

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دهم، شماره سی و نهم، بهار ۱۳۹۹

تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

صص ۱۸-۳۵

پیش‌بینی وضعیت تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در آینده بر اساس آزمون تحلیل حساسیت (مطالعه‌ی موردی: شهرستان منجیل)

سمیرا زندی فر*، استادیار-مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی
محمد خسروشاهی، دانشیار-مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی
زهرة ابراهیمی خوسفی، استادیار بیابان‌زدایی-دانشگاه جیرفت
مریم نعیمی، استادیار-مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین و حساس‌ترین لندفرم‌های حساس به فرسایش بادی می‌باشند که میزان فعالیت آن‌ها بسته به شدت تأثیر عوامل متعدد اقلیمی و زمینی، متفاوت است. پایش بلندمدت این عوامل به همراه وضعیت تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در مناطق مختلف می‌تواند اثر قابل‌توجهی بر کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها داشته باشد. یکی از مناطق حساس به پدیده‌ی فرسایش بادی در شمال غرب ایران، تپه‌های ماسه‌ای اطراف شهرستان منجیل است که به‌عنوان منطقه‌ی مطالعاتی در پژوهش حاضر مورد توجه قرار گرفته است. اهداف اصلی این مطالعه، بررسی تأثیر شرایط اقلیمی بر میزان تحرک‌پذیری ماسه‌های روان این منطقه و نیز پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان شهرستان منجیل است. بدین منظور از داده‌های ساعتی مربوط به عناصر اقلیمی و رویدادهای گردوغبار استفاده گردید. نتایج نشان داد که در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۶-۱۹۹۴ سیر تغییرات روزهای غبارآلود و شاخص تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در این منطقه، نزولی و ارتباط بین آن‌ها مثبت و معنی‌دار بوده است. در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ و ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ نیز شهرستان منجیل در خطر بیابان‌زایی بسیار شدید قرار داشته و با گذشت زمان از شدت آن کاسته شده است. همچنین نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه، بیش از ۹۰ درصد بادهای محلی با سرعتی بیش از ۱۱ متر بر ثانیه و با جهت غالب شمالی در منطقه‌ی مطالعاتی جریان داشته‌اند. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت مشخص شد که اگر در آینده، فراوانی بادهای فرسایش‌زا و یا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به اندازه‌ی حداقل ۱۰ درصد کاهش یابد، مقدار شاخص لنکستر از ۲۴۱/۹ به ۱۹۴/۶ کاهش خواهد یافت و وضعیت کاملاً فعال آن‌ها به وضعیت پایدارتری خواهد رسید. همچنین پیش‌بینی می‌شود اگر این دو پارامتر اقلیمی به‌طور هم‌زمان به میزان ۳۰ درصد کاهش یابند، تپه‌ها همچنان فعال خواهند بود؛ مگر آنکه این عوامل به‌طور هم‌زمان به ۴۰ درصد تقلیل یابند.

واژگان کلیدی: شاخص لنکستر، شاخص خشکی یونپ، روزهای غبارآلود، تحلیل حساسیت.

* Email: zandifar@rifr-ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی "پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده‌ی گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی) در ایران" است.

۱- مقدمه

مهم‌ترین منابع تولید گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تپه‌های ماسه‌ای و بیابان‌های شنی می‌باشند (Cao et al. 2015: 567). این لندفرم‌ها، حساسیت زیادی به پدیده‌ی فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار دارند (Alipour et al. 2017: 22). پدیده‌ی گردوغبار به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اقلیمی عرصه‌های خشک و نیمه‌خشک و از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی این مناطق محسوب می‌شود (Zhang et al. 2018: 8354, Middleton, 2017: 55). تغییرات شدید فشار هوا، بارندگی و دما و نیز ویژگی‌های سطح زمین همانند فقر پوشش گیاهی، بافت و ترکیب خاک، توپوگرافی منطقه، وزش بادهای شدید و ناپایداری الگوی سینوپتیکی جو از عوامل تشدید ایجاد گردوغبار در این مناطق است (Guan et al. 2017:6385, Halos et al. 2019: 405). وزش بادهای شدید بر روی بیابان‌ها با خاک نرم و خشک و حرکت صعودی جریان‌ها هوا موجب انتقال عمودی ذرات گردوخاک معلق به ترازهای بالاتر جو می‌شود (Kaskaoutis et al. 2007: 7317).

مطالعات زیادی در زمینه‌های مختلف و مرتبط با فرسایش بادی و تحرک رسوبات بادی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. توکلی فرد و همکاران (۱۳۹۰) میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان را با استفاده از شاخص لنکستر مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد 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. همچنین در حاشیه‌ی غربی آن، فقط نوک تپه‌ها فعال‌اند. آن‌ها با تلفیق نقشه‌های مرفولوژی و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه نشان دادند که به دلیل مدیریت مناسب تمام تپه‌های ماسه‌ای کاملاً فعال به جز قسمت کوچکی از تپه‌های عرضی در شمال بند ریگ، تثبیت و غیرفعال شده‌اند. خیراندیش و همکاران (۱۳۹۷) به شناسایی کانون‌های بالقوه‌ی گردوغبار با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در استان البرز پرداختند. نتایج نشان داد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و اعمال شاخص‌های طیفی به‌خوبی می‌توان کانون‌های بالقوه‌ی تولید گردوغبار را شناسایی نمود. بر این اساس، بالاترین میزان فرسایش‌پذیری خاک مربوط به اراضی کشاورزی رها شده در منطقه‌ی مطالعاتی بوده است. نیک‌اندیش و قمصری (۱۳۹۷) در تحلیل عوامل ژئومورفولوژیکی در آفرینش باد محلی منجیل نشان دادند که برقراری شیب انرژی ناشی از وجود تضادهای اقلیمی بین بندر انزلی، رشت، منجیل، رودبار و دشت قزوین عامل محرک این نوع باد در شمال غرب کشور با جهت غالب شمالی است. بروغنی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی نقش خشک‌سالی بر فراوانی وقوع گردوغبار در خراسان رضوی پرداختند. شاخص SPI جهت محاسبه‌ی دوره‌های خشک‌سالی در دوره‌ی آماری ۲۰۰۴-۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج نشان داد بین وقوع گردوغبار با خشک‌سالی ارتباطی مستقیم وجود دارد؛ به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۸ با ۲۲۶ و ۲۰۰۵ با ۸۵ روز به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد وقوع گردوغبار را در سطح استان داشته است. اشکنزی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) تحرک تپه‌های ماسه‌ای را تحت تأثیر تغییر آب‌وهوایی در بیابان‌های کلاهاری^۱ و استرالیا مطالعه نمودند. آن‌ها نشان دادند که تغییرات پیش‌بینی‌شده در DP و بارش به‌طور کلی قابل‌توجه نیست و هر دو تپه‌های بیابانی استرالیا و کلاهاری^۱ به‌احتمال 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 کلاهاری^۱ فعال‌تر می‌باشند. صمدی و همکاران (۲۰۱۴) ۲۰ رویداد گردوغبار در بخش غربی ایران را در دوره‌ی آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ بررسی کردند. بررسی‌ها نشان داد در برخی از شهرستان‌ها مانند اهواز، دزفول، سوسنگرد، بستان و شوش متوسط سالانه روزهای همراه با گردوغبار بیش از ۳۱ روز با دید کم‌تر از ۱۰۰۰ متر بود. در این مطالعه شاخص تشخیص گردوغبار جهانی (GDDI)^۲ برای تشخیص خودکار گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شد. نتایج نشان داد که در مقایسه با روش‌های BTD^۳ و

1- Ashkenazy

2- Global Dust Detection Index

3- Brithness Temperature Index

NDDI^۴ این شاخص نیازی به آستانه ندارد و قادر به تشخیص گردوغبار بر روی سطوح زمین و آب است. باگل^۵ و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی فاکتورهای آب‌وهوایی مؤثر بر تحرک تپه‌های ماسه‌ای نزدیک به رود گرندفالز در منطقه‌ی ناواهو در جنوب غربی ایالات متحده نشان دادند که از بین پارامترهای اقلیمی مختلف در خشک‌سالی‌های طولانی رایج، قدرت باد برجسته‌ترین پارامتر مؤثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای است. نتایج تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر تحرک و ثبات تپه‌های شنی ساحلی در شمال شرق برزیل توسط تسوآر^۶ و همکاران (۲۰۰۹) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، آن‌ها مدلی ارائه دادند که هم‌زیستی تپه‌های ماسه‌ای فعال و تثبیت‌شده در امتداد سواحل کارآ را نشان می‌دهد. امگلان^۸ و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی رابطه‌ی همبستگی بین وقایع گردوغبار، سرعت باد و بارندگی در منگولیا چین در دوره‌ی آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد روزهای همراه با گردوغبار شدید متناظر با سرعت باد حداکثر در منطقه همراه با بارندگی ۱۰ میلی‌متر است؛ در حالی که مقادیر بارندگی شدید رابطه‌ی عکس با وقوع گردوغبار دارد. در نواحی خشک ایران مرکزی طی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۰۰ تغییرات شاخص توفان گردوغبار روند رو به رشد ملایمی داشته است که مهم‌ترین علل این تغییرات، نوسانات دمایی سال‌های ابتدایی (۲۰۰۷-۲۰۰۰) و تغییرات بارندگی و سرعت باد در سال‌های پس‌از آن شناسایی شده است (EbrahimiKhusfi, et al. 2019: 22). نتایج حاصل از تحلیل شاخص لنکستر در ایران، فعالیت تپه‌های ماسه‌ای را مکان‌های مختلف، متفاوت نشان داده است. وضعیت فعالیت تپه‌ها در اطراف دشت کویر، دشت لوت و در حوضه‌ی سیستان کاملاً فعال و وضعیت 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 کرده‌اند (Abbasi et al. 2019). تثبیت تپه‌های ساحلی در اثر تغییرات اقلیمی و توسعه‌ی زیرساخت‌ها و شهرسازی در منطقه‌ی مرکزی خلیج مکزیک توسط مارتینز و همکاران (۲۰۱۹) به اثبات رسیده است؛ در مقابل، در مطالعه‌ی رودگز و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری تپه‌ها در نیوورو به اثبات نرسید، بلکه نشان داده شد که علت اصلی تحرک‌پذیری ماسه‌ها در دهه‌ی ۱۹۵۰ در این منطقه، به علت اختلالات گذشته بوده است.

به‌طورکلی، آگاهی از وضعیت پدیده‌ی فرسایش بادی و میزان فعالیت رسوبات بادی به‌ویژه در لندفرم‌های حساس به این پدیده‌ی مخرب زیست‌محیطی و نیز شناسایی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن و پیش‌بینی وضعیت فعالیت آن‌ها در آینده می‌تواند گامی مؤثر در کاهش روند بیابان‌زایی و بهبود کیفیت هوا به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک باشد. به همین دلیل، ضرورت انجام چنین پژوهش‌هایی همواره ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف اصلی بررسی وضعیت تحرک ماسه‌های روان محدوده‌ی شهرستان منجیل در گذشته و پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان اطراف این منطقه از کشور به انجام رسیده است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مطالعاتی در این پژوهش، تپه‌های ماسه‌ای نزدیک به شهرستان منجیل در حدفاصل بین مرز شمال غربی استان قزوین و گیلان است. بر اساس داده‌های اقلیمی مربوط به بازه‌ی زمانی ۲۲ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک منجیل، متوسط دما، بارندگی، سرعت باد، تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد، ۲۱۷/۱ میلی‌متر، ۱۱/۵ متر بر ثانیه و ۹۲۹/۵ میلی‌متر است. شکل ۱ موقعیت تپه‌های ماسه‌ای را بین دو استان قزوین و گیلان نشان می‌دهد.

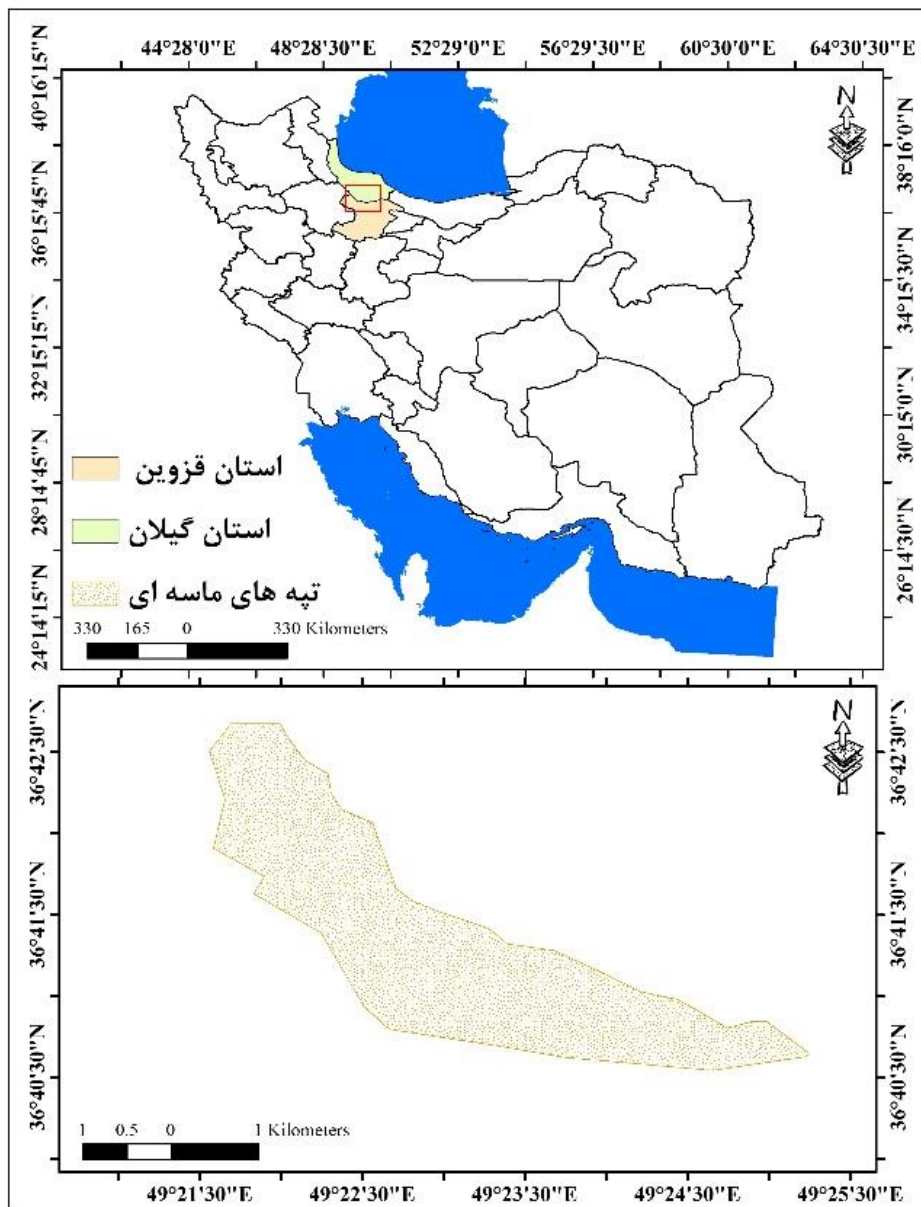
4- Normalized Dust Difference Index

5- Bogle

6- Tsoar

7- Ceará

8- Amgalan



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی تپه‌ی ماسه‌ای قزوین

۳- مواد و روش‌ها

جهت انجام تحقیق حاضر نیاز به مقادیر متوسط ماهیانه‌ی عناصر اقلیمی دما و بارندگی و داده‌های ساعتی مربوط به میدان دید افقی، سرعت و جهت باد و کد پدیده‌های مختلف گردوغبار است. به‌طورکلی، ۱۰۰ کد هواشناسی (۹۹-۰۰) توسط سازمان جهانی هواشناسی برای پدیده‌های مختلف تعریف شده که از بین آن‌ها، ۱۰ کد بیانگر گردوغبارهای محلی و یک کد (۰۶) بیانگر رویدادهای فرامحلی است. توضیحات مربوط به این کدها در جدول (۱) ارائه شده است. داده‌های مورد نیاز برای دوره‌ی آماری (۲۰۱۶-۱۹۹۴) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است.

جدول ۱: کدهای تعریف شده توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بیان پدیده‌ی گردوغبار ناشی از فرسایش بادی

کد هواشناسی	نام علمی	توضیحات
۰۷	گردوخاک	گردوغبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است
۰۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن
۰۹	توفان	گردوخاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود دارد یا در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است
۳۰	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی ملایم	طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۱	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی ملایم	طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۲	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی ملایم	طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است با دید افقی ۲۰۰-۱۰۰۰ متر
۳۳	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی شدید	طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است با دید افقی کم‌تر از ۲۰۰ متر
۳۴	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی شدید	طی ساعت گذشته شدت توفان تغییری نکرده است با دید افقی کم‌تر از ۲۰۰ متر
۳۵	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی شدید	طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است با دید افقی کم‌تر از ۲۰۰ متر
۹۸	توفان گردوغبار یا ماسه‌ی خیلی شدید یا تندر	توفان‌هایی که در محل ایستگاه یا اطراف آن بلند شده‌اند با دید افقی کم‌تر از ۲۰۰ متر

مراحل انجام پژوهش حاضر شامل پنج مرحله‌ی اصلی است: (۱) محاسبه‌ی تعداد روزهای غبارآلود محلی؛ (۲) تعیین رژیم بادهای غبارآلود منطقه؛ (۳) محاسبه‌ی شاخص لنکستر و شاخص خشکی یونپ؛ (۴) تحلیل ارتباط بین عناصر اقلیمی و شاخص لنکستر و (۵) پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی عوامل اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان. توضیحات مربوط به هر روش در ادامه ارائه شده است.

در گام اول این پژوهش، بر اساس کدهای مندرج در جدول (۱)، روزهای توأم با گردوغبار داخلی از سایر پدیده‌های هواشناسی تفکیک و مقدار متوسط این متغیر مهم اقلیمی برای مقیاس‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه محاسبه گردید. مقادیر متوسط سایر پارامترهای اقلیمی نیز برای مقیاس‌های زمانی مذکور محاسبه شد تا ارتباط بین عوامل اقلیمی و تعداد روزهای غبارآلود در منطقه‌ی مطالعاتی بررسی شود.

به منظور تعیین جهت بادهای غبارآلود محلی از داده‌های ساعتی مربوط به سرعت و جهت باد در ساعات غبارآلود محلی استفاده گردید. در حالی که برای تعیین جهت بادهای فرامحلی از داده‌های مربوط به کد ۰۶ که بیانگر گردوغبارهای نشأت گرفته از خارج ایستگاه است، استفاده شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار WRPLOT نقشه‌ی گل‌بهارهای منطقه‌ی مطالعاتی تهیه گردید.

در گام سوم، اقدام به محاسبه‌ی شاخص لنکستر جهت بررسی میزان تحرک‌پذیری ماسه‌های روان منطقه‌ی مطالعاتی شد. این شاخص به‌طور گسترده‌ای توسط ژئولوژیست‌ها و ژئومورفولوژیست‌ها برای تعیین تپه‌های ماسه‌ای فعال یا تثبیت‌شده مورد استفاده قرار گرفته و می‌تواند برای دهه‌های آینده نیز قابل پیش‌بینی باشد. بررسی تحرک تپه‌های ماسه‌ای و شن‌زارها در قسمت‌های مختلف جهان، شاخص‌های متفاوتی از فرسایش بادی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهد. همه‌ی آن‌ها بر اساس دو فاکتور که تحرک تپه‌های ماسه‌ای را کاهش یا افزایش می‌دهند،

شکل گرفته‌اند. فاکتور اول مربوط به درجه‌ی بادخیزی است (W) که به‌صورت درصد سالانه روزهایی که سرعت باد بیش‌تر از سرعت آستانه‌ی حرکت ماسه است، بیان می‌شود. اگر درجه‌ی بادخیزی (W) افزایش پیدا کند، بیش‌تر تپه‌های ماسه‌ای به‌صورت متحرک درمی‌آیند. فاکتور دوم که رشد پوشش گیاهی به آن بستگی دارد، به‌صورت نسبت بین متوسط بارندگی سالانه‌ی (P) و تبخیر پتانسیل (PET) سالانه بیان می‌شود که به این نسبت، "بارندگی مؤثر" نیز گفته می‌شود. پایه و اساس این مدل که تحت عنوان شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ی لنکستر (Lancaster, 1989: 276) شناخته می‌شود، بر اساس مدل توسعه‌یافته‌ی فرسایش بادی چپیل و همکاران است (Chepil et al, 1965:290). در این مدل، میزان تحرک ماسه‌ی (M) از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

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

در این رابطه: M = میزان فعالیت رسوبات بادی، W = درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش‌تر از سرعت آستانه‌ی فرسایش (۱۲ نات معادل ۶ متر بر ثانیه) در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، P = میانگین بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر، PET = تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه برحسب میلی‌متر که در تحقیق حاضر با استفاده از روش تورنت وایت محاسبه شده است. شاخص M در معادله‌ی ۱ توسط لنکستر به‌صورت جدول ۲ درجه‌بندی شده است:

جدول ۲: تعیین وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ای بر اساس شاخص لنکستر (M)

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

در این مرحله، از شاخص خشکی یونپ (P/PET) که توسط کنوانسیون سازمان ملل متحد برای مقابله با بیابان‌زایی (UNCCD) نیز تأیید شده، جهت تعیین نوع اقلیم حاکم بر منطقه و خطر بیابان‌زایی استفاده گردید (جدول ۳). در مرحله‌ی چهارم، به‌منظور 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 تپه‌های ماسه‌ای متأثر از تغییرات شاخص خشکی بوده، از ضریب تعیین حاصل از برازش بین پارامترهای مذکور (R²) استفاده شد و نمودار پراکنش نقطه‌ای حاصل، ارائه گردید. دامنه‌ی تغییرات R² بین ۰ تا ۱+ متغیر است و معیاری مناسب جهت سنجش ارتباط بین متغیرهای مختلف است.

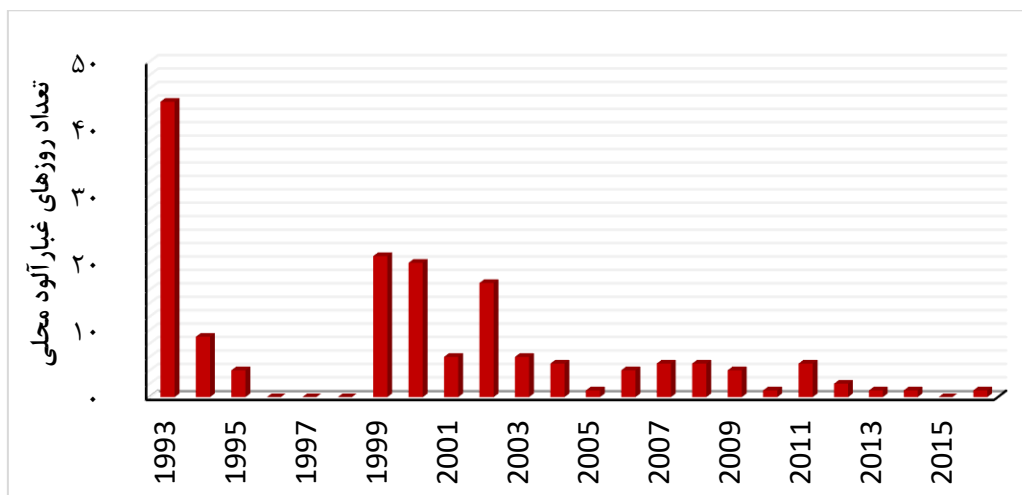
جدول ۳: طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس شاخص خشکی یونپ

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

در نهایت، به منظور بررسی اثر احتمالی تغییر عناصر اقلیمی بر تحرک پذیری ماسه‌های روان و تشدید پدیده گردوغبار، پس از محاسبه‌ی میزان فعالیت رسوبات بادی، با استفاده از روش تحلیل حساسیت^۹، میزان تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی مدل تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، آنالیز حساسیت روشی برای تغییر دادن ورودی‌های یک مدل آماری به صورت سازمان یافته (سیستماتیک) است که بتوان تأثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد. استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و نیز تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این موضوع و اینکه برخی از عناصر اقلیمی شاخص مانند باران، باد و تبخیر در میزان تحرک ماسه‌های روان تأثیر به‌سزایی دارند، بنابراین متغیرهای مورد نظر در دامنه‌ای معقول تغییر داده می‌شوند و اثر این تغییرات در خروجی مدل؛ یعنی میزان حرکت ماسه محاسبه می‌شود. به این ترتیب، حساسیت تحرک‌پذیری ماسه‌ها در مقابل افزایش یا کاهش هر یک از متغیرها مشخص می‌شود و چنانچه میزان باران در آینده کاهش یا افزایش یابد و یا اینکه مسائل گرمایش جهانی منجر به تبخیر بیش‌تر و یا کاهش یا افزایش میزان باد شود، وضعیت احتمالی این تغییرات مشخص می‌شود.

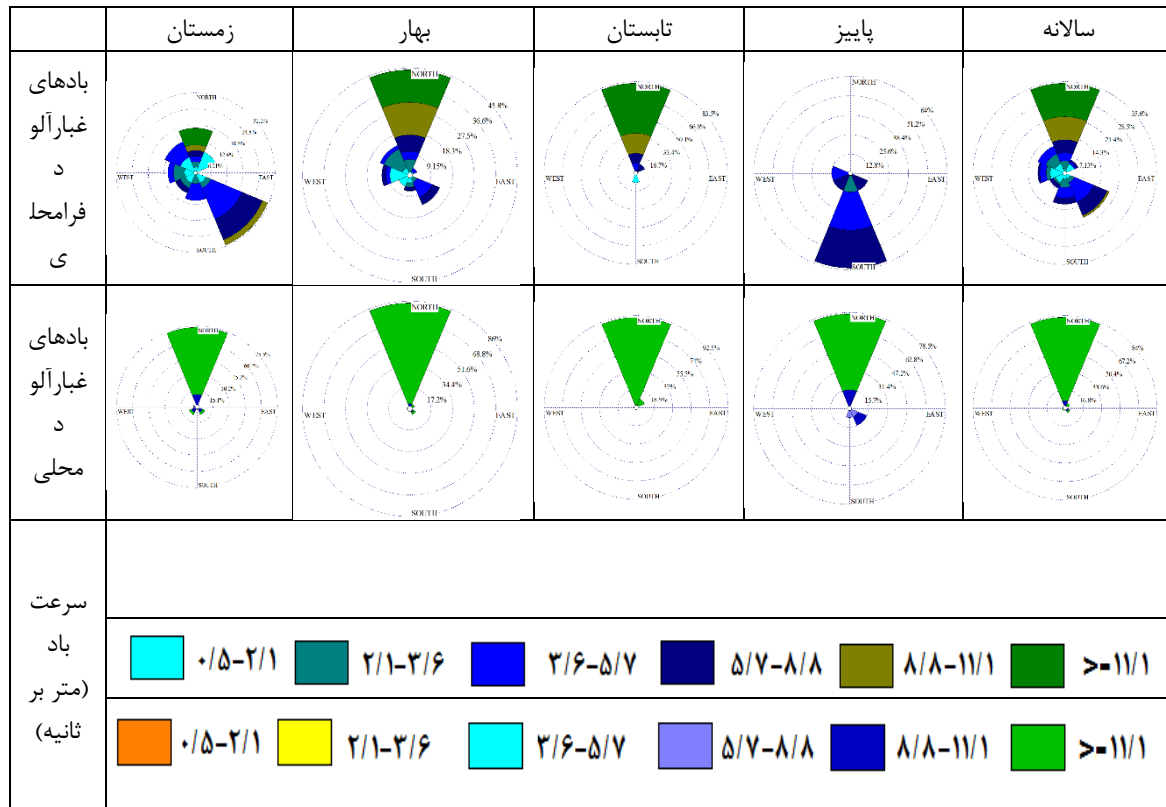
۳- نتایج و بحث

تعداد روزهای غبارآلود محلی در شهرستان منجیل در شکل (۲) نشان داده شده است.



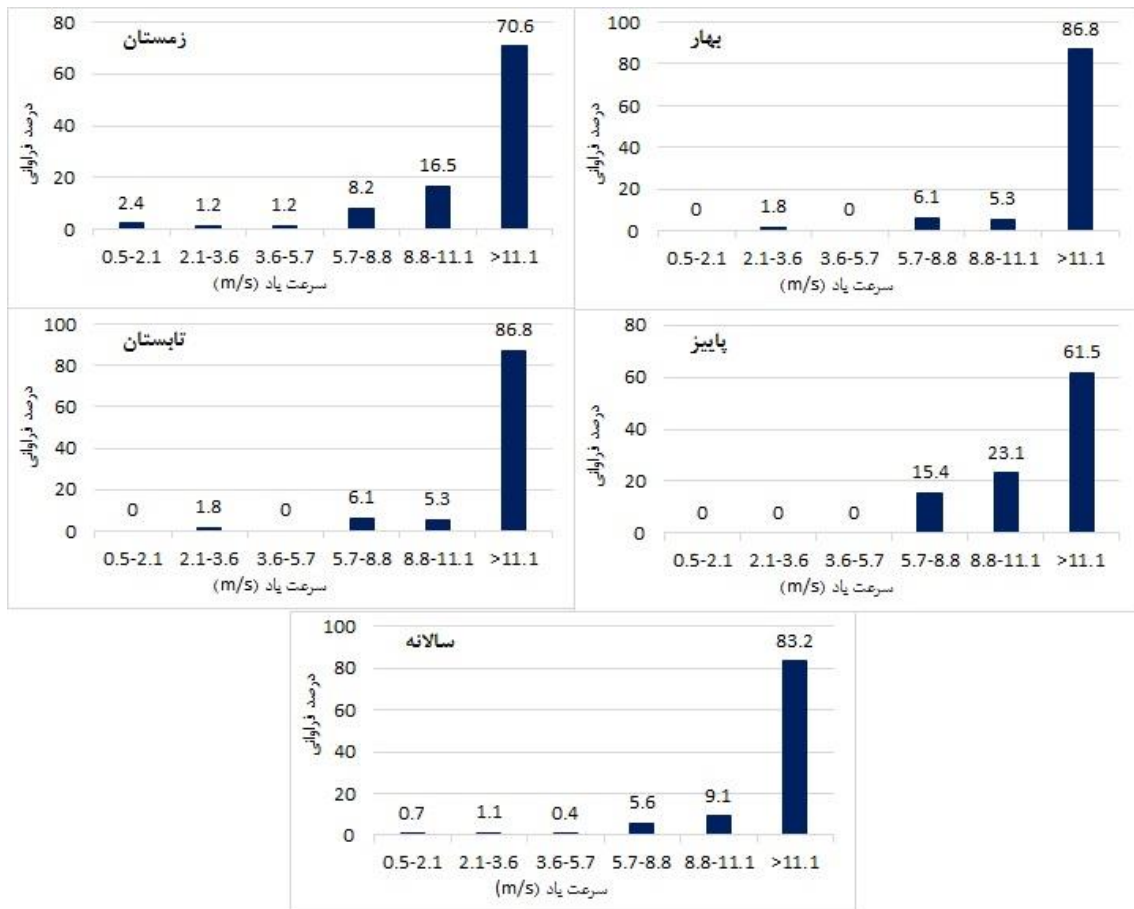
شکل ۲: تعداد روزهای غبارآلود محلی در شهرستان منجیل (بازه‌ی زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۶)

آن‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، اوج رخدادهای محلی در سال‌های ۱۹۹۳ (۴۴ روز)، ۱۹۹۹ (۲۱) روز غبارآلود) ۲۰۰۰ (۲۰ روز غبارآلود) و ۲۰۰۲ (۱۷ روز غبارآلود) به وقوع پیوسته؛ این در حالی است که برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ و همچنین ۲۰۱۵ هیچ رویداد محلی گزارش نشده است. روند کلی تغییرات روزهای توأم با گردوغبار، سیر نزولی داشته و این نتیجه می‌تواند بیانگر کاهش روند تخریب ناشی از رخداد فرسایش بادی و افزایش کیفیت هوا در این منطقه باشد. نتایج حاصل از بررسی جهت بادهای غالب فرامحلی و محلی (شکل ۳) نشان داد که جهت غالب بادهای غبارآلود فرامحلی در فصول بهار و تابستان و در مقیاس سالانه از سمت شمال، در پاییز! از سمت جنوب و در پاییز! از سمت جنوب شرق بوده است؛ این در حالیست که جهت غالب بادهای محلی در تمامی مقیاس‌های زمانی از سمت شمال بوده است.



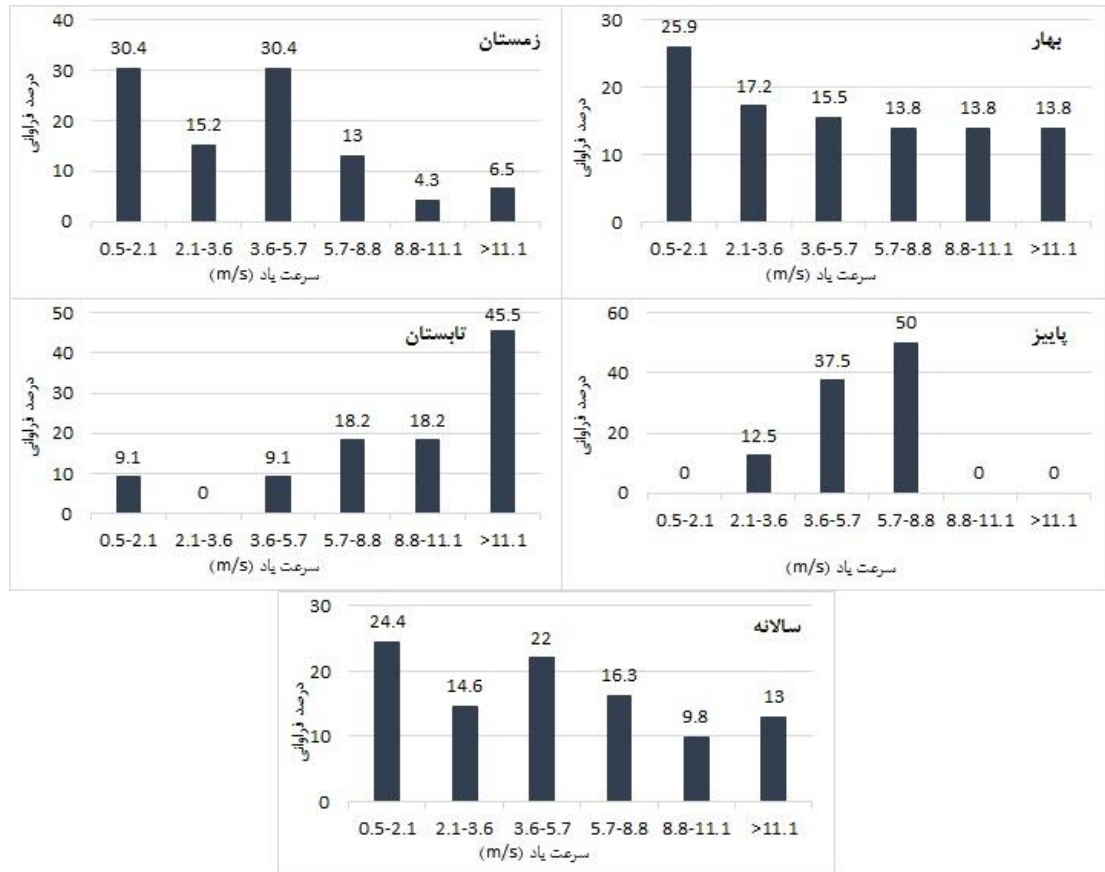
شکل ۳: جهت بادهای غالب فرامحلی و محلی شهرستان منجیل

نتایج حاصل از تحلیل توزیع فراوانی طبقات مختلف سرعت بادهای غبارآلود محلی (شکل ۴) نشان داد که در مقیاس سالیانه، ۸۳/۲٪ از بادهای غبارآلود محلی با سرعت بیش‌تر از ۱۱ متر بر ثانیه وزیده‌اند و ۱۶/۸٪ بادهای محلی با سرعت کم‌تر از ۱۱ متر بر ثانیه داشته‌اند. در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز نیز به ترتیب ۷۰/۶٪، ۸۶/۸٪، ۹۵/۹٪ و ۶۱/۹۵٪ بادهای غبارآلود محلی با سرعت بیش‌تر از ۱۱ متر بر ثانیه و ۲۹/۴٪، ۱۳/۲٪، ۴/۱٪ و ۳۸/۰۵٪ بادهای محلی با سرعت کم‌تر از نواحی شمالی به سمت این ایستگاه جریان داشته‌اند. این نتایج بیانگر آن است که بادهای محلی با سرعت بالاتر از ۱۱ متر بر ثانیه، سهم بیش‌تری در غبارآلودگی هوای شهرستان منجیل طی فصول مختلف سال داشته‌اند. بادهای فرامحلی در زمستان، بهار و در مقیاس سالیانه با سرعت کم‌تر از ۵/۷ متر بر ثانیه و در فصول تابستان و پاییز اغلب با سرعتی بیش از ۵/۷ متر بر ثانیه به سمت این منطقه جریان داشته‌اند (شکل ۵).



شکل ۴: درصد فراوانی طبقات مختلف سرعت بادهای غبارآلود محلی.

به‌طورکلی، درصد فراوانی سالانه‌ی طبقات مختلف سرعت بادهای غبارآلود محلی در ایستگاه سینوپتیک منجیل طی دوره‌ی آماري ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۶ حاکی از آن است که در این ایستگاه ۰/۷٪ بادهای با سرعت بین ۰/۵-۱/۲ متر بر ثانیه، ۱/۱٪ با سرعت بین ۱-۶ متر بر ثانیه. ۰/۴٪ با سرعتی بین ۵/۷ - ۳/۶ متر بر ثانیه، ۵/۶٪ با سرعت بین ۸/۸ - ۵/۷، ۹/۱٪ با سرعت ۸/۸-۱۱/۱ متر بر ثانیه و ۸۳/۲٪ با سرعت بیش از ۱۱ متر بر ثانیه وزیده‌اند. به‌عبارت‌دیگر، کم‌تر از ۱۰٪ بادهای سرعتی کم‌تر از حد آستانه‌ی فرسایش بادی (۱۲ نات) و بیش‌تر از ۹۰٪ آن‌ها سرعتی بیش‌تر از ۱۲ نات داشته‌اند. نیک‌اندیش و قمصری (۱۳۹۷) گزارش کرده‌اند که جهت باد غالب در شهرستان منجیل، شمالی با میانگین سالانه‌ی سرعت باد در منجیل، ۱۱/۵ متر بر ثانیه است و تنها در ۹/۵ درصد سال بادهای آرام در این منطقه حاکم هستند که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش همخوانی دارد. یکی از علل احتمالی تغییرات در فراوانی وقوع رویدادهای محلی در این منطقه، تغییر وضعیت تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای محدوده ایستگاه منجیل است. اگرچه جهت غالب وزش بادهای غبارآلود محلی از نواحی شمالی به سمت این شهرستان است، اما به علت نوسانات زیاد جریان‌های هوا شاید بتوان چنین فرضیه‌ای را اثبات و مشخص کرد که چه میزان از تغییرات رخدادهای گردوغبار به دلیل تغییر وضعیت تپه‌های ماسه‌ای محدوده‌ی آن بوده است؟

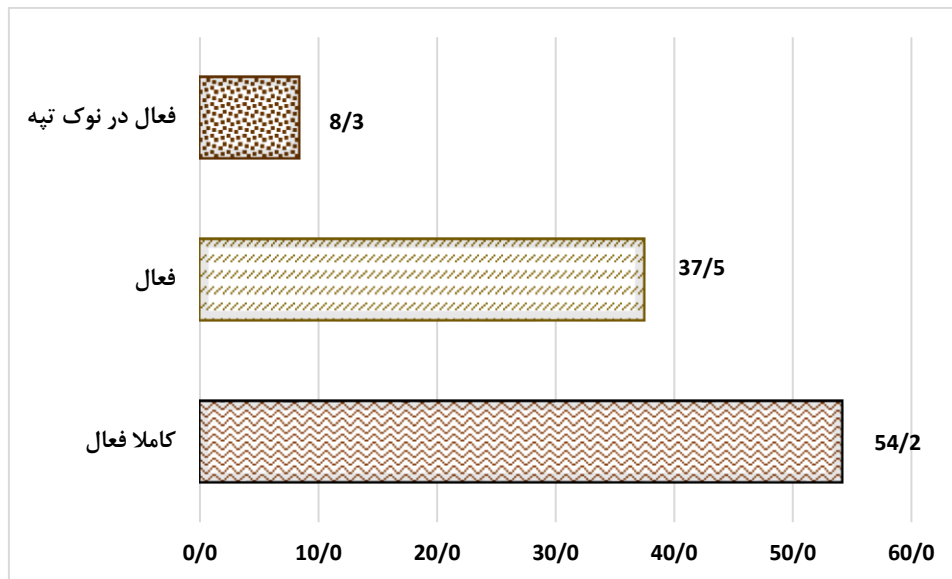


شکل ۵: درصد فراوانی طبقات مختلف سرعت بادهای غبارآلود فرامحلی

مقادیر شاخص سالانه‌ی لنکستر مربوط به ایستگاه سینوپتیک منجیل که بیانگر میزان تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای محدوده‌ی این شهرستان است، در جدول (۲) و درصد فعالیت آن‌ها در کل بازه‌ی زمانی موردبررسی، در شکل (۶) نشان داده شده‌اند.

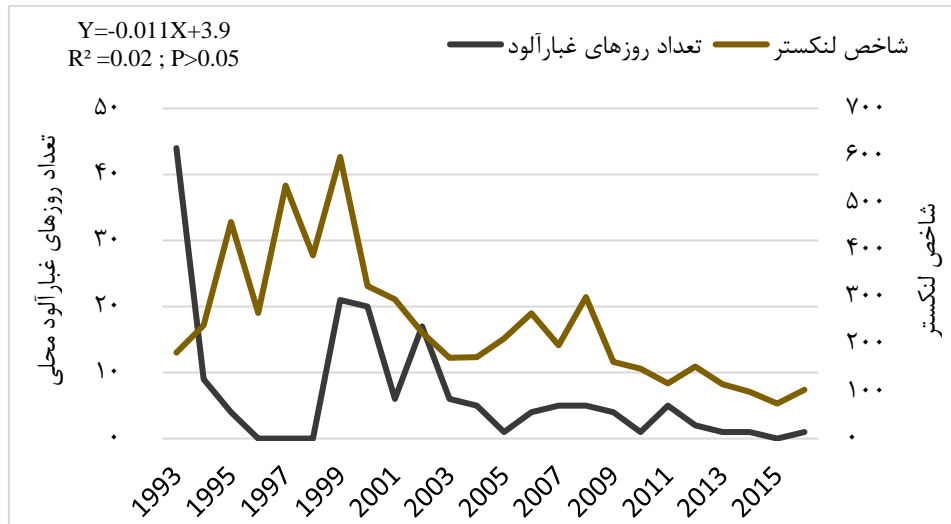
جدول ۲: مقادیر سالانه‌ی شاخص لنکستر در ایستگاه سینوپتیک منجیل (۲۰۱۶-۱۹۹۳)

سال آمار	M	وضعیت	سال	M	وضعیت
۱۹۹۳	۱۸۲/۳	فعال	۲۰۰۵	۲۱۲	کاملاً فعال
۱۹۹۴	۲۴۰/۳	کاملاً فعال	۲۰۰۶	۲۶۵/۶	کاملاً فعال
۱۹۹۵	۴۵۹/۳	کاملاً فعال	۲۰۰۷	۱۹۷/۸	فعال
۱۹۹۶	۲۶۶/۲	کاملاً فعال	۲۰۰۸	۳۰۰	کاملاً فعال
۱۹۹۷	۵۳۶/۴	کاملاً فعال	۲۰۰۹	۱۶۲/۵	فعال
۱۹۹۸	۳۸۸/۶	کاملاً فعال	۲۰۱۰	۱۴۸/۳	فعال
۱۹۹۹	۵۹۷/۲	کاملاً فعال	۲۰۱۱	۱۱۷/۱	فعال
۲۰۰۰	۳۲۳/۵	کاملاً فعال	۲۰۱۲	۱۵۲/۸	فعال
۲۰۰۱	۲۹۵/۱	کاملاً فعال	۲۰۱۳	۱۱۵/۴	فعال
۲۰۰۲	۲۲۴/۹	کاملاً فعال	۲۰۱۴	۹۹	فعال در نوک تپه
۲۰۰۳	۱۷۱/۲	فعال	۲۰۱۵	۷۴/۳	فعال در نوک تپه
۲۰۰۴	۱۷۲/۷	فعال	۲۰۱۶	۱۰۳/۳	کاملاً فعال

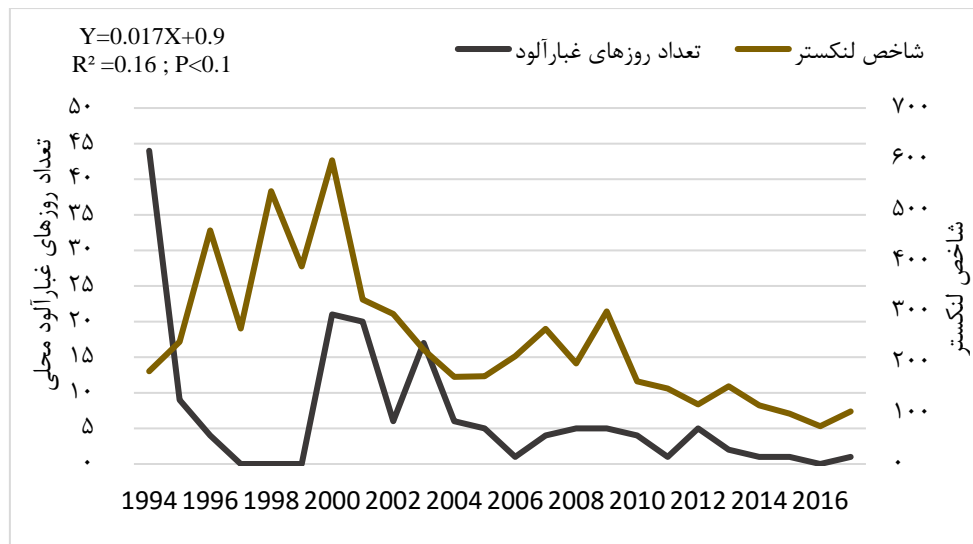


شکل ۶: میزان وضعیت فعالیت رسوبات بادی در ایستگاه سینوپتیک منجیل (۱۹۹۳-۲۰۱۶)

بر اساس نتایج مندرج در جدول (۲) و شکل (۶)، در ۵۴٪ سال‌های مطالعاتی (۱۳ سال) وضعیت تپه‌های ماسه‌ای کاملاً فعال و در ۳۸٪ سال‌های بازه‌ی زمانی موردبررسی (۹ سال) وضعیتی فعال داشته‌اند. فقط سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵، تپه‌ها وضعیتی پایدارتر نسبت به دیگر سال‌ها داشته‌اند که بیش‌ترین میزان تحرک در رأس تپه‌ها بوده است. نتایج حاصل از تحلیل ارتباط بین شاخص لنکستر و تعداد روزهای غبارآلود محلی نشان داد که میزان تأثیرپذیری روزهای غبارآلود محلی منطقه‌ی مطالعاتی از فعالیت تپه‌های ماسه‌ای، تنها ۲٪ بوده است (شکل ۷) که با توجه به جهت بادهای غالب غبارآلود، این نتیجه منطقی است. در حقیقت بر اساس نقشه‌ی گل‌بارها و موقعیت شهرستان منجیل نمی‌توان اذعان کرد که این شهرستان در کریدور جریان عبوری بادهای غبارآلود واقع شده است، اما بررسی دقیق‌تر نمودار تغییرات شاخص لنکستر و تعداد روزهای غبارآلود نشان می‌دهد که این مقدار بسیار پایین همبستگی به دلیل انطباق خیلی ضعیف این متغیرها در سال ۱۹۹۳ است که با صرف‌نظر از مقادیر مربوط به این سال، همبستگی نسبتاً قوی و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۰٪ بین تعداد روزهای غبارآلود محلی و شاخص لنکستر در سایر سال‌های آماری (۱۹۹۴-۲۰۱۶) برقرار است (شکل ۸). لذا در تحلیل داده‌های هواشناسی، تغییر طول دوره‌ی آماری حتی به میزان کم می‌تواند به میزان قابل‌توجهی نتایج را تغییر دهد. درواقع این نتایج بیانگر آن است که برای تحلیل تأثیرپذیری کیفیت هوای یک منطقه از لندفرم‌های مجاور به اطلاعات هواشناسی، زمین‌شناسی، مشخصات فیزیکی و شیمیایی سطح زمین نیاز است که در راستای اهداف تحقیق حاضر نیست و می‌تواند در تحقیقات آتی بدان‌ها پرداخته شود.



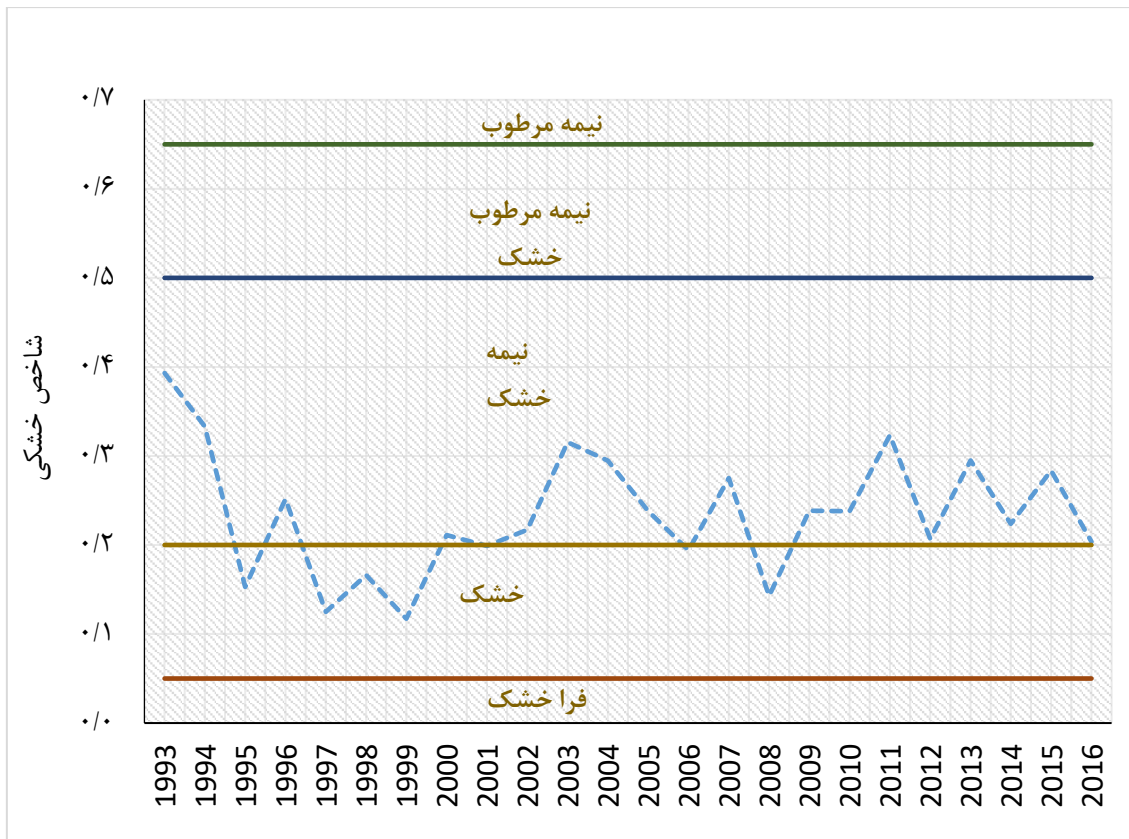
شکل ۷: تغییرات سالانه‌ی شاخص لنکستر و روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه سینوپتیک منجیل (۱۹۹۳-۲۰۱۶)



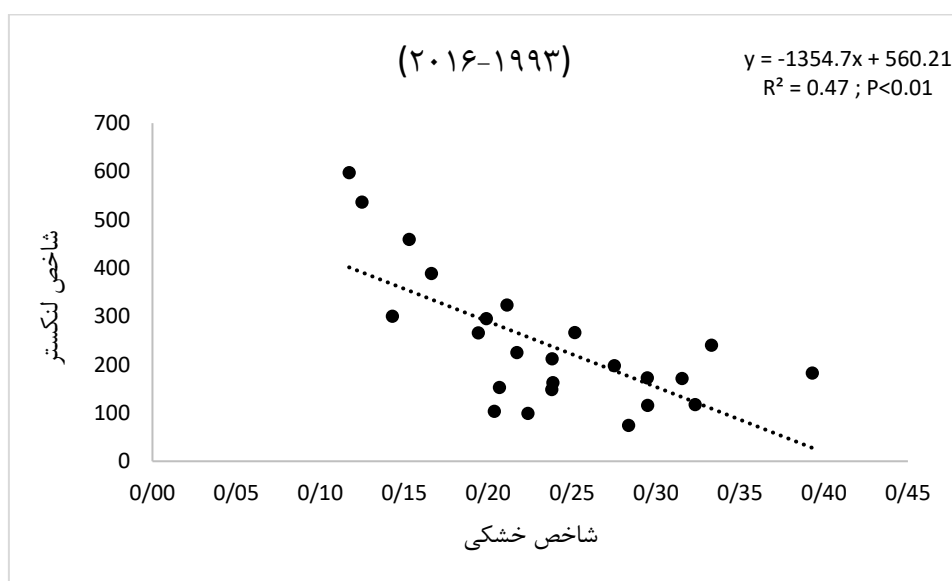
شکل ۸: تغییرات سالانه‌ی شاخص لنکستر و روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه سینوپتیک منجیل (۱۹۹۴-۲۰۱۶)

نظر به اینکه هدف اصلی تحقیق حاضر، شناسایی علل تحرک‌پذیری ماسه‌های روان شمال غرب استان قزوین و پیش‌بینی وضعیت آن‌ها در آینده است، لذا در ادامه صرفاً به این موضوع پرداخته می‌شود. روند تغییرات شاخص لنکستر، سیر نزولی وقوع پدیده‌ی فرسایش بادی را در این منطقه نشان می‌دهد. در مطالعه‌ی توکلی فرد (۱۳۹۱: ۸۵) نیز کاهش فعالیت ماسه‌های روان در اطراف شهرستان کاشان گزارش شده است که این نتایج حکایت از بهتر شدن کیفیت هوای این مناطق از کشور دارند. نتایج حاصل از تغییرات شاخص خشکی یونپ (شکل ۹) نشان داد که شهرستان منجیل در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ شرایط اقلیمی خشک و در سایر سال‌ها، شرایط اقلیمی نیمه‌خشک را تجربه کرده است. به عبارت دیگر در سال‌هایی که اقلیم خشک بر این منطقه حاکم بوده، شهرستان منجیل در معرض خطر بیابان‌زایی بسیار شدید و در دیگر سال‌ها در معرض خطر بیابان‌زایی شدید قرار داشته است. تغییر وضعیت اقلیم در این منطقه در نهایت منجر به تغییر میزان فعالیت رسوبات بادی به میزان ۴۷٪ در سال‌های (۱۹۹۳-۲۰۱۶) و به میزان ۴۰٪ در دهه‌ی آخر (۲۰۱۶-۲۰۰۶) شده است (شکل ۱۰ و ۱۱). خشک بودن شرایط اقلیمی حاکم بر شهرستان اراک که در نزدیکی محدوده‌ی مطالعاتی واقع شده است، در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۶ توسط

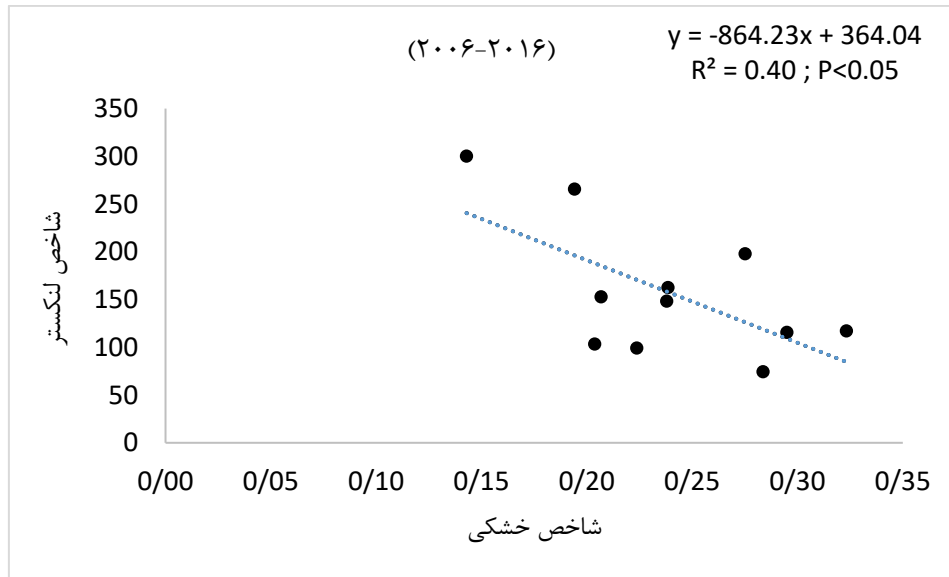
ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۸: ۱۰) و حاکمیت شرایط خشک بر بیش تر نواحی ایران در سال ۲۰۰۸ توسط بروغنی و همکاران (۱۳۹۶: ۱۵) به اثبات رسیده است که تقریباً با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. دلیل وجود اختلاف اندک در ارائه‌ی نتایج محققان گوناگون، متفاوت بودن شرایط اقلیمی مناطق مختلف جغرافیایی و نوع شاخص به‌کاررفته جهت تعیین اقلیم در این مطالعات است.



شکل ۹: روند تغییرات سالیانه‌ی شاخص خشکی در ایستگاه سینوپتیک منجیل (۱۹۹۳-۲۰۱۶).

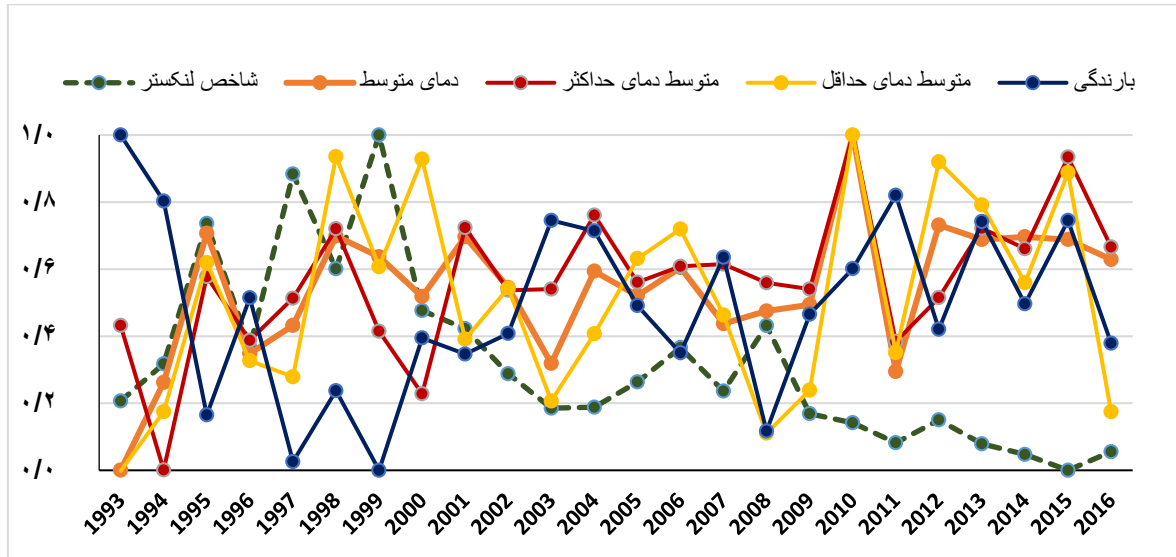


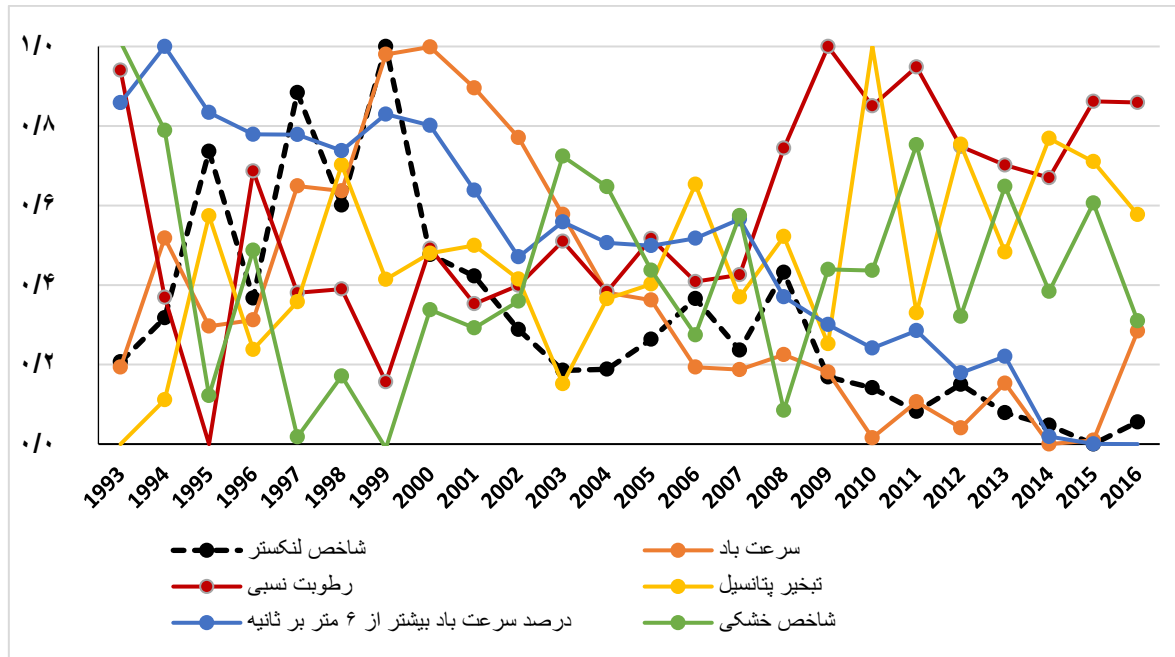
شکل ۱۰: نمودار پراکنش نقطه‌ای بین شاخص لکستر و شاخص خشکی یونپ در کل بازه‌ی زمانی



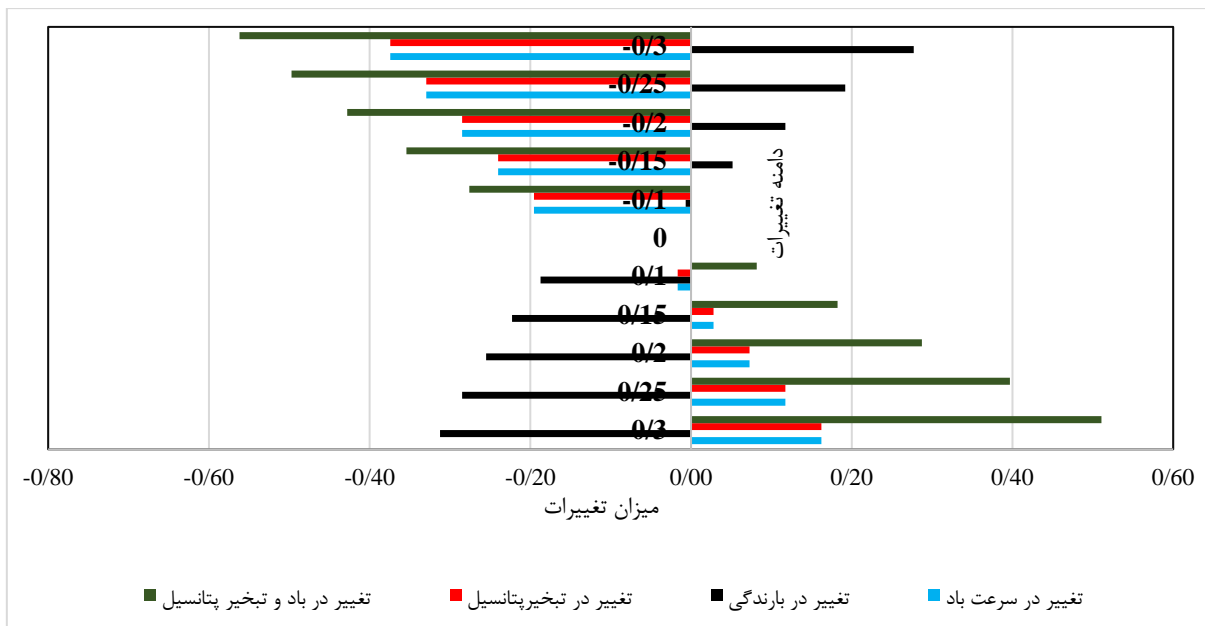
شکل ۱۱: نمودار پراکنش نقطه‌ای بین شاخص لنکستر و شاخص خشکی یونپ در دهه‌ی آخر

به منظور درک بهتر روند تغییرات عناصر اقلیمی و همچنین شاخص لنکستر، نمودار تغییرات آن‌ها بر اساس داده‌های استانداردشده در شکل (۱۱) نشان داده شده است. سپس نمودار تحرک‌پذیری ماسه‌های روان بر اساس پارامترهای اقلیمی دخیل در رابطه‌ی لنکستر بر اساس آزمون تحلیل حساسیت، تهیه و ترسیم گردید. نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۱۲) نشان داده شده است.





شکل ۱۱: مقادیر استاندارد شده عناصر اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک منجیل (۲۰۱۶-۱۹۹۳) (دو نمودار بالا)



شکل ۱۲: پیش‌بینی تحرک‌پذیری ماسه‌های روان در محدوده‌ی شهرستان منجیل بر اساس آزمون تحلیل حساسیت

برای بازه‌ی زمانی طولانی‌مدت (۲۰۱۶-۱۹۹۳)، مقدار متوسط بارندگی در ایستگاه منجیل، ۲۱۷/۱ میلی‌متر، تبخیر پتانسیل ۹۲۹/۵ میلی‌متر، درصد بادهای فرسایش‌زا، ۵۰/۵ درصد و مقدار شاخص لنکستر ۲۴۱/۹ تخمین زده شده است. تپه‌های ماسه‌ای شمال غرب استان قزوین که در محدوده‌ی این ایستگاه پراکنده شده‌اند، در گذشته اغلب وضعیت فعال در نوک تپه‌ها و کاملاً فعالی را تجربه کرده‌اند. بر اساس آزمون تحلیل حساسیت مشخص شد که اگر در آینده، فراوانی بادهای فرسایش‌زا و یا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به اندازه‌ی حداقل ۱۰ درصد کاهش یابد، مقدار شاخص لنکستر از ۲۴۱/۹ به ۱۹۴/۶ کاهش خواهد یافت و وضعیت کاملاً فعال آن‌ها به وضعیت پایدارتری تغییر خواهد کرد، اما تغییرات کاهشی بیش از ۳۰ درصدی نیاز خواهد بود تا به وضعیت غیرفعال برسند. حتی اگر این دو

پارامتر اقلیمی به‌طور هم‌زمان به میزان ۳۰ درصد کاهش یابند، تپه‌ها همچنان فعال خواهند بود، مگر آنکه این عوامل به‌طور هم‌زمان به ۴۰ درصد تقلیل یابند؛ اما پیش‌بینی شده با افزایش بارندگی به میزان ۱۰ درصد، وضعیت تحرک تپه‌ها از کاملاً فعال به فعال تغییر خواهد کرد. با افزایش بارندگی‌ها تا ۳۰ درصد متوسط طولانی‌مدت، رسوبات بادی فعالیت خود در نوک تپه‌ها را آغاز خواهند کرد و این نشان می‌دهد که برای رسیدن به وضعیت پایدار و غیرفعال، تغییرات افزایشی قابل‌توجه‌تری باید در میزان بارندگی‌های این منطقه به وقوع بپیوندد. به‌طور کلی در محدوده‌ی این ایستگاه، کاهش ۳۰ درصدی فراوانی بادهای فرسایش‌زا و تبخیر و تعرق منجر به کاهش ۱۶ درصدی تحرک رسوبات بادی خواهد شد و اثر کاهشی و هم‌زمان این دو پارامتر، کاهش ۵۶ درصدی فعالیت آن‌ها را به دنبال خواهد داشت. این در حالی است که کاهش ۳۰ درصدی و مستقل بارندگی‌های این منطقه منجر به افزایش ۲۸ درصدی تحرک تپه‌ها و افزایش بارندگی‌ها به همین میزان، منجر به کاهش ۳۱ درصدی فعالیت رسوبات بادی محدوده‌ی شهرستان منجیل خواهد شد.

۴- نتیجه‌گیری

تپه‌های ماسه‌ای یکی از مهم‌ترین لندفرم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند که میزان تحرک آن‌ها بسته به عوامل اقلیمی به‌ویژه سرعت و فراوانی بادهای فرسایش‌زا، بارندگی و میزان تبخیر و تعرق متغیر است، لذا پایش عوامل اقلیمی به همراه تحلیل رویدادهای گردوغبار می‌تواند گامی مثبت در راستای شناخت عوامل مؤثر بر فعالیت آن‌ها و پیش‌بینی وضعیت تحرک‌پذیری‌شان در آینده باشد، لذا انجام پژوهش‌هایی با این محوریت جهت کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی مرتبط با آن‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف اصلی تحلیل وضعیت تحرک‌پذیری ماسه‌های روان محدوده‌ی شهرستان منجیل در گذشته و پیش‌بینی شرایط آن‌ها در آینده انجام گرفت. نتایج نشان داد که در سال‌های ابتدایی بازه‌ی زمانی موردبررسی (۲۰۱۶-۱۹۹۳)، شهرستان منجیل در معرض خطر بیابان‌زایی خیلی شدید قرار داشته، اما به دلیل بهتر شدن شرایط اقلیمی، از میزان این خطر در سال‌های پایانی کاسته شده است. پیش‌بینی می‌شود که تغییر توأم عناصر اقلیمی به‌ویژه سرعت بادهای فرسایش‌زا و تبخیر و تعرق در آینده بتواند شدت بیابان‌زایی را در این منطقه از کشور تحت تأثیر قرار دهد.

۵- منابع

۱. ابراهیمی خوسفی، زهره، خسروشاهی، محمد، نعیمی، مریم، زندی‌فر، سمیرا (۱۳۹۸). ارزیابی و پایش تغییرات رطوبت تالاب میقان با استفاده از تکنیک دورسنجی و ارتباط آن با شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی. سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال دهم، شماره‌ی دوم، صص ۱۴-۱.
۲. بروغنی، مهدی، مرادی، حمیدرضا، زنگنه اسدی، محمدعلی، پورهاشمی، سیما (۱۳۹۶). ارزیابی نقش خشک‌سالی بر فراوانی وقوع گردوغبار در استان خراسان رضوی. فصلنامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست. صص ۱۲۱-۱۰۹.
۳. توکلی فرد، اصغر (۱۳۹۱). بررسی مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط آن با رژیم بادی (مطالعه‌ی موردی: ارگ کاشان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ۱۰۶ ص.
۴. خیراندیش، زهرا، بذاق جمالی، جواد، رایگانی، بهزاد (۱۳۹۷). شناسایی بهترین الگوریتم تشخیص گردوغبار به کمک داده‌های مودیس. تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی. دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۴، صص ۲۲۰-۲۰۷.
۵. نیک‌اندیش، نسرين، اکبری قمصری، هدیه (۱۳۹۷). تحلیل عوامل ژئومورفوکلیمایی در آفرینش باد محلی منجیل، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال یازدهم، شماره‌ی ۴۲، صص ۱۳۹-۱۲۵.
6. 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*, Volum 41, pp 100539.

7. Amgalan, G., Liu, G.R., Lin, T.H., Kuo, T.H. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. Volum 28, Issue 1, pp 23- 32.
8. Alipour, A., M. Hashemi, F. Pazhooh, M., Naserzade, H. (2017). Recognize and Compare the of Iran's Deserts from the Aspect of Geomorphology and Climatology (case study: Iran's east and central areas desert). pp 21-34.
9. Ashkenazy, Y., Yizhaq, H., Tsoar, H., (2012). Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian Deserts, *Climatic Change*, Volum 12, Issue 3, pp 1-23.
10. 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*, Volum 228, pp.41-51.
11. Cao, Hui, Jian Liu, Guizhou Wang, Guang Yang, and Lei Luo. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran." *Journal of Arid Land*7, Volum 5, pp 567-578.
12. Chepil, W., (1956). Influence of Moisture on Erodibility of Soil by Wind 1. *Soil Science Society of America Journal*. Volum 20, pp 288-292.
13. 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*, Volum 487, pp.82-90.
14. 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*, pp 1-25.
15. Guan, Qingyu, Xiazhong Sun, Jing Yang, Baotian Pan, Shilei Zhao, and Lei Wang. (2017). Dust storms in northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls." *Journal of Climate*. Volum 30, Issue 17, pp 6683-6700.
16. Halos, Saadiyah H., and Faten G. Abed. (2019). Effect of spring vegetation indices NDVI & EVI on dust storms occurrence in Iraq." In *AIP Conference Proceedings*, Volum. 2144, Issue 1, pp. 040015. AIP Publishing LLC.
17. Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., and Nastos, P.T. (2007). Aerosol climatology and Discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. *Atmospheric Environment*. Volum 41, pp 7315-7329.
18. Lancaster, N., (1985). Variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. *Sedimentology*. Volum 32, PP 581–593.
19. Lancaster, N., (1989). The dynamics of star dunes: an example from the Gran Desierto, Mexico. *Sedimentology*. Volum 36, PP 273–289.
20. Lancaster, N., Nickling, W.G., McKenna Neuman, C.K., Wyatt, V.E., (1996). Sediment flux and airflow on the stoss slope of a barchan dune. *Geomorphology*. Volum 17, pp 55–62.
21. Martínez, M. Luisa, Rosario Landgrave, Rodolfo Silva, and Patrick Hesp. (2019). Shoreline Dynamics and Coastal Dune Stabilization in Response to Changes in Infrastructure and Climate." *Journal of Coastal Research*. Volum 92, Issue, PP 12-16.
22. Middleton, N. J. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian research*. Volum 24, pp 53-63.
23. Rodgers, Susan, Nicholas O'Keefe, (2019). Factors affecting dune mobility in Newborough, Wales." In *X JORNADAS DE GEOMORFOLOGÍA LITORAL*, pp. 129.
24. Samadi, M. Darvishi Bolorani, A. Alavipanah, S, K. Mohamadi, H. Najafi, M, S. (2014). Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection. *Environmental Health Science & Engineering*. Volum 12, Issue 1, pp 1-14.
25. Tsoar, H., Levin, N., Porat, N., Maia, L., Herrmann, H., Tatumi, S. H., Sales, V. C., (2009). The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Cear´a State (NE Brazil). *Quat. Res.* 71 (2), 217–226.

26. Zhang, Xiao-Xiao, Brenton Soharratt, Lian-You Liu, Zi-Fa Wang, Xiao-Le Pan, Jia-Qiang Lei, Shi-Xin Wu et al. (2018). East Asian dust storm in May 2017: observations, modelling, and its influence on the Asia-Pacific region. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Volum 18, Issue 11, pp 8353-8371.