



بهره‌گیری از شاخص لنکستر برای واکاوی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در مناطق خشک و تحلیل حساسیت عوامل مؤثر بر آن (بررسی موردی: منطقه بوئین زهرا، قزوین)

سمیرا زندی فر^{۱*}، محمد خسروشاهی^۲، زهره ابراهیمی خوسفی^۳، مریم نعیمی^۱

۱. استادیار بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۲. دانشیار بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

* نویسنده مسئول: zandifar@rifr-ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۸

چکیده

فرسایش بادی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای پیامدهای نامطلوب محیط زیستی به دنبال دارد. شناسایی عوامل مؤثر بر تحرک ماسه‌ها و پیش بینی وضعیت آنها در آینده، برای کنترل فرآیند فرسایش بادی ضروری است. در پژوهش حاضر به بررسی واکاوی تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در جنوب شرق استان قزوین پرداخته شده است. به این منظور، از داده‌های ساعتی سرعت باد، کد پدیده‌های گردوغبار، بارندگی و دمای هوای ایستگاه بوئین زهرا در دوره آماری ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شد. داده‌های بارندگی و دما برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق به روش تورنت وایت استفاده شد. پس از محاسبه درصد فراوانی بادهای فرساینده و شاخص خشکی، با بهره‌گیری از شاخص لنکستر وضعیت تحرک پذیری ماسه‌های روان در منطقه مورد واکاوی قرار گرفت. به منظور پیش‌بینی اثر تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان از آزمون تحلیل حساسیت استفاده شد. نتایج نشان داد که وضعیت جابجایی ماسه‌ها در سال‌های گذشته، غیرفعال و در سال‌های اخیر فعال شده است. بررسی ارتباط بین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و شاخص لنکستر با استفاده از رگرسیون خطی دو متغیره نشان داد که ارتباط معنی داری در دوره مطالعاتی بین این دو متغیر وجود نداشته است. در حالی که ارتباط معنی داری بین تغییرپذیری شاخص‌های لنکستر و خشکی مشاهده شد. این نتایج بیانگر آن است که ۴۲٪ از تغییرات شاخص لنکستر به دلیل تغییرات شاخص خشکی بوده است. نتایج حاصل از آزمون حساسیت نیز نشان داد که چنانچه مقدار سرعت باد و تبخیر و تعرق بنا به عللی از جمله تغییر کاربری و یا تغییر اقلیمی به مقدار ۳۰٪ در آینده افزایش یابد، وضعیت تپه‌ها از حالت غیرفعال به فعال تغییر خواهد کرد و عبور از این آستانه می‌تواند شروع دوباره فعالیت‌های فرسایش بادی در این منطقه باشد.

واژگان کلیدی: شاخص تحرک‌پذیری ماسه؛ پارامترهای اقلیمی؛ بیابان‌زایی؛ فرسایش بادی

■ مقدمه

میانگین نرخ گرد و غبار حمل شده با سرعت باد، دمای هوا، دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری و تبخیر و تعرق همبستگی مثبت و معنی داری را نشان داد و با رطوبت نسبی همبستگی منفی و معنی داری داشت (۹). اثر قابل توجه تغییرات بارندگی، سرعت باد و پوشش گیاهی بر تغییرات وقایع گردوغبار برای مناطق نیمه خشک ایران نیز گزارش شده است (۱۴).

محققان با مطالعه روند توفان‌های گردوغبار فلات تبث به این نتیجه رسیدند که توفان‌های گردوغبار از دهه ۱۹۷۰ روند کاهشی داشته و کاهش سرعت بادهای سطح زمین، عامل مهمی در کاهش وقوع گردوغبار در منطقه بوده است (۱۳). وضعیت و علل روند تغییرات توفان‌های گردوغبار ایران در دوره زمانی ۱۳۶۴ - ۱۳۸۴ در ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که تعداد روزهای کل غبارناکی به ترتیب با تبخیر و تعرق، دما و بارش دارای همبستگی هستند، ولی با ژئومورفولوژی و ارتفاع همبستگی ندارند (۱۸). در منطقه کالاهاری، محققان با استفاده از شاخص لنکستر و آنالیز داده‌های GCM^۱ به این نتیجه رسیدند که به احتمال زیاد، تپه‌های موجود در این منطقه در پایان قرن حاضر، دوباره فعال خواهند شد (۲۲). بررسی مقدار فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان با استفاده از شاخص لنکستر نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق بند ریگ کاشان، تپه‌های ماسه‌ای از نوع فعال بوده و تنها بخش کوچکی در شمال و بخشی در جنوب آن، دارای تپه‌های ماسه‌ای بسیار فعال است (۲۴). نتایج پژوهش‌ها بر روی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای واقع در تاکلیماکان^۲ با استفاده از شاخص لنکستر، نشان می‌دهد که فعالیت این تپه‌ها در طول دوره ۱۹۶۰ زیاد بوده، ولی از اواسط ۱۹۸۰ تا اواخر ۱۹۹۰ کاهش یافته است (۲۹). تأثیر تغییرات آب و هوا بر تحرک و ثبات تپه‌های ماسه‌ای ساحلی در شمال شرق برزیل مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش مدلی ارائه شد که همزیستی تپه‌های ماسه‌ای فعال و تثبیت شده در امتداد سواحل کارا^۳ را نشان می‌دهد (۲۶). با مطالعه اثر

رسوبات حاصل از ماسه‌های بادی حدود ۶٪ سطح خشکی‌های زمین را تشکیل می‌دهند که ۹۷٪ آن در مناطق خشک قرار دارند. توفان‌های گردوغبار تهدید جدی برای ساکنین کشورهای خاورمیانه به شمار می‌روند (۱۷). تأثیر کوتاه‌مدت غلظت ذرات معلق بر نرخ مرگ و میر در مناطق بیابانی ایران بیشتر از دیگر مناطق است (۲۰). آغاز فعالیت مجدد تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده یا نیمه تثبیت شده یکی از فرایندهای اصلی بیابانزایی است که به تغییرات اقلیم حساس است (۳۳). در سال‌های اخیر فراوانی رخداد‌های گردوغبار در بیشتر مناطق ایران، به ویژه در جنوب‌شرقی استان سمنان، شمال غرب استان یزد و شمال شرق اصفهان (۲۲)، نواحی جنوبی و جنوب شرقی ایران (۳) و همچنین در شهرهای اهواز و کرمانشاه (۱۹) افزایش قابل توجهی داشته است. فرسایش بادی و حرکت ماسه‌های روان عمدتاً بر اثر تعامل بین فرآیندهای آب و هوایی و زمینی اتفاق می‌افتد. جهت تعدیل توفان‌های گرد و غبار علاوه بر شرایط هواشناسی، عوامل سطحی و پوشش گیاهی نقش مهمی ایفا کرده (۲۷) و (۳۱) که رویش و ثبات آنها در تپه‌های ماسه‌ای به طور عمده به دو عامل قدرت باد و مقدار بارش بستگی دارد (۳). بارش و دما دو عامل اقلیمی مهم می‌باشند که روی رشد پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارند (۵). بنابراین لازم است به منظور بررسی اثر عناصر اقلیمی در فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و گرد و غبار و به منظور پیش بینی احتمال تحرک تپه‌های ماسه‌ای و تشدید گرد و غبار در دهه‌های آینده مطالعات لازم صورت گیرد (۵).

در سال‌های اخیر، مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و تحرک پذیری آنها با استفاده از بررسی‌های میدانی (۱، ۱۵، ۱۸، ۲۸) و آزمایش تونل بادی (۱۱) مورد مطالعه قرار گرفته است. محققان با بررسی تغییرات فصلی و مکانی نرخ گرد و غبار حمل شده از روی شهرهای دشت سیستان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی نشان دادند که میانگین نرخ گرد و غبار حمل شده در دشت سیستان در تابستان (۵۶۶/۲۳ gr/m² بر فصل) به صورت معنی داری از فصول پاییز و زمستان بیش‌تر بود. همچنین، مقدار

1. General climate model

2. Taklimakan

3. Ceara

کلاهارای و در بیابان‌های استرالیا در مدل ژیتاک در دو سناریو تغییر وضعیت آب و هوا بررسی شد و مشخص شد که در هر دو زمینه، تپه‌ها تا پایان قرن بیست و یکم پایدار باقی می‌مانند زیرا DP کم و بارش باران زیاد ادامه خواهد داشت (۳۲).

گسترده‌ی رسوبات بادی از دوره‌های گذشته زمین‌شناسی ثابت می‌کند که این امر یک پدیده قدیمی و اجتناب‌ناپذیر است. اما در قرون اخیر دخالت بشر در اکوسیستم‌های طبیعی سبب تشدید آن گردیده است و از عوامل مهم فرسایش خاک به شمار می‌رود. لذا بررسی و تحلیل عوامل موثر بر تغییر این فعالیت‌ها به ویژه در ناهمواری‌های حساس به فرسایش بادی، ضروری به نظر می‌رسد. از آنجایی که یکی از حساس‌ترین ناهمواری‌ها به پدیده فرسایش بادی در استان قزوین، تپه‌های ماسه‌ای بوئین زهرا در جنوب شرقی این استان است، بررسی سرعت بادهای منطقه و تعیین مقدار فعالیت آن از اهداف اصلی پژوهش حاضر می‌باشد. در نهایت با در نظر گرفتن شرایط گذشته، وضعیت تحرک این تپه‌های ماسه‌ای در آینده پیش‌بینی شد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

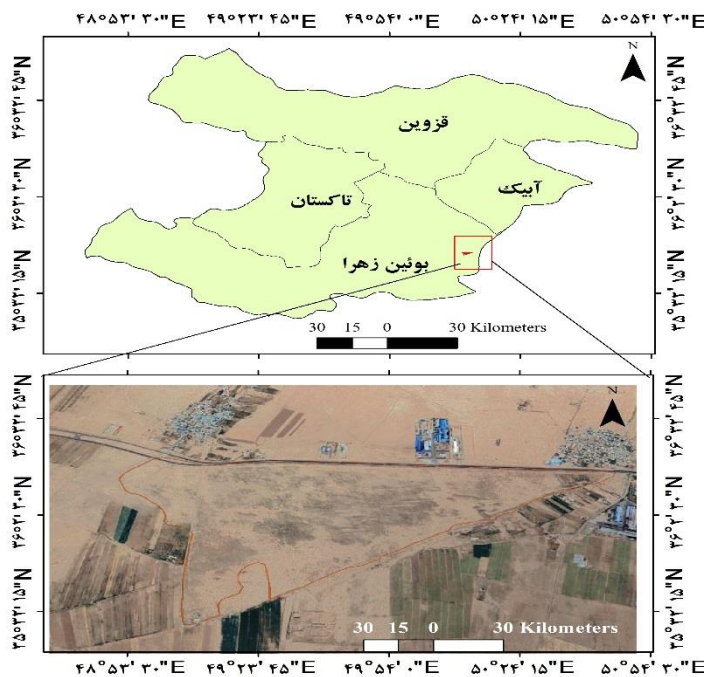
منطقه مورد پژوهش، تپه‌های ماسه‌ای نزدیک به شهرستان بوئین زهرا در جنوب شرق استان قزوین با ارتفاع ۱۲۵۵m از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱). بر اساس داده‌های اقلیمی مربوط به بازه زمانی ۱۱ ساله‌ی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ این ایستگاه با طول جغرافیایی ۵۰/۰۴ و عرض جغرافیایی ۳۵/۴۶، میانگین دما، بارندگی، سرعت باد و تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب $16/8^{\circ}\text{C}$ ، $205/6\text{ mm}$ ، $2/7\text{ m/s}$ و $994/5\text{ mm}$ می‌باشد.

داده‌های تحقیق

در تحقیق حاضر، داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه سینوپتیک بوئین زهرا از سال ۲۰۰۶ با معادل سال ۱۳۸۵ شمسی تا ۲۰۱۶ معادل ۱۳۹۵ شمسی از سازمان هواشناسی استان قزوین اخذ گردید. شاپان یادآوری است که اختلاف سال‌های میلادی و شمسی، ۱۱ روز می‌باشد.

رطوبت نسبی بر غلظت گرد و غبار اتمسفری در نواحی نیمه خشک نتیجه گرفته شد که غلظت گرد و غبار با افزایش رطوبت نسبی بیشینه تا ۲۵٪ افزایش و سپس کاهش می‌یابد (۸). تحرک تپه‌های ماسه‌ای تحت تاثیر تغییر آب و هوایی در بیابان‌های کلاهارای و استرالیا مطالعه شد. نشان داده شد که تغییرات پیش‌بینی شده در DP^1 و بارش به طور کلی قابل توجه نیست و هر دو تپه‌های بیابانی استرالیا و کلاهارای به احتمال زیاد تا اواخر قرن بیست و یکم فعال نخواهند شد. با این وجود، تپه‌های استرالیا به دلیل کاهش بارندگی و افزایش قدرت باد نسبت به کلاهارای فعال تر می‌باشند (۳). با بررسی متغیرهای آب و هوایی مؤثر بر تحرک تپه‌های ماسه‌ای نزدیک به رود گرندفالز در منطقه‌ی ناواهو در جنوب غربی ایالات متحده معلوم شد که از بین متغیرهای اقلیمی مختلف در خشک‌سالی‌های طولانی رایج، قدرت باد برجسته‌ترین پارامتر مؤثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد (۶). اخیراً گزارش شده است که تغییر شرایط اقلیمی، به ویژه تغییر در عناصر بارندگی و سرعت باد منجر به تغییرات معنی داری در شاخص توفان گردوغبار در مناطق خشک ایران مرکزی شده است (۱ و ۱۰). فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ایران بر اساس شاخص‌های مختلف تحرک‌پذیری ماسه‌های روان مورد بررسی قرار گرفت. از جمله می‌توان از شاخص تحرک لنکستر (۱۹۸۸)، شاخص تحرک توسوآر (۲۶) و شاخص توسعه یافته توسط ژیتاک و همکاران (۳۲) برای ارزیابی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای ایران نام برد. نتایج حاصل از این بررسی بر اساس شاخص لنکستر، وضعیت فعالیت تپه‌ها در اطراف دشت کویر، لوت و در حوضه سیستان را کاملاً فعال نشان داده است. برای تپه‌های ماسه‌ای اطراف تالاب جازموریان، بر اساس داده‌های هواشناسی، وضعیت فعال و بر اساس بازدیدهای میدانی، وضعیت غیرفعال گزارش شده است. تپه‌های ماسه‌ای سرخس، کرمان، میناب و چابهار، وضعیت فعال در نوک تپه و تپه‌های اطراف کاشان و آران بیدگل، وضعیت غیرفعال را تجربه کرده اند. بررسی فعالیت تپه‌های در حال حاضر ثابت، در آینده در

1. drift potential



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تپه‌های ماسه‌ای در بوئین زهرا

محاسبه شد تا ارتباط بین عوامل اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در منطقه مطالعاتی بررسی شود.

ب- محاسبه درصد فراوانی طبقات مختلف سرعت باد در این مرحله از تحقیق، با در نظر گرفتن سرعت آستانه فرسایش بادی ارائه شده برای تپه‌های ماسه‌ای (۶ m/s)، تعداد بادهای با سرعت کمتر از ۶ m/s، ۷ تا ۱۱، ۱۱ تا ۱۵، ۱۵ تا ۲۰، بیشتر از ۲۰ m/s و همچنین تعداد کل بادهای با سرعت بیشتر از ۶ m/s محاسبه گردید.

$$Fws_i = \frac{fi}{n} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه مذکور، Fws_i و fi به ترتیب بیانگر درصد فراوانی بادهای و فراوانی بادهای در طبقه سرعت مورد نظر است. n نیز تعداد کل بادهای را نشان می‌دهد. سپس با تقسیم عدد به دست آمده برای هر طبقه بر تعداد کل بادهای گزارش شده در مقیاس زمانی مورد مطالعه، درصد فراوانی طبقات مختلف سرعت باد برای آن مقیاس زمانی ماهیانه و سالیانه محاسبه شد.

این داده‌ها شامل مقادیر میانگین ماهیانه بارندگی، دما، سرعت بادهای سطحی، بیشینه سرعت باد، رطوبت نسبی و داده‌های ساعتی مربوط به میدان دید افقی و کد مربوط به پدیده‌های مختلف گرد و غبار می‌باشند. به طور کلی، ۱۰۰ کد هواشناسی (۹۹-۰۰) توسط سازمان جهانی هواشناسی برای پدیده‌های مختلف تعریف شده‌است که ۱۰ مورد آن مربوط به پدیده گرد و غبار داخلی می‌باشد (۳۰).

روش تحقیق

روش انجام تحقیق حاضر و توضیحات مربوط به هر روش در ادامه آورده شده‌است:

الف- محاسبه تعداد روزهای غبارآلود و تحلیل شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی

در مرحله اول بر اساس کدهای هواشناسی کدهای هواشناسی ثبت شده برای رخدادهای گردوغبار داخلی (۷ تا ۹ و ۳۰ تا ۳۵) (۲۷)، روزهای توأم با گردوغبار داخلی از سایر پدیده‌های هواشناسی تفکیک و مقدار میانگین این متغیر مهم اقلیمی برای مقیاس‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه محاسبه گردید. مقادیر میانگین سایر پارامترهای اقلیمی نیز برای مقیاس‌های زمانی مذکور

(PET) سالانه بیان گردیده. به این نسبت بارندگی موثر اطلاق شد. پایه و اساس این مدل که تحت عنوان شاخص تحرک تپه‌های ماسه لنکستر (۱۵)، شناخته می‌شود، بر اساس مدل توسعه یافته فرسایش بادی محاسبه شد. در این مدل، مقدار تحرک ماسه (M) از رابطه ۲ تعیین می‌شود.

$$M = \frac{W}{\left(\frac{P}{PET}\right)} \quad (2)$$

در این رابطه: M = مقدار فعالیت رسوبات بادی، W = درصد فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از سرعت آستانه فرسایش یعنی ۱۲ نات معادل ۶ m/s در ارتفاع ۱۰m از سطح زمین، P = میانگین بارندگی سالیانه برحسب mm، PET = تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه برحسب mm با استفاده از روش تورنت وایت. شاخص M در معادله ۱ با روش لنکستر به صورت جدول (۱) درجه بندی شد. از شاخص خشکی یونپ (P/PET) کنوانسیون سازمان ملل متحد (۷) برای تعیین نوع اقلیم حاکم بر منطقه و خطر بیابان‌زایی استفاده گردید (جدول ۲).

ج- تعیین جهت بادهای محلی و فرامحلی در منطقه مطالعاتی به منظور تعیین جهت بادهای غبار آلود محلی از داده‌های ساعتی مربوط به سرعت و جهت باد در ساعات غبارآلود محلی استفاده گردید. در حالیکه برای تعیین جهت بادهای فرامحلی از داده‌های مربوط به کد ۰۶ که بیانگر گردوغبارهای نشات گرفته از خارج ایستگاه می‌باشد، استفاده شد. پس از آماده سازی داده‌ها، با استفاده از نرم افزار WRPLOT نقشه گل‌غبارهای ایستگاه تهیه شد.

د- بررسی تحرک پذیری ماسه‌های روان و متغیرهای اقلیمی برای بررسی اثر تغییر اقلیم بویژه باد و بارش بر فعالیت ماسه‌ها و پیش بینی احتمال تحرک تپه‌های ماسه‌ای و ماسه‌زارها و گرد و غبار ناشی از آنها از روش جهانی لنکستر (۱۴) استفاده شده‌است. این روش بر اساس دو فاکتور، که تحرک تپه‌های ماسه‌ای را کاهش یا افزایش می‌دهند، شکل گرفته‌است. فاکتور اول مربوط به درجه بادخیزی بوده (W) که به صورت درصد سالانه روزهایی که سرعت باد بیشتر از سرعت آستانه حرکت ماسه می‌باشد، بیان شده است سازه (فاکتور) دوم که رشد پوشش گیاهی به آن بستگی دارد، به صورت نسبت بین میانگین بارندگی سالانه (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل

جدول ۱. تعیین وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ای بر اساس شاخص لنکستر (M) (۱۴)

وضعیت تپه‌های ماسه‌ای	M
غیرفعال	<۵۰
فعال فقط در نوک تپه	۵۰-۱۰۰
فعال	۱۰۰-۲۰۰
کاملاً فعال	>۲۰۰

جدول ۲. طبقه بندی اقلیمی بر اساس شاخص خشکی یونپ (۷)

خطر بیابان‌زایی	شاخص خشکی	نوع اقلیم
بیابان واقعی	<۰/۰۵	فراخشک
بسیار شدید	۰/۰۵-۰/۲	خشک
شدید	۰/۲-۰/۵	نیمه خشک
میانگین	۰/۵-۰/۶۵	خشک نیمه مرطوب
کم	۰/۶۵-۰/۷۵	نیمه مرطوب
ندارد	>۰/۷۵	مرطوب و بسیار مرطوب

ه- تحلیل های آماری

تبخیر و تعرق پتانسیل، مقادیر بارش مؤثر و شاخص لنکستر برای ایستگاه بوئین زهرا با استفاده از نرم افزار اکسل محاسبه شد. پس از محاسبه میانگین عناصر اقلیمی، هر یک از اعداد در دامنه منفی تا مثبت ۲۵٪ تغییر داده شد. اعداد جدید در جدول جداگانه ای نوشته شده و شاخص تحرک پذیری ماسه ها در این شرایط محاسبه گردید.

بررسی ارتباط بین عناصر اقلیمی و شاخص لنکستر از روش همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین برای بیان اینکه چند درصد از تغییرات در وضعیت تحرک تپه های ماسه ای متأثر از تغییرات شاخص خشکی بوده، از ضریب تعیین حاصل از برازش بین پارامترهای مذکور (R^2) استفاده شد و نمودار پراکنش نقطه ای حاصله ارائه گردید. دامنه تغییرات R^2 بین صفر تا ۱+ متغیر بود.

نتایج و بحث

تحلیل شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی

به منظور درک کلی از شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه مطالعاتی و تحلیل بهتر نتایج، تغییرات ماهیانه مقادیر میانگین تمامی عناصر اقلیمی در برابر تعداد روزهای غبارآلود و همچنین نتایج حاصل از تحلیل فراوانی طبقات مختلف سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک بوئین زهرا برای بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی به ترتیب در شکل (۲) و جدول (۳) نشان داده شده است.

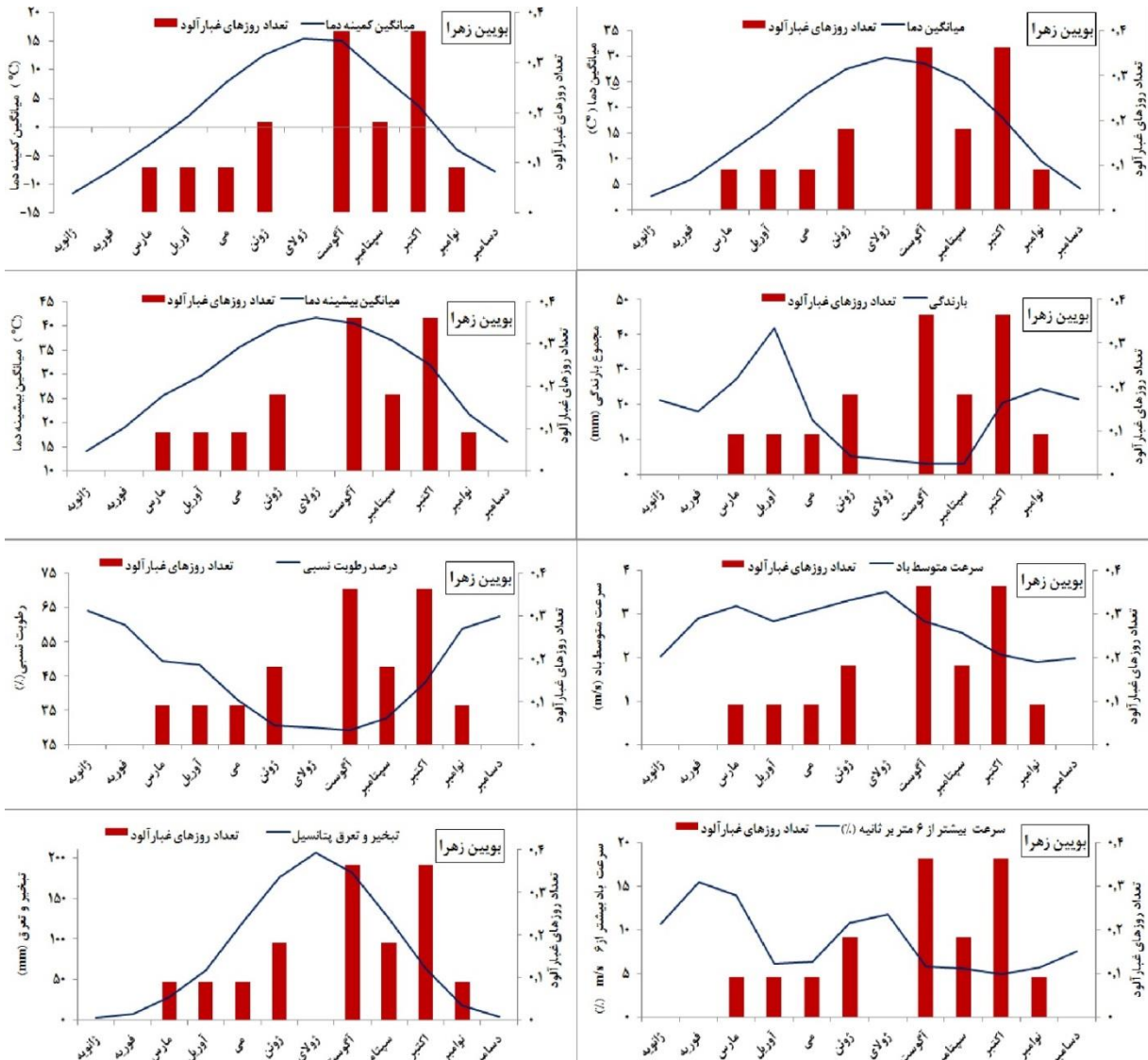
در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶، در شهرستان بوئین زهرا بیشترین مقادیر میانگین ماهیانه دمای میانگین، بیشینه و کمینه های دمایی در ماه های ژولای و آگوست و کمترین آنها در ماه ژانویه به وقوع پیوسته است. در مقیاس فصلی، زمان بیشینه و کمینه وقوع این رخددها به ترتیب در فصول تابستان و زمستان بوده است. بیشینه بارندگی ها در ماه های آوریل و مارس و در مقیاس فصلی در زمستان بوده است. در این فصل و به ویژه در ژانویه و دسامبر مقدار رطوبت نسبی به بیشینه مقدار خود یعنی بیش از ۶۰٪ رسیده است. در ماه ژولای همزمان با اوج رخدادهای دمایی، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در این منطقه به طور میانگین ۲۰۶/۱ mm می باشد. در مقیاس ماهیانه، بیشترین سرعت بادهای سطحی در بویین زهرا متعلق به ماه های فوریه با ۲/۹ m/s و آگوست با ۲/۸ m/s بوده است. گرچه در ماه فوریه، بیشترین فعالیت بادهای فرسایش زا با مقدار ۱۵٪ به وقوع پیوسته اما مقدار این فعالیت در ماه های مارس، ژوئن و ژولای بیشتر از آگوست بوده است.

ی- پیش بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر

تحرک پذیری ماسه های روان

بررسی اثر احتمالی تغییر عناصر اقلیمی بر تحرک پذیری ماسه های روان و تشدید پدیده گرد و غبار، پس از محاسبه مقدار فعالیت رسوبات بادی، با استفاده از روش تحلیل حساسیت^۱، مقدار تاثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی مدل تعیین می شود. به عبارت دیگر آنالیز حساسیت روشی برای تغییر دادن ورودی های یک مدل آماری به صورت سازمان یافته است که بتوان تاثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش بینی کرد. استفاده از آنالیز حساسیت برای تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تاثیر پارامترها بر خروجی مدل مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به این موضوع و از آنجا که برخی از عناصر اقلیمی شاخص مانند باران، باد و تبخیر در مقدار تحرک ماسه های روان تاثیر بسزایی دارند از این رو متغیرهای مورد نظر در دامنه ای معقول تغییر داده می شوند و اثر این تغییرات در خروجی مدل یعنی مقدار حرکت ماسه محاسبه می شود. به این ترتیب حساسیت تحرک پذیری ماسه ها در مقابل افزایش یا کاهش هر یک از متغیرها مشخص می شود و چنانچه مقدار باران در آینده کاهش یا افزایش یابد و یا اینکه مسایل گرمایش جهانی منجر به تبخیر بیشتر و یا کاهش یا افزایش مقدار باد شود وضعیت احتمالی این تغییرات مشخص می شود.

در پژوهش حاضر، با استفاده از داده های مربوط به عناصر اقلیمی درصد فراوانی بادهای فرساینده، بارش و



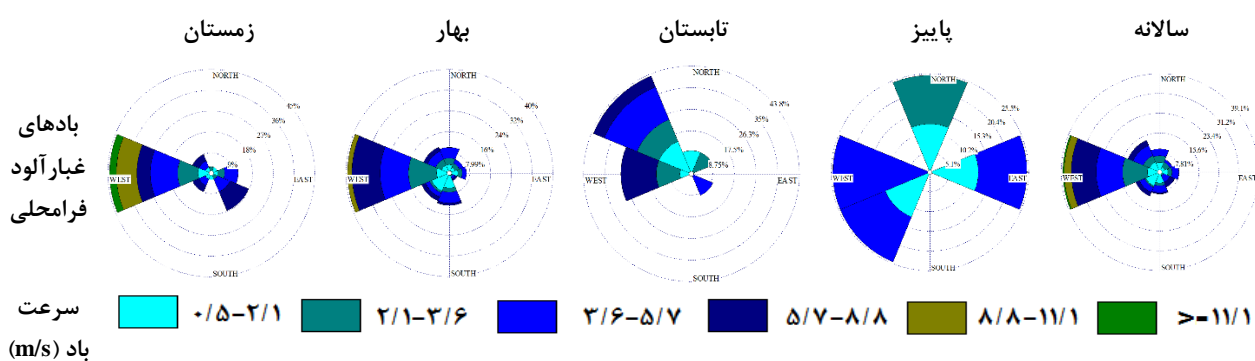
شکل ۲. مقدارهای میانگین ماهیانه پارامترهای اقلیمی و تعداد روزهای غبار آلود در ایستگاه همدیدی بوئین زهرا (۲۰۰۶-۲۰۱۶)

جدول ۳. درصد فراوانی ماهیانه طبقات مختلف سرعت باد در ایستگاه همدیدی (سینوپتیک) بوئین زهرا (۲۰۰۶-۲۰۱۶)

	<۶	۶-۱۰	۱۱-۱۵	۱۶-۲۰	>۲۰	>۶
ژانویه	۹۰/۸۸	۸/۱۳	۰/۹۰	۰/۰۹	.	۹/۱۲
فوریه	۸۴/۹۶	۱۳/۳۶	۱/۳۴	۰/۳۴	.	۱۵/۰۴
مارس	۸۶/۸۲	۱۲/۲۲	۰/۹۶	.	.	۱۳/۱۸
آوریل	۹۴/۳۵	۵/۳۶	۰/۲۸	.	.	۵/۶۵
می	۹۴/۱۴	۵/۵۳	۰/۳۳	.	.	۵/۸۶
ژوئن	۸۹/۶۵	۹/۶۰	۰/۷۵	.	.	۱۰/۳۵
ژولای	۸۸/۸۰	۱۰/۵۴	۰/۶۶	.	.	۱۱/۲۰
آگوست	۹۴/۱۹	۵/۸۱	.	.	.	۵/۸۱
سپتامبر	۹۴/۵۷	۴/۶۲	۰/۸۱	.	.	۵/۴۳
اکتبر	۹۴/۷۳	۵/۱۸	۰/۰۸	.	.	۵/۲۷
نوامبر	۹۳/۴۸	۵/۳۸	۱/۱۳	.	.	۶/۵۲
دسامبر	۹۲/۹۱	۶/۶۰	۰/۴۹	.	.	۷/۰۹
میانگین	۹۱/۶۲	۷/۶۹	۰/۶۵	۰/۰۴	.	۸/۳۸

به‌طور کلی، درصد فراوانی ماهیانه طبقات مختلف سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ حاکی از آن است که در این ایستگاه حدود ۹۲٪ بادهای با سرعتی کمتر از ۶ m/s، ۷/۷٪ با سرعت بین ۶-۱۰ m/s، ۰/۶٪ آنها با سرعتی بین ۱۱-۱۵ m/s و ۰/۴٪ با سرعت ۱۶ m/s تا ۲۰ m/s وزیده‌اند. مجموع فراوانی رخدادهای گردوغبار در این منطقه، ۲۲ و در ۱۶ روز غبارآلود در بازه زمانی ۱۱ ساله بوده است. در این مدت، مجموع فراوانی رخدادهای فرامحلی و تعداد روزهای توأم با این وقایع، به ترتیب ۲۱۳ مرتبه و ۸۵ روز غبارآلود بوده است. به طور کلی این شهرستان در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶، ۲۲ ساعت

غبارآلود محلی را تجربه کرده است که بادهای ۵ ساعت با جهت غالب جنوب شرقی، ۸ ساعت با جهت غالب جنوب غربی و ۹ ساعت با جهت غالب شمال غربی وزیده‌اند. سرعت بادهای بین ۶ تا ۱۳ متر بر ثانیه متغیر بوده است (جدول ۴). در مقابل، تعداد ساعات غبارآلود فرامحلی در این ایستگاه، ۱۸۴ ساعت بوده که بر اساس جهات وزش باد در این ساعت‌ها، عمده بادهای زمستان و بهار و در مقیاس سالیانه با سرعت کمتر از ۸/۸ m/s و از نواحی شرقی به سمت ایستگاه بوئین زهرا جریان داشته‌اند. برای انتقال گردوغبارهای خارجی به بوئین زهرا در فصل تابستان، از نواحی شمال غرب و در فصل پاییز از جهات جنوب غرب، شمال و شرق بوده است (شکل ۳).



شکل ۳. جهت غالب بادهای غبارآلود محلی در شهرستان بوئین زهرا

جدول ۴. سرعت و جهت بادهای غبارآلود محلی در ایستگاه همدیدی بوئین زهرا

سال	ماه	جهت باد	سرعت باد (m/s)	سال	ماه	جهت باد	سرعت باد (m/s)
۲۰۱۰	مارس	۲۳۰	۹	۲۰۱۵	آگوست	۳۱۰	۹
۲۰۱۰	ژوئن	۱۶۰	۸	۲۰۱۵	آگوست	۳۱۰	۶
۲۰۱۱	آوریل	۲۳۰	۱۰	۲۰۱۵	آگوست	۳۲۰	۹
۲۰۱۱	آوریل	۲۶۰	۱۰	۲۰۱۵	آگوست	۲۹۰	۱۰
۲۰۱۱	آوریل	۲۵۰	۱۰	۲۰۱۵	سپتامبر	۱۲۰	۷
۲۰۱۱	اکتبر	۲۷۰	۹	۲۰۱۵	اکتبر	۲۱۰	۹
۲۰۱۳	می	۲۵۰	۷	۲۰۱۶	فوریه	۱۴۰	۱۰
۲۰۱۳	اکتبر	۳۱۰	۸	۲۰۱۶	فوریه	۱۸۰	۹
۲۰۱۳	اکتبر	۲۸۰	۹	۲۰۱۶	ژوئن	۳۰۰	۱۳
۲۰۱۳	اکتبر	۲۸۰	۹	۲۰۱۶	سپتامبر	۱۵۰	۱۰
۲۰۱۳	اکتبر	۲۹۰	۸	۲۰۱۶	نوامبر	۲۶۰	۹

مقدار فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و تغییرات زمانی شاخص خشکی

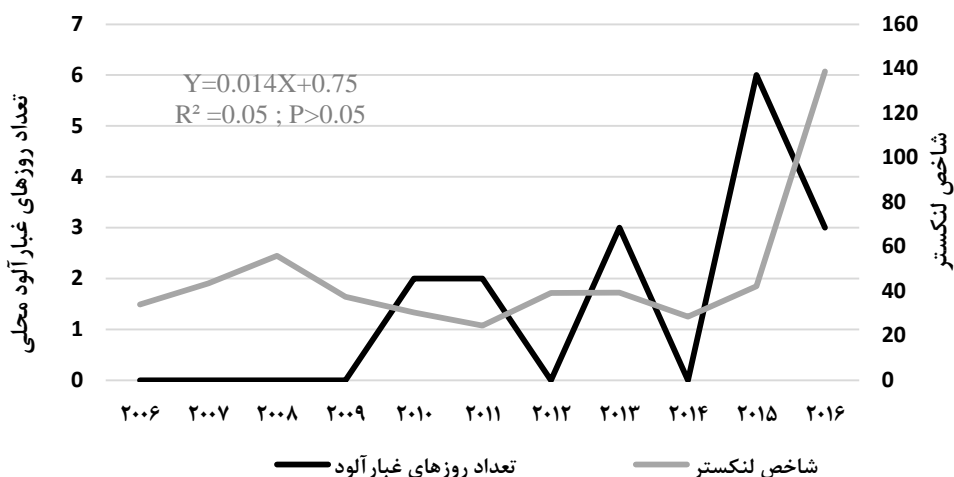
مقدارهای شاخص سالانه لنکستر مربوط به منطقه مطالعاتی در جدول (۵) ارائه شده اند. شاخص لنکستر به‌طور گسترده‌ای توسط زمین‌شناسان و ژئومورفولوژیست‌ها برای تعیین تپه‌های ماسه‌ای فعال یا تثبیت شده مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند برای دهه‌های آینده نیز قابل پیش‌بینی باشد. بررسی تحرک تپه‌های ماسه‌ای در قسمت‌های مختلف جهان، شاخص‌های متفاوتی از فرسایش بادی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهند. اگرچه وضعیت کلی تحرک ماسه‌های روان اطراف منطقه مطالعاتی در بیشتر سال‌ها، غیرفعال بوده است اما تغییرات کمی شاخص لنکستر در برخی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵، به مرز فعال شدن تپه‌ها نزدیک شده و در برخی سال‌ها به عنوان مثال در سال ۲۰۱۱ از آستانه تحرک آنها، فاصله زیادی داشته است که این تغییرات می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از مراحل قبل، تعداد روزهای غبارآلود محلی در شهرستان بوئین زهرا، ۱۶ روز گزارش شده است که بیشترین رخدادها در سال ۲۰۱۵، ۶ روز و پس از آن در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶، ۳ روز در هر سال به وقوع پیوسته است (شکل ۴). این درحالیست که تحلیل فراوانی رخدادهای گردوغبار ایستگاه بوئین زهرا بر اساس کد ۰۷ نشان می‌دهد که در فاصله زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ تعداد ۶

واقع گردوغبار در این شهرستان به وقوع پیوسته است (۳). علت اختلاف نتایج، متفاوت بودن معیار در نظر گرفته شده برای ارزیابی رویدادهای گردوغبار و کدهای استفاده شده برای بیان آنها می‌باشد. با توجه به اینکه شهرستان بوئین زهرا در مجاورت تپه‌های ماسه‌ای جنوب شرق استان قزوین واقع شده‌است، پیش‌بینی می‌شود که تپه‌های ماسه‌ای اطراف این ایستگاه منشا اصلی برداشت رسوبات بادی و غبارآلود کردن هوای این شهرستان باشد. اگرچه روند افزایشی یکسانی بین مقادیر عددی شاخص لنکستر و تعداد روزهای غبارآلود وجود دارد اما انطباق زمانی خاصی در زمان اوج و یا کمینه بودن این متغیرها مشاهده نمی‌شود و در نتیجه مقدار وابستگی این دو متغیر به یکدیگر، بسیار کم و در حدود ۵٪ تخمین زده شده است (شکل ۴).

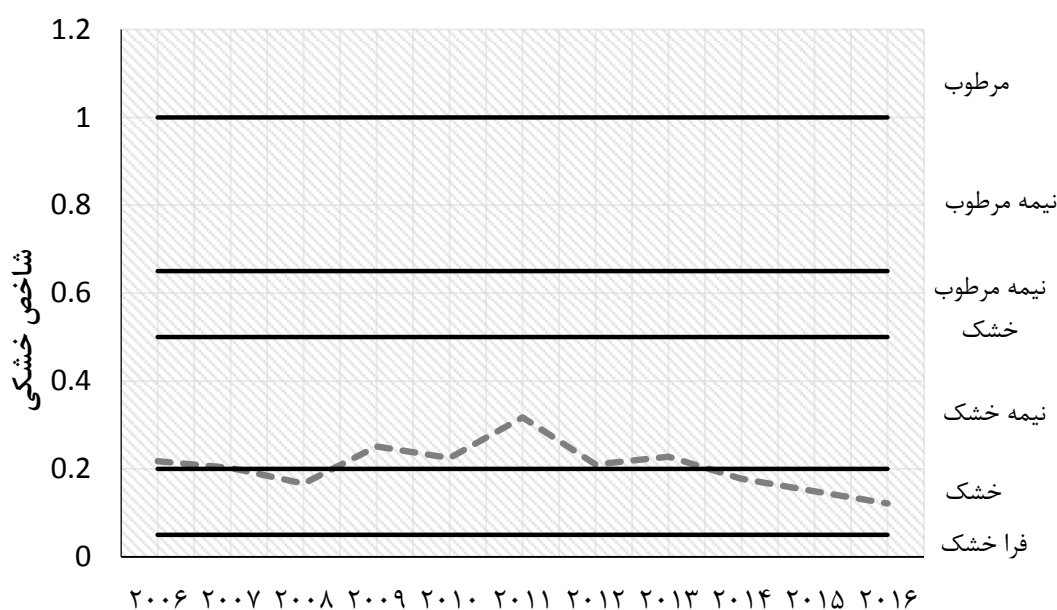
بر اساس شاخص خشکی یونپ، شرایط اقلیمی حاکم بر این منطقه، در سال‌ها ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ که رسوبات بادی فعال بوده اند و همچنین در زمان اوج وقوع رخدادهای محلی در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۴، خشک و در دیگر سال، نیمه خشک بوده است (شکل ۵). این بدان معناست که شهرستان بوئین زهرا در حدود ۵۰٪ از سال‌های آماری از منظر اقلیمی در معرض خطر بیابانزایی بسیار شدید و در سال‌های باقی مانده در معرض خطر بیابانزایی شدید بوده است (جدول ۳).

جدول ۵. مقدار سالانه شاخص لنکستر در ایستگاه سینوپتیک بوئین زهرا (۲۰۱۶-۲۰۰۶)

سال	P (mm)	PET(mm)	W	P/PET	M	وضعیت
۲۰۰۶	۲۱۴/۴	۹۸۴	۷/۴	۰/۲۲	۳۴	غیرفعال
۲۰۰۷	۱۹۲/۸	۹۵۱/۳	۸/۸	۰/۲۰	۴۳/۶	غیرفعال
۲۰۰۸	۱۷۳/۵	۱۰۴۰/۵	۹/۳	۰/۱۷	۵۵/۹	نیمه فعال
۲۰۰۹	۲۳۷/۹	۹۴۸/۵	۹/۴	۰/۲۵	۳۷/۴	غیرفعال
۲۰۱۰	۲۵۵/۶	۱۱۳۶/۸	۶/۸	۰/۲۲	۳۰/۴	غیرفعال
۲۰۱۱	۳۲۹/۴	۱۰۳۷/۲	۷/۸	۰/۳۲	۲۴/۶	غیرفعال
۲۰۱۲	۲۰۹/۳	۹۹۳/۹	۸/۳	۰/۲۱	۳۹/۲	غیرفعال
۲۰۱۳	۲۲۱/۹	۹۷۲/۶	۹	۰/۲۳	۳۹/۴	غیرفعال
۲۰۱۴	۱۶۱/۸	۹۱۰/۵	۵/۱	۰/۱۸	۲۸/۵	غیرفعال
۲۰۱۵	۱۴۰/۹	۹۴۵/۴	۶/۳	۰/۱۵	۴۲/۲	غیرفعال
۲۰۱۶	۱۲۴	۱۰۱۹/۳	۱۶/۹	۰/۱۲	۱۳۸/۸	فعال



شکل ۴. تغییرپذیری سالانه شاخص لنکستر و روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه همدیدی بوئین زهرا (۲۰۰۶-۲۰۱۶)



شکل ۵. تغییرات سالانه شاخص خشکی (یونپ) در ایستگاه همدیدی بوئین زهرا (۲۰۰۶-۲۰۱۶)

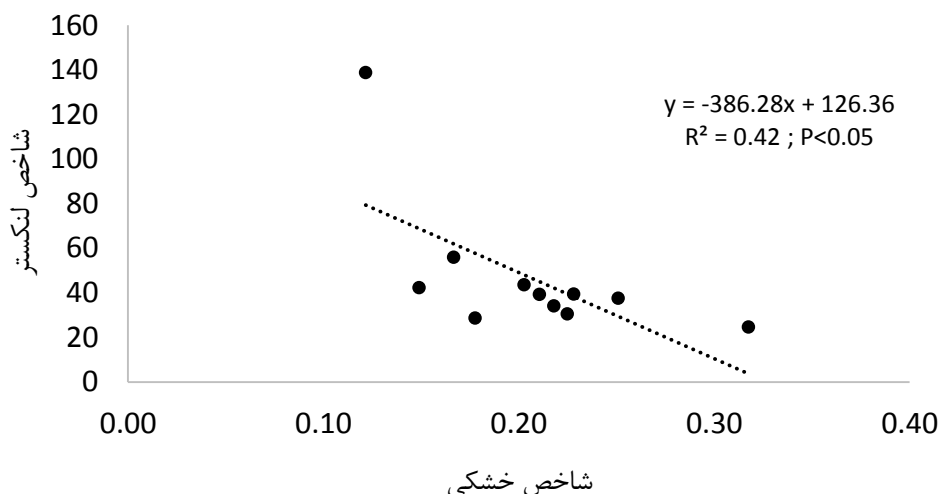
۰/۵۹- و در سطح اطمینان ۹۵٪، معنی دار شده است (شکل ۷). بررسی منابع گذشته حاکی از آن است که در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۷۷، نوسان فعالیت تپه های ماسه ای در برخی دیگر از مناطق ایران از جمله کویر زرین در استان یزد نیز به وقوع پیوسته است. تغییرات رطوبتی و متفاوت بودن شدت خشکسالی در سال های مطالعاتی از علل مهم این نوسانات ذکر شده است (۲۱). اگرچه تاکنون مطالعه ای راجع به وضعیت تحرک تپه های ماسه ای در این منطقه از کشور انجام نشده و نمی توان با نتایج پژوهش های انجام شده در این منطقه مقایسه کرد اما یافته های حاصل از این تحقیق با نتایج برخی

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون دو متغیره بین شاخص لنکستر و شاخص خشکی نشان داد که علی رغم کوتاه بودن دوره آماری مورد بررسی (شکل ۶)، ارتباط معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪ آماری بین این متغیرها وجود داشت ($R^2=0/42$). به عبارت دیگر، ۴۲٪ از افزایش فعالیت رسوبات بادی به دلیل تغییر در شرایط اقلیمی ناشی از تغییرپذیری بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل این منطقه بوده است. تحلیل جداگانه ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و شاخص لنکستر نیز نقش مؤثر و کلیدی بارندگی را بر تغییرپذیری شاخص لنکستر به اثبات رساند؛ زیرا مقدار همبستگی بین این دو متغیر،

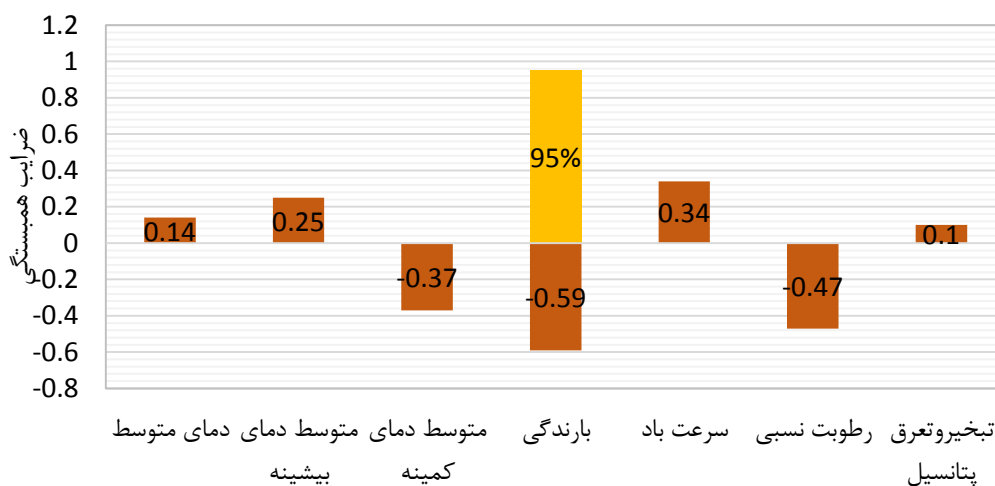
تغییرپذیری همزمان باد و تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های همدیدی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). نتایج حاصل از آزمون تحلیل حساسیت نشان داد چنانچه در محدوده ایستگاه همدیدی بوئین زهرا، مقدار میانگین بارندگی از ۲۰۵/۵ میلیمتر به مقدار ۳۰٪ کاهش یابد و به ۱۴۳/۸۵ میلیمتر برسد، شاخص لنکستر از ۴۶/۷ به حدود ۶۰ می‌رسد و افزایش ۲۷٪ را نشان می‌دهد، در مقابل اگر بارندگی به مقدار ۳۰٪ افزایش یابد یعنی از ۲۰۵/۵ میلیمتر به ۲۶۷/۱ میلیمتر برسد، ۳۱٪ از مقدار تحرک رسوبات بادی کاسته می‌شود و شاخص لنکستر از ۴۶/۷ به ۳۲ می‌رسد.

پژوهشگران که به نقش عوامل اقلیمی به ویژه بارندگی و سرعت باد در غبارآلوده تر شدن هوا اشاره کرده اند هم‌خوانی دارد (۱۰). این درحالیست که با یافته‌های پژوهشگرانی که غیرفعال شدن تپه‌های ماسه‌ای ریگ بلند کاشان را در سال‌های اخیر گزارش کرده اند، هم‌خوانی ندارد (۲۴). دلیل آن را می‌توان به متفاوت بودن شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق مختلف و شیوه‌های مدیریتی اعمال شده برای تثبیت ماسه‌های روان نسبت داد.

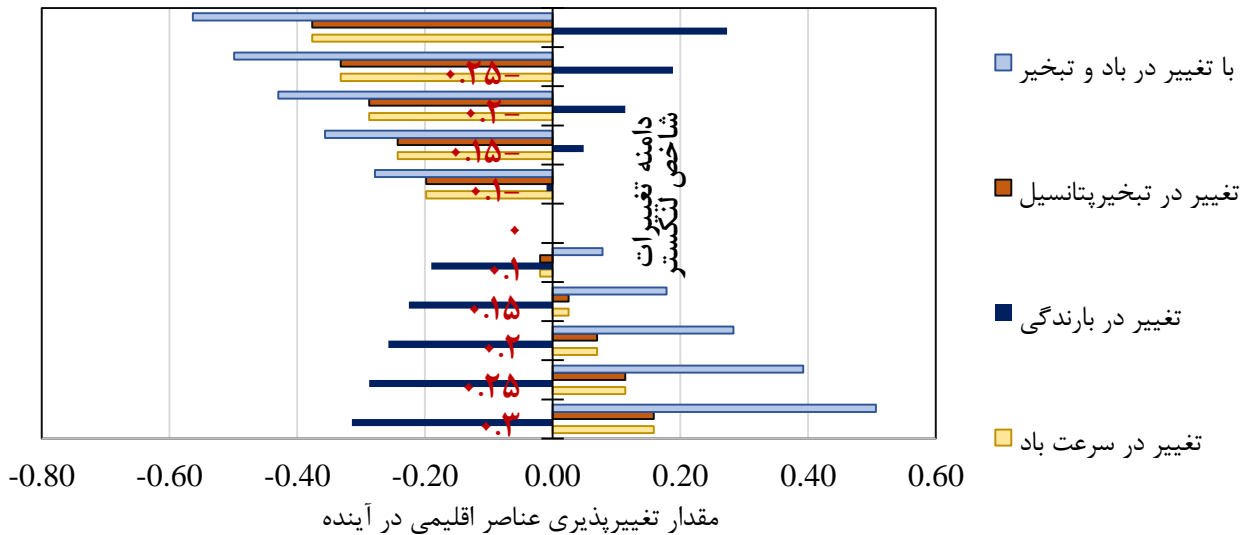
تغییر پارامترهای اقلیمی و تحرک ماسه (تحلیل حساسیت) مقدار حساسیت شاخص لنکستر به تغییرات هر یک از پارامترهای اقلیمی باد، باران، تبخیر و تعرق پتانسیل و



شکل ۶. رابطه شاخص خشکی و تحرک پذیری ماسه‌ها در ایستگاه همدیدی بوئین زهرا (۲۰۰۶-۲۰۱۶)



شکل ۷. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پیرسون بین پارامترهای اقلیمی و شاخص لنکستر در ایستگاه همدیدی بوئین



شکل ۸. پیش بینی وضعیت آینده تحرک تپه‌های ماسه‌ای شهرستان بوئین زهرا در اثر تغییر عوامل اقلیمی

فعالیت آنها در آینده می‌تواند گامی مؤثر در کاهش روند بیابان‌زایی و بهبود کیفیت هوا به ویژه در نواحی بیابانی باشد. به همین دلیل، ضرورت انجام چنین پژوهش‌هایی همواره احساس می‌شود. بر این اساس، نتایج نشان داد که بیشترین خطر ناشی از تحرک تپه‌های ماسه‌ای، شهرستان بوئین زهرا را در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶، تحت تاثیر قرار داده این درحالیست که در ساهای قبل از آن، شدت تحرک تپه‌های ماسه‌ای و خطرات ناشی از آنها چندان نگران کننده نبوده است. بر پایه شاخص خشکی یونپ، قریب ۴۰٪ از این تغییرات به دلیل تغییر عناصر اقلیمی و به طور ویژه تغییرات بارندگی منطقه شناسایی شد. به طور کلی، پیش بینی می‌شود که افزایش بارندگی‌ها در این منطقه نسبت به تغییرات سرعت باد و تبخیر و تعرق، نقش موثرتری در کاهش فعالیت ماسه‌های روان داشته باشد.

اگرچه شاخص لنکستر، به عنوان یک روش مطرح در جهان برای تحلیل وضعیت تپه‌های ماسه‌ای است و کارایی آن برای تحلیل وضعیت فعالیت این ناهمواری‌ها در شهرستان بوئین زهرا نیز به اثبات رسید اما در این شاخص فقط تاثیر سه عامل اقلیمی باد، بارندگی و تبخیر و تعرق در نظر گرفته شده است. این درحالیست که نقش پارامترهای فیزیکی سطح زمین که بر سرعت آستانه فرسایش بادی تأثیر زیادی دارند، نادیده گرفته شده است.

دامنه تغییرات شاخص لنکستر در محدوده ۳۰- تا ۳۰+٪ تغییرات درصد فراوانی سرعت بادهای بیشتر از ۶ متر بر ثانیه مشابه با تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در همین محدوده خواهد بود. به طوریکه با کاهش ۱۰٪ هر یک از این عناصر اقلیمی، مقدار شاخص لنکستر با تاخیر زمانی مربوطه از ۴۶/۷ به ۳۷/۵ و در اثر افزایش ۱۰٪ آنها به ۴۷/۸ خواهد رسید. اگر مقادیر میانگین عناصر مذکور به مقدار ۳۰٪ در آینده افزایش یابد و یا مقدار بارندگی به مقدار ۳۰٪ کاهش یابد، وضعیت تپه‌ها از حالت غیرفعال به فعال تغییر خواهد کرد و این آستانه می‌تواند آغاز فعالیت‌های فرسایش بادی در جنوب شرق استان قزوین از دیدگاه تغییر این عوامل اقلیمی باشد. به نظر می‌رسد افزایش توأم سرعت باد و تبخیر و تعرق به دلیل تاثیر بر محتوای رطوبتی خاک که نقش بسزایی در تغییر سرعت آستانه فرسایش بادی دارد (۱۶)، زمینه را برای تشدید فعالیت فرسایش بادی و افزایش فراوانی رخدادهای گردوغبار فراهم می‌آورد و به همین دلیل تحرک تپه‌های ماسه‌ای تحت تاثیر نوسانات این دو عنصر اقلیمی در آینده بیشتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری

آگاهی از وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ای در گذشته، شناسایی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن و پیش بینی وضعیت

همچنین ارزیابی فعالیت تپه های ماسه ای نیازمند پایش دوره‌ای تصاویر ماهواره‌ای و اندازه‌گیرهای میدانی است که می‌تواند در پژوهش‌های بعدی مقدار صحت و دقت روش مذکور را دقیقتر روشن نماید.

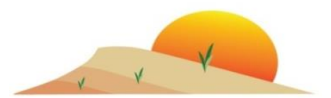
که می‌تواند از معایب این شاخص باشد. لذا انتظار می‌رود استفاده از مدل‌هایی که تأثیر عوامل اقلیمی و زمینی و حتی فعالیت های بشری را در نظر می‌گیرند، به‌تواند نتایج دقیق‌تری از وضعیت تحرک پذیری تپه های ماسه‌ای و پیش بینی وضعیت تحرک آنها در آینده ارائه دهد.

■ References

1. Abbasi, H. R., 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, 1-17.
2. Alipour, N., Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H., Malekian, A., Jafari, M. (2018). 'Synoptic analysis of dust events and its relation with drought in Alborz and Qazvin provinces', *Geography (Regional Planning)*, 8(2), 59-68. (in Farsi)
3. Ashkenazy, Y., Yizhaq, H., Tsoar, H., (2012) Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian Deserts. *Climatic Change*, 112(3), 1-23.
4. Baghbanan, P., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1-14.
5. Bing, L.Z., Wenzhi, Y., Rong, A. (2008) Characteristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* Nebkhas in desert-oasis ecotones. *Journal of Acta Ecologica Sinica*, 28(4), 1446-1455.
6. Bogle, R., Redsteer, M.H. and 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.
7. Barrow, C. (1992). World atlas of desertification (United Nations environment programme), edited by N. Middleton and DSG Thomas. Edward Arnold, London,. *Land Degradation & Development*, 3(4), 249-249.
8. Csavina, J., Field, J., Félix, O., Corral-Avitia, A.Y., Sáez, A.E. and Betterton, E.A. (2014) Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Science of the Total Environment*, 487, 82-90.
9. Danesh shahraki, M., Shahriari, A., Ganje Ali, M. (2017) Seasonal and Spatial Variability of Airborne Dust Loading Rate over the Sistan plain cities and its Relationship with some Climatic Parameters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(6), 199-215.(In Farsi).
10. Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S. (2019). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management*, Published online, 239-263.
11. Houghton, J. T., (2001). *Climate Change: the scientific basis*, Cambridge University Press, Cambridge.
12. Iversen, J.D., Rasmussen, K.R. (1999). The effect of wind speed and bed slope on sand transport. *Sedimentology*. 46, 723-731.

13. Kang, L., Huang, J., Chen, S., Wang, X. (2016). Long-term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961–2010. *Atmospheric Environment*, 125, 188-198.
14. Khusfi, Z.E., Khosroshahi, M., Roustaei, F. and Mirakbari, M., (2020). Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, 365, 114225-114241.
15. Lancaster, N., (1985) Variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. *Sedimentology*. 32, 581–593.
16. Matsushima, Dai, Reiji Kimura, Yasunori Kurosaki, Ulgiichimeg Ganzorig, and Masato Shinoda. (2020) "A Method for Estimating the Threshold Wind Speed for Dust Emissions as a Function of Soil Moisture." *Boundary-Layer Meteorology* 1-21.
17. Middleton, N. (2019). Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. *Geosciences*, 9(6), 261.
18. Mohammadkhan, sh. (2017) Status and trends of dust storms in Iran from 1364 to 1384. *Pasture and Watershed, Iranian Natural Resources Journal*, 70(2), 495-514. (in Farsi)
19. Rajaei, T., Rohani, N., Jabbari, E., & Mojaradi, B. (2020). Tracing and assessment of simultaneous dust storms in the cities of Ahvaz and Kermanshah in western Iran based on the new approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12), 1-20.
20. Shahsavani, A., Tobías, A., Querol, X., Stafoggia, M., Abdolshahnejad, M., Mayvaneh, F., & Namvar, Z. (2020). Short-term effects of particulate matter during desert and non-desert dust days on mortality in Iran. *Environment international*, 134, 105299.
21. Sharifi Paichoon, M., Ghafarian, H., Miri, Z. (2020) Study of elevation changes of Rig-e-Zarrin using time series of satellite images (during 1977-2016). *Quantitative Geomorphological Research*; 8(4): 192-206.
22. Sharifikia, M., & Rabbani, F. (2020). Source routing and detection of dust storm in the Salt Lake basin of Qom in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14), 1-17.
23. Stout, J.E., Warren, A., Gill, T.E. (2009) Publication trends in aeolian research: an analysis of the Bibliography of Aeolian Research. *Geomorphology*, 105, 6–17
24. Tavakolifar, A. (2012) Morphology of sand dunes and their relation with wind regime (Case study: Arg Kashan). Master thesis, University of Kashan, Iran. (in Farsi)
25. Thomas, D.S.G., Knight, M., Wiggs, G.F.S. (2005) Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century global warming. *Nature*, 435, 1218-1221.
26. Tsoar, H (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physical Journals*, 357, 50- 56.
27. Vali, A., Roustaei, F. (2018) Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *Water and Soil Science*, 21 (4), 189-200. (in Farsi)
28. Wang, X., Dong, Z., Liu, L., Qu, J. (2004) Sand sea activity and interactions with climatic parameters in the Taklimakan Sand Sea, China. *Arid Environments*, 57, 85–9.
29. Wiggs, G.F.S., Livingstone, I., Warren, A., (1996) The role of streamline curvature in sand dune dynamics: evidence from field and wind tunnel measurements. *Geomorphology*, 17, 29– 46.

30. WMO, (1974). Manual on Codes. WMO Publ. 306, Vol. 1 [Available from World Meteorological Organization, Avenue Giuseppe-Motta 41, CP2300, 1211 Geneva 2, Switzerland
31. Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A. (2015) Climate change and dusty days in the west and southwest of Iran, Desert Ecosystem Engineering Journal, 3, 19-28. (in Farsi)
32. Yizhaq, H., Ashkenazy, Y., Tsoar, H., (2007). Why do active and stabilized dunes coexist under the same climatic conditions? Phys. Rev. Lett. 98 (18), 98–101.
33. Zhang, W.; Qu, J.; Tang, L.; Jing, Z.; Bian, K.; Niu, Q (2016). Environmental dynamics of a star dune, Geomorphology, 273 (15), 28-38.



Using Lancaster Index to Analyse of the Sand Dunes Activity in Arid lands and Sensitivity Analysis of the Factors Affecting it (Case Study: Buin-Zahra City)

S. Zandifar^{1*}, M. khosroshahi², Z. Ebrahimikhusfi³, M. Naeimi¹

1. Assistant professor of Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension, AREEO, Tehran, Iran.
2. Associate professor of Research Institute of Forests and Rangelands, agricultural research, education and extension, AREEO, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Department of Ecological Engineering, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

* Corresponding Author: zandifar@rifr-ac.ir

Received date: 06/05/2020

Accepted date: 08/08/2020

Abstract

Wind erosion and sand dunes mobility has adverse environmental consequences. Identification of factors affecting sand dunes mobility and predicting their future status is essential to control the desertification process. Therefore, in the present study, the mobility of flowing sands in the southeast of Qazvin province has been studied and analyzed. For this purpose, hourly wind speed data, dust phenomenon code, rainfall and temperature of Buin Zahra station were used for the statistical period of 2006-2006. Rainfall and temperature data were used to calculate the rate of evapotranspiration Thornthwaite method. After calculating the percentage of erosive winds and aridity index, by using Lancaster index, the mobility of flowing sand in the southeast of Qazvin province was investigated and analyzed. Sensitivity analysis test was used to predict the effect of climate change on mobility of sand dunes. Results showed that sand dunes mobility was inactive in previous years and activated in recent years. Examining the relationship between the number of dusty days and the Lancaster index using two-variable linear regression showed that there was no strong and significant relationship in the study period between these two parameters, while a significant relationship between Lancaster index and aridity index. These results indicate that 42% of the changes in the Lancaster index were due to changes of the aridity index. The results of the sensitivity analysis showed that if the average of the wind speed and evapotranspiration rate increased by 30% in future, or amount of precipitation decreased by 30%, the status of the sand dunes mobility would change from inactive to active and crossing this threshold could be the reforming of wind erosion activities in the area.

Keywords: Sand Mobility Index; Climate Factors; Desertification; Wind erosion