



شناسایی و ردیابی گردوغبار و تعیین منشأ آن با استفاده از شاخص عمق

نوری حاصل از داده‌های سنجنده MODIS در استان قم

حسین توکلی نکو^۱، عباس پورمیدانی^۲، سیدمهدی ادنانی^۳

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۸ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

چکیده

ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک با توفان‌های گردوغبار متعددی مواجه است که خسارات زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی جبران‌ناپذیری را وارد کرده است. شاخص عمق اپتیکی نوری یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها جهت بررسی وضعیت آلودگی هوای مناطق مختلف به‌ویژه مناطق خشک و بیابانی است. این تحقیق با هدف شناسایی و ردیابی کانون‌های گردوغبار در مناطق مرکزی ایران و به‌صورت موردی در استان قم اجرا شد. داده‌های هواشناسی برای سال‌های مورد نظر از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی تهیه گردید. برای بارسازی پدیده گردوغبار از تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) استفاده گردید. برای بررسی و ردیابی غلظت و شدت گردوغبار از پروداکت‌های عمق نوری (AOD) سنجنده مودیس استفاده شد.

حسین توکلی نکو^۱ (✉)، عباس پورمیدانی^۲، سیدمهدی ادنانی^۳

۱. استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران
۲. استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران

DOI: 10.30495/girs.2022.693490

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: h.tavakolineko@areeo.ac.ir

طبقه‌بندی و تعیین کاربری اراضی با روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال (MLC) انجام شد. نتایج نشان داد، اراضی بایر با پوشش گیاهی کم، دریاچه‌های نمکی و اراضی شور بیشترین پوشش سطحی زمین را در استان قم تشکیل می‌دهد که تقریباً ۹۰ درصد منطقه را شامل می‌شود. اراضی لخت با پوشش گیاهی کم به‌میزان ۱/۷۶ درصد کاهش و از طرفی شوره‌زار و اراضی شهری و انسان-ساخت و اراضی با پوشش گیاهی متوسط به‌ترتیب ۰/۴۵، ۰/۲۹ و ۱/۰۲ درصد افزایش داشت. حداکثر مقدار عمق نوری حدود ۲/۳۰ و ۲/۲۴ به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۵ مشاهده شد که بیشتر در قسمت‌های شرقی و شمالی بخش مرکزی استان قم بود. این مناطق شامل دریاچه نمک و حوض سلطان و اراضی بایر اطراف آن می‌شود. به‌طورکلی پدیده گردوغبار استان قم با منشأ خارجی و داخلی از کانون‌های مختلف در داخل استان قم است که بیشتر در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی استان قرار دارد. روند افزایشی بیابان‌زایی و ویژگی‌های اقلیمی از قبیل افزایش دما و کاهش بارندگی و به‌تبع آن وقوع خشکسالی و بهره‌برداری‌های نادرست و نامناسب از اراضی، باعث افزایش کانون‌های برداشت گردوغبار همراه با فراوانی وقوع و مقدار آن شده است و آن را به یک چالش زیست-محیطی کنترل‌ناپذیر تبدیل نموده است.

توصیفی جهت تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تعداد رخداد گردوغبار به صورت سالانه، ماهانه و ساعتی در منطقه استفاده شد. یافته‌ها: براساس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی صورت گرفته، پوشش سطحی استان قم در چهار کلاس اصلی قرار گرفت. اراضی بایر با پوشش گیاهی کم، دریاچه‌های نمکی و اراضی شور بیشترین پوشش سطحی زمین را تشکیل می‌داد که تقریباً ۹۰ درصد منطقه را شامل می‌گردید. با مشخص کردن نوع کاربری و پوشش اراضی استان، تغییرات آنها در مقیاس‌های زمانی مختلف طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ نشان داد که اراضی لخت با پوشش گیاهی کم به میزان ۱/۷۶ درصد کاهش و از طرفی شوره‌زار و اراضی شهری و انسان‌ساخت و اراضی با پوشش گیاهی متوسط به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۲۹ و ۱/۰۲ درصد افزایش داشت. بررسی سالانه رخدادهای گردوغبار با دید ۱۰۰۰ متر و کمتر در بخش مرکزی استان قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸) نشان داد که روند این پدیده در سال‌های مختلف متفاوت بود و سال ۲۰۱۵ بیشترین تعداد گردوغبار را داشت و بیش‌تر از ۱۷۷ رخداد گردوغبار در این بازه زمانی صورت گرفته است. بیشترین رخدادهای گردوغبار در بخش مرکزی استان قم در ماه‌های دسامبر، ژانویه و نوامبر به ترتیب ۵۸، ۵۲ و ۴۱ رخداد بود. همچنین بررسی فراوانی ساعتی رخداد گردوغبار با دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر از آن نشان داد که بیشترین رخداد به ترتیب در ساعات ۳، ۶ و ۲۱ بوده است. بررسی تغییرات مکانی و سالانه عمق نوری (۲۰۱۵-۲۰۱۸) نشان داد که روند آن در حال افزایش بوده و سطح بیشتری را دربرمی‌گیرد. حداکثر مقدار عمق نوری حدود ۲/۳۰ و ۲/۲۴ به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۵ مشاهده شد که بیشتر در قسمت‌های شرقی و شمالی بخش مرکزی استان قم بود. این مناطق شامل دریاچه نمک و حوض سلطان و اراضی بایر اطراف آن می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج بررسی در طول دوره زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۸) در منطقه مورد مطالعه، روند افزایش اراضی بایر و شوره‌زار، گسترش مکانی دریاچه نمک و حوض سلطان را نشان داد. با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس می‌توان پدیده‌های گردوغبار را شناسایی و ردیابی کرد و منشأ اصلی آن را به‌طور مناسب رصد نمود. به‌طور کلی پدیده گردوغبار استان قم با منشأ خارجی از مناطقی مانند صحرای عربستان، کویت، عراق و سوریه، بخش‌های مرکزی و شرقی ایران، بیابان‌های ترکمنستان و گاهی صحرای آفریقا است. همچنین منشأ داخلی گردوغبار نیز وجود کانون‌های مختلف در

پیشینه و هدف: مناطق خشک و نیمه خشک از منابع اصلی ذرات گردوغبار معلق در جو هستند. ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک در طول سال با توفان‌های گردوغبار متعددی مواجه است، که خسارات زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی جبران‌ناپذیری را به مناطق مختلفی از کشور وارد کرده است. شاخص عمق اپتیکی نوری یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها جهت بررسی وضعیت آلودگی هوای مناطق مختلف به‌ویژه مناطق خشک و بیابانی است. این تحقیق با هدف شناسایی کانون‌های گردوغبار و ردیابی آن، شناسایی کانون‌های گردوغبار در مناطق مرکزی ایران و به صورت موردی در استان قم، پهنه‌بندی شدت و طبقه‌بندی کانون‌ها و اولویت‌بندی مناطق از نظر میزان گردوغبار با استفاده از شاخص مذکور اجرا شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی وضعیت رخداد گردوغبار در استان قم، داده‌های هواشناسی برای سال‌های مورد نظر از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی تهیه گردید. برای بازسازی پدیده گردوغبار از تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) استفاده گردید. برای بررسی و ردیابی غلظت و شدت گردوغبار از پروداکت‌های عمق نوری (AOD) سنجنده مودیس استفاده شد. پس از مشخص کردن منابع گردوغبار با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور، به‌منظور شناسایی مناطق مستعد تولید گردوغبار، نقشه کاربری اراضی تهیه گردید. برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش اراضی از داده‌های ماهواره سنیتل ۲ استفاده شد. برای معرفی مدل‌های طبقه‌بندی، نمونه‌های تعلیمی در کلاس‌های مورد نظر با توجه به توزیع مکانی مناسب، ترکیب باندی، رفتار طیفی و همچنین پایش میدانی به نرم‌افزار معرفی گردید. برای طبقه‌بندی و تعیین کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال (MLC) استفاده گردید. در پایان با ساخت ترکیب‌های باندی کاذب ۵۴۳ و بررسی نمودار طیفی پدیده‌ها پنج نوع کاربری برای اراضی منطقه مورد مطالعه شامل: اراضی بایر با پوشش گیاهی کم، مناطق کوهستانی و برونزد سنگی، دریاچه‌های نمکی و اراضی شور، مناطق مسکونی و انسان ساخت و اراضی کشاورزی در نظر گرفته شد. سپس حدود ۲۰ درصد یعنی ۵۰۰ نمونه از نمونه‌های برداشت شده به‌صورت تصادفی جدا و به عنوان نمونه واقعیت زمینی برای ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از اعمال طبقه‌بندی نظارت شده، دقت نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. از روش‌های آماری

اثرات نامناسبی بر بهداشت و سلامت جامعه دارد. همچنین پیامدهای اجتماعی و اقتصادی آن باعث تشدید روند مهاجرت از مناطق در معرض گردوغبار، کاهش درآمد و کاهش رونق صنعت گردشگری می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار، عمق نوری، سنجش از دور، قم.

داخل استان قم است که بیشتر در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی استان قرار دارند. بنابراین پدیده گردوغبار بسیار فعال و آسیب‌پذیر است. با توجه به روند افزایشی بیابان‌زایی و ویژگی‌های اقلیمی از قبیل افزایش دما و کاهش بارندگی و به تبع آن وقوع خشکسالی و بهره‌برداری‌های نادرست و نامناسب از اراضی، باعث افزایش کانون‌های برداشت گردوغبار همراه با فراوانی وقوع و مقدار آن شده است و آن را به یک چالش زیست‌محیطی کنترل‌ناپذیر تبدیل نموده است. افزایش گردوغبار به تهدید سلامت ساکنان اطراف این مناطق منجر می‌گردد. افزایش پدیده گردوغبار علاوه بر تخریب منابع پایه،

مقدمه

طوفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مناطق خشک و نیمه-خشک و یا مناطق هم‌جوار این‌گونه نواحی است که مخاطرات زیست‌محیطی زیادی به‌همراه داشته و در مواقعی رخ می‌دهد که تندبادی با سرعتی بیش از آستانه فرسایش بوزد. تخمین زده می‌شود که این پدیده هر سال حدود 5×10^6 تن گردوغبار از سطوح بیابانی و خشک وارد جو می‌کند (۲۹). به‌دلیل بروز خشک‌سالی‌های متعدد و دخالت‌های بی‌رویه بشر در سال‌های اخیر، رشد بیابان‌زایی در مناطق مختلف کره زمین افزایش یافته است، به‌گونه‌ای که حدود یک‌سوم سطح خشکی‌های کره زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل داده است که از منابع اصلی گردوغبار در دنیا هستند (۱۶). علاوه بر این، فعالیت‌های بشر نیز به ایجاد کانون‌های گردوغبار دامن زده است. فعالیت‌های معدن‌کاوی، زمین‌های کشاورزی رها شده و بستر دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک از جمله مهم‌ترین منشأهای انسانی این پدیده هستند. به‌ویژه سدسازی‌هایی که در حوزه کشورهای خاورمیانه با هدف مدیریت منابع آب و تأمین انرژی صورت گرفته است، باعث از بین رفتن منابع آبی در برخی از دریاچه‌ها و رودخانه‌ها شده است.

امروزه استفاده از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای به منظور بررسی وضعیت بیابان‌ها و ارزیابی مکان‌های مستعد جهت تولید توده‌های گردوغبار گسترش یافته است. سنجنده مودیس MODIS یکی از پنج سنجنده مستقر بر دو ماهواره Terra و Aqua است. داده‌های سنجنده مودیس می‌تواند برای کسب اطلاعاتی از جمله دما، رطوبت جوی، پوشش ابر و خواص آن، ویژگی‌های هواپیزه‌ها، دمای سطح خشکی و دریا، آتش‌سوزی‌های طبیعی و مصنوعی، توزیع و عمق یخ و برف، رنگ اقیانوس، شاخص‌های گیاهی و غیره به‌کار رود (۱۱). الگوریتم شاخص آئروسل گردوغبار (DAI) براساس اندازه‌گیری‌ها در طول موج‌های نوری با استفاده از مشاهدات طیف‌سنجی رادیومتر تصویربرداری با وضوح متوسط توسعه داده شده است (۴). عمق نوری (AOD) معیاری است که بیان‌کننده تضعیف رادیانس ورودی به اتمسفر بر اثر جذب و

پراکنش توسط ذرات معلق در یک ستون عمودی است. عمق نوری را می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه نمود. این معیار می‌تواند به‌عنوان یک برآورد غیرمستقیم از تراکم ذرات اتمسفری به‌کار برده شود. داده‌های ماهواره مودیس می‌تواند به‌منظور تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی عمق نوری استفاده شود (۲۵).

بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های AOD در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی در سطح جهان توسعه چشمگیری داشته است. خوش‌سینما و همکاران (۱۴) توانایی سنجنده مودیس در سنجش آلودگی ناشی از ذرات معلق در مناطق شهری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج استفاده از تکنیک سنجش از دور در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی، ضریب همبستگی ۷۱ درصد را نشان داد که نشان‌دهنده توانایی نسبتاً خوب مدل در تعیین غلظت ذرات معلق در سطح شهر تهران بود. ناصرزاده و فتحی (۲۱) در بررسی عوامل سینوپتیک محلی شامل رویدادهای گردوغباری استان ایلام نشان دادند، در دوره سرد سال سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه قطبی همراه آن و در دوره گرم سال کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین مهمترین عامل در ایجاد و شکل‌گیری پدیده مذکور در استان ایلام هستند. هنگامی که یک فرود عمیق در غرب منطقه مورد مطالعه روی بیابان‌های کشورهای همجوار قرار گیرد و سرعت باد در آن به سرعت رودباد برسد، در صورت فراهم بودن شرایط محیطی، با ایجاد ناپایداری در سطح زمین سبب گردوغبار و انتقال آن به استان ایلام می‌شود. در دوره گرم سال نیز فشارهای حرارتی سطح زمین و به‌خصوص کم‌فشار خلیج فارس با مکش هوای بیابان‌های اطراف (شبه‌جزیره عربستان) یکی از عوامل ایجاد گردوغبار در استان ایلام است. بروغنی و همکاران (۳) در شناسایی مناطق برداشت گردوغبار در شرق خاورمیانه با استفاده از شاخص‌های آشکارسازی گردوغبار نشان دادند که ۲۱۶ نقطه برداشت در کل منطقه مورد مطالعه وجود دارد که از این تعداد ۱۲۳ نقطه در ایران و ۹۳ نقطه در خارج از کشور هستند. نتایج تحقیق رضایی و همکاران (۲۸) در خصوص تحلیل فرکانس آئروسل گردوغبار

نتایج تحقیق میراکبری و ابراهیمی خوسفی (۲۰) در بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق جو با استفاده از شاخص عمق اپتیکی آئروسولها در جنوب شرق ایران نشان داد که بین عمق اپتیکی ذرات معلق سنجنده مودیس (AOD) و غلظت ذرات معلق (PM10) در سطح اطمینان ۹۵ درصد همبستگی وجود دارد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که میزان ذرات معلق جو (AOD) طی پائیز و زمستان در ماههای آبان، آذر، دی و بهمن کمترین مقدار و در تابستان و بهار در ماههای تیر، خرداد و اردیبهشت بیشترین مقدار را داشت. جبالی و همکاران (۱۲) در تحقیقی گستره تغییرپذیری دید افقی مناطق متأثر از رخدادهای گردوغبار در استان یزد را بررسی نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بین AOD و دادههای دید افقی، در سطح اطمینان ۹۹ درصد همبستگی معنی داری وجود دارد. اسکندری دامنه و همکاران (۸) در تحقیقی تغییرات مکانی و زمانی عمق نوری و دادههای اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ را در کشور ایران ارزیابی نمودند. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات AOD، پوشش گیاهی و دادههای اقلیمی نشان داد که روند این پارامترها در مناطق مختلف کشور ایران متفاوت است. به طوری که در کل کشور شاخص NDVI و بارندگی به ترتیب ۸۵/۱۳ و ۶۷/۵۷ درصد کاهش یافته و AOD، سرعت باد و دما به ترتیب در ۷۱/۴۳، ۷۱/۸۶ و ۹۹/۳۷ درصد افزایش داشته است. در این تحقیق رابطه همبستگی بین AOD و NDVI و بارندگی، دما و سرعت باد نشان داد که شاخص AOD با NDVI و بارندگی به ترتیب در ۵۰/۹۴ و ۵۱/۳۱ درصد از سطح کشور همبستگی منفی و با پارامتر دما و سرعت باد در ۶۸/۴۲ و ۵۰/۳۶ درصد از سطح کشور همبستگی مثبت داشته است.

دولت کردستانی و همکاران (۶) برای شناسایی منابع تولید گردوغبار در تالاب جازموریان از دادههای L2 Sentinel 2 استفاده نمودند. سه الگوریتم هوشمند مصنوعی شامل: شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و شبکه عصبی یادگیری (DLNN) برای مدل سازی تولیدکنندگان گردوغبار استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که پتانسیل آبدی

مکانی- زمانی در ایران براساس دادههای ماهواره ای نشان داد که بیشترین مناطق با فرکانس آئروس گردوغبار بالا در استان خوزستان و سیستان شرق کشور قرار دارند. سایر نواحی دارای قله فرکانس آئروس گردوغبار در نواحی کم ارتفاع کشور یعنی دشت ساحلی دریای عمان، فرورفتگی جازموریان و جنوب شرقی کویر لوت و جنوب دشت کویر مشاهده می شود. حداکثر و حداقل فرکانس آئروس گردوغبار در ایران به ترتیب در ماههای جولای (Terra=2.02, Aqua=2.1) و نوامبر (Terra=0.1, Aqua=0.05) رخ می دهد. علاوه بر این، فرکانسهای گردوغبار براساس دادههای ایستگاه هواشناسی و ماهواره ای، روابط متناظری با عرض جغرافیایی، ارتفاع، پوشش گیاهی، بارش و دما نشان می دهد.

رجایی و همکاران (۲۶) به منظور ردیابی و ارزیابی توفانهای گردوغبار در شهرهای اهواز و کرمانشاه در غرب ایران، مدل سازی در سیستم HYSPLIT با تحلیل مسیر برگشتی در سه سطح ارتفاع انجام دادند تا جهت حرکت ذرات معلق در جو و منشأ آن در فاصله ۴۸ ساعت قبل از وقوع پدیده توفان گردوغبار مشخص شود. مقایسه مسیرهای انتقال گردوغبار تولید شده توسط مدل HYSPLIT برای دو مقصد و ترکیب رنگ کاذب گردوغبار شناسایی شده در تصاویر MODIS، منابع مشابهی را برای پدیده گردوغبار نشان داد. بر این اساس منابع اولیه گردوغبار در دو شهر اهواز و کرمانشاه، بخشهای کویری شمال عراق، منطقه ای بین عرضهای جغرافیایی ۳۳/۸۰ تا ۳۵/۸۵ درجه شمالی و طولهای جغرافیایی ۴۲/۰۰ تا ۴۴/۷۶ درجه شرقی در دشت آبرفتی دجله و فرات بوده است. احسانی و بیگدلی (۷) در تحقیقی با استفاده از دادههای دورسنجی عمق نوری هواویزه ها غلظت ذرات PM2.5 در شهر تهران را تخمین زدند. در تحقیق ایشان نقشه توزیع مکانی مناطق آلوده تر و پاک تر شهر تهران ارائه شد. همچنین نتایج نشان داد که دادههای دورسنجی عمق نوری هواویزه دارای توانایی قابل قبولی جهت پیش بینی غلظت PM2.5 سالانه خواهد بود.

مطالعات متعدد صورت گرفته علاوه بر این که نشان دهنده کارایی استفاده از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای در جهت شناسایی منشأ، پراکنش جغرافیایی، تنوع و اثرات گردوغبار بوده است، نشان دادند افزایش ذرات معلق در هوا به شدت به روند تغییرات پوشش گیاهی و فاکتورهای اقلیمی از قبیل بارندگی، دما و سرعت باد بستگی دارد. از طرفی یکی از علل کاهش پوشش گیاهی، افزایش گردوغبار است که تأثیری متقابل بر پوشش گیاهی دارد. بررسی تغییرات زمانی پوشش تالاب شادگان خوزستان با استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) تصاویر MODIS در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ کاهش ۷/۳۶ درصدی سطح پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (۲).

بنابراین تحقیق حاضر با هدف شناسایی کانون‌های گردوغبار و ردیابی آن، شناسایی کانون‌های موکد داخلی گردوغبار در مناطق مرکزی ایران و به صورت موردی در استان قم با استفاده از داده‌های مبتنی بر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی شدت و طبقه‌بندی کانون‌ها و اولویت‌بندی مناطق از نظر میزان گردوغبار و تهیه نقشه پهنه‌بندی رخداد گردوغبار اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی وضعیت رخداد پدیده گردوغبار در استان قم، داده‌های هواشناسی برای سال‌های مورد نظر از ایستگاه‌های سینوپتیک اداره کل هواشناسی تهیه گردید. برای پردازش این داده‌ها از نرم‌افزار ArcGIS نسخه 10.8.2 و نرم‌افزارهای آماری مانند Excel نسخه ۲۰۱۶ و SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. برای بارسازی پدیده گردوغبار از تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ استفاده گردید. برای بررسی و ردیابی غلظت و شدت گردوغبار از پروداکت‌های عمق نوری (AOD) سنجنده مودیس با نام‌های MYD04L2 و MOD04L2 استفاده شد. پس از مشخص کردن منابع گردوغبار با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری، به منظور شناسایی مناطق مستعد تولید گردوغبار، نقشه کاربری

بخش‌هایی از حوضه جازموریان که در سال‌های اخیر خشک شده‌اند، برای تولید گردوغبار پتانسیل بسیار بالایی دارند. همچنین از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل کارآمدتر از مدل‌های دیگر بود. به هر حال هر سه مدل نشان داد که NDVI، ارتفاع، بارندگی سالانه و سرعت باد چهار عامل مؤثر بر پتانسیل تولید گردوغبار در منطقه مورد مطالعه هستند. پاپی و همکاران (۲۴) در شناسایی منابع طوفان شن و گردوغبار با استفاده از تحلیل مکانی- زمانی داده‌های سنجش از دور در ایران مرکزی، با روش پوشش چند مرحله‌ای با استفاده از مجموعه داده‌های سری زمانی بیست ساله محصولات MODIS و TerraClimate مدلی را پیشنهاد نمودند. براساس نتایج، ۵/۳ درصد از ایران مرکزی به عنوان منابع گردوغبار با پتانسیل بالا شناخته شده است. در این میان منابع شنی از نظر مساحت (۶۰/۹ درصد) و فراوانی وقوع گردوغبار (بیش از ۵۰ درصد) بیش‌ترین سهم را دارند. بیش‌ترین فراوانی فصلی گردوغبار (۷۶ درصد) در بهار و تابستان بود. در دشت‌های شنی و نمکی، تشکیل گردوغبار عمدتاً با عوامل طبیعی مرتبط است. با این حال، در دریاچه‌ها و منابع آبرفتی، فعالیت‌های انسانی مستقیماً با تغییرات فراوانی و وسعت گردوغبار مرتبط است. وقوع خشکسالی‌های شدید فراوانی گردوغبار در ایران مرکزی تشدید کرده است. امیدوار و همکاران (۲۲) در ارزیابی رابطه بین شاخص عمق نوری آئروسول (AOD)، سرعت باد و دید در طوفان‌های گردوغبار با استفاده از الگوریتم ژنتیک در مناطق مرکزی ایران با استفاده از الگوریتم ژنتیک تکاملی (GA) رابطه ریاضی بین پارامترهای فوق با سرعت باد (WS) را به عنوان شاخص کلیدی در طوفان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. برای دستیابی به یک معادله ریاضی، رگرسیون خطی و چندین تابع معروف دیگر با هم مقایسه شدند. در این میان تابع دوجمله‌ای به عنوان بهترین تابع تناسب انتخاب شد. نتیجه یک معادله ریاضی بین پارامترهای AOD، دید و سرعت باد در طول وقوع ۳۰-۳۵ کد سینوپتیک براساس یک تابع دوجمله‌ای با سطح اطمینان ۹۵ درصد بود.

نمونه) به صورت تصادفی انتخاب گردید و به عنوان نمونه واقعیت زمینی برای ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از اعمال طبقه‌بندی نظارت شده، دقت نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی و محاسبه دقت الگوریتم از طریق ماتریس خطای ایجاد شده بین تصویر طبقه‌بندی و نقشه واقعیت زمینی می‌توان معیارهای مختلفی از جمله دقت تولید کننده، دقت کاربر، صحت کلی و استخراج ضریب کاپا مورد استفاده قرار گرفت (۱۳). از روش‌های آماری توصیفی جهت تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تعداد رخداد گردوغبار به صورت سالانه، ماهانه و ساعتی در منطقه استفاده شد.

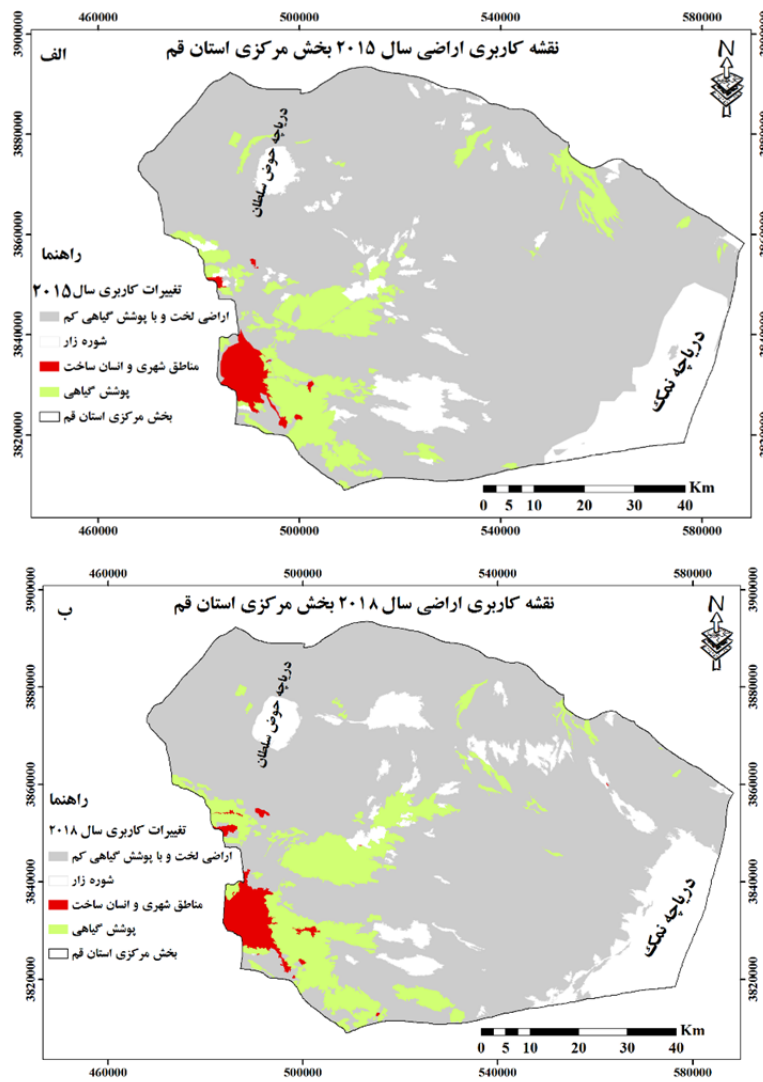
نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی صورت گرفته، پوشش سطحی استان قم در چهار کلاس اصلی قرار گرفت. اراضی بایر با پوشش گیاهی کم، دریاچه‌های نمکی و اراضی شور بیشترین پوشش سطحی زمین را تشکیل می‌داد که تقریباً ۹۰ درصد منطقه شامل می‌گردید (شکل ۱).

با مشخص کردن نوع کاربری و پوشش اراضی استان، تغییرات آنها در مقیاس‌های زمانی مختلف طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. در این دوره پنج ساله اراضی لخت با پوشش گیاهی کم به میزان ۱/۷۶ درصد کاهش و از طرفی شوره‌زار و اراضی شهری و انسان ساخت و اراضی با پوشش گیاهی متوسط به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۲۹ و ۱/۰۲ درصد افزایش داشت (شکل ۲).

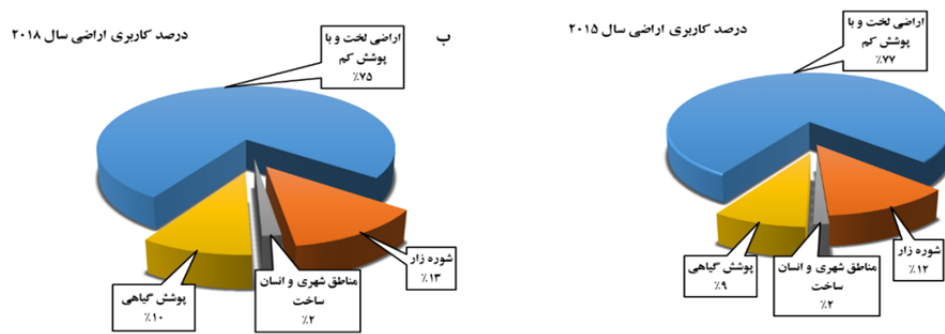
اراضی تهیه گردید. برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش اراضی از داده‌های ماهواره سنتینل ۲ استفاده شد. آماده‌سازی تصاویر سنتینل ۲ در محیط نرم‌افزار ENVI و ArcGIS انجام شد و در نهایت تصاویر در محیط نرم‌افزار ArcGIS موزائیک گردید.

برای معرفی مدل‌های طبقه‌بندی، نمونه‌های تعلیمی در کلاس‌های مورد نظر با توجه به توزیع مکانی مناسب، ترکیب باندی، رفتار طیفی و همچنین پایش میدانی به نرم‌افزار معرفی گردید. با توجه به مطالعات و گزارش‌های ارائه شده برای طبقه‌بندی مناطق مختلف ایران، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به عنوان روشی مناسب برای طبقه‌بندی و تعیین کاربری اراضی معرفی شده است. در این تحقیق نیز از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال (MLC) استفاده گردید. در این روش قاعده تصمیم بیز (BDR) برای محاسبه احتمال استفاده می‌شود (۲۳). بنابراین قبل از برداشت نمونه‌ها، وضعیت عمومی منطقه شامل: توپوگرافی، شبکه جاده‌ها و کاربری‌های موجود در منطقه مورد بررسی قرار گرفت تا یک دید کلی از از منطقه کسب گردد. در پایان با ساخت ترکیب‌های باندی کاذب ۵۴۳ و بررسی نمودار طیفی پدیده‌ها پنج نوع کاربری برای اراضی منطقه مورد مطالعه شامل: اراضی بایر با پوشش گیاهی کم، مناطق کوهستانی و برونزد سنگی، دریاچه‌های نمکی و اراضی شور، مناطق مسکونی و انسان ساخت و اراضی کشاورزی در نظر گرفته شد. با توجه به مساحت استان قم برای هر طبقه در حدود ۵۰۰ نمونه یا پیکسل از طریق پایگاه Google earth برداشت شد. به این ترتیب در مجموع ۲۵۰۰ نمونه از کاربری‌های موجود در منطقه نمونه‌برداری گردید. سپس حدود ۲۰ درصد از نمونه‌های برداشت شده (۵۰۰)



شکل ۱. نقشه کاربری اراضی بخش مرکزی استان قم در سال ۲۰۱۵ (الف) و سال ۲۰۱۸ (ب)

Fig. 1. Land use map of the central part of Qom province in 2015 (a) and 2018 (b)



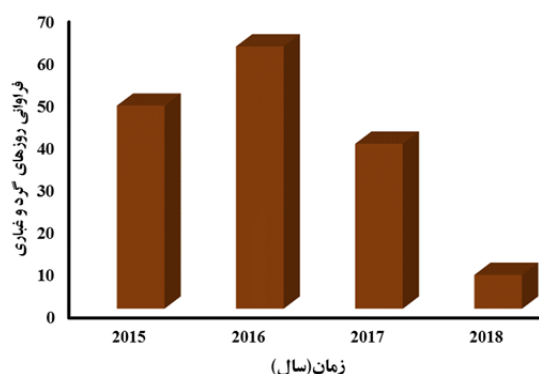
شکل ۲- درصد مساحت کاربری بخش مرکزی استان قم (۲۰۱۵ و ۲۰۱۸)

Fig. 2. Percentage of land use in the central part of Qom province (2015 and 2018)

بررسی سالانه پدیده گردوغبار

بررسی سالانه رخداد‌های گردوغبار با دید ۱۰۰۰ متر و کمتر در بخش مرکزی استان قم در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۸ نشان داد، روند این پدیده در سال‌های مختلف متفاوت و در

مجموع بیش از ۱۷۷ رخداد گردوغبار در این بازه زمانی صورت گرفته است. سال ۲۰۱۶ با ۶۲ مورد بیشترین تعداد و سال ۲۰۱۸ با ۸ مورد کمترین تعداد گردوغبار را داشتند (شکل ۳).



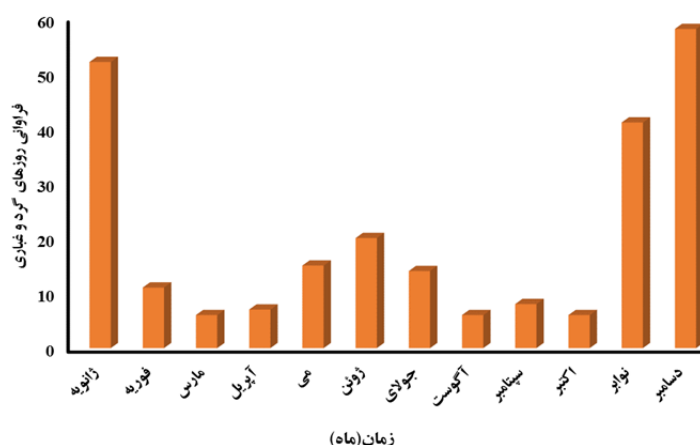
شکل ۳- مجموع فراوانی سالانه رخداد گردوغبار برای ایستگاه قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 3. Total annual frequency of dust events for Qom station (2018-2015)

بررسی ماهانه پدیده گردوغبار

مقایسه تعداد رخداد ماهانه گردوغبار در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۸ نشان داد، بیشترین گردوغبار در بخش مرکزی استان قم در ماه‌های دسامبر و ژانویه به ترتیب با ۵۸ و ۵۲ رخداد بود. به طوری که رخداد گردوغبار در این ماه‌ها با سایر

ماه‌های سال اختلاف معنی‌داری داشت. نکته قابل توجه در بررسی ماهانه، حداکثر وقوع رخداد گردوغبار در سه ایستگاه قم در اوایل فصل زمستان و فصل پاییز است. به طور کلی بیشینه پدیده گردوغبار در فصل‌های سرد و کمینه این پدیده در فصل بهار و تابستان است (شکل ۴).



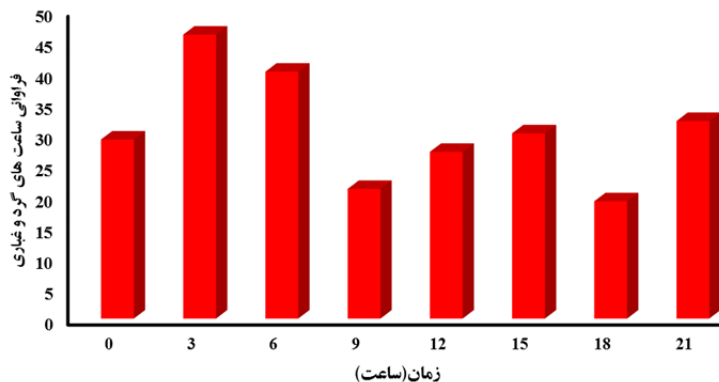
شکل ۴- فراوانی ماهانه رخداد گردوغبار ایستگاه قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 4. Monthly frequency of dust occurrence at Qom station (2018-2015)

نتایج بررسی ساعتی پدیده گردوغبار

۲۰۱۵ نشان داد که بیشترین رخداد به ترتیب در ساعات ۳، ۶ و ۲۱ بوده است. هر چند تفاوت رخداد گردوغبار در ساعات مختلف با یکدیگر اختلاف چندانی نداشتند (شکل ۵).

مقایسه فراوانی ساعتی رخداد گردوغبار با دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر از آن در بخش مرکزی استان قم در دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۵



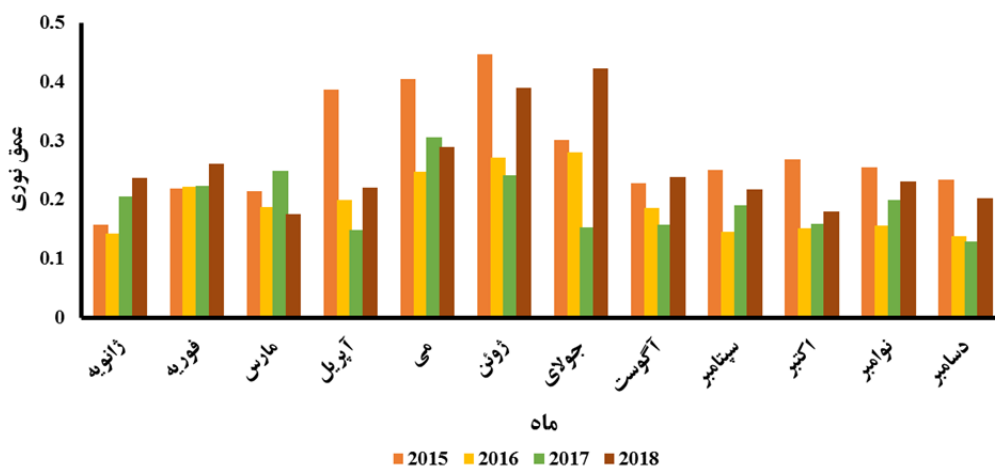
شکل ۵- فراوانی رخداد گردوغبار ایستگاه هواشناسی قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 5. Frequency of dust occurrence at Qom Meteorological Station (2015-2018)

بررسی روند تغییرات ماهانه عمق نوری

سال‌های مختلف متفاوت بود. بیشترین مقدار عمق نوری در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و جولای مشاهده گردید. بیشترین مقدار تداوم عمق نوری زیاد در سال ۲۰۱۵ بود که از آوریل تا ژوئن ادامه داشت (شکل ۶).

بررسی روند تغییرات عمق نوری با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده مودیس در بخش مرکزی استان قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸) نشان داد که بیشترین مقدار میانگین عمق نوری در



شکل ۶- متوسط عمق نوری ماهانه بخش مرکزی استان قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 6. Average monthly light depth (AOD) in the central part of Qom province (2015-2018)

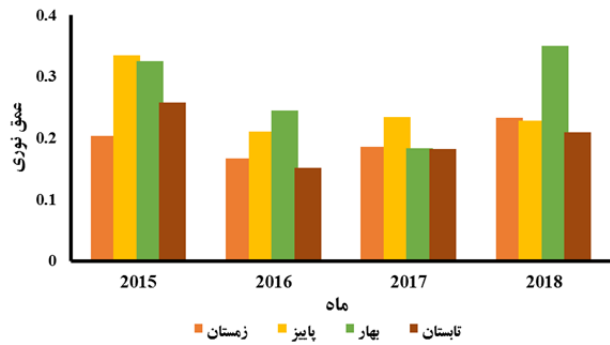
بررسی روند تغییرات فصلی عمق نوری

سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ به ترتیب در فصل‌های پاییز، بهار، پاییز و بهار مشاهده شد. حداکثر عمق نوری نیز در بهار سال ۲۰۱۸ مشاهده گردید (شکل ۷).

تغییرات فصلی عمق نوری در سال‌های مختلف متفاوت بود. بیشترین مقدار عمق نوری در بخش مرکزی استان قم از

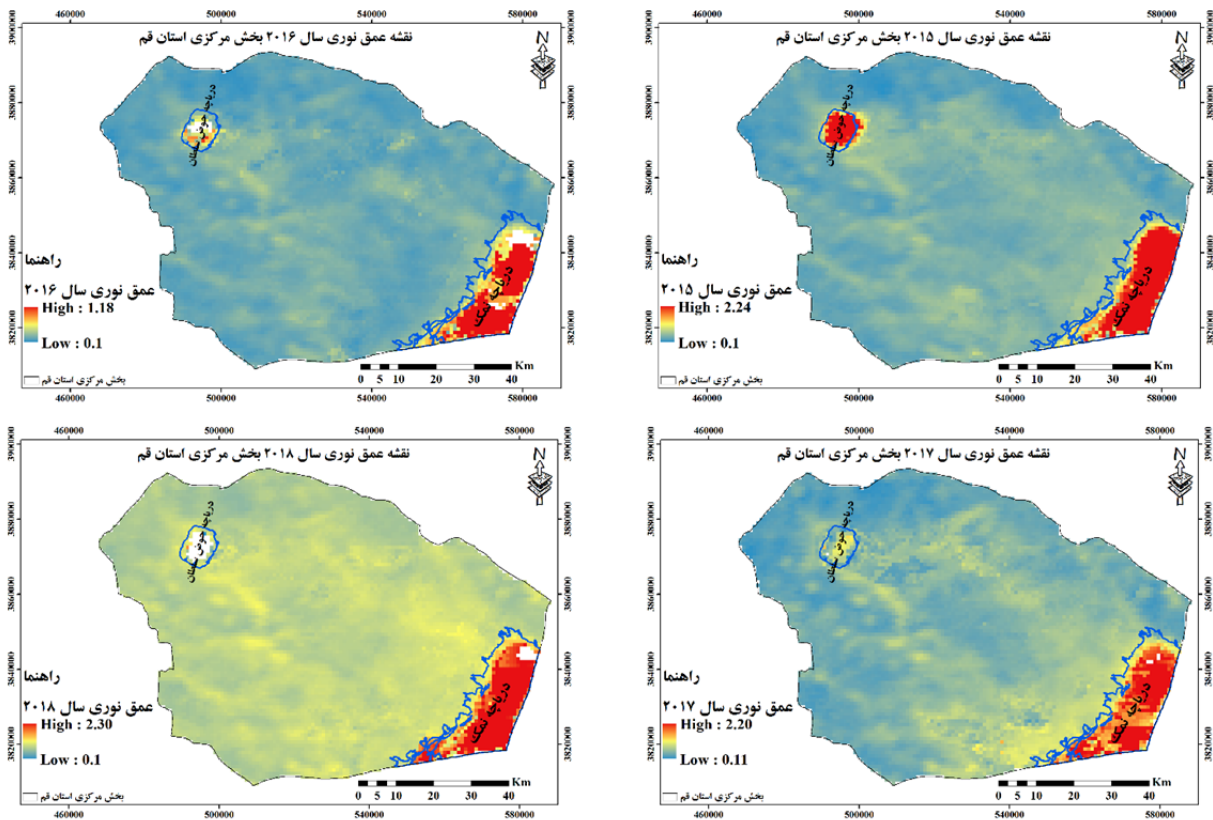
بررسی روند تغییرات سالانه عمق نوری

بررسی تغییرات مکانی و سالانه عمق نوری (۲۰۱۵-۲۰۱۸) نشان داد که روند حداکثرهای عمق نوری در حال افزایش و سطح بیشتری را دربرمی گیرد. حداکثر مقدار عمق نوری حدود ۲/۳۰ و ۲/۲۴ به ترتیب در سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۱۵ مشاهده شد که بیشتر در قسمت‌های شرقی و شمالی بخش مرکزی استان قم بود. این مناطق شامل دریاچه نمک و حوض سلطان و اراضی بایر اطراف آن می‌شود (شکل ۸).



شکل ۷- متوسط عمق نوری فصلی بخش مرکزی استان قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 7. Average seasonal light depth in the central part of Qom province (2015-2018)



شکل ۸- متوسط عمق نوری بخش مرکزی استان قم (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 8. Frequency of dust occurrence at Qom Meteorological Station (2015-2018)

گردوغبار منجر شده است (۱۰ و ۱۸). از جمله فعالیت‌های انسانی، استفاده نادرست و تغییر کاربری اراضی است که به تغییرات پوشش گیاهی و خصوصیات سطح زمین منجر می‌گردد که این خود باعث ایجاد منابع جدید و گسترش منابع

بحث و نتیجه‌گیری

سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک جزء منابع اصلی و عمده گردوغبار کره زمین هستند (۱۷ و ۳۰). در قرن بیستم عوامل انسانی و تغییرات اقلیمی به افزایش بیش از ۴۰ درصد

بخش مرکزی استان قم و کل کشور کم بوده و خشکسالی در این استان اتفاق افتاده است. قوچی زاده و همکاران (۹) در بررسی منابع گردوغبار بر کیفیت شهر قم بیان داشتند که منشأ طوفان‌های گردوغبار قم دو دسته شامل: طوفان‌های محلی و طوفان‌های انتقالی هستند. گردوغبار محلی نسبت به گردوغبار انتقالی دوام و پایداری کمتری دارد. در این مطالعه عوامل ایجاد گردوغبار محلی استان قم را می‌توان، وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، احداث سد در بالادست رودخانه‌های اصلی (قمرود و قره‌چای)، تغییر کاربری اراضی، برداشت بیش از حد از منابع آبی، بالا بودن تبخیر سالانه، وجود اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی، چرای بی‌رویه دام، فرسایش‌پذیری خاک و سایر عوامل انسانی نام برد. گردوغبار انتقالی که پدیده‌ای جدید است و در سال‌های اخیر کشور را درگیر نموده است، بیشتر از کشورهای عربستان، سوریه و عراق به سمت ایران حرکت می‌کند و قسمت‌های جنوب، جنوب غربی، غرب و مرکزی ایران از جمله استان قم را تحت تأثیر خود قرار داده است. به‌طورکلی پدیده گردوغبار استان قم با منشأ خارجی از مناطقی مانند صحرای عربستان، کویت، عراق و سوریه، بخش‌های مرکزی و شرقی ایران، بیابان‌های ترکمنستان و گاهی صحرای آفریقا است. همچنین منشأ داخلی گردوغبار نیز وجود کانون‌های مختلف در داخل استان قم است که بیشتر در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی استان قرار دارند (۲۷). بنابراین پدیده گردوغبار بسیار فعال و آسیب‌پذیر است و برای مهار آن به همکاری‌های بین‌المللی نیاز است. زیرا در چند دهه اخیر با توجه به خشکسالی‌های مکرر و مداوم و همچنین فعالیت‌های انسانی از قبیل وقوع جنگ‌های متمادی در کشورهای همسایه و حضور جنگ‌افزارهای نیروهای فرامنطقه‌ای که بیشتر در مناطق بیابانی و خارج از سطح جاده‌ها تردد دارند، این پدیده افزایش یافته است. همچنین با ظهور گروه‌های تروریستی و درگیر شدن دولت‌های سوریه و عراق در مبارزه با آنان، برای ترکیه فرصتی پیش آمد تا با ایجاد سدسازی بر این منابع آبی که نقش تعیین‌کننده‌ای در زندگی مردم سوریه و عراق دارند، شرایط برای وقوع پدیده گردوغبار

قدیمی گردوغبار است. بنابراین از آنجا که استان قم در قسمت‌های خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی قرار گرفته است، تغییر کاربری اراضی به‌سرعت منابع ایجاد توده‌های گردوغبار را افزایش خواهد داد. براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق در بازه زمانی پنج ساله (۲۰۱۵-۲۰۱۸) اراضی لخت با پوشش گیاهی کم ۱/۷۶ درصد کاهش داشته و از طرفی دیگر شوره‌زار و مناطق شهری و انسان ساخت و پوشش گیاهی متوسط به‌ترتیب ۰/۴۵، ۰/۲۹ و ۱/۰۲ درصد افزایش داشته است.

مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور مکرر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی از قبیل افزایش دما و کاهش بارندگی و همچنین خشکسالی‌های مداوم و مکرر هستند. اگرچه بعضی از کاربری‌های زمین مانند مرتع و زراعت در محیط‌های خشک در مقابل تغییرات اقلیمی انعطاف‌پذیر هستند، اما فعالیت‌های انسانی چنین انعطاف‌پذیری را به‌شدت کاهش داده است. این وضعیت باعث می‌شود که این سرزمین‌ها تخریب شده و در معرض فرسایش بادی قرار گیرند (۱).

از طرف دیگر وجود سازندهای حساس به فرسایش نیز از مکان‌های تغذیه‌کننده توده‌های گردوغبار است. مهرورز مغانلو و همکاران (۱۹) در مطالعه خود بیان داشتند که سازندهای زمین‌شناسی مرتبط با دوره کواترنری شامل رسوبات رودخانه‌ای و پادگان‌های آبرفتی قدیمی و جدید مرتفع و رسوبات موجود در دامنه ارتفاعات و دشت‌های میان کوهی از جمله رخساره‌های ژئومورفولوژیکی کواترنری است که ویژگی آن سستی و انفصال دانه‌ها و قطعات است. محل قرارگیری این رخساره‌ها در بخش‌های کم شیب و کم ارتفاع استان قم که در برابر عوامل فرسایشی مقاومت اندکی دارند، برای تولید گردوغبار پتانسیل بالایی دارند. بخش‌های قابل توجهی از مناطق مسطح استان قم به‌خصوص مناطق شرقی و شمال شرقی از رسوبات کواترنری پوشیده شده است. براساس مطالعه خسروشاهی و همکاران (۱۵) بیشتر مناطق بیابانی ایران را سازندهای کواترنری تشکیل داده است که خود منشأ و کانون گردوغبارهای داخل کشور است. مقدار بارش سالانه

همچنین پیامدهای اجتماعی و اقتصادی آن باعث تشدید روند مهاجرت از مناطق در معرض گردوغبار، کاهش درآمد و کاهش رونق صنعت گردشگری می‌گردد.

تقدیر و تشکر

این مطالعه در قالب بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب با کد (۷۴۵۸۱۵) و با حمایت استانداری قم اجرا شد. نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از دفتر آموزش و پژوهش استانداری و سازمان جهادکشاورزی استان قم که در اجرا و ارتقای کیفی این پژوهش همکاری داشته‌اند، اعلام می‌دارند.

تشدید شود (۵). بنابراین برای حل مشکل گردوغبار علاوه بر تلاش‌های منطقه‌ای در سطح کشور و استان قم، به تلاش فرامنطقه‌ای و بین‌المللی نیاز است. با توجه به روند افزایشی بیابان‌زایی و ویژگی‌های اقلیمی از قبیل افزایش دما و کاهش بارندگی و به تبع آن وقوع خشکسالی و بهره‌برداری‌های نادرست و نامناسب از اراضی، باعث افزایش کانون‌های برداشت گردوغبار همراه با فراوانی وقوع و مقدار آن شده است و آن را به یک چالش زیست‌محیطی کنترل‌ناپذیر تبدیل نموده است. افزایش گردوغبار به تهدید سلامت ساکنان اطراف این مناطق منجر می‌گردد. افزایش گردوغبار علاوه بر تخریب منابع پایه، اثرات نامناسبی بر بهداشت و سلامت جامعه دارد.

منابع مورد استفاده

- Al-Bakri, J.T., Brown, L., Gedalof, Z.E., Berg, A., Nickling, W., Khresat, S., Saoub, H. 2016. Modelling desertification risk in the North-west of Jordan using geospatial and remote sensing techniques. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 7(2): 531-549. <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.945102>.
- Bayat, R., Jafari, S., Ghermezcheshmeh, B., Charkhabi, A.H. 2016. Studying the effect of dust on vegetation changes (Case study: Shadegan wetland, Khuzestan). *RS & GIS for Natural Resources*, 7(2): 17-32. (In Persian).
- Boroghani, M., Pourhashemi, S., Zangane Asadi, M., Moradi, H. 2017. Dust source identification in the Middle East by using remote sensing. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(11): 33-57. (In Persian).
- Ciren, P., Kondragunta, S. 2014. Dust aerosol index (DAI) algorithm for MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119 (8): 4770-4792. doi: <https://doi.org/10.1002/2013JD020855>
- Daniali, M., Mohamadnezhad, B., Karimi, N. 2018. Spatial analysis of dust in Khuzestan province using satellite imagery. *RS & GIS for Natural Resources*, 9(1): 58-73. (In Persian).
- Dolatkordestani, M., Nosrati, K., Maddah, M., Tiefenbacher, J.P. 2022. Identification of dust sources in a dust hotspot area in Iran using multispectral Sentinel 2 data and deep learning artificial intelligence machine. *Geocarto International*, 37: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2043452>
- Ehsani, A.H., Bigdeli, M. 2020. The PM2.5 estimations over Tehran using remotely sensed aerosol optical depths data. *Journal of Climate Research*, 43: 99-108. (In Persian).
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Sayadi, Z., Khorani, A. 2021. Evaluation of spatiotemporal changes and correlations of aerosol optical depth, NDVI and climatic data over Iran. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 28(4): 725-735. (In Persian).
- Ghouchizadeh, A., Moeinaddini, M., Shahbazi, R., Ahmadi, N., Navour Naviri, M. 2018. Study of the importance of Quaternary dust sources emission on Qom air quality. *Quaternary Journal of Iran*, 4(3): 341-360. (In Persian).
- Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T. E., Hsu, N.C., Zhao, M. 2012. Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3): 1-36. doi: <https://doi.org/10.1029/2012RG000388>.
- Gupta P., Sundar Christopher A. 2008. An evaluation of Terra-MODIS sampling for monthly and annual particulate matter air quality assessment over the South-eastern United States. *Atmospheric Environment*, 4: 6465-6471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.044>.
- Jebali, A., Zare, M., Ekhtesasi, M.R., Jafari, R. 2021. A new threshold free dust storm detection index based on MODIS reflectance and thermal bands. *GIScience & Remote Sensing*, 58(8): 1369-1394. doi: <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1988428>
- Jia, K., Wei, X., Gu, X., Yao, Y., Xie, X., Li, B. 2014. Land covers classification using Landsat 8 operational land imager data in Beijing, China.

- Geocarto International, 29(8): 941-958. doi: <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.894586>.
14. Khoshshima, M., Bidokhti, A., Ahmadi-Givi, F. 2013. Evaluation of aerosol optical depth using visibility and remote sensing data in urban and semi urban areas in Iran. *The Journal of the Earth and Space Physics*, 39(1): 163-174. (In Persian).
 15. Khosroshahi, M., Mahmoudi, F., Kashki, M.T. 2011. Determination of Desert Areas in Iran on the Bases of Geological Effected Factors. *Geosciences*, 80(3): 15-22. (In Persian).
 16. Lee, YC, Xun, Y., Mark, W. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.034>.
 17. Lyu, Y., Qu, Z., Liu, L., Guo, L., Yang, Y., Hu, X., Liu, Q. 2017. Characterization of dustfall in rural and urban sites during three dust storms in northern China, *Aeolian Research*, 28: 29-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.06.004>.
 18. Mahowald, N.M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J.K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J.R., Albani, S., Doney, S.C., Bhattacharya, A., Curran, M.A.J., Flanner, M.G., Hoffman, F.M., Lawrence, D.M., Lindsay, K., Mayewski, P.A., Neff, J., Rothenberg, D., Thomas, E., Thornton, P.E., Zender, C.S. 2010. Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry Physics*, 10(22): 10875-10893. doi: <https://doi.org/10.5194/acp-10-10875-2010>.
 19. Mehrvarz Moghanlo, K., Feiznia, S., Ghayomian, J., Ahmadi, H. 2019. Investigation of Quaternary deposits suitable for floodwater spreading using remote sensing techniques and GIS (Case study: Tassuj plain). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 12(4): 438-467. (In Persian).
 20. Mirakbari M, Ebrahimi Khusfi Z. 2020. Investigation of spatial and temporal changes in atmospheric aerosol using aerosol optical depth in Southeastern Iran. *RS & GIS for Natural Resources*, 11(3): 87-105. (In Persian).
 21. Naserzadeh, M.H., Fatahi, H. 2016. The recognition of synoptic and local scale factors influencing the occurrence of the dust phenomenon in Ilam. *The Regional Planning Journal* 9(21): 57-74. (In Persian).
 22. Omidvar, K., Dehghan, M., Khosravi, Y. 2022. Assessment of relationship between aerosol optical depth (AOD) index, wind speed, and visibility in dust storms using genetic algorithm in central Iran (case study: Yazd Province). *Air Qual Atmos Health*, 112: 1-10. doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01214-y>.
 23. Oommen, T., Misra, D., Twarakavi, N.K.C., Prakash, A., Sahoo, B., Bandopadhyay, S. 2008. An objective analysis of support vector machine based classification for remote sensing. *Mathematical Geosciences*, 40: 409–424. doi: <https://doi.org/10.1007/s11004-008-9156-6>.
 24. Papi, R., Kakroodi, A.A., Soleimani, M., Karimi, L., Amin, F., Alavipanah, S.K. 2022. Identifying sand and dust storm sources using spatial-temporal analysis of remote sensing data in Central Iran. *Ecological informatics*, 70: 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101724>.
 25. Prasad, A.K., Singh, R.P. Singh, A. 2004. Variability of aerosol optical depth over Indian subcontinent using MODIS data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 32(4): 313-316. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03030855>.
 26. 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. doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-020-05443-2>
 27. Raufi Fard, K. 2016. Analysis of dust phenomenon in Qom province. In: *Proceeding of First International Conference on Dust*. Ahvaz, Iran. pp. 660-665. (In Persian).
 28. Rezaei, M., Farajzadeh, M., Mielonen, T., Ghavidel, Y. 2019. Analysis of spatio-temporal dust aerosol frequency over Iran based on satellite data. *Atmospheric Pollution Research*, 10(2): 508-5019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.10.002>.
 29. Shao, Y, Dong, C.H. 2006. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52(1): 1-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.011>.
 30. Wang, Y., Wang, R., Ming, J., Liu, G., Chen, T., Liu, X., Cheng, G. 2016. Effects of dust storm events on weekly clinic visits related to pulmonary tuberculosis disease in Minqin, China. *Atmospheric Environment*, 127: 205-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.041>.



Detection and tracking of dust phenomena and determination of its origin using AOD index obtained from MODIS sensor data in Qom province

Hossein Tavakoli Neko, Abbas Pourmeidani, Mehdi Adnani

Received: 2022-06-28 / Accepted: 2022-08-09 / Published: 2024-09-29

Abstract

Dust is one of the phenomena in arid and semi-arid areas that pose a lot of environmental hazards. This study was conducted with the aim of identifying dust and tracking them, using data based on remote sensing and GIS, zoning intensity and classification of centers and prioritizing areas in terms of dust and preparing a zoning map of dust phenomenon in Qom province. Meteorological data for the years (2015-2018) were prepared from meteorological stations in Qom and MODIS sensor images were used to highlight the dust phenomenon.

Hossein Tavakoli Neko¹ (✉), Abbas Pourmeidani², Mehdi Adnani²

1. Forests and Rangelands Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qom, Iran

2. Forests and Rangelands Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qom, Iran

DOI: 10.30495/girs.2022.693490

E-mail: h.tavakolineko@areeo.ac.ir

Dust events with a visibility of 1000 meters and less in Qom province in different years (2018-2015) had a different trend and more than 177 dust events occurred in this period. In general, the maximum dust phenomenon was in the cold seasons and the minimum was in the spring and summer seasons. Examination of the trend of changes in AOD showed that the maximum value of light depth varied in different years and months. The maximum amount of high light depth continuity was in 2015, which lasted from April to June. Also, changes in temperature and rainfall showed that the general trend of temperature and rainfall was increasing in the study area. Due to the increasing trend of desertification and climatic characteristics such as increasing temperature and decreasing rainfall and consequently the occurrence of drought and improper land use, has increased the centers of dust harvest with the frequency of occurrence and its amount and turned it Has become an uncontrollable environmental challenge.

Background and purpose: Optical depth index is one of the most widely used indicators for

evaluating air pollution in different regions, especially arid and desert areas. Arid and semi-arid regions are the main sources of dust particles suspended in the atmosphere. Due to its location in the arid and semi-arid region, Iran is faced with numerous dust storms throughout the year, which have caused irreparable environmental and socio-economic damage to various parts of the country. The aim of this study was to identify and trace dust centers, identify domestic dust generating centers in central regions of Iran and case by case in Qom province using data based on remote sensing and GIS, zoning intensity and classification of centers and prioritization of regions. In terms of the amount of dust and the preparation of the zoning map of the event of the dust phenomenon was performed.

Materials and Methods: In order to investigate the occurrence of dust phenomenon in Qom province, meteorological data for the desired years were prepared from meteorological synoptic stations. MODIS sensor images were used to highlight the dust phenomenon. Optical depth of light (AOD) products of MODIS sensor was used to investigate and track the concentration and intensity of dust. After identifying the dust sources using distance sensing techniques, in order to identify areas prone to dust production, a land use map was prepared. Sentinel 2 satellite data were used to investigate spatial and temporal changes in land cover. To introduce the classification models, educational samples in the desired classes were introduced to the software according to the appropriate spatial distribution, band composition, and spectral behavior and also field monitoring. The supervised maximum probability classification (MLC) method was used to classify and determine land use. Finally, by constructing false band compositions 543 and examining the spectral diagram of the phenomena, five types of land use for the study area include: barren lands with low vegetation, mountainous and rocky outcrops, salt lakes and saline lands, residential and man-made areas and agricultural lands was considered. Then about 20%, ie 500 samples were randomly isolated from the collected samples and were evaluated as

ground reality samples to evaluate the accuracy of classification methods. After applying the supervised classification, the accuracy of the obtained results was evaluated. Descriptive statistical methods were used to analyze the data related to the number of dust events on an annual, monthly and hourly basis in the region.

Results: Based on the results obtained from the classification, the surface coating of Qom province was divided into four main classes. Barren lands with low vegetation, salt lakes and saline lands formed the largest land cover, which covered almost 90% of the area. By specifying the type of land use and land cover of the province, their changes in different time scales during 2015 and 2018 showed that bare lands with low vegetation decreased by -1.76% and on the other hand built saline and urban and human lands and Lands with average vegetation increased by 0.45%, 0.29% and 1.02%, respectively. Annual survey of dust events with a visibility of 1000 meters and less in the central part of Qom province (2015-2018) showed that the trend of this phenomenon was different in different years and 2015 had the highest number of dust and more than 177 dust events in this period Taken (Figure 3). The highest incidence of dust in the central part of Qom province in December, January and November were 58, 52 and 41, respectively. Also, the study of the hourly frequency of dust occurrence with a horizontal visibility of 1000 meters and less showed that the highest incidence was at 3, 6 and 21 hours, respectively. The study of spatial and annual changes in light depth (2015-2018) showed that the trend of maximum light depths is increasing and includes more levels. The maximum amount of light depth was about 2.30 and 2.24 in 2018 and 2015, respectively, which was mostly in the eastern and northern parts of the central part of Qom province. These areas include Salt Lake and Sultan Basin and the surrounding barren lands.

Discussion and Conclusion: The results of the study during the period (2015-2018) in the study area, the trend of increasing barren and saline lands, the spatial expansion of the salt lake and the

Sultan Basin showed. Using MODIS sensor data, dust phenomena can be identified and tracked and its main source can be properly observed. In general, the dust phenomenon of Qom province is of foreign origin from areas such as the desert of Saudi Arabia, Kuwait, Iraq and Syria, the central and eastern parts of Iran, the deserts of Turkmenistan and sometimes the desert of Africa. Also, the internal source of dust is the existence of different centers in Qom province, which are mostly located in the eastern and northeastern parts of the province. Therefore, the dust phenomenon is very active and vulnerable. Due to the increasing trend of desertification and climatic characteristics such as increasing temperature and decreasing

rainfall and consequently the occurrence of drought and improper land use, has increased the centers of dust harvest along with the frequency and amount of it and it It has become an uncontrollable environmental challenge. Increased dust threatens the health of residents around these areas. Increasing the dust phenomenon, in addition to destroying basic resources, have adverse effects on public health. Also, its social and economic consequences intensify the migration process from dust-exposed areas, reduce income and reduce the prosperity of the tourism industry.

Keywords: Dust, optical depth, remote sensing, Qom.