

تحلیل چندزمانه تأثیر گردوغبار صنعتی کارخانه سیمان مازندران بر پوشش جنگلی اطراف آن

علی اشرفی^۱، سید یوسف عرفانی فرد^{۲*}، فرشاد امیراصلانی^۳، علی درویشی بلورانی^۴، علی جعفر موسیوند^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴. استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۱

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر گردوغبارهای صنعتی با تحلیل شاخص چندزمانه پوشش گیاهی NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در محدوده جنگلی زرن‌دین در بخش سه طرح جنگلداری نکا-ظالمرو در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور بود. بدین منظور، مطابق با موقعیت پیکسل‌های محصولات مودیس چهار پیکسل ۲۵۰ متری متأثر از گردوغبار صنعتی در نزدیکی کانون گردوغبار در بازدهی‌های میدانی شناسایی و انتخاب شد. مقدار همبستگی برای شاخص EVI و شاخص SPI با تأخیر زمانی هفت‌ماهه، ۰/۱۵ و برای شاخص NDVI با تأخیر زمانی هشت‌ماهه، ۰/۱۳ و غیرمعنادار بود. تحلیل شاخص NDVI در فواصل مختلف (کمتر از ۸۰۰ متر تا بیشتر از ۲۰۰۰ متر) از کانون آلودگی در طول سال‌های دسترسی به تصاویر لندست (۱۹۷۲ تا ۲۰۱۷ میلادی) روند کاهشی را نشان داد. نتایج رگرسیون خطی ساده شاخص NDVI و زمان در فواصل مختلف از کانون آلودگی نشان داد که گذشت زمان با تغییرات شاخص NDVI در فاصله کمتر از ۸۰۰ متر از کانون آلودگی رابطه معکوس (ضریب تبیین رگرسیون ۰/۸۳۷) داشت. با افزایش فاصله از کانون آلودگی، تغییرات شاخص NDVI در طول زمان کمتر شد، به طوری که در فاصله بیشتر از ۲۰۰۰ متر، ضریب تبیین رگرسیون بین زمان و تغییرات شاخص NDVI به صفر رسید. با توجه به ناچیز بودن تأثیر خشکسالی و تغییرات کمی پوشش گیاهی در محدوده مطالعاتی، نتایج تحقیق می‌تواند بیانگر تأثیر گردوغبار صنعتی در ایجاد تنش پوشش گیاهی جنگلی در اطراف کارخانه سیمان مازندران باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش گیاهی، جنگل‌های هیرکانی، شاخص NDVI، کارخانه سیمان مازندران، گردوغبارهای صنعتی.

مقدمه

شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است. داده‌های لندست دارای طولانی‌ترین دوره تصویربرداری با توان تفکیک مکانی متوسط برای مشاهدات زمین هستند و نظارت بر تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی در مناطق وسیع با استفاده از این تصاویر انجام‌پذیر است. رایج‌ترین روش برای بارزسازی تغییرات پوشش گیاهی، تحلیل تغییرات زمانی شامل مقایسه مستقیم دو تصویر با زمان متفاوت است [۱]. رویکردهای دیگر، تشخیص تغییر چندزمانه و استفاده از تصاویر بیشتر

از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور، پایش روند تغییرات اجزای محیط زیست است. از جمله اجزای محیط زیست طبیعی، شاخص‌های پوشش گیاهی هستند که به‌طور گسترده به‌عنوان معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی کاربرد دارند. شاخص پوشش گیاهی NDVI از پرکاربردترین

نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۱۰۰۶۴۹

Email: erfani.fard@ut.ac.ir

گرفت [۵]. رسوب گردوغبار سیمان بر ویژگی‌های گیاهی و جوامع طبیعی اثر می‌گذارد و ممکن است تعادل رقابتی بین گونه‌های گیاهی را تغییر دهد. افزایش غلظت آلاینده‌های گردوغبار سیمان سبب آسیب‌های نامرئی مانند کاهش توانایی‌های فتوسنتزی و بسته شدن روزنه‌های برگ شد و در نتیجه بر رشد و بهره‌وری درخت انبه تأثیر گذاشت. افزون‌بر آن، کاهش اندازه برگ، حاشیه آسیب‌دیده برگ و تغییر رنگ جزء اثرهای زیان‌آور گردوغبار است که در این تحقیق بیان شده است. موسوی و همکاران (۲۰۱۶) بین تنوع و تراکم پوشش گیاهی با رسوب ذرات گردوغبار خروجی از دودکش‌های کارخانه سیمان شاهرود همبستگی معکوسی مشاهده کردند [۳]. در پژوهش‌های مختلفی برای نمایش تغییرات زمانی و مکانی از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شده است [۶]. همچنین تأثیر فاصله از کانون آلودگی بر مقدار شاخص سطح برگ در مطالعات مختلف بررسی و تأیید شده است [۷]. پژوهش‌های پیشین نشان داد که گردوغبار متصاعدشده از کارخانه‌های سیمان می‌تواند بر عملکرد پوشش گیاهی تأثیر بگذارد، اما پایش مکانی و زمانی شاخص پوشش گیاهی NDVI برای ارزیابی کمی این موضوع تاکنون استفاده نشده است. دور بودن محدوده مطالعاتی از دامنه تأثیر ریزگردهای ورودی از سمت غرب ایران و نبود کانون‌های گردوغبار محلی شرایط را برای بررسی تأثیر گردوغبار صنعتی بر پوشش گیاهی جنگلی فراهم کرده است.

در حال حاضر نقشه‌های پوشش گیاهی اهمیت زیادی در تولید اطلاعات برای برنامه‌ریزی‌های کلان و خرد دارند. همچنین پوشش‌های گیاهی در طول زمان به علل مختلف مانند عوامل طبیعی یا انسانی دچار تغییر می‌شود و در نتیجه شرایط و عملکرد بوم‌سازگان جنگلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که آگاهی از این تغییرات در مدیریت پایدار جنگل ضروری است. بنابراین توجه به آشکارسازی و پایش زمانی و مکانی هر گونه تغییر به‌ویژه تغییرات ناشی

برای افزایش فضای ویژگی، استفاده از بردارهای طیفی یا تغییر شاخص‌ها نسبت به یک حالت پایه و آستانه‌گذاری مجموعه‌ای از شاخص‌ها، از جمله NDVI، به‌صورت تعاملی برای شناسایی و تهیه نقشه تغییر و شیوه تکامل‌یافته در قالب پردازش ابری است که در حال حاضر توسط سازمان فضایی آمریکا در قالب NASA Earth Exchange در حال توسعه است [۲]. سامانه مجازی پردازش تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث انجین^۱ نیز کاربرد مشابهی دارد.

منابع متعددی برای تولید ذرات گردوغبار در اتمسفر وجود دارد، از جمله گردوغبار آتشفشان‌ها، نمک دریا، گردوغبار کیهانی و آلاینده‌های مختلفی که از احتراق و فرایندهای صنعتی حاصل می‌شوند. از جمله منابع تولید گردوغبار صنعتی و آلاینده محیط زیست، کارخانه‌های سیمان هستند. رسوب گردوغبار سیمان بر فتوسنتز و باروری گیاه تأثیرگذار است. افزایش غلظت غبار در هوا سبب کاهش شدید کارایی فتوسنتز در برگ‌ها، بسته شدن روزنه‌های برگ‌ها و به‌طور عمده کاهش رشد و باروری گیاهان می‌شود [۳]. تأثیر آلودگی هوا بر رشد قسمت‌های مختلف گیاهان در برخی مطالعات ثابت شده است. به‌عنوان مثال اقبال و شفق (۲۰۰۰) روی گیاهان گلخانه‌ای در سایت آزمایشی واقع در دانشگاه کراچی، کاهش معنی‌داری را در تاج‌پوشش، ارتفاع و تعداد برگ برای گونه کاراندا از خانواده خرزهره در معرض آلودگی هوا مشاهده کردند [۴]. رفیق و کوماوات (۲۰۱۶) اثر گردوغبار صنعتی کارخانه سیمان بر بخش‌های مختلف درخت زردآلو در اطراف کارخانه سیمان واقع در چریو^۲ در کشمیر هند را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که گردوغبار صنعتی سبب کاهش رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید در گونه‌های گیاهی شده است. نمونه‌برداری در فاصله‌های مختلف از ۰/۵ تا ۲ کیلومتری از منبع آلودگی نسبت به سایت کنترل در ۱۳ کیلومتری کارخانه سیمان انجام

۱. Google Earth Engine

۲. Khrew

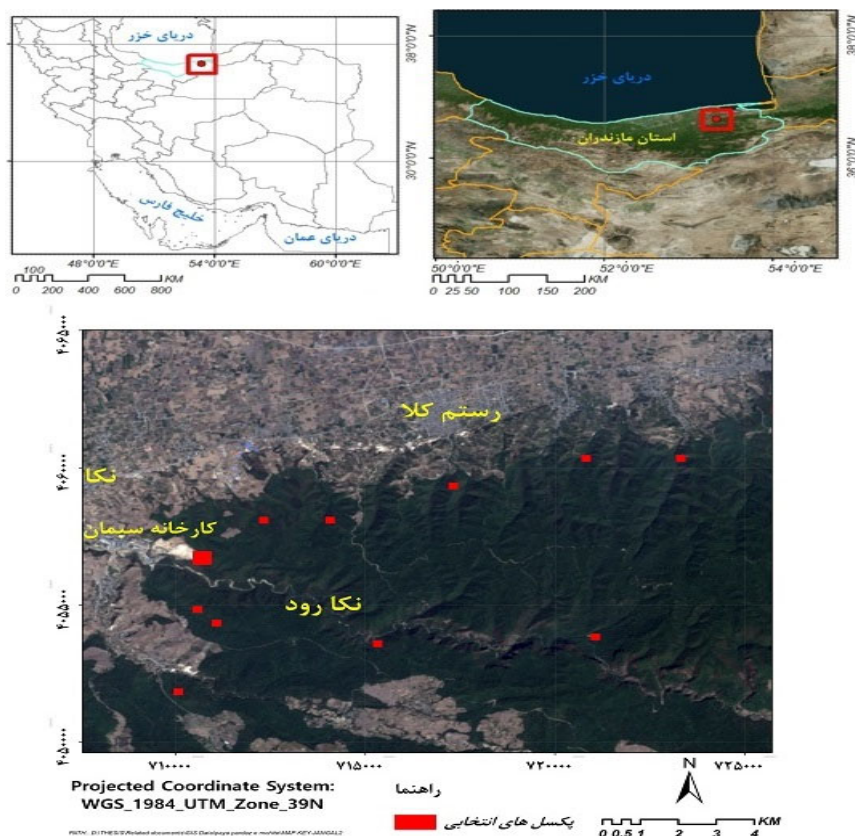
شرق مازندران واقع شده است. محدوده مطالعاتی بین عرض شمالی "۳۶ ۶۰" تا "۳۶ ۶۶" و طول شرقی "۳۶" تا "۵۳" واقع شده است. کمینه و بیشینه ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۸۰ و ۶۰۰ متر و میانگین ارتفاع ۳۰۰ متر است (شکل ۱). محدوده مطالعاتی در بخش ۳ طرح جنگلداری نکا- ظالمروود قرار دارد و براساس نقشه تیپ‌بندی جنگل و نیز مشاهدات میدانی دارای گونه‌های غالب شامل بلوط، انجیلی، آزاد و ممرز است. گونه‌های افرا، توسکا، صنوبر و سپیدار در داخل دره‌ها و در مسیر رودخانه‌ها رشد می‌کنند [۹]. همچنین کارخانه سیمان مازندران در محل خط جدایی کوهستان از دشت و در فاصله ۲/۵ کیلومتری جنوب شهر نکا در زمینی به مساحت ۹۰ هکتار واقع شده است. این کارخانه در سال ۱۳۶۰ به بهره‌برداری رسیده است.

از آلاینده‌های محیطی در جنگل‌های هیرکانی ضروری به نظر می‌رسد. از این رو می‌توان با پایش زمانی و مکانی این شاخص پرکاربرد که قابلیت آن در پژوهش‌های مشابه تأیید شده است [۸] در ارزیابی کمی تأثیر منفی گردوغبار صنعتی بر پوشش گیاهی بهره برد. در این مطالعه، هدف تعیین اثر جهت باد و نیز آستانه تأثیرگذاری گردوغبار صنعتی (فاصله نسبت به کانون گردوغبار) بر پوشش گیاهی با مطالعه تغییرات زمانی شاخص پوشش گیاهی NDVI در یک دامنه زمانی از سال ۱۹۷۲ (پیش از احداث کارخانه سیمان) تا ۲۰۱۷ بر پوشش جنگلی اطراف است.

مواد و روش‌ها

محدوده تحقیق

محدوده تحقیق بخشی از جنگل‌های هیرکانی است که در



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در تصویر لندست مربوط به تاریخ ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۷

داده‌برداری میدانی

نمونه‌برداری ذرات معلق

نمونه‌برداری از کارخانه سیمان مازندران به دو بخش عمده تقسیم شد: ۱. نمونه‌برداری ذرات معلق در هوای آزاد؛ ۲. نمونه‌برداری از دودکش کارخانه. نمونه‌برداری هوای آزاد شامل عناصر و ذرات مونواکسید کربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، ازن (O₃)، دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون (PM_{2.5}) و ۱۰ میکرون (PM₁₀) در ۸ نقطه اطراف کارخانه برای هر فصل برداشت می‌شود. براساس مطالعات مرتبط، نمونه‌برداری از دودکش شامل فاکتورهای اکسیژن (O₂)، CO، دی‌اکسید کربن (CO₂)، SO₂، اکسید نیتروژن (NO_x)، سولفید هیدروژن (H₂S)، هوای اضافه، بازده احتراق، قطر دودکش، سرعت گاز خروجی دودکش، دمای هوای محیط و دمای گاز دودکش است که به صورت منظم فصلی برداشت می‌شود. با توجه به فعالیت کارخانه سیمان و فعال بودن خطوط تولید از ۹ دودکش موجود در کارخانه سیمان نمونه‌برداری انجام گرفت. داده‌های مربوط به فصل تابستان سال ۱۳۹۷ از اداره کل محیط زیست استان مازندران دریافت شده و به همراه داده‌های اقلیمی، توپوگرافی و شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها استفاده شد.

داده‌های ICP-MS (Inductively coupled plasma)

(mass spectrometry)

دستگاه ICP-MS از مهم‌ترین دستگاه‌های آنالیزی است که قابلیت آنالیز بیشتر نمونه‌های معدنی و زیستی (آب، گیاه و خاک) را دارد. حساسیت مربوط به اندازه‌گیری مستقیم عناصر جدول تناوبی با استفاده از این روش بیش از دیگر روش‌های ابزاری آنالیزی است. در موقعیت‌های مختلف نسبت به کانون گردوغبار صنعتی، نمونه‌هایی برداشت و به کمک دستگاه ICP-MS ۵۶ عنصر در حد (Parts Per Million) PPM برای استفاده در این پژوهش استخراج

شد. برای تعیین پراکنش مکانی این فلزات در مجموع ۲۰ موقعیت مکانی با فاصله‌های مختلف از منبع گردوغبار صنعتی انتخاب شد و نمونه‌هایی از برگ گونه غالب بلوط تحت آزمایش مذکور قرار گرفت. برای برداشت داده‌های زمینی از روش سیستماتیک تصادفی استفاده شد. ابتدا حریم‌هایی به فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و نیز دو حریم ۲۰۰۰ متری ایجاد شد. در حریم ۵۰۰ متری شش نمونه، در حریم ۱۰۰۰ متری پنج نمونه، در هر یک از حریم‌های ۲۰۰۰ متری چهار نمونه و در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری از کانون آلودگی یک نمونه شاهد برداشت شد.

داده‌های ماهواره لندست

با استفاده از سایت (<https://www.n2yo.com>) زمان عبور ماهواره لندست ۸ پیش‌بینی شد. با توجه به اینکه در بررسی چندزمانه تغییرات پوشش اراضی، تصاویر نباید از نظر زمانی تفاوت زیادی داشته باشند. با قبول این اصل همه تصاویر موجود در آرشیو سازمان زمین‌شناسی آمریکا بررسی شد و ماه سپتامبر که دارای بیشترین تصویر بدون ابر با دامنه زمانی نزدیک به هم بود انتخاب شد. با استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی زمان مناسب و بدون ابر تاریخ ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۷ انتخاب شد. از آنجا که احتمال ابرناکی برای محدوده تحت مطالعه زیاد است و از طرفی همزمانی تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های زمینی (شاخص سطح برگ) در مطالعه‌ای موازی خیلی مهم بود، همه تصاویر سطح ۲ (دارای سطح تصحیحات استاندارد هندسی و رادیومتریک) ماهواره لندست مربوط به محدوده مطالعاتی برای ماه سپتامبر و همزمان با تاریخ برداشت میدانی از سایت Earth explorer سفارش داده شد. با توجه به اینکه تاریخ تأسیس کارخانه ۱۹۸۱ میلادی بود، استفاده از تصاویری قبل از این تاریخ به‌عنوان مبنا ضروری به نظر رسید. اولین تصویر برای محدوده مطالعاتی مربوط به سال ۱۹۷۲ بود که قبل از استفاده، تصحیحات لازم روی آن اعمال شد. در زمان تبدیل خطی داده‌ها، به‌عنوان مثال

مدل پلوم گوسی (Gaussian Plume) است. این مدل برای محاسبه غلظت آلاینده‌های هوای محیط نسبت به یک منبع نقطه‌ای (مثل دودکش کارخانه) استفاده می‌شود. در این مدل‌ها از معادلات نیمه تجربی برای تقریب پروفایل سرعت هوا در محیط استفاده می‌شود [۱۲]. برای استفاده از مدل گوسین به پارامترهای مختلف مانند سرعت و جهت باد و پایداری جو نیاز است. عوامل دیگری نیز در پراکنش دود در محیط اطراف مؤثر است که از آن جمله می‌توان به سرعت گاز خروجی از دودکش، دبی جرمی آلاینده، قطر داخلی دودکش، مقدار حرارت منتشرشده از دودکش و ارتفاع دودکش اشاره کرد. با استفاده از داده‌های ذکرشده، در نرم‌افزار آرمود (AERMOD) پراکنش گردوغبارهای صنعتی مدل‌سازی شد. نتایج اجرای مدل یکی از کانون‌ها با آلودگی زیاد را در سمت شرق کارخانه و در جهت باد غالب مشخص کرد.

در گام سوم این پژوهش آنالیز مکانی عناصر سنگین در برگ گیاهان غالب بررسی شد. برای این منظور با استفاده از دستگاه ICP-MS غلظت ۵۶ عنصر در حد PPM از نمونه‌های برگ درخت بلوط استخراج شد. بررسی اولیه داده‌های مربوط به تجزیه نمونه‌های نشان داد که تجمع زیادی از فلزات سنگین در برگ‌های درختان بلوط وجود دارد. محدوده کمی فلزات مختلف به ترتیب ۰/۶۱-۰/۴۹، ۰/۷۳۱-۰/۵۶، ۰/۵-۱۱/۵۷، ۰/۱۵-۲/۴۵۵ و ۱۸/۸۲۳-۳۲/۳۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در محدوده برداشت داده‌های به ترتیب برای عناصر Zn، Pb، Cu، Cr، Cd، Mg، Ca، Si و Na به ترتیب ۳۶/۱۷-۵۷/۸، ۴۱/۶۱-۱۹/۱، ۶۹/۱۶-۱۱۲/۲، ۸۱/۴۷-۳۰۴/۸۹ گرم در کیلوگرم است. نتایج حاصل از درون‌یابی برای ایجاد پهنه‌های همگن به علت کافی نبودن داده‌ها ناشی از هزینه‌های زیاد مربوط به این بخش، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار مناسب و تفسیرپذیر نبود. در این پژوهش از روش درون‌یابی توابع پایه شعاعی (Radial Basis

محاسبه شاخص NDVI، تأثیر اتمسفر چشمگیر است و ممکن است مقدار پوشش گیاهی را حدود ۵۰ درصد کمتر نشان دهد. همچنین زمانی که هدف شناسایی تغییرات بیوفیزیکی گیاه باشد، تصحیح اتمسفری ضرورت دارد [۱۰]. حذف آثار اتمسفری سبب می‌شود که هماهنگی و مقایسه تصاویر اخذشده از سطح زمین در زمان‌های مختلف افزایش یابد. در این پژوهش تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری از الگوریتم FLASH که جزء روش‌های تصحیح مطلق و براساس مدل تشعشع است در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت.

روش کار

برای این پژوهش در گام اول تأثیرپذیری سری زمانی شاخص پوشش گیاهی از خشکسالی بررسی شد. از آنجا که داده‌های سری‌های زمانی دارای تناوب به همراه مقداری نویز هستند. با پردازش‌های لازم و تعیین دقیق رفتار داده می‌توان نویز را حذف کرد. روش استفاده‌شده در این پژوهش الگوریتم آنالیز هارمونیک سری‌های زمانی است. الگوریتم آنالیز هارمونیک سری‌های زمانی، توسط ورهوف و همکاران (۱۹۹۶) معرفی شده است [۱۱]. دو قابلیت مهم این الگوریتم، شناسایی و از بین بردن نقاط دورافتاده و پر کردن فاصله باقی‌مانده بین مشاهدات معتبر توسط درون‌یابی زمانی است. برای بررسی این موضوع با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک فرودگاه ساری (دشت ناز) شاخص خشکسالی با دوره‌های بازگشت مختلف تهیه شد. داده‌های شانزده‌روزه مربوط به محصولات EVI و NDVI مودیس برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ اخذ و رابطه همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و خشکسالی بررسی شد.

در گام دوم مدل‌سازی انتشار ذرات معلق در هوا (Particulate matter) انجام گرفت. روش معمول برای مدل‌سازی انتشار ذرات معلق در هوا از کارخانه‌های سیمان،

۲۵۰ متری مطابق با موقعیت پیکسل‌های محصولات مودیس تهیه شد. چهار پیکسل ۲۵۰ متری متأثر از گردوغبار صنعتی در نزدیکی کانون در بازدیدهای میدانی مشخص شدند. ویژگی‌های آنها مانند متوسط ارتفاع، شیب و جهت و نیز تپ غالب و تراکم پوشش گیاهی مشخص شد. با تعیین شرط‌هایی در داده‌های موجود و انتخاب حداقل محدوده تغییر برای ارتفاع و جهت تا ۱۰ درصد، برای شیب تا ۵ درصد و تشابه در تپ و تراکم پوشش گیاهی، پیکسل‌هایی که از نظر ویژگی‌های انتخابی شبیه پیکسل‌های تحت تنش بودند انتخاب شدند. موقعیت پیکسل‌های انتخابی در شکل ۱ آورده شده است. اطلاعات چندزمانه شاخص NDVI ماهواره لندست در موقعیت پیکسل‌های انتخابی استخراج شدند تا در تحلیل‌های بعدی استفاده شوند. فاصله ۱۰۰ متری براساس فراوانی پیکسل‌ها در هر طبقه انتخاب شد و در فاصله ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متری از کانون آلودگی، پیکسلی مشابه با پیکسل‌های تحت تنش یافت نشد. میانگین و انحراف معیار مربوط به شاخص NDVI برای سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۱۹۹۸، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ در فاصله‌های متفاوت از منبع آلودگی در طول زمان محاسبه شد. مراحل مختلف اجرای این پژوهش مطابق شکل ۲ است.

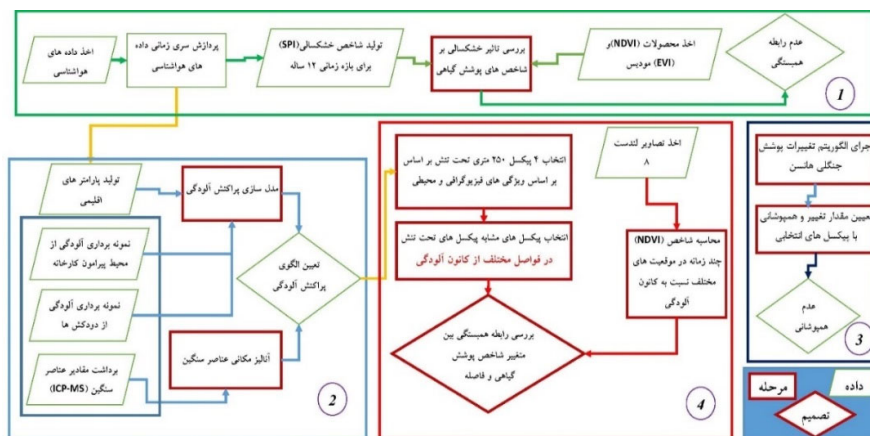
نتایج و بحث

از آنجا که محدوده جنگلی مورد بررسی کوهستانی است، عامل مهم اکولوژیک ارتفاع از سطح دریا تا حدی در تنوع گونه‌ای و تراکم تأثیر گذاشته است. در این پژوهش انتخاب پیکسل‌های مشابه پیکسل‌های تحت تنش تا حد زیادی تأثیر ناشی از اختلاف ارتفاع و مشتقات آن را کم کرده است. در تحقیقات مختلف تأثیر ارتفاع بر بعضی از ویژگی‌های کمی و کیفی گونه‌های گیاهی بررسی شده است [۱۵]. نتایج تأثیر خشکسالی بر شاخص پوشش گیاهی در محدوده مطالعاتی نشان داده که بین این دو

(Functions) که جزء روش‌های قطعی است استفاده شد. این روش‌ها بسیار انعطاف‌پذیرتر از روش IDW (Inverse Distance Weighting) هستند و تصمیم‌گیری‌های بیشتری در مورد پارامتر وجود دارد و هیچ پیش‌فرضی را برای داده‌ها نیاز ندارد. در این پژوهش از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. با محاسبه مقادیر مطلق آماره میانگین مربعات خطا (RMSE) درباره کیفیت برآورد مورد نظر قضاوت شد. اگر برآوردها صحیح و بدون اشتباه باشند، مقدار این آماره باید برابر با صفر شود [۱۳].

گام چهارم شامل اجرای الگوریتم تغییرات پوشش جنگلی هانسن^۱ بود. در این پژوهش از محصول آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی هانسن استفاده شد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست توانایی بارزسازی تغییرات پوشش جنگلی با قدرت تفکیک ۳۰ متری را در دامنه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ دارد. نتایج اجرای این الگوریتم تصویری با سه رنگ است. رنگ قرمز معرف تاج‌پوشش درختی با ارتفاع بیشتر از ۵ متر برای سال ۲۰۰۰ است. کلاس LOSS بیانگر پوشش جنگلی از بین رفته بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و کلاس GAIN نشان‌دهنده پوشش گیاهی ایجادشده در دامنه زمانی ذکر شده است [۱۴]. با توجه به تنوع تپ‌های گیاهی و توپوگرافی در گام پنجم انتخاب پیکسل‌های مشابه پیکسل‌های تحت تنش انجام گرفت. برای بررسی تأثیر گردوغبار صنعتی و شعاع تأثیر آن بر گونه‌های جنگلی نیاز بود که محدوده‌های مطالعاتی از نظر شرایط محیطی با محدوده تحت تنش یکسان باشند. بنابراین ویژگی‌های قابل دسترس پیکسل‌های تحت تنش در شرق کارخانه مشخص شد. این ویژگی‌ها شامل جهت، شیب و میانگین ارتفاع، بود که از مدل DTM حاصل از ماهواره ALOS با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استخراج شد. یک شبکه

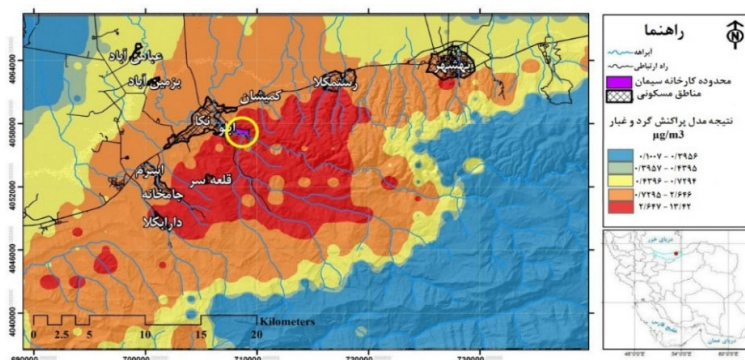
۱. در این پژوهش از الگوریتم `UMD/hansen/global_forest_change_2018_v1_6` در محیط گوگل ارث انجین استفاده شده است.



شکل ۲. نمودار جریان‌ی مراحل مختلف پژوهش

دیگر نشان داده است که بیوم‌های خشک در دامنه زمانی کوتاه و بیوم‌های نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب در دوره زمانی بلندمدت به خشکسالی پاسخ می‌دهند [۱۶]. افزون‌بر این در مناطق توسعه‌یافته اثر فعالیت‌های انسانی بر پوشش گیاهی، اثرات تجمعی در سری‌های زمانی داده‌ها و اثر فازی در روند تغییرات پوشش گیاهی داشته است. نتایج بعضی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بین دو شاخص NDVI و SPI ارتباط معناداری وجود دارد. همبستگی این دو شاخص تحت تأثیر مکان و زمان تغییر می‌کند [۱۷]. نتیجه مدل‌سازی پراکنش گردوغبار در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به شکل مذکور با فاصله گرفتن از کارخانه سیمان، غلظت گردوغبار کاهش یافت. بیشترین غلظت گردوغبار در نزدیکی کارخانه به مقدار $13/42$ میلی‌گرم بر متر مربع است.

متغیر رابطه معناداری وجود نداشت. بیشترین مقدار همبستگی برای شاخص EVI و شاخص SPI با تأخیر زمانی هفت‌ماهه معادل $0/15$ و برای شاخص NDVI با تأخیر زمانی هشت‌ماهه برابر $0/13$ به‌دست آمد. مقدار سطح معنی‌داری برای هر دو شاخص بیشتر از $0/05$ بود که معنادار نبود. این محدوده مطالعاتی (جنگل‌های هاور و درکش) در ادامه جنگل‌های هیرکانی در ارتفاعات کوه‌های آلاداغ در استان خراسان شمالی و 22 کیلومتری شهر آشنخانه مرکز شهرستان مانه و سملقان قرار دارد. بهترین رابطه بین شاخص خشکسالی SPEI و شاخص پوشش گیاهی EVI به‌دست آمد. در این تحقیق، شاخص SPEI ثابت فرض شد و جابه‌جایی‌ها (لگ‌ها) در شاخص‌های پوشش گیاهی انجام گرفت. بیشترین همبستگی با تأخیر زمانی سه‌ماهه برابر $0/684$ به‌دست آمد. نتایج تحقیقات

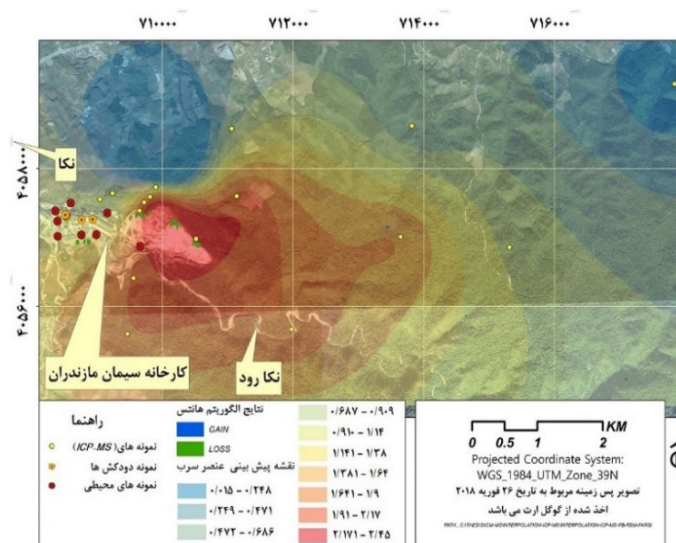


شکل ۳. نتیجه مدل‌سازی انتشار ذرات معلق در هوا با قطر 10 میکرون (PM_{10})

درون‌یابی مقادیر عناصر سنگین موجود در برگ گونه غالب بلوط برای ۹ عنصر مورد بررسی در این پژوهش با فاصله از کانون آلودگی کاهش زیادی را نشان داد. برای نمونه نتیجه درون‌یابی برای عنصر سرب با استفاده از روش توابع پایه شعاعی در شکل ۴ آورده شده است. در روش درون‌یابی توابع پایه شعاعی مقدار RMSE نسبت به روش‌های دیگر کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. آمار توصیفی مربوط به غلظت هر یک از عناصر در جدول ۱ و مقادیر درون‌یابی شده در شکل ۵ آورده شده است.

بررسی تغییرات کمی پوشش گیاهی با اجرای الگوریتم هانسن در گوگل ارث انجین نشان داد که در محدوده مطالعاتی و به‌ویژه در پیکسل‌های انتخابی تغییراتی ناشی از جنگل‌زدایی و کاشت جنگل بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مشاهده نشده است. پیکسل‌های تغییر یافته در شکل ۴ آورده شده است.

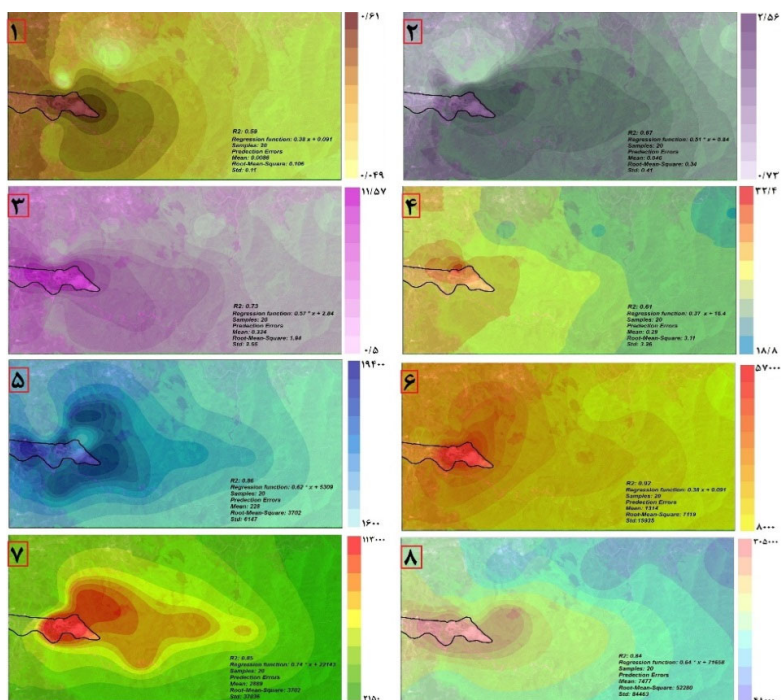
با توجه به برنامه‌های دقیق حفاظت جنگل در محدوده مطالعاتی، تغییرات زیاد شاخص پوشش گیاهی در نزدیکی کانون گردوغبار صنعتی می‌تواند بیانگر نقش گردوغبار صنعتی در ایجاد تنش پوشش گیاهی جنگلی باشد. نتایج



شکل ۴. توزیع فضایی عنصر سرب در برگ درختان بلوط به روش درون‌یابی توابع پایه شعاعی

جدول ۱. نتایج آمار توصیفی غلظت عناصر (ppm) در محدوده تحقیق

نام عنصر	حداکثر	حداقل	میانگین	میان	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
کادمیم	۰/۶۱	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۸۳/۲۰
سرب	۲/۴۶	۰/۰۲	۱/۲۶	۱/۱۰	۰/۷۰	۵۱/۶۰
کروم	۲/۵۶	۰/۷۳	۱/۵۴	۱/۵۰	۰/۵۰	۳۰/۰۰
مس	۱۱/۵۷	۰/۵	۵/۸۲	۶/۱۰	۲/۹۰	۴۹/۱۰
روی	۳۳/۳۶	۱۸/۸۲	۲۵/۴۰	۲۵/۹۰	۴/۰۰	۱۵/۷۰
منیزیم	۱۹۴۰۸	۱۶۱۱	۱۳۴۶۶	۱۷۳۵۸	۷۱۲۲	۵۲/۹۰
کلسیم	۵۷۳۶۰	۸۰۲۰	۳۲۳۳۳	۳۷۲۲۵	۱۷۷۳۶	۵۴/۹۰
سدیم	۱۱۲۶۸۸	۲۱۶۱	۷۴۲۳۰	۹۶۷۷۲	۴۲۵۲۱	۵۷/۳۰
سلیسیم	۳۰۴۸۸۷	۴۷۸۰۴	۱۷۵۷۱۰	۱۸۸۷۰۳	۹۶۳۹۶	۵۴/۹۰



شکل ۵. توزیع فضایی عناصر به ترتیب برای عناصر کادمیم، کروم، مس، روی، منیزیم، کلسیم، سدیم و سیلیسیم در برگ درختان بلوط به روش درون یابی توابع پایه شعاعی

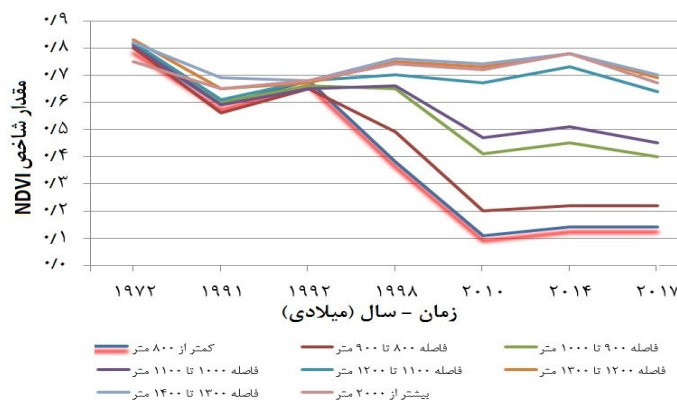
طول زمان در شکل ۶ آورده شده است. نتایج نشان داد که گذشت زمان با تغییرات شاخص NDVI در فاصله کمتر از ۸۰۰ متر از کانون آلودگی، رابطه معکوس دارد و ضریب تأثیر استاندارد شده آن برابر ۰/۹۱۵- است.

با افزایش فاصله از کانون آلودگی، تغییرات شاخص NDVI در طول زمان کمتر می شود، به طوری که در فاصله بیشتر از ۲۰۰۰ متر ضریب تأثیر زمان بر تغییرات شاخص NDVI به صفر می رسد. با توجه به جدول ۲ در فاصله بین ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متری از کانون آلودگی پیکسل مشابهی از نظر ویژگی های محیطی یافت نشد، از این رو رابطه در این دوره بررسی نشد. نتایج پژوهش های مشابه برای بررسی اثر گردوغبار صنایع سیمان بر گیاهان در فاصله های ۰/۵ تا ۲ کیلومتری از دودکش کارخانه نشان دهنده کاهش رنگدانه های کلروفیل نسبت به محل کنترل (فاصله ۱۵ کیلومتر از کارخانه های سیمان) است. همچنین تأثیر فاصله بر مقدار شاخص سطح برگ در تحقیق دلگادو و همکاران (۲۰۰۷)

مقادیر ضریب همبستگی، تابع رگرسیون، خطای پیش بینی، میانگین خطا، مقدار RMSE و انحراف معیار نیز آورده شده است. کاهش غلظت عناصر با فاصله گرفتن از کانون گردوغبار صنعتی از جنبه گرافیکی تأیید شد، اما به دو دلیل تحلیل های آماری دقیق امکان پذیر نشد: ۱. برداشت نشدن داده ها در موقعیت پیکسل های انتخابی؛ ۲. کافی نبودن داده ها، کاهش مقادیر عناصر سنگین با فاصله گرفتن از کانون گردوغبار در پژوهشی توسط دریواسی و همکاران (۲۰۱۶) تأیید شده است [۱۸]. همچنین صادقی و خراسانی (۲۰۰۹) بین تنوع و تراکم پوشش گیاهی با رسوب ذرات گردوغبار خروجی از دودکش های کارخانه سیمان همبستگی معکوس مشاهده کردند [۱۹]. در این پژوهش میانگین شاخص NDVI در فواصل مختلف از کانون آلودگی در طول سال های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۷ کاهش پیدا کرده و این کاهش در فواصل نزدیک به کانون آلودگی بسیار شدیدتر است. میانگین شاخص NDVI در فاصله های متفاوت از منبع آلودگی در

خاک می‌شوند. بخشی از این عناصر سنگین از طریق ریشه جذب شده، مقداری آبشویی و مقداری در خاک انباشت می‌شوند. این عناصر می‌توانند تنوع گونه‌ای را کاهش و رقابت بین گونه‌ای را افزایش دهند [۱۹]. نمونه‌برداری دقیق و کافی از بخش‌های مختلف گیاه و خاک می‌تواند ابعاد پنهان دیگری از تنش ناشی از گردوغبار صنعتی را نمایان کند که به‌عنوان پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

تأیید شد [۲۰]. تاریخ تأسیس کارخانه سیمان مازندران سال ۱۹۸۱ است و طرح‌های توسعه‌ای این واحد صنعتی در سال ۲۰۰۸ میلادی اجرا شده است با توجه به شکل ۶ تغییرات زیادی در شاخص پوشش گیاهی در پیکسل‌های نزدیک به واحد صنعتی مشاهده می‌شود. موضوع مهم دیگر تأثیرات درازمدت گردوغبار صنعتی است. گردوغبار رسوب‌یافته روی برگ و شاخه درختان به مرور زمان شسته شده و وارد



شکل ۶. میانگین شاخص NDVI در فاصله‌های متفاوت از منبع آلودگی در طول زمان

جدول ۲. نتایج رگرسیون خطی ساده شاخص NDVI و متغیر فاصله از کانون آلودگی

فاصله از کانون آلودگی (متر)	متغیرهای مدل	ضریب تأثیر استاندارد نشده (B)	ضریب تأثیر استاندارد شده (B)	سطح معناداری	F مقدار	سطح معناداری مدل	ضریب همبستگی چندگانه (R)	ضریب تبیین رگرسیون (R ²)
کمتر از ۸۰۰	ثابت	۳۵/۲۴۴	-	۰/۰۰۰	۵۹۹/۹۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۳۷
زمان	زمان	-۰/۰۱۷	-	۰/۰۰۰	۶۵۳/۵۱	۰/۰۰۰	۰/۸۱۹	۰/۶۷۱
۸۰۰ تا ۹۰۰	ثابت	۲۹/۵۲۳	-	۰/۰۰۰	۲۸۶/۴۴	۰/۰۰۰	۰/۶۰۳	۰/۳۶۰
زمان	زمان	-۰/۰۱۵	-	۰/۰۰۰	۲۲۷/۶۰	۰/۰۰۰	۰/۵۳۶	۰/۲۸۷
۹۰۰ تا ۱۰۰۰	ثابت	۱۹/۰۶۱	-	۰/۰۰۰	۴۵/۳۴	۰/۰۰۰	۰/۲۸۶	۰/۰۸۲
زمان	زمان	-۰/۰۰۹	-	۰/۰۰۰	۲۱/۰۷	۰/۰۰۰	۰/۲۲۶	۰/۰۵۱
۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	ثابت	۱۵/۵۰۸	-	۰/۰۰۰	۱۱/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۳۰۲	۰/۰۹۱
زمان	زمان	-۰/۰۰۷	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰	ثابت	۴/۹۹۳	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
زمان	زمان	-۰/۰۰۲	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰	ثابت	۲/۹۰۵	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
زمان	زمان	-۰/۰۰۱	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰	ثابت	۲/۹۲۵	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
زمان	زمان	-۰/۰۰۱	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
بیشتر از ۲۰۰۰	ثابت	-۰/۴۸۱	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰
زمان	زمان	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰	۲/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰

نتیجه گیری

در جهت باد غالب تأیید شد. ضریب تبیین رگرسیون (R^2) برای فاصله کمتر از ۸۰۰ متر برابر با ۰/۸۳۷ محاسبه شد، درحالی که این ضریب برای فاصله بیشتر از ۲۰۰۰ متر از کانون آلودگی ۰/۰۰۰ بود. غلظت عناصر مختلف برداشت شده از برگ گیاه غالب بلوط از جنبه گرافیکی افزایش مشهودی را در نزدیکی کانون گردوغبار صنعتی نسبت به نقطه شاهد در ۱۰ کیلومتری آن نشان داد، اما کافی نبودن حجم داده‌ها به علت هزینه‌های زیاد تجزیه شیمیایی نمونه‌ها، تحلیل رگرسیون دقیق را در این مبحث امکان‌پذیر نکرد. نتایج مدل‌سازی پراکنش آلودگی هوا نیز نتایج مشابهی را ارائه کرد، به طوری که با فاصله گرفتن از کانون آلودگی در جهت شرق و در مسیر باد غالب، غلظت ذرات معلق کاهش پیدا کرد.

سپاسگزاری

نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از مدیریت و کارشناسان اداره کل هواشناسی، محیط زیست، منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران و مدیریت و کارشناسان اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهر نکا، برای در اختیار گذاشتن داده و اطلاعات مکانی و همراهی در کار میدانی ابراز می‌دارند.

نتایج این پژوهش نشان داد که خشکسالی‌های اخیر بر شاخص پوشش گیاهی محدوده مطالعاتی براساس بررسی رابطه همبستگی شاخص SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و NDVI بی‌تأثیر بوده است. اجرای الگوریتم هانسن برای تعیین مناطق جنگل‌زدایی و کاشت جنگل بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نتایج این پژوهش را قوت بخشید. نتایج اجرای این الگوریتم همه پیکسل‌های تغییر یافته در اندازه ۳۰ متر را مشخص کرد. بیشترین تجمع این پیکسل‌ها که دچار جنگل تراشی شده بودند، به تعداد ۴۵ پیکسل ۳۰ متری در ضلع شمال و شمال غرب منابع قرضه بود. تعداد پیکسل‌های تغییر یافته نسبت به محدوده مطالعاتی بسیار اندک بود و این پیکسل‌های تغییر یافته با محدوده‌های بررسی شده برای تغییر شاخص NDVI همپوشانی نداشتند. با توجه به نبود کانون‌های گردوغبار محلی و تأثیر نپذیرفتن از گردوغبارهای منطقه‌ای به علت واقع شدن در موقعیت خاص مکانی، تأثیر گردوغبار صنعتی کارخانه سیمان بر شاخص پوشش گیاهی ثابت شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که اثرگذاری گردوغبارهای صنعتی، با فاصله گرفتن از کانون آلودگی صنعتی (کارخانه سیمان مازندران) کمتر شد. آستانه تأثیرگذاری گردوغبار صنعتی بر شاخص پوشش گیاهی تا فاصله ۲۰۰۰ متری و

References

- [1]. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., and Lambin, E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1565–1596.
- [2]. Nemani, R., Votava, P., Michaelis, A., Melton, F., and Milesi, C. (2011). Collaborative Supercomputing for Global Change Science. *EOS*, 92(13): 109–110 .
- [3]. Mousavi, S.Z., Motasadi, S., Jouzi, A., and Khorasani, N.A. (2016). Investigating the Effects of the Dust from Cement Industry on Vegetation Diversity and Density, Case Study: Shahroud Cement Industry. *Journal of Health*, 6(4): 429–438.
- [4]. Iqbal, M.Z., and Shafiq, M. (2000). Periodical Effect of Cement Dust Pollution on the Growth of Some Plant Species. *Turkish Journal of Botany*, 25(1): 19-24.
- [5]. Rafiq, R., and Kumawat, D.M. (2016). Impact of Cement industry Pollution on Physio-morphological attributes of Apricot tree (*Prunus armeniaca*) around industrial belt Khrew, Kashmir. *International Archive of Applied Sciences & Technology*, 7(1): 1-5.

- [6] Roudgarmi, P., Khorasani, N.A., Monaveri, S.M., and Nouri, G. (2009). Predict the effects of development environment using satellite imagery and remote sensing technique. *Environmental Science and Technology*, 11(1): 161–172.
- [7]. Flory, S. L., and Clay, K. (2006). Invasive shrub distribution varies with distance to roads and stand age in eastern deciduous forests in Indiana, USA. *Plant Ecology*, 184(1): 131–141 .
- [8]. Wu, Z., Yu, L., Zhang, X., Du, Z., and Zhang, H. (2019). Satellite-based large-scale vegetation dynamics in ecological restoration programmes of Northern China. *International Journal of Remote Sensing*, 40(5–6): 2296–2312.
- [9]. Anonymous (2011). Neka Zalarmud Forestry Plan. Forests, Rangelands and Watershed Management Organization, Section 3, Series 2, 200 p.
- [10]. Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall Press, New York.
- [11]. Verhoef, W., Menenti, M., and Azzali, S. (1996). Cover a colour composite of NOAA-AVHRR-NDVI based on time series analysis (1981-1992). *International Journal of Remote Sensing*, 17(2): 231–235.
- [12]. Baroutian, S., Mohebbi, A., and Soltani Goharrizi, A. (2006). Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant. *Journal of Hazardous Materials*, 136(3): 468–474.
- [13]. Webster, R., and Oliver, M.A. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [14]. Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., and Townshend, J.R.G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160): 850-853.
- [15]. Naderi Varandi, M. Kialashaki, A. Veisi, R., and Sheykheslami, A. (2018). Effect of altitude on some quantitative and qualitative characteristics of *Populus deltoids* trees. *Ecology of Iranian Forests*, 6(12): 30–38.
- [16]. Beguería, S., and Vicente-Serrano, S.M. (2013). SPEI: calculation of the standardised precipitation-evapotranspiration index. R package version, 1, 6.
- [17]. Bhuiyan, C., Singh, R.P., and Kogan, F.N. (2006). Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4): 289-302.
- [18]. Darivasi, S., Saeb, K., and Mollashahi, M. (2016). Effects of distance from pollutant sources on heavy metal concentrations around Neka cement factory soil. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4): 33-44.
- [19]. Sadeghi, R., and Khorasani, N.A. (2009). Investigation of dust effects resulting from cement industries on variation and density of rangeland vegetation cover Case study: Abyek cement factory. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(1): 107–120.
- [20]. Delgado, J.D., Arroyo, N.L., Arévalo, J.R., and Fernández-Palacios, J.M. (2007). Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape and Urban planning*, 81(4): 328-340.

Multi-temporal analysis of the industrial dusts effects of Mazandaran cement plant on neighbouring forest cover

A. Ashrafi; Ph.D. Student, Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

Y. Erfanifard*; Assoc. Prof., Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

F. Amiraslani; Assoc. Prof., Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

A. Darvishi Boloorani; Assoc. Prof., Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

A.J. Mousivand; Assist. Prof., Department of Remote Sensing and GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, I.R. Iran

(Received: 17 October 2019, Accepted: 12 November 2019)

ABSTRACT

The present study aims to investigate the effects of industrial dusts on Zarandin forest covering section 3 of the Neka-Zalemrood Forestry Plan in the northern Hyrcanian forests by analyzing NDVI vegetation indices extracted from Landsat satellite imagery. To this end, in accordance with the position of the MODIS pixels, four 250 m pixels affected by industrial dust were identified near the dust center during field visits. The correlation coefficient between EVI and SPI with a 7 month lag was 0.15 and for NDVI with 8 month lag was 0.13. The p-value was not significant. The NDVI at different distances (from less than 800 m to more than 2000 m) of the pollution center during the years of access to Landsat images (1972-2017) showed a decreasing trend. Simple linear regression results of NDVI and time at different distances from the pollution center showed that the passage of time had an inverse correlation with NDVI in less than 800 m distance from the pollution center and its regression coefficient (R^2) was 0.837. By increasing the distance from the pollution center, the NDVI variations decreased over time so that the explanation of the regression coefficient between time and NDVI reached zero in a distance more than 2000 m. Due to the small role of drought and quantitative changes of vegetation in the study area, it strengthened the role of industrial dust due to industrial activities in causing forest vegetation stress.

Keywords: Hyrcanian forest, industrial dust, vegetation stress (tension), NDVI, Mazandaran cement plant.

* Corresponding Author, Email: erfanifard@ut.ac.ir, Tel: +989127100649