



دانشگاه گواران، دانشکده مهندسی عمران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هشتم، شماره اول، ۱۴۰۰

۱-۲۱

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.18303.3389

مقاله کامل علمی - پژوهشی

بررسی رخدادهای گردوغبار در استان قم با مدل رقومی و مطالعه کاربری اراضی منشأ آن‌ها با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

نیما روحانی^{۱*}، طاهر رجائی^۲، برات مجردی^۳، احسان جباری^۴، مهران حیدری بنی^۵
و سید احمد شفیعی دارابی^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه قم، دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم،

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، ^۳ دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی استان قم،

^۴ دانش‌آموخته دکتری زیست‌شناسی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان قم

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

چکیده

سابقه و هدف: امروزه پدیده گردوغبار یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در جهان است و هرساله خسارات بزرگی به بخش‌های مختلف از جمله صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی، گردشگری و بهداشت وارد می‌کند. طوفان گردوغبار که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند مناطق مرکزی و جنوبی ایران رخ می‌دهد، ذرات معلق بسیاری را با خود حمل می‌کند و فعالیت‌های روزانه انسان و دید افقی را کاهش می‌دهد. طبق اعلام سازمان هواشناسی جهانی، هنگامی که سرعت باد از پانزده متر در ثانیه فراتر رود و مقدار زیادی گردوغبار وارد جو شود تا دید افقی به کم‌تر از ۱۰۰۰ متر برسد، طوفان گردوغبار گزارش می‌شود. گردوغبار ناشی از عوامل طبیعی و هم عوامل انسانی است که جزء انسانی آن عمدتاً پاسخی به تغییر در پوشش خاک و کاربری اراضی است. یکی از اهداف پژوهش حاضر، بررسی موقعیت وقوع و منشأ گردوغبار (مبدأ و مقصد گردوغبار) و جریان‌ها/مسیرهای حرکت طوفان‌های گردوغبار است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، تبخیر، سرعت باد و تعداد روزهای گردوغبار مربوط به سه ایستگاه هواشناسی استان قم از سازمان هواشناسی اخذ شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. هم‌چنین در این مطالعه، برای تعیین منشأهای بالقوه گردوغبار از روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و حداقل فاصله در تصاویر ماهواره لندست استفاده گردید تا کاربری اراضی و جنس خاک مناطق مختلف مشخص گردد. این فرآیند با استفاده از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست استان قم طی ۳۰ سال از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ با فواصل زمانی ۵ ساله و پایش تغییرات این دوره در ۱۱ کلاس مختلف انجام گرفت. در مرحله بعد، با توجه به داده‌های ثبت شده گردوغبار (دید افقی) در ایستگاه هواشناسی شکوهیه/قم که وقوع طوفان گردوغبار مطابق با تعریف سازمان هواشناسی

* مسئول مکاتبه: n.rohani@stu.qom.ac.ir

جهانی را نشان می‌داد، مدل‌سازی پس‌گرد مسیره‌های هوایی با استفاده از مدل هواشناسی HYSPLIT انجام پذیرفت. مسیره‌های پس‌گرد، اگر نزدیک به سطح زمین باشد و منطقه به‌صورت بالقوه قادر به تولید و انتشار گردوغبار از سطح به هوا باشد، می‌تواند منشأ پدیده گردوغبار در نظر گرفته شود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۳۰ منطقه با خاک و پوشش متفاوت به‌عنوان منبع گردوغبار وجود دارد که شامل ۲۰ لکه زمین بایر، ۵ لکه زمین نمکی و ۵ لکه زمین شنی یا ماسه‌ای بود. منابع عمده رخدادهای گردوغباری مطالعه شده (کدهای ۰۶ و ۰۷) استان در این پژوهش، در نیمه شرقی استان، در مجاورت دریاچه نمک و دشت لوت واقع شده است. در قسمت آخر، داده‌های هواشناسی که مستقیماً وقوع طوفان‌های گردوغبار را گزارش می‌دهند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس براساس داده‌های ثبت‌شده و اعمال برخی از شرایط محدودکننده، تاریخ‌های موردنظر انتخاب شد، که طوفان گردوغبار تعریف‌شده توسط سازمان جهانی هواشناسی است. در این پژوهش رخدادهای گردوغبار که با کدهای $w=0.6$ و $w=0.7$ بیان می‌شوند مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. این رخدادهای عمدتاً محلی و منطقه‌ای (در حد داخل کشوری) بوده و عمدتاً رخدادهای نه‌چندان بزرگ را شامل می‌شوند. نگاه توأم به پوشش خاک و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و نیز بررسی رخدادهای گردوغبار اتفاق افتاده از جمله نوآوری‌های این پژوهش به حساب می‌آید.

نتیجه‌گیری: نتایج مدل HYSPLIT نشان می‌دهد که عمده منشأهای رخدادهای گردوغباری مطالعه شده در این پژوهش از مناطق شرقی هم‌جوار مانند استان سمنان، اطراف دریاچه نمک و دشت لوت و غیره است. این طوفان‌ها در نهایت به‌عنوان یک رویداد گردوغبار داخلی در نظر گرفته می‌شوند. برخی از رخدادهای طوفان گردوغبار در تاریخ‌های مورد مطالعه، گردوغبار خارجی بوده‌اند. این رویدادهای عمدتاً از منشأهای خارجی هستند و از کشورهای غربی و جنوب‌غربی ایران مانند عراق، عربستان سعودی و شاید سوریه وارد شده و به‌عنوان گردوغبار خارجی محسوب می‌شوند و عموماً به‌عنوان طوفان‌های شدید گردوغبار تلقی می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: استان قم، انتشار، کاربری اراضی، گردوغبار، HYSPLIT

مقدمه

پدیده گردوغبار امروزه یکی از بزرگ‌ترین معضلات زیست‌محیطی در مناطق مختلف جهان به شمار می‌رود که هر ساله باعث ایجاد خسارات فراوانی به بخش‌های صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی، گردشگری و سلامت انسان می‌گردد (۱۱). پدیده گردوغبار که معمولاً در نواحی خشک و نیمه‌خشک مانند بخش‌های مرکزی، نیمه جنوبی و غربی کشور ایران به فراوانی رخ می‌دهد، مقدار زیادی از ذرات معلق را با خود حمل می‌کند و فعالیت‌های روزانه

انسانی و قابلیت دید افقی را کاهش می‌دهد (۲). براساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی هرگاه سرعت باد از ۵ متر بر ثانیه تجاوز کند و در اثر آن حجمی از گردوغبار وارد جو شود به‌نحوی که میدان دید افقی به کم‌تر از ۱۰۰۰ متر برسد، طوفان گردوغبار گزارش می‌شود. ایجاد گردوغبار بر اثر عوامل طبیعی و انسانی است که بخش انسانی آن عمدتاً نوعی واکنش به تغییر پوشش و کاربری اراضی است. اثرات ناشی از پدیده گردوغبار می‌تواند تا فاصله ۴۰۰۰ کیلومتری از منبع اصلی پراکنش، خسارات فراوانی در زمینه‌های

محمدی و همکاران (۲۰۱۳) تنها با یک مجموعه از داده‌ها از جمله تصاویر یا مدل هواشناسی اقدام به شناسایی منشأهای بالقوه گردوغبار و حرکت جریان از روی آن‌ها نمودند، این در حالی است که پژوهش حاضر با تلفیق دو روش و نیز بهبود به‌کارگیری آن‌ها در کنار هم اقدام به مطالعه گردوغبار نموده است (۱۰ و ۱۳).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های مربوط به پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، تبخیر، سرعت باد و تعداد روزهای گردوغباری از ۳ ایستگاه هواشناسی استان قم شامل: (الف) ایستگاه سینوپتیک قم (موقعیت: طول جغرافیایی ۵۰ درجه، ۵۱ دقیقه و ۱۷ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه، ۴۶ دقیقه و ۲۷ ثانیه شمالی)، (ب) ایستگاه سینوپتیک سلفچگان (موقعیت: ۵۰ درجه، ۲۸ دقیقه و ۸ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه، ۲۹ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی) و (ج) ایستگاه سینوپتیک تکمیلی کهک (موقعیت: ۵۰ درجه، ۵۲ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه، ۲۴ دقیقه و ۱۳ ثانیه عرض شمالی) از سازمان هواشناسی دریافت و بررسی شد؛ تغییرات این پارامترها در بازه ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۶ به نمایش درآمد. در ابتدای پژوهش، نسبت به تحلیل و نمایش نموداری تغییرات پارامترهای هواشناسی اقدام گردید. تغییرات داده‌های در این مرحله به صورت میانگین سالانه ارائه شد ولی داده‌ها به صورت روزانه و ماهیانه نیز جهت تعیین زمان اخذ داده‌های ماهواره‌ای مناسب، بررسی شدند. علاوه بر مطالعه روند تغییرات به صورت نموداری، از آزمون من-کندال^۱ نیز استفاده شد. به دلیل این‌که برخی تغییرات آب‌وهوایی به‌طورکلی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و بررسی تغییرات آن‌ها در

کشاورزی، صنعتی و دستگاه‌های مخابراتی به وجود آورد (۴ و ۲۶). منابع تولید گردوغبار جهانی عمدتاً در کشورهای شمال آفریقا، عربستان، عراق، سوریه و همچنین در کشورهای امارات متحده عربی، قطر، کویت، ترکمنستان و برخی کشورهای دیگر آفریقای قرار دارند (۲۱). درگذشته منشأ ورود گردوغبار در طوفان‌های عمده کشور ایران معمولاً عربستان و شمال آفریقا بود. جنس گردوغبار انتقال‌یافته از این مناطق به‌گونه‌ای بود که تا ۲۴ ساعت برطرف می‌شد و این به علت درشتی ذرات و ته‌نشین شدن سریع آن‌ها بود؛ اما جنس خاک در کشورهای عراق، شرق اردن، سوریه و بخشی از کویت ریزتر بوده و طوفان گردوغبار به وجود آمده می‌تواند تا یک هفته به طول انجامد تا ته‌نشین شود. این رخدادها به‌ویژه در جنوب غرب ایران مطالعه شده است (۱۵). میزان و رفتار فرونشست ذرات معلق گردوغبار در بسیاری از مناطق ایران نیز بررسی شده است (۸). یکی از اهداف پژوهش حاضر پایش و نظارت بر محل وقوع و ایجاد گردوغبار (منشأ و مقصد گردوغبار) و سیر حرکت طوفان و جریان‌های حاوی گردوغبار است. ازجمله داده‌های مورد استفاده در مطالعه گردوغبار پارامترهای هواشناسی است که در تهیه شاخص‌های گردوغبار و طوفان گردوغبار کاربرد بسیار دارند (۱۲). یکی دیگر از ضرورتی‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای مطالعه منشأهای گردوغبار استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین است. تهیه چنین نقشه‌هایی با استفاده از روش‌های سنتی و تفسیر عکس‌های هوایی، مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی است. داده‌های ماهواره‌ای به دلیل دید وسیع، یکپارچه و به‌روز تصاویر، برای این مهم مناسب می‌باشند (۱). هم‌چنین استفاده از مدل‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره در کنار هم که با استفاده از داده‌های مختلف اقدام به شبیه‌سازی جریان‌های هوایی می‌کنند، کاربرد بسیار دارد. در پژوهش‌هایی مشابه کاون و فانگ (۲۰۰۸) و

منطقه مورد مطالعه با شروع از ۷۰ درصد تغییر داده شد تا دقت بیشینه طبقه‌بندی حاصل گردد. در مرحله بعد با توجه به داده‌های ثبت شده مربوط به گردوغبار (قابلیت دید افقی) در ایستگاه هواشناسی قم که رخداد طوفان گردوغبار را براساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی نشان می‌دهد، اقدام به مدل‌سازی پسگرد جریان‌های هوایی حاوی گردوغبار با استفاده از مدل هواشناسی HYSPLIT گردید (۶). مسیر جریان‌های رو به عقب، اگر نزدیک سطح زمین باشد و نیز آن منطقه به صورت بالقوه توانایی انتشار گردوغبار از سطح در هوا را داشته باشد محل عبور بسته‌های هوایی، می‌تواند منشأ گردوغبار تلقی گردد (۶). منشأهای بالقوه با توجه به تعریف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شامل اراضی با پوشش نمکی، خاک بایر و زمین‌های شنی (ماسه‌ای) است (۲۲). در بخش نهایی پژوهش حاضر ابتدا آن دسته از داده‌های هواشناسی بررسی شدند که مستقیماً رخداد طوفان گردوغبار را بیان می‌کردند. این داده‌ها نمایش‌دهنده قابلیت دید افقی بودند که از ایستگاه قم اخذ شد. سپس با توجه به داده‌های ثبت شده و نیز اعمال شروط محدودکننده، تاریخ‌های مورد نظر که طوفان گردوغبار با تعریف سازمان هواشناسی جهانی در آن زمان‌ها اتفاق افتاده بود، انتخاب شدند. در پژوهش حاضر، از داده‌های هواشناسی ایستگاه قم در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ به صورت روزانه و ۳ ساعته استفاده شده است. ابتدا با در نظر گرفتن روزهای دارای گردوغبار و همچنین میزان دید افقی کم‌تر از ۱۰۰۰ متر به بررسی و تحلیل طوفان‌های گردوغبار پرداخته شد. سازمان هواشناسی برای هر پدیده هواشناسی یک کد از ۰ تا ۹۹ در نظر گرفته است که کدهای $W=06$ و $W=07$ مربوط به پدیده گردوغبار بوده و در این تحقیق از این دو کد استفاده شده است. در مرحله اول بخش نهایی

دوره‌های زمانی متفاوت بنا بر موضوع، زمان و مکان مطالعه منطقی می‌نماید، بنابراین استفاده از آزمون رتبه‌ای نظیر آزمون من-کندال منطقی است. همچنین به منظور منشأیابی بالقوه گردوغبار از طریق طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت و کم‌ترین فاصله با استفاده از تصاویر سری زمانی ۳۰ ساله ماهواره لندست، سطح استان با گام‌های زمانی ۵ ساله در یازده کلاس مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همه تصاویر انتخاب شده مربوط به اواخر فصل بهار بودند. دلیل این امر هم رسیدن تغییرات محیط‌زیست طبیعی به نقطه پایدار چه از نظر رشد گیاهان و چه از نظر پایان بارندگی‌ها و ابتدای فصل جدی خشکی در قم بود. تصاویر انتخاب شده به شرح جدول ۱ است. تصاویر اخذ شده مربوط به ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ می‌باشند. یازده کلاس مورد ارزیابی شامل: ۱- زمین‌های بایر (Bare Land)، ۲- زمین‌های نمکی (Salt Land)، ۳- زمین‌های شنی یا ماسه‌ای (Sandy Land)، ۴- دریاچه یا پهنه‌های آبی (Lake)، ۵- درخت (Tree)، ۶- صخره (Rock) و مناطق کوهستانی، ۷- مناطق شهری و مسکونی (Urban)، ۸- زمین‌های کشاورزی (Agriculture) و سه نوع مرتع مختلف شامل ۹- پرند (Stipa)، ۱۰- شال دم (Siebber) و ۱۱- دشتی (Pteropyron) بودند. با توجه به روش‌های طبقه‌بندی انتخاب شده (بیش‌ترین شباهت و کم‌ترین فاصله)، براساس نمونه‌برداری‌های انجام گرفته از سطح استان قم، برای ۱۱ کلاس انتخاب شده، ابتدا اقدام به انتخاب ROI-هایی از این کلاس‌ها گردید. سپس یک مرحله طبقه‌بندی برای دو روش انجام پذیرفت. در مرحله بعد تعداد ROI-های بیش‌تری به مدل ساخته شده در ENVI معرفی شد و مجدداً طبقه‌بندی صورت پذیرفت. با این حال عدد احتمال برازش کلاس‌ها در روش بیش‌ترین شباهت در نرم‌افزار ENVI نیز به صورت آزمون و خطا برای

بیانگر یک ساعت به خصوص بوده) به دست آمد که در بازه زمانی پژوهش و نیز واجد شرایط بودند. سپس تاریخ‌هایی که در آنها در ایستگاه هواشناسی در حداقل ۱۲ ساعت متوالی در طول روز غلظت زیاد گردوغبار ثبت شده بودند، در نظر گرفته شد و تاریخ‌های رخداد‌های ثبت شده در طول ساعات شب حذف گردید. با توجه به نحوه قرائت و اندازه‌گیری قابلیت دید افقی در ایستگاه هواشناسی مدنظر که توسط اپراتور انجام می‌گیرد، گروه پژوهشگر به این نتیجه رسید که داده‌های اندازه‌گیری شده در ساعات شب، چندان قابل اعتماد نیستند.

پژوهش بازه‌ی زمانی ۹ ساله در نظر گرفته شد، سپس شروط ادامه عوامل محدودکننده بعدی بودند. ۱- انتخاب ساعاتی که الزاماً یکی از کدهای هواشناسی ۰۶ یا ۰۷ را داشته‌اند. ۲- انتخاب ساعاتی که دید افقی در ایستگاه هواشناسی شکوهیه قم کم‌تر از ۱۰۰۰ متر بوده است. ۳- انتخاب ساعاتی که رخداد پدیده‌های ۰۶ یا ۰۷ حداقل در ۴ داده متوالی (۴ داده که هر ۳ ساعت یک بار اخذ شده‌اند) اتفاق افتاده‌اند. براساس شروط ذکر شده، ۲۷ رخداد مختلف انتخاب شد. این رخدادها به شرح جدول ۴ می‌باشند. در مرحله اول انتخاب تاریخ‌ها، با شرط دید افقی کم‌تر ۱۰۰۰ متر، حدود ۱۳۶ مورد (۱۳۶ ردیف که هر کدام

جدول ۱- تاریخ تصاویر انتخاب شده برای طبقه‌بندی.

Table 1. Date of images selected for classification.

7	6	5	4	3	2	1	شماره / Number	
1989/06/25	1994/06/08	1999/06/06	2004/05/26	2009/06/24	2014/06/06	2019/06/13	فریم اول / First Frame	تاریخ Date
1989/06/10	1994/06/15	1999/06/29	2004/06/02	2009/06/01	2014/06/15	فریم دوم / Second Frame		
Landsat 5/ TM	Landsat 5/ TM	Landsat 5/ TM	Landsat 7/ ETM+	Landsat 5/ TM	Landsat 8/ ETM+	Landsat 8/ ETM+	ماهواره / Satellite	

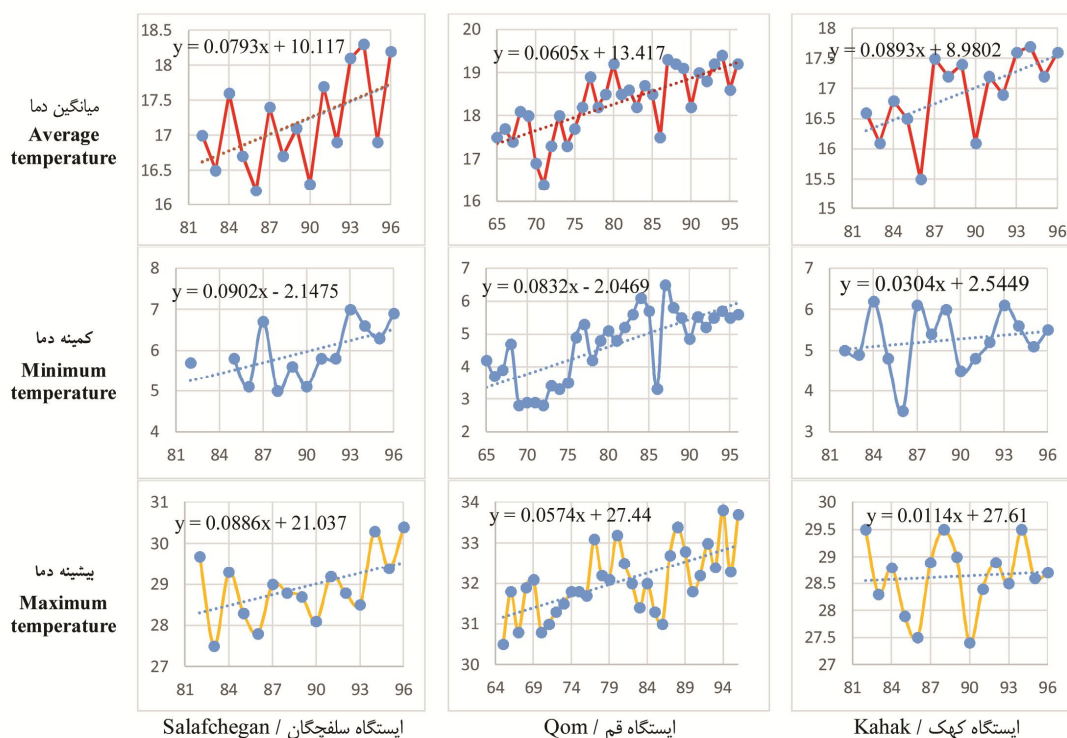
محدوده بحرانی ۹۹ درصد رخ داده است. نقطه کمینه محسوس دما در بازه ده‌ساله ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ بوده است که به‌نوعی تغییرات ناگهانی و غیرمنظم محسوب می‌گردد. از این منظر سال ۲۰۱۱ نمی‌تواند سال خوبی جهت مطالعه روندیابی سالانه برای بررسی‌های تقریباً بلندمدت قلمداد شود. روند تغییرات کمینه دمای سالانه نیز همانند میانگین سالانه، برای تمام ایستگاه‌های موردبررسی افزایشی بوده است. براساس مشاهدات پارامتر کمینه دمای سالانه پس از یک جهش اقلیمی در سال ۱۳۷۵ یا سال ۱۹۹۶ میلادی، به‌سرعت رو به افزایش است. متوسط کلی شیب

نتایج و بحث

براساس مطالعات انجام‌گرفته در استان قم و بررسی‌های صورت گرفته در پژوهش حاضر و نمایش تغییرات در شکل ۱ برای پارامتر دما به‌عنوان محسوس‌ترین عنصر اقلیمی برای هر سه مورد میانگین، کمینه و بیشینه دما، خط برازش داده‌شده روندی افزایشی را در تغییرات دمای سالانه نشان می‌دهد. بر این اساس، سال ۱۳۹۰ یا ۲۰۱۱ میلادی را از چند منظر می‌توان نقطه حائز اهمیت در نمودارها در نظر گرفت؛ زیرا براساس مطالعات اقلیمی در استان، در این سال یک جهش اقلیمی با روند مثبت در

بررسی شد. در دیگر پژوهش‌های انجام‌گرفته در استان قم و مناطق مرکزی کشور (۲۰) نیز، پارامتر بارش جهشی اقلیمی را نشان نمی‌دهد ولی روند تغییرات پارامتر بارندگی از سال ۱۳۹۰ یا ۲۰۱۱ میلادی به بعد می‌توانند مقدمات یک جهش اقلیمی باشد (۵). همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد روند تغییرات بارندگی در کل استان قم، به‌صورت کاهش بوده است. می‌توان انتظار داشت که روند ذکرشده در قبل، نتایجی از جمله کاهش فراوانی بارش و افزایش بارش‌های سیلابی و فرسایش خاک را به دنبال خواهد داشت که در استان قم در ابتدای سال ۱۳۹۸ نمونه بارز آن مشاهده گردید (۱۶). نتایج حاصل‌شده از تحلیل کمیت بارندگی در این پژوهش با نتایج پژوهش طبری و همکاران (۱۳۸۷)، در سال‌های مشترک و رفتار کلی، نزدیکی بسیار داشت (۲۳). بررسی تغییرات میانگین حداکثر سرعت باد در دوره آماری مورد مطالعه روند افزایشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، پس از سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۸ میلادی) شکل تغییرات از نظم قبلی فاصله گرفته و یک فاصله محسوس به‌ویژه در ایستگاه قم را به وجود آورده است. به احتمال زیاد دلیل این امر تغییر در روش یا تجهیزات جمع‌آوری داده است. نکته مهم در سال‌های اخیر، این‌که حتی پس از تغییر عمده در سال ۱۳۸۷ بازهم روند تغییرات، هم‌چنان شکل صعودی را داشته است. با توجه به افزایش میانگین سرعت باد، کاهش میزان بارندگی و افزایش میانگین دما، خطر فرسایش بادی در استان قم که منطقه‌ای کویری است، افزایش می‌یابد (۲۳).

تغییرات افزایشی برای پارامتر کمینه دما، نسبت به میانگین دما کمی بیش‌تر است. طبق آنچه برای میانگین دما گفته شد، سال ۱۹۹۶ میلادی نیز سال مناسبی جهت مطالعات روندیابی تغییرات نبوده است. همانند دو پارامتر قبل، کمیت بیشینه دما نیز روندی افزایشی دارد و براساس شکل ۱، سرعت رشد این کمیت را می‌توان به نسبت کم‌تر از دو کمیت دیگر ارزیابی نمود. روند تغییرات کمیت میانگین سالانه بیشینه دما در استان قم یک جهش اقلیمی در سال ۱۳۷۴ یا ۱۹۹۵ میلادی را نشان می‌دهد. طبق مباحث ذکرشده در قبل، می‌توان گفت که سال ۱۹۹۵ میلادی نیز سال مناسبی جهت مطالعات تغییرات در بلندمدت نیست. به‌طور کلی در مطالعه خط روند، بیش‌ترین شیب مثبت افزایشی برای میانگین حداقل دمای سالانه بوده و در واقع وضعیت کلی، نشان‌دهنده کاهش اختلاف بیشینه و کمینه دما و به سبب آن کاهش تعداد روزهای یخبندان نسبت به گذشته است. افزایش میانگین دمای سالانه در اکثر پژوهش‌های مشابه نیز گزارش‌شده است (۱۶). هم‌چنین نتایج حاصل از پژوهش حاضر و نیز تحلیل نتایج مطالعه طبری و همکاران (۱۳۸۷) بر روند دما در برخی از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی کشور، نشان داده است که حدود ۷۰ درصد ایستگاه‌ها در دمای بیشینه و در حدود ۹۰ درصد ایستگاه‌ها در دمای کمینه و متوسط سالانه روندی مثبت داشته‌اند (۲۳). در بررسی دیگر پارامتر هواشناسی یعنی بارندگی، این نتیجه حاصل شد که در استان قم، تغییرات میزان بارندگی سالانه، نوسانات بی‌نظم بیش‌تری را نسبت به کمیت دما نشان می‌دهد. تغییرات این کمیت نیز مانند دما و

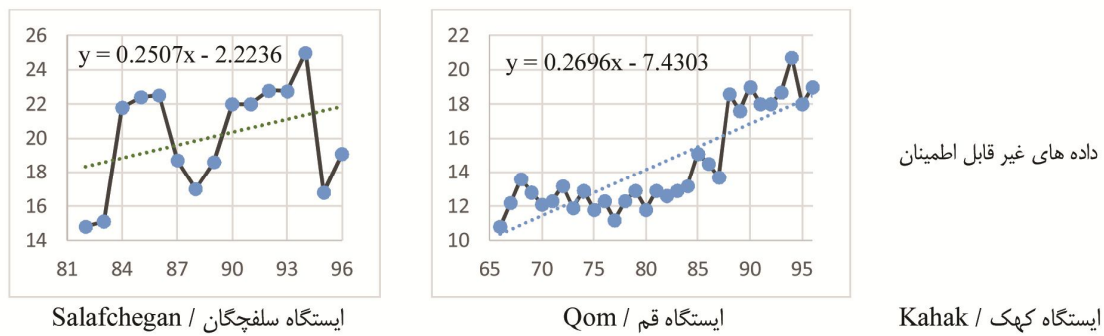


شکل ۱- تغییرات میانگین، کمینه و بیشینه دمای سالانه در ایستگاه‌های استان قم (محور قائم میزان دما و محور افقی سال را نشان می‌دهد).

Figure 1. Changes in average, minimum, and maximum annual temperature in stations of Qom province (The vertical axis shows the amount of temperature and the horizontal axis shows the year).

سال‌های مطالعه که سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ را برای گام‌های مطالعه در بررسی‌های نسبتاً بلندمدت مناسب ارزیابی نمی‌نماید. از این‌رو با توجه به معرفی بازه ۵ ساله برای گام‌های زمانی، سال ۱۹۸۹ به‌عنوان سال ابتدایی و سال ۲۰۱۹ به‌عنوان سال پایانی حاصل گردید. در نتیجه کل سال‌های مطالعه ۳۰ سال در نظر گرفته شد که با توجه به امکانات موجود اعم از داده‌های هواشناسی و نیز تصاویر ماهواره‌ای قابل‌دسترس، بازه‌ای منطقی و بهینه می‌نماید. لازم به ذکر است که بخش‌هایی از پژوهش به‌دلیل محدودیت‌های تعداد صفحات از متن مقاله حذف گردیده است.

مطالعه تغییرات میانگین رطوبت نسبی نیز همانند دما و بارندگی انجام گرفت. بر این اساس در سال ۱۳۸۹ یا ۲۰۱۰ جهش اقلیمی و تغییرات خلاف معمول مشاهده شد. در مطالعه کمیت حداکثر سرعت باد نیز در سال ۱۳۸۷ شمسی یا ۲۰۰۸ میلادی جهش و تغییر ناگهانی مشاهده گردید. به‌طورکلی، نتایج این قسمت از پژوهش بیان‌کننده این موضوع است که تحولات رخ داده در بررسی روندها، بیانگر نوعی تغییر در روندهای اقلیمی است که کلیت آن عبارت است از افزایش دما، تغییر رطوبت نسبی، شیب نزولی میزان بارش توأم با افزایش وزش بادهای پرسرعت (۳، ۵، ۷ و ۲۳). هم‌چنین از نتایج مهم این قسمت، انتخاب



شکل ۲- تغییرات میانگین سالانه حداکثر سرعت باد در ایستگاه‌های استان قم.

Figure 2. Changes in the average annual maximum wind speed in stations of Qom province.

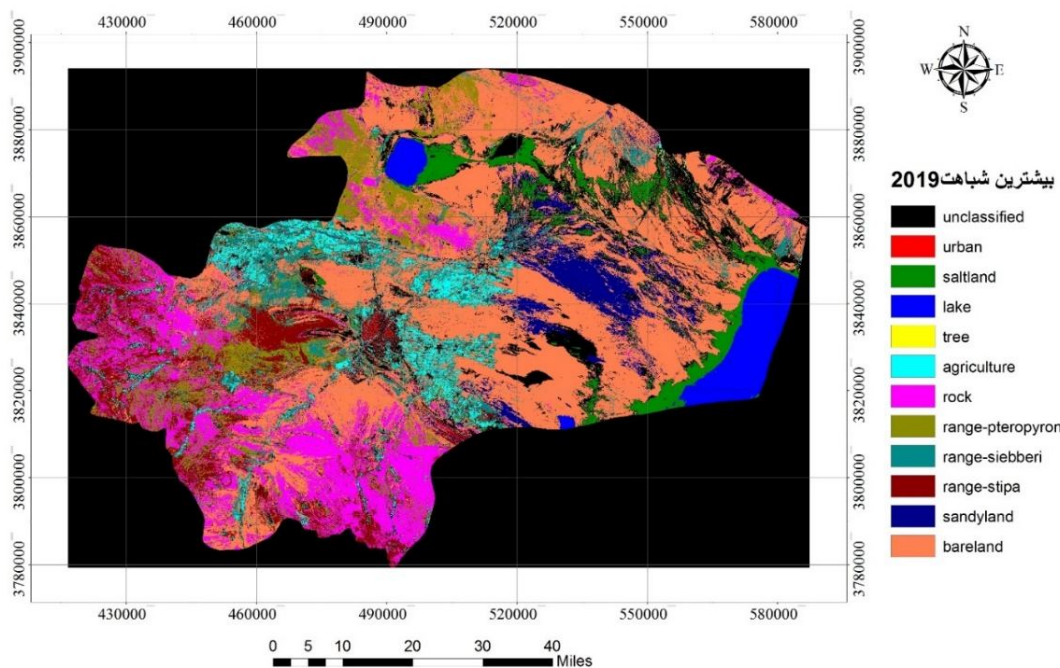
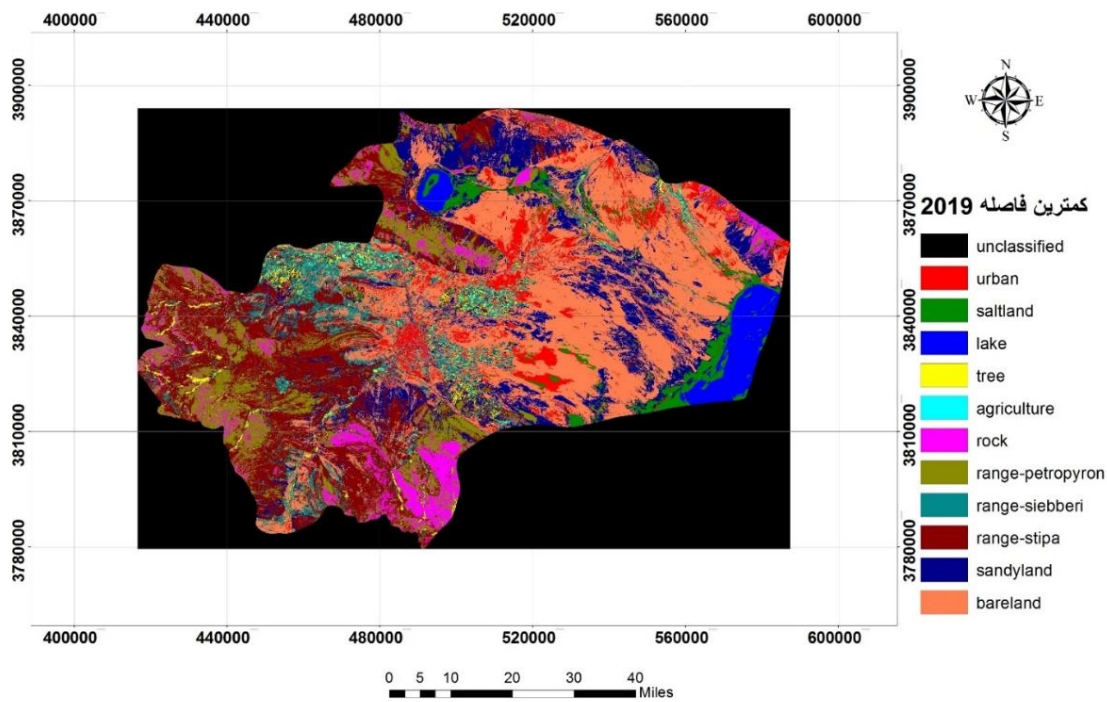
تغییرات قرارگرفته‌اند و ثانیاً مشخص کردن کاربری‌هایی است که با تعریف پژوهش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۲۲) می‌توانند منشأ گردوغبار باشند. طبق این تعریف زمین‌های بایر، زمین‌های خاکی نمکی، زمین‌های شنی و زمین‌های مجاور پهنه‌های آبی که دائماً و طی فصول مختلف، تر و خشک می‌شوند، می‌توانند منشأ بالقوه گردوغبار باشند. به‌عنوان نمونه تغییرات بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ با روش کم‌ترین فاصله در ادامه نمایش داده‌شده و ماتریس تغییرات که میزان مساحت تغییریافته بین کلاس‌ها را نمایش می‌دهد محاسبه‌شده است. میان دو روش طبقه‌بندی انجام‌شده، مقایسه دو روش به کمک نمونه‌برداری زمینی انجام گرفت. گرچه نمونه‌ها محدود بودند، ولی از همه کلاس‌ها و تقریباً تمام جغرافیای استان قم را شامل شدند. منطقه چالش‌برانگیز، عمدتاً نواحی شرق و جنوب شرقی استان بود که امکان رفت‌وآمد در آن بسیار سخت بود. با این وجود با کمک کارشناسان سازمان حفاظت محیط‌زیست استان قم تعداد معدودی نقطه از این نواحی به‌طوری‌که قابل‌اعتماد نیز بودند، اخذ گردید. عمده اعتبار سنجی نواحی مختلف استان به‌صورت بصری و با استفاده از نظرات کارشناسان خبره استان که شناخت کافی را داشتند، انجام پذیرفت و بر این

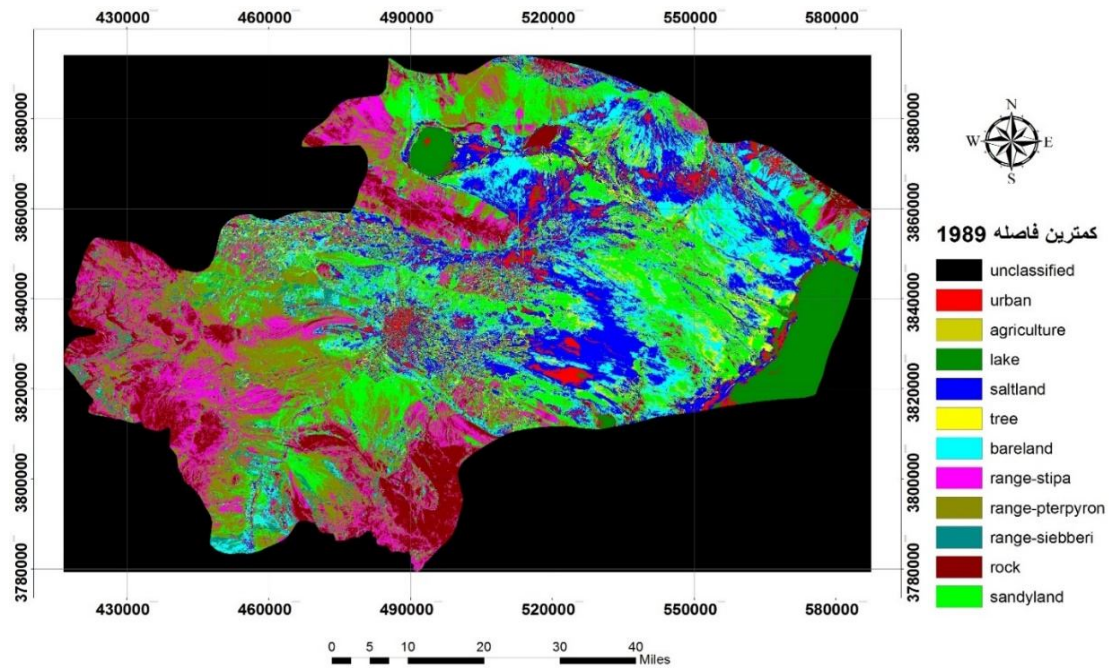
همان‌طور که ارائه شد، برای بررسی کاربری سطح استان از طبقه‌بندی تصاویر لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ با دو روش بیش‌ترین شباهت و کم‌ترین فاصله استفاده شد. در ابتدای فرآیند پژوهش روش‌های مختلف بسیار از جمله نظارت‌شده و نظارت‌نشده (پارامتریک و غیرپارامتریک) مانند ماشین بردار پشتیبان (SVM)، استفاده از شاخص‌های خاص و غیره برای طبقه‌بندی استفاده شد. از بین روش‌های مورد استفاده دو روش حداکثر احتمال و حداقل فاصله در برآورد اولیه، نتایج به نسبت بهتری را منتج شدند. البته این در حالی است که برای طبقه‌بندی مناطق خاص بعضاً سایر روش‌ها نتایج بهتری داشتند، مانند طبقه‌بندی پهنه‌های آبی که روش SVM واقعاً نتایج با دقت بیش‌تری را ارائه نمود. ولی در کل منطقه با در برگیری تمام کلاس‌ها، دو روش ذکرشده براساس نمونه‌برداری انجام‌گرفته نتایج به‌وضوح بهتری را ارائه نمودند. از آن میان نتایج مربوط به سال آغازین و پایانی به‌صورت شکل ۳ است. ستون سمت چپ مربوط به طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت و ستون سمت راست، طبقه‌بندی کم‌ترین فاصله را نشان می‌دهد. هدف طبقه‌بندی علاوه بر نمایش و بررسی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی، نمایش قسمت‌هایی است که اولاً بیش‌تر از سایر قسمت‌ها دستخوش

نیما روحانی و همکاران

تکمیلی، نمونه‌برداری‌های بیشتر و دقیق‌تر برای افزایش دقت و صحت نتایج انجام گردد.

اساس می‌توان گفت که روش بیشترین شباهت یا حداکثر احتمال، در پژوهش حاضر دقت بیشتری را در پی داشت. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی و





شکل ۳- نتایج طبقه‌بندی اراضی استان قم در ۱۱ کلاس مختلف مربوط به تصاویر اخذشده از ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۸۹ (روش کم‌ترین فاصله) و ۲۰۱۹ (روش‌های کم‌ترین فاصله و بیش‌ترین شباهت) میلادی.

Figure 3. Results of land in Qom province in 11 different classes related to the images taken from the Landsat satellite in 1989 (Minimum distance method) and 2019 (Minimum distance and Maximum likelihood method).

حداکثر احتمال نیز به‌صورت ماتریس تغییرات به نمایش درآمده است که جدول ۲ این تغییرات را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال رشد محسوس کلاس صخره (مناطق بدون گیاه کوهستانی) به کلاس‌های مختلف مرتع مشخص است. عمده دلیل آن هم افزایش بارندگی در بهار سال ۲۰۱۹ یا ۱۳۹۸ است.

نتایج طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۹ تقریباً کلاس‌های زمین‌های شهری، پهنه‌های آبی، مراتع پرند و دشتی و زمین‌های کشاورزی رشد مثبت و کلاس‌های زمین‌های شنی، نمکی، بایر، صخره‌ای و کلاس درخت (باغی یا درختچه) رشد منفی داشته‌اند. نمایش کمی تغییرات به کمک روش

جدول ۲- ماتریس تغییرات کلاس‌های طبقه‌بندی شده استان قم بین گام‌های زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ برحسب درصد.

Table 2. Matrix of changes in the classified classes of Qom province between the time steps of 2014 to 2019 in terms of percentage.

زمین بایر Bareland	زمین شنی / ماسه‌ای Sandyland	مرتج- پرنده Range- stipa	مرتج- شالدم Range- siebberri	مرتج-دشتی range- pteropyron	صخره Rock	کشاورزی Agriculture	درخت Tree	پهنه آبی Lake	نمکی Saltland	شهری Urban	2014-2019
6.987	7.185	8.074	10.598	1.754	0.81	5.359	20.852	0.063	27.546	39.532	Unclassified
0.068	0.084	0.027	0.187	0.001	0.017	0.002	0.014	0	0.582	55.725	Urban
2.301	6.873	0.622	0.812	0.081	0.182	0.002	4.218	5.304	29.346	0.786	Saltland
0.001	0.005	0.086	0.002	0.004	0.167	0.005	0.317	94.624	1.854	0	Lake
0.041	0.005	0.154	0.47	0.068	0.007	1.034	2.629	0	0.047	0	Tree
0.623	0.585	8.932	7.131	5.638	0.061	54.77	27.848	0.003	0.076	0.004	Agriculture
3.902	1.317	11.158	7.064	7.085	10.012	0.211	0.428	0.001	0.049	0	Rock
5.652	7.048	6.672	10.055	31.023	83.459	3.752	5.226	0	0.523	0.007	Range- pteropyron
7.312	2.073	7.365	19.693	9.039	0.129	19.59	11.981	0.002	0.524	0.022	Range- siebberri
1.731	1.913	45.423	18.316	39.126	2.232	5.621	3.019	0.002	0.036	0.004	Range-stipa
3.654	38.84	0.684	0.494	0.094	0.176	0.341	0.452	0	9.542	0.033	Sandyland
67.727	34.074	10.805	25.18	6.087	2.746	9.314	23.017	0.001	29.878	3.888	Bareland
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Class Total
32.273	61.16	54.577	80.307	68.977	89.988	45.23	97.371	5.376	70.654	44.275	Class Changes

تعاریف بیان‌شده از طرف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و کمیته ملی گردوغبار کشور منشأهای بالقوه گردوغبار شناسایی و انتخاب گردید (۲۲). هم‌چنین تغییرات سه کلاس زمین‌های شنی، زمین‌های بایر و زمین‌های نمکی نیز در انتخاب لکه‌های منشأهای بالقوه تأثیرگذار بودند. مطالعات بسیاری نسبت به شناسایی ویژگی‌های منشأهای بالقوه گردوغبار در ایران و جهان انجام شده است. از آن جمله می‌توان به پژوهش جانجیک و همکاران (۲۰۰۹) در مقیاس جهانی و رجائی و همکاران (۲۰۲۰) مربوط به منطقه خاورمیانه اشاره کرد (۹) و (۱۹). تاکید عمده این پژوهش‌ها بر تاثیر نوع پوشش و جنس/ بافت خاک مناطق مختلف بر ایجاد و انتشار گردوغبار یا به طور کلی ذرات معلق در جو می‌باشد.

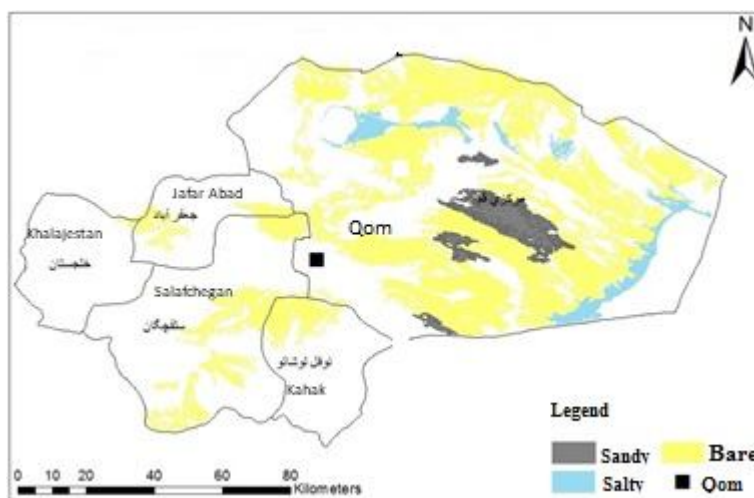
اصل استفاده‌شده برای شناسایی منشأهای بالقوه گردوغبارهای استان قم در پژوهش حاضر بر این مفهوم استوار است: اگر ذرات ردیابی شده گردوغبار که توده عظیم آن‌ها طوفان گردوغبار را تشکیل می‌دهد، در مسیر عبور خود در نزدیکی سطح زمین از منطقه‌ای عبور کنند که آن منطقه به‌خودی‌خود از لحاظ پوشش/کاربری مستعد تولید گردوغبار باشد، با احتمالی نسبتاً زیاد می‌توان گفت که آن منطقه یکی از منشأهای طوفان مطالعه شده، است. با توجه به این تعریف، لزوم بررسی پروفیل یا نیم‌رخ طولی حرکت ذره گردوغبار مدنظر در مدل HYSPLIT (هر روش دیگر مانند تصاویر CALIPSO)، ضروری به نظر می‌رسد. همان‌طور که ذکر گردید، براساس طبقه‌بندی انجام‌گرفته بر روی اراضی استان و مطالعات و

مقایسه شده است و در تدوین این مقاله از آن منابع استفاده شده است (۲۲ و ۲۵). نتایج پژوهش حاضر با این دو پژوهش ذکر شده همخوانی نسبتاً قابل‌قبولی در منشأهای شناسایی شده در کل استان (به ویژه در عمده منشأهای نیمه شرقی) دارد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ابتدا نسبت به طبقه‌بندی کاربری اراضی مختلف اقدام نموده و سپس با آزمایش‌های محلی و برجا میزان دخالت کاربری‌های مختلف در طوفان‌های گردوغبار مختلف را سنجیدند. نتیجه کار آن‌ها معرفی سه کلاس شن/ماسه، نمکی و خاک بایر به عنوان کاربری‌های مستعد تولید گردوغبار بود.

در نتیجه مطالعه داده‌های مربوط به غلظت گردوغبار در نهایت ۲۷ رخداد مختلف (از کدهای ۰۶ و ۰۷) با توجه به شرایط محدودکننده ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها، انتخاب گردید. پس از انتخاب روزهای گردوغباری، با استفاده از مدل هواشناسی «های اسپلیت» (HYSPLIT) اقدام به ردیابی رخدادهای گردوغبار از مقصد ایستگاه هواشناسی قم تا منشأهای احتمالی در بازه زمانی ۲۰ تا ۴۸ ساعت قبل از وقوع گردوغبار شد. انتخاب زمان بهینه مدل‌سازی پس از اجرای ۴۸ ساعته مسیر پسگرد و مشاهده جریان هوایی انجام گرفت (۵).

نتایج این بخش از پژوهش و تحلیل نتایج سایر پژوهش‌های انجام گرفته، ۳۰ لکه سطحی را به عنوان منشأ گردوغبار معرفی نمود. این ۳۰ لکه دارای سطوح عمده با پوشش‌های خاک بایر، زمین‌های شنی و زمین‌های نمکی بودند. ۲۰ لکه پوشش زمین بایر، ۵ لکه دارای پوشش زمین‌های نمکی و ۵ لکه دارای پوشش زمین‌های شنی/ماسه‌ای بودند. لازم به توضیح است که انتخاب سه کلاس شن، زمین‌های بایر و نمکی براساس روش پژوهش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور می‌باشد، بنابراین با تغییر کلاس‌ها در پژوهش‌های دیگر (مشابه)، تعداد لکه‌ها نیز قابلیت افزایش یا کاهش را خواهند داشت.

نمایش کلی این منشأها بر بستر استان با وجود تقسیمات بخش‌های استان قم به صورت شکل ۴ می‌باشد. همان‌طور که از این شکل برمی‌آید، عمده منشأهای بالقوه گردوغبار استان در نیمه شرقی استان (نواحی شرق، جنوب شرق، شمال شرق و شمال استان) در مجاورت دریاچه نمک و کویر لوت واقع است. لازم به ذکر است که منشأهای شناسایی شده در پژوهش حاضر با مطالعات مشابه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۲۲) و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان قم (۲۰۱۴) به صورت جامع



شکل ۴- منشأهای بالقوه گردوغبار شناسایی شده استان قم.

Figure 4. Potential sources of dust in Qom province.

در قسمت (الف) مسیرهای مدل‌سازی شده بر روی شیب فایل استخراج‌شده از قسمت طبقه‌بندی سطح استان قم قرار داده شده‌اند تا حرکت جریان‌ها را از روی منشأهای بالقوه شناسایی شده، نشان دهد. برای تمام تاریخ‌های ذکر شده، خروجی‌ها همین‌طور است. در شکل ۵ قسمت (د) نیز نمودار گلباد سرعت و جهت ایستگاه قم در ارتفاع ۳۰ متری را نشان می‌دهد. براساس آن می‌توان گفت که جهت باد غالب در جهتی بین جنوب و جنوب شرقی بوده که به‌نوعی تأییدکننده این موضوع است که عمده فعالیت‌های مرتبط با ورود جریان‌های حاوی گردوغبار به استان قم از سمت‌های شرق و جنوب شرق می‌باشد. این بخش بیانگر نتایج مدل‌سازی‌های انجام گرفته در بخش انتهایی پژوهش است که تأثیر مناطق شرق و جنوب شرقی استان را در گردوغبارهای رخ داده، بیان می‌کند.

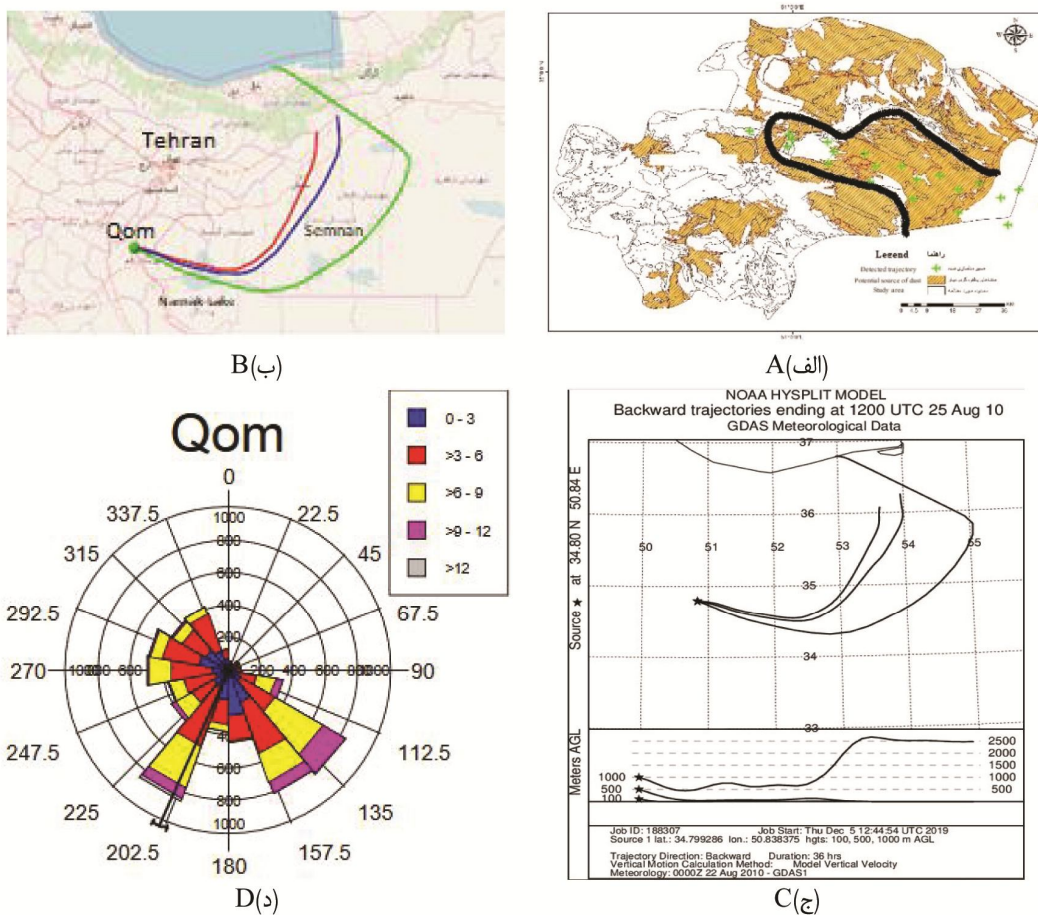
همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است مسیر وزش باد از شمال شرق و با عبور از البرز میانی به سمت قم می‌باشد. این وزش تحت تأثیر پرفشار مستقر در شمال کشور، پس از عبور از البرز میانی به مناطق داخلی در استان سمنان رسیده و با توجه به قرارگیری کم فشار حرارتی در مرکز ایران پس از رسیدن به جنوب استان سمنان به شرق منحرف شده و شرایط را برای ترابرد گردوخاک از جنوب استان سمنان، شرق و جنوب شرق قم و حتی شمال استان اصفهان (منشأهای بالقوه) به سمت شهر قم فراهم کرده است. نتایج نهایی در جدول ۳ و شکل ۶ آمده‌اند.

برای مسیرهایی که از شمال شرق ایران و کشور ترکمنستان وارد شده و با عبور از دشت کویر و مناطق بیابانی استان سمنان از سمت شرق وارد قم می‌شوند، قطعاً می‌توان گفت که قسمتی از مسیر جریان که در شمال رشته‌کوه البرز واقع شده، نمی‌تواند منشأ گردوخاک باشد. به همین دلیل طول مسیر مدل‌سازی شده برای همه تاریخ‌ها و براساس شکل خط جریان، اصلاح گشت. مدل‌سازی به روش پسگرد در سه ارتفاع ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر از سطح زمین در مقصد انجام پذیرفت. انتخاب ارتفاع‌ها برای مدل‌سازی براساس آزمون‌وخطاهای بسیاری انجام گرفته و از نظرات متخصصان هواشناسی نیز استفاده شده است. خروجی‌های اخذشده از مدل‌های اسپلیت در فرمت‌های تصویری، نقشه و مناسب برای سیستم اطلاعات مکانی بودند تا بتوان در تحلیل طوفان‌ها و بررسی منشأهای بالقوه شناسایی شده استفاده کردند. به‌عنوان نمونه، از ۲۷ مدل‌سازی انجام گرفته، تاریخ ۲۰۱۰/۰۸/۲۵ میلادی (۱۳۸۹/۰۶/۰۳ هجری شمسی) در شکل ۵ نمایش داده شده است. نتایج مدل‌سازی انجام گرفته در شکل ۵، نشان می‌دهد که در این رخداد بسته‌های هوایی حامل گردوغبار عمدتاً از شرق و جنوب شرقی استان وارد شده‌اند. همچنین مسیرهای نشان داده شده در ساعات آخر مدل‌سازی نزدیک سطح زمین بوده‌اند. نمایش نیم‌رخ طولی مسیرها در شکل ۵ در قسمت (ج) و قسمت‌های (الف) و (ب) دید از بالا دارند.

جدول ۳- تاریخ‌های رخداد‌های گردوغبار و نیز خلاصه منشأ‌های مشخص شده گردوخاک استان قم (برای کدهای ۰۶ و ۰۷).

Table 3. Dust events dates and also a summary of the identified sources of dust in Qom province.

Identified sources / منشأ‌های مشخص شده						تاریخ رخداد (میلادی)	ردیف
جنوب غرب کشور + عراق Southwest of the country + Iraq	جنوب و جنوب غرب استان South and Southwest	استان‌های شرقی Eastern Provinces	جنوب شرق استان South East	شرق و مرکز استان East and center	شمال و شمال شرق استان North & North East		
						25/08/2010	1
						30/06/2011	2
						22/05/2012	3
						25/06/2012	4
						15/07/2012	5
						05/08/2012	6
						16/07/2013	7
						31/07/2014	8
						05/08/2014	9
						06/08/2014	10
						08/08/2014	11
						27/09/2014	12
						30/05/2015	13
						23/06/2015	14
						24/06/2015	15
						03/07/2015	16
						18/07/2015	17
						10/08/2015	18
						23/08/2015	19
						01/09/2015	20
						24/06/2016	21
						23/07/2016	22
						06/06/2017	23
						02/07/2017	24
						26/05/2018	25
						18/07/2018	26
						31/08/2018	27
4	2	19	19	12	4	SUM / جمع	
14.8	7.4	70.3	70.3	44.4	14.8	درصد تاثیر / Impact percentage	



شکل ۵- گردوغبار رخ داده در تاریخ ۲۵/۰۸/۲۰۱۰ با استفاده از مدل HYSPLIT (الف، ب و ج) و نمودار گلباد در ارتفاع ۳۰ متری در ایستگاه قم (د).

Figure 5. Dust storm occurred on 08/25/2010 using HYSPLIT model (A, B & C) and wind rose diagram at a height of 30 meters at Qom station (D).

(۲۰۰۵) و رحمتی‌زاده و جعفری (۲۰۱۴) و ذیحی و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شده است (۱۷، ۱۸، ۲۵). جدول ۳ خلاصه نتایج منشأیابی انجام گرفته است. نتایج مدل «های اسپلیت» بررسی شده برای ۲۷ رخداد مورد مطالعه (از کدهای ۰۶ و ۰۷) در این پژوهش که به صورت پسر و شبیه‌سازی شده، نشان‌دهنده این است که با احتمال بسیار، بیش از ۷۰ درصد رخدادها دارای منشأهایی در نواحی شرقی و جنوب شرقی استان و از استان‌های هم‌جوار شرقی مانند سمنان بوده‌اند که در نهایت گردوغبار داخلی محسوب می‌گردند. حدود ۱۵ درصد (۱۴/۸ درصد) از مجموعه رخدادهای

نتیجه‌گیری کلی

مراکز تولید گردوغبار معمولاً در مناطق خشک جهان واقع‌اند که دارای بارندگی سالانه کم‌تر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشند. این مناطق به لحاظ توپوگرافی در مناطق پست جهان واقع می‌باشند. این پدیده در دشت‌ها نسبت به کوهستان‌ها و در بیابان‌ها یا حاشیه آن‌ها نسبت به سایر مناطق بیشتر اتفاق می‌افتد. همه این ویژگی‌های ذکر شده را استان قم داراست (۴، ۱۰، ۲۴). انتخاب مناطق مستعد تولید گردوغبار نیازمند مطالعات در منطقه مورد نظر است که بدین منظور از مطالعات استانی مانند رحمتی‌زاده

مشخص شده است، کانون‌های گردوغبار در مجاورت شرقی شهر قم و در منطقه قمرود، بیش‌ترین تأثیر را بر کیفیت هوای شهر قم دارد (۱۴، ۲۳). از بین ۳۵۴ رخداد عبور کرده از روی کانون‌های مشخص شده، ۲۳۷ مورد رخداد در ارتفاع ۱۰ متر از روی این کانون عبور می‌کند (۱۴). با توجه به نتایج پژوهش حاضر که حدود ۷۰ درصد جریان‌های ورودی هنگام رخدادهای گردوغبار را از سمت شرق و جنوب شرق نشان می‌دهد، در نظر گرفتن اهمیت منطقه شرقی شهر قم (قمرود و حاشیه آن) امری بدیهی است، زیرا عمده جریان‌های جوی در شش‌ماهه اول سال در استان قم، شرقی است. نکته دارای اهمیت دیگر این است که در پژوهش حاضر با وجود انتخاب سه تراز مختلف جریان‌های هوایی، خود این جریان‌ها در پروفیل قائم هم بررسی شدند و تنها مناطقی به‌عنوان منشأ احتمالی گردوغبار انتخاب شدند که جریان‌ها از نزدیکی سطح زمین عبور کرده باشند.

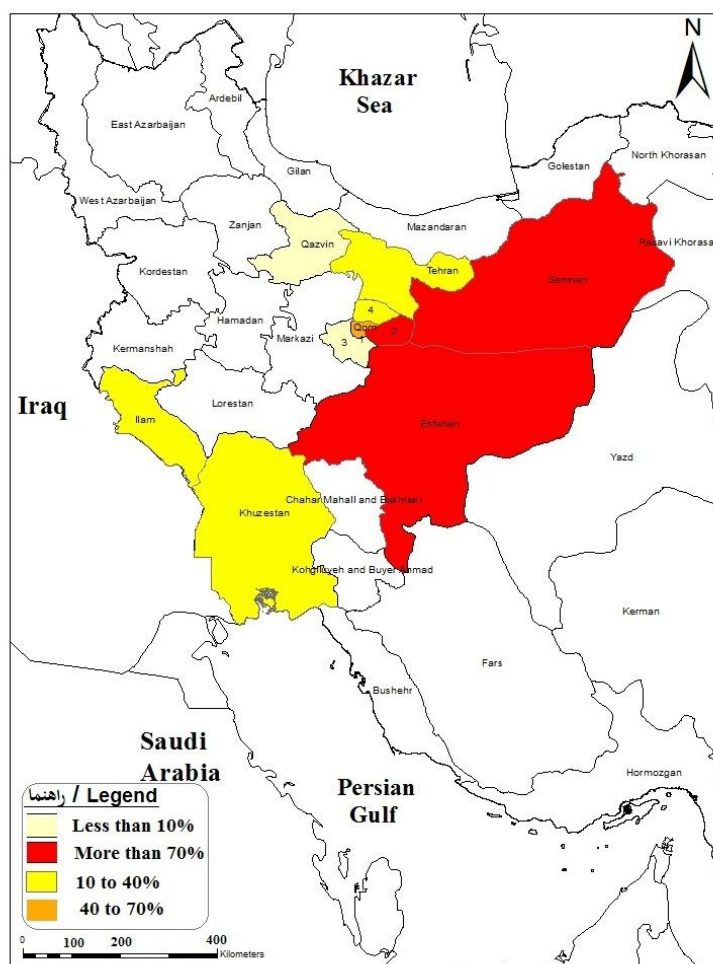
در این پژوهش علاوه بر رخدادهای گردوغبار که با کدهای ۰۶ و ۰۷ (که عمدتاً محلی و منطقه‌ای بوده و رخدادهای نه چندان بزرگ را شامل می‌گردند) بیان می‌شوند، طوفان‌های گردوغبار که با کدهای ۳۰ تا ۳۵ (که غالباً شدت و گستردگی بیش‌تری نسبت به رخدادهای محلی کدهای ۰۶ و ۰۷ دارند) بیان می‌شوند نیز به‌طور ناقص مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت، به‌عبارتی تنها ۷ طوفان (بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ میلادی) به دلیل در دسترس نبودن داده‌ها، مورد مدل‌سازی و مطالعه قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی‌های کدهای ۳۰ تا ۳۵ نشان داد که (همان‌طور که انتظار می‌رود) به‌دلیل ماهیت طوفانی بودن این کد-پدیده‌ها، عموماً در مقیاس بزرگی رخ می‌دهند و عمدتاً منشأهایی خارج از استان قم و حتی خارج از کشور داشته و منشأ اصلی آن‌ها مناطق غربی و جنوب غربی ایران مانند کشورهای سوریه، عراق و عربستان

طوفان گردوغبار در تاریخ‌های موردبررسی، با احتمال زیاد دارای گردوغبار خارجی بوده‌اند. این رخدادهای عمدتاً با منشأ خارجی و از کشورهای غرب و جنوب‌غربی ایران مانند عراق و عربستان و شاید سوریه وارد شده‌اند و طبق مدل‌سازی، گردوغبار خارجی و عموماً طوفان‌های گردوغبار عمده یا شدید محسوب می‌شوند. براساس مطالعات و مدل‌سازی‌های انجام‌شده، بیش‌ترین منشأهای مستعد تولید گردوغبار در بخش شرقی و جنوب شرقی استان قم شامل حاشیه غربی دریاچه نمک و نیز استان سمنان است. شکل ۶ عمده منشأهای بالقوه شناسایی شده را به‌صورت تصویر-نقشه در مقیاس استانی نشان می‌دهد. استان‌ها و مناطق با رنگ متمایل به قرمز در تعداد بیش‌تری از رخدادهای گردوغبار استان قم دخیل هستند.

همان‌طور که در شکل ۶ قابل‌مشاهده است، در رخدادهای گردوغبار استان قم که عمدتاً با کدهای هواشناسی ۰۶ و ۰۷ مشخص می‌گردند نواحی شرق و جنوب شرق استان اعم از داخل و خارج استان، تأثیری بسیار بیش‌تر از سایر نواحی دارند. در این شکل مناطق خارج از ایران طبقه‌بندی رنگی نشده‌اند و استان‌های خوزستان و ایلام چون در مسیر گردوغبار ورودی از کشورهای غرب و جنوب‌غربی ایران هستند، نماینده این کشورها تلقی شده و با رنگ زرد مشخص شده‌اند. هم‌چنین طبق مطالعات پیشین گردوغبار در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و اوایل پاییز به‌دلیل خشکی و رطوبت کم‌تر زمین، بیش‌ترین میزان و فراوانی را دارد (۱۴). در این پژوهش نیز ۲۷ رخداد گردوغبار موردبررسی عمدتاً در این ماه‌ها بوده‌اند. طبق پژوهش معین‌الدینی (۲۰۱۸) از بین کانون‌های گردوغباری موجود در اطراف شهر قم که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (شهبازی و قریب، ۲۰۱۸)

پژوهش‌های آتی نمونه‌برداری‌های بیشتر برای اعتبارسنجی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جهت بررسی کاربری اراضی انجام گردد. بدیهی است با مطالعه سال‌های بیشتر، انجام نمونه‌برداری‌های بیشتر، بررسی پدیده‌ها و موضوعات (کاربری اراضی، منشأها، لکه‌ها، مسیر گردوغبار و ...) از جنبه‌ها و دیدگاه‌های مختلف، می‌تواند تعداد و میزان لکه‌ها و منشأها، میزان تأثیر منشأهای مختلف و ... تا حدودی تغییر پیدا کند.

می‌باشند. البته در این گونه طوفان‌ها نیز وجود مناطق مستعد تولید و انتشار گردوخاک در استان قم (و نیز در مناطق غربی و جنوب غربی داخل کشور)، می‌تواند تقویت‌کننده چنین جریان‌های گردوغباری باشد. در انتها تاکید می‌شود که پژوهش حاضر به‌عنوان مطالعه فاز صفر (اولیه) در شناخت منشأ و ... پدیده گردوغبار استان قم بوده و مطالعات تکمیلی حتما نیاز می‌باشد. بررسی کامل رخدادهای گردوغباری کدهای ۳۰ تا ۳۵ (در سه دهه گذشته) می‌تواند از گام‌های تکمیلی پژوهش حاضر باشد. هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد در



شکل ۶- عمده منشأهای مختلف مشخص شده در گردوغبار استان قم در رخدادهای بررسی شده (کدهای ۰۶ و ۰۷) در این پژوهش.
Figure 6. Major different sources identified in dust of Qom province in the events (Codes 06 and 07) studied in this research.

تقدیر و تشکر

شایان‌ذکر است پژوهش حاضر با حمایت مالی استانداری استان قم و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان قم طی طرحی پژوهشی با کد ره‌گیری ۱۹۲۰۵-۱۶۶۷۵۶ انجام شده است. در انتها از زحمات این ارگان‌ها و مسئولین ذی‌ربط آن‌ها کمال تشکر را داریم.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات استفاده شده در این پژوهش از منابع اینترنتی (تصاویر ماهواره‌ای) و نیز پایگاه داده

سازمان هواشناسی (پارامترهای اقلیمی) با مجوز دانشجویی و مکاتبات اداری گردآوری شده است. همه مراحل پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در دانشگاه قم انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع

- Ackerman, S.A. 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102: 14. 17069-17079.
- Arami, S.A., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M., and Zarasvandi, A.R. 2018. Statistical analysis of Spatio-temporal pattern of dust storms in the west and southwest of Iran. *J of Water and Soil Conservation*. 25: 1. 61-83. (In Persian)
- Asakereh, H. 2007. Spatio-temporal variations of Iran Earth's precipitation over recent decades. *Geography and Development Iranian Journal*. 5: 10. 145-164. (In Persian)
- Ashrafi, K., Shafipour, M., and Aslmand, A. 2013. Investigating the Dust Storm Routes on Iran Using Numerical Modeling and Satellite Images. *International Journal of Environmental Science and Bioengineering*. 56: 3-12. (In Persian)
- Darabi, H., Jafari, A., and Akhavan Farshchi, K. 2016. Analysis of Climate Change Trend in Qom Province and its Consequences. *Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)*. 2: 25-40. (In Persian)
- Draxler, R.R., and Hess, G.D. 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories. *Australian meteorological magazine*, 47: 4. 295-308.
- Fattahi, M.M. 2009. Survey of Desertification Process in Qom Province Using Remote Sensing Data with Emphasis on Land Use Changes and Quantitative and Qualitative Changes in Water Resources. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 16: 2. 234-253. (In Persian)
- Jafari, F., and Khademi, H. 2016. Variability of magnetic susceptibility and its correlation with selected heavy metals in atmospheric dust of Kerman. *J of Water and Soil Conservation*. 23: 1. 171-186. (In Persian)
- Janjic, Z., Huang, H., and Lu, S. 2009. A unified atmospheric model suitable for studying transport of mineral aerosols from meso to global scales. In *IOP Conference Series: Earth Environ Sci*. 7: 1. 012011
- Koven, C.D., and Fung, I. 2008. Identifying global dust source areas using high-resolution land surface form. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D22).
- Lee, Y.C., Yang, X., and Wenig, M. 2010. Transport of dusts from East Asian and non-East Asian sources to Hong Kong during dust storm related events 1996–2007. *Atmospheric Environment*, 44: 30. 3728-3738.

12. Miri, A. 2020. Dust storms analysis in the Sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM10 parameters. *J. of Water and Soil Conservation*. 23: 3. 171-187. (In Persian)
13. Mohammadi, F., Kamali, S., and .kandari, MEs2013Detection . of dust sources at different levels of Tehran atmosphere using HYSPLIT model. *Geography and Environmental Hazards*. 16: 39-54. (In Persian)
14. Moin Al-Dini, M. 2018. The role of domestic dust center on air quality in Qom. Master's thesis. Department of Agriculture, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Master Thesis. (In Persian)
15. Naderizadeh, Z., Khademi, H., and Ayoubi, Sh. 2016. Determining the concentration and contamination level of heavy metals in dust from selected areas of Bushehr Province. *J. of Water and Soil Conservation*. 27: 1. 1-23. (In Persian)
16. Rahimi, D., and Majd, M. 2011. Analysis of climate change and its impact on water resources in the northern slopes of the Karkas. *Journal of Geography and Regional Development*. 17: 211-227. (In Persian)
17. Rahmatizadeh, A. 2005. Determination of roughness, physical, chemical, and mineralogical properties of Qom sands. Ministry of Jihad and Agriculture Organization of Research, Training and Agricultural Promotion Research Institute of Forests, Rangelands of Iran-Qom. Research report. (In Persian)
18. Rahmatizadeh, A., and Jafari, M. 2014. Investigating the Effects of Saveh and Ghadir Dams Construction on Desertification Process in Masileh Qom Plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 21: 3. 494-506. (In Persian)
19. Rajaei, T., Rohani, N., Jabbari, E., and 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. *Arab J. Geosci*. 13: 12. 461. 1: 20.
20. Rezaei, T., Daneshkar Arasteh, P., and Saghafian, B. 2005. Annual Rainfall Trend Analysis in Arid and Semi-arid Regions of Central and Eastern Iran. *Journal of Water and Wastewater*. 16: 2. 73-81. (In Persian)
21. Reiff, J., Forbes, G.S., Spieksma, F.T.M., and Reynders, J.J. 1986. African dust reaching northwestern Europe: A case study to verify trajectory calculations. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25: 11. 1543-1567.
22. Shahbazi, R., and Gharib, F. 2018. National Dust Project, Report of the Qom Province. Applied Research Center of Geological Survey of Iran. (In Persian)
23. Tabari, H., Sabziparvar, A., and Maroofi, S. 2008. Investigation of the annual change trend of meteorological parameters in two hot and cold climates of Iran. *Journal of Water, Soil, and Plants in Agriculture*. 8: 1B. 161-174. (In Persian)
24. Tegen, I., and Schepanski, K. 2009. The global distribution of mineral dust. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 7, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
25. Zabihi, A., Soleimani, K., Shabani, M., and Abravesh, S. 2011. Investigation of Spatial Distribution of Annual Precipitation Using Geostatistical Methods (Case Study: Qom Province). *Physical Geography Research*. 78: 101-112. (In Persian)
26. Zarasvandi, A., Heidari, M., Lahijanzadeh, A., Jalali, S., Rezai, M., Saed, M., and Feridouni, Z. 2019. Elemental composition and environmental indicators of heavy metals in dust storms in Khuzestan province. *Agricultural Engineering*. 41: 1. 105-125. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 28(1), 2021
<http://jwsc.gau.ac.ir>
DOI: 10.22069/jwsc.2021.18303.3389

Research Full Paper

Survey of Dust Events in Qom Province with Numerical Model and Study of Land Use their Sources Using Satellite Imagery Classification

N. Rohani^{*1}, T. Rajae², B. Mojaradi³, E. Jabbari², M. Heidari Beni⁴
and S.A. Shafiei Darabi⁵

¹Ph.D. Student of Water and Hydraulic Structures Science, Dept. of Civil Engineering, University of Qom,

²Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Qom,

³Assistant Prof., Dept. of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering,
Iran University of Science and Technology,

⁴Ph.D. Graduate of Meteorology, General Meteorological Department of Qom Province,

⁵Ph.D. Graduate of Biology, General Department of Environmental Protection of Qom Province

Received: 08.24.2020; Accepted: 02.22.2021

Abstract

Background and Objectives: Nowadays the dust phenomenon is one of the biggest environmental problems in the world, causing major damage to sectors such as industry, transportation, agriculture, tourism and human health each year. The dust storm, which commonly occurs in arid and semi-arid regions such as the central and southern parts of Iran, carries a large amount of dust and reduces daily human activities and horizontal visibility. According to the World Meteorological Organization (WMO), when the wind speed exceeds 15 meters per second and a large amount of dust enters the atmosphere so that the horizontal visibility reaches less than 1000 meters, dust storms are reported. The creation of dust is caused by natural and man-made factors, the human component of which is mainly a response to changes in soil cover and land use. One of the objectives of the present study is to monitor the location and source of dust (origin and destination of dust) and the movement of dust storms and streams/trajectories containing dust.

Materials and Methods: In this study, meteorological data including temperature, relative humidity, rainfall, evaporation, wind speed and number of dusty days from 3 meteorological stations of Qom province were obtained from Meteorological Organization and analyzed. Also in this study, to determine the potential dust sources by the maximum likelihood and minimum distances classification methods was done to determine the land use and soil type of different areas with Landsat images. This process was completed using time series images of Qom province in 30 years, from 1989 to 2019 with 5-year steps and monitoring the changes of this period with in 11 different classes. Next, according to the recorded dust data (horizontal visibility) at Shokouhieh/Qom Meteorological Station showing the occurrence of dust storms as defined by the World Meteorological Organization, backward tracking of air trajectories using the HYSPLIT meteorological model. The backward trajectory, if it is close to the surface of the earth and the area potentially capable of spreading dust from the surface into the air, can be considered as the source of the dust phenomenon.

Results: The results identified 30 areas with different soils and cover as the source of dust. There were 20 spots of bare land, 5 spots of salt land and 5 spots of sandy land. The main sources of dust events studied in this province (Codes 06 and 07) are located in the eastern half

* Corresponding Author; Email: n.rohani@stu.qom.ac.ir

of the province adjacent to the Namak Lake and the Dasht-e Lut. In the final part of the present study, meteorological data that directly report the occurrence of dust storms were first analyzed. Then, based on the recorded data and some restrictive conditions, the target dates that the dust storm defined by the World Meteorological Organization at that time were selected. Codes w=06 and w=07 are related to the dust phenomenon, and both codes are used in this study. These events are mostly local and regional (within the country) and mostly include small events. One of the innovations of this research is the combined view of soil cover and land use in the study area and also the investigation of dust events.

Conclusion: The results of HYSPLIT model show that the main sources of dust events studied in this study are from neighboring eastern regions such as Semnan, around the Namak lake, Lut plain, and etc. These storms are ultimately considered as a domestic dust event. About 15 percent of the total dust storm events in the studied dates are likely to have been foreign dust. These events are mainly of foreign source and have been imported from western and southwestern Iran countries such as Iraq, Saudi Arabia and perhaps Syria and are modeled as foreign dust and generally considered as sever dust storms.

Keywords: Dust, Emission, HYSPLIT, Land Use, Qom Province

