

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی عمق نوری و داده‌های اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ (مطالعه موردی: کشور ایران)

هادی اسکندری دامنه^۱، حامد اسکندری دامنه^۲، زهرا صیادی^۳ و اسداله خورانی^{۴*}

۱- پسادکترای بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- دکترای بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان

۴* - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، پست الکترونیک: khorani@hormozgan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱

چکیده

کشور ایران با توجه به حاکم بودن اقلیم خشک و نیمه‌خشک بر آن همیشه از تولید و گسترش مواد معلق در هوا به‌ویژه گردوغبار آسیب دیده است. این پدیده با توجه به تأثیر مستقیم بر روی محیط‌زیست و سلامت انسان بسیار مخرب و تأثیرگذار است. هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات پارامترهای عمق نوری AOD، شاخص پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما، میانگین سرعت باد و همبستگی بین عمق نوری و پارامترهای مورد مطالعه در کشور ایران است. داده‌های عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی از تصاویر سنجنده مودیس و سایر داده‌ها از سایت اقلیمی ECMWF در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر تهیه شدند. برای بررسی روند تغییرات این پارامترها از آنالیز روند من-کندال و شیب تخمین‌گر سن و همچنین برای بررسی همبستگی بین عمق نوری و داده‌های اقلیمی از مدل همبستگی خطی استفاده شد. 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. به‌طوری‌که شاخص NDVI و بارندگی به ترتیب ۸۵/۱۳ و در ۶۷/۵۷ درصد کشور کاهش یافته است، این در حالی است که AOD، سرعت باد و دما به ترتیب در ۷۱/۴۳، ۷۱/۸۶ و ۹۹/۳۷ درصد از سطح کشور افزایش نشان داده است. رابطه همبستگی بین AOD و NDVI، 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 داشته، این در حالی است که با پارامتر دما و سرعت باد در ۶۸/۴۲ و ۵۰/۳۶ درصد از مساحت کشور همبستگی مثبت نشان داده است. بنابراین افزایش ذرات معلق در هوا به‌شدت به روند تغییرات پوشش گیاهی و فاکتورهای اقلیمی از قبیل بارندگی، دما و سرعت باد بستگی دارد، به‌نحوی‌که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب به‌خوبی مورد مطالعه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: روندیابی تغییرات، آزمون من-کندال، عمق نوری، پوشش گیاهی همبستگی خطی، ایران.

مقدمه

تغییرات اقلیمی، توسعه اقتصادی و سلامت انسان دارد (Charlson et al., 1992; He et al., 2020; Kaufman et al., 2005; Samet et al., 2000; Omara et al., 2021);

مقدار آتروسول‌ها، به‌شدت به منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی وابسته است و تأثیر مستقیمی بر چرخه انرژی،

اتمسفر می‌باشد (Bennouna *et al.*, 2013; Tomasi *et al.*, 2012). AOD یک پارامتر کلیدی برای تخمین مقدار ذرات معلق در هوا، ارزیابی درجه و مقدار آلودگی هوا و تخمین اثرهای اقلیمی آئروسول‌ها است. همچنین یک کمیت فیزیکی مهم برای بررسی کدورت هوا بوده که نه تنها یک شاخص کلیدی برای برآورد ذرات معلق در ستون قائم هواست بلکه یک پارامتر کلیدی برای تخمین اثرهای جت‌های ستون قائم هوا بر فاکتورهای اقلیمی می‌باشد (He *et al.*, 2016; Kaufman *et al.*, 2002). بررسی مجموعه زمانی محصولات AOD به‌خوبی ویژگی‌ها و تغییرات رفتاری ذرات موجود در هوا را مشخص می‌کند. بررسی مکانی و زمانی روند تغییرات در غلظت آئروسول‌ها و تأثیر آن بر عوامل مختلف محیطی-اقلیمی در چند دهه گذشته با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای از قبیل Advanced Very High Resolution Sea Sensor Sea-viewing Wide Field of-view (Zhao *et al.*, 2008) Multi-angle Imaging (Hsu *et al.*, 2012) و SpectroRadiometer (Mehta *et al.*, 2016) و سنجنده Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Wang *et al.*, 2020) مورد توجه محققان قرار گرفته است. این مطالعات برای بررسی روند تغییرات ذرات معلق در هوا از محصولات تولیدی ماهواره مربوطه استفاده کرده‌اند. مطالعات مختلفی به بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی AOD در مقیاس‌های زمانی مختلف پرداخته‌اند. He و همکاران (۲۰۱۶) روند تغییرات AOD چین را در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۲ بررسی کرده و اثرهای آن را بر چین فاکتورهای اقلیمی، محیطی و اقتصادی-اجتماعی ارزیابی کردند. Wang و همکاران (۲۰۱۷)، روند تغییرات AOD شمال چین را در بازه ۲۰۱۶-۲۰۰۱ مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنان تغییرات روند متفاوتی را نشان داده است. Alfaro-Contreras و همکاران (۲۰۱۷)، روند تغییرات AOD و رابطه آن را با تابش‌های طول موج کوتاه خورشید مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنان نشان داد که ذرات معلق در هوا اثرهای مستقیمی بر تابش‌های کوتاه‌مدت خورشید دارند. Wang و همکاران (۲۰۲۰)، خصوصیات

براساس (Boroughani, 2020; Zheng *et al.*, 2020). داده‌های ماهواره‌ای، ایستگاه‌های زمینی و مدل‌های آماری مقدار ذرات معلق در هوا که منشأ طبیعی و انسانی دارند به صد تا هزاران میلیون تن در سال می‌رسند که این ذرات می‌توانند تا کیلومترها جابجا شوند (Nickovic *et al.*, 2001; Prospero *et al.*, 2002). در چند دهه اخیر عواملی از قبیل تغییرات در پارامترهای اقلیمی دما و بارش، کاهش پوشش گیاهی و همچنین افزایش شهرنشینی و به‌همراه آن رفاه بیشتر انسان باعث تغییراتی در آئروسول‌ها شده است که این موضوع باعث افزایش توجه و نگرانی‌های بشر گردیده است. این ذرات معلق در هوا به‌طور مستقیم باعث پراکنش نور خورشید و به‌طور غیرمستقیم با اثرگذاری بر تشکیل ابر اثرهای مهمی بر تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارند (Li *et al.*, 2007; Dargahian and Iotfinasbasal, 2020; Penner *et al.*, 2001). این ذرات معلق و به‌همراه آن آلاینده‌های سمی اثرهای منفی روی کیفیت محیط‌زیست و سلامت انسان بر جای می‌گذارند (Kampa and Castanas, 2008; Pope and Dockery, 2006). اینها درک درستی از چگونگی تغییرات مکانی و زمانی و تجزیه و تحلیل روند تغییرات طولانی‌مدت آنها بسیار لازم است. از سوی دیگر این بررسی و تجزیه و تحلیل‌ها می‌تواند به‌عنوان یک معیار مهم برای تعیین اثرهای آئروسول‌ها بر عوامل محیطی و اقلیمی عمل کند (Qin *et al.*, 2018; Thompson *et al.*, 2014). به‌طوری‌که با ظهور علم سنجش از راه دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و گسترش علوم محاسباتی برآورد اطلاعات از ماهواره‌ها آسان‌تر شده است. از سوی دیگر مطالعات نشان داده است که محصول عمق نوری آئروسول‌های (Aerosol Optical Depth) حاصل از داده‌های ماهواره‌ای ابزاری کارآمد برای بررسی خصوصیات آئروسول‌هاست (Cochrane, 2003; Kaufman *et al.*, 2002). عمق نوری آئروسول‌ها یک عدد بی‌بعد است که مقدار آئروسول‌های موجود در ستون قائم هواست. این شاخص به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین خصوصیات نوری آئروسول‌هاست و مهمترین خصوصیات کیفی و فیزیکی برای تشخیص کدورت و روشنایی

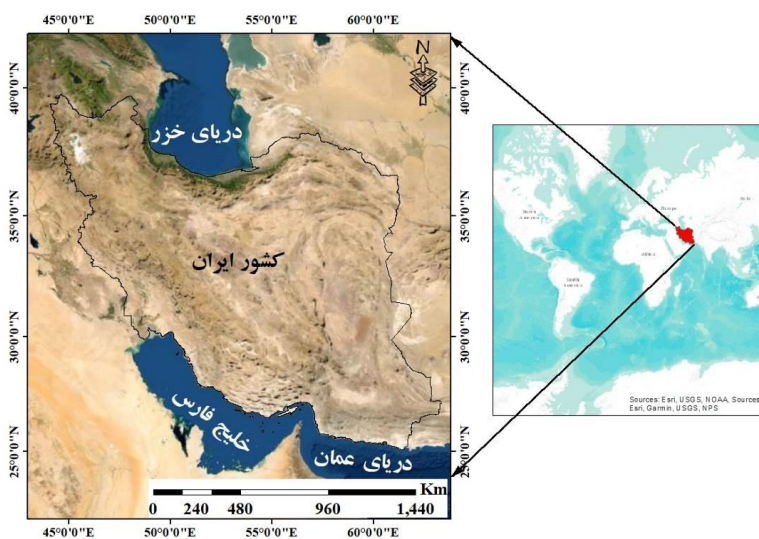
و خیلی مرطوب و قسمت‌های مرکزی، شرقی و جنوبی این کشور دارای اقلیم‌های فراخشک تا خشک است. میزان بارندگی از شمال به جنوب و شرق کاهش می‌یابد، به طوری که در قسمت شمال این کشور بارندگی در حدود ۱۸۰۰ میلی‌متر مشاهده شده، در حالی که در قسمت‌های مرکزی و شرقی بارندگی سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر رخ داده است. به طور کلی متوسط بارندگی سالانه ایران حدود ۲۴۰ میلی‌متر است (Christensen and Hewitson 2007; Karandish and Mousavi, 2018; Modarres and da Silva, 2007). حدود ۶۰ درصد مساحت ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. متغیر اقلیمی بارندگی بیشترین تنوع زمانی، مکانی و مقدار را داراست و به همین دلیل آب عامل محدود کننده بیولوژیکی و فعالیت‌های کشاورزی است. تغییرات فصلی بارش باعث تغییر در چرخه هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی و به وجود آمدن اکوسیستم‌های خاص شده است و به دنبال آن کاربری‌های مختلف پوشش در مناطق کوهستانی، دشت‌ها و سواحل را پدید آورده‌اند (Modarres and da Silva, 2007; Eskandari Damaneh *et al.*, 2021). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کشور ایران را در جهان نشان می‌دهد.

مکانی-زمانی AOD آسیا مرکزی با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس را مورد مطالعه قرار دادند. به نحوی که نتایج روند افزایشی AOD را در این بازه زمانی نشان داد. در بیشتر مطالعات انجام شده قبلی، روند تغییرات عمق نوری با استفاده از ماهواره‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است اما اثرهای متقابل فاکتورهای مختلف اقلیمی و محیطی را در نظر نگرفته‌اند. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات AOD و شاخص پوشش گیاهی Normalized Difference Vegetation Index حاصل از تولیدات سنجنده مودیس، داده‌های اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد در کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ است. همچنین اثرهای متقابل این پارامترها بر AOD در بازه زمانی مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در جنوب شرقی آسیا واقع شده است. مساحت این کشور حدود $1/640/195 \text{ km}^2$ بوده و به دلیل وجود دو رشته کوه البرز و زاگراس دارای اقلیم‌های مختلف است. به طوری که بخش‌های شمال و غرب این کشور مرطوب



شکل ۱- موقعیت کشور ایران در جهان

روش تحقیق

داده‌های حاصل از سنجش از دور

برای بررسی عمق نوری AOD از داده‌های ماهانه سنجنده مودیس ماهواره ترا سطح ۶ با رزولوشن مکانی ۱۰ کیلومتر در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ استفاده شد. همچنین برای بررسی پوشش گیاهی از داده‌های ماهانه شاخص پوشش گیاهی NDVI حاصل از سنجنده مودیس با رزولوشن مکانی ۱۰ کیلومتر استفاده شد. داده‌های عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی NDVI از سایت زمین شناسی آمریکا (<https://neo.sci.gsfc.nasa.gov>) دریافت شدند. نقشه تغییرات ارتفاعی از داده‌های Shuttle Radar Topographic Mission با تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه شد. داده‌های سنجنده مودیس در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۰ پس از اعمال تصحیحات و پیش‌پردازش‌ها در افزونه MODIS TOOLKIT در نرم‌افزار ENVI5.3 تهیه گردید.

داده‌های اقلیمی

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی، بارندگی، دما و میانگین سرعت باد استفاده شد. این داده‌های اقلیمی از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو European Centre for Medium-Range Weather Forecasts به صورت ماهانه با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر برای بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ تهیه گردید. این داده‌ها از پایگاه (<http://www.ecmwf.int/publications/newsletters>) قابل دسترسی هستند (Dee et al., 2011).

بررسی روند تغییرات

ابتدا با استفاده از روش رگرسیون خطی روند تغییرات متوسط سالانه هر یک از پارامترهای AOD و NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$Y = a + bx \quad (1)$$

که در این اینجا a عرض از مبدأ، b شیب خط، زمان به

عنوان متغیر مستقل (x) و متوسط سالانه هر یک از پارامترهای مورد بررسی به عنوان متغیر وابسته (Y) در نظر گرفته شده است (Bai et al., 2008). در روش رگرسیون اگر شیب تغییرات مثبت باشد روند تغییرات افزایشی و اگر منفی باشد روند تغییرات کاهش‌ی خواهد بود (De Jong et al., 2011).

برای محاسبه دقیق‌تر روند تغییرات پارامترهای AOD و NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد کشور ایران از آزمون روندیابی من-کندال استفاده گردید (Kendall, 1975; Mann, 1945). آماره‌های این آزمون با استفاده از رابطه‌های (۲، ۳، ۴ و ۵) محاسبه شد (Hamed and Ramachandra Rao, 1998).

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

در آن S آماره آزمون من-کندال، x_i مقدار داده i ام، x_j مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\text{sgn}(x_j - x_i)$ تابع علامت است که با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{if}(x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{if}(x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{if}(x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

واریانس آماره من-کندال با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad (4)$$

که در آن N تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m تعداد دنباله‌ها، t_i تعداد دنباله‌ها برای i امین مقدار و t تعداد مقادیر دنباله‌هاست. جزء دوم در رابطه ذکر شده یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون z از رابطه (۶) به دست می‌آید.

بین تصاویر بوسیله Earth Trends Modeler در نرم افزار Terrset انجام شد.

(۷)

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)(y_i - y)}{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2 \times (y_i - y)^2}$$

R_{xy} ضریب همبستگی ساده بین x و y است، x_i مقدار شاخص مستقل سال i ام، y_i متغیرهای مستقل سال i ام و i شماره سال هاست (Kim et al., 2019; Li et al., 2020).

نتایج

تغییرات مکانی و زمانی متغیرهای مورد بررسی

نتایج حاصل از بررسی متوسط ۲۰ ساله شاخص‌های عمق نوری، پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد به ترتیب در شکل ۱ الف تا د آورده شده است. متوسط ۲۰ ساله عمق نوری نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص ۰/۸ بوده که در قسمت‌های جنوبی و حدود مرزی شرق و جنوب غرب به صورت پراکنده در قسمت‌های دیگر کشور دیده می‌شود، این در حالی است که حداقل این شاخص ۰/۰۵۲ بوده که در بیشتر نقاط کشور مشاهده می‌شود. بررسی متوسط ۲۰ ساله شاخص پوشش گیاهی (شکل ۲، ب) نیز نشان داد که حداکثر مقدار این شاخص ۰/۷ بوده که بیشتر قسمت‌های شمالی، شمال غربی، غرب و جنوب غربی را دربر گرفته است. مقدار حداقل این شاخص ۰/۰۴ است که در بیشتر قسمت‌های کشور ایران مشاهده می‌شود. بررسی روند متوسط ۲۰ ساله بارندگی (شکل ۲، پ) نشان می‌دهد که حداکثر و حداقل بارندگی در این دوره به ترتیب حدود ۲۷۴/۷ و ۳/۷۷ میلی‌متر است. این در حالی است که بررسی متوسط ۲۰ ساله دما (شکل ۲، ج) نشان داده است که حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۳۰/۴۷ و ۷/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. براساس بررسی متوسط ۲۰ ساله دما و بارندگی حداکثر بارندگی با حداقل دما هم‌خوانی دارد، به طوری که حداکثر بارندگی در قسمت‌های شمالی و غربی بوده که با حداقل‌های دمایی در

$$z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)}, & \text{ifs} > 0 \\ 0, & \text{ifs} = 0 \\ (S+1)/\sqrt{\text{Var}(S)}, & \text{ifs} < 0 \end{cases} \quad (5)$$

مقدار مثبت z روند افزایش و مقدار منفی z روند کاهش مجموعه زمانی را نشان می‌دهد. همچنین برای آزمون روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح معنی‌داری p ، اگر مقدار z بزرگتر از $z_{1-p/2}$ باشد (که $z_{1-p/2}$ از جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد به دست می‌آید) فرض صفر رد می‌شود. برای این کار، سطح معنی‌دار $p=0/05$ به کار می‌رود که حالت استاندارد z در این مطالعه ۱/۹۶ در نظر گرفته شده است (Li et al., 2020; Yue et al., 2002). در صورتی که مقدار $Z = \pm 1.96$ باشد روند معنی‌دار نیست، اگر $Z > 1.96$ باشد روند افزایشی و معنی‌دار است، در حالی که اگر $Z < -1.96$ باشد روند کاهشی و معنی‌دار می‌باشد. مقادیر مثبت حالت استاندارد z نشان‌دهنده افزایش، درحالی‌که مقادیر منفی آن نشان‌دهنده کاهش روند است (Eskandari Damaneh et al., 2021; Liang et al., 2020).

در ادامه برای بررسی و تأیید صحت تغییرات روند بازه زمانی مد نظر شیب تخمین‌گر سن مورد استفاده قرار گرفت که از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد (Sen, 1968).

$$S_t = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (t = 1, \dots, N) \quad (6)$$

در اینجا S برآوردگر شیب خط روند، X_i و X_j به ترتیب مقادیر مقدار هر پیکسل در زمان i ام و j ام هستند. مقادیر مثبت و منفی شیب به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی و همچنین مقادیر برابر صفر نشان‌دهنده عدم وجود روند است.

تحلیل همبستگی فضایی متغیرهای مورد بررسی

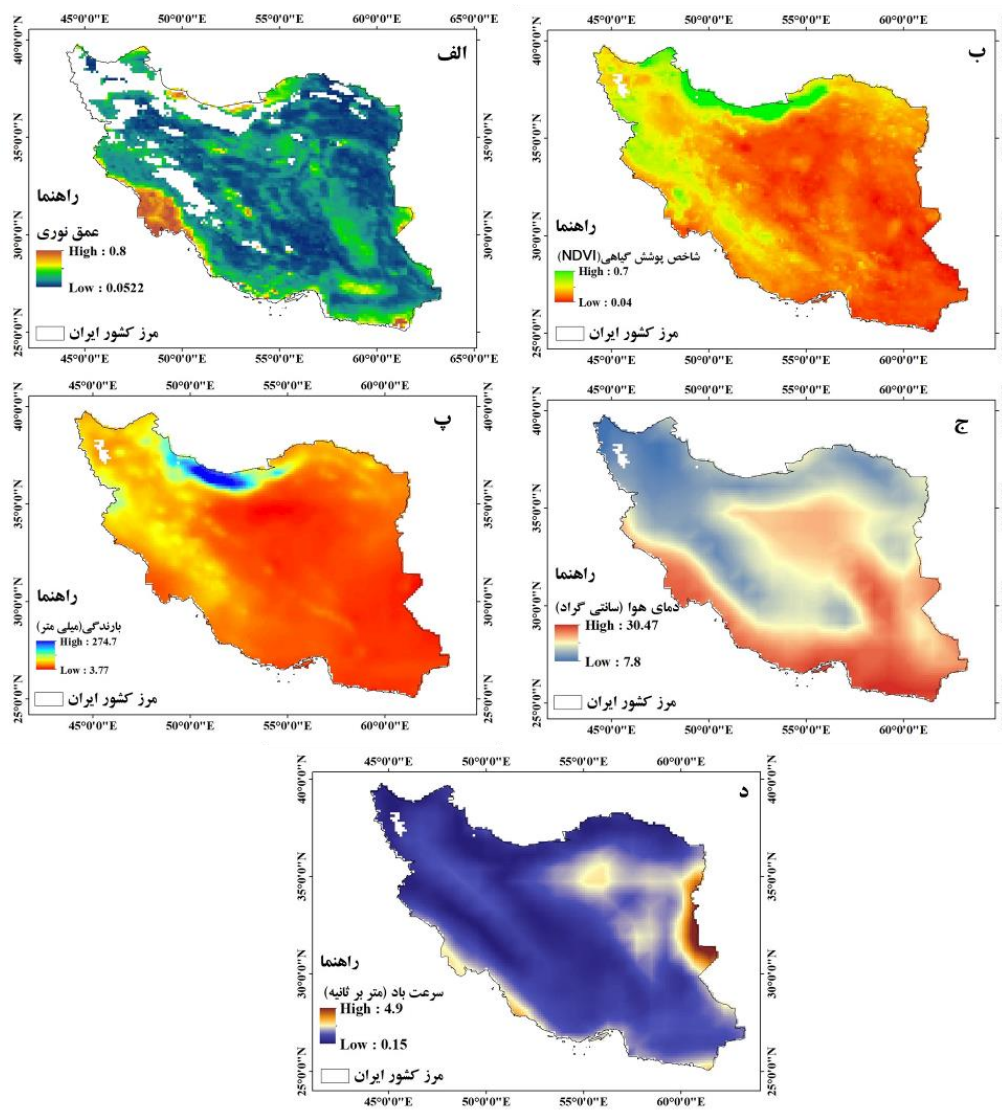
برای بررسی اثرهای متقابل بین شاخص AOD و NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد از تحلیل همبستگی فضایی استفاده شد (رابطه ۷). در این مطالعه همبستگی

شده است. نتایج بررسی Z کندال شاخص عمق نوری (جدول ۱، شکل ۴، الف) نشان می‌دهد که در ۷۱/۴۳ درصد از سطح کشور ایران روند عمق نوری افزایشی بوده که بیشتر در قسمت‌های شرق، جنوب، جنوب شرقی، مرکز، غرب و جنوب غرب کشور بوده است. از این مقدار حدود ۳۰/۲۱ درصد افزایش معنی‌داری نشان داده است. از سوی دیگر حدود ۲۸/۵۷ درصد از سطح کشور عمق نوری کاهش یافته است که از این مقدار حدود ۱/۴۲ درصد معنی‌دار است. بررسی روند تغییرات Z کندال شاخص پوشش گیاهی NDVI (جدول ۱، شکل ۴، ب) حکایت از آن دارد که روند کاهش این شاخص ۸۵/۱۳ درصد سطح کشور بوده که این کاهش بیشتر در جنوب و جنوب شرق، غرب و شمال غرب مشهود بوده است که از این مقدار ۴۸/۴۲ درصد آن معنی‌دار بوده است. این در حالی است که افزایش شاخص پوشش گیاهی در ۱۴/۸۷ درصد از مساحت کشور دیده شده که ۱/۰۶ درصد از آن معنی‌دار بوده است. بررسی آماره Z کندال بارندگی و دما به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۴، پ و ج نشانی می‌دهد که روند بارندگی و دما به ترتیب در ۳۲/۴۳ و ۹۹/۳۷ درصد از سطح کشور افزایشی بوده که از این مقدار به ترتیب حدود ۵/۱۹ و ۵۱/۱۷ درصد معنی‌دار است. این افزایش بارندگی در قسمت‌های جنوب شرقی و شمال غرب و غرب کشور دیده شده، در حالی که افزایش دما در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شمالی تا شمال غربی کشور نمایان شده است. روند کاهش بارندگی و دما به ترتیب در ۶۷/۵۷ و ۰/۰۳ درصد کشور بوده که تنها ۰/۲۴ از کاهش بارندگی معنی‌داری نشان داد. روند تغییرات آماره Z سرعت باد در جدول ۱ و شکل ۴ قسمت د نشان داد که این پارامتر در حدود ۷۱/۸۶ درصد از سطح کشور افزایشی بوده که از این مقدار تنها ۳۲/۶۵ درصد معنی‌دار است، این در حالی است که روند کاهش این دو پارامتر به ترتیب ۲۸/۱۴ درصد کاهش می‌باشد که از این مقدار حدود ۳/۲۴ درصد معنی‌دار بوده است.

این مناطق هماهنگ است. بررسی سرعت باد (شکل ۲، د) نشان داد که به ترتیب حداکثر ۲۰ ساله سرعت ۴/۹ متر بر ثانیه بوده که بیشتر در بخش‌های شرقی، مرکزی، جنوب و جنوب غرب کشور بود و مقادیر حداقل این شاخص ۰/۱۵ بوده است که در سایر قسمت‌های کشور دیده شده است.

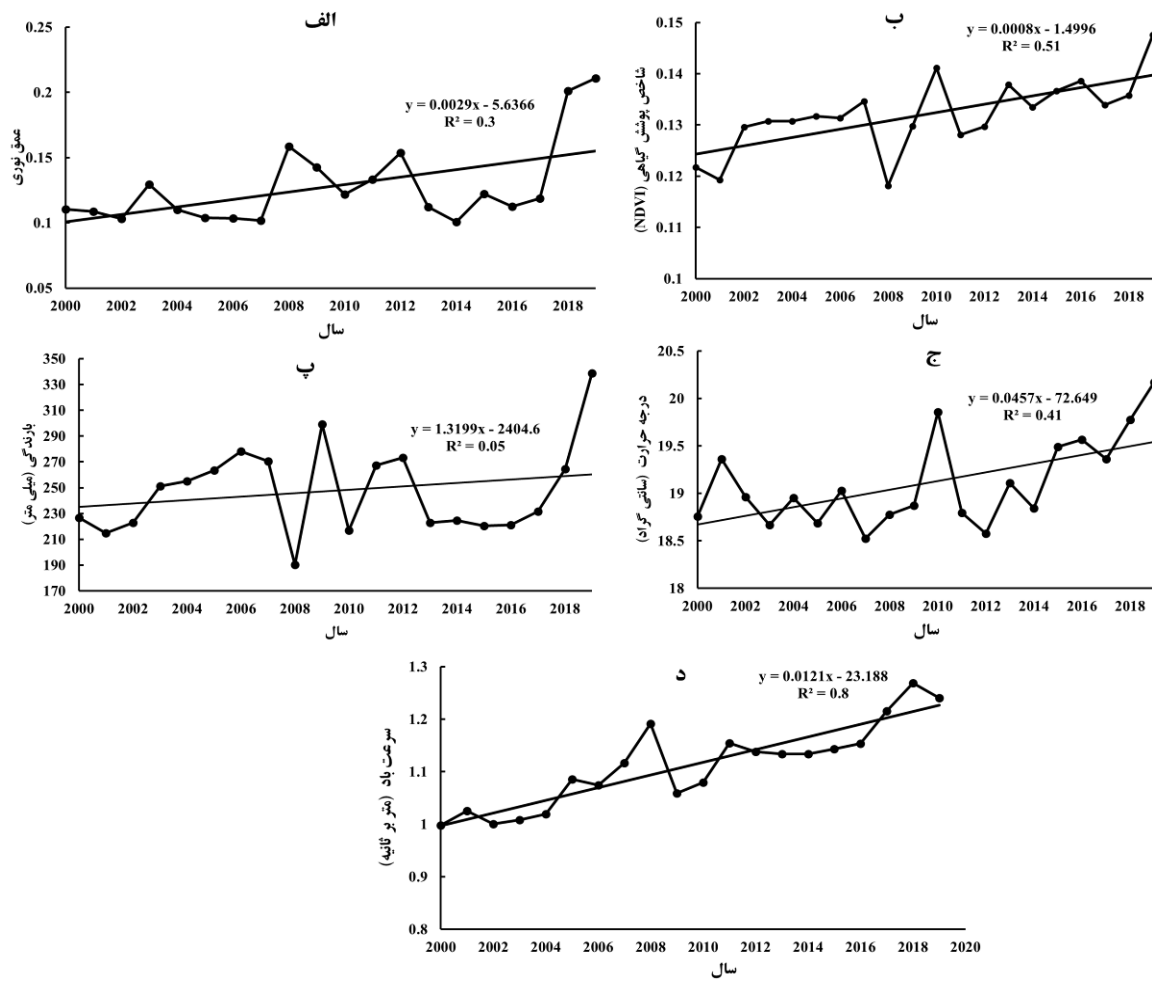
متوسط سالانه شاخص‌های عمق نوری، پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد در دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ به ترتیب در شکل ۳ الف تا د نشان داد که روند تغییرات متوسط سالانه عمق نوری با شیب مثبت افزایشی بوده است. حداقل مقدار این شاخص برابر با ۰/۱۰ در سال ۲۰۱۴ و حداکثر مقدار آن ۰/۲۱ در سال ۲۰۱۹ مشاهده شده است. این بررسی برای شاخص پوشش گیاهی NDVI (شکل ۳، ب) نشان داد که با شیب کم در حال افزایش بوده است که حداقل و حداکثر این شاخص ۰/۱۱ و ۰/۱۴۷ به ترتیب در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۹ مشاهده شده است. بررسی روند تغییرات بارندگی و دما (شکل ۳، پ و ج) در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ نشان داد که روند این دو پارامتر افزایشی بوده که این افزایش در دما محسوس‌تر است. حداکثر و حداقل بارندگی به ترتیب ۳۳۸/۶ و ۱۹۰/۴۸ میلی‌متر در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۹ بوده، این در حالی است که حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۲۰/۱ و ۱۸/۵۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۷ مشاهده شده است. بررسی روند تغییرات سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ (شکل ۳، د) نشان داد که روند سرعت باد مثبت و افزایشی بوده است. به نحوی که حداکثر و حداقل سرعت باد به ترتیب ۰/۹۹ و ۱/۲۶ متر بر ثانیه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲ بود.

روند تغییرات مکانی و زمانی متغیرهای مورد بررسی بررسی روند تغییرات شاخص‌های عمق نوری، پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ با استفاده از آزمون من-کندال و شیب تخمین‌گر سن در جدول ۱ و در شکل ۴ الف تا د آورده



شکل ۲- متوسط ۲۰ ساله شاخص عمق نوری (الف)، شاخص پوشش گیاهی (ب)، بارندگی (پ)، دما (ج) و میانگین سرعت باد (د) در

کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹

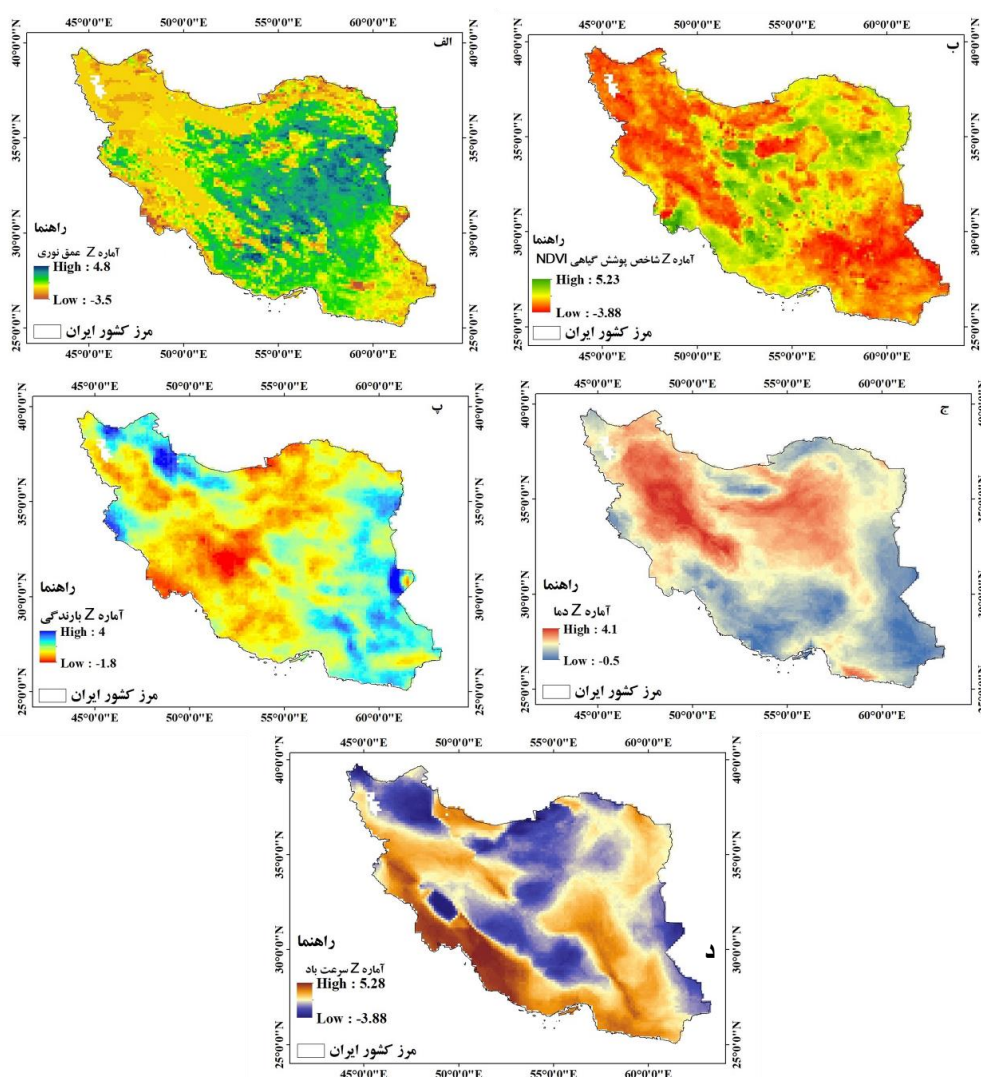


شکل ۳- روند تغییرات متوسط سالانه شاخص عمق نوری (الف)، شاخص پوشش گیاهی (ب)، بارندگی (پ)، دما (ج) و میانگین سرعت باد (د) در کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹

جدول ۱- درصد تغییرات شاخص‌های عمق نوری، پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما و سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ با

استفاده از آزمون من-کندال و شیب تخمین گر سن

شاخص S_t	شاخص Z	عمق نوری	پوشش گیاهی NDVI	بارندگی	دما	میانگین سرعت باد
$<$	$< -1/96$	۰/۴۲	۱/۰۶	۰/۲۴	۰	۳/۲۴
.	$0 - -1/96$	۲۸/۱۵	۱۳/۸۱	۳۲/۱۹	۰/۰۳	۲۴/۹۰
.	$0 - +1/96$	۴۱/۲۱	۳۶/۷۰	۶۲/۳۸	۴۸/۸۰	۳۹/۲۰
$>$	$> +1/96$	۳۰/۲۱	۴۸/۴۲	۵/۱۹	۵۱/۱۷	۳۲/۶۵



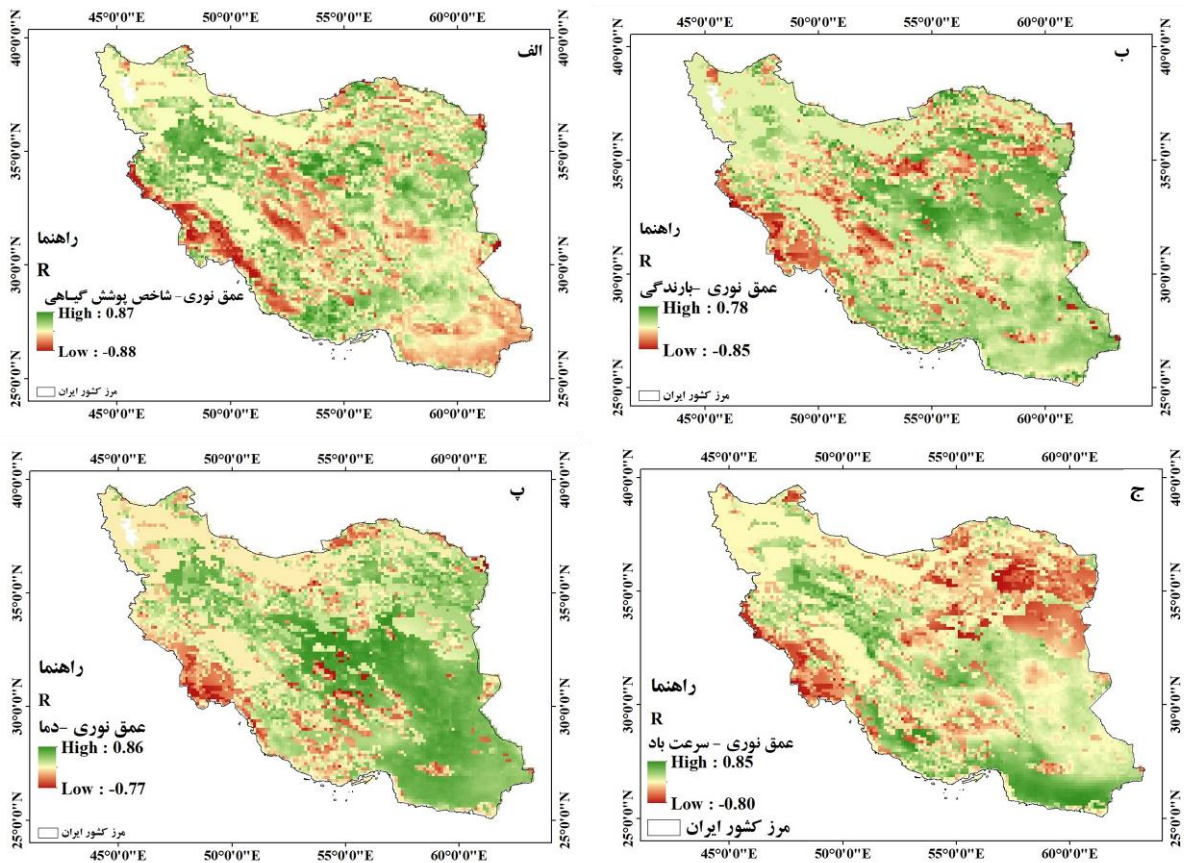
شکل ۴- قسمت الف، ب و ث به ترتیب نقشه‌های آماره Z کندانال عمق نوری: الف- شاخص پوشش گیاهی، ب- بارندگی، پ- دما، ج- میانگین سرعت باد، د- کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰

بوده که از این مقدار ۴/۴۸ درصد معنی‌دار بوده است. همبستگی بارندگی بر عمق نوری نیز (شکل ۵- ب) نشان داد که همبستگی مثبت بارندگی با عمق نوری در ۵۱/۱۳ درصد از کشور مشاهده شده که ۱/۹۲ درصد آن معنی‌دار بوده است، این در حالی است که همبستگی منفی آن در ۴۸/۸۷ درصد از کشور بوده که از این مقدار تنها ۰/۲۶ درصد معنی‌دار است. همبستگی دما و عمق نوری نیز (شکل ۵- پ) نشان داد که این همبستگی در ۳۱/۵۸ درصد از سطح کشور ایران منفی بوده که ۱/۶۵ درصد از آن معنی‌دار است، اما این رابطه در ۶۸/۴۲ درصد از سطح کشور مثبت

همبستگی فضایی پارامترهای مورد بررسی رابطه همبستگی بین عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی و سرعت باد در دوره زمانی ۲۰ ساله در شکل (۵، الف تا ج) نشان داده شده است. بررسی همبستگی بین عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی NDVI (شکل ۵- الف) نشان داد که رابطه همبستگی بین این دو پارامتر در ۵۰/۹۴ درصد از مساحت سطح کشور مثبت بوده که از این مقدار ۳/۷۱ درصد معنی‌داری نشان داده است. از سوی دیگر بین این دو پارامتر در ۴۹/۰۶ درصد از سطح کشور همبستگی منفی

حدود ۴/۱۵ درصد آن معنی‌دار است. همچنین در ۵۰/۳۶ درصد از کشور این رابطه مثبت بوده که از این مقدار ۶/۲۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

است که ۲۳/۵۳ درصد آن معنی می‌باشد. همبستگی بین سرعت باد با عمق نوری (شکل ۵-ج) نشان می‌دهد که همبستگی این دو پارامتر در ۶۴/۴۹ درصد منفی بوده که



شکل ۵- الف- رابطه همبستگی عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی، ب- رابطه همبستگی عمق نوری و بارندگی، ج- رابطه همبستگی عمق نوری و دما و رابطه همبستگی عمق نوری و میانگین سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰

تحقیق با کمک این علم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مودیس اطلاعات مربوط به عمق نوری ذرات معلق در هوا (AOD) و شاخص پوشش گیاهی NDVI بررسی شد، سپس با استفاده از داده‌های برداشت شده از سایت ECMWF، داده‌های اقلیمی بارندگی، دما و میانگین سرعت باد در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ ارزیابی گردید و در نهایت به رابطه همبستگی بین شاخص AOD و سایر پارامترهای اقلیمی پرداخته شد. نتایج بررسی متوسط عمق نوری نشان داد که بیشترین مقدار عمق نوری از نظر مکانی در

بحث

مقدار ذرات معلق در هوا که منشأ طبیعی و انسانی دارند به صد تا هزاران میلیون تن در سال می‌رسند که این ذرات می‌توانند توسط باد تا کیلومترها جابجا شوند و اثرهای مخرب زیست محیطی فراوانی را بر اکوسیستم پیرامون برجای بگذارند. امروزه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی با قدرت تفکیک مکانی متفاوت می‌تواند اطلاعات کافی و مناسبی برای تحلیل روند تغییرات این ذرات در اختیار کاربران قرار دهد. از این رو در این

قسمت‌های جنوب، جنوب‌شرق، مرکزی، غرب و جنوب غرب کشور ایران قرار دارد، از سوی دیگر در این مناطق کمترین میزان پوشش گیاهی و بارندگی و حداکثر دما و سرعت باد را شاهد هستیم. مطالعات مختلف در سطح کشور ایران نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تولید و دریافت AOD و بادهای با سرعت بالا در قسمت‌های جنوب‌شرق، شرق، مرکز، غرب و جنوب‌غرب کشور است (Yousefi *et al.*, 2021)، همچنین در این مناطق کمترین مقدار پوشش گیاهی (Eskandari Damaneh *et al.*, 2019; Ahmadaali *et al.*, 2021)، کمترین مقدار بارندگی و بیشترین مقدار دمای هوا (Sharafi and Mir Karim, 2020, Savari *et al.*, 2021) نیز گزارش شده است. بررسی روند تغییرات پارامترهای مورد بررسی در بازه زمانی ۲۰ ساله با استفاده از شاخص Z من-کندال و شیب تخمین‌گر سن نشان داد که روند تغییرات AOD در ۷۱/۴۳ درصد از سطح کشور ایران افزایشی است و این افزایش بیشتر در قسمت‌های شرق، جنوب، جنوب‌شرقی، مرکز، غرب و جنوب‌غرب کشور واقع شده است. همچنین روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی در ۸۵/۱۳ درصد از سطح کشور روند کاهشی را نشان داد. روند بارندگی و دما به ترتیب در ۶۷/۵۷ و ۹۹/۳۷ درصد از سطح کشور به ترتیب کاهشی و افزایشی بوده است، در حالی که روند تغییرات آماره Z سرعت باد نشان داد که این شاخص در ۵۰/۳۶ درصد از سطح کشور افزایشی است که با مطالعه Yousefi و همکاران (۲۰۲۱) و Mohammadpour و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. بنابراین افزایش AOD تحت تأثیر افزایش سرعت باد، سطوح بدون پوشش گیاهی و کمبود رطوبت در هوا و خاک خواهد بود که با مطالعه (Abdemanafi *et al.*, 2016; He *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2018; Eck *et al.*, 2019) هم‌خوانی دارد. بررسی همبستگی بین عمق نوری و شاخص پوشش گیاهی NDVI نشان می‌دهد که بین این دو پارامتر در ۵۰/۹۴ درصد منطقه همبستگی منفی می‌باشد، این در حالی است که بین AOD و بارندگی در ۵۱/۱۳ از سطح کشور همبستگی منفی و با دما در

۶۸/۴۲ درصد منطقه همبستگی مثبت برقرار است. از سوی دیگر در ۵۰/۳۶ درصد از کشور بین AOD و سرعت باد همبستگی مثبت وجود داشته است که با نتایج Ratnam و همکاران (۲۰۲۰) هم‌خوانی دارد. البته در این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین کاهش AOD و افزایش NDVI و بارندگی بوده، به طوری که مناطق بیابانی در شمال‌غربی به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند که این افزایش پوشش گیاهی باعث افزایش رطوبت در اثر افزایش بارندگی و در نتیجه کاهش AOD شده است که نتایج Wang و همکاران (۲۰۲۰) در آسیای مرکزی تأییدکننده این موضوع است. مطالعه آنان نشان داد که بین عمق نوری و فاکتورهای اقلیمی همبستگی بالایی وجود دارد، به طوری که کاهش بارش و رطوبت نسبی و دمای بالا باعث افزایش AOD می‌شود، براین اساس هرچه دما بالاتر و سرعت باد بیشتر باشد شرایط را برای افزایش انتقال گردوغبار افزایش می‌دهد که تحقیق Yousefi و همکاران (۲۰۲۱) در غرب کشور نیز تأییدکننده این موضوع است. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که عمق نوری ذرات معلق در هوا به شدت به عوامل اقلیمی و عوامل محیطی وابسته است که این در مناطق خشک و نیمه‌خشک به ویژه در کشور ایران بسیار مشهود است. از سوی دیگر با استفاده از داده‌های سنجش از دور حاصل از سنجنده مودیس و داده‌های اقلیمی می‌توان روند تغییرات عمق نوری ذرات معلق در هوا را به خوبی در واحد مکان و زمان مورد بررسی قرار داد و رابطه آن را با داده‌های اقلیمی تجزیه و تحلیل کرد. در پایان پیشنهاد می‌گردد با استفاده از نتایج این پژوهش، مناطقی که مقدار AOD زیاد است، به صورت منطقه‌ای مطالعه شود و رابطه عمق نوری با سایر عوامل اقلیمی و محیطی در مقیاس زمانی ماهانه و فصلی در این مناطق مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین نتایج آن با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

منابع مورد استفاده

– Abdemanafi, D., Meshkatee, A.H., Hajjam, S. and Vazifedoust, M., 2016. Study of the impact of

- Royal Meteorological Society, 137: 553-597.
- Eck, T., Holben, B., Giles, D., Slutsker, I., Sinyuk, A. and Schafer, J., 2019. AERONET remotely sensed measurements and retrievals of biomass burning aerosol optical properties during the 2015 Indonesian burning season. *Journal of Geophysical Research: Journal of Atmospheres*, 124: 4722-4740.
 - Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H. and Gholami, H., 2019. Analysis and monitoring of drought using NDVI index (Case study: the west basin of Jaz Murian wetland). *Journal of Rangeland*, 13(3): 461-475.
 - Eskandari Damaneh, H., Jafari, M., Eskandari Damaneh, H., Behnia, M., Khorani, A. and Tiefenbacher, J. P., 2021. Testing possible scenario-based responses of vegetation under expected climatic changes in Khuzestan Province. *Journal of Air, Soil and Water Research*, 14: 11786221211013332.
 - Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Telfer, M.W., 2021. Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices. *Journal of Scientific Report* 11, 20548.
 - Hamed, K. H. and Ramachandra Rao, A., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204: 182-196.
 - He, P., Liang, J., Qiu, Y., Li, Q. and Xing, B., 2020. Increase in domestic electricity consumption from particulate air pollution. *Journal of Nature Energy*, 5: 985-995.
 - He, Q., Zhang, M. and Huang, B., 2016. Spatio-temporal variation and impact factors analysis of satellite-based aerosol optical depth over China from 2002 to 2015. *Journal of Atmospheric Environment*, 129: 79-90.
 - Hsu, N.C., Gautam, R., Sayer, A.M., Bettenhausen, C., Li, C. and Jeong, M.J., 2012. Global and regional trends of aerosol optical depth over land and ocean using SeaWiFS measurements from 1997 to 2010. *Journal of Atmospher*, 12: 8037-8053.
 - Kampa, M. and Castanas, E., 2008. Human health effects of air pollution. *Journal of Environmental Pollution*, 151: 362-367.
 - Karandish, F. and Mousavi, S.S., 2018. Climate change uncertainty and risk assessment in Iran during twenty-first century: evapotranspiration and green water deficit analysis. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 131: 777-791.
 - Kaufman, Y.J., Koren, I. and Remer, L.A., 2005. The effect of smoke, dust, and pollution aerosol on shallow cloud development over the Atlantic Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102: 11207-11212.
 - aerosols on microphysics of clouds over Tehran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5: 79-93.
 - Ahmadaali, K., Eskandari Damaneh, H., Ababaei, B. and Eskandari Damaneh, H., 2021. Impacts of droughts on rainfall use efficiency in different climatic zones and land uses in Iran. *Journal of Arabian Geosciences*, 14: 1-15.
 - Alfaro-Contreras, R., Zhang, J., Reid, J. S. and Christopher, S., 2017. A study of 15-year aerosol optical thickness and direct shortwave aerosol radiative effect trends using MODIS, MISR, CALIOP and CERES. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(22):13849-13868.
 - Bai, Z. G., Dent, D. L., Olsson, L. and Schaeppman, M. E., 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Journal of Soil Use and Management*, 24(3): 223-234.
 - Bennouna, Y.S., Cachorro, V.E., Torres, B., Toledano, C., Berjón, A. and de Frutos, A.M., 2013. Atmospheric turbidity determined by the annual cycle of the aerosol optical depth over north-center Spain from ground (AERONET) and satellite (MODIS). *Journal of Atmospheric Environment*, 67: 352-364.
 - Boroughani, M., 2020. Identification of dust source area in Sistan basin and determination of their characteristics. *journal of Range and Desert Research* , 27(3): 617-631.
 - Charlson, R.J., Schwartz, S., Hales, J., Cess, R.D., Coakley, J.J. and Hansen, J., 1992. Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Journal of Science*, 255: 423-430.
 - Christensen, J.H. and Hewitson, P.B., 2007. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Vol 4: Cambridge University Press..
 - Cochrane, M.A., 2003. Fire science for rainforests. *Journal of Nature*, 421: 913-919.
 - Dargahian, F. and lotfinasabasl, S., 2020. Identify trend of changes climatic zones in the watersheds leading to dust source In Khuzestan Province (Karkheh, Karoun and Zohreh - Jarahi). *journal of Range and Desert Research*, 27(2): 300-320.
 - De Jong, R., De Bruin, S., De Wit, A., Schaeppman, M. E. and Dent, D. L., 2011. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 115(2): 692-702.
 - Dee, D.P., Uppala S, M., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P. and Kobayashi, S., 2011. The ERA Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Journal of Quarterly the*

- Iran (2000-2018). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7: 15-32.
- Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A. and Kakaliagou, O., 2001. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research, Journal of Atmospheres*, 106: 18113-18129.
 - Omara, M., Ramroudi, M., Rashki, A., Galavi, M. and Jabbari, M., 2021. Evaluation of dust effects on leaf, cluster and yield of palm trees (case study, Saravan), *journal of Range and Desert Research*, 28(2): 357-368.
 - Penner, J., Hegg, D., Andreae, M., Leaitch, D., Pitari, G. and Annegarn, H., 2001. *Ippc, climate change 2001: Aerosols and indirect cloud effects. IPCC Third Assessment Report*, 289-348.
 - Pope, C.A. and Dockery, D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56: 709-742.
 - Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E., 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Journal of Reviews of Geophysics*, 40: 2-31.
 - Qin, W., Liu, Y., Wang, L., Lin, A., Xia, X. and Che, H., 2018. Characteristic and driving factors of aerosol optical depth over mainland china during 1980–2017. *Journal of Remote Sensing*, 10: 1064.
 - Ratnam, M.V., Prasad, P., Raj, S.T.A., Raman, M.R. and Basha, G., 2021. Changing patterns in aerosol vertical distribution over South and East Asia. *Journal of Scientific Reports*, 11: 308-318.
 - Samet, J.M., Dominici, F., Curriero, F.C., Coursac, I. and Zeger, S.L., 2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. *Journal of New England Medicine*, 343: 1742-1749.
 - Savari, M., Eskandari Damaneh, H. and Eskandari Damaneh, H., 2021. Factors influencing farmers' management behaviors toward coping with drought: evidence from Iran, *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(11): 2021-2046.
 - Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324):1379-89.
 - Sharafi, S. and Mir Karim, N., 2020. Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Journal of Arabian Geosciences*, 13: 759-765.
 - Thompson, T.M., Rausch, S., Saari, R.K. and Selin, N.E., 2014. A systems approach to evaluating the air
 - Kaufman, Y.J., Tanré, D. and Boucher, O., 2002. A satellite view of aerosols in the climate system. *Journal of Nature*, 419: 215-223.
 - Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*, Oxford University Press New York.
 - Kim, D., Kim, J., Jeong, J. and Choi, M., 2019. Estimation of health benefits from air quality improvement using the MODIS AOD dataset in Seoul, Korea. *Journal of Environmental Research*, 173: 452-461.
 - Kumar, M., Parmar, K.S., Kumar, D.B., Mhawish, A., Broday, D.M. and Mall, R.K., 2018. Long-term aerosol climatology over Indo-Gangetic Plain: Trend, prediction and potential source fields. *Atmospheric Environment*, 180: 37-50.
 - Li, X., Liang, H. and Cheng, W., 2020. Spatio-temporal variation in AOD and correlation analysis with PAR and NPP in China from 2001 to 2017. *Journal of Remote Sensing*, 12: 976-992.
 - Li, X., Liu, K. and Tian, J., 2021. Variability, predictability, and uncertainty in global aerosols inferred from gap-filled satellite observations and an econometric modeling approach. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 261: 112501.
 - Li, X., Zhang, C., Zhang, B. and Liu, K., 2019. A comparative time series analysis and modeling of aerosols in the contiguous United States and China. *Journal of Science of The Total Environment*, 690: 799-811.
 - Li, Z.Q., Zhu, Y.Y. and Zhuang, M., 2007. Development of multifunctional radiation monitoring instrument based on PLC technology. *Hedongli Gongcheng/Nuclear Power Engineering*, 28: 112-116.
 - Liang, Y., Liu, L. and Hashimoto, S., 2020. Spatiotemporal analysis of trends in vegetation change across an artificial desert oasis, Northwest China, 1975–2010. *Journal of Arabian Geosciences*, 13(15): 1-13.
 - Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1: 245-59.
 - Mehta, M., Singh, R., Singh, A., Singh, N. and Anshumali, p., 2016. Recent global aerosol optical depth variations and trends — A comparative study using MODIS and MISR level 3 datasets. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 181: 137-150.
 - Modarres, R. and Da Silva, V.d.P.R., 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 2007: 70: 344-355.
 - Mohammadpour, K., Saligheh, M., Darvishi Bloorani, A. and Raziei, T., 2020. Analysis and comparing satellite products and simulated of AOD in West

- products during 2001–2016. *Journal of Atmosphere*, 8: 223-237.
- Yousefi, R., Wang, F. and Ge, Q., 2021. Aerosol Trends during the Dusty Season over Iran. *Journal of Remote Sensing*, 13: 1045-1065.
 - Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G., 2002. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259: 254-271.
 - Zhao, W.Y., Xu, S., Li, J.L., Cui, L.J., Chen, Y.N. and Wang, J.Z., 2008. Effects of foliar application of nitrogen on the photosynthetic performance and growth of two fescue cultivars under heat stress. *Journal of Biologia plantarum*, 52: 113-116.
 - Zheng, Y., Davis, S.J., Persad, G.G. and Caldeira, K., 2020. Climate effects of aerosols reduce economic inequality. *Journal of Nature Climate Change*, 10: 220-224.
 - quality co-benefits of US carbon policies. *Journal of Nature Climate Change*, 4: 917-923.
 - Tomasi, C., Lupi, A., Mazzola, M., Stone, R.S., Dutton, E.G. and Herber, A., 2012. An update on polar aerosol optical properties using POLAR-AOD and other measurements performed during the International Polar Year. *Journal of Atmospheric Environment*, 52: 29-47.
 - Wang, D., Zhang, F., Yang, S., Xia, N. and Ariken, M., 2020. Exploring the spatial-temporal characteristics of the aerosol optical depth (AOD) in Central Asia based on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS). *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 192: 383.
 - Wang, P., Ning, S., Dai, J., Sun, J., Lv, M. and Song, Q., 2017. Trends and variability in aerosol optical depth over North China from MODIS C6 aerosol

Evaluation of spatiotemporal changes and correlations of aerosol optical depth, NDVI and climatic data over Iran

H. Eskandari Damaneh¹, H. Eskandari Damaneh², Z. Sayadi³ and A. Khorani^{4*}

1- Postdoctoral Combating Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Ph.D. Combating Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

3- M.S.c in RS and GIS, Faculty of Humanities, University of Hormozgan

4*-Corresponding author, Associate Professor, Geographical Sciences Department, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, Email: khorani@hormozgan.ac.ir

Received: 07/12/2021

Accepted: 10/23/2021

Abstract

Due to the prevailing arid and semi-arid climate, Iran has always suffered from the production and spread of airborne substances, especially dust. This phenomenon is very destructive due to its direct impact on the environment and human health. Therefore, this study aimed to investigate the variation trend of aerosol optical depth (AOD), normalized difference vegetation index (NDVI), rainfall, temperature, wind speed, and correlation between AOD and climatic parameters in Iran. Data on AOD and NDVI were collected from Modis sensor images and other data from the ECMWF climate site over 2000-2019 with a spatial resolution of 10 km. The Mann-Kendall trend analysis was used to investigate the trend of changes in these parameters, and the linear correlation model was used to check the correlation between AOD and climatic data. The results of the variations trend of AOD, NDVI, and climate data showed that the trend of these parameters was different in different regions of Iran so that NDVI and rainfall had decreased by 85.13% and 67.57%, respectively, while AOD, wind speed, and the temperature had increased by 71.43%, 71.86%, and 99.37% across the country, respectively. The correlation of AOD, NDVI, rainfall, temperature and wind speed revealed that AOD had a negative correlation with NDVI and rainfall in 50.94% and 51.31% of the country, respectively, while its correlation was positive with temperature and wind speed over 68.42% and 50.36% of the country, respectively. Therefore, the increase in airborne suspended particles strongly depends on the trend of variations in vegetation cover and climatic factors, including rainfall, temperature, and wind speed, which can be well studied using satellite and climatic data with appropriate spatial and temporal resolution.

Keywords: Variation trend detection, Mann-Kendall test, aerosol optical depth, vegetation cover, linear correlation, Iran.