

بررسی تغییرات زمانی و مکانی پدیده گرد و غبار با استفاده از شاخص عمق نوری حاصل از سنجنده MODIS (مطالعه موردی: استان قم)

هادی اسکندری دامنه^{۱*}، محمد مهدی فتاحی^۲

۱- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، hadi.eskandari71@gmail.com

۲- کارشناس ارشد پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، mmahdifattahi@gmail.com

چکیده

مناطق خشک با توجه به شرایط خاص حاکم بر این مناطق و حساسیت آنها به فرآیندهای تخریب اراضی، تغییرات اقلیمی و منابع ایجاد و دریافت گرد و غبار مورد توجه تحقیقات گرد و غبار می‌باشند و در این مناطق هر ساله شاهد خسارت چشمگیری می‌باشیم. از این رو در این مطالعه تغییرات عمق نوری (AOD) در بخش‌های استان قم با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس ترا در بازه زمانی ۱۷ ساله بین سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۱ پرداخته خواهد شد. بررسی تغییرات مکانی عمق نوری نشان داد که در قسمت‌های شمال شرقی، شرقی، شمالی تا شمال غربی استان بیشترین مقدار عمق نوری مشاهده شده است به طوری که روند تغییرات عمق نوری در استان قم افزایشی بوده و بیشترین مقدار این شاخص در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ با مقدار متوسط ۰/۳ و ۰/۲۶ بوده است. بررسی روند تغییرات عمق نوری در بخش‌های مختلف استان قم نشان داد که حداکثر مقدار متوسط عمق نوری در بخش مرکزی قم مشاهده شده است و حداکثر مقدار عمق نوری در سال ۲۰۰۹ حدود ۰/۳۵ بوده است. بررسی روند تغییرات عمق نوری نشان داد که تقریباً در تمامی بخش‌های استان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ روند افزایشی بوده که این روند مثبت در اکثر این بخش‌ها معنی‌دار بوده است در حالی که از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ روند کاهشی و معنی‌دار را در این بخش‌ها شاهد هستیم با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان عنوان نمود که با استفاده از داده‌های سنجنده از دوری می‌توان گرد و غبار را پایش کرد و برای مقابله و کنترل آنها سیاست‌های مدیریتی مناسبی را اتخاذ کرد.

واژه‌های کلیدی: گرد و غبار، عمق نوری، سنجنده مودیس، استان قم

مقدمه

کمیت عبور نور یک فاکتور کلیدی در فهم تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. یکی از عدم قطعیت‌های پیش‌بینی محرک‌های تابشی مربوط به عدم آگاهی درست از پراکنش مکانی و زمانی آئروسول‌ها بوده که به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و فرآیند تشکیل آنها وابسته است (Bocher و همکاران، ۲۰۱۳). آئروسول‌ها به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی سیستم زمین-اتمسفر و اقیانوس می‌باشند که از طریق انعکاس نور خورشید و بازتاب زمینی در تغییرات اقلیمی به شدت تأثیر گذار هستند (چارلسون و همکاران، ۱۹۹۲). این ذرات ممکن است حاصل از فعالیت‌های انسانی و اقلیمی باشند و با پراکنش خود اثرات مستقیم و غیر مستقیمی بر پراکنش نور خورشید و بازتاب آن خواهند داشت که این شرایط به اندازه، شکل، ترکیبات شیمیایی و حالت قرار گیری آنها وابسته می‌باشد (Ramanathan و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این خواص فیزیکی و شیمیایی این ذرات تأثیر بسزایی بر غلظت و توزیع گازهای گلخانه‌ای و چرخه هیدرولوژیکی دارد، بنابراین آئروسول‌ها باعث تحولات زیست محیطی و مشکلات برای سلامتی انسان و دید افقی خواهد داشت (Schäfer و همکاران، ۲۰۱۱).

عمق نوری ذرات (AOD) گرد و غبار یکی از پارمترهای اصلی برای برآورد مقدار ذرات گرد و غبار موجود و ارزیابی میزان آلودگی هوا می‌باشد که به دقت قابل اندازه‌گیری و در دسترس می‌باشد (Boiyo و همکاران، ۲۰۱۸). AOD مقدار ذرات معلق موجود در یک ستون قائم را نشان می‌دهد و اثر آئروسول‌ها روی مقدار بازتاب زمینی نشان می‌دهد که در سرد شدن و گرم شدن زمین تأثیر بسزایی دارند (Sarka و همکاران، ۲۰۰۶). در حال حاضر مشاهدات زمینی و پایش ماهواره‌ای دو روش عمده و مهم برای اندازه‌گیری خصوصیات گرد و غبار در بازه‌های زمانی طولانی مدت می‌باشند. با توجه به اینکه پراکندگی مراکز زمینی پایش آلودگی هوا در سطح جهان اهمیت ماهواره‌های سنجنش از دوری برای تخمین آلودگی‌های هوا (بویژه ذرات معلق در سطح) به طور گسترده در سطح جهان در حال استفاده می‌باشد (مارتین و همکاران، ۲۰۱۹).

سنجنده مودیس موجود بر روی ماهواره‌های تراپو آکوا داده‌های گرد و غبار دراز مدت را در مقیاس متوسط به صورت روزانه، پوشش وسیع، دقت بالا در بازیابی اطلاعات و استفاده از پردازنده‌های قوی در کالیبراسیون داده‌های برداشت شده در اختیار محققین قرار داده است. که این باعث شده است که AOD حاصل از مودیس نسبت به سایر سنجنده‌ها به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد (Kumar و همکاران، ۲۰۱۴). سنجنده مودیس مجموعه‌ای از داده‌های قابل اعتماد عمق نوری ذرات گرد و غبار را در سطح خشکی و اقیانوس‌ها در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Bréon و همکاران، ۲۰۱۱؛ Nabat و همکاران، ۲۰۱۳). سنجنده مودیس برای بررسی عمق نوری در سطح اقیانوس‌ها و سطح زمین از الگوریتم‌های Dark Target و Deep Blue استفاده می‌کند زیرا بازیابی خصوصیات ذرات گرد و غبار در سطوح تاریک آسان‌تر می‌باشد (Kaufman و همکاران، ۱۹۹۷؛ Tanre و همکاران، ۱۹۹۷). مطالعات زیادی از عمق نوری حاصل از داده‌های سنجنش از دوری عمق نوری در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی پرداخته‌اند. Singh و همکاران ۲۰۲۰ به بررسی عمق نوری حاصل از داده‌های سنجنده مودیس ماهواره ترا در شمال هند در مقیاس سالانه پرداختند. Li و همکاران ۲۰۱۰ در تحقیق خود به بررسی توزیع مکانی و زمانی AOD چین در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس ترا سطح ۲ پرداختند. Luo و همکاران ۲۰۱۴ با استفاده از محصولات سطح ۳ سنجنده مودیس ترا به مطالعات تغییرات زمانی مکانی AOD در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ برای بررسی آلودگی عمده مناطق مختلف چین پرداختند. با این حال تلاش‌های زیادی در خصوص آنالیز منابع، خصوصیات و فرآیندهای تکامل ذرات گرد و غبار در سال‌های اخیر، شرایط عمق نوری گرد و غبار، غلظت آنها و نحوه اثر گذاری آنها بر تغییرات اقلیمی یکی از بزرگترین دغدغه‌های محققین می‌باشد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات عمق نوری در بخش‌های مختلف استان قم بین بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس می‌باشد.

¹ Aerosol optical depth (AOD)

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

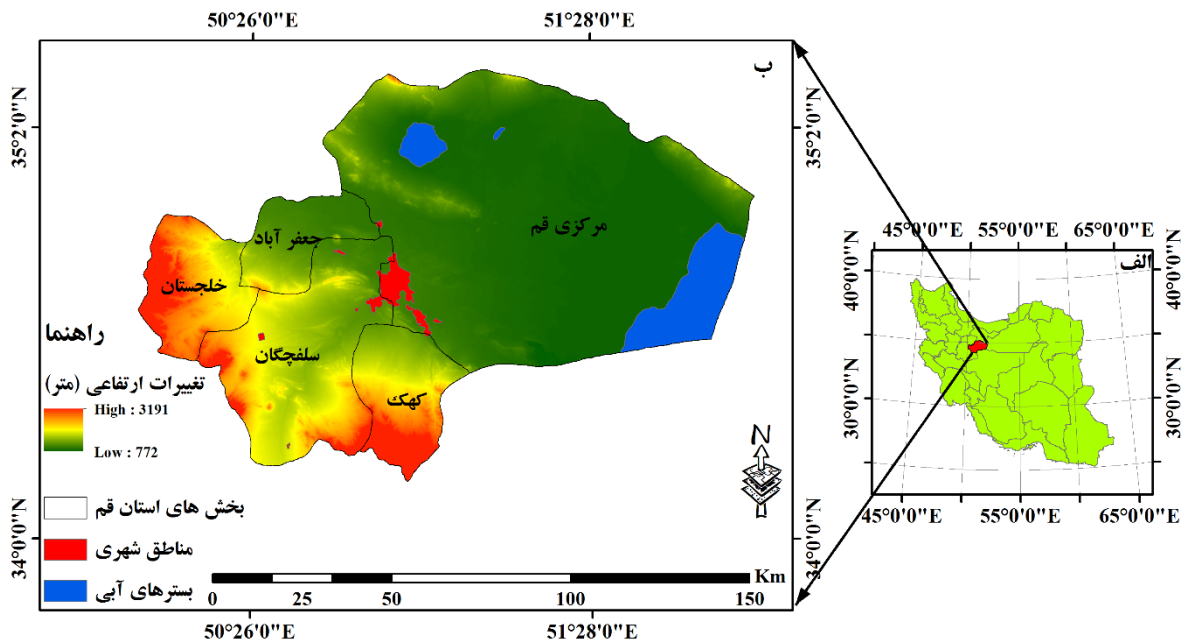
³ Terra

⁴ Aqua

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان قم تقریباً در مرکز ایران قرار دارد و از شمال به استان تهران از شرق به استان سمنان از جنوب به استان اصفهان و از غرب به استان مرکزی محدود می‌باشد که در غرب دریاچه نمک واقع شده است. مساحت این استان ۱۱۲۳۸ کیلومتر مربع می‌باشد که از نظر مختصات $51^{\circ} 58' 10''$ و $50^{\circ} 50' 40''$ و طول شرقی و بین $34^{\circ} 9' 28''$ و $35^{\circ} 13' 15''$ عرض شمالی واقع شده است. استان قم از نظر تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۰ دارای یک شهرستان ۵ بخش، ۶ شهر، ۹ دهستان و ۳۳۰ آبادی که ۲۰۳ آبادی دارای سکنه و ۱۲۷ خالی از سکنه می‌باشد. شکل ۱ موقعیت استان قم را در کشور ایران (الف) تغییرات ارتفاعی، بخش‌ها و مناطق شهری استان قم (ب) را نشان می‌دهد.



شکل ۱. الف، موقعیت استان قم در کشور ایران. ب، تغییرات ارتفاعی و بخش‌ها و منطقه شهری استان قم

داده‌ها و روش تحقیق

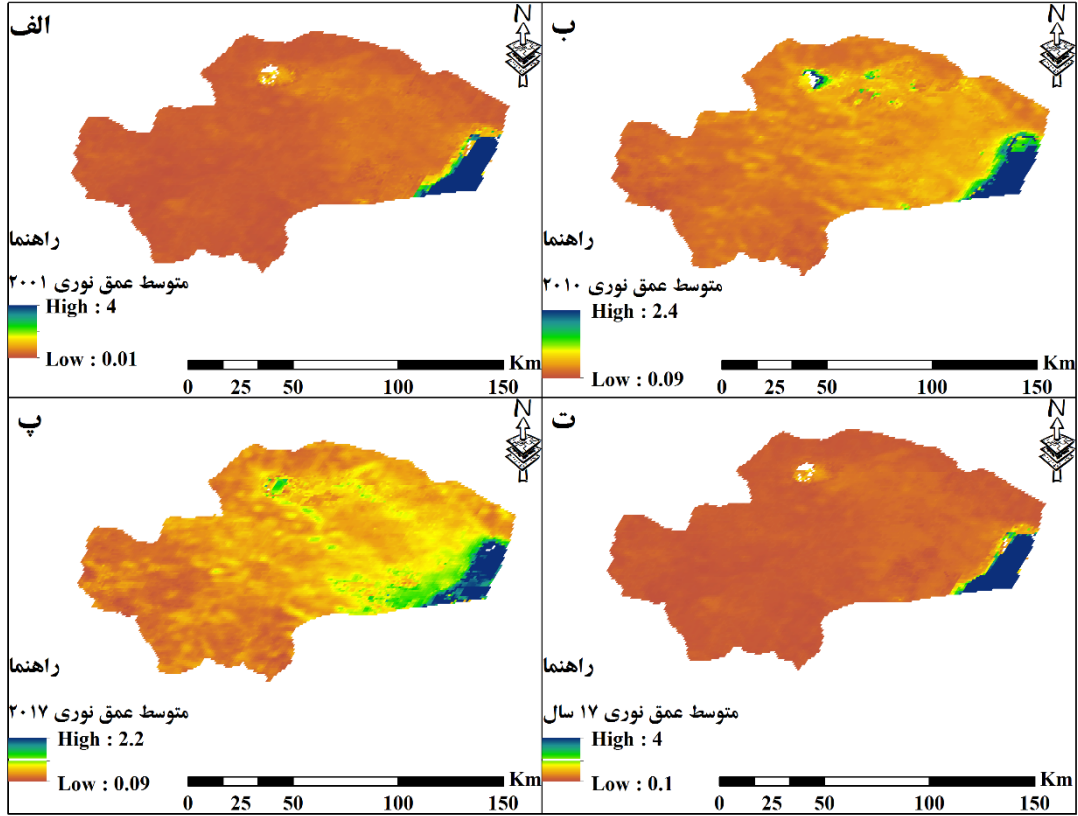
در این تحقیق برای بررسی تغییرات عمق نوری از داده‌های سنجنده مودیس ترا و آکوا (MCD19A2) استفاده شد. این تولیدات داده‌های عمق نوری را به صورت روزانه و با رزولوشن مکانی ۱ کیلومتر از سال ۲۰۰۰ در اختیار محققین قرار می‌دهند. که در این تحقیق برای بررسی عمق نوری بخش‌های مختلف استان قم در بازه زمانی سالانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ از این محصولات استفاده گردید. این محصولات از سایت ناسا (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>) تهیه سپس با استفاده از MODIS Toolkit در نرم افزار ENVI5.3 تصحیحات اتمسفری و هندسی روی آنها انجام گرفت و در نهایت برای بررسی تغییرات از نرم‌افزار ARCGIS10.5 و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی متوسط عمق نوری

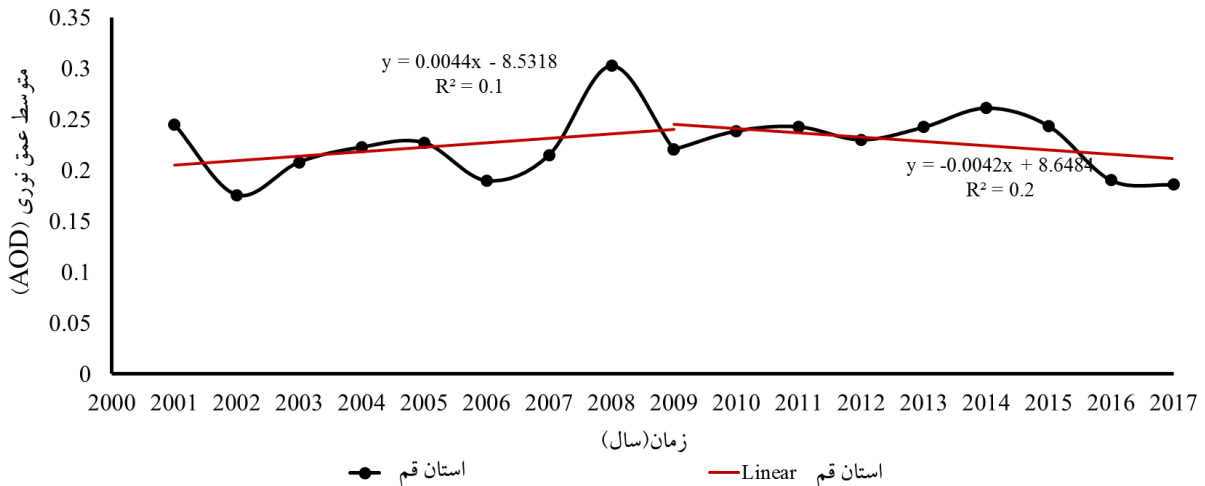
تغییرات مکانی عمق نوری را در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲، الف تغییرات عمق نوری را در سال ۲۰۰۱ نشان می‌دهد که متوسط این شاخص ۰/۲۵ بوده که از لحاظ مکانی حداکثر مقدار این شاخص که حدود ۴ می‌باشد در قسمت‌های شمال شرقی تا شمالی استان دیده شده است. در سال ۲۰۱۰ (شکل ۲، ب) متوسط این شاخص ۰/۲۳ بوده که حداکثر مقدار آن در قسمت‌های شمال شرقی، شرق و تا حدودی قسمت‌های مرکزی تا غربی استان قم نمایان می‌باشد. در قسمت پ این شکل متوسط عمق نوری سال ۲۰۱۷ حدود ۰/۱۸ بوده که در قسمت‌های شمال شرقی، شرقی تا حدودی غرب استان قم دیده شده که از

سمت شرق به غرب مقدار این شاخص کاهش پیدا کرده است. قسمت ت، این شکل متوسط ۲۰۱۷-۲۰۰۱ را نشان می‌دهد که متوسط شاخص AOD در این بازه زمانی حدود ۰/۲۴ بوده است که نشان می‌دهد که متوسط حداکثر عمق نوری این ۱۷ ساله ۴ بوده است که بیشتر در قسمت‌های شمال شرقی و شرق استان دیده شده است.



شکل ۲- متوسط عمق نوری سال ۲۰۰۱ (الف)، ۲۰۱۰ (ب)، ۲۰۱۷ (پ) و ۲۰۰۱-۲۰۱۷ (ت)

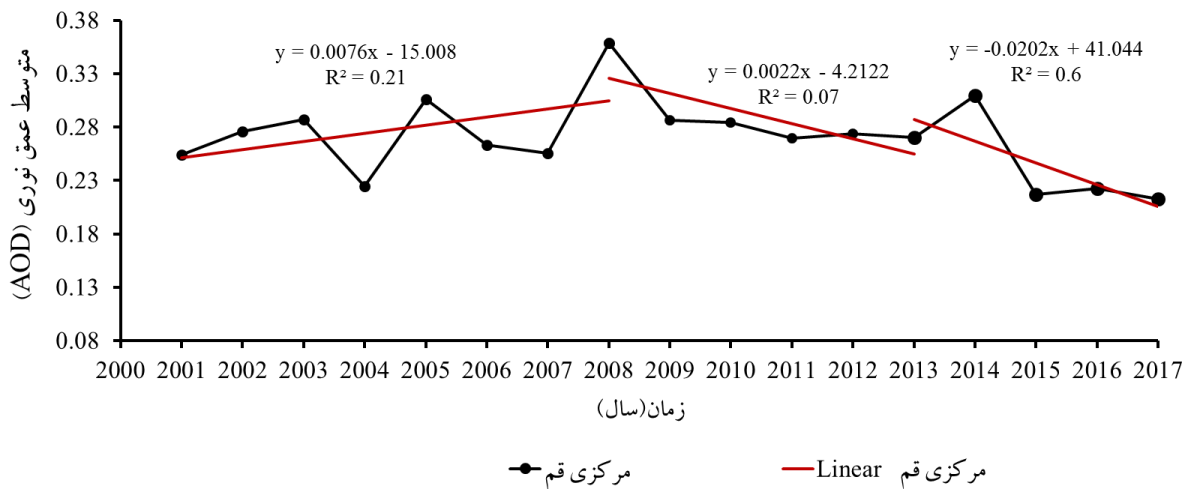
بررسی متوسط سالانه استان قم در شکل ۳ نشان داد که روند تغییرات ۱۷ ساله شاخص AOD در کل استان قم با شیبی ملایم در حال افزایش می‌باشد. اگرچه روند تغییرات متوسط این شاخص از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ افزایشی بوده به طوری مقدار آن در سال ۲۰۰۱ حدود ۰/۲۴ بوده که به ۰/۳ در سال ۲۰۰۸ رسیده است، اما از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۷ روند تغییرات کاهشی بوده که این روند کاهشی معنی‌دار نبوده است.



شکل ۳- متوسط عمق نوری در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

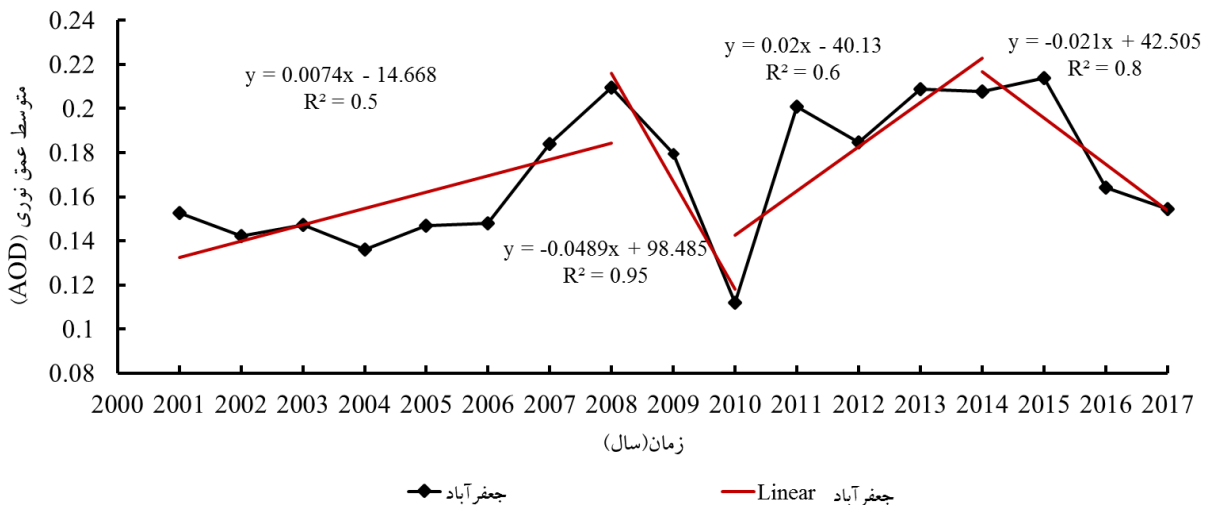
روند تغییرات عمق نوری در بخش‌های مختلف استان قم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

روند تغییرات عمق نوری در بخش مرکزی قم در شکل ۴ نشان داد که بیشتری مقادیر عمق نوری در این بخش از استان قم واقع شده است. روند تغییرات عمق نوری در این بخش نشان داد که عمق نوری از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ روند افزایشی داشته است به طوری که از ۰/۲۴ در سال ۲۰۰۱ به ۰/۳۵ رسیده است. روند تغییرات از سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۸ کاهش یافته است ولی تا ۲۰۱۳ با شیب ملایم در حال افزایش بوده است این در حالی است که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ روند عمق نوری کاهش معنی‌داری را نشان داده است.



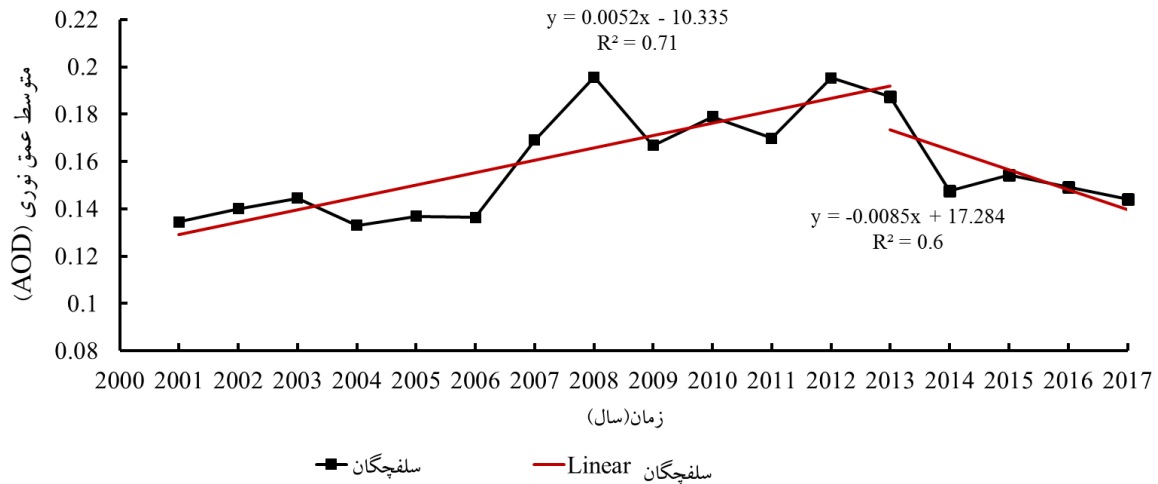
شکل ۴- متوسط عمق نوری بخش مرکزی قم استان قم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

بررسی روند تغییرات در بخش جعفرآباد در شکل ۵ بیانگر این می‌باشد که روند تغییرات عمق نوری در این بخش افزایشی بوده و بعد از بخش مرکزی قم بیشترین مقادیر متوسط AOD را به خود اختصاص داده است. این بررسی نشان داد که روند تغییرات عمق نوری از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ افزایشی و معنی‌دار بوده است به طوری که از ۰/۱۴ در سال ۲۰۰۱ به ۰/۲۳ در سال ۲۰۰۸ رسیده است این در حالی است که از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ کاهش معنی‌داری در عمق نوری رخ داده است اما از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ افزایش معنی‌داری در مقدار عمق نوری مشاهده شده است. از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ عمق نوری به طور قابل توجهی کاهش یافته است.



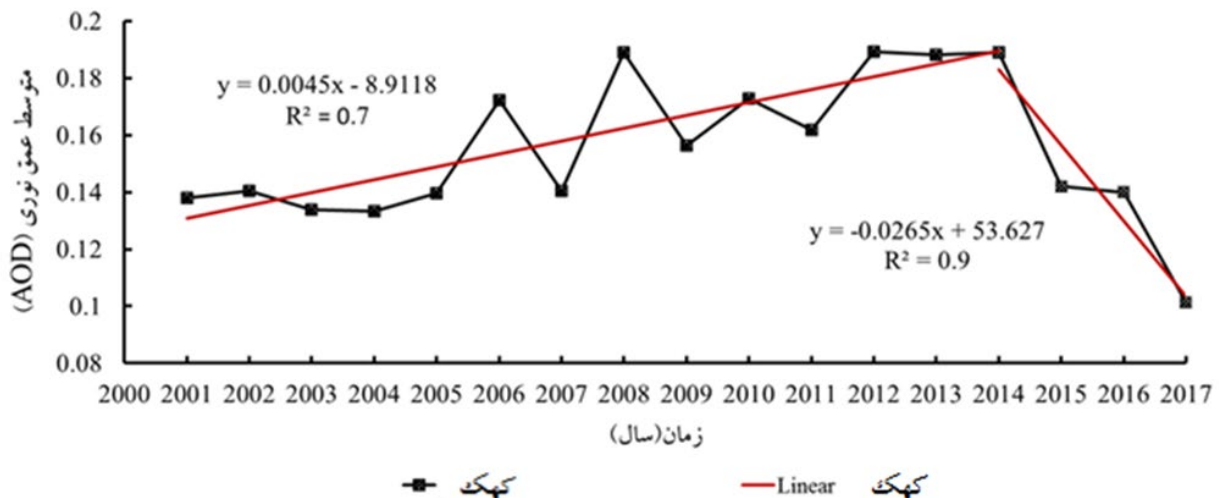
شکل ۵- متوسط عمق نوری بخش جعفرآباد استان قم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

تغییرات عمق نوری در بخش سلفچگان نیز در شکل ۶ نشان داد که در حالت کلی روند تغییرات عمق نوری افزایشی بوده است. به طوری که از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ عمق نوری افزایش معنی داری داشته است به طوری که از ۰/۱۳۴ در سال ۲۰۰۱ به ۰/۱۹ در سال ۲۰۱۳ رسیده است. اما از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ روند کاهشی معنی داری در مقدار عمق نوری مشاهده شد که این مقدار در سال ۲۰۱۷ به ۰/۱۴ رسیده است.



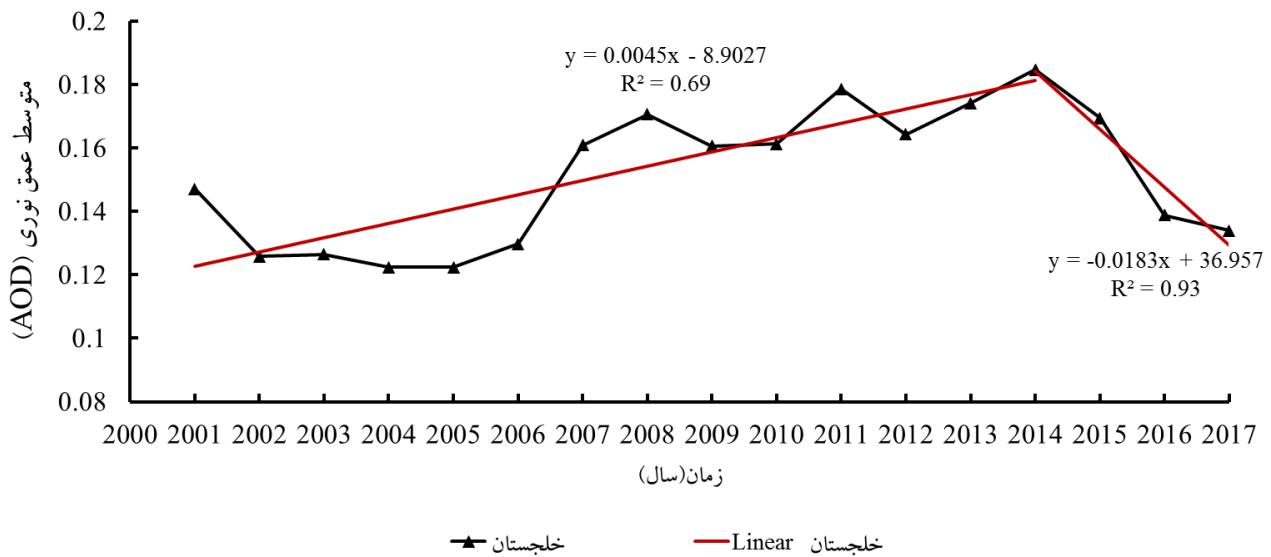
شکل ۶- متوسط عمق نوری بخش سلفچگان در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

تغییرات متوسط عمق نوری ۱۷ ساله در بخش کهک شکل ۷، نشان می دهد که روند تغییرات متوسط عمق نوری بین سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ افزایشی بوده که این افزایش معنی دار بوده به طوری که از ۰/۱۳ در سال ۲۰۰۱ به ۰/۱۹ در سال ۲۰۱۴ رسید است ولی از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۷ روند کاهشی می باشد که این کاهش معنی دار بوده است.



شکل ۷- متوسط عمق نوری کهک استان قم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

بررسی روند تغییرات متوسط عمق نوری شکل ۷ نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷ کمترین میزان عمق نوری در بخش خلیجستان استان قم مشاهده شده است که این مقدار عمق نوری از سال ۲۰۰۱ حدود ۰/۱۴ بوده که در سال ۲۰۱۷ به ۰/۱۸ رسیده است که این روند افزایشی معنی دار بوده است اما از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ روند کاهشی معنی دار در این عمق نوری دیده شد.



شکل ۷- متوسط عمق نوری بخش خلیجستان استان قم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق با استفاده از داده‌های عمق نوری سنجنده مودیس خصوصیات مکانی و زمانی عمق نوری استان قم در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تغییرات عمق نوری در بخش‌های (مرکزی قم، جعفرآباد، سلفچگان، کهک و خلیجستان) استان قم نشان داد که در حالت کلی روند تغییرات عمق نوری در استان قم در قسمت‌های شمال شرقی و شرق استان بیشترین مقدار را نشان داد، که این قسمت‌ها در مجاورت اراضی بایر از قبیل اراضی بایر استان سمنان، دریاچه نمک و حوض سلطان قرار گرفته‌اند. در حالت کلی روند افزایشی را در برداشته است. متوسط ۱۷ سال عمق نوری در حدود ۰/۲۴ بوده که از میانگین اکثر سال‌ها بیشتر بوده است. میانگین عمق نوری در قسمت‌های شمال شرقی، شرقی و شمالی در برگیرنده مقادیر حداکثر می‌باشد که بخش مرکزی استان قم را شامل می‌شوند. همچنین بخش جعفرآباد در قسمت غربی استان نسبت به بخش‌های سلفچگان در جنوب، کهک در جنوب شرقی و خلیجستان در جنوب شرق بیشترین مقدار عمق نوری را نشان داده است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات عمق نوری از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ روند افزایشی داشته ولی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ این روند کاهشی بوده است ولی در حالت کلی تغییرات عمق نوری در استان قم روند افزایشی را نشان می‌دهد. در انتها پیشنهاد می‌شود برای بررسی دقیق‌تر تغییرات عمق نوری تغییرات این شاخص به عنوان شاخص بررسی گرد و غبار در بازه زمانی ماهانه و فصلی مورد بررسی قرار گیرد و همچنین از داده‌های میدانی و مدل‌های مختلف برای بررسی صحت و دقت این داده‌ها استفاده شود.

تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قم به دلیل همکاری و قرار دادن اطلاعات در مورد استان قم سپاسگزاری می‌گردد. همچنین این مقاله از طرح پژوهشی بین دانشگاه دفاع ملی و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قم استخراج شده است.

منابع

- Boiyo, R., Kumar, K. R., & Zhao, T. (2018). Spatial variations and trends in AOD climatology over East Africa during 2002–2016: a comparative study using three satellite data sets. *International Journal of Climatology*, 38, e1221-e1240.
- Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., Feingold, G., Forster, P., ... & Rasch, P. (2013). Clouds and aerosols. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the*



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



- Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 571-657). Cambridge University Press.
3. Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley, J. J., Hansen, J. E., & Hofmann, D. J. (1992). Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 255(5043), 423-430.
 4. Kaufman, Y. J., Tanré, D., Remer, L. A., Vermote, E. F., Chu, A., & Holben, B. N. (1997). Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 17051-17067.
 5. Kumar, K. R., Sivakumar, V., Yin, Y., Reddy, R. R., Kang, N., Diao, Y., ... & Yu, X. (2014). Long-term (2003–2013) climatological trends and variations in aerosol optical parameters retrieved from MODIS over three stations in South Africa. *Atmospheric Environment*, 95, 400-408.
 6. Li, B., Yuan, H., Feng, N., & Tao, S. (2009). Comparing MODIS and AERONET aerosol optical depth over China. *International Journal of Remote Sensing*, 30(24), 6519-6529.
 7. Ramanathan, V., Li, F., Ramana, M. V., Praveen, P. S., Kim, D., Corrigan, C. E., ... & Adhikary, B. (2007). Atmospheric brown clouds: Hemispherical and regional variations in long-range transport, absorption, and radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D22).
 8. Sarkar, S., Chokngamwong, R., Cervone, G., Singh, R. P., & Kafatos, M. (2006). Variability of aerosol optical depth and aerosol forcing over India. *Advances in Space Research*, 37(12), 2153-2159.
 9. Schäfer, K., Thomas, W., Peters, A., Ries, L., Obleitner, F., Schnelle-Kreis, J., ... & Pitz, M. (2011). Influences of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic plume on air quality in the northern Alpine region.
 10. Singh, T., Ravindra, K., Sreekanth, V., Gupta, P., Sembhi, H., Tripathi, S. N., & Mor, S. (2020). Climatological trends in satellite-derived aerosol optical depth over North India and its relationship with crop residue burning: rural-urban contrast. *Science of The Total Environment*, 748, 140963.
 11. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. M. (2013). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Computational Geometry*, 18, 95-123.
 12. Tanré, D., Kaufman, Y. J., Herman, M., & Mattoo, S. (1997). Remote sensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 16971-16988.