



بررسی ارتباط بین غلظت آلاینده‌های هوا با شاخص پوشش گیاهی (NDVI)



علی سلیمانی دامنه^۱، ابوالحسن غیبی^{۲*}، عباسعلی علی اکبری بیدختی^۳، حسین ملکوتی^۴، هادی اسکندری دامنه^۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

چکیده

گازهای نیتروژن دی اکسید (NO_2) و سولفور دی اکسید (SO_2) از مهم‌ترین آلاینده‌های جوی هستند که منشأ آنها عمدتاً فعالیت‌های انسان‌ساخت همچون حمل‌ونقل، صنعت و سایر کاربردهای صنعتی است. در این مقاله، با استفاده از روش‌های آماری من - کندال Z و شیب تخمین‌گر سن، غلظت ستون قائم این آلاینده‌ها و شاخص پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) در یک دوره ۱۴ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۸) بر روی کشور ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در طی این ۱۴ سال، روند غلظت این آلاینده‌ها در کلان‌شهرها و همچنین شهرهای صنعتی افزایشی معنی‌داری داشته درحالی‌که در برخی از این مناطق روند کاهشی نیز وجود داشته است.

علی سلیمانی دامنه^۱، ابوالحسن غیبی^{۲*}، عباسعلی علی اکبری بیدختی^۳، حسین ملکوتی^۴، هادی اسکندری دامنه^۵

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندعبارس، ایران،

۳- استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندعبارس، ایران،

۳- استاد گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران،

۴- دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران،

۵- دکتری بیابان زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران،

DOI: 10.30495/girs.2022.691680

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: abolhassang@hormozgan.ac.ir

کلان‌شهر تهران دارای بیشترین شیب افزایش در طی این ۱۴ سال بوده است به‌طوری‌که هرساله شاهد آلودگی بسیار زیاد در شهر تهران هستیم. از محدودیت‌های این تحقیق نبود ابزارهای مناسب برای بررسی غلظت داده‌های زمینی می‌باشد تا با داده‌های ماهواره‌ای مقایسه شود. هدف این تحقیق بررسی ارتباط بین غلظت آلاینده‌ها با کمیت‌های مثل شاخص پوشش گیاهی می‌باشد. با بررسی همبستگی این آلاینده‌ها با شاخص پوشش گیاهی با استفاده از دو روش آماری من - کندال Z و شیب تخمین‌گر سن نیز نشان می‌دهد که در ۶۱/۰۷ درصد مساحت کشور ایران، با افزایش شاخص پوشش گیاهی، غلظت گاز نیتروژن دی اکسید نیز افزایش (ضریب همبستگی مثبت) و برای ۳۸/۹۳ درصد از مساحت کشور با افزایش شاخص پوشش گیاهی، غلظت نیتروژن دی اکسید کاهش می‌یابد (همبستگی منفی). برای آلاینده سولفور دی اکسید نیز در ۵۸/۳۶ درصد از مساحت کشور با افزایش شاخص پوشش گیاهی، غلظت سولفور دی اکسید افزایش می‌یابد (همبستگی مثبت است) و در ۴۱/۶۴ درصد مساحت کشور با افزایش شاخص پوشش گیاهی، غلظت سولفور دی اکسید کاهش می‌یابد (همبستگی منفی است). یعنی، آلاینده‌ها به‌تنهایی نمی‌توانند باعث افزایش و یا کاهش پوشش گیاهی در منطقه شوند ولی می‌توانند در تغییر پوشش گیاهی (هرچند اندک) تأثیر بگذارند. در مناطق کویری مرکز و شرق کشور افزایش شاخص پوشش گیاهی باعث افزایش غلظت گاز نیتروژن دی اکسید، در این مناطق شده، اما

در مناطق ساحلی خلیج فارس افزایش شاخص پوشش گیاهی سبب کاهش آلایندۀ نیتروژن دی اکسید شده است، به طوری که بارش در این مناطق کاهشی بوده ولی مقدار آلایندۀ نیتروژن دی اکسید روند افزایشی را داشته است.

چکیده مبسوط

هم‌زمان با پیشرفت تکنولوژی و صنعت، بحث آلودگی هوا یکی از مشکلات جدی در جهان امروز است که می‌تواند تعادل اکولوژیکی را به هم بریزد. افزایش آلایندۀها در هوا، هم به طور مستقیم (سمی بودن) و هم به طور غیرمستقیم با تغییر خاک می‌تواند روی گیاهان اثرات منفی داشته باشد. عمده‌ترین منابع انسانی آلودگی هوا شامل: صنعت و انرژی‌های متعارف (نفت، زغال‌سنگ و چوب)، کشاورزی، نقل و انتقالات جاده‌ای و شهرنشینی است. مهم‌ترین آلایندۀهای گازی، سولفوردی اکسید (SO_2) و نیتروژن دی اکسید (NO_2) می‌باشند. سولفوردی اکسید (SO_2) مهم‌ترین و رایج‌ترین آلایندۀ هوا است که به مقدار زیاد در احتراق زغال‌سنگ و سایر سوخت‌ها در مصارف صنعتی و خانگی تولید می‌شود و مؤلفه‌ی اصلی باران‌های اسیدی است، همچنین در هنگام ذوب سنگ معدن نیز سولفید تولید می‌شود. آلایندۀ مهم و تأثیرگذار بعدی نیتروژن دی اکسید (NO_2) است که خیلی سریع با سایر آلایندۀهای هوا واکنش نشان می‌دهد، به ریه‌ها نفوذ کرده و به عملکرد ریه‌ها آسیب بزنند. هدف از این تحقیق بررسی غلظت ستون قائم آلایندۀهای نیتروژن دی اکسید و سولفوردی اکسید و به همراه تحلیل روند این آلایندۀها در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ و همچنین تأثیر این آلایندۀها بر شاخص پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به این‌که آلایندۀها همراه با جریانات جوی تا ارتفاعات بالا نیز حرکت می‌کنند و به علت عدم وجود دستگاهی که بتواند غلظت آلایندۀها را از سطح زمین اندازه‌گیری کند تا مقدار خطا را کاهش دهد از داده‌های ماهواره‌ای استفاده کردیم و برای محاسبه‌ی دقیق‌تر غلظت آلایندۀها از داده‌های غلظت ستون قائم وردسپهری (Vertical Column Density NO_2) و غلظت ستون قائم تا لایه مرزی برای آلایندۀ SO_2 توسط سنجنده‌ی دیدبانی ازون (Ozon Monitoring Index) استفاده شده است. این سنجنده که بر روی ماهواره زمین‌گرد AURA نصب شده است تابش بازپراکنده‌ی خورشید را در محدوده‌ی طیفی (۵۰۰-۲۷۰) نانومتر اندازه‌گیری می‌کند که دارای تفکیک طیفی ۰/۵ نانومتر می‌باشد. این داده‌ها در واقع برآوردی از تعداد مولکول‌های NO_2 در یک سطح مقطع ستون جوی

از سطح زمین تا قله وردسپهر که hPa ۲۰۰ می‌باشد که بر حسب $mole/cm^2$ تهیه شده اند (<http://www.temis.nl/airpollution/no2.html>). در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای ماهانه با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه برای NO_2 ۰/۲۵ درجه برای SO_2 در دوره‌ی ۱۴ ساله از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. برای بررسی پوشش گیاهی در این تحقیق از تصاویر تولیدات ماهانه‌ی شاخص پوشش گیاهی NDVI ماهواره تراء، سنجنده‌ی مودیس MOD13A2 در بازه زمانی مد نظر و با رزولوشن مکانی ۰/۱۲۵ درجه استفاده شده است. که با استفاده از روش‌های آماری من - کندال Z و شیب تخمین‌گر سن، همبستگی غلظت ستون قائم این آلایندۀها و شاخص پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index) در یک دوره ۱۴ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۸) بر روی کشور ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در طی این ۱۴ سال، روند غلظت این آلایندۀها در کلان‌شهرها و همچنین شهرهای صنعتی افزایشی معنی‌داری داشته درحالی‌که در برخی از این مناطق روند کاهشی نیز وجود داشته است. کلان‌شهر تهران دارای بیشترین شیب افزایشی در طی این ۱۴ سال بوده است به طوری‌که هرساله شاهد آلودگی بسیار زیاد در شهر تهران هستیم. روند تغییرات غلظت SO_2 با شیب مثبت ۰/۰۱۳ و ضریب تبیین ۰/۵ و همچنین روند تغییرات غلظت NO_2 و با شیب مثبت ۰/۰۱۳ و ضریب تبیین ۰/۷۴ در حال افزایش است. همچنین روند تغییرات متوسط شاخص NDVI نیز با شیب مثبت ۰/۰۰۰۶ و ضریب تبیین ۰/۲۶ در حال افزایش بوده است. ضریب تبیین بالای ۰/۵، روند مثبت و افزایشی و ضریب تبیین زیر ۰/۵، روند منفی و کاهشی را نشان می‌دهد. آزمون من-کندال Z برای SO_2 نشان می‌دهد که در کلان‌شهرها و شهرهایی که پالایشگاه، کوره‌های نفتی و نیروگاه‌ها وجود دارند روند افزایش معنی‌داری برای این آلایندۀ وجود دارد که مساحت آن در حدود ۱۴۴۵۳۱ کیلومترمربع است دارد. برای آلایندۀ سولفور دی اکسید SO_2 ۵۸/۳۶ درصد همبستگی مثبت با شاخص پوشش گیاهی و ۴۱/۶۴ درصد همبستگی منفی را نشان می‌دهد. این به این معنی است که آلایندۀها به تنهایی نمی‌توانند باعث افزایش و یا کاهش پوشش گیاهی در منطقه شوند ولی می‌توانند تأثیر هرچند کمی را در تغییر پوشش گیاهی داشته باشند. در مناطق کویری مرکز و شرق کشور یک رابطه همبستگی مثبت بین شاخص پوشش گیاهی و آلایندۀ نیتروژن دی اکسید وجود دارد. همچنین در مناطق ساحلی خلیج فارس یک همبستگی منفی بین

NO₂ وجود دارد همچنین ۳۸/۹۳ درصد مساحت کشور همبستگی منفی و ۶۱/۰۷ درصد از منطقه نیز همبستگی مثبتی بین NDVI و NO₂ وجود دارد. همانطور که مشاهده می‌کنید در مناطق کویری مرکز و شرق کشور یک رابطه همبستگی مثبت بین شاخص پوشش گیاهی و آلاینده‌ی NO₂ وجود دارد، درواقع در این مناطق به علت فعالیت‌های کم صنعتی و و تراکم پایین جمعیت مقدار این آلاینده کم بوده و همچنین به علت کویری بودن این مناطق، بارندگی نیز کم و به دنبال آن پوشش گیاهی منطقه ضعیف خواهد بود و پوشش گیاهی موجود هم می‌تواند ناشی از آب‌های جاری و رودخانه‌ای باشد. همچنین در مناطق ساحلی خلیج فارس یک همبستگی منفی بین شاخص پوشش گیاهی و آلاینده‌ی NO₂ وجود دارد. با توجه به شکل ۵-الف مشاهده می‌کنید که بارش در این مناطق کاهشی بوده ولی مقدار آلاینده‌ی NO₂ روند افزایشی را داشته است.

کلیدواژه‌ها: سنجنده، پوشش گیاهی، سولفور دی‌اکسید، نیتروژن دی‌اکسید، ایران.

شاخص پوشش گیاهی و آلاینده نیتروژن دی‌اکسید وجود دارد به‌طوری‌که بارش در این مناطق کاهشی بوده ولی مقدار آلاینده نیتروژن دی‌اکسید روند افزایشی را داشته است. NO₂ نیز در کلان‌شهرها با مساحت ۹۶۸۲۸۲ کیلومترمربع معادل ۵۹/۰۶ درصد مساحت کل کشور به علت تعداد بالای کارخانه‌ها، وسایل حمل و نقل و غیره روند افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد و تنها ۱/۲۴ درصد از کل منطقه کاهش معنی‌داری را برای NO₂ نشان می‌دهد. خوخار و همکاران با بررسی تغییرات تروپوسفری NO₂ روی پاکستان به این نتیجه رسید که منابع طبیعی نشر این آلاینده مربوط به خاک و آب و هوا می‌باشد و منابع انسان‌ساخت همچون سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌ها و وسایل حمل و نقل می‌باشد، با بررسی آزمون من-کندال Z برای شاخص پوشش گیاهی مشاهده می‌کنیم که تقریباً ۶۲/۸۵ درصد کشور افزایش پوشش گیاهی را نشان می‌دهد که حدود ۱۸/۷۷ درصد آن معنی‌دار بوده است و همچنین ۳۷/۱۳ درصد از منطقه روند کاهشی را نشان می‌دهد که ۱۱/۶۹ درصد آن معنی‌دار بوده است. رابطه همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و آلاینده‌های SO₂ و NO₂ نشان داده شده است که ۴۱/۶۷ درصد از منطقه دارای همبستگی منفی و ۵۸/۳۶ درصد نیز همبستگی مثبت بین NDVI و

۱- مقدمه

ژئو (۳۰)، هم‌زمان با پیشرفت تکنولوژی و صنعت، بحث آلودگی هوا یکی از مشکلات جدی در جهان امروز است که می‌تواند تعادل اکولوژیکی را به هم بریزد. گائو (۸) به این نتیجه رسید که افزایش آلاینده‌ها در هوا، هم به طور مستقیم (سمی بودن) و هم به طور غیرمستقیم با تغییر خاک می‌تواند روی گیاهان اثرات منفی داشته باشد. گیاهان با روش‌های مختلفی می‌توانند آلاینده‌ها را از هوا جذب کنند، ۱- نشست ذرات و هواویزها روی سطح برگ درختان، ۲- ریزش آلاینده‌های هوا روی قسمت پشت به باد گیاهان. کیانی (۱۵)، ذرات معلق نیز اثرات مکانیکی منفی روی گیاهان دارند به طوری که تیغه‌ی برگ درختان را پوشش می‌دهند و باعث کاهش نفوذ نور و مسدود شدن روزنه‌های برگ می‌شوند. این موانع تأثیر زیادی بر روند فتوسنتز دارد و سرعت آن را کاهش می‌دهد از طرفی برگ درختان تأثیر زیادی در نگهداری ریزگردها و در واقع نقش مهمی در تصفیه هوا و کاهش آلاینده‌ها دارد به طوری که به علت رسوب آلاینده‌ها، غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاهان کاهش می‌یابد و رشد کلی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تامپسون (۳۰) بیان کرد که گیاهان با استفاده از اثر فتوسنتز نقش مهمی در کاهش میزان کربن دی‌اکسید (CO_2) جوی دارند که باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن تغییرات آب‌وهوایی می‌شود. کربن ذخیره شده در گیاهان نتیجه تعادل بین کربن ایجاد شده به وسیله فتوسنتز و کربن رها شده به جو توسط تنفس است. حدود ۹۰ درصد از کل انتشارات هوا ماهیت گازی دارند مثل سولفور دی‌اکسید، کربن مونوکسید، کربن دی‌اکسید، NO_x و... که اغلب از منابع انسانی تولید می‌شوند. آلودگی هوا ناشی از منابع انسانی و طبیعی است، این منابع آلاینده‌هایی تولید می‌کنند که اثرات مختلفی روی افراد، گیاهان و حیوانات دارند. بسیاری از آلاینده‌های هوا توسط انسان تولید می‌شوند به طوری که کارخانه‌های صنعتی، نیروگاه‌ها و وسایل نقلیه‌ای با موتورهای احتراق داخلی می‌توانند اکسیدهای نیتروژن، مواد آلی فرار (VOCs)، کربن مونوکسید، کربن دی‌اکسید، سولفور

دی‌اکسید و ذرات معلق تولید کنند. باده‌ها و آب‌وهوا نقش مهمی را در انتقال آلاینده‌های محلی و منطقه‌ای هوا بازی می‌کند. لو و همکاران (۱۹)، عمده‌ترین منابع انسانی آلودگی هوا شامل: صنعت و انرژی‌های متعارف (نفت، زغال‌سنگ و چوب)، کشاورزی، نقل و انتقالات جاده‌ای و شهرنشینی است. مهم‌ترین آلاینده‌های گازی، سولفور دی‌اکسید (SO_2) و نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) می‌باشند. سولفور دی‌اکسید (SO_2) مهم‌ترین و رایج‌ترین آلاینده هوا است که به مقدار زیاد در احتراق زغال‌سنگ و سایر سوخت‌ها در مصارف صنعتی و خانگی تولید می‌شود و مؤلفه‌ی اصلی باران‌های اسیدی است، همچنین در هنگام ذوب سنگ معدن نیز سولفید تولید می‌شود. آلاینده مهم و تأثیرگذار بعدی نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) است که خیلی سریع با سایر آلاینده‌های هوا واکنش نشان می‌دهد، به ریه‌ها نفوذ کرده و به عملکرد ریه‌ها آسیب بزند.

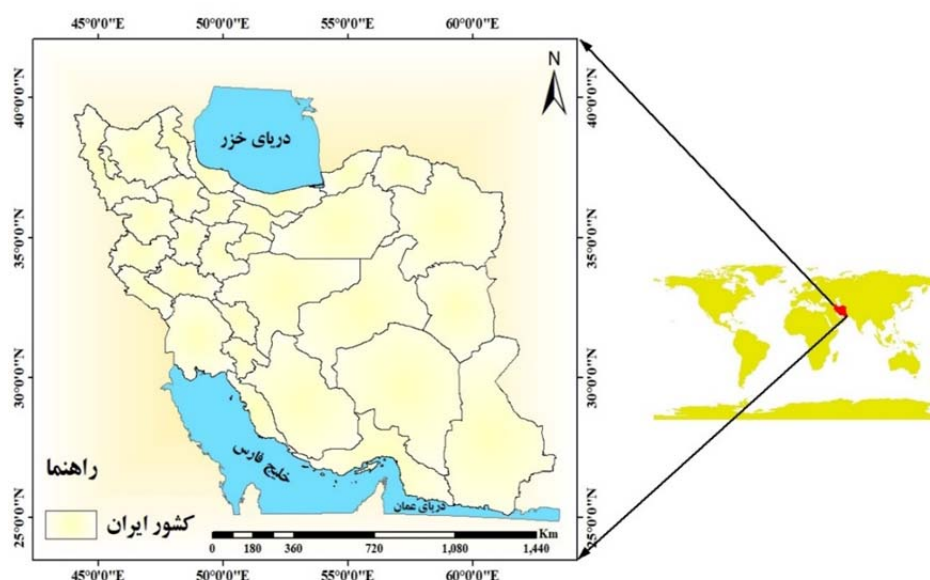
لو (۱۸) بیان کرد که تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، تأثیر مستقیم بر روی پوشش سطح زمین دارند. امروزه داده‌های سنجش از دوری با پوشش وسیع اراضی و سری زمانی طولانی مدت به عنوان ابزاری کارآمد برای پایش پویایی پوشش گیاهی در مقیاس‌های زیاد استفاده می‌شود. گائو (۸) به این نتیجه رسید که استفاده از شاخص‌های به دست آمده از این داده‌ها از قبیل شاخص‌های پوشش گیاهی با توجه به حساسیت این شاخص‌ها به تغییرات وضعیت، رشد و عملکرد پوشش گیاهی، برای بررسی کمی پویای پوشش گیاهی استفاده می‌شوند. ژائو (۳) کاهش منابع بر اثر تأثیر منفی فعالیت‌های انسان در طول زمان بیان کرد. دجانگ (۵)، گیاهان به عنوان جزء اصلی بیوسفر نقش بسیار اساسی در سیستم اقلیمی ایفا می‌کنند و به عنوان فاکتور کلیدی برای نمایش تغییرات اقلیمی مدنظر قرار گرفته می‌شوند. اولدمن (۱۲)، تخریب اراضی نتیجه کاهش طولانی مدت پوشش گیاهی و تولید اولیه در بازه زمان و مکان است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی تخریب اراضی در مقیاس زمانی و مکانی مختلف وجود دارد. محمودی (۱۹) با بررسی رابطه آماری بین متغیرهای اقلیمی، هیدرولوژیک و پویایی پوشش گیاهی در دشت سیستان برای سه ماه فروردین،

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کشور پهناور ایران در جنوب غرب آسیا یکی از مناطق نیمکره شمالی است که به سبب برخی عوامل از جمله شرایط اقلیمی متفاوت، وجود کوه‌های مرتفع حصار مانند در اطراف، وجود کویر بزرگ مرکزی و با وسعتی بیش از ۱۶۴۰۰۰۰ کیلومترمربع، نوعی ویژگی و تنوع زیستی در هر گوشه و کنار خود دارد. درصد پوشش این پهنه‌ها در نواحی شمالی و برخی نواحی شمال غربی و پرباران بسیار بالاست ولی در نواحی خشک و کم‌باران که تبخیر آن چندین برابر بارش است درصد آن بسیار پائین ولی در عوض تنوع گونه‌ای در آنها بسیار بالاست. تنوع گونه‌ای گیاهان در ایران رقمی چشمگیر دارد و در مقام مقایسه، ایران یکی از کشورهای کم‌نظیر جهان از این حیث است. بخش بزرگی از این سرزمین را نواحی بیابانی، نیمه بیابانی و کویری تشکیل می‌دهد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کشور ایران را نشان می‌دهد (۳۲).

اردیبهشت و خرداد به این نتیجه رسید که در مقیاس ماهانه هیچ‌گونه همبستگی بین پوشش گیاهی ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد با میانگین دمای ماه‌های قبل از آن مشاهده نشده، در مورد بارش نیز بارش ماه اردیبهشت با پوشش گیاهی همان ماه و ماه بعدی (خرداد) دارای همبستگی ۰/۶۰ و ۰/۵۴ بوده‌اند که در حد متوسط است اما باتوجه به مقدار بسیار کم بارش و تبخیر بسیار زیاد در این ماه، در عمل نمی‌توان به این همبستگی اعتماد داشت. دهشیری (۴) با بررسی تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) و ارتباط آن با بارندگی در شهر تفت به این نتیجه رسید که ضریب پوشش گیاه (NDVI) و ارتباط آن با بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌درستی جوابگو نخواهد بود چون بارندگی در آن منطقه کم است یا درصد رطوبت بالا است و تقریباً ارتباط زیادی با تغییر پوشش گیاهی ندارد ولی در مناطق کوهستانی که میزان بارندگی بیشتر است ارتباط بین بارندگی و تغییر پوشش گیاهی زیاد است. هدف از این تحقیق برآورد روند تغییرات آلاینده‌های NO_2 و SO_2 در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ و اثر آنها بر روند تغییرات پوشش گیاهی در منطقه ایران است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

Fig2. case study

۲-۲- روش تحقیق:

گیری‌های سنجش از راه دور، از یک پلت فرم از راه دور و ارزیابی اینکه آیا هدف یا شی مورد مشاهده دارای پوشش گیاهی سبز زنده است یا خیر، استفاده می‌شود و دارای مقادیری بین ۱- و ۱+ می‌باشد به عنوان مثال وقتی مقادیر منفی می‌یاشند به احتمال زیاد سطح پوشیده از آب است و اگر مقادیر نزدیک به ۱+ باشد احتمال اینکه برگ‌های سبز متراکم باشند زیاد است و مقدار صفر NDVI نشان دهنده‌ی نبود برگ سبز و یا حتی منطقه شهری می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \text{ where } (-1 < NDVI < 1)$$

۲-۴ - ماهواره AURA و سنجنده OMI

آئورا Aura یک ماهواره با مدار خورشیدآهنگ است که در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری از تراز متوسط دریا قرار دارد و زمان عبور آن از استوا در ساعت ۱۳:۴۵ محلی است که در ۱۵ جولای سال ۲۰۰۴ به فضا پرتاب شده است (۲۲) OMI Data (User's Guide, 2012). هدف این ماهواره برای مشاهدات و مطالعات روی کیفیت هوای وردسپهر، ازون پوشش سپهری و تغییرات اقلیم است. سنجنده دیدبانی ازون (OMI) که بر روی این ماهواره نصب شده است یک مشاهده کلی از گازهای مهم آلاینده جوی مثل NO_2 ، SO_2 و O_3 را از سال ۲۰۰۴ فراهم کرده و دارای تفکیک مکانی (۱۳×۲۴) کیلومتر به ترتیب (مداری× نصف‌النهاری) است که کل زمین را در یک روز پوشش می‌دهد. داده‌های بدست آمده از این سنجنده، پوشش مکانی و زمانی پایداری را فراهم می‌کنند و این امکان را می‌دهد که غلظت گسیل‌های طبیعی و گسیل‌های مربوط به فعالیت‌های انسانی را در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای مطالعه و مورد بررسی قرار دهیم.

۳- آنالیز روند شاخص‌ها

بعد از تهیه داده‌های پوشش گیاهی با استفاده از روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله نقشه‌های SO_2 و NO_2 تهیه شد. روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله با وزن‌دهی به

در این مطالعه با توجه به این‌که آلاینده‌ها همراه با جریانات جوی تا ارتفاعات بالا نیز حرکت می‌کنند، برای محاسبه‌ی دقیق‌تر غلظت آلاینده‌ها از داده‌های غلظت ستون قائم وردسپهری (NO_2 Vertical Column Density) و غلظت ستون قائم تا لایه مرزی برای آلاینده‌ی SO_2 توسط سنجنده‌ی دیدبانی ازون (Ozon Monitoring Index) استفاده شده است. این سنجنده که بر روی ماهواره مدارخورشیدآهنگ AURA نصب شده است تابش بازپراکنده‌ی خورشید را در محدوده‌ی طیفی (۵۰۰- ۲۷۰) نانومتر اندازه‌گیری می‌کند که دارای تفکیک طیفی ۰/۵ نانومتر می‌باشد. این داده‌ها در واقع برآوردی از تعداد مولکول‌های NO_2 در یک سطح مقطع ستون جوی از سطح زمین تا قله وردسپهر که ۲۰۰hPa می‌باشد که بر حسب $molec/cm^2$ تهیه شده‌اند (<http://www.temis.nl/airpollution/no2.html>). در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای ماهانه با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه برای NO_2 ۰/۲۵ درجه برای SO_2 در دوره‌ی ۱۴ از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است و سپس توسط نرم افزار GIS تصاویر مجموع و میانگین داده‌ها رسم شد و با نرم افزار EDRISI روند تغییرات این آلاینده‌ها و همچنین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه و ترسیم شد. یکی از محدودیت‌های این تحقیق نبود داده‌های زمینی مربوط به آلاینده‌های مورد نظر برای مقایسه و صحت‌سنجی داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. برای بررسی پوشش گیاهی در این تحقیق از تصاویر تولیدات ماهانه‌ی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) ماهواره تراء سنجنده‌ی مودیس MOD13A2 در بازه زمانی مد نظر و با رزولوشن مکانی ۰/۱۲۵ درجه استفاده شده است.

۳-۲- شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص‌های پوشش گیاهی به ما این امکان را می‌دهند که توزیع پوشش گیاهی و خاک را بر اساس الگوهای بازتابی مشخص پوشش گیاهی سبز تعیین کنیم. NDVI یک نشانگر عددی ساده است که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل اندازه

در آن S آماره آزمون من - کندال x_i مقدار داده x_j مقدار داده N تعداد داده‌ها و $sgn(X_j - X_i)$ تابع علامت می‌باشد که با استفاده از فرمول ۴ محاسبه می‌شود.

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, & \text{if } (X_j - X_i) > 0 \\ 0, & \text{if } (X_j - X_i) = 0 \\ -1, & \text{if } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

واریانس آماره من - کندال با استفاده از فرمول ۵ محاسبه می‌شود.

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

که در آن N تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m تعداد دنباله‌ها، t_i تعداد دنباله‌ها برای i امین مقدار و t تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون Z از فرمول (۶) زیر بدست می‌آید.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}}, & \text{if } s > 0 \\ 0, & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}}, & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (6)$$

مقدار مثبت Z روند افزایش و مقدار منفی Z روند کاهشی سری 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 بدست 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. برای تأیید درستی و صحت تغییرات روند از شیب تخمین‌گر سن استفاده شد. که از طریق فرمول (۷) محاسبه می‌شود.

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_i - X_j}{i - j} \right] (\forall j > i) \quad (7)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند، X_i و X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند که i و j نشانگر شمارنده

داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست آورده و درون‌یابی انجام گردید. ضمناً چنین فرض شد که نقاط نزدیک به یکدیگر شباهت بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند، بنابراین بر طبق این روش نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتری دارد. رابطه فاصله وزنی معکوس با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد (۶):

$$Z_i = \frac{\sum_{l=1}^N z_l d_{li}^{-m}}{\sum_{l=1}^N d_{li}^{-m}} \quad (1)$$

که در این رابطه Z ارزش برآوردی از روش درون‌یابی، Z_i مقادیر نمونه، d_i فاصله اقلیدسی هر مکان تا نمونه، m عامل توان، ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند و N تعداد نقاط نمونه است.

۳-۱- روند تغییرات آلاینده‌ها و پوشش گیاهی

روند تغییرات شاخص NO_2 ، SO_2 و NDVI در دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۵ برای هر پیکسل تصویر با استفاده از رگرسیون خطی در محیط TerrSet2020 بر اساس رابطه (۲) شبیه‌سازی شد: (۱۶)

$$\theta_{slope} = \frac{m \times \sum_{j=1}^m j \times X_j - (\sum_{j=1}^m j \times \sum_{j=1}^m X_j)}{m \times \sum_{j=1}^m j^2 - [\sum_{j=1}^m j]^2} \quad (2)$$

θ_{slope} شیب تغییرات شاخص مورد نظر در منطقه مورد مطالعه، m سال‌های مورد استفاده در پایش، X_j مقدار سالانه شاخص مد نظر برای سال j، $\theta_{slope} > 0$ و $\theta_{slope} < 0$ به ترتیب نشان دهنده شیب تغییرات مثبت و منفی در میزان شاخص مربوطه می‌باشد.

برای محاسبه روند تغییرات سالانه SO_2 ، NO_2 و شاخص پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از آزمون روندیابی من - کندال و شیب تخمین‌گر سن استفاده شد آماره‌های این آزمون با استفاده از فرمول‌های (۳ تا ۷) محاسبه شد.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N sgn(X_j - X_i) \quad (3)$$

۴- نتایج

بررسی متوسط آلاینده SO_2, NO_2 و شاخص پوشش گیاهی

NDVI در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۸

بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده NO_2, SO_2 و همچنین شاخص پوشش گیاهی NDVI بر روی کشور ایران در طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۸ در شکل ۲ نشان داد که روند تغییرات غلظت SO_2 با شیب مثبت ۰/۰۱۳ و ضریب تبیین ۰/۵ و همچنین روند تغییرات غلظت NO_2 و با شیب مثبت ۰/۰۱۳ و ضریب تبیین ۰/۷۴ در حال افزایش است. همچنین در شکل ۳ روند تغییرات متوسط شاخص NDVI نیز با شیب مثبت ۰/۰۰۰۶ با ضریب تبیین ۰/۲۶ در حال افزایش بوده است. ضریب تبیین بالای ۰/۵، روند مثبت و افزایشی و ضریب تبیین زیر ۰/۵، روند منفی و کاهشی را نشان می‌دهد.

سال است. مقادیر مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان دهنده روند کاهشی است.

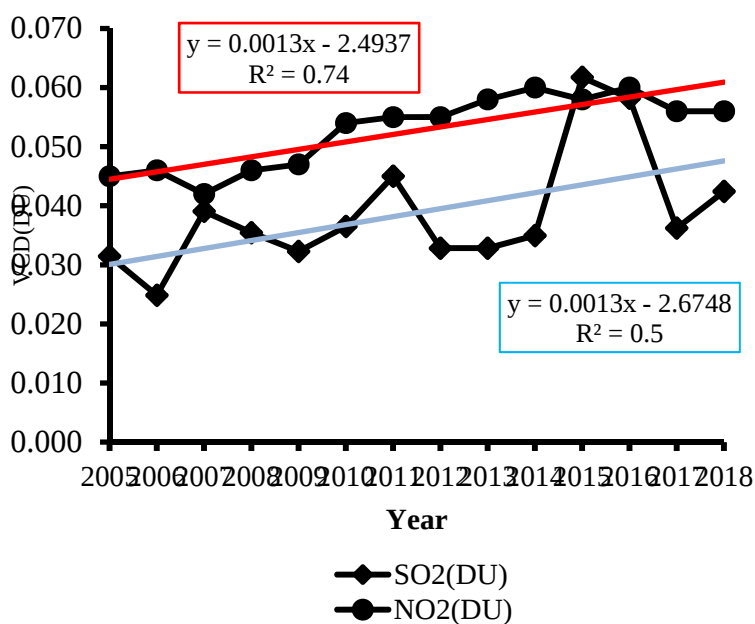
۳-۲- آنالیز همبستگی بین شاخص SO_2, NO_2 و NDVI

به منظور بررسی روند تخریب اراضی به بررسی ارتباط بین SO_2, NO_2 و شاخص NDVI و از آنالیز همبستگی رابطه (۸) استفاده گردید. در این مطالعه همبستگی بین تصاویر از Earth Trends Modeler (ETM) در نرم افزار TerrSet2020 انجام شد (Lamchin et al, 2018).

$$R_{x,y} =$$

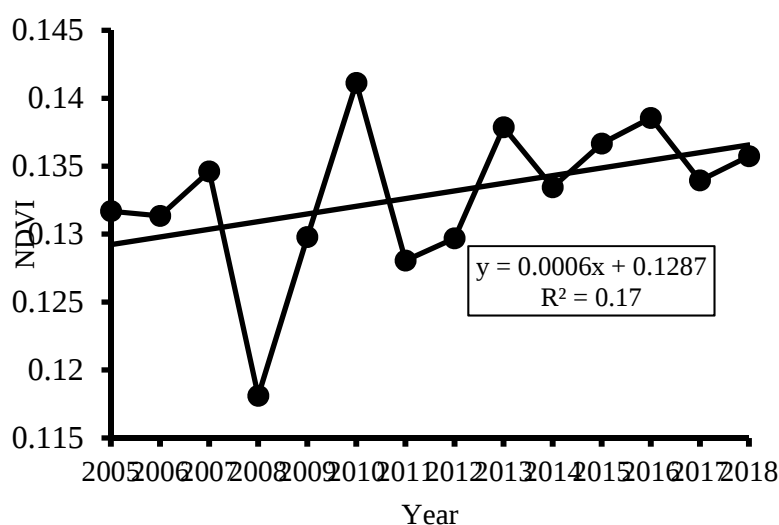
$$(8) \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}$$

$R_{x,y}$ ضریب همبستگی ساده بین x و y است، x_i مقدار شاخص مستقل سال i ام، y_i متغیرهای مستقل مثل SO_2 سال i ام و i شماره سال‌ها است. x و y هم مقادیر میانگین را نشان می‌دهند.



شکل ۲. روند تغییرات آلاینده‌های NO_2, SO_2 روی ایران در بازه زمانی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸

Fig2. The trend of changes in NO_2 and NO_2 pollutants on Iran in the period 2005 to 2018



شکل ۳. روند تغییرات شاخص NDVI روی ایران در بازه زمانی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸

Fig3. The trend of changes in NDVI on Iran in the period 2005 to 2018

۸/۸۱ درصد افزایش معنی‌دار این شاخص را دیده است. از طرفی دیگر در ۶۵/۹۴ درصد از مساحت کشور آماره Q در شکل ۴- ت افزایش شاخص SO_2 را تأیید می‌کند. از طرفی دیگر بررسی این شاخص نشان داد که در ۴۴/۱۶ درصد از مساحت کشور این شاخص کاهش داشته که این مقدار ۲/۲۰ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین این کاهش را آماره Q در ۳۴/۰۶ درصد از مساحت کشور تأیید می‌کند. روند تغییرات پارامتر پوشش گیاهی NDVI در این بازه زمانی ۱۴ ساله در شکل ۴- ج با استفاده از شاخص Z نشان می‌دهد که این شاخص در ۶۲/۵۸ درصد از مساحت کشور افزایش یافته که در حدود ۱۸/۷۷ درصد از مساحت کشور این افزایش معنی‌دار می‌باشد. آماره Q در شکل ۴- د نیز این افزایش پوشش گیاهی را در ۵۹/۳۶ درصد از مساحت کشور تأیید می‌کند. روند کاهشی این شاخص پوشش گیاهی نشان داد که در ۳۷/۱۵ درصد از مساحت کشور کاهش داشته که از این مقدار ۱۱/۷۱ درصد روند کاهشی را معنی‌دار نشان داده از طرفی دیگر شاخص Q کاهش را در ۴۰/۶۴ درصد از مساحت کشور تأیید کرده است. همچنین مطابق شکل ۵- الف با بررسی شرایط بارشی در طی این ۱۴ سال بر روی کشور ایران برحسب میلی‌متر با استفاده از آماره Z من - کندال مشاهده می‌کنیم که

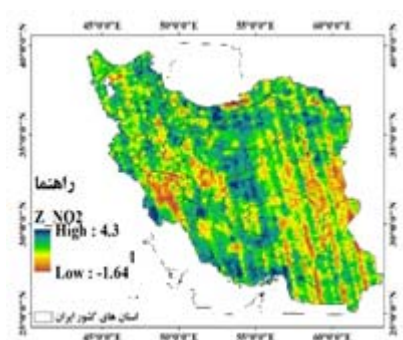
بررسی روند تغییرات آلاینده SO_2 ، NO_2 و NDVI با استفاده از آزمون من - کندال Z و شیب تخمین‌گر سن در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۸

نتایج آماره Z آزمون من - کندال و آماره Qt از شیب تخمین‌گر سن برای SO_2 ، NO_2 و شاخص پوشش گیاهی برای سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۸ در شکل ۴ الف تا د آورده شده است. باتوجه به شکل ۴- الف آماره Z آزمون من - کندال نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار آماره Z شاخص NO_2 به ترتیب ۴/۳ و ۱/۶۴- است. بر اساس جدول ۱ بیش از ۹۸/۵۵ درصد از مساحت کشور روند افزایش این شاخص نشان داده که از این مقدار ۵۹/۹۴ درصد آن روند افزایشی معنی‌داری را نشان داده است. از طرفی دیگر شاخص Q نیز در شکل ۴- ب با نشان‌دادن ۹۸/۷۶ درصد تأیید کننده افزایش این شاخص است. کاهش شاخص NO_2 با استفاده از آماره Z در ۱/۴۵ درصد از کشور دیده شده که از این مقدار ۰/۲۵ درصد آن کاهش معنی‌داری را نشان داده که شاخص Q نیز این کاهش را با نشان‌دادن ۱/۲۴ درصد کاهش تأیید می‌کند.

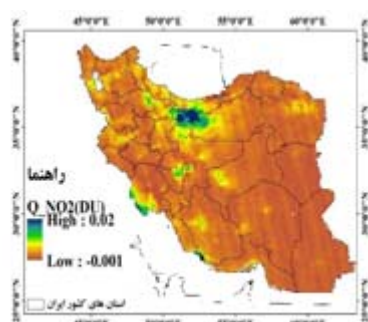
روند تغییرات شاخص SO_2 در شکل ۴- پ با استفاده از آماره Z من - کندال نشان داد که روند افزایشی این شاخص در ۵۵/۸۴ درصد از مساحت کشور رخ داده که از این مقدار حدود

سالانه می‌باشد. با مقایسه شکل ۴-ج و ۵-الف مشاهده می‌کنیم که در رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس با افزایش بارش، پوشش گیاهی منطقه نیز روند افزایشی را به خودش گرفته است ولی در مناطق بیابانی این همبستگی بین بارش و پوشش گیاهی وجود ندارد.

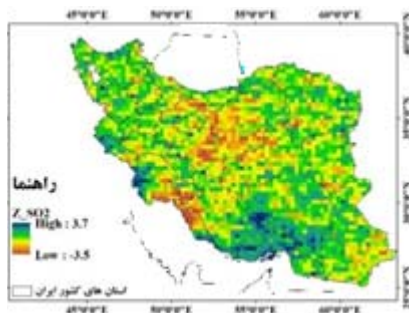
در قسمت‌های شمال و شمال غرب کشور، بارش افزایش معنی‌دار ($Z > 1/96$) و در بیابان‌های مرکزی و جنوب شرق کشور کاهش معنی‌دار ($Z < 1/96$) را دارد و در شکل ۵-ب که آماره Q را برای بارش نشان می‌دهد مشاهده می‌کنیم که تنها در قسمت ساحل شمالی کشور، بارش یک شیب مثبت سالانه بر حسب میلی‌متر را دارد و در اکثر مناطق دارای شیب کاهشی



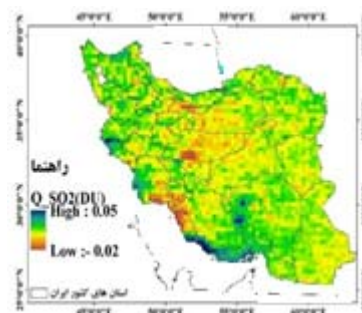
ب



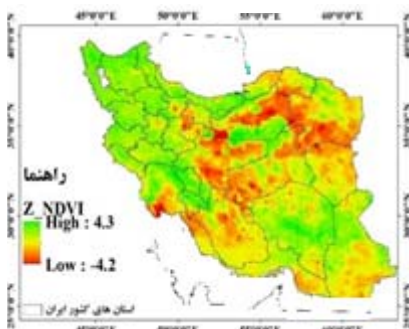
الف



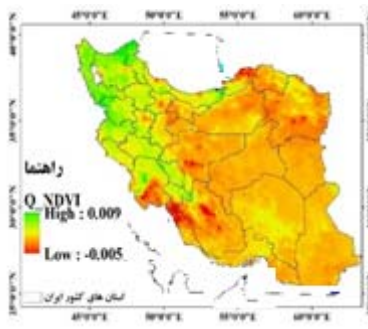
ن



پ



د



ج

شکل ۴. آزمون من - کندال z و شیب تخمین‌گر سن برای SO_2 ، NO_2 و شاخص پوشش گیاهی

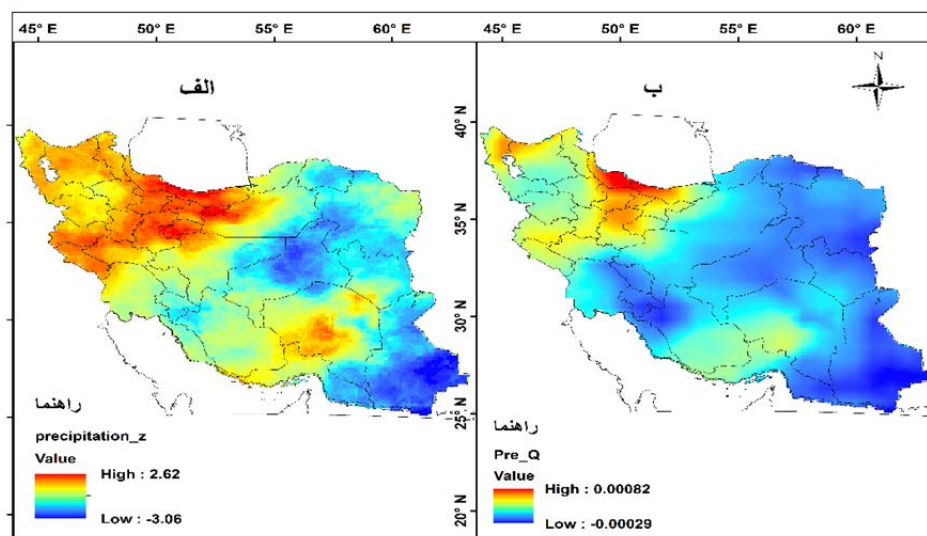
Fig4. Mann-Kendall z test and Sen estimator slope for SO_2 , NO_2 and vegetation index

جدول ۱. مساحت و درصد پارامترهای غلظت ستون قائم SO_2 .

نیترژن دی اکسید و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با آزمون من - کندال z و شیب تخمین گر سن

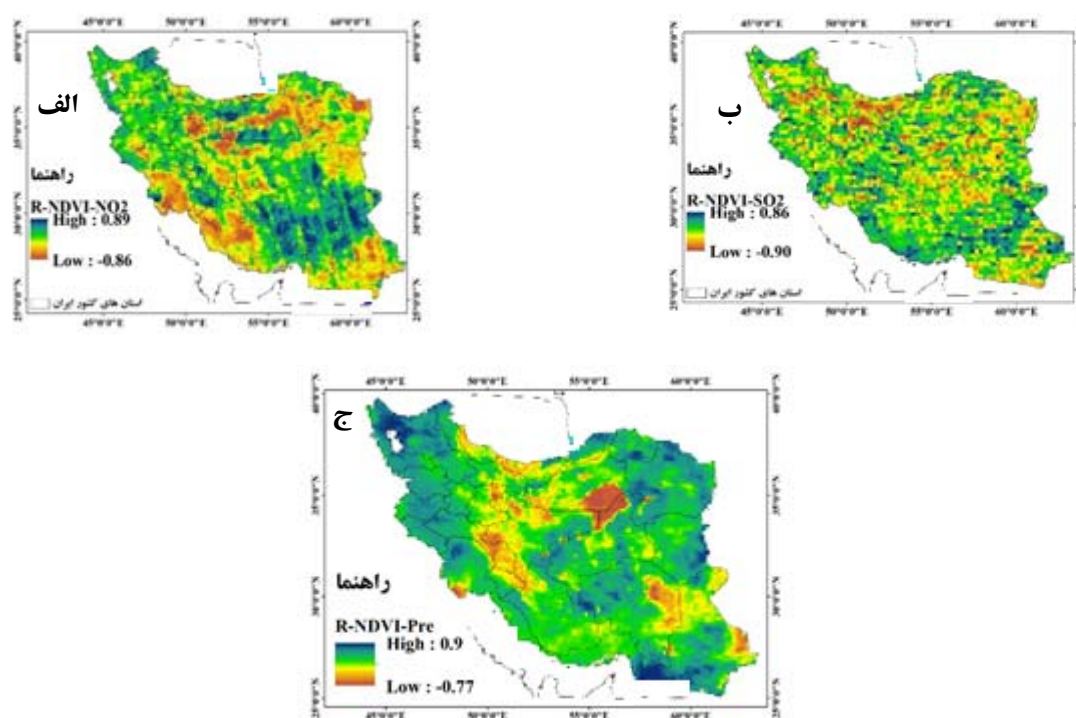
Table1. Area and percentage of parameters NO_2 , SO_2 And NDVI by Man-Kendall z test and slope of Sen estimator

درصد			مساحت (کیلومتر مربع)			Z	
NDVI	NO_2	SO_2	NDVI	NO_2	SO_2		
۱۱.۶۹	۱.۲۴	۲.۱۹	۱۹۲۰۳۲	۴۰۶۳	۳۶۰۹۴	$-0.961 <$	آزمون من - کندال Z
۲۵.۴۴	۱.۲۰	۴۱.۹۶	۴۱۷۱۸۷	۱۹۶۸۷	۶۸۸۱۲۵	$-1.96-0$	
۴۴.۰۸	۳۹.۵۱	۴۷.۰۳	۷۲۲۹۶۸	۶۴۷۹۶۸	۷۷۱۲۵۰	$0-1.96$	
۱۸.۷۷	۵۹.۰۵	۸.۸۱	۳۰۷۸۱۳	۹۶۸۲۸۲	۱۴۴۵۳۱	>1.96	
درصد			مساحت (کیلومتر مربع)			Q_t	
۴۱	۱.۲	۳۴	۶۶۵۵۶۲	۲۰۳۱۳	۵۵۸۵۹۴	> 0	شیب
۵۹	۹۸.۸	۶۶	۹۷۳۴۳۸	۱۶۱۹۶۸۷	۱۰۸۱۴۰۶	< 0	تخمین گر سن



شکل ۵. بررسی الف - آماره Z من - کندال و ب - آماره Q برای بارش (میلی متر بر روز) از سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ بر روی کشور ایران

Fig5. Study of a. Z statistic of Man-Kendall and b. Q statistic for precipitation (mm) from 2005 to 2018 on Iran



شکل ۶. رابطه همبستگی بین الف) شاخص پوشش گیاهی و آلاینده NO_2 ، ب) شاخص پوشش گیاهی و آلاینده SO_2 ،

ج) شاخص پوشش گیاهی و بارش

Fig6. Correlation between a. Vegetation index and pollution NO_2 , b. Vegetation index and SO_2 pollution
C) Vegetation and precipitation index

کل کشور که معادل ۱۰۰۱۴۰۵ کیلومتر مربع از آن می‌باشد. از این مقدار حدود ۱۱/۳۴ درصد معنی داری این رابطه را نشان می‌دهد. همچنین این بررسی نشان داد که رابطه منفی با $0/90$ - $R =$ بین شاخص NDVI و SO_2 در ۳۸/۹۴ درصد از سطح کشور که مساحتی حدود ۶۳۸۵۹۵ کیلومتر مربع دارد می‌باشد که از این مقدار حدود ۷۴۴۰ کیلومتر مربع معادل $0/45$ همبستگی منفی و معنی داری نشان داده است. همچنین در شکل ۶-ج که همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و بارش را نشان می‌دهد ملاحظه می‌کنیم که حداکثر همبستگی مثبت $0/90$ و حداکثر همبستگی منفی هم $0/77$ می‌باشد که براساس جدول ۲ حدود $1/78$ درصد از کل مساحت کشور ایران که معادل ۲۸۹۰۶ کیلومتر مربع است همبستگی منفی بین این دو شاخص وجود دارد متناهی ۶۴/۸۱ درصد از کشور مساحت کشور که معادل ۱۰۶۲۹۶۹ کیلومتر مربع است یک همبستگی مثبت بین پوشش گیاهی و بارش وجود دارد.

در شکل ۶ الف و ب و جدول ۲ به ترتیب رابطه همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI با NO_2 ، SO_2 را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این شکل ۶-الف و جدول ۲ نشان داد که حداکثر همبستگی بین این دو شاخص NDVI و NO_2 با $R = 0/89$ بوده که این همبستگی در ۹۵۶۶۲۵ کیلومتر مربع از سطح کشور که معادل ۵۸/۳۳ درصد از مساحت آن است مثبت بوده که از این مقدار حدود ۵/۳۳ درصد از آن معنی دار بوده است. همچنین این بررسی نشان داد که بین شاخص NDVI و NO_2 در ۴۱/۶۷ درصد از سطح کشور که مساحتی حدود ۶۸۳۳۷۵ کیلومتر مربع دارد یک رابطه منفی با $R = -0/86$ می‌باشد که از این مقدار حدود ۳۵۵۶ کیلومتر مربع که معادل $0/22$ درصد معنی دار می‌باشد. بررسی نتایج حاصل از شکل ۶-ب و جدول ۲ نشان داد که حداکثر همبستگی بین این دو شاخص NDVI و SO_2 با $R = 0/86$ بوده که بیان کننده همبستگی مثبت بین این دو شاخص در ۶۱/۰۶ درصد مساحت

جدول ۲. رابطه همبستگی بین آلاینده‌های SO₂ و NO₂ و بارش با NDVI برحسب مساحت و درصد

Table2. Correlation between SO₂ and NO₂ pollutants and precipitation with NDVI in terms of area and percentage

مساحت (کیلومترمربع)	درصد	مساحت (کیلومترمربع)	درصد	NDVI- SO ₂	NDVI- NO ₂	
NDVI- Precipitation	NDVI- Precipitation	NDVI- SO ₂	NDVI- NO ₂			
۱/۷۸	۲۸۹۰۶	۰/۴۵	۰/۲	۷۴۴۰	۳۶۵۶	R < -۰/۵
۱۶/۲۱	۲۶۵۹۳۷	۳۸/۴۸	۴۱/۶۷	۶۳۱۱۵۶	۶۸۳۳۷۵	-۰/۵ < R < ۰
۱۷/۲۰	۲۸۲۱۸۷	۴۹/۷۲	۵۳	۸۱۵۴۶۸	۸۶۹۲۸۱	۰ < R < +۰/۵
۶۴/۸۱	۱۰۶۲۹۶۹	۱۱/۳۴	۵/۳۳	۱۸۵۹۳۷	۸۷۳۴۴	R > +۰/۵

رابطه
همبستگی

۵- بحث و نتیجه گیری

در مطالعه حاضر به علت وجودداشتن دستگاهی که بتواند غلظت آلاینده‌ها را از سطح زمین اندازه‌گیری کند تا مقدار خطا را کاهش دهد از داده‌های ماهواره‌ای استفاده کردیم و با بررسی غلظت ستون قائم از سطح زمین تا ارتفاع لایه‌مرزی آلاینده‌های SO₂ و NO₂ توسط سنجنده دیدبانی ازون (OMI) که بر روی ماهواره زمین‌گرد AURA نصب شده است و همچنین بررسی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با رزولوشن ۱۰ کیلومتر بر روی کشور ایران، روند تغییرات سالانه این سه پارامتر نشان داده شد و همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده کردید غلظت آلاینده‌های SO₂ و NO₂ به‌طورکلی در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۵ افزایشی بوده ولی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ روند کاهشی به خود گرفته و مقدار پوشش گیاهی نیز افزایشی بوده است. همچنین با روش‌های آماری من - کندال Z و شیب تخمین‌گر سن نیز این پارامترها مورد بررسی قرار گرفت که این دو روش آماری را برای همه پارامترها اعمال کرده و تغییرات این پارامترها برحسب مساحت و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. به‌طوری که آزمون من - کندال Z برای SO₂ نشان می‌دهد که در کلان‌شهرها و شهرهایی که پالایشگاه، کوره‌های نفتی و نیروگاه‌ها وجود دارند روند افزایش معنی‌داری برای این آلاینده وجود دارد که مساحت آن در حدود ۱۴۴۵۳۱ کیلومترمربع است دارد. خوکار و همکاران (۲۳) در مطالعه بررسی غلظت ستون قائم SO₂ روی پاکستان بیان کردند که علت افزایش

غلظت این آلاینده در سال‌هایی ۲۰۰۵-۲۰۱۱ استفاده زیاد از کوره‌هایی نفتی برای تولید نیروگاه‌های حرارتی و منابع دیگری همچون فعالیت‌های انسان‌ساخت، فعالیت‌های صنعتی و نیروگاه‌ها است.

NO₂ نیز در کلان‌شهرها با مساحت ۹۶۸۲۸۲ کیلومترمربع معادل ۵۹/۰۶ درصد مساحت کل کشور به علت تعداد بالای کارخانه‌ها، وسایل حمل و نقل و غیره روند افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد و تنها ۱/۲۴ درصد از کل منطقه کاهش معنی‌داری را برای NO₂ نشان می‌دهد. خوکار و همکاران (۱۴) با بررسی تغییرات تروپوسفری NO₂ روی پاکستان به این نتیجه رسید که منابع طبیعی نشر این آلاینده مربوط به خاک و آب و هوا می‌باشد و منابع انسان‌ساخت همچون سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌ها و وسایل حمل و نقل می‌باشد. با بررسی آزمون من-کندال Z برای شاخص پوشش گیاهی مشاهده می‌کنیم که تقریباً ۶۲/۸۵ درصد کشور افزایش پوشش گیاهی را نشان می‌دهد که حدود ۱۸/۷۷ درصد آن معنی‌دار بوده است و همچنین ۳۷/۱۳ درصد از منطقه روند کاهشی را نشان می‌دهد که ۱۱/۶۹ درصد آن معنی‌دار بوده است. رابطه همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و آلاینده‌های SO₂ و NO₂ نشان داده شده است که ۴۱/۶۴ درصد از منطقه دارای همبستگی منفی و ۵۸/۳۶ درصد نیز همبستگی مثبت بین NDVI و NO₂ وجود دارد همچنین ۳۸/۹۳ درصد مساحت کشور همبستگی منفی و ۶۱/۰۷ درصد از منطقه نیز همبستگی مثبتی بین NDVI و NO₂

بودن این مناطق، بارندگی نیز کم و به دنبال آن پوشش گیاهی منطقه ضعیف خواهد بود و پوشش گیاهی موجود هم می‌تواند ناشی از آب‌های جاری و رودخانه‌ای باشد. همچنین در مناطق ساحلی خلیج فارس یک همبستگی منفی بین شاخص پوشش گیاهی و آلاینده‌ی NO_2 وجود دارد. با توجه به شکل ۵-الف مشاهده می‌کنید که بارش در این مناطق کاهش یافته و مقدار آلاینده‌ی NO_2 روند افزایشی را داشته است. رضوی ترمه و همکاران (۲۴) به این نتیجه رسیدند که در مناطقی که مقدار بارندگی و پوشش گیاهی کم باشد مقدار آلاینده‌های موجود در هوا از قبیل SO_2 ، NO_2 ، CO و O_3 افزایش یافته است.

وجود دارد. ژئو و همکاران (۳۶) در مطالعه بررسی اثرات آلودگی هوا بر پوشش گیاهی در چین بیان داشتند که اثرات آن در قسمت‌های مختلف چین متفاوت بوده است به طوری که رابطه NDVI و شاخص کیفیت هوا در قسمت‌های شرق، مرکز و جنوب مثبت و بالا بوده این در حالی است که قسمت‌های شمال، شمال شرق و شمال غربی این رابطه ضعیف بوده است. همانطور که مشاهده می‌کنید در مناطق کویری مرکز و شرق کشور یک رابطه همبستگی مثبت بین شاخص پوشش گیاهی و آلاینده‌ی NO_2 وجود دارد، درواقع در این مناطق به علت فعالیت‌های کم صنعتی و و تراکم پایین جمعیت مقدار این آلاینده کم بوده و همچنین به علت کویری

منابع

1. Aristeidis, K., Georgoulis, I., Ronald, J., van der A., Piet Stammes, K., Folkert Boersma Hek, J., Eskes. 2018. Trends and trend reversal detection in two decades of tropospheric NO_2 satellite observations. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/acp-2018-988>.
2. Bruce, G., Miller. 2017. The Effect of Coal Usage on Human Health and the Environment. *Clean Coal Engineering Technology* (Second Edition)
3. Caiwang Zheng, Chuanfeng Zhao, Yanping Li, Xiaolin Wu, Kaiyang Zhang, Jing Gao, Qi Qiao, Yuanzhe Ren, Xi Zhang, and Fahe Chai, 2018, Spatial and temporal distribution of NO_2 and SO_2 in Inner Mongolia urban agglomeration obtained from satellite remote sensing and ground observations, *Atmospheric Environment* 188 (2018) 50–59.
4. Dehshiri, M., Beiki, E. 2015. Investigation of vegetation change (NDVI) and its relationship with rainfall using remote sensing (Case study: Taft city in Yazd province), *Journal of Civil Engineering*.
5. De Jong, R., De Bruin, S., de Wit, A., Schaepman, M. E. and Dent, D. L. 2011. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 115 (2), 692–702.
6. Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H. and Mesbahzadeh, T. 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, 7 (3), 905–915.
7. Fensholt, R. and Rasmussen, K. 2011. Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data. *Remote Sensing of Environment*, 115 (2), 438–451.
8. Gao, Y., Huang, J., Li, S. and Li, S. 2012. Spatial pattern of non-stationarity and scale-dependent relationships between NDVI and climatic factors—a case study in Qinghai-Tibet Plateau, China. *Ecological Indicators*, 20, 170–176.
9. Hayashida, S., Kajini, M., Deushi, M., Thomas, T. (2018). Seasonality of the lower tropospheric ozone over China observed by the Ozone Monitoring Instrument.
10. Hilboll, A., Richter, A. and Burrows, J.P.: Long-term changes of tropospheric NO_2 over megacities derived from multiple satellite instruments, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 4145–4169, <https://doi.org/10.5194/acp-13-4145-2013>, 2013.
11. John, H., Seinfeld, S., Pyros, N., Pandis (2016). *Atmospheric Chemistry*.
12. Kanaya, Y., Irie, H., Takashima, H., Iwabuchi, H., Akimoto, H., Sudo, K., Gu, M., Chong, J., Kim, Y. J., Lee, H., Li, A., Si, F., Xu, J., Xie, P.-H., Liu, W.-Q., Dzhola, A., Postolyakov, O., Ivanov, V., Grechko, E., Terpugova, S., and Panchenko, M.: Long-term MAX-DOAS network observations of NO_2 in Russia and Asia (MADRAS) during the period 2007–2012: instrumentation, elucidation of climatology, and comparisons with OMI satellite observations and global model simulations, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 7909–7927, <https://doi.org/10.5194/acp-14-7909-2014>, 2014.
13. Kendall, M., *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London 1975.
14. Khokhar, M.F., Razaq Khan, Waseem., Javed, Zeeshan., Car Max-DOAS measurements of NO_2 in Toli peer, Azad Jammu & Kashmir- PAKISTAN. 2014. Second Annual Regional Atmospheric Science Workshop
15. Kiyani, S., Siyadat, S. A., Mashayekhi, S. 2015. Evaluation of the effect of dust on the morphology and physiology characteristics of plant growth, International Dust Conference, Ahvaz.

16. Lamchin, M., Park, T., Lee, J. Y. and Lee, W. K. 2015. Monitoring of vegetation dynamics in the Mongolia using MODIS NDVIs and their relationship to rainfall by natural zone. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43 (2), 325-337.
17. Lingaswamy. A.P., Arafath, S.M., Balakrishnaiah. G., Rama Gopal. K., Siva Kumar Reddy. N., Raja Obul Reddy. K., Chakradhar Rao. T. Observations of trace gases, photolysis rate coefficients and model simulations over semi-arid region, India *Atmos. Environ.*, 158 (2017), pp. 246-258, [10.1016/j.atmosenv.2017.03.048](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.048).
18. Luo, L., Ma, W., Zhuang, Y., 2018. The impacts of climate change and human activities on alpine vegetation and permafrost in the Qinghai-Tibet Engineering Corridor. *Ecological Indicators* Volume 93, October 2018, Pages 24-35
19. Mahmoudi P, Firouzi F, Tavosi T. 2018. Investigating the statistical relationship between climatic and hydrological variables with Vegetation Dynamics in a dry climate (Case study: Sistan plain in eastern Iran). *Desert Management*, No. 11, Spring & Summer, 2018, pp 99-111.
20. Mashhadizadeh Maleki, S., Bayat, A. 2016. Time series spectral analysis of nitrogen dioxide in Tehran by measuring OMI sensor. Fifth National Conference on Air and Noise Pollution Management, Razi International Conference Center. (in Persian).
21. Oldman, L.R., 1991. Global Extent of Soil Degradation. *ISRIC Bi-Annual Report 1991-1992*, pp. 19-36.
22. Pepijn, J., Johan, F., Ellen, J., Brinksmä, Mark, k., Pieterneel F., 2006, Total Ozone From the Ozone Monitoring Instrument (OMI) Using the DOAS Technique, *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol.44, NO.5. May 2006.
23. Rabbia, M., Khokhar, M.F., Asma Noreen, Salman Atif, Khalid Rehman Hakeem, 2018, Multi-sensor temporal assessment of tropospheric nitrogen dioxide column densities over Pakistan, *Environmental Science and Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1176-7>.
24. Razavi-Termeh, Seyed V., Abolghasem Sadeghi-Niaraki, and Soo-Mi Choi. 2021. Spatial Modeling of Asthma-Prone Areas Using Remote Sensing and Ensemble Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing* 13, no. 16: 3222. <https://doi.org/10.3390/rs13163222>
25. Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63 (324), 1379-1389.
26. Seinfeld, J., and Pandis, H., 2008. *Atmospheric Chemistry and Physics* (2006): From Air Pollution to Climate Change. 2nd Edn. 2006. John Wiley & Sons. Hoboken. New Jersey
27. Shreipour, Z., Aliakbari Bidokhti, A. 2013. Investigation of the status of Tropospheric NO_2 in Iran during the years 2004 to 2012. *Journal of Ecology*. 65-78. (in Persian).
28. Song, C., Wu, L. 2017. Air pollution in China: Status and spatiotemporal variations *Environmental Pollution*
29. Symeonakis E, Koukoulas S. 2003. A land use change and land degradation study in Spain and Greece using remote sensing and GIS.
30. Thompson, M., Gamage, D., Hirotsu, N. 2017. Effects of Elevated Carbon Dioxide on Photosynthesis and Carbon Partitioning: A Perspective on Root Sugar Sensing and Crosstalk. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00578>
31. Zhou, M., Huang, Y. and Li, G. (2021). Changes in the concentration of air pollutants before and after the COVID-19 blockade period and their correlation with vegetation coverage. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 23405-23419.
32. Zehzad B, Bahram H, Kiabi, Madjnoonian H. 2002. The natural areas and landscape of Iran: an overview, *Zoology in the Middle East*, 26:1, 7-10



Investigation of the relationship between air pollutant concentrations with vegetation index (NDVI)

Ali Soleymani Damaneh¹, Abbasali Aliakbar Bidokhti², Abolhassan Gheiby^{3*}, Hossein Malakooti⁴, Hadi Eskandari Damaneh⁵

Received: 2022-11-20 / Accepted: 2022-12-09 / Published: 2025-03-10

Abstract

Sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂) are the most important air pollutants that have reduced world air quality. The sources of these pollutants are mainly man-made activities such as transportation, industry and other industrial applications, which due to the increase in these activities in developing countries,. In this study, we use the SO₂ and NO₂ column concentration data, which are collected by Ozone Monitoring Instrument (OMI) during the 14 years (2005-2018). By examining the vertical column concentration of SO₂ and NO₂ and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) during the

Ali Soleymani Damaneh¹, Abbasali Aliakbar Bidokhti², Abolhassan Gheiby³(✉), Hossein Malakooti⁴, Hadi Eskandari Damaneh⁵

1-PhD. Student of Meteorology, Faculty of Marine Science and Technology, university of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2-Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abass, Iran

3-Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, university of Tehran, Iran

4-Associate Professor, Faculty of Marine Science and Technology, university of Hormozgan, Iran

5-PhD. Desertification, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran

14-year period (2005-2008) over Iran using Mann-Kendall Test and Theil-Sen estimator. We were able to estimate the increase or decrease trends of the growth of these quantities which seem also to have a positive or negative correlation with each other in certain areas. For example, metropolises as well as industrial areas had a significant upward trend, while some areas also had a decreasing trend during these 14 years. Among all of the study area, Tehran metropolis had the highest trend increase during these 14 years, so that every year we witness an ever increasing value of these pollutions. Examining the correlation of these pollutants with vegetation index, we found that in 61.07% of Iran, there is a positive correlation between vegetation index and gas concentration NO₂ and 38.93% shows a negative correlation in certain areas. For SO₂ pollutant, it shows 58.36% positive correlation with vegetation index and 41.64% negative correlation in some areas. . This indicate that other factors are also involved as precipitation changes in different areas of Iran. In the desert areas of the center and east of the country, there is a positive correlation between vegetation index and NO₂ pollutants. Rainfall is also low and consequently the vegetation of the area will be poor.

DOI: 10.30495/girs.2022.691680

e-mail: abolhassang@hormozgan.ac.ir

With the advancement of technology and industry, the issue of air pollution is one of the serious problems in the world today that can upset the ecological balance. Increased air pollutants, both directly (toxicity) and indirectly by soil change can have negative effects on plants. The main human sources of air pollution include: industry and conventional energy (oil, coal and wood), agriculture, road transport and urbanization. The most important gaseous pollutants are sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂). Sulfur dioxide (SO₂) is the most important and common air pollutant that is produced in large quantities in the combustion of coal and other fuels for industrial and domestic use and is the main component of acid rain. Sulfide is also produced during ore smelting. The next most important and effective pollutant is nitrogen dioxide (NO₂), which reacts rapidly with other air pollutants, penetrates the lungs, and impairs lung function. The purpose of this study is to investigate the vertical column concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide pollutants and to analyze the trend of these pollutants in the period 2005 to 2018 and also the impact of these pollutants on vegetation index in the study area. Due to the fact that pollutants move to high altitudes along with atmospheric currents, and due to the lack of a device that can measure the concentration of pollutants from the ground to reduce the amount of error, we used satellite data and to calculate the concentration of pollutants more accurately. Vertical Column Density NO₂ and Vertical Column Density to the Boundary Layer were used for SO₂ pollution by Ozone Monitoring Index. The sensor, mounted on the AURA orbiting satellite, measures the sun's scattered radiation in the spectral range (270-500) nanometers, which has a spectral resolution of 0.5 nanometers. These data are in fact an estimate of the number of NO₂ molecules in a cross-sectional area of the atmosphere from the ground to the Wordspehr peak, which is 200 hPa, prepared in terms of 2 molecules / cm (<http://www.temis.nl/airpollution/no2.html>). In this study, monthly satellite data with spatial breakdown. 0.125 * 0.125 degrees was used for NO₂ and 0.25 degrees for SO₂ in the 14-year period from 2005 to 2018. In order to study the vegetation in this research, the images of the monthly production of the NDVI vegetation index of Terra satellite, MOD13A2 sensor in the

considered time period and with a spatial resolution of 0.125 degrees have been used. Using Mann - Kendall Z statistical methods and age estimation slope, the correlation of vertical column concentration of these pollutants and vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index) in a 14-year period (2005-2008) on Iran has been studied. The results show that during these 14 years, the concentration of these pollutants in metropolitan areas as well as industrial cities has increased significantly, while in some of these areas there has been a decreasing trend. The metropolis of Tehran has had the highest upward slope during these 14 years, so that every year we see a lot of pollution in the city of Tehran. The trend of changes in SO₂ concentration with a positive slope of 0.0013 and an explanation coefficient of 0.5 and also the trend of changes in NO₂ concentration with a positive slope of 0.0013 and an explanation coefficient of 0.74 is increasing. Also, the trend of average changes in NDVI index with a positive slope of 0.0006 with an explanation coefficient of 0.26 has been increasing. Explanation coefficient above 0.5 shows positive and increasing trend and explanation coefficient below 0.5 shows negative and decreasing trend. Mann-Kendall Z test for SO₂ shows that in metropolises and cities where there are refineries, oil furnaces and power plants, the trend is increasing. There is a significance for this pollutant, which has an area of about 144531 square kilometers. For sulfur dioxide pollutant, 58.36% shows a positive correlation with vegetation index and 41.64% shows a negative correlation. This means that pollutants alone can not increase or decrease vegetation in the area, but can have a small effect on vegetation change. In the desert regions of the center and east of the country, there is a positive correlation between vegetation index and nitrogen dioxide pollutants. Also, in the coastal areas of the Persian Gulf, there is a negative correlation between vegetation index and nitrogen dioxide pollutants, so that rainfall in these areas was decreasing, but the amount of nitrogen dioxide pollutants was increasing. NO₂ in metropolitan areas with an area of 968282 square kilometers, equivalent to 59.06% of the total area of the country due to the high number of factories, transportation, etc. shows a significant increase and only 1.24% of the total area shows a significant decrease for NO₂. Khokhar et al. by examining the

tropospheric changes of NO₂ in Pakistan concluded that the natural sources of emissions of this pollutant are related to soil and climate and man-made sources such as fossil fuels, power plants and means of transport, by examining my test - We see Kendall Z for vegetation index that approximately 62.85% of the country shows an increase in vegetation, of which about 18.77% was significant and also 37.13% of the region shows a decreasing trend, of which 11.69%. Has been meaningful. The correlation between vegetation index and SO₂ and NO₂ pollutants has been shown that 41.67% of the region has a negative correlation and 58.36% has a positive correlation between NDVI and NO₂. Also 38.93% of the country has a negative correlation and 07 61% of

the area also has a positive correlation between NDVI and NO₂. As you can see, in the desert areas of the center and east of the country, there is a positive correlation between vegetation index and NO₂ pollutants. In fact, in these areas, due to low industrial activities and low population density, the amount of this pollutant is low and also due to desert The presence of these areas, low rainfall and consequently the vegetation of the area will be poor and the existing vegetation can be due to running water and rivers. There is also a negative correlation between vegetation index and NO₂ pollution in the coastal areas of the Persian Gulf. According to Figure 5-a, you can see that the rainfall in these areas has been decreasing, but the amount of NO₂ pollution has been increasing.

Please cite this article as: Soleymani Damaneh, Ali, Gheiby, Abolhassan, Aliakbari Bidokhti, Abbasali, Malakooti, Hossein, Eskandari Damaneh, Hadi. (2025). Investigation of the relationship between air pollutant concentrations with vegetation index (NDVI). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 16(2): 88-105.