمی در کاهش اثرهای نادرست آن‌ها از جمله ایجاد روزهای غبارآلود، خطر محتمل کاهش کیفیت هوا، و دیگر خطرهای زیست‌محیطی و سلامت داشته باشد. هدف‌های اصلی این پژوهش بررسی پدیده‌ی گردوغبار و منشایابی آن، تحلیل وضعیت تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی با دو شاخص، شناخت تاثیر شرایط اقلیمی بر تحرک‌پذیری، و پیش‌بینی اثرهای تغییر احتمالی عامل‌های اقلیمی بر تحرک‌پذیری در منطقه‌ی راه‌بردی سرخس در مرز شمال‌شرقی کشور در بازه‌ی زمانی ۲۷ ساله است. نتیجه‌ی بررسی تعداد روزهای غبارآلود نشان داد که روند روی داده‌های گردوغبار محلی در ایستگاه سرخس افزایشی معنی‌دار است. نتیجه‌ی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی با دو شاخص لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده نشان داد که ارتباط معنی‌داری در تراز ۹۹٪ با روزهای گردوغبار بود، و بر این پایه توانایی کاربرد شاخص لنکستر اصلاح‌شده در این منطقه برداشت می‌شود. با نتیجه‌ی این پژوهش می‌توان پذیرفت که با افزایش خشکی محیط در منطقه بر اندازه‌ی تحرک‌پذیری ماسه‌ی لنکستر افزوده، و خطر بیابان‌زایی تشدید می‌شود. تحلیل حساسیت تحرک ماسه نشان داد که بیش‌ترین تأثیر بر کاهش و افزایش فعالیت ماسه در آینده با تأثیر همراه‌بهم فراوانی بادهای فرساینده یا توان برد ماسه، و تبخیر تعرق است.

واژگان کلیدی: گردوغبار، شاخص تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی، لنکستر اصلاح‌شده، تحلیل حساسیت، سرخس

مقدمه

از جمله منابع‌های تولید گردوغبار در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک، تپه‌های ماسه‌یی و بیابان‌های شنی است (کائو و همکاران ۲۰۱۵، علی‌پور و همکاران ۲۰۱۷). گردوغبار هر ساله سبب زیان‌های زیاد می‌شود و از مهم‌ترین دشواری‌های محیط زیستی این منطقه‌ها است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸؛ میدلتون ۲۰۱۷). برای نمونه، در زمان گردوغبار افزایش همه‌گیری بیماری‌هایی مانند مننژیت و تب دره و آسم (تا ۷۰٪) و بیماری‌های ویروسی، صدمه به دی‌ان‌آی یاخته‌های پوست و ریه، و افزایش یک درصدی مرگ و میر به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب در غلظت ذره‌های معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر گزارش شد (شاهسونی و همکاران ۲۰۱۰). علاوه بر این، اندازه‌ی زیان گردوغبار بر محصول جالیزی، ذرت و گندم ۱۵ تا ۲۰٪ پیش‌بینی شد. دیگر اثرهای خطرناکی از گردوغبار شرایط نامناسب بهداشتی، تعطیل شدن مدرسه‌ها، فرودگاه‌ها، و اداره‌ها است (مارتینز و همکاران ۲۰۱۹ و ماهووالد و همکاران ۲۰۱۷).

اولین قدم در مهار کردن گردوغبار شناسایی منشأ، تحلیل وضعیت تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی، و بررسی عامل‌های موثر بر آن است، که به منزله‌ی پی‌سازی برای کنش‌های مناسب تثبیت است. در قدم دوم با پیش‌بینی تحرک‌پذیری در آینده می‌توان کنش‌های تثبیت را بر پایه‌ی شرایط اقلیمی آینده پایه‌ریزی کرد. افزون بر آن، بررسی تحرک‌پذیری ماسه‌های بادی به اولویت‌بندی مکانی منطقه‌های حساس برای تثبیت کمک شایانی می‌کند. پژوهش‌های زیادی بر تحرک‌پذیری رسوب‌های بادی و پیش‌بینی آن در داخل و خارج از کشور انجام شده است. شاخص‌ها و رابطه‌های تجربی گوناگونی بسته به عرصه‌های بررسی شده داده شده‌است (ویلسون ۱۹۷۳، لنکستر ۱۹۸۷، تسوار ۲۰۰۵، اسحاق ۲۰۰۷، و عباسی و همکاران ۲۰۱۹)، و بسته به منطقه شاخص‌ها از داده‌های اقلیمی مانند بارندگی موثر، سرعت آستانه‌ی فرسایش، سرعت باد، و توان برد ماسه بهره گرفته‌اند. اشکنذی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تغییر پیش‌بینی شده در شاخص توان برد ماسه و بارش در بیابان‌های کالاهاری و استرالیا به‌طور کلی مهم نیست، و هر دو تپه‌ی بیابانی به احتمال زیاد تا پایان قرن بیست و یکم فعال نخواهد شد؛ با وجود این، تپه‌های استرالیا به‌دلیل کاهش یافتن بارندگی و افزایش یافتن قدرت باد از کالاهاری فعال‌تر است.

نتیجه‌ی بررسی سنجه‌های آب‌وهوایی موثر بر تحرک تپه‌های ماسه‌یی نزدیک به رود گرندفالسز در منطقه‌ی ناواهو در جنوب غربی ایالات متحده نشان داد که قدرت باد برجسته‌ترین سنجه‌ی موثر است (باگل و همکاران ۲۰۱۵). توکلی فرد و

همکاران (۲۰۱۴) بر پایه‌ی شاخص لنکستر نشان دادند که در بیش‌تر منطقه‌ها در بنسدریگ کاشان تپه‌های ماسه‌یی از نوع فعال، و تنها بخش کوچکی از شمال و جنوب آن با تپه‌های ماسه‌یی بسیار فعال است. رابطه‌ی همبستگی میان روی داده‌های گردوغبار و سرعت باد، و بارندگی در مونگولیای چین در دوره‌ی داده‌برداری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ نشان داد که روزهای همراه با گردوغبار شدید هم‌زمان با سرعت باد بیشینه و بارندگی ۱۰ میلی‌متر است، در حالی که اندازه‌های بارندگی شدید رابطه‌ی عکس با روی داده گردوغبار دارد (امگلان و همکاران ۲۰۱۷). در برابر، تاثیر عامل‌های اقلیمی بر تحرک‌پذیری تپه‌ها در نیوبرو به اثبات نرسید، بل که نشان داده شد که علت اصلی آن در دهه‌ی ۱۹۵۰ دخالت‌های انسانی در گذشته است (رودگرز و همکاران ۲۰۱۹). در محاسبه‌ی شاخص لنکستر درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش‌تر از سرعت آستانه‌ی فرسایش به‌کار برده شده‌است. عباسی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی ۲۰۴ ایستگاه هم‌دید کشور شاخص اصلاح‌شده‌ی لنکستر (MLI) را معرفی کردند، و نشان دادند که در نظر گرفتن توان برد ماسه^۱ (DP) با این فرض که تپه‌های ماسه‌یی از ذره‌های ماسه با اندازه‌ی میانگین ۰/۳۰-۰/۲۵ میلی‌متر تشکیل شده است، به‌جای درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش‌تر از سرعت آستانه‌ی فرسایش در منطقه‌های با نیروی باد میانگین تا زیاد معنی‌دار است. بر این پایه، در این پژوهش تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی با هر دو شاخص مقایسه کرده‌شد.

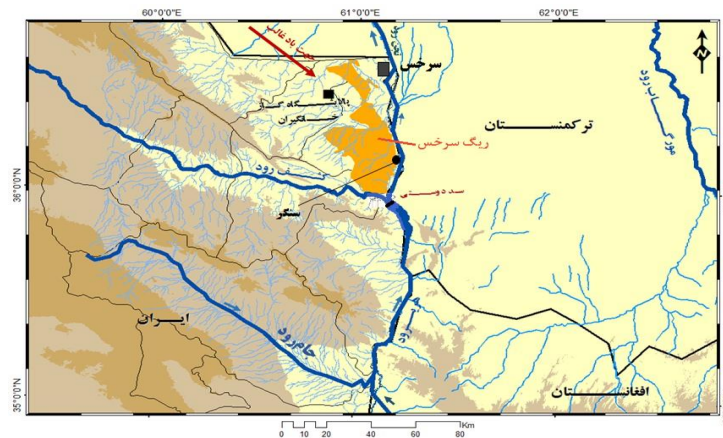
آب‌وهوای استان خراسان رضوی خشک و نیمه‌خشک است. در بعضی سال‌ها بیش از ۷۰٪ رخداد گردوغبار ثبت می‌شود. تعداد زیاد گردوغبار در این منطقه نشان‌دهنده‌ی منطقه‌های برداشت زیاد است، و اهمیت تحقیق در این زمینه را نشان می‌دهد. پیش‌بینی تحرک تپه‌های ماسه‌یی در مرزهای کشور از جمله شمال شرقی ایران، به‌دلیل بودن جاده‌های دسترسی به پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد، و اهمیت سلامت مردم به‌دلیل رفت‌وآمد متخصصان این حوزه در شهرستان سرخس از دیدگاه راه‌بردی ضروری است. بر پایه‌ی پژوهش‌های گذشته، پیش‌بینی وضعیت فعالیت رسوب‌های بادی در شکل‌های حساس زمین و شناسایی عامل‌های اقلیمی مؤثر بر آن در ناحیه‌های خشک و نیمه‌خشک ممکن است گامی مؤثر در کاستن از اثرهای مخرب محیط‌زیستی از جمله کیفیت هوا باشد. بررسی علت‌های تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی وابسته به تغییر اقلیمی و پیش‌بینی آن نیز افق دید روشنی از دیدگاه آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌یی و حتماً ملی خواهد داد. بر این پایه، این پژوهش با هدف اصلی بررسی وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌یی محدوده‌ی شهرستان سرخس

۵۰۰۰ کیلومتر مربع در شمال خاوری استان خراسان رضوی در ۱۸۰ کیلومتر شرق مشهد است. حد طبیعی منطقه در جنوب رود کشف رود، حد شرقی رود تجن (بعد از پیوستن رود هریرود و کشف رود)، و حدهای طبیعی غربی و جنوب غربی آخرین امتدادهای بلندی‌های کپه‌داغ است. شهرستان از سوی شمال و خاور به جمهوری ترکمنستان، از باختر به شهرستان مشهد و از جنوب به شهرستان تربت جام محدود است، و در میان حاشیه‌ی بیرونی صحرای قره‌قوم با لبه‌ی فلات ایران است. هریرود در ۲ کیلومتری خاور سرخس مرز مشترک ایران و ترکمنستان است. شهر سرخس در دشت است و بلندی چندانی ندارد. مهم‌ترین صنعت شهرستان استخراج اندوخته‌های گازی غنی خانگیران و معدن زغال سنگ آق‌در بند است. شکل ۱ موقعیت تپه‌های ماسه‌ی را در منطقه نشان می‌دهد.

در بازه‌ی زمانی ۲۷ ساله، با دو شاخص لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده، و پیش‌بینی اثرهای تغییر احتمالی عامل‌های اقلیمی بر تحرک‌پذیری اطراف این منطقه‌ی راه‌بردی از کشور به انجام رسید.

مواد و روش‌ها

به دلیل اهمیت راه‌بردی منطقه‌های مرزی، جا داشتن مهم‌ترین اندوخته‌های گازی در شمال شرق کشور، و ساخته شدن پالایشگاه خانگیران محدوددهی پژوهش تپه‌های ماسه‌ی نزدیک به شهرستان سرخس انتخاب شد. سرخس شهری مرزی در استان خراسان رضوی، شمال شرقی‌ترین شهر ایران، در پایین‌ترین جای دشت خراسان، در بلندی ۳۰۰ متر از تراز دریا است. شهرستان سرخس، با پهنه‌ی بیش از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و مرزی سرخس و ریگ سرخس.

ندازه‌های میانگین ماهانه‌ی عامل‌های اقلیمی دما و بارندگی، و داده‌های ساعتی میدان دید افقی، سرعت و جهت باد، و شناسه‌ی پدیده‌های گوناگون گردوغبار ایستگاه هم‌دید سرخس به کار برده شد. سازمان جهانی هواشناسی به‌طور کلی ۱۰۰ شناسه‌ی هواشناسی (۹۹-۰۰) برای پدیده‌های گوناگون تعریف کرده است، که از میان آن‌ها ۱۰ شناسه بیان‌گر گردوغبارهای محلی، و یک شناسه (۰۶) بیان‌گر روی‌دادهای فرامحلی است. داده‌های نیازداشته برای دوره‌ی داده‌برداری ۲۰۱۶-۱۹۹۰ از سازمان هواشناسی گرفته شد (سازمان هواشناسی کشور، ارتباط شخصی). بر پایه‌ی شناسه‌های سازمان هواشناسی، روزهای با گردوغبار از دیگر پدیده‌های هواشناسی جدا کرده، و میانگین آن برای مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد. تحلیل شرایط اقلیمی منطقه با اندازه‌های به‌دست آمده سالانه از دیگر سنجه‌های اقلیمی مانند سرعت باد، بارش، تبخیر و تعرق،

دمای میانگین، دمای بیشینه، و رطوبت نسبی نیز برای آن مقیاس‌های زمانی محاسبه و بررسی شد. از آن‌جا که سرعت باد عاملی اولیه در تحرک‌پذیری ماسه است، این سنجه جداگانه تحلیل شد. سرعت باد در ایستگاه‌های پژوهشی منطقه به ۶ رده تقسیم شد. چون بادها با سرعت بیش‌تر از سرعت آستانه تاثیر عمده‌ی بر فرسایش بادی و ایجاد گردوغبار دارد این بادها جداگانه تحلیل شد. سرعت آستانه‌ی باد بیش‌تر از ۶ متر بر ثانیه گرفته شد (اختصاصی و همکاران ۲۰۰۶). برای تحلیل سازگان (رژیم) بادناکی محدوده‌ی پژوهشی گلبادهای ایستگاه‌ها بر پایه‌ی داده‌های سرعت و جهت باد در مقیاس فصلی و سالانه با نرم‌افزار Wplot View 8.0.2 ترسیم شد. سنجه‌ی سرعت باد در هر ایستگاه و در کل استان تحلیل شد. شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ی لنکستر (لنکستر ۱۹۸۵ و لنکستر^۲ ۱۹۸۹) محاسبه شد. زمین‌ریخت‌شناسان این

۶ متر بر ثانیه) در بلندی ۱۰ متر از تراز زمین، P میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)، و PET توان تبخیر و تعرق سالانه (میلی‌متر) است، که با روش تورنت وایت محاسبه شد. شاخص M در رابطه‌ی ۱ در جدول ۱ درجه بندی شد. با نتیجه‌ی تحلیل گل‌ماسه‌های منطقه‌ی سرخس با نرم‌افزار Sandrose Graph 3.0 روند تغییر توان برد ماسه در منطقه محاسبه شد. DP با رابطه‌ی ۲ محاسبه شد. شاخص لنکستر اصلاح‌شده (MLI) بر پایه‌ی جدول ۲ رده‌بندی شد (عباسی و همکاران ۲۰۱۸).

شاخص را به‌گسترده‌گی برای شناخت تپه‌های ماسه‌ی فعال یا تثبیت‌شده به‌کار می‌برند، و نتیجه‌ی آن ممکن است تا دهه‌های آینده نیز پیش‌بینی‌کردنی باشد. در این نرم‌افزار اندازه‌ی تحرک ماسه (M) از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود.

$$M = \frac{W}{\left(\frac{P}{PET}\right)}$$

M اندازه‌ی فعالیت رسوب‌های بادی، W درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش‌تر از سرعت آستانه‌ی فرسایش (۱۲ گره معادل

جدول ۱- تعیین وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ی بر پایه‌ی شاخص لنکستر. جدول ۲- رده‌بندی اقلیمی بر پایه‌ی شاخص خشکی یونپ.

اقلیم	شاخص خشکی	خطر بیابان‌زایی
فراخشک	< ۰/۰۵	بیابان واقعی
خشک	۰/۰۵-۰/۲	بسیار شدید
نیمه‌خشک	۰/۲-۰/۵	شدید
خشک نیمه‌مرطوب	۰/۵-۰/۶۵	میانه
نیمه‌مرطوب	۰/۶۵-۰/۷۵	کم
مرطوب و بسیارمرطوب	> ۰/۷۵	ندارد

وضعیت تپه‌های ماسه‌ی	شاخص لنکستر	شاخص لنکستر اصلاح‌شده
نافعال	< ۵۰	< ۷۵۰
فعال فقط در نوک تپه	۵۰-۱۰۰	۷۵۰-۱۵۰۰
فعال	۱۰۰-۲۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰
کاملاً فعال	> ۲۰۰	> ۳۰۰۰

برده‌شد، و نمودار پراکنش نقطه‌ی به‌دست آمد. دامنه‌ی تغییر R^2 میان ۰ و ۱+ متغیر است و معیاری مناسب برای سنجش ارتباط میان متغیرهای گوناگون است. برای بررسی ارتباط میان عامل‌های اقلیمی و شاخص‌های تحرک‌پذیری روش همبستگی پیرسون به‌کار برده‌شد. داده بر پایه‌ی روش نمره‌ی بمعیار Z_3 ابتدا به اندازه‌ی نزدیکی خود به بیشینه‌ی آن‌ها به‌روش نسبی تبدیل شد (رابطه‌ی ۴). حدود شماره‌های بمعیار ۰ تا ۱ است.

$$Z_3 = X/X_{max} \quad 4$$

برای بررسی اثر احتمالی تغییر عامل‌های اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان و تشدید گردوغبار، پس از محاسبه‌ی اندازه‌ی فعالیت رسوب‌های بادی با روش تحلیل حساسیت، اندازه‌ی تاثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی نرم‌افزار تعیین شد. تحلیل حساسیت روشی برای تغییر دادن ورودی‌های نرم‌افزار آماری به‌شیوه‌ی سازمان‌یافته (سیستماتیک) است، که بتوان تاثیر این تغییرها را بر خروجی نرم‌افزار پیش‌بینی کرد. کاربرد تحلیل حساسیت برای شناخت رابطه‌های میان متغیرهای نرم‌افزار با یکدیگر، و تعیین اولویت تاثیر سنجها بر خروجی نرم‌افزار به‌کار برده‌شد. به این ترتیب حساسیت تحرک‌پذیری ماسه‌ها در برابر افزایش یا کاهش هر یک از متغیرها مشخص شد.

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

V سرعت باد اندازه‌گرفته، V_t سرعت آستانه (در این تحقیق ۶ متر بر ثانیه)، و T فراوانی رده‌های سرعت باد در جهت‌های هشت‌گانه در ایستگاه پژوهش است. DP توانایی برد ماسه را در همه‌ی جهت‌ها در زمان مشخص (سالانه) بر پایه‌ی پژوهش فرایبرگر-دین (۱۹۷۹) نشان می‌دهد.

برای تعیین نوع اقلیم منطقه شاخص خشکی یونپ^۳ پیمان‌نامه‌ی سازمان ملل متحد (ساوینا و همکاران ۲۰۱۴) به‌کار برده‌شد (رابطه‌ی ۳).

$$Alu = P/P_{PET} \quad 3$$

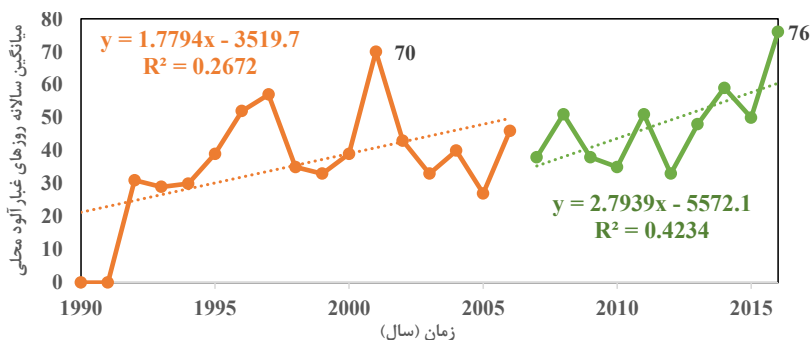
Alu شاخص خشکی، P بارندگی، و PET توان تبخیر و تعرق است. شاخص خشکی UNEP روشی موثر برای شناخت وضعیت اقلیمی و خطر بیابان‌زایی است. به‌دلیل این که تغییر آب‌وهوا بر تحرک‌پذیری ماسه‌ها تاثیرگذار است، و این عامل‌ها در روند بیابان‌زایی منطقه بازتاب می‌شود، رابطه‌ی شاخص خشکی و توان تحرک‌پذیری ماسه‌ها بررسی شد. خطر بیابان‌زایی منطقه بر پایه‌ی رده‌بندی شاخص خشکی (جدول ۲) در بازه‌های زمانی پژوهش بررسی شد.

برای مشخص کردن این که چند درصد از تغییرها در وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ی متأثر از تغییر شاخص خشکی است، ضریب تعیین به‌دست‌آمده از برازش میان سنجها (R^2) به‌کار

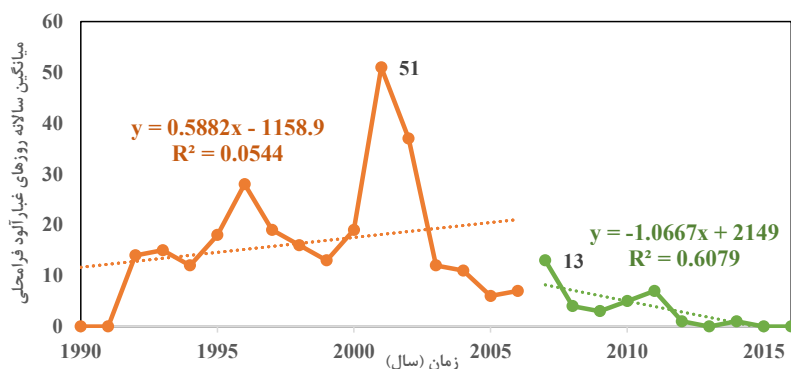
نتایج

بررسی روی داده‌های محلی نشان داد که روند تغییر روی داده‌های محلی در هر دو بازه‌ی زمانی افزایش است، به طوری که شیب آن در بازه‌ی دوم بیش‌تر بود. اندازه‌های میانگین روی داده‌های محلی در بازه‌ی دوم نیز نشان‌دهنده‌ی ۳۵٪ افزایش نسبت به تعداد این روی داده‌ها در بازه‌ی اول است.

اوج رخ داده‌های محلی بیشینه ۵۰ روز در ایستگاه هم‌دید سرخس، در سال‌های ۲۰۱۶ (۷۶ روز)، ۲۰۰۱ (۷۰ روز)، ۲۰۱۴ (۵۹ روز)، ۱۹۹۷ (۵۷ روز)، ۱۹۹۶ (۵۲ روز)، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ (۵۱ روز)، و ۲۰۱۵ (۵۰ روز) بود (شکل ۲). در حالی که در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ هیچ روی داد محلی گزارش نشد.



شکل ۲- تغییر تعداد روزهای غبار آلود محلی در بازه‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۶ و ۲۰۱۶-۲۰۰۷ در ایستگاه سرخس.

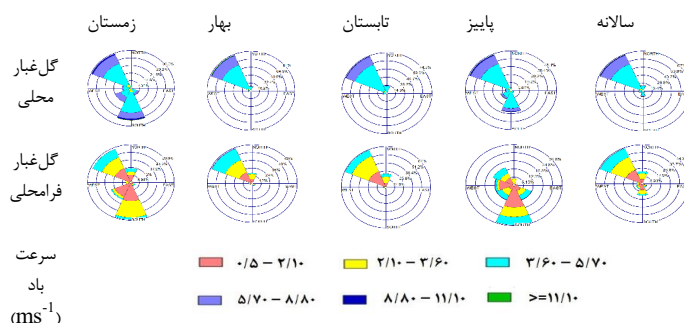


شکل ۳- تغییر تعداد روزهای غبار آلود فرامحلی در بازه‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۶ و ۲۰۱۶-۲۰۰۷ در ایستگاه سرخس.

۲۷ ساله نشان داد که بادهای غالب فرامحلی و محلی از شمال غرب به منطقه می‌وزد (شکل ۴). سرعت میانگین وزش بادهای غالب با سرعت ۵/۷ تا ۸/۸ متر بر ثانیه با فراوانی ۱/۸٪ بود. گل غبارهای فرامحلی، تنها در پاییز و زمستان، جهت جنوب را نیز جهت باد غالب در ایستگاه سرخس نشان داد.

روی داده‌های فرامحلی در بازه‌ی اول با شیب ملایمی رو به افزایش بود، در حالی که در بازه‌ی دوم روند کاهشی شدیدی داشت (شکل ۳). بررسی اندازه‌های میانگین این روی داده‌ها نیز نشان‌دهنده‌ی ۸۱٪ کاهش در تعداد روی داده‌ها در بازه‌ی دوم نسبت به بازه‌ی اول است. بررسی گل بادهای و گل غبارهای ایستگاه سرخس در بازه‌ی

تحلیل پدیده‌ی گردوغبار با شاخص‌های تحرک‌پذیری تپه‌های...



شکل ۴- گل‌غبار محلی و فرامحلی فصلی و سالانه در ایستگاه هم‌دید سرخس در دوره‌ی آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۰.

بیش‌تر از ۲۰ متر بر ثانیه بود. برپایه‌ی میانگین اندازه‌ها، فراوانی سرعت بادهای کم‌تر و بیش‌تر از ۶ متر بر ثانیه در ایستگاه سرخس به‌ترتیب ۷۹/۷۸ و ۲۰/۲۱٪ بود. توزیع ماهانه‌ی سرعت بادهای فرساینده نشان می‌دهد که بیش‌ترین روی‌دادهای باد در ماه‌های ژوئن، جولای و می روی داد، در حالی که کم‌ترین فراوانی بادهای فرساینده در ماه‌های نوامبر و اکتبر بود.

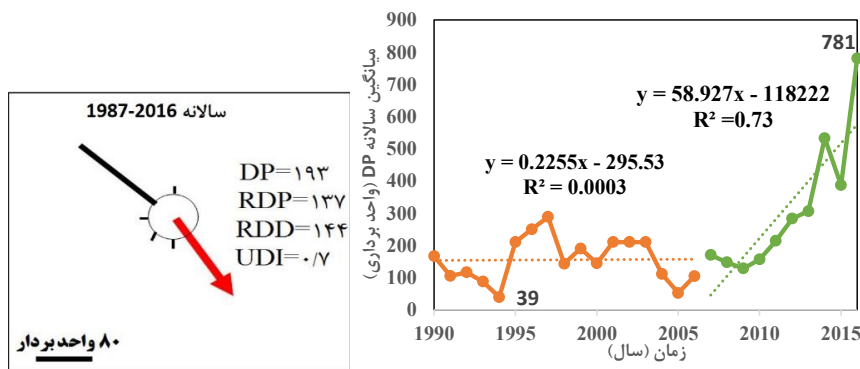
نتیجه‌ی میانگین ماهانه، فصلی و سالانه‌ی سرعت باد (جدول ۳) نشان می‌دهد که بیشینه‌ی اندازه‌ها در ماه ژوئن، بهار، و سال ۲۰۱۴ به‌ترتیب ۴/۸، ۴/۴ و ۵/۲ متر بر ثانیه بود. میانگین سرعت باد در بازه‌های تحلیل‌شده کم‌تر از آستانه‌ی فرسایش بود. نتیجه‌ی رده‌بندی سرعت باد (جدول ۳) نیز نشان داد که بیش‌ترین درصد فراوانی در بادهای با سرعت کم‌تر از حد آستانه‌ی فرسایش، و کم‌ترین فراوانی در بادهای

جدول ۳- درصد فراوانی ماهانه‌ی رده‌های سرعت باد (متر بر ثانیه) در ایستگاه هم‌دید سرخس (۲۰۱۶-۱۹۹۰).

ماه	کم‌تر از ۶	۱۰-۶	۱۵-۱۱	۲۰-۱۶	بیش‌تر از ۲۰	بیش‌تر از ۶
ژانویه	۸۱/۳۷	۱۶/۶۷	۱/۵۷	۰/۳۳	۰	۱۸/۷۲
فوریه	۷۸/۰۲	۱۹/۷۵	۱/۷۹	۰/۲۴	۰	۲۱/۹۷
مارس	۷۸/۰۸	۱۹/۶۳	۱/۸۲	۰/۴۱	۰/۰۲۳	۲۱/۹۱
آوریل	۷۸/۷۱	۱۸/۹۱	۲	۰/۳۳	۰/۰۸۴	۲۱/۲۸
می	۷۷/۸۲	۱۹/۰۵	۲/۵۵	۰/۳۲	۰/۰۹۶	۲۲/۱۷
ژوئن	۷۰/۵۷	۲۵/۸۱	۳/۴۳	۰/۱۷	۰/۰۶۵	۲۹/۴۲
جولای	۷۴/۷۳	۲۲/۳۲	۲/۶۳	۰/۲۰	۰	۲۵/۲۶
آگوست	۷۹/۱۹	۱۸/۶۷	۱/۶۱	۰/۰۷۷	۰	۲۰/۸۰
سپتامبر	۸۳/۸۴	۱۳/۷	۱/۹۰	۰/۱۱	۰/۰۶۴	۱۶/۱۵
اکتبر	۸۵/۸۰	۱۱/۹۹	۱/۶۱	۰/۴۱	۰/۰۲۶	۱۴/۱۹
نوامبر	۸۵/۸۴	۱۳/۱۵	۰/۸۹	۰/۰۴۶	۰	۱۴/۱۵
دسامبر	۸۳/۵۰	۱۴/۸۱	۱/۳۵	۰/۱۰۸	۰/۰۳۸	۱۶/۴۹
میانگین	۷۹/۷۸	۱۷/۸۷	۱/۹۳	۰/۲۳	۰/۰۳۳	۲۰/۲۱

(شکل ۵ ب). ضریب تعیین تغییر در بازه‌ی دوم ۰/۷۳ بود. تغییر توان برد ماسه نشان داد که این روی‌دادهای در بازه‌ی دوم با شیب تند رو به افزایش بود، در حالی که روند در بازه‌ی اول ثابت و سپس کاهشی بود (شکل ۵ ب).

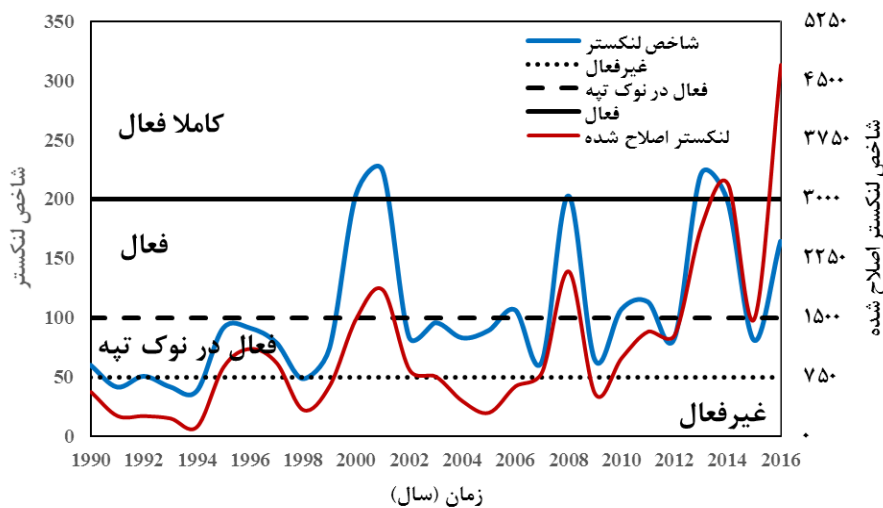
بررسی گل‌ماسه‌های سالانه‌ی منطقه نشان داد که میانگین برد ماسه ۱۹۳ واحد بردار است. روند تغییر توان برد ماسه در ریگ سرخس در شکل ۵ داده شده‌است. در سال ۲۰۱۶ توان برد ماسه افزایش چشم‌گیری از دیگر سال‌های بررسی شده داشت



شکل ۵- الف، گل ماسه‌ی سالانه‌ی ایستگاه هم‌دید سرخس، ب، روند تغییر توان برد ماسه از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶.

هم‌راستایی میان شاخص‌های تحرک‌پذیری تنها در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ بسیار زیاد بود (شکل ۵) که آن را می‌توان به کاهش توان برد ماسه در این سال‌ها نسبت داد.

برای بررسی اندازه‌ی تحرک‌پذیری ماسه، اندازه‌های شاخص سالانه‌ی لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده‌ی ایستگاه هم‌دید سرخس محاسبه شد. نتیجه در شکل ۶ و درصد فعالیت آن‌ها در کل بازه‌ی بررسی‌شده در شکل ۷ نشان داده شده‌است.

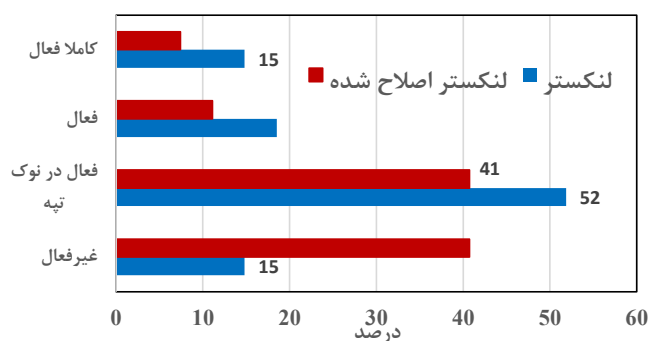


شکل ۶- اندازه‌ی وضعیت فعالیت رسوب‌های بادی با بررسی دو شاخص لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده در ایستگاه هم‌دید سرخس (۲۰۱۶-۱۹۹۰).

فعال بود. در همین حال، بررسی وضعیت تحرک‌پذیری تپه‌ها با شاخص لنکستر اصلاح‌شده نشان می‌دهد که در ۴۱٪ از سال‌های بررسی‌شده تپه‌ها در وضعیت نا فعال و فعال در نوک تپه است.

شکل ۶ و ۷ نشان می‌دهد که بر پایه‌ی شاخص لنکستر وضعیت تپه‌های ماسه‌یی در ۵۲٪ از سال‌های پژوهش در وضعیت فعال در نوک تپه است، در حالی که در ۱۵٪ از سال‌ها وضعیت نا فعال و کاملاً فعال دیده می‌شود. تنها در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴، تپه‌ها وضعیتی پایدارتر داشت و در حالت نا

تحلیل پدیده‌ی گردوغبار با شاخص‌های تحرک‌پذیری تپه‌های...



شکل ۷- اندازه‌ی وضعیت فعالیت رسوب‌های بادی در ایستگاه هم‌دید سرخس (۲۰۱۶-۱۹۹۰) با محاسبه‌ی شاخص‌های لنکستر اصلاح‌شده (MLI) و لنکستر (LI).

غبار آلود محلی و فرامحلی نشان داد که تأثیرپذیری روزهای غبار آلود محلی با فعالیت تپه‌های ماسه‌یی در بازه‌ی ۱۹۹۰-۲۰۱۶ همبستگی قوی معنی‌داری (جدول ۴) در تراز اطمینان ۹۹٪ داشت. در حالی که همبستگی معنی‌داری میان گردوغبار با منشأ خارجی و تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی دیده نشد، که از نظر تحلیلی نیز پذیرفته است.

همبستگی آماری وضعیت تپه‌ها با دو شاخص بررسی شد. اگرچه تفاوت‌هایی در وضعیت تپه‌های ماسه‌یی بود، همبستگی قوی معنی‌دار میان داده‌های به‌دست‌آمده از تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی با دو شاخص لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده در تراز ۹۹٪ مشاهده شد (جدول ۴). تحلیل ارتباط شاخص‌های تحرک‌پذیری با تعداد روزهای

جدول ۴- همبستگی شاخص‌های تحرک‌پذیری ماسه و تعداد روزهای گردوغبار.

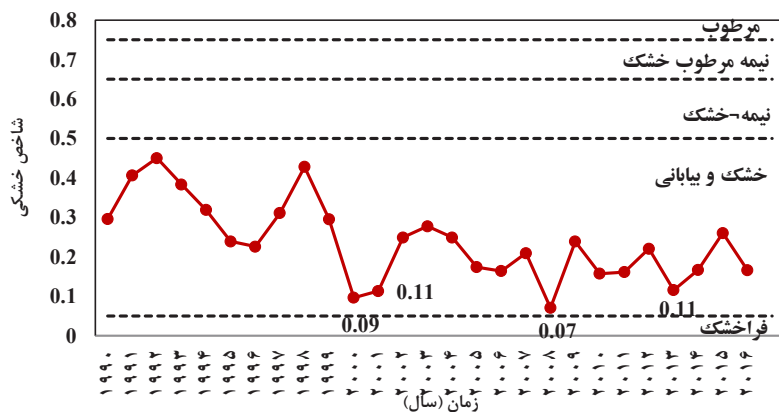
شاخص لنکستر اصلاح-شده	شاخص لنکستر	گردوغبار با منشأ فرامحلی	گردوغبار با منشأ محلی
			گردوغبار با منشأ محلی
		۱	گردوغبار با منشأ فرا محلی
	۱	۰/۱۱۲	۰/۶۲۷**
۱	۰/۷۵۷**	-۰/۱۶۸	۰/۷۰۴**

** همبستگی در تراز ۹۹٪

بر پایه‌ی این که تغییرهای اقلیمی نیز از دلیل‌های اصلی تحرک‌پذیری ماسه‌ها است، و این عامل‌ها در روند بیابان‌زایی منطقه بازتاب می‌یابد، رابطه‌ی شاخص خشکی و توان تحرک‌پذیری ماسه‌ها بررسی شد. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده از تغییرهای شاخص خشکی یونپ (شکل ۸) نشان داد که شهرستان سرخس در همه‌ی سال‌های پژوهشی در شرایط اقلیمی خشک بود. به عبارت دیگر، در سال‌هایی که اقلیم این منطقه خشک بود شهرستان سرخس در خطر بیابان‌زایی بسیار شدید بود.

تغییر سالانه‌ی شاخص خشکی در دوره‌ی آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶ به همراه محدوددهی وضعیت آب‌وهوایی بر پایه‌ی این شاخص، در ایستگاه‌های پژوهش‌های نشان داده شد. افت و خیز شاخص خشکی در منطقه نشان می‌دهد که خشک‌ترین وضعیت آب و هوایی در دوره‌ی پژوهش به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و ۲۰۰۱ بود. شدت خشکی آب‌وهوا از سال ۲۰۰۰ بیش‌تر از دهه‌ی پیش‌از آن بود. تغییر وضعیت اقلیم در این منطقه سرانجام منجر به تغییر اندازه‌ی فعالیت رسوب‌های بادی به اندازه‌ی ۶۷٪ در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۶ شد (شکل ۹).

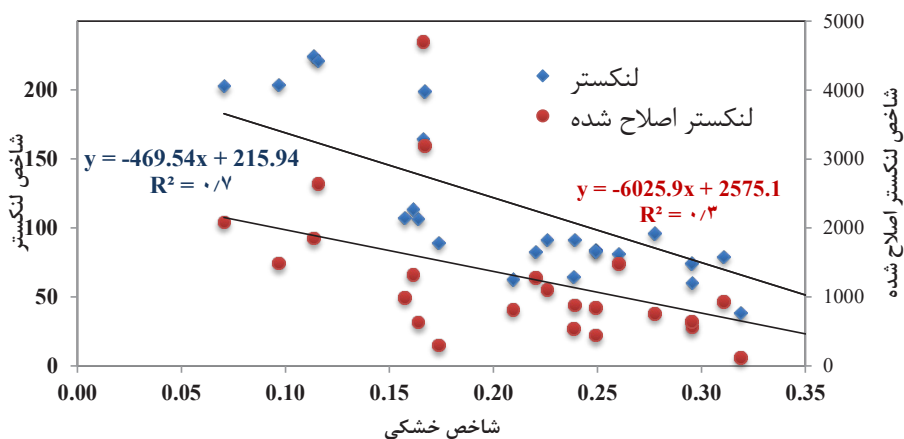
تغییر سالانه‌ی شاخص خشکی در دوره‌ی آماری بسیار شدید بود. تغییر سالانه‌ی شاخص خشکی در دوره‌ی آماری



شکل ۸- روند تغییر سالانه‌ی شاخص خشکی در ایستگاه هم‌دید سرخس ۲۰۱۶-۱۹۹۰.

۰/۷ هست. با کاهش اندازه‌ی شاخص خشکی یونپ و افزایش خشکی محیط، بر اندازه‌ی تحرک‌پذیری ماسه‌ی لنکستر در کل منطقه افزوده، و خطر بیابان‌زایی تشدید شد.

نمودارهای پراکنش نقطه‌یی شاخص خشکی و تحرک ماسه LI و MLI نشان داد که رابطه‌ی خطی میان لنکستر و شاخص خشکی در ایستگاه پژوهشی با ضریب تبیین زیاد

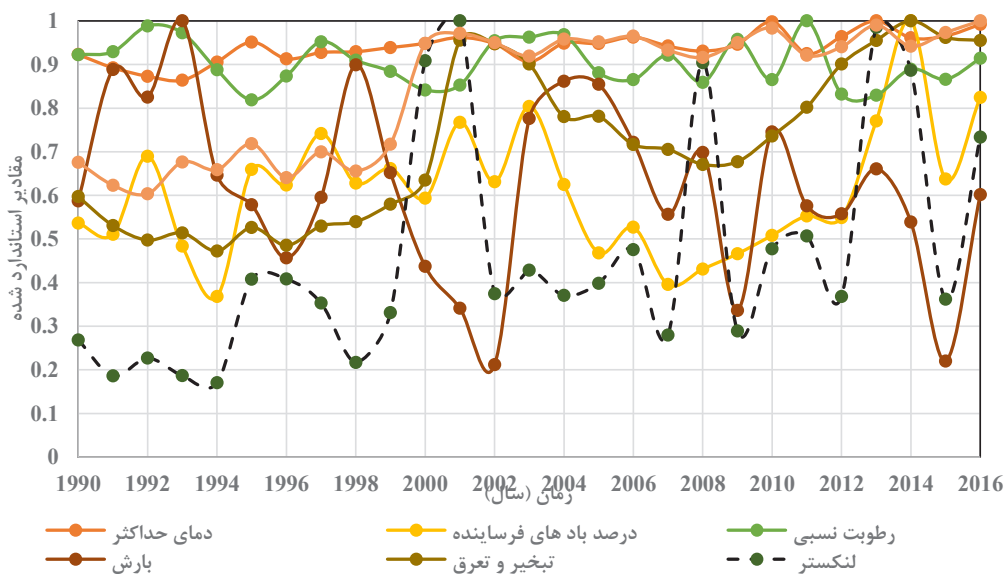


شکل ۹- نمودار پراکنش نقطه‌یی میان شاخص لنکستر (الف) و لنکستر اصلاح‌شده (ب) با شاخص خشکی یونپ در کل بازه‌ی زمانی.

اقلیمی بر پایه‌ی داده‌های بمعیارشده در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است. بیش‌ترین اثر در میان عامل‌های اقلیمی در دمای بیشینه و رطوبت نسبی، و سپس تبخیر و تعرق و بارش بود.

برای درک بهتر روند تغییرهای اقلیمی بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی، هر سنجه جداگانه بررسی آماری شد و شاخص لنکستر آن محاسبه شد. نمودار تغییر سنجه‌های

تحلیل پدیده‌ی گردوغبار با شاخص‌های تحرک‌پذیری تپه‌های...



شکل ۱۰- روند تغییر شاخص‌های تحرک‌پذیری ماسه و سنجه‌های اقلیمی با داده‌های بمعیار شده در بازه‌ی ۱۹۹۰-۲۰۱۶.

سرخس رابطه‌ی منفی معنی‌داری میان بارندگی و تحرک ماسه هست. این به آن معنا است که کاهش بارندگی سبب افزایش تحرک ماسه خواهد شد.

برای درک بهتر علت‌های تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی، همبستگی میان سنجه‌های اقلیمی و شاخص تحرک ماسه در بازه‌ی اول (۱۹۹۰-۲۰۰۶)، بازه‌ی دوم (۲۰۰۷-۲۰۱۶)، و کل دوره محاسبه شد (جدول ۴). نتیجه نشان داد که در ایستگاه

جدول ۴- اندازه‌های ضریب همبستگی سنجه‌های اقلیمی و شاخص لنکستر در بازه‌ی اول، دوم و

کل دوره‌ی آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۶)

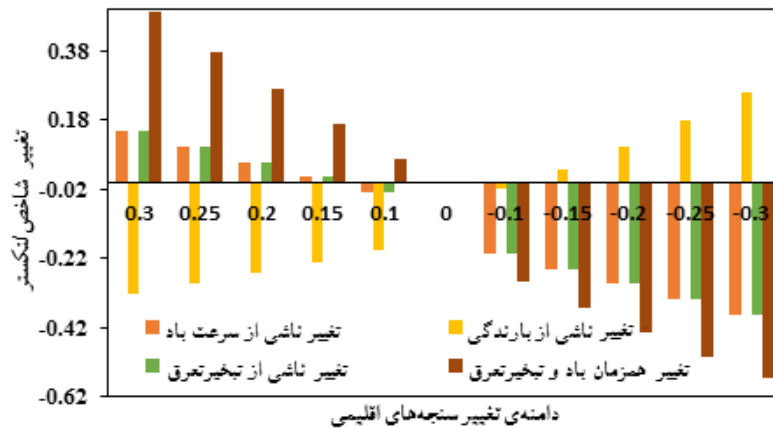
بارندگی	دمای میانگین	دمای بیشینه	رطوبت نسبی	سرعت باد	فراوانی سرعت باد	تبخیر تعرق
بازه‌ی اول	-۰/۷۳**	-۰/۶۶	-۰/۵۹*	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۷۰**
بازه‌ی دوم	-۰/۷۷**	۰/۱۵	-۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۶۳*	۰/۶۹*
کل دوره	-۰/۷۳**	۰/۶۰**	-۰/۴۸*	۰/۵۵*	۰/۴۷*	۰/۶۴**

در آینده ۳۰٪ افزوده یا کاسته شود، فعالیت تپه‌ی ماسه‌یی به ترتیب ۱۴ و ۳۸٪ افزایش و کاهش خواهد یافت. تاثیر هم‌زمان فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر تعرق بر کاهش و افزایش فعالیت ماسه در آینده بیش‌ترین است (شکل ۷). اگر در آینده فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر تعرق توان به اندازه‌ی ۳۰٪ افزوده شود، فعالیت تپه‌ی ماسه‌یی ۴۹٪ افزایش خواهد یافت؛ ولی فعالیت تپه در ایستگاه سرخس (فعال) تغییر نخواهد کرد. اندازه‌ی کاهش فعالیت تپه بر اثر کاهش ۳۰٪ فراوانی بادهای فرساینده و توان تبخیر تعرق ۵۶٪ خواهد بود، که سبب تغییر حالت تحرک تپه از وضعیت فعال به نافع می‌شود. این نتیجه بیانگر آن است که وضعیت تحرک رسوب‌های بادی ناشی از تپه‌ی ماسه‌یی در ایستگاه‌های پژوهشی حساسیت بیش‌تری به کاهش عامل‌های اقلیمی دارد تا افزایش آن‌ها. نتیجه‌ی تحلیل حساسیت تحرک ماسه به تغییر بارندگی نشان داد که با ۳۰٪ افزایش بارندگی فعالیت تپه‌ی ماسه‌یی در آینده ۳۲٪ کاهش خواهد یافت. در حالی که کاهش بارندگی به همین اندازه سبب افزایش ۲۶٪ فعالیت تپه خواهد شد.

نتیجه‌ی تحلیل رابطه‌ی دما و تحرک‌پذیری ماسه نشان داد که در ایستگاه سرخس و در کل دوره‌ی آماری میان دمای میانگین و بیشینه و شاخص لنکستر همبستگی در تراز ۹۹٪ است. تاثیر دمای بیشینه بر تحرک ماسه در بازه‌ی اول نیز نا مستقیم و معنی‌دار بود.

ضریب همبستگی میان رطوبت نسبی و شاخص لنکستر نیز نشان‌دهنده‌ی تاثیر نامستقیم و معنی‌دار رطوبت نسبی جو بر تحرک‌پذیری تپه در دوره‌ی آماری و در بازه‌ی اول است. نتیجه‌ی تحلیل ارتباط میان توان تبخیر تعرق و شاخص لنکستر نشان داد که تبخیر تعرق بعد از بارندگی تاثیر مهمی بر تحرک ماسه دارد، به طوری که تحلیل همبستگی میان این دو سنجه نشان‌دهنده‌ی تاثیر مستقیم و معنی‌دار توان تبخیر تعرق بر تحرک ماسه در بازه‌ی اول، دوم، و کل دوره‌ی آماری است.

نتیجه‌ی تحلیل حساسیت فعالیت تپه ماسه‌یی از تغییر سنجه‌های فراوانی بادهای فرساینده و توان تبخیر تعرق نشان داد که تاثیر این دو سنجه بر فعالیت تپه یکسان خواهد بود. براین پایه، اگر فراوانی بادهای فرساینده یا توان تبخیر تعرق



شکل ۱۱- حساسیت شاخص لنکستر به تغییر بارندگی، درصد بادهای فرساینده، و تغییر هم‌زمان تبخیر تعرق و درصد بادهای فرساینده در ایستگاه سرخس در دوره‌ی آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۰.

آب‌وهوایی بر رخداد گردوغبار در غرب و جنوب‌غربی کشور نیز است (یاراحمدی و همکاران ۲۰۱۴). نتیجه‌ی بررسی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌یی با دو شاخص لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده نشان داد که ارتباط معنی‌داری در تراز ۰.۹۹٪ میان این داده‌ها و داده‌های گردوغبار در منطقه‌ی سرخس است، که بر این پایه‌ی توانایی کاربرد شاخص لنکستر اصلاح‌شده در این منطقه هست. تحلیل ارتباط شاخص‌های تحرک‌پذیری با تعداد روزهای غبار آلود محلی نیز نشان داد که اندازه‌ی تأثیرپذیری روزهای غبار آلود محلی با فعالیت تپه‌های ماسه‌یی در بازه‌ی ۱۹۹۰-۲۰۱۶ همبستگی قوی معنی‌دار با هر دو شاخص در تراز اطمینان ۰.۹۹٪ دارد. در بیش از نیمی از سال‌ها (۵۲٪) وضعیت تپه‌های ماسه‌یی در حالت فعال در نوک تپه است، که با نتیجه‌ی پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (عباسی و همکاران ۲۰۱۹).

در بررسی سازگان باد منطقه و تحلیل ارتباط میان سنجه‌های اقلیمی و شاخص لنکستر، نتیجه نشان داد که عددهای محاسبه‌شده بر پایه‌ی رابطه‌ی برگرفته از اثرهای شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق است، و اثر بادهای فرساینده کم‌ترین بود. بررسی ارتباط میان بارندگی و شاخص تحرک تپه در بازه‌ی اول و دوم نیز نشان‌دهنده‌ی تأثیر نامستقیم بارندگی بر اندازه‌ی فعالیت تپه است، به این معنا که کاهش بارندگی سبب افزایش تحرک ماسه خواهد شد. تأثیر دمایی بیشینه و میانگین بر تحرک ماسه نیز در تراز ۰.۹۹٪ معنی‌دار بود، که با گزارش پژوهش‌های پیشین (محمدخان ۲۰۱۷، هور و همکاران ۲۰۱۸) هم‌خوانی دارد.

پیش‌بینی تحرک‌پذیری ماسه در آینده با تحلیل حساسیت نشان داد که تأثیر هم‌زمان دو سنجه بر کاهش و افزایش فعالیت ماسه در آینده بیش‌ترین است. اگر در آینده به

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف اصلی ارزیابی روزهای با گردوغبار با تحلیل وضعیت تحرک‌پذیری ماسه‌های روان محدودی شهرستان سرخس در گذشته و پیش‌بینی شرایط آن‌ها در آینده بر پایه‌ی سنجه‌های اقلیمی انجام شد.

نتیجه‌ها نشان داد که اوج رخ دادهای گردوغبار با منشا محلی بیش از ۵۰ روز در ایستگاه هم‌دید سرخس در سال‌های ۲۰۱۶ (۷۶ روز)، ۲۰۰۱ (۷۰ روز)، ۲۰۱۴ (۵۹ روز)، ۱۹۹۷ (۵۷ روز)، ۱۹۹۶ (۵۲ روز)، ۲۰۰۸ (۵۱ روز)، و ۲۰۱۵ (۵۰ روز) بود. درحالی که برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ هیچ روی‌داد محلی گزارش نشد. بررسی تعداد روزهای غبار آلود در دوره‌ی آماری نشان داد که روند روی‌دادهای گردوغبار محلی در ایستگاه سرخس در دوره‌ی ۲۷ ساله افزایشی و معنی‌دار بود. روند افزایشی تعداد رخ دادهای گردوغبار در منطقه‌های سبزووار، ایلام و غرب ایران، خوزستان، خرم آباد به ترتیب در دوره‌های ۱۹۸۸-۲۰۰۸، ۱۹۶۱-۲۰۰۸، و ۱۹۵۱-۲۰۱۵ گزارش شد (مهرشاهی و همکاران ۲۰۰۹، بوچانی و همکاران ۲۰۱۱، شاهسونی و همکاران ۲۰۱۲، قویدل و همکاران ۲۰۱۸). روند رخ دادهای فرامحلی در بازه‌ی زمانی آخر کاهش یافته است.

بر پایه‌ی تحلیل ماهانه، روی‌دادهای گردوغبار ایستگاه سرخس در ماه‌های گرم سال (بهار و تابستان) روزهای غبار آلود بیش‌تر از ماه‌های سرد سال بود. در واقع تشابه الگوی توزیع ماهانه‌ی دما، تبخیر تعرق، و سرعت باد ممکن است بیانگر تأثیر مستقیم این سنجه‌ها بر رخ دادهای گردوغبار باشد. به بیان دیگر سنجه‌های دما، سرعت باد، و تبخیر تعرق ارتباط مستقیمی با تعداد روزهای گردوغبار داشت. این نتیجه در هم‌آهنگی با پژوهش پیشین در بررسی تأثیر افت‌وخیزهای

بر پایه‌ی میانگین اندازه‌های فراوانی سرعت بادهای کم‌تر و بیش‌تر از ۶ متر بر ثانیه در ایستگاه سرخس، به ترتیب ۷۹/۷۸ و ۲۰/۲۱٪ گرفت.

بر پایه‌ی نتیجه‌های این پژوهش که افزایش فعالیت تپه‌های ماسه‌یی پیرامون شهرستان را در آینده نشان داد، و از آن‌جا که روش‌های تثبیت ماسه در گذشته کارآیی نداشت، روش‌های نوین تثبیت از جمله روش‌های میکروبی یا فن‌آوری‌های بر پایه‌ی پلیمرهای طبیعی در منطقه‌ی راه‌بردی سرخس پیش‌نهاد می‌شود.

سپاس‌گزاری

این پژوهش بخشی از طرح ملی «پایس عامل‌های اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده‌ی گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی)» زیرپروژه‌ی استان خراسان رضوی (-۰۹-۰۹-۱۲۷-۱۲۷-۰۴۷-۹۶۱) است. در اینجا لازم می‌دانیم از همکاری رییس محترم موسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، جناب آقای دکتر جلیلی و راهنمایی‌های ارزنده‌ی مدیران و کارشناسان اداره‌ی هواشناسی استان خراسان رضوی در اعتلای بیش‌تر تحقیق سپاس‌گزاری کنیم.

اندازه‌ی ۳۰ بر فراوانی بادهای فرساینده و توان تبخیرتعلق افزوده شود، فعالیت تپه‌ی ماسه‌یی ۴۹٪ افزایش خواهد یافت. کاهش فعالیت تپه بر اثر ۳۰٪ کاهش در فراوانی بادهای فرساینده و توان تبخیرتعلق ۵۶٪ خواهد بود. بر این پایه، حساسیت تحرک رسوب‌های بادی ناشی از تپه‌ی ماسه‌یی در ایستگاه‌های پژوهشی بیش‌تر از کاهش عامل‌های اقلیمی بود تا افزایش آن‌ها. این یافته در هنگام بارندگی واژگونه است، و ۳۰٪ افزایش یا کاهش در بارندگی به ترتیب منجر به ۳۲ و ۲۶/۱۷٪ کاهش یا افزایش در فعالیت ماسه می‌شود.

بررسی نمودارهای پراکنش نقطه‌یی شاخص خشکی و شاخص تحرک ماسه‌ی لنکستر و لنکستر اصلاح‌شده نشان داد که رابطه‌ی خطی میان لنکستر و شاخص خشکی در ایستگاه پژوهشی با ضریب تعیین زیاد ۰/۷ هست. بر این پایه، با نتیجه‌ی این پژوهش می‌توان پذیرفت که در منطقه‌ی سرخس با کاهش شاخص خشکی یونپ و افزایش خشکی محیط بر اندازه‌ی تحرک‌پذیری ماسه‌ی لنکستر افزوده، و خطر بیابان‌زایی تشدید می‌شود. در حالی که این ضریب برای لنکستر اصلاح‌شده ۰/۳ بود. بر این پایه، کاربرد شاخص لنکستر اصلاح‌شده به‌همراه شاخص خشکی در تعیین خطر بیابان‌زایی در این منطقه پیشنهاد نمی‌شود. این را می‌توان

فهرست منابع

- Abbasi HR, Opp C, Groll M, Rohipour H, Gohardoust A. 2019. Assessment of the distribution and activity of dunes in Iran based on mobility indices and ground data. *Aeolian Research*, 41: 539–555.
- Abassi HR, Kashki M, Rahdari MR, Gohardoust A, Lotfi Nasab Asl S. 2020. The features of wind's regime and sand transport potential in Sarakhs Erg. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 27(2): 371–384. (In Persian).
- Alipour A, Hashemi M, Pajooch F, Naserzadeh M. 2017. Identification and comparison of deserts in Iran from the aspect of geomorphology and climatology (Case study: Deserts of regions Central and Eastern Iran). *Regional Planning*, 7(27): 21–34. (In Persian).
- Amgalan G, Liu GR, Lin TH, Kuo TH. 2017. Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *Terrestrial. Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(1): 23–32.
- Ashkenazy Y, Yizhaq H, Tsoar H. 2012. Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian Deserts. *Climatic Change*, 12(3): 1–23.
- Bogle R, Redsteer MH, Vogel J. 2015. Field measurement and analysis of climatic factors affecting dune mobility near Grand Falls on the Navajo Nation, southwestern United States. *Geomorphology*, 228: 41–51.
- Boroughni M, Moradi H, Zanganeh Asadi MA, Pourhashemi S. 2019. Assessing the role of drought on the occurrence of dust in Khorasan Razavi Province. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5): 109–121. (In Persian).

- Buchani MH, Fazeli D. 2011. Environmental challenges and their consequences - dust and its consequences in the West of Iran. Quarterly Journal of Political, Defense and Security Policy, 2(2): 110–125. (In Persian).
- Cao H, Jian L, Guizhou W, Guang Y, Lei L. 2015. Identification of sand and dust storm source areas in Iran.-Journal of Arid Land, 7(5): 567–578.
- Chepil W. 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. Soil Science Society of America Journal, 20(2): 288–292.
- Csavina J, Field J, Félix O, Corral-Avitia AY, Sáez AE, Betterton EA. 2014. Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. Science of the Total Environment. 487: 82–90.
- Ekhtesasi MR, Ahmadi H, Khalili A, Saremi Naeini MA, Rajabi MR. 2006. An application of wind rose, storm rose and sand rose in the analysis of wind erosion and determining the direction of moving sands (Case study area: Yazd – Ardekan Basin). Journal of the Iranian Natural Resources, 59(3): 533–541. (In Persian).
- Ghaffari D, Mostafazadeh R. 2015. Investigation of the origin, effects and solutions of dust phenomenon in Iran. Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources, 4(2): 107–125. (In Persian).
- Ghavidel Rahimi Y, Farajzadeh M, Lashni Zand I. 2018. Analysis of temporal changes of dust storms in Khorramabad. Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 18(51): 87–102. (In Persian).
- Guan Q, Sun X, Yang J, Pan B, Zhao S, Wang L. 2017. Dust storms in northern China: Long-term spatiotemporal characteristics and climate controls. Journal of Climate, 30(17): 6683–6700.
- Halos SH, Abed FG. 2019. Effect of spring vegetation indices NDVI & EVI on dust storms occurrence in Iraq. In AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2144(1): 40–55.
- Hoover RH, Gaylord DR, Cooper CM. 2018. Dune mobility in the St. Anthony Dune Field, Idaho, USA: Effects of meteorological variables and lag time. Geomorphology, 309: 29–37.
- Kheirandish Z, Badagh Jamali J, Raygani B. 2018. Identifying the best dust detection algorithm with the help of Modis data. Journal of Natural Hazards, 15(4): 1–31. (In Persian).
- Lancaster N. 1985. Variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. Sedimentology, 32(4): 581–593.
- Lancaster N. 1989. The dynamics of star dunes: An example from the Gran Desierto, Mexico. Sedimentology, 36(2): 273–289.
- Lancaster N, Nickling WG, McKenna Neuman CK, Wyatt VE. 1996. Sediment flux and air flow on the stoss slope of a barchan dune. Geomorphology, 17(1–3): 55–62.
- Mahowald NM, Scanza R, Brahney J, Goodale CL, Hess PG, Moore JK, Neff J. 2017. Aerosol deposition impacts on land and ocean carbon cycles. Current Climate Change Reports, 3(1): 16–31.
- Martínez ML, Landgrave R, Silva R, Hesp P. 2019. Shoreline dynamics and coastal dune stabilization in response to changes in infrastructure and climate. Journal of Coastal Research, 92: 6–12.
- Mehrshahi D, Nekounam Z. 2009. Statistical study of dust phenomenon and analysis of dust wind patterns in Sabzevar city. Geography, 22(7): 83–104. (In Persian).
- Middleton NJ. 2017. Desert dust hazards: A global review. Aeolian Research, 24: 53–63.
- Mohammadkhan S. 2017. Status and trends of dust storms in Iran from 1985 to 2005. Iranian Natural Resources Journal, 70(2): 495–514. (In Persian).
- Naeimi M, Yousefi MJ, Khosroshahi M, Zandifar

- S, Ebrahimi Khosfi Z. 2019. A study of the effects of climatic factors on dust, A case study: West of Khorasan Razavi Province. *Geographical Explorations of Desert Areas*, 7(2): 25–45. (In Persian).
- Nikandish N, Akbari Ghamsari H. 2018. Analysis of geomorphoclimatic factors in the creation of Manjil local wind. *Quarterly Journal of Natural Geography*, 11(42): 125–139. (In Persian).
- Omidvar K, Nekounam Z. 2011. Application of rose and dust in analyzing the dust phenomenon and determining the seasonal regime of winds associated with this phenomenon (Case study: Sabzevar). *Natural Geographical Research*, 76(2): 85–104. (In Persian).
- Rafiei Z, Yazdani M, Rahimi M. 2018. Analysis of the trend of the number of dust days in Iran. *Khoshkboom*, 6(2): 2–11. (In Persian).
- Rodgers S, Nicholas O. 2019. Factors affecting dune mobility in Newborough, Wales. In 10th Conference on Coastal Geomorphology. 129 p.
- Shahsoni A, Yarahmadi M, Mesdaghinia A, Younesian M, Jafarzadeh N, Naeem Abadi A, Salesi M, Nadafi K. 2012. Analysis of the trend of dust entering Iran with emphasis on Khuzestan province. *Hakim Research Journal*, 15(3): 192–202 (In Persian).
- Tavakoli Fard A, Qasemieh H, Nazari Samani A, Mashhadi N. 2014. Analysis of the activity of sand dunes in Kashan Rig Dam using Lan Caster index, *Desert Ecosystem Engineering*, 3 (5): 37–48. (In Persian).
- Yarahmadi D, Nasiri B, Khosh Kish A, Nikbakht H. 2014. The effect of water and some fluctuations on the occurrence of dust phenomenon (Case study of dust in western and southwestern Iran). *Desert Ecosystem Engineering*, 3(5): 19–28. (In Persian).
- Zeng Q, Cheng X, Hu F, Peng Z. 2010. Gustiness and coherent structure of strong winds and their role in dust emission and entrainment. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27(1): 1–18.
- Zhang XX, Sharratt B, Liu LY, Wang ZF, Pan XL, Lei JQ, Wu SX, Huang SY, Guo YH, Li J, Tang X. 2018. East Asian dust storm in May 2017: Observations, modelling, and its influence on the Asia-Pacific region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(11): 8353–8371.



Watershed Management Research

VOL. 35, No.3, Ser. No: 136, Autumn 2022, pp. 81-95
DOI: 10.22092/wmrj.2022.356732.1450

Research Paper



Analysis of Dust Phenomenon Using Sand Dune Mobility Indices and Predicting it with Sensitivity Analysis in Northeast Border of Iran

Maryam Naeimi

(Corresponding Author)* Academic staff, Desert Research Department, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran, Iran

Mohammad Khosroshahi

Academic staff, Desert Research Department, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran, Iran

Hamid Reza Abbasi

Academic staff, Desert Research Department, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran, Iran

Samira Zandifar

Academic staff, Desert Research Department, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran, Iran

Corresponding Author's Email: naeimi@rifr-ac.ir

Received: 13 December 2021

Accepted: 04 January 2022

Abstract

Long-term monitoring as well as the impacts of climate change on sand dune mobility play a crucial role in reducing their adverse effects, including creating dusty days, potential risks of reduced air quality, and other environmental and health risks. The main objectives of this study were to investigate the dust phenomenon and its origin, to analyze the mobility status of sand dunes using two indicators, to determine the effect of climatic conditions on mobility, and also to predict the effects of changes in climate parameters on sand dunes mobility in the strategic area of Sarakhs, located on the northeastern border of the country, for a period of 27 years. The results on the number of dusty days showed that the local dust events at Sarakhs station had a significant increasing trend. The results of sand dune mobility using Lancaster and modified Lancaster indices showed that there was a significant relationship at 99% level with dusty days, based on which the ability to use the modified Lancaster index in this area is raised. It can also be acknowledged that in the study region, increasing environmental drought coming with the mobility of sand dunes increases the risk of desertification. Also, the results of sand mobility sensitivity analysis showed that the combined effect of the frequency of erosive winds or the potential of sand transport and evapotranspiration has the greatest effect on reducing and increasing sand activity in the future.

■ **Keywords:** Dust, modified lancaster, sand dune mobility index, Sarakhs, sensitivity analysis ■