

مقاله علمی-پژوهشی

## ارزیابی تأثیر $PM_{10}$ بر تغییرات NDVI بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای در استان خوزستان

مجتبی گلدانی<sup>۱</sup>، روزبه شاد<sup>۲\*</sup>، شهناز دانش<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

### چکیده

امروزه میزان آلودگی هوا به سمتی رفته که علاوه بر تهدید سلامت انسان، سلامت گیاهان را نیز به مخاطره انداخته و سالانه خسارات هنگفتی به اقتصاد کشورها وارد کرده است. در این تحقیق، استان خوزستان به‌عنوان منطقه‌ای که در سالیان اخیر تحت تأثیر ریزگردها بوده و همچنین دارای پوشش گیاهی غنی و متنوعی است، مورد مطالعه انتخاب گردید. با استفاده از داده‌های کیفیت هوا ( $PM_{10}$ ) از سازمان محیط‌زیست و تصاویر NDVI از ماهواره لندست به بررسی تأثیر ریزگرد بر پوشش‌های گیاهی پرداخته شد. برای این منظور  $PM_{10}$  در بازه فصلی میانگین‌گیری و NDVI به‌صورت تفاضلی در طول یک فصل محاسبه گردید. نقشه کاربری‌های به‌روز شده خوزستان با استفاده از تصویر پردازش شده ماهواره لندست در کنار نقشه کاربری اراضی استان خوزستان و مدل طبقه‌بندی نظارت شده تولید و کاربری‌های پوشش گیاهی (کشاورزی، نیزار، مرتع و جنگل) جدا شدند. سپس، تمامی مجموعه داده‌ها بر مبنای کاربری‌های پوشش گیاهی جداسازی شدند و در نهایت ضریب همبستگی پیرسون بین  $PM_{10}$  و NDVI در هر یک از کاربری‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که از نظر مکانی به ترتیب کاربری‌های نیزار و کشاورزی بیشترین مقادیر ضریب همبستگی بین میانگین غلظت فصلی  $PM_{10}$  و تغییرات پوشش گیاهی در یک فصل (dNDVI) را داشتند و از نظر زمانی در فصل تابستان بیشترین مقادیر ضریب همبستگی در طول سال ثبت گردید.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات پوشش گیاهی، ریزگرد، طبقه‌بندی نظارت شده، ضریب همبستگی پیرسون، لندست

### مقدمه

(2019). از مهم‌ترین این آلاینده‌ها ذرات معلق ( $PM_{10}$ ) هستند (Liao et al., 2020). در سالیان گذشته در کنار منابع طبیعی تولید کننده ذرات معلق (طوفان‌های گرد و غبار، آتشفشان‌ها و آتش‌سوزی‌ها)، انسان نیز با سوزاندن سوخت‌های فسیلی در بخش‌های مختلف بر انتشار این ذرات افزوده است. ذرات معلق که از نظر قطر ذره و ترکیب شیمیایی متنوع هستند، تأثیرات متفاوتی بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارند؛ افزایش غلظت ذرات  $PM_{10}$  (ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون) علاوه بر تهدید سلامت انسان، تأثیر منفی بر حاصلخیزی خاک، چرخه غذایی، منابع آبی و همچنین عملکرد گیاهان دارد (Liao et al., 2020; Singer et al., 2003).

پدیده گرد و غبار از دو جهت بر عملکرد گیاه تأثیرگذار است؛ از یک طرف با سایه‌اندازی بر گیاه رسیدن انرژی تابشی خورشید به گیاه را محدود می‌کند که منجر به اختلال در فرایند فتوسنتز، بروز تنش در گیاه و در پی آن زرد شدن و تسریع در ریزش برگ‌ها می‌شود (Engelstaedter et al., 2006; Onder and Dursun, 2006).

امروزه آلودگی هوا به یکی از مهم‌ترین مخاطرات زیست محیطی تبدیل شده است (Huang and Kuo, 2018). رشد جمعیت شهرنشین، توسعه صنعت، افزایش ترافیک و عدم برنامه‌ریزی مناسب در زمینه کنترل منابع آلودگی هوا از جمله عواملی هستند که منجر به افزایش انتشار آلاینده‌ها و تشدید این مشکل شده است. در خاورمیانه و مناطق شمالی آفریقا ذرات گرد و غبار و طوفان‌ها سالانه بیش از ۱۵۰ میلیارد دلار خسارت وارد کرده و بیش از ۲/۵ درصد از تولید ناخالص داخلی کشورهای این مناطق را کاهش داده است (Bank, )

۱- کارشناس ارشد رشته عمران و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه

مهندسی عمران، مشهد

۲- عضو هیئت علمی گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،

مشهد

۳- عضو هیئت علمی گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،

مشهد

(Email: r.shad@um.ac.ir)

(\* نویسنده مسئول)

۱۴۰۳). بیات و همکاران در سال ۱۳۹۵ نیز با استفاده از داده‌های گرد و غبار در کنار تصاویر MODIS<sup>۴</sup> از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ نشان دادند مجموع غلظت سالیانه ریزگردها و شاخص NDVI ضریب تبیین ۰/۸۵ داشته‌اند.

نوآوری این پژوهش در به‌کارگیری تصویر ماهواره لندست<sup>۵</sup> برای تفکیک کاربری‌های پوشش گیاهی و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و غلظت PM<sub>۱۰</sub> در هر یک از انواع پوشش گیاهی در استان خوزستان است. برای این منظور با استفاده از مدل طبقه‌بندی نظارت شده<sup>۶</sup> و تصویر لندست کاربری‌های تفکیک شدند. از آنجا که تغییرات پوشش گیاهی (رشد یا تخریب) در یک بازه فصلی به واضح‌تر نمود دارد بهتر تمامی مجموعه داده‌ها در این بازه زمانی محاسبه شدند و در نهایت در هر کلاس مربوط به پوشش گیاهی ضریب همبستگی بین تغییرات NDVI و غلظت PM<sub>۱۰</sub> محاسبه گردید. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که همبستگی این دو شاخص در استان خوزستان و در کاربری‌های مربوط به پوشش گیاهی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۲۳۴ کیلومتر مربع ۴ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است و به‌عنوان وسیع‌ترین استان در نیمه غربی کشور شناخته شده است. همانطور که در شکل ۱ مشخص است، این استان بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی در جنوب غربی ایران واقع شده است (شاهسونی و همکاران، ۱۳۹۱).

این استان با جمعیتی معادل ۵۰۹۷۰۱۴ نفر پنجمین استان پرجمعیت ایران محسوب می‌شود و از نظر پستی و بلندی به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم شده است؛ منطقه کوهستانی در شمال و شرق استان قرار گرفته و منطقه جلگه‌ای از جنوب دزفول، مسجدسلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده و تا کرانه‌های خلیج فارس و اروندرود ادامه دارد. خوزستان با اقلیم آب‌وهوایی گرم و خشک معتدل، به‌عنوان یکی از مناطق گرمسیری ایران شناخته شده و تابستان‌ها بسیار گرم و خشک و زمستان‌ها نیز معمولاً ملایم تا گرم و خشک است.

طرف دیگر، در سطح گیاه روزنه‌هایی وجود دارد که وظیفه تبادل گاز اکسیژن و دی‌اکسید کربن و همچنین دریافت تابش خورشیدی را بر عهده دارد (Naidoo and Chirkoot, 2004). گیاه به‌عنوان یک مکانیزم دفاعی در مواجهه با آلودگی هوا اقدام به بستن این روزنه‌ها می‌کند که باعث کاهش جذب دی‌اکسید کربن شده و نرخ تثبیت کربن در گیاه می‌شود. این امر در نهایت باعث کاهش میزان فتوسنتز و ماده خشک در گیاه می‌شود (Naidoo and Chirkoot, 2004; Seyyednejad et al., 2011).

ایستگاه‌های سنجش سازمان حفاظت محیط زیست<sup>۱</sup> وظیفه پایش کیفیت هوا دارند و PM<sub>۱۰</sub> یکی از آلاینده‌های موثر در محاسبه شاخص AQI<sup>۲</sup> است که توسط این سازمان به صورت ساعتی برداشت می‌شود (محمدحسینی و همکاران، ۱۴۰۲؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شاهسونی و همکاران، ۱۳۹۱). عطاقر و همکاران با بررسی روند تغییرات غلظت PM<sub>۱۰</sub> در کرمانشاه از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۱ متوجه شدند که تغییرات در دوبازه زمانی ماهانه و فصلی متفاوت هستند. به‌طوریکه بیشترین غلظت در فصل تابستان و در ماه تیر رخ داده است (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای دیگر، الماسی و همکاران در سال ۱۳۹۳، در یک دوره چهارساله از سال ۱۳۹۷ غلظت ذرات PM<sub>۱۰</sub> را در کرمانشاه بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که کیفیت هوا در فصل تابستان از نظر غلظت PM<sub>۱۰</sub> پایین‌تر از سایر فصول بوده و گزارش کردند که علت آن تواتر و شدت ورود ریزگرد در این بازه زمانی بوده است. مطالعاتی دیگری از وجود منطقه مستعد گرد و غبار در غرب ایران خبر می‌دهند (Boloorani et al., 2014) و در این زمینه شاهسونی و همکاران ۱۳۹۱، با بررسی روزهای پر گرد و غبار از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۷ نشان دادند که در استان خوزستان غلظت ذرات در روزهای پر گرد و غبار و عادی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

پوشش گیاهی به مرور زمان تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی تغییر کرده و عملکرد اکوسیستم را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (Pettorelli et al., 2005). پایش تغییرات پوشش گیاهی نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست دارد و داده‌های ماهواره‌ای امکان ویژه‌ای برای مطالعه آن در گستره زمانی و مکانی فراهم می‌کند (Nateghi et al., 2017). NDVI<sup>۳</sup> پرکاربردترین شاخص در مطالعات ارزیابی پوشش گیاهی است (KHORRAM, 1985). خدائی وزندی در سال ۱۴۰۲ در یک دوره ۲۲ ساله از سال ۲۰۰۰ به بررسی تغییرات شاخص NDVI در شهرستان خداآفرین و کلیبر پرداختند و نشان دادند ۵۸۱۹۶ هکتار (۱۵/۶ درصد) از پوشش گیاهی انبوه منطقه تخریب یا از بین رفته است (خدائی و وزندی،

4- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

5- LANDSAT

6- Supervised Classification

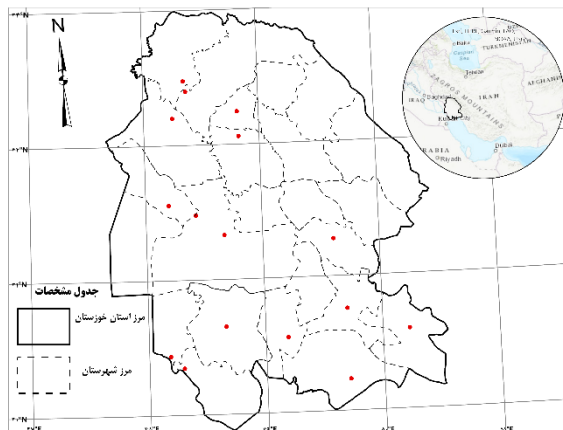
1- [www.doe.ir](http://www.doe.ir)

2- Air Quality Index

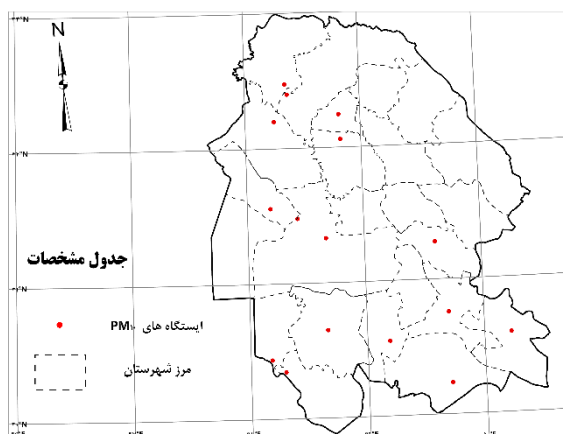
3- Normalized Difference Vegetation Index

ایستگاه‌های زمینی پایش کیفیت هوا و توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست از ابتدای ۱۳۹۷ تا انتهای ۱۳۹۹ و به صورت ساعتی جمع‌آوری گردیدند.

در این تحقیق، از داده‌های  $PM_{10}$  استفاده شده که از



شکل ۱- نقشه محل قرارگیری استان خوزستان



شکل ۲- نقشه پراکندگی ایستگاه‌های  $PM_{10}$

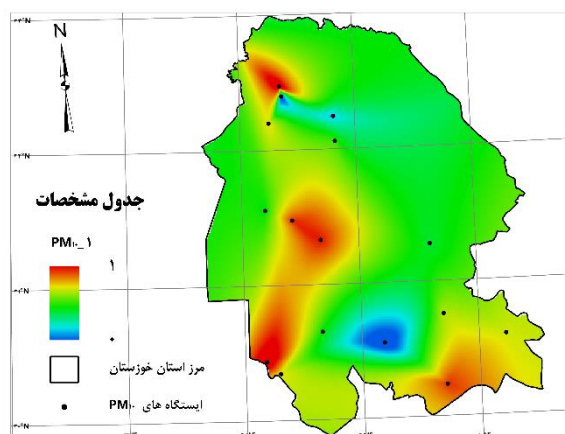
وزن نامعلوم برای مقدار اندازه‌گیری شده در مکان  $i$  ام،  $S_0$ : مکان نقطه مجهول،  $S_i$ : مکان نقطه معلوم  $N$ : تعداد ایستگاه‌های پایش  $PM_{10}$ .

در این فرمول مقدار  $\lambda_i$  از حل سیستم معادلات خطی حاصل از واریوگرام (یا کوواریانس) به دست می‌آیند. در این پژوهش ارتباط بین غلظت  $PM_{10}$  و تغییرات پوشش گیاهی در بازه‌های فصلی در طول دوره مورد بررسی قرار گرفت. براین اساس غلظت ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون در بازه سه ماهه میانگین‌گیری شدند.

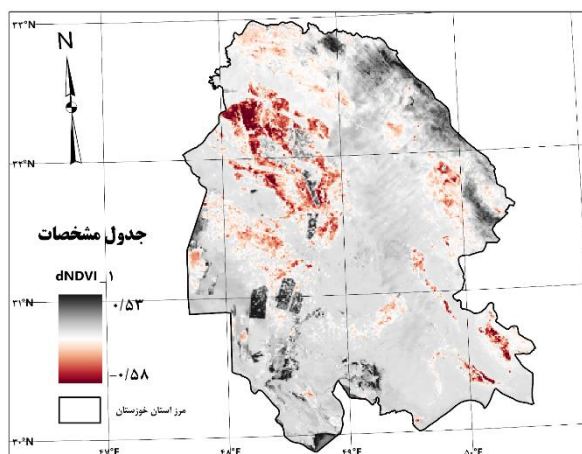
تعداد ۱۶ ایستگاه در استان خوزستان برای پایش  $PM_{10}$  در دوره مطالعه بررسی فعال بودند که از نظر پراکندگی و محل استقرار در شکل ۲ نشان داده شدند. لازم است تا داده‌های نقطه‌ای مربوط به کیفیت هوا ( $PM_{10}$ ) در سطح استان خوزستان پهنه‌بندی شوند. در این پژوهش پهنه‌بندی به روش کرجینگ معمولی<sup>۱</sup> انجام گردید. در این روش نقاط مجهول بر اساس فاصله از نقاط معلوم و مطابق رابطه ۱ وزن‌دهی و محاسبه شدند.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

$Z(s_i)$ : مقدار اندازه‌گیری شده  $PM_{10}$  برای مکان  $i$  ام،  $\lambda_i$ :



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی شده  $PM_{10}$  به همراه محل قرارگیری ایستگاه‌های آن برای اولین فصل



شکل ۴- تصویر dNDVI برای فصل اول در استان خوزستان

## NDVI

شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی یا به اختصار  $NDVI^1$ ، یک شاخص کاربرد در حوزه سنجش از دور و تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای است که برای ارزیابی سلامتی، چگونگی تراکم و رشد گیاهی در یک منطقه به کار می‌رود (شگرخدائی و همکاران، ۱۴۰۲).  $NDVI$  از بازتاب نور مرئی و نزدیک فروسرخ توسط گیاهان مشتق می‌شود و می‌تواند نشان‌دهنده تراکم گیاهی، سلامت گیاهان و تغییرات در پوشش زمین باشد برای این منظور از محصول ماهواره لندست با نام  $LANDSAT/LC08/C01/T1\_ADAY\_NDVI$  استفاده شد.

مشابه  $PM_{10}$  برای این مجموعه داده نیز بازه فصلی در نظر گرفته شد. براین اساس، غلظت ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون در بازه‌های فصلی میانگین‌گیری شد.

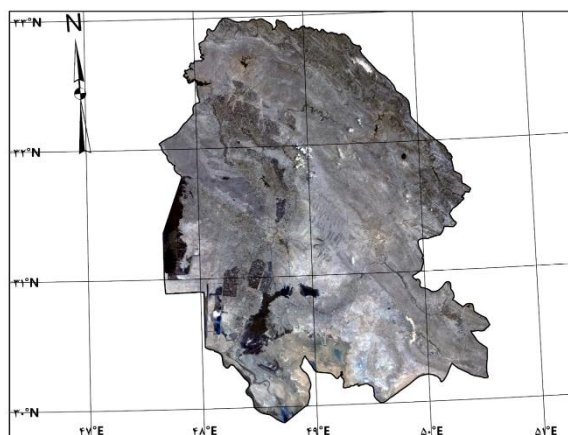
در شکل ۳ مشاهده می‌شود، اگر در بازه بین صفر و +۱ باشد، نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی و بازه بین صفر و -۱ نشان‌دهنده کاهش شاخص پوشش گیاهی بوده است. اما از آنجا که در این تحقیق مقصود صرفاً بررسی تغییرات پوشش گیاهی، بدون در نظر گرفتن کاهشی یا افزایشی بودن آن است، از مقدار قدر مطلق شاخص محاسبه شده در پردازش‌های بعدی استفاده گردید. تولید نقشه انواع پوشش گیاهی در استان به دو داده نیاز داشت؛ تصویر پردازش شده از نظر اتمسفری و نقشه توصیفی انواع پوشش گیاهی در استان خوزستان. نقشه توصیفی کاربری‌های اراضی از سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان<sup>۲</sup> گرفته شد. سپس، کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف گیاهی در ۱۰ کلاس مطابق جدول ۱ تعیین شدند.

لندست، مجموعه تصویر پردازش شده از نظر اتمسفری، برای سال ۲۰۱۹ به صورت میانگیری شده دانلود گردید که در شکل ۵ قابل مشاهده است.

در میان کاربری‌های جدول ۱ چهار کاربری نیزار، جنگل، کشاورزی و مرتع مربوط به پوشش گیاهی بوده و در این تحقیق مورد نظر هستند. محصول LANDSAT/LC۰۸/C۰۲/T۱\_L۲ از ماهواره

جدول ۱- کلاس‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی اراضی استان خوزستان

شماره کلاس	نام کلاس
۰	آب
۱	جنگل
۲	کشاورزی
۳	نیزار
۴	بدون پوشش
۵	شوره‌زار
۶	شنزار
۷	صخره
۸	شهر
۹	مرتع



شکل ۵- تصویر پردازش شده لندست در سال ۱۴۰۰ برای استفاده در طبقه‌بندی کاربری اراضی

مقدار ۰ و ۱ استانداردسازی می‌شوند. برای انجام این عملیات از ابزار rescale by function (esri, 2020) در نرم‌افزار arc Pro استفاده شده است. از طرفی لازم است که هر دو مجموعه داده از دقت مکانی یکسانی برخوردار باشند. به این ترتیب، دقت مکانی ۱۰۰۰ متر برای تمام مجموعه عکس‌ها انتخاب و اعمال شد تا علاوه بر یکسان شدن اندازه هر سلول، در تسهیل محاسبات بعدی موثر باشد.

### روش

به منظور تفکیک کاربری‌های مربوط به پوشش گیاهی لازم است تا بر اساس آخرین تغییرات سطح زمین، استان خوزستان طبقه‌بندی شود. این کار با استفاده از تصویر پردازش شده لندست که در بخش داده‌ها معرفی شد و مدل طبقه‌بندی نظارت شده انجام می‌شود.

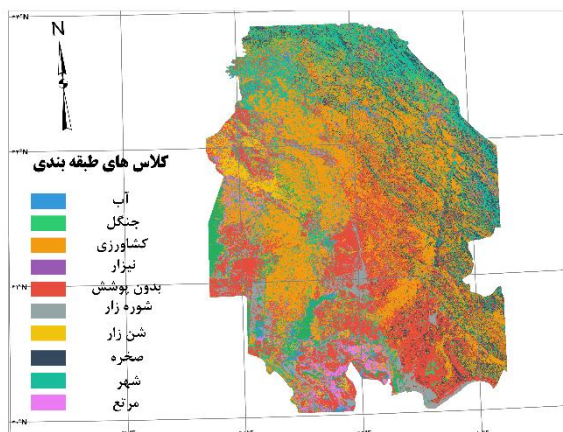
از آنجاکه واحدهای دو متغیر و  $dNDVI$  یکسان نیستند لازم است تا با فرایند استانداردسازی هر دو مجموعه داده بدون بُعد و در بازه صفر تا یک قرار بگیرند. برای این منظور استانداردسازی<sup>۱</sup> با استفاده از روش تبدیل Min-Max مطابق رابطه ۲ استفاده شد:

$$X_{new} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

که در این رابطه:

$X$ : مقدار اصلی،  $X_{min}$ : مقدار کمینه،  $X_{max}$ : مقدار بیشینه، این کار باعث می‌شود که تمام داده‌ها در یک بازه نرمال شوند و در واقع بدون بُعد شوند. تمامی مجموعه داده‌ها بر همین اساس بین

1 Standardization



شکل ۶- عکس طبقه‌بندی شده با الگوریتم کارت در ۱۰ کلاس

جدول ۲- جدول بهم‌ریختگی

	مقادیر مشاهداتی	
	مثبت (۱)	منفی (۰)
مقادیر پیش‌بینی شده	TP	FP
	FN	TN

برای اجرای این روش در طبقه‌بندی انجام شده برای هر کلاس تعدادی پیکسل به‌عنوان تست انتخاب شده تا ماتریس درهم‌ریختگی وارد شود. سپس مطابق رابطه ۳، تعداد پیکسل‌های درست تشخیص داده شده بر کل پیکسل‌ها تقسیم شده و دقت طبقه‌بندی می‌شود. در نهایت دقت مدل ۰/۷۱ شد که بر اساس یافته‌های لندیس و کخ<sup>۴</sup> دقت خوبی محسوب می‌شود (Landis and Koch, 1977).

در مرحله بعدی برای بهبود خروجی مدل آمار مکانی<sup>۵</sup> این امکان را فراهم می‌سازد تا پیکسل‌های مجاور یک کلاس به یکدیگر متصل شوند و یک تصویر بدون انقطاع ارائه شود. در مرحله بعد پلیگون‌های مربوط به پوشش گیاهی جدا شده و مجموعه داده بر اساس این فیلتر گردیدند.

ضریب همبستگی پیرسون یک اندازه‌گیری آماری است که میزان رابطه خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. این ضریب از ۱- تا ۱ متغیر است و نشان می‌دهد که دو متغیر چقدر با یکدیگر همبستگی دارند.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

در این پژوهش از مدل طبقه‌بندی CART<sup>۱</sup> در محیط سامانه گوگل ارث انجین<sup>۲</sup> استفاده گردید و خروجی آن در شکل ۶ قابل مشاهده است.

برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی انجام شده، از ماتریس درهم‌ریختگی<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. این ماتریس یک ابزار کاربردی و بنیادی در یادگیری ماشین و آمار است که به طور ویژه عملکرد الگوریتم طبقه‌بندی را بررسی می‌کند.

در این ماتریس:

TP: تعداد پیکسل‌هایی که مدل به‌درستی در کلاس موردنظر تشخیص داده است.

TN: تعداد پیکسل‌هایی که به‌درستی به یک کلاس اختصاص نیافته‌اند.

FP: تعداد پیکسل‌هایی که مدل به اشتباه در یک کلاس خاص طبقه‌بندی کرده است.

FN: تعداد پیکسل‌هایی که با پیش‌بینی نادرست به یک کلاس خاص تخصیص داده شده‌اند.

به این ترتیب دقت در این مدل به صورت زیر حساب می‌شود:

$$accuracy = \frac{TP}{TP+FP+FN+TN} \quad (3)$$

1- Classification and Regression Trees

2- Google Earth Engine

3- Confusion Matrix

4- Landis & Koch

5- Focal Statistics

عدم وجود همبستگی بین متغیرها است. به عبارت دیگر، هر چه مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد ارزش بالاتری در این تحقیق دارد.

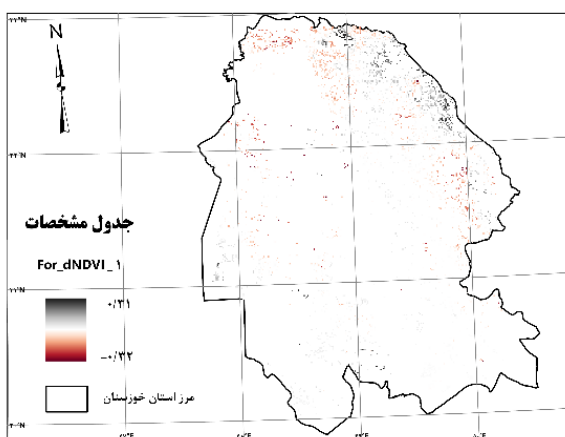
### نتایج و بحث

محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای  $PM_{10}$  و dNDVI در جدول ۲ نشان می‌دهد که تفکیک کاربری‌های کشاورزی از سایر کاربری‌ها موجب معنادارتر شدن مقادیر همبستگی شده است و مقایسه قسمت الف و ب از جدول ۲ این موضوع را نشان می‌دهد. به منظور بررسی دقیق‌تر بهتر است نتایج از دو منظر مکانی و زمانی نگاه شود.

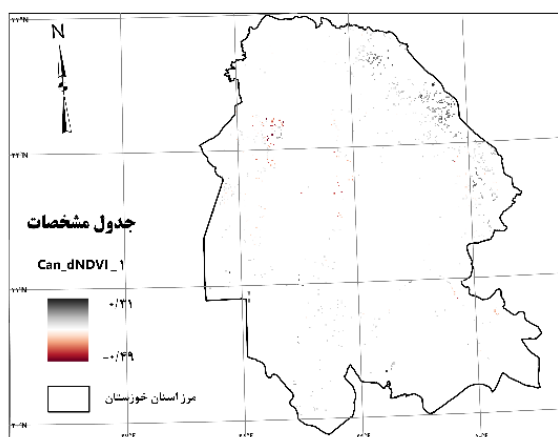
در این فرمول:

$r$  = ضریب همبستگی،  $x_i$  = مقدار متغیر  $x$ ،  $y_i$  = مقدار متغیر  $y$ ،  $\bar{x}$  = مقدار میانگین مقادیر  $x$ ،  $\bar{y}$  = مقدار میانگین مقادیر  $y$

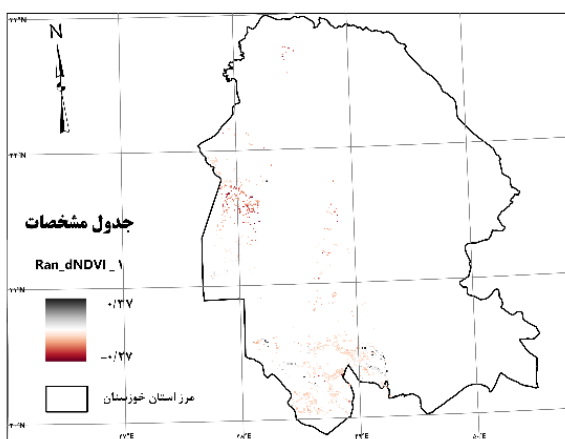
در رابطه ۴،  $x$  و  $y$  به ترتیب  $PM_{10}$  و dNDVI بوده و  $i$  مقدار این متغیرها در هر پیکسل از تصویر و  $r$  مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای هر تصویر رستر است. در این صورت، اگر عدد پیرسون +۱ باشد به معنای وجود همبستگی خطی مثبت بین دو متغیر است. یعنی افزایش در یکی موجب افزایش در دیگری به همان نسبت می‌شود. اگر عدد پیرسون -۱ باشد به معنای وجود همبستگی خطی منفی بین دو متغیر بوده با این توضیح که افزایش در یکی موجب کاهش در دیگری می‌شود. در نهایت، اگر مقدار آن صفر باشد، به معنی



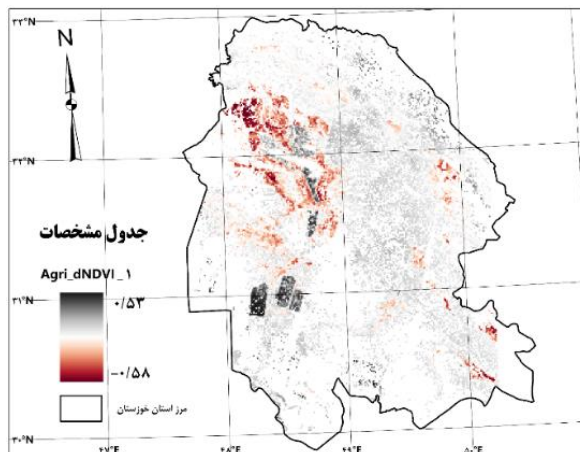
(ب)



(الف)

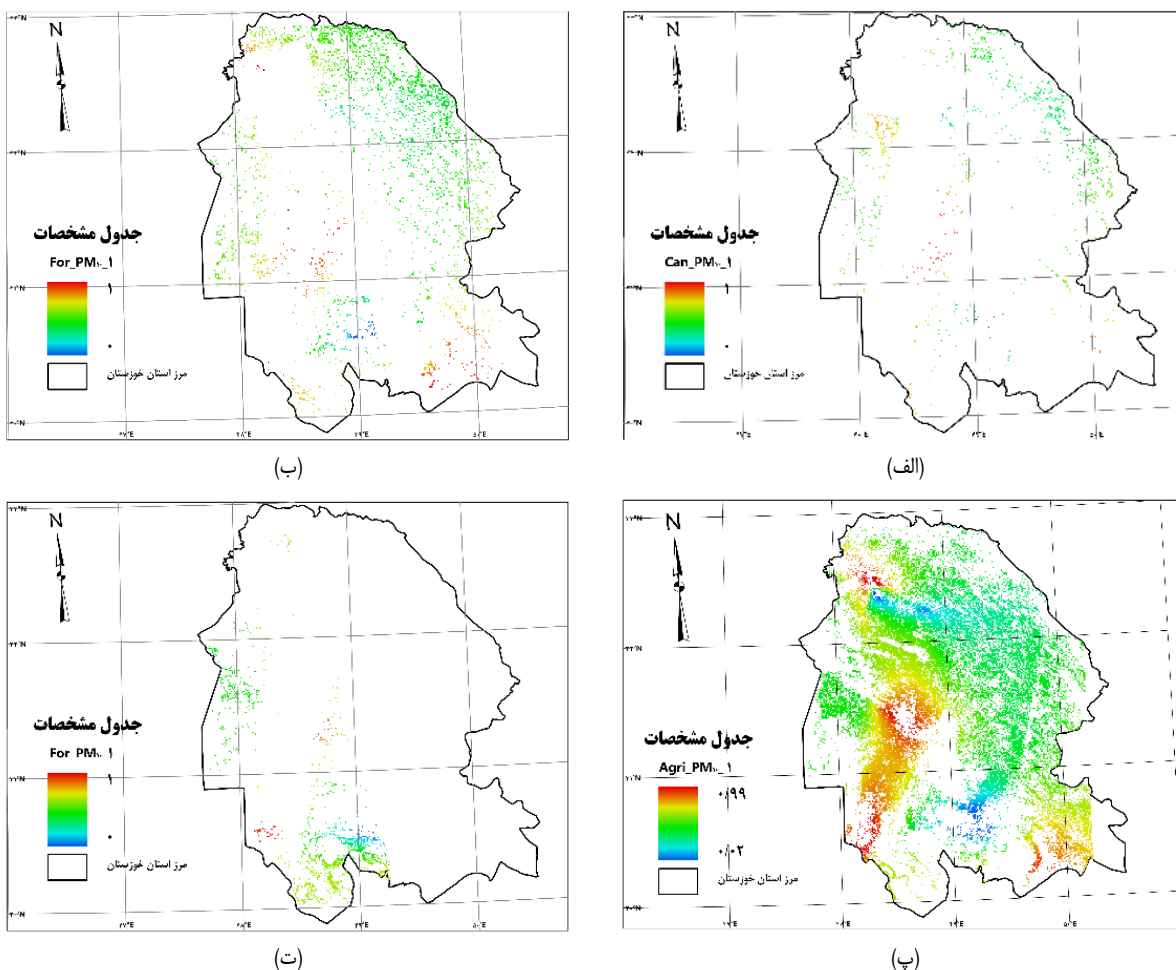


(ت)



(پ)

شکل ۷- مجموعه داده نهایی dNDVI در فصل اول بر اساس کاربری‌های (الف) نیزار، (ب) جنگل، (پ) کشاورزی و (ت) مرتع در استان خوزستان

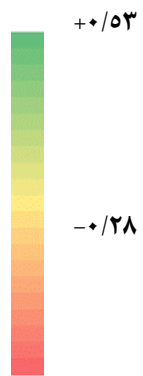


شکل ۸- مجموعه داده نهایی PM<sub>۱۰</sub> در فصل اول بر اساس کاربری های (الف)نیزار، (ب)جنگل، (پ)کشاورزی و (ت)مرتع در استان خوزستان

جدول ۱- مقایسه تفکیک کاربری اراضی در مقدار همبستگی دو متغیر dNDVI و PM<sub>۱۰</sub>. (الف)ضرایب همبستگی بر اساس کاربری های پوشش

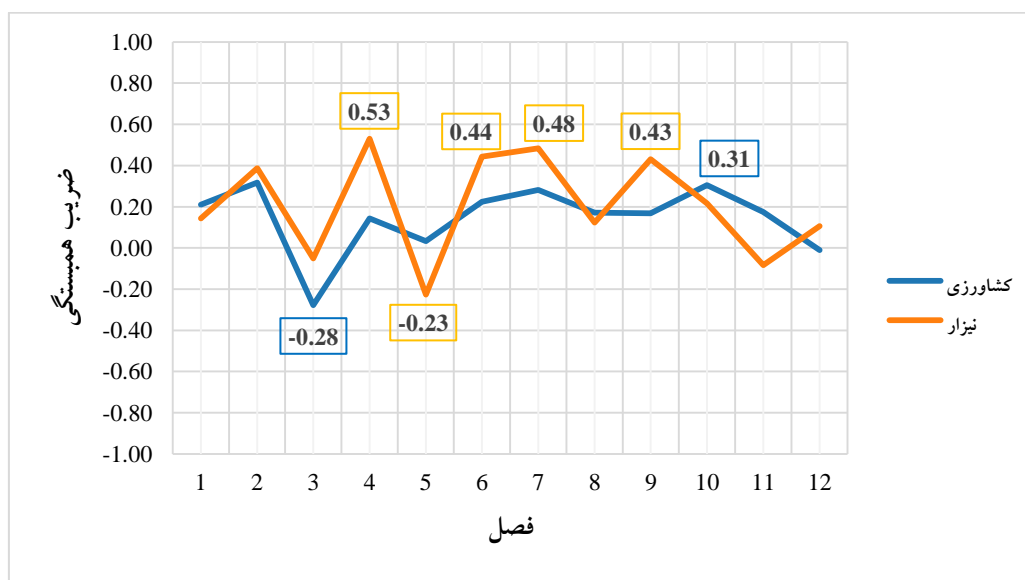
گیاهی، (ب) ضرایب همبستگی بدون تفکیک کاربری استان خوزستان

شماره	کشاورزی	نیزار	مرتع	جنگل	ب) ضرایب همبستگی بدون تفکیک کاربری استان خوزستان		
					dNDVI	r	PM <sub>۱۰</sub>
۷۵۸۱	۱	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۹	۱_۱.PM	بهار
	۲	۰/۳۲	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۱۷	۲_۱۰.PM	تابستان
	۳	۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۹	۳_۱.PM	پاییز
	۴	۰/۱۴	۰/۵۳	۰/۲۴	۰/۱۰	۴_۱.PM	زمستان
۱۳۸۱	۵	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۰۷	۵_۱.PM	بهار
	۶	۰/۲۲	۰/۴۴	۰/۲۱	۰/۱۵	۶_۱.PM	تابستان
	۷	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۲۷	۰/۰۹	۷_۱.PM	پاییز
	۸	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۸_۱.PM	زمستان
۱۴۰۰	۹	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۱۳	۹_۱.PM	بهار
	۱۰	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۱	۱۰_۱.PM	تابستان
	۱۱	۰/۱۷	۰/۰۸	۰	۰/۱۱	۱۱_۱.PM	پاییز
	۱۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۰۷	۱۲_۱.PM	زمستان



نیزار و کشاورزی همبستگی مثبت و بالایی بین دو متغیر یاده شده وجود دارد. این گزاره به معنی آن است که در تابستان و در کاربری‌های مذکور با افزایش مقدار  $PM_{10}$ ، تغییرات پوشش گیاهی (dNDVI) افزایش می‌یابد و بلعکس. بر خلاف این دو کاربری، در کاربری مرتع در اکثر دوره مطالعه ضرایب همبستگی منفی بین دو متغیر  $PM_{10}$  و dNDVI وجود داشته است که نشان از اثر مخالف هر کدام از متغیرها بر دیگری دارد. به این معنی که افزایش تغییرات پوشش گیاهی موجب کاهش مقدار  $PM_{10}$  شده است و بلعکس. به علاوه، ضرایب همبستگی در جنگل نیز به گونه‌ای است که الگوی فصلی مشخصی در آن مشاهده نمی‌شود.

در دو کاربری نیزار و کشاورزی مقادیر مثبت و بالاتری نسبت به مرتع و جنگل داشته‌اند. شکل ۹ تغییرات ضریب همبستگی را در طول دوره طرح به صورت سری زمانی نشان می‌دهد.



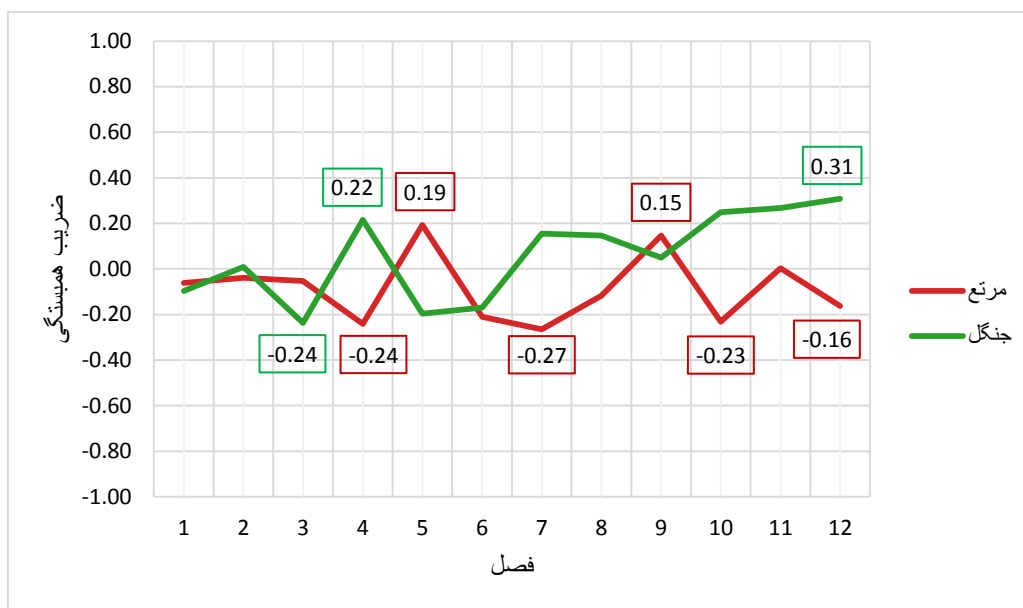
شکل ۹- ضرایب همبستگی پیرسون بین  $PM_{10}$  و dNDVI در سری زمانی فصلی برای کشاورزی و نیزار

کمترین مقدار ثبت شده برای نیزار است. به طور مشابه، روند تغییرات ضریب همبستگی برای کاربری‌های مرتع و جنگل در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. نگاه کلی به نمودار نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی در مرتع به استثناء بهار در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۱۵، عمدتاً منفی بودند که کمترین مقدار آن متعلق به فصل پاییز سال ۱۳۹۹ با مقدار ۰/۲۷- است. از طرف دیگر، باوجود آنکه ضرایب در کاربری جنگل از الگوی زمانی مشخصی پیروی نمی‌کنند، مقادیر آن در دوره مطالعه افزایش یافته است. کمترین مقدار آن در پاییز ۱۳۹۸ (۰/۲۴-) بوده و بیشترین آن در آخرین فصل به ۰/۳۱ رسیده است.

بررسی زمانی جدول ۲ قسمت (ب) نشان می‌دهد که فصل تابستان مقادیر ضرایب همبستگی از سایر فصول بالاتر است که در این بین تابستان سال ۱۴۰۰ با مقدار ۰/۲۱+ بیشترین مقدار را در تمام فصول به خود اختصاص داده است. تنها در دو فصل، پاییز سال ۱۳۹۸ (۰/۱۹-) و بهار سال ۱۳۹۹ (۰/۰۷-)، مقدار ضریب همبستگی منفی بوده است. در این دو فصل افزایش مقدار  $PM_{10}$ ، کاهش تغییرات پوشش گیاهی را در پی داشته و یا بلعکس، افزایش تغییرات پوشش گیاهی موجب شده مقدار  $PM_{10}$  کاهش پیدا کند.

نگاه به قسمت (الف) از جدول ۲ نشان می‌دهد که با وجود آنکه الگوی مشخصی در کاربری‌های مرتع و جنگل دیده نمی‌شود، کاربری‌های نیزار و کشاورزی مقادیر بالاتری از ضریب همبستگی پیرسون را به خود اختصاص داده‌اند. با نگاه فصل به فصل مشاهده می‌شود که مشابه با قسمت (ب) در تابستان به ترتیب در دو کاربری

به‌طور کلی در شکل ۹ مشاهده می‌شود که هر دو کاربری رفتار تقریباً مشابهی در طول دوره مطالعه داشته‌اند و مقادیر در کاربری نیزار بیشتر از کشاورزی بوده است. با نگاهی جزئی‌تر مشاهده می‌شود که هر دو کاربری تا انتهای سال دوم (فصل ۸) از یک الگو پیروی کرده‌اند که شدت تغییرات در کاربری نیزار بیشتر بوده است. باوجود آنکه در هر دو کاربری فصل تابستان ضریب همبستگی نسبتاً بالایی را به خود اختصاص داده است؛ اما بیشترین مقدار آن برای نیزار (۰/۵۳+) در زمستان سال ۱۳۹۸ رخ داده که ۰/۲۲ از حداکثر آن برای کشاورزی بزرگ‌تر است. از طرف دیگر، کمترین مقدار ضریب همبستگی در کشاورزی و در پاییز رخ داده (۰/۲۸-) که کمی کمتر از



شکل ۱۰- ضرایب همبستگی پیرسون بین  $PM_{10}$  و dNDVI در سری زمانی فصلی برای جنگل و مرتع

## منابع

## نتیجه گیری

خدائی، ع. زندگی، ر. ۱۴۰۳. پایش تغییرات پوشش گیاهی و ارتباط آن با دمای سطح زمین و کاربری اراضی در شهرستان خداآفرین و کلیبر با استفاده از فناوری سنجش از دور، نشریه محیط زیست طبیعی. ۷۷(۱): ۵۹-۷۳.

رضائی، ن. علیجانی، ب. و برنا، ر. ۱۳۹۸. تحلیل و پیش بینی سناریویی اثرات تغییرات آب و هوا در آلودگی هوای کلان شهر تهران، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۸(۳۰): ۱۱۵-۱۳۲.

شگرخدايي، ز. فتح نیا، ا. و هاشمی دره بادامی، س. ۱۴۰۲. بررسی ارتباط آلاینده های هوا با شاخص های سنجش از دور (NDVI، NDBI، LST و ATI) در شهر تهران، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۴۷): ۱۲۳-۱۴۴.

عطافر، ز. اسلامی، ا. پیرصاحب، م. و اسدی، ف. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات غلظت ذرات معلق ( $PM_{10}$ ) و تعیین شاخص کیفیت هوا در شهر کرمانشاه، فصلنامه بهداشت در عرصه. ۲(۱): ۱۹-۲۸.

محمدحسینی، ع. کامیاب، ح. و رضائی، ح. ۱۴۰۲. تاثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع کووید-۱۹ (مطالعه موردی: استان تهران)، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۴۶): ۱۴۷-۱۶۳.

Bank, W. 2019. Sand and Dust Storms in the Middle East and North Africa Region: Sources, Costs, and Solutions. In: World Bank.

در بررسی تمامی جداول همبستگی بین آن دسته که همبستگی بدون تفکیک کاربری اراضی و دسته‌ای که به تفکیک کاربری انجام شده مشاهده می‌شود که ضرایب همبستگی در جداولی که کاربری‌ها در آن‌ها تفکیک شده است از مقادیر بالایی برخوردار است. این بدان معناست که طبقه‌بندی اراضی استان خوزستان منجر به افزایش دقت و بهبود تفسیر هر ضرایب همبستگی بین متغیرهای مختلف شده است. در بررسی جدول همبستگی بین dNDVI و  $PM_{10}$  مشاهده شد که در فصل تابستان ضرایب همبستگی به طور محسوس و به ویژه در کاربری نيزار بالاتر است. مشابه با نتیجه تحقیق الماسی و همکاران در سال ۲۰۱۴ که تابستان بیشترین میزان غلظت ریزگرد را در استان‌های غربی داشت (الماسی و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق نیز در مشاهده می‌شود که غلظت بالای ریزگرد در این فصل موجب شده تا تاثیر آن بر تغییرات پوشش گیاهی از دیگر فصول بیش تر باشد. از آنجاکه در فصل تابستان به علت زاویه تابش خورشید میانگین دمای سطح خاک افزایش پیدا می‌کند، رطوبت خاک نیز کاهش یافته که باعث تشدید فرسایش خاک می‌شود (خدائی و زندگی، ۱۴۰۳). این عامل منجر به افزایش ریزگردها در هوای شده و طوفان‌های گردوغبار را به وجود می‌آورد. افزایش غلظت ریزگرد بر روی پوشش گیاهی اثر مضاعف دارد و به دنبال آن پوشش گیاهی دستخوش تغییرات می‌شود.

- Environmental Research and Public Health. 17(9): 3253.
- Naidoo, G. and Chirkoot, D. 2004. The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay, South Africa. *Environmental pollution*. 127(3): 359-366.
- Nateghi, S., Nohegar, A., Ehsani, A. H. and Bazrafshan, O. 2017. Evaluating the vegetation changes upon vegetation index by using remote sensing. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4), 778-790. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.114889>
- Onder, S., & Dursun, S. 2006. Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment*. 40(6): 1122-1133.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J. and Stenseth, N. C. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Seyyednejad, S., Niknejad, M. and Koochak, H. 2011. A review of some different effects of air pollution on plants. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(4). 302.
- Singer, A., Zobeck, T., Poberezsky, L. and Argaman, E. (2003). The  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  dust generation potential of soils/sediments in the Southern Aral Sea Basin, Uzbekistan. *Journal of Arid Environments*, 54(4): 705-728.
- Boloorani, A. D., Nabavi, S. O., Bahrami, H. A., Mirzapour, F., Kavosi, M., Abasi, E. and Azizi, R. 2014. Investigation of dust storms entering Western Iran using remotely sensed data and synoptic analysis. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12: 1-12.
- Engelstaedter, S., Tegen, I. and Washington, R. 2006. North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*. 79(1-2): 73-100.
- Esri. 2020. Rescale by Function (Spatial Analyst). Environmental Systems Research Institute. Retrieved 05/06/2024 from <https://https://www.esri.com/en-us/homepro/arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/rescale-by-function.htm>
- Huang, C.-J. and Kuo, P.-H. 2018. A deep CNN-LSTM model for particulate matter ( $PM_{2.5}$ ) forecasting in smart cities. *Sensors*. 18(7): 2220.
- KHORRAM, S. 1985. Remote sensing of water quality in the Neuse river estuary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 51: 329-341.
- Landis, J. R. and Koch, G. G. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*. 363-374.
- Liao, Q., Jin, W., Tao, Y., Qu, J., Li, Y. and Niu, Y. (2020). Health and economic loss assessment of  $PM_{2.5}$  pollution during 2015–2017 in Gansu Province, China. *International Journal of*

## Investigating the Impact of PM<sub>10</sub> on NDVI Changes Based on Satellite Image Processing in Khuzestan Province.

M. Goldani<sup>1</sup>, R. Shad<sup>2\*</sup>, S. Danesh<sup>3</sup>

Received: Jun.24, 2024

Accepted: Jul.09, 2024

### Abstract

The level of air pollution presents a twofold threat to human health and plant life, thereby resulting in economic losses for countries on an annual basis. This investigation specifically focuses on the province of Khuzestan, which has experienced considerable pollution from fine dust in recent years and is noteworthy for its diverse vegetation. By analyzing air quality data acquired from the Environment Agency regarding PM<sub>10</sub> and utilizing NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) images captured by the MODIS satellite, this study examines the impact of fine dust on vegetation. Differential calculations were performed on the PM<sub>10</sub> data and NDVI values across different seasons in order to achieve this objective. Updated maps of Khuzestan were constructed by merging Landsat imagery with the province's land use map, employing supervised classification model to monitor vegetation production and utilization across diverse categories such as agriculture, reeds, pasture, and forest. Subsequently, the datasets were segregated based on vegetation type, and Pearson's correlation coefficient was computed to evaluate the relationship between PM<sub>10</sub> concentration and changes in vegetation (dNDVI) within each category. The results emphasize a spatial correlation between PM<sub>10</sub> concentration and changes in vegetation index for reed and agriculture land uses during a single season, with the highest correlation observed during the summer season throughout the year.

**Keywords:** LANDSAT, Particulate Matter, Pearson's correlation coefficient, supervised classification, Vegetation changes

---

1- M.Sc Student in Environmental Science, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Faculty member of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Faculty member of Civil and Environmental Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(\*- Corresponding Author Email: r.shad@um.ac.ir)